

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Engenharias
Curso de Engenharia Industrial Madeireira



Trabalho de Conclusão de Curso

**Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com
Tectona grandis L. f. e adição de diferentes teores de polietileno tereftalato -
PET**

Aline Scheer Knuth

Pelotas, 2017

Aline Scheer Knuth

**Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com
Tectona grandis L. f. e adição de diferentes teores de polietileno tereftalato -
PET**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Industrial Madeireira.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Érika da Silva Ferreira

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

K67p Knuth, Aline Scheer

Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com *Tectona grandis* L.f. e adição de diferentes teores de polietileno tereftalato - PET / Aline Scheer Knuth ; Erika da Silva Ferreira, orientadora. — Pelotas, 2017.

52 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) — Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

1. Resíduos. 2. Madeira. 3. Polímero. 4. Ureia-formaldeído. 5. Compósito. I. Ferreira, Erika da Silva, orient.
II. Título.

CDD : 674

Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com *Tectona grandis* L. f. e adição de diferentes teores de polietileno tereftalato - PET

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, como requisito parcial, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Industrial Madeireira, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 14/08/2017.

Banca examinadora:

Prof.^a Dr.^a Érika da Silva Ferreira (orientadora)

Doutora em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná

Prof.^a Dr.^a Merielen de Carvalho Lopes (2º examinadora)

Doutora em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná

Prof. Dr. Leonardo da Silva Oliveira (3º examinador)

Doutor em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria

Nota do Autor

A reprodução e a divulgação, parcial ou total, por meio digital ou impressa é permitida, desde que a fonte seja citada.

**Dedico este trabalho aos meus amados
Luiz, Veronica e Taimara.**

Agradecimentos

À Universidade Federal de Pelotas, ao Curso de Engenharia Industrial Madeireira, ao corpo docente do Centro de Engenharias, o imenso sentimento de gratidão pela oportunidade de aprendizagem.

Às empresas Floresteca e Hexion, pela madeira e adesivo fornecidos ao Laboratório de Painéis de Madeira e aos alunos que ajudaram na arrecadação, limpeza e fragmentação das garrafas PET, Andrey, Diego, Getúlio, Kelvin e Juliana, muito obrigada. Ao senhor Claudenir Abreu, pela manufatura dos corpos de prova.

À professora Rosilani Trianoski vinculada ao Laboratório de Painéis de Madeira / Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná pela realização dos ensaios de resistência à tração perpendicular.

À professora Érika Ferreira, pelas longas conversas, transparência, amizade e transformação da ideia em projeto final, com sucesso.

Ao amigo Roger de Ávila Vega, pela oportunidade de conhecimento prático e de estágio.

À minha família, que apesar das turbulências, não me permitiu desistir, especialmente minha mãe e minha irmã. E aos amigos que, nas idas e vindas da vida, sempre estiveram ao meu lado.

“Cada pessoa brilha com luz própria entre todas as outras. Não existem duas fogueiras iguais. Existem fogueiras grandes e fogueiras pequenas e fogueiras de todas as cores. Existe gente de fogo sereno, que nem percebe o vento, e gente de fogo louco, que enche o ar de chispas. Alguns fogos, fogos bobos, não alumiam nem queimam; mas outros incendiam a vida com tamanha vontade que é impossível olhar para eles sem pestanejar, e quem chegar perto pega fogo.”

(Eduardo Galeano, O Livro dos Abraços)

Resumo

KNUTH, Aline Scheer. **Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com *Tectona grandis* L. f. e adição de diferentes teores de polietileno tereftalato - PET.** 2017. 52f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Graduação em Engenharia Industrial Madeireira, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com madeira de *Tectona grandis* (teca) e incorporação de diferentes teores de polietileno tereftalato (PET). Foram utilizadas maravalhas de teca, adesivo ureia-formaldeído e adição de dois tipos de partículas plásticas em três diferentes proporções (5, 10 e 15%) com a madeira. As partículas dos materiais utilizados na produção das chapas foram caracterizadas fisicamente por meio da determinação do teor de umidade e densidade aparente. O ciclo de prensagem dos painéis ocorreu com temperatura de 160°C por um período 3 minutos e pressão específica de 40kgf/cm². As seguintes propriedades das chapas foram avaliadas de acordo com a norma brasileira: teor de umidade, densidade aparente, absorção de água em duas e vinte e quatro horas, inchamento em espessura em duas e vinte e quatro horas e resistência à tração perpendicular. Tanto as partículas de teca quanto as partículas de PET apresentaram propriedades físicas satisfatórias para a manufatura dos painéis. Com relação à absorção de água dos painéis, a adição de diferentes teores e geometrias de partículas de PET proporcionou aumento nesta propriedade. De acordo com os requisitos normativos para inchamento em espessura dos painéis e resistência à tração perpendicular, todos os tratamentos atenderam resistência exigida. De modo geral, observou-se um desempenho satisfatório dos painéis produzidos com partículas de PET e potencial para emprego das chapas em ambientes internos.

Palavras-chave: resíduos; madeira; polímero; ureia-formaldeído; compósito.

Abstract

KNUTH, A. S. KNUTH, A. S. **Physical-mechanical properties of particleboard from *Tectona grandis* L. f. produced with different contents of polyethylene terephthalate - PET.** 2017. 52s. Course Final Paper - Course Wood Industrial Engineering, Engineering Center, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2017.

This study was objective of evaluating the physical-mechanical properties of particleboard produced with *Tectona grandis* wood (teak) and incorporation of different polyethylene terephthalate (PET) contents. Teak shavings, urea-formaldehyde adhesive and two types of plastic particles were added in three different proportions (5, 10 and 15%). The particles were physically characterized by determination of moisture content and apparent density. The pressing cycle of the panels occurred with a temperature of 160°C for a period of 3 minutes and a specific pressure of 40 kgf/cm². The following properties of panels were evaluated according to the Brazilian standard: moisture content, apparent density, water absorption in two and twenty four hours, swelling in thickness in two and twenty four hours and internal bond. Both the teak particles and the PET particles had satisfactory physical properties for the panels manufactured. Regarding the water absorption, the addition of different contents and geometries of PET particles provided an increase in this property. According to the normative requirements for thickness swelling and internal bond, all treatments showed the required strength. In general, panels manufactured with PET particles presented a satisfactory performance and potential for indoor use.

Keywords: waste; wood; polymer; urea-formaldehyde; composite.

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Painel de partículas de média densidade – MDP (<i>Medium Density Particleboard</i>)..... | 19 |
| Figura 2 - Pré-forma de polietileno tereftalato. | 23 |
| Figura 3 - a) Maravalhas de teca; b) <i>Flakes</i> de PET; c) Partículas de PET. | 29 |
| Figura 4 - Maravalhas de madeira de teca secas em estufa com circulação de ar. | 31 |
| Figura 5 - a) Material para a produção de três painéis do tratamento testemunha; b) Formação do colchão de partículas. | 32 |
| Figura 6 - Prensa hidráulica. | 33 |
| Figura 7 - Layout do plano de plano de corte. | 34 |
| Figura 8 - a) Corpo de prova. b) Teste de resistência à tração perpendicular. | 35 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Principais produtores mundiais de painéis de madeira reconstituída.. | 20 |
| Tabela 2 - Estimativas de áreas plantadas de teca..... | 22 |
| Tabela 3 - Propriedades do adesivo ureia-formaldeído..... | 28 |
| Tabela 4 - Parâmetros do processo de prensagem | 31 |
| Tabela 5 - Tipo de ensaio, normas, dimensões e números de corpos de prova por painel..... | 35 |
| Tabela 6 - Teor de umidade e densidade aparente das partículas após secagem em estufa (%)..... | 37 |
| Tabela 7 - Valores médios de teor de umidade (TU) e densidade aparente (DA) | 38 |
| Tabela 8 - Valores médios de absorção de água em duas horas (AA 2h) e (AA 24h) e inchamento em espessura (IE 2h) e (IE 24h)..... | 40 |
| Tabela 9 - Valores médios de resistência à tração perpendicular (RTP) | 41 |

Lista de Siglas

AA – absorção de água

ABIPET - Associação Brasileira da Indústria do PET

ABIPLAST - Associação Brasileira da Indústria do Plástico

CEng – Centro de Engenharias

cP - centiPoise

DETF - Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores

IE – inchamento em espessura

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

LAPAM – Laboratório de Painéis de Madeira

MDP – *Medium Density Particleboard*

MPa – Mega Pascal

MT – Mato Grosso

mPa.s – mili Pascal por segundo

PET – polietileno tereftalato

pH - cologarítimo da concentração hidrogeniônica do meio que indica a acidez ou basicidade de uma solução aquosa

PS – poliestireno

RTP – resistência à tração perpendicular

UF – ureia-formaldeído

UFPeI – Universidade Federal de Pelotas

UFPR – Universidade Federal do Paraná

Lista de Equações

| | |
|-----------------|----|
| Equação 1 | 29 |
|-----------------|----|

Sumário

| | |
|---|-----------|
| 1 Introdução..... | 15 |
| 2 Objetivos | 17 |
| 2.1 Objetivo Geral..... | 17 |
| 2.2 Objetivos Específicos..... | 17 |
| 3 Revisão de Literatura | 18 |
| 3.1 Painéis de madeira aglomerada | 18 |
| 3.2 Processo de produção dos painéis aglomerados | 20 |
| 3.3 Matéria-prima..... | 22 |
| 3.3.1 Tectona grandis L. f. | 22 |
| 3.3.2 Polietileno tereftalato - PET | 23 |
| 3.4 Adesivo Ureia-formaldeído | 24 |
| 3.5 Propriedades de Painéis Aglomerados Produzidos com Incorporação de Polímeros..... | 26 |
| 4 Material e Métodos | 27 |
| 4.1 Material..... | 27 |
| 4.2 Geração das partículas..... | 28 |
| 4.3 Determinação das Propriedades Físicas das Partículas..... | 29 |
| 4.4 Produção dos Painéis | 30 |
| 4.5 Ensaio Físico-Mecânicos dos Painéis..... | 34 |
| 4.6 Análise Estatística..... | 35 |
| 5 Resultados e Discussão | 37 |
| 5.1 Propriedades físicas das partículas | 37 |
| 5.2 Propriedades dos painéis | 37 |

| | |
|----------------------------|-----------|
| 6 Conclusões | 42 |
| Recomendações | 43 |
| Referências | 44 |
| Apêndices | 48 |

1 Introdução

Uma das principais aplicações para o aproveitamento da madeira é a fabricação de painéis aglomerados, pois permitem o uso de matéria prima de florestas plantadas e resíduos de serrarias e desbastes, possibilitando, assim, a industrialização de um produto de características adaptáveis ao uso, reciclável e de menor custo.

Os painéis aglomerados, em sua composição, aceitam o incremento de produtos de origem não madeireira como, por exemplo, os plásticos, que incrementam algumas propriedades do produto final. O desenvolvimento desses novos produtos ajuda a minimizar dois problemas de atividades humanas, o aumento do valor agregado de resíduos madeireiros e a reciclagem adequada de resíduos domésticos.

Durante o processo de beneficiamento da madeira produz-se grande quantidade de resíduos que, em sua maioria, são destinados à queima, como forma de descarte, e produção de energia. Esses resíduos são compostos principalmente de serragem e por partes da árvore que não apresentam interesse econômico no mercado de madeiras serradas mas que têm larga aplicação na indústria de painéis de madeira aglomerada.

O plástico é o material que apresenta maior abundância nos descartes domésticos, e isso se deve ao elevado crescimento mundial da utilização desse material para múltiplos usos. Portanto, existe uma tendência geral de usar esses polímeros e resíduos da indústria madeireira, considerando o imenso valor potencial dos materiais processados e as implicações dos resíduos e da poluição resultantes da sua não utilização (CATTO et al.,2014).

Conforme a ABIPLAST (2013) e Grubert (2014), 42% da distribuição dos polietilenos são para o setor de alimentos como embalagens, posteriormente ao uso, esses resíduos muitas vezes não possuem destinação adequada e, por não serem biodegradáveis, acabam originando grandes problemas ambientais.

Portanto, a procura por tecnologias que possibilitem o reaproveitamento destes plásticos residuais para obtenção de novos produtos se torna cada vez

mais importante, sendo assim, um meio potencial de se reutilizar esses resíduos é na sua incorporação em painéis de madeira.

No caso dos painéis produzidos com os dois tipos de material, madeira e plástico, dependendo da proporção de cada material utilizado, apresentam melhores propriedades físicas em relação aos painéis de madeira, diminuição da presença de rachaduras, empenamentos, uma melhora na estabilidade dimensional e elevada proteção contra microrganismos e intempéries (BRANDT e FRIDLEY, 2003).

Além das propriedades físicas já citadas, é de relevância salientar a origem de um produto de menor agressão ambiental e menores custos de produção, visto que os materiais de origem são resíduos urbanos e da indústria florestal respectivamente (GRUBERT, 2014).

Dessa forma, revela-se a importância de estudos e pesquisas mais detalhados sobre a possibilidade de aproveitamento de resíduos de madeira, aproveitamento de resíduos plásticos, em todas as suas formas, e a transformação desse material em produtos de maior valor agregado como os painéis de madeira reconstituída.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente estudo foi avaliar o potencial tecnológico de painéis de partículas aglomeradas produzidas com maravalhas de teca (*Tectona grandis*) e incorporação de diferentes proporções de polietileno tereftalato – PET.

2.2 Objetivos Específicos

- Produzir um painel sustentável utilizando matéria-prima natural e sintética;
- Determinar e avaliar as propriedades físicas das partículas da madeira de teca e das diferentes geometrias de PET, tais como: teor de umidade e densidade aparente;
- Determinar e avaliar as seguintes propriedades físicas e mecânicas dos painéis, de acordo com a norma brasileira: teor de umidade, densidade aparente, absorção de água, inchamento em espessura e resistência à tração perpendicular;
- Avaliar o efeito da adição de diferentes granulometrias de partículas e proporções de PET nas propriedades dos painéis.

3 Revisão de Literatura

3.1 Painéis de madeira aglomerada

Os painéis de madeira aglomerada surgiram com o propósito de sanar a escassez de matéria prima no início dos anos 40, na Alemanha, uma vez que o país passava por um período entre guerras. A indisponibilidade de recursos nessa ocasião acarretou num aumento excessivo no preço dos produtos de madeira maciça, com esse quadro, empresas desenvolveram os painéis como forma de empregar os resíduos madeireiros disponíveis (IWAKIRI, 2005).

Os painéis de madeira aglomerada ou MDP – *Medium Density Particleboard*, figura 1, constituem-se de uma chapa fabricada com pequenas partículas de madeira ou diferentes materiais lignocelulósicos aglutinadas por meio de resina natural ou sintética e solidificada com a combinação de calor e pressão. São utilizados, resíduos industriais madeireiros, resíduos da exploração florestal e madeiras que não preenchem os requisitos para o comércio de serrarias, no entanto, no Brasil, a principal fonte de matéria prima para a produção das chapas de MDP são as florestas plantadas, principalmente pinus e eucalipto (MATTOS, 2008).



Figura 1 - Painel de partículas de média densidade – MDP (*Medium Density Particleboard*).

Fonte: Projetar - Gestão em Interiores, 2011.

A produção dos painéis de madeira aglomerada proporciona a oportunidade de uso de uma ampla variedade de combinações de material, podendo variar entre o uso de dois tipos de madeira, madeira e resíduos agrícolas (algodão, bagaço de cana, bambu e palha de arroz ou trigo etc.) e madeira e polímeros sintéticos (polipropileno e polietileno) (PAULESKI, 2005).

Conforme Iwakiri (2005), a reconstituição da madeira em painéis aglomerados apresenta um produto com características homogêneas, livre de alterações dimensionais e similaridade na resistência mecânica em todas as direções do painel. As possibilidades que a reconstituição permite inclui o ajuste de parâmetros do processo de produção de acordo com a exigência que o produto final exige e inclui tanto o tipo de resina utilizada quanto a geometria e a distribuição das partículas, sendo principalmente indicados para a indústria moveleira.

Os principais fabricantes brasileiros dos painéis de madeira aglomerada são Arauco do Brasil – Paraná, Berneck – Paraná e Santa Catarina, Duratex – Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul, Eucatex – São Paulo, Fibraplac – Rio Grande do Sul, Floraplac – Pará, Guararapes Painéis – Santa Catarina, Masisa – Paraná, Rio Grande do Sul (IBÁ, 2016).

De acordo com dados do IBÁ (2016), em 2015, a produção de painéis de madeira foi de 7,5 milhões de metros cúbicos, o que corresponde a 6,3% de queda em relação a 2014, deixando o Brasil em 8º lugar no ranking de produtores de painéis de madeira e pisos laminados (Tabela 1). Desse montante, apenas 9% é destinado à exportação enquanto 91% são de consumo interno.

Tabela 1 - Principais produtores mundiais de painéis de madeira reconstituída

| | País | Produção (milhões m³) |
|-----|----------------|------------------------------|
| 1º | China | 83,6 |
| 2º | Estados Unidos | 19,3 |
| 3º | Alemanha | 10,6 |
| 4º | Canadá | 9,5 |
| 5º | Turquia | 9,4 |
| 6º | Rússia | 8,9 |
| 7º | Polônia | 8,1 |
| 8º | Brasil | 7,5 |
| 9º | França | 4,9 |
| 10º | Tailândia | 4,9 |

Fonte: IBÁ, 2016.

3.2 Processo de produção dos painéis aglomerados

A indústria de painéis, necessitando da disposição de grande quantidade de madeira, utiliza, além da madeira de florestas plantadas de pinus e eucalipto, resíduos de aparas de lâminas (GREEN e KRETSCHMANN, 1999).

Segundo a NBR 14810-1 (2013), as chapas são um produto resultante da manufatura por prensagem de uma massa de partículas de madeira impregnadas com adesivo, entre pratos paralelos em prensa de pratos ou em prensa contínua com aplicação de calor e espessura variando entre 3 e 50 mm.

De acordo com Iwakiri (2005), os painéis de madeira aglomerada são produzidos de forma característica e podem ser definidos em diferentes etapas:

- Geração de partículas: redução da madeira a cavacos e então reduzida a partículas;
- Secagem: as partículas, para melhor desempenho do adesivo utilizado, precisam ser mantidas a 3% de umidade;

- Classificação: para remoção de impurezas e evitar consumo excessivo de adesivo por partículas finas ou separar as partículas para a fabricação de painéis multicamadas;
- Aplicação de adesivo: representa entre 35 e 60% do custo de produção, a quantidade aplicada é otimizada segundo propriedades solicitadas e exigência mínima das normas;
- Formação do colchão: considera a densidade e espessura do painel a ser produzido. O processo pode ser contínuo ou descontínuo;
- Prensagem dos painéis: antes da prensagem a quente, o colchão passa por uma pré prensa para reduzir a altura, melhorar a integração e facilitar o processo de carregamento da prensa. Objetiva a cura da resina, densificação e estabilização do painel;
- Pressão: tem a função de consolidar o painel até atingir a espessura desejada. Varia de acordo com a área de contato entre as partículas, a densidade, a espessura, a exigência da resina e o tempo de fechamento da prensa;
- Temperatura de prensagem e tempo de fechamento da prensa: definidos em função do tipo de resina, teor de umidade das camadas do colchão;
- Tempo de prensagem: varia em função da espessura, umidade e o tempo de prensagem;
- Acabamento: após período de climatização até atingirem a temperatura e a umidade de equilíbrio com o ambiente são esquadrejados e lixados. Algumas indústrias incluem linhas de revestimento decorativo;
- Controle de qualidade: monitoramento dos parâmetros do ciclo.

3.3 Matéria-prima

3.3.1 *Tectona grandis* L. f.

A teca, nome popular da espécie *Tectona grandis*, é uma árvore de origem asiática e sua incidência ocorre, principalmente, em florestas tropicais de países como, Índia, Mianmar e Tailândia e podem alcançar até 60 metros de altura. Sua plantação, no Brasil, se dá, principalmente, nos Estados do Acre, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, Pará e Rondônia. Em 2016, a área plantada era de cerca de 87 mil hectares e seu ciclo de produção girando em torno de 20 a 30 anos, tempo 30% inferior comparado com sua região de origem (COELHO, 2017).

De acordo com o Angeli (2003), a madeira de teca é conhecida e valorizada por suas excelentes propriedades como durabilidade, resistência, estabilidade dimensional e trabalhabilidade.

A espécie pertencente à família botânica Lamiaceae (ex Verbenaceae) é, atualmente, uma das mais importantes espécies florestais e segundo Midgley et al. (2015) o cultivo mundial alcançou um patamar de 6.887 milhões de hectares de florestas plantadas (Tabela 2).

Tabela 2 - Estimativas de áreas plantadas de teca

| Região | Área (mil ha) |
|----------------|---------------|
| Ásia | 6.071 |
| África | 538 |
| America latina | 278 |

Fonte: Adaptado de Midgley et al., 2015.

Estudos do IPT (1997) mostram que a madeira de teca brasileira apresenta densidade aparente, a 15% de umidade, de 0,66 g/cm³, sem especificar a idade das amostras, mesmo resultado observado por Pinto (2007) para madeira de teca com 30 anos de idade.

O uso da madeira de teca é bastante apreciado na fabricação de móveis finos, estruturas, pisos, peças torneadas e compensados, mas sua principal aplicação é na indústria de construção naval, devido à alta resistência, estabilidade dimensional e propriedades físico-mecânicas, seus resíduos comumente são destinados à produção de carvão vegetal e lenha (FOELKEL, 2013).

3.3.2 Polietileno tereftalato - PET

Denominado Polietileno tereftalato, o PET é um poliéster termoplástico utilizado como fibra sintética, como resina e principalmente para a produção de pré-formas de embalagens (Figura 2).



Figura 2 - Pré-forma de polietileno tereftalato.

Fonte: Tudo sobre plásticos, 2015.

O primeiro uso do PET foi na indústria têxtil, pela DuPont, no início dos anos 50, mas somente 20 anos depois foi introduzido na fabricação de embalagens. No Brasil, suas primeiras aplicações se deram em 1988, também na

fabricação de tecidos e a partir de 1993, devido aos baixos custos de produção, leveza e praticidade, tomou lugar das embalagens de vidro (ECYCLE, 2013).

Segundo a ABIPET (2012), esse material é produzido por meio da esterificação direta do *ácido tereftálico* purificado com *monoetileno glicol*, o produto dessa mistura é uma pasta bastante reagente e nessa reação ocorre a cristalização do material dando origem a grãos brancos e opacos. O processamento do PET granulado para a produção das pré-formas pode ser por meio de injeção, extrusão, sopro ou termoformagem. A fabricação das formas é dividida entre quatro etapas distintas e para a transformação em garrafas mais três fases, que são: secagem, alimentação, plastificação, injeção, condicionamento, sopro e ejeção do produto.

O processo de obtenção do polietileno tereftalato tem baixo custo de produção, beneficiando a indústria e o consumidor, com um material inerte, inquebrável, transparente, ambientalmente correto, acessível e, ainda, completamente reciclável. Além de possuir alta resistência mecânica e química, possui uma excelente barreira que impede a penetração de gases e odores, o que permite a utilização das embalagens produzidas para produtos de higiene e limpeza, medicamentos e bebidas (LANDIM, 2016).

Para a confecção de painéis de madeira com o incremento de polímeros, deve-se levar em consideração a temperatura de fusão do polímero PET (250°C), pois para a produção de painéis aglomerados a temperatura pode inviabilizar o processo, uma vez que é superior à temperatura suportada pela madeira sem que haja degradação do material lignocelulósico (TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS, 2011).

3.4 Adesivo Ureia-formaldeído

Os adesivos empregados na colagem de madeiras, de uma forma geral, podem ser dispostos como: naturais, sintéticos termoplásticos e sintéticos termoendurecedores. Para a produção de painéis de madeira aglomerada, a

resina ureia-formaldeído (UF), é a mais empregada, em razão do baixo custo em relação a outros adesivos. Entretanto, em virtude das diferentes exigências do mercado, outras resinas são também utilizadas, como: fenol-formaldeído, isocianato, melamina-ureia-formaldeído, tanino-formaldeído e melamina-formaldeído (IWAKIRI, 2005).

Projetada para aplicações em produtos de uso interior, a resina UF garante uniformidade dimensional e suavidade na superfície, sua cor clara é adequada para garantir a cor natural da madeira na fabricação do painel. As especificações de quantidade, tempo e temperatura de prensagem variam conforme especificação da chapa a ser produzida (GREEN, 1999).

De acordo com Iwakiri (2005), as resinas ureia-formaldeído são produzidas em solução aquosa, com 60 a 70% de teor de sólidos, ou em pó. Apresentam uma coloração leitosa, pH entre 7,4 e 7,8 e viscosidade na faixa de 400 a 1000 cP a uma temperatura de 25°C.

As principais desvantagens em relação ao uso da resina UF é a liberação de formaldeído na prensagem a quente, que é altamente tóxico e a degradação hidrolítica na presença de umidade, classificando os painéis como para uso interno (IWAKIRI, 2005; REMADE, 2007).

A resina ureia-formaldeído é usada para a produção de painéis de uso interior, uma vez que a ligação do adesivo com as partículas de madeira é rompida com as mudanças de umidade. É geralmente aplicada por meio de pulverização com auxílio de agitação das partículas para total cobertura da área da partícula. As chapas produzidas exigem um bom acabamento, pois reduzem a área de madeira exposta, principalmente se usadas em cozinhas ou banheiros, onde a incidência de umidade é mais frequente (SELBO, 1975).

Entre as principais particularidades do uso da resina ureia-formaldeído são as características de prensagem exigidas no processo, entre elas estão a pré-prensagem a frio, realizada afim de reduzir a espessura do colchão, para posterior prensagem a quente. As temperaturas usadas para a consolidação do painel variam entre 140 e 165°C e a pressão deve estar de acordo com o tipo de propriedade requerida, mas variam entre 1,37 a 3,43 MPa (YOUNGQUIST, 1999).

3.5 Propriedades de Painéis Aglomerados Produzidos com Incorporação de Polímeros

De acordo com Maciel et al. (2004) painéis de partículas aglomeradas produzidos com *Pinus elliotti*, poliestireno (PS) (25%) - e proporção de PET/PS (10/40%) com o uso de adesivo UF e densidade de 0,60g/cm³, apresentaram resistência superior (0,67MPa) em relação aos painéis fabricados somente com uma solução de poliestireno dissolvido em tolueno – 6% - utilizado como adesivo, que apresentaram resistência de 0,12MPa. Para as propriedades como absorção de água e inchamento em espessura em 24 horas, os painéis apresentaram resultados de 68,8 e 11,8%, respectivamente.

Santos et al. (2011), estudando as propriedades de painéis produzidos com resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*), observou que a incorporação de 25% PET apresentou 33,46% e 64,12% de absorção de água em duas e vinte e quatro horas e 12,34% e 15,88% de inchamento em espessura em duas e vinte e quatro horas, respectivamente, enquanto os painéis sem incorporação do polímero apresentaram 49,51%, 72,87%, 12,81% e 18,6%, respectivamente, para as mesmas análises. Quanto aos resultados para ligação interna, os painéis produzidos com a incorporação de 25% de PET apresentaram valores médios de 0,47MPa e 0,84MPa em painéis sem a adição de polímero.

A NBR 14810 -2 (2013) afirma que os painéis de madeira aglomerada são classificados como de média densidade quando dentro da faixa de 0,55 a 0,75g/cm³, fabricados com resina uréica e compostos por partículas de geometria variável. Quanto ao teor de umidade, ao menos que haja acordo entre o produtor e o consumidor, o valor permitido não deve ultrapassar a faixa entre 5 a 11%. Para as propriedades físicas e mecânicas, a norma afirma que para painéis de 5 a 7mm de espessura a resistência à tração perpendicular mínima de 0,40MPa e o inchamento máximo, em duas horas, de 8%.

4 Material e Métodos

O presente estudo foi desenvolvido e executado no Laboratório de Painéis de Madeira (LAPAM) do curso de Engenharia Industrial Madeireira do Centro de Engenharias (CEng) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), e no Laboratório de Painéis de Madeira do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal (DETF) da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

✓ **1° Etapa:** produção das maravalhas com madeira de teca, classificação e secagem; coleta, seleção, classificação e fragmentação das garrafas PET; avaliação das propriedades físicas das partículas; manufatura dos painéis aglomerados; e caracterização física das chapas - LAPAM / CEng / UFPel;

✓ **2° Etapa:** ensaio mecânico de resistência à tração perpendicular por meio de uma máquina universal de ensaios – Laboratório de Painéis de Madeira - DETF / UFPR.

4.1 Material

A madeira de teca (*Tectona grandis*), utilizada para a confecção dos painéis foi fornecida pela empresa Floresteca, localizada no município de Cáceres – MT, sendo disponibilizada ao LAPAM na forma de tábuas com dimensões nominais de 2,5cm x 6,5cm x 250cm (espessura, largura e comprimento, respectivamente). A umidade inicial da madeira foi de aproximadamente 40% e por esse motivo permaneceu em câmara climatizada até atingir 10% de umidade.

As garrafas plásticas (usadas para a embalagem de água e refrigerantes) foram cedidas pelos alunos do curso de Engenharia Industrial Madeireira, no

laboratório foram classificadas e higienizadas, com água e detergente neutro, sendo removidos lacres, tampas e rótulos.

O adesivo à base de ureia-formaldeído foi doado pela empresa Hexion T. M., localizada no município de Montenegro - RS. As propriedades da resina são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 - Propriedades do adesivo ureia-formaldeído

| Parâmetros | Valores |
|--------------------------------|----------------|
| Densidade (g/cm ³) | 1,336 |
| Gel time (s) | 61 |
| pH | 7,9 |
| Teor de sólidos (%) | 67,4 |
| Viscosidade (mPa.s) | 599,54 |

Fonte: A autora, 2017.

O catalisador utilizado para a resina ureia-formaldeído foi uma solução salina de sulfato de amônio com 25% de sólidos na proporção de 2% sob o peso de sólido resinoso.

4.2 Geração das partículas

As partículas obtidas na forma de maravalhas da madeira de teca foram geradas por meio do aplainamento das peças de madeira sólida com o auxílio de uma plaina desengrossadeira ajustada para remover 2,5mm de material, logo depois foram classificadas em peneira de análise granulométrica, a fim de remover as partículas mais finas em malhas de 40 e 60mesh (Figura 3.a.).

As partículas de PET foram confeccionadas à mão, cortadas com auxílio de uma tesoura, tomando-se cuidado para que o tamanho mantivesse uma medida de cerca 8mm x 5mm x 0,2mm (comprimento, largura e espessura, respectivamente), e classificadas a fim de remover partículas que fossem muito grandes (*flakes* – Figura 3.b.). Para a obtenção do PET em partículas, parte do

material cortado com a tesoura foi fragmentado em moinho de facas tipo *Willey* com malha de 10mesh (partículas – Figura 3.c.).



Figura 3 - a) Maravalhas de teca; b) *Flakes* de PET; c) Partículas de PET.

Fonte: A autora, 2016.

4.3 Determinação das Propriedades Físicas das Partículas

O teor de umidade das partículas foi verificado realizando-se quatro amostragens de cada material e encaminhando à estufa laboratorial sem circulação forçada de ar, com temperatura de $103\pm 2^\circ\text{C}$ até peso constante. Para a determinação do teor de umidade das partículas empregou-se o método gravimétrico por meio da equação 1:

$$TU = \frac{(P_u - P_s)}{P_s} \times 100$$

Equação 1

, onde:

TU = teor de umidade (%);

P_u = peso úmido (g);

P_s = peso seco constante após estufa (g).

A determinação da densidade aparente das partículas foi realizada conforme procedimento descrito por Souza (2011).

4.4 Produção dos Painéis

Foram confeccionados 18 painéis com dimensões nominais de 297mm x 102mm x 5mm (comprimento, largura e espessura) de acordo com o delineamento experimental apresentado na tabela 4.

Tabela 4 - Delineamento experimental

| Tratamento | Matéria-prima | Teor de PET | Repetições |
|------------|--------------------------------|-------------|------------|
| 1 | Madeira de teca | 0% | 3 |
| 2 | Madeira e PET em <i>flakes</i> | 10% | 3 |
| 3 | Madeira e PET em <i>flakes</i> | 15% | 3 |
| 4 | Madeira e PET em partículas | 5% | 3 |
| 5 | Madeira e PET em partículas | 10% | 3 |
| 6 | Madeira e PET em partículas | 15% | 3 |

Fonte: A autora, 2016.

Inicialmente as maravalhas de teca foram secas em estufa com circulação forçada de ar com temperatura regulada a 60°C até alcançar um teor de umidade próximo a 3% (Figura 4). Tal procedimento não foi realizado com as partículas de PET uma vez que o material já apresentava teor de umidade abaixo de 1%.



Figura 4 - Maravalhas de madeira de teca secas em estufa com circulação de ar.

Fonte: A autora, 2017.

O primeiro painel a ser manufaturado foi o tratamento testemunha – madeira de teca, para isso foram pesadas as maravalhas em balança semi-analítica, e na sequência a água, resina e catalisador. A produção dos painéis se deu em triplicata, dessa forma, todo o material foi pesado para a confecção dos três painéis, mantendo-se as características do colchão para todas as repetições.

Os painéis foram confeccionados com 12,0% de teor de resina ureia-formaldeído e densidade nominal de $0,60\text{g/cm}^3$. Na sequência, foram realizadas, da mesma forma, a confecção dos demais painéis, com o acréscimo das diferentes porcentagens de PET para cada chapa. Os parâmetros de prensagem são apresentados na tabela 5:

Tabela 4 - Parâmetros do processo de prensagem

| Parâmetros de prensagem | |
|--------------------------------|-----------------------|
| Pressão específica | 40kgf/cm ² |
| Temperatura | 160°C |
| Tempo | 3 minutos |

Os diferentes materiais empregados para produção dos painéis (Figura 5.a.) foram inseridos na encoladeira de partículas e por meio de uma pistola para aspersão acoplada em seu interior a interface resina + catalisador + água foi atomizada nas partículas secas durante um período de oito minutos com uma rotação de 14RPM. Após a homogeneização, a mistura foi pesada em balança semi-analítica e pré-prensada em uma caixa formadora sob uma chapa de aço para formação do colchão de partículas. Ao serem encaminhados para a prensa, os painéis foram mantidos com espessura nominal de 5mm, com o auxílio de espaçadores de aço (Figura 5.b.).

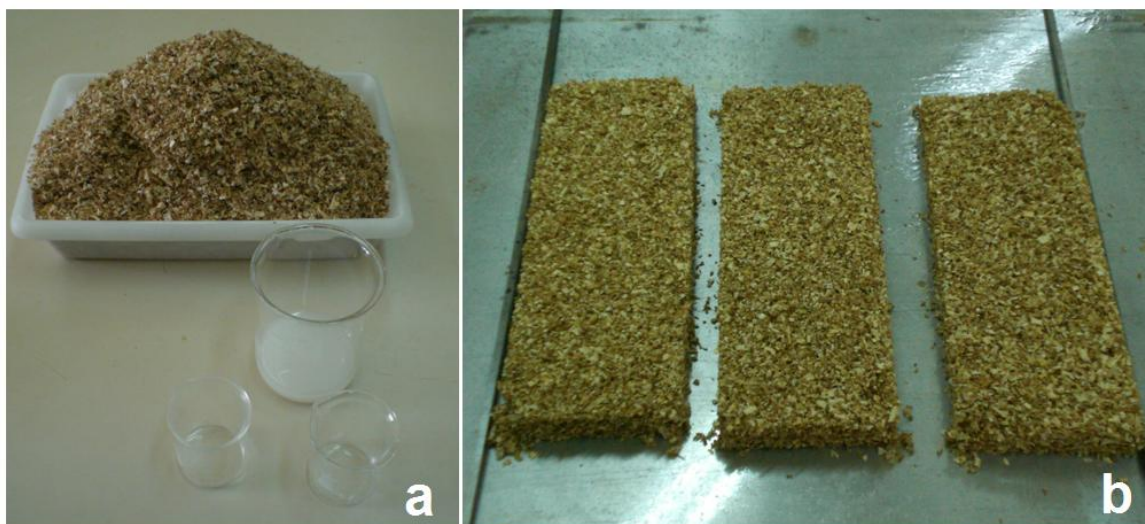


Figura 5 - a) Material para a produção de três painéis do tratamento testemunha; b) Formação do colchão de partículas.

Fonte: A autora, 2016.

Os painéis foram consolidados por meio de uma prensa hidráulica, com aquecimento elétrico dos pratos, capacidade de 160 toneladas, dotada de Controle Lógico Programável (CLP) de pressão, temperatura e tempo de prensagem (Figura 6).



Figura 6 - Prensa hidráulica.

Fonte: A autora, 2017.

Após a retirada da prensa e resfriados, os painéis foram mantidos em câmara climatizada com temperatura regulada a 20°C e 65% de umidade relativa do ar por um período de 30 dias.

4.5 Ensaio Físico-Mecânicos dos Painéis

Após aclimatização as chapas foram esquadrejadas, afim de remover as laterais e topos, e dimensionados os corpos de prova para o corte em serra circular simples de bancada conforme figura 7.

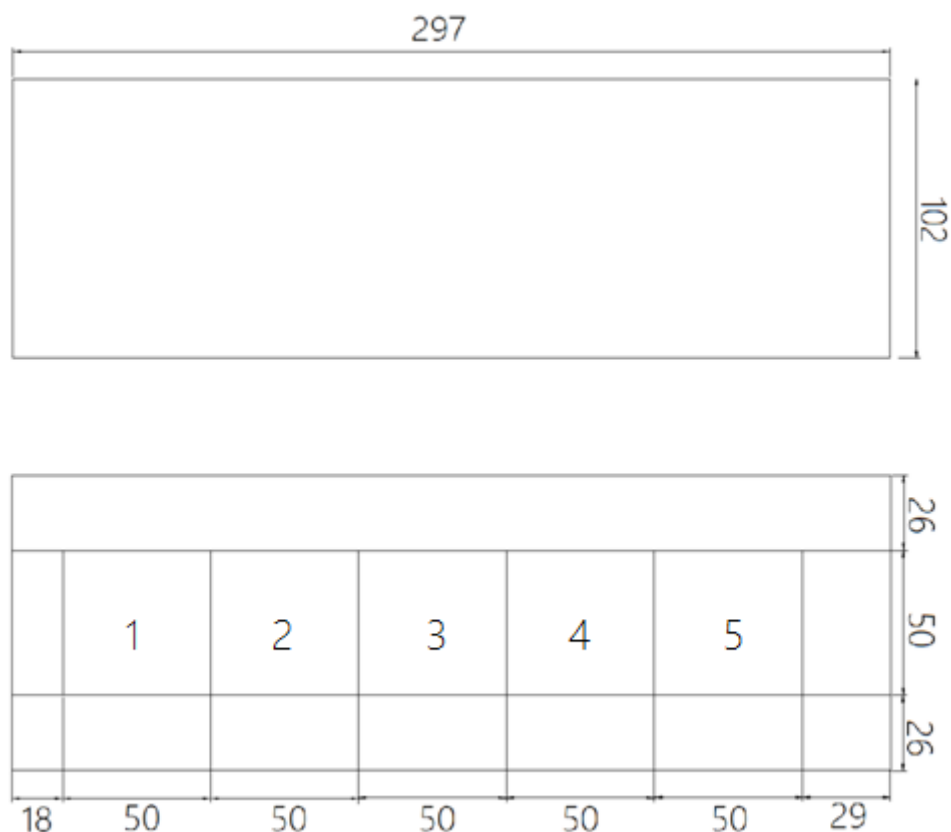


Figura 7 - Layout do plano de plano de corte.

Fonte: A autora, 2017.

Para a determinação da densidade aparente dos painéis foram avaliadas todas as amostras, as amostras 1 e 3 de cada painel foram designadas para a realização do ensaio de absorção em água e inchamento em espessura, as amostras 2 e 4 foram utilizadas para o ensaio de resistência à tração perpendicular (Figura 8) e a amostra 5 foi utilizada para a verificação do teor de umidade dos painéis.

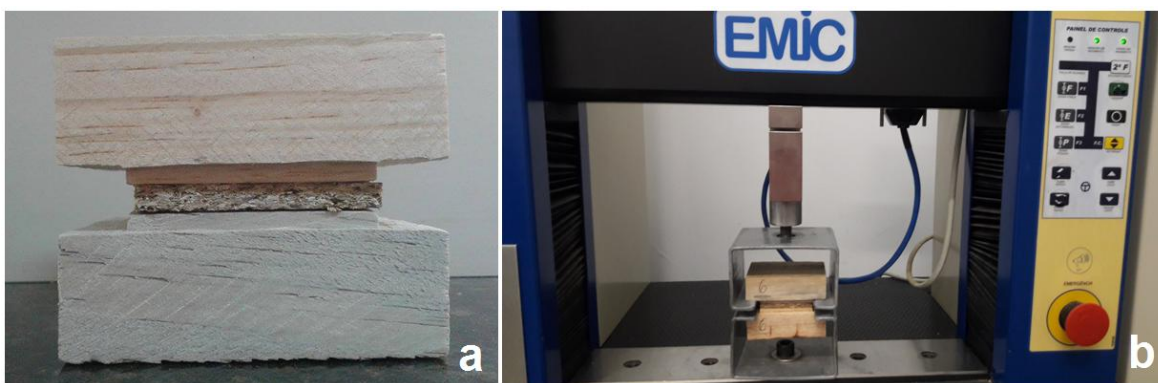


Figura 8 - a) Corpo de prova. b) Teste de resistência à tração perpendicular.

Fonte: A autora, 2017.

A tabela 5 apresenta os ensaios realizados de acordo com a norma brasileira, dimensões e quantidade dos corpos de prova avaliados por chapa.

Tabela 5 - Tipo de ensaio, normas, dimensões e números de corpos de prova por painel

| Ensaio | Norma | Dimensões (mm) | *C.P por painel |
|------------------------------------|----------------------|----------------|-----------------|
| Absorção de Água | NBR 14810 - 2 (2013) | 50 x 50 | 2 |
| Densidade | NBR 14810 - 2 (2013) | 50 x 50 | 5 |
| Inchamento em Espessura | NBR 14810 - 2 (2013) | 50 x 50 | 2 |
| Resistência à Tração Perpendicular | NBR 14810 - 2 (2013) | 50 x 50 | 2 |
| Teor de Umidade | NBR 14810 - 2 (2013) | 50 x 50 | 1 |

*C.P = corpos de prova

4.6 Análise Estatística

O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado com três repetições para as análises físicas das partículas, duas repetições por tratamento para as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados, com exceção da densidade aparente em que foram realizadas cinco repetições por tratamento avaliado.

Para as análises das partículas foi empregada uma estatística descritiva básica (média e coeficiente de variação).

Para o atendimento dos requisitos necessários ao emprego da análise de variância e avaliação das propriedades dos painéis foi aplicado o teste de *Kolmogorov-Smirnov* para determinação da normalidade dos dados e a verificação da homogeneidade das variâncias pelo teste de *Hartley*.

Posteriormente, os dados médios referentes às propriedades (absorção de água em 2 e 24 horas, inchamento em espessura em 2 e 24 horas e resistência a tração perpendicular - RTP) dos painéis foram submetidos a análise de covariância – ANCOVA, em função da variação da densidade aparente entre as chapas.

Havendo rejeição da hipótese de nulidade pelo teste F, empregou-se o teste Tukey a 5% de significância para comparação entre as médias dos tratamentos avaliados.

O programa estatístico utilizado para o processamento das variáveis foi o *Statgraphics Centurion* versão XV.

5 Resultados e Discussão

5.1 Propriedades Físicas das Partículas

Os valores médios, ao que se faz referência ao teor de umidade e densidade aparente para as partículas adotadas na manufatura dos painéis variaram conforme resultados apresentados na tabela 6.

Segundo Iwakiri (2005), o teor de umidade adequado para a produção das chapas é de até 3% para que não ocorra consumo excessivo de adesivo, cura da resina e altura almejada do colchão. As partículas de PET não apresentaram umidade suficiente para influenciar nesse parâmetro. O teor de umidade observado revela que as partículas estavam de acordo com as condições solicitadas para a fabricação dos painéis.

Tabela 6 - Teor de umidade e densidade aparente das partículas após secagem em estufa (%)

| Tipo de partícula | Teor de Umidade (%) | Densidade Aparente (g/cm³) |
|--------------------------|----------------------------|--|
| Madeira de teca | 2,93 | 0,075 |
| PET <i>flakes</i> | 0,49 | 0,131 |
| PET partículas | 0,94 | 0,088 |

5.2 Propriedades dos Painéis

Os valores médios para teor de umidade (TU) e densidade aparente (DA) dos painéis produzidos com as maravalhas de teca e adição de PET são apresentados na tabela 7.

De modo geral todos os tratamentos apresentaram teores de umidade dentro dos limites de tolerância estipulados pela norma brasileira ABNT NBR 14810 - 2 (2013), valores esses que variam de 5 a 11%.

A análise de variância para a densidade aparente dos painéis foi estatisticamente significativa (ver apêndice A), por esse motivo foi realizada uma análise de covariância para o cálculo das demais propriedades avaliadas.

Tabela 7 - Valores médios de teor de umidade (TU) e densidade aparente (DA)

| | Tratamento | TU (%) | DA (g/cm³) |
|---|-----------------------------|---------------|---------------------------------|
| 1 | Madeira de teca | 7,99 | 0,59 ^{ab**} (7,39)* |
| 2 | Madeira + <i>Flakes</i> 10% | 7,34 | 0,60 ^a (6,11) |
| 3 | Madeira + <i>Flakes</i> 15% | 7,14 | 0,56 ^a (6,46) |
| 4 | Madeira + Partículas 5% | 7,62 | 0,55 ^a (9,63) |
| 5 | Madeira + Partículas 10% | 6,28 | 0,59 ^b (6,19) |
| 6 | Madeira + Partículas 15% | 7,21 | 0,54 ^b (4,72) |

* () coeficiente de variação; ** Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

Os painéis mantiveram uma densidade aparente próxima à densidade nominal estipulada de 0,60g/cm³, variando entre 0,54g/cm³ a 0,60g/cm³. Resultados similares foram obtidos por Maciel et al. (2004), 0,60g/cm³, para painéis produzidos com *Pinus elliottii*, poliestireno e PET. Entretanto, Santos et al. (2011), avaliando chapas produzidas com resíduos de candeia e PET, obtiveram painéis com densidade igual a 0,70g/cm³.

De acordo com a norma NBR 14810-2 (2013) em painéis classificados como de média densidade os valores dessa propriedade não devem ultrapassar a faixa entre 0,551 a 0,750g/cm³, enquadrando todos os painéis produzidos dentro dos padrões normativos.

Os valores médios encontrados para a absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE) dos painéis aglomerados produzidos podem ser observados na tabela 8.

Os resultados para absorção de água em 2 e 24 horas apresentaram diferença estatisticamente significativa (ver apêndice D), variando entre 19,18% a 39,65% para absorção em 2 horas e 66,27% a 72,07% em 24 horas.

A incorporação de percentuais de 5 e 15% de PET na forma de partículas na composição dos aglomerados influenciou negativamente na propriedade de absorção de água em 2 horas. Após 24 horas de imersão dos corpos de prova a incorporação de 10% partículas também proporcionou o aumento nos valores médios de absorção. Essa alteração da propriedade pode ser justificada em função das partículas de PET possuírem uma geometria inferior aos *flakes*, fato que não favoreceu a formação de uma camada impedindo a absorção de água por meio dos espaços vazios existentes nos painéis, pois não houve preenchimento desses espaços e sim uma provável dispersão das partículas no painel consolidado.

Entretanto, para os demais tratamentos avaliados pode-se observar uma similaridade entre a absorção de água em duas horas dos aglomerados constituídos exclusivamente por madeira de teca e incorporação de PET na forma de *flakes* e de partículas apenas a 10%. Sendo um fator positivo para produção dos painéis aglomerados e reaproveitamento do resíduo de PET sem haver alteração em suas propriedades.

De modo geral a adição de PET na forma de *flakes* na proporção de 15% da composição do aglomerado de teca favorece uma redução na propriedade de absorção de água em 24 horas.

Santos et al. (2011) observaram valores médios para AA em 2 horas de 33,46% e 64,12% para vinte e quatro horas, avaliando painéis com adição de 25% de partículas de PET e 15 mm de espessura, enquanto Maciel et al. (2004), estudando chapas de *Pinus elliottii*, PS e PET com 10mm de espessura encontraram 68,8% de absorção de água em 24 horas, sendo valores inferiores aos do presente estudo.

Tabela 8 - Valores médios de absorção de água em duas horas (AA 2h) e (AA 24h) e inchamento em espessura (IE 2h) e (IE 24h)

| | Tratamento | AA 2h (%) | AA 24h (%) | IE 2h (%) | IE 24h (%) |
|---|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1 | Madeira de teca | 23,29 ^a (18,86) | 68,55 ^{ab} (12,1) | 4,44 ^a (24,89) | 9,28 ^a (18,54) |
| 2 | Madeira + <i>Flakes</i> 10% | 19,18 ^{a*} (32,09) | 68,36 ^{ab} (10,06) | 4,43 ^a (47,83) | 10,53 ^a (19,95) |
| 3 | Madeira + <i>Flakes</i> 15% | 20,91 ^a (26,05) | 66,27 ^a (16,70) | 3,83 ^a (49,05) | 9,47 ^a (42,33) |
| 4 | Madeira + Partículas 5% | 38,32 ^b (41,06) | 71,07 ^b (18,79) | 5,85 ^a (23,93) | 9,49 ^a (10,84) |
| 5 | Madeira + Partículas 10% | 28,46 ^{ab} (30,55) | 72,00 ^b (12,35) | 6,26 ^a (50,97) | 10,70 ^a (11,22) |
| 6 | Madeira + Partículas 15% | 39,65 ^b (47,35) | 72,07 ^b (8,16) | 6,70 ^a (23,38) | 10,68 ^a (8,74) |

* () coeficiente de variação; ** Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

Para a propriedade inchamento em espessura os resultados não apresentaram diferença estatisticamente significativa (ver apêndices J e M), variando entre 3,83% a 6,70% em duas horas, sendo valores inferiores ao requisito máximo permitido pela NBR 14810 (2013) - 8%, e 9,28% a 10,70% em 24 horas. Resultados similares aos observados por Maciel et al. (2004) no estudo com pinus, PS e PET que apresentou 11,8% de inchamento em espessura em 24 horas, e inferiores aos encontrados por Santos et al. (2011) avaliando madeira de candeia e incorporação de 25% de PET, sendo de 12,34% e 15,88%, para 2 e 24 horas, respectivamente.

Os valores para a resistência à tração perpendicular (RTP) podem ser observados na tabela 9, variaram entre 0,43 a 0,67MPa e não apresentaram diferença estatisticamente significativa (ver apêndice P).

Santos et al. (2011) avaliando madeira de candeia e incorporação de 25% de PET observaram resultados para a propriedades de resistência à tração perpendicular que variaram entre 0,47 a 0,84 MPa, sendo o limite máximo superior ao encontrado no presente estudo.

Com relação a comparação ao requisito normativo exigido pela NBR 14810 - 2 (2013) que é 0,40 MPa, os valores médios observados nos tratamentos avaliados tanto para madeira de teca quanto para os diferentes tipos e proporções de partículas de PET incorporados foram superiores e satisfatórios.

Tabela 9 - Valores médios de resistência à tração perpendicular (RTP)

| | Tratamento | RTP (MPa) |
|----------|-----------------------------|-------------------|
| 1 | Madeira de teca | 0,60 ^a |
| 2 | Madeira + <i>Flakes</i> 10% | 0,43 ^a |
| 3 | Madeira + <i>Flakes</i> 15% | 0,46 ^a |
| 4 | Madeira + Partículas 5% | 0,67 ^a |
| 5 | Madeira + Partículas 10% | 0,57 ^a |
| 6 | Madeira + Partículas 15% | 0,59 ^a |

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

6 Conclusões

De acordo com os resultados observados no presente estudo pode-se concluir:

- ✓ Tanto as partículas de teca quanto as partículas de PET apresentaram propriedades físicas adequadas para a manufatura dos painéis;
- ✓ Com relação à absorção de água, a incorporação de diferentes teores e geometrias de partículas de PET influenciaram nas propriedades dos painéis, onde a adição de partículas tipo *flakes* apresentaram o desempenho similar ao painel aglomerado produzido com madeira de teca;
- ✓ De acordo com a norma brasileira a propriedade de inchamento em espessura dos painéis atendeu ao requisito normativo apenas para os tratamentos avaliados após 2 horas de imersão em água, não havendo influência da incorporação do PET nessa propriedade;
- ✓ Quanto à resistência a tração perpendicular, todos os tratamentos atenderam ao requisito mínimo exigido pela norma brasileira e não apresentaram influência em função da incorporação das diferentes proporções do PET;
- ✓ De modo geral, os aglomerados produzidos com madeira de teca e incorporação de diferentes proporções de PET apresentaram desempenho satisfatório e possuem potencial tecnológico para utilização em ambientes internos.

Recomendações

Recomenda-se a continuação dos estudos das propriedades mecânicas dos painéis produzidos com a mesma proporção de incorporação do plástico, inclusive a possibilidade do uso de diferentes polímeros provenientes de reciclagem.

Referências

ANGELI, A. *Tectona grandis* (teca). IPEF. 2003. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/tectona.grandis.asp>>. Acesso em: 12 jan. 2017.

ABIPET. **Resina pet - fabricação.** Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarinstitucional&id=65>>. Acesso em: 19 nov. 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810 – 1 – **Painéis de Partículas de Média Densidade – Parte 1: Terminologia.** 2013. 5p

_____. NBR 14810 – 2 – **Painéis de Partículas de Média Densidade – Parte 2 : Requisitos e Método de Ensaio.** 2013. 69p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO – ABIPLAST. **Anuário Estatístico da Abiplast 2012 – Ano base 2012.** São Paulo, 2013, p.37.

BRANDT, C. W.; FRIDLEY, K. J. Effect of load rate on flexural properties of wood-plastic composites. **Wood and Fiber Science**, v. 35, n. 1, p. 135-147, 2003.

CATTO, A. L. et al. Influence of coupling agent in compatibility of post-consumer HDPE in thermoplastic composites reinforced with eucalyptus fiber. **Mat. Res.** São Carlos, v. 17, supl. 1, p. 203-209, 2014.

COELHO, L. **Plantação de teca vira aposta de bons negócios.** 2017. Disponível em: <<http://www.revistacampoenegocios.com.br/producao-de-teca-pelo-brasil-afora/>> Acesso em: 08 jul. 2017

ECICLE. **Garrafas pet: da produção ao descarte.** Disponível em: <<http://www.ecycle.com.br/component/content/article/57-plastico/231-reciclagem-garrafas-pet.html>>. Acesso em: 19 nov. 2016.

FOELKEL, Celso. Espécies de importância florestal para a ibero-américa. **Pinnusletter**, Porto Alegre, n. 40, set. 2013.

GREEN, D. W.; KRETSCHMANN, D. E. **Wood Handbook – Wood as an Engineering Material**. Mechanical Properties of Wood. Was. D.C., FPL – FS – USDA, Department of Agriculture, Forest Service, Madison. 1999.

GRUBERT, W. **Utilização de feixes de fibras de Pinus spp. e partículas de polietileno de baixa densidade (PEBD) para a produção de painéis aglomerado**. 2014. 65 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC.

HEXION. **Soluções de resinas para mdp e mdf**. Disponível em: <<http://pt.hexion.com/am/wood-composite-binders/product/amino-resins/particleboard-fiberboard/>>. Acesso em: 17 nov. 2016.

IBÁ. **Da garantia de suprimento de matéria-prima para todos os usos da madeira – atuais de potenciais – a uma nova economia de baixo carbono, a solução passa pelas florestas plantadas**. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/biblioteca/iba_relatorioanual2016_.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2017.

IBÁ. **Histórico do desempenho do setor**. 2015. Disponível em: <<http://iba.org/pt/biblioteca-iba/historico-do-desempenho-do-setor>>. Acesso em: 05 jan. 2017.

IBÁ. **Mdp – medium density particleboard – painéis de partículas de média densidade**. 2015. Disponível em: <<http://iba.org/pt/9-conteudo-pt/587-mdp-medium-density-particleboard-paineis-de-particulas-de-media-densidade>>. Acesso em: 04 jan. 2017.

IBÁ. **Programa Setorial da Qualidade de Painéis de Partículas de Madeira (MDP) e Painéis de Fibras de Madeira (MDF)**. Relatório de Acompanhamento - 2015.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT / Secretaria da Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico – SCTDE. **Madeiras: material para o design**. São Paulo: IPT, 1997. 73p.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247p.

LANDIM, A. P. M. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, São Carlos, v. 26, n. spe, p. 82-92, 2016.

MACIEL, A. S. et al. Painéis de partículas aglomeradas de madeira de *Pinus elliottii* Engelm., poliestireno (PS) e polietileno tereftalato (PET). **Revista Árvore**, v.28, n.2, p.257-266, 2004.

MATTOS, R. L. G. **Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2008.

MIDGLEY, S.; SOMAIYA, R. T.; STEVENS, P. R.; BROWN, A.; KIEN, N. D.; LAITY, R. **Planted teak: global production and markets, with reference to Solomon Islands**. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), 2015, 94p.

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 (Mestrado em Engenharia Florestal). Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria RS, 2005.

PINTO, M. L. **Propriedades e características da madeira de teca (*Tectona grandis*) em função da idade**. 2007. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PROJETAR. **MDF, MDP, aglomerado e compensado. Quem é quem??** Disponível em: <<http://projetar-interiores.blogspot.com.br/2011/11/mdf-mdp-aglomerado-e-compensado-quem-e.html>>. Acesso em: 12 abr. 2017

REMADE. **Pinus e eucalipto para produção de painéis**. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1054>. Acesso em: 28 out. 2016.

SANTOS, R. C.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, A. DE 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. **Revista Ciências Florestais**, v.21, p.149-158, 2011.

SELBO, M. L. **Adhesive bonding of wood**. U.S. Dep. Agr., Tech. Bull. No. 1512, p. 124. 1975.

SOUZA, R. V. X. **Caracterização e preparo da biomassa visando seu aproveitamento energético**. 2011. 48f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia de Energia), Universidade Federal do ABC, Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, 2011.

TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS. **PET**. 2015. Disponível em: <<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.br/2011/05/pet.html>>. Acesso em: 25 out. 2016.

TUDO SOBRE PLÁSTICOS. **Polie(tereftalato de etileno) (pet)**. 2015. Disponível em: <<http://www.tudosobreplasticos.com/materiais/pet.asp>>. Acesso em: 24 nov. 2016.

YOUNGQUIST, J. A. **Wood Handbook – Wood as an Engineering Material**. Wood-based Composites and Panel Products. Was. D.C., FPL – FS – USDA, Department of Agriculture, Forest Service, Madison. p. 224-254. 1999.

Apêndices

Apêndice A – Análise de variância para variável densidade

| Fonte de variação | Soma dos quadrados | GL | Quadrado médio | F | p |
|-------------------|--------------------|-----------|----------------|------|--------|
| Entre grupos | 0,0765289 | 5 | 0,0153058 | 9,19 | 0,0000 |
| Dentro dos grupos | 0,139867 | 84 | 0,00166508 | | |
| Total | 0,216396 | 89 | | | |

* p = probabilidade

Apêndice B – Teste para homogeneidade das variâncias para variável densidade

| Teste | |
|------------------|---------|
| Hartley's | 3,41782 |

Apêndice C – Teste para verificação da normalidade para variável densidade

| Test | P |
|---------------------------|----------|
| Kolmogorov-Smirnov | 0,521501 |

* p = probabilidade

Apêndice D – Análise de covariância para variável absorção de água 2h

| Fonte de variação | Soma dos quadrados | GL | Quadrado médio | F | p |
|-------------------------|--------------------|-----------|----------------|-------|--------|
| Covariável | | | | | |
| Densidade | 2097,31 | 1 | 2097,31 | 40,56 | 0,0000 |
| Efeito principal | | | | | |
| A: Tratamento | 2158,06 | 5 | 431,611 | 8,35 | 0,0001 |
| Residual | 1499,48 | 29 | 51,7062 | | |
| Total | 5581,61 | 35 | | | |

* p = probabilidade

Apêndice E – Teste para homogeneidade das variâncias para variável absorção de água 2h

| Test | |
|------------------|---------|
| Hartley's | 16,6657 |

Apêndice F – Teste para verificação da normalidade para variável absorção de água 2h

| Test | P |
|---------------------------|----------|
| Kolmogorov-Smirnov | 0,591376 |

* p = probabilidade

Apêndice G – Teste Análise de covariância para variável absorção de água 24h

| Fonte de variação | Soma dos quadrados | GL | Quadrado médio | F | p |
|-------------------------|--------------------|-----------|----------------|--------|--------|
| Covariável | | | | | |
| Densidade | 2651,22 | 1 | 2651,22 | 559,45 | 0,0000 |
| Efeito principal | | | | | |
| A: Tratamento | 124,819 | 5 | 24,9637 | 5,27 | 0,0015 |
| Residual | 137,431 | 29 | 4,739 | | |
| Total | 3694,28 | 35 | | | |

* p = probabilidade

Apêndice H – Teste para homogeneidade das variâncias para variável absorção de água 24h

| Test | |
|------------------|---------|
| Hartley's | 6,49048 |

Apêndice I – Teste para verificação da normalidade para variável absorção de água 24h

| Test | p |
|---------------------------|----------|
| Kolmogorov-Smirnov | 0,503804 |

* p = probabilidade

Apêndice J – Teste Análise de covariância para variável inchamento em espessura 2h

| Fonte de variação | Soma dos quadrados | GL | Quadrado médio | F | p |
|--------------------------|---------------------------|-----------|-----------------------|----------|----------|
| Covariável | | | | | |
| Densidade | 6,32055 | 1 | 6,32055 | 1,64 | 0,2101 |
| Efeito principal | | | | | |
| A: Tratamento | 31,8807 | 5 | 6,37614 | 1,66 | 0,1766 |
| Residual | 111,584 | 29 | 3,84774 | | |
| Total | 143,481 | 35 | | | |

* p = probabilidade

Apêndice K – Teste para homogeneidade das variâncias para variável inchamento em espessura 2h

| Test | |
|------------------|---------|
| Hartley's | 7,37053 |

Apêndice L – Teste para verificação da normalidade para variável inchamento em espessura 2h

| Test | p |
|---------------------------|----------|
| Kolmogorov-Smirnov | 0,965352 |

* p = probabilidade

Apêndice M – Teste Análise de covariância para variável inchamento em espessura 24h

| Fonte de variação | Soma dos quadrados | GL | Quadrado médio | F | P |
|--------------------------|---------------------------|-----------|-----------------------|----------|----------|
| Covariável | | | | | |
| Densidade | 34,6989 | 1 | 34,6989 | 12,14 | 0,0016 |
| Efeito principal | | | | | |
| A: Tratamento | 12,4444 | 5 | 2,48887 | 0,87 | 0,5126 |
| Residual | 82,8848 | 29 | 2,8581 | | |
| Total | 168,914 | 35 | | | |

* p = probabilidade

Apêndice N – Teste para homogeneidade das variâncias para variável inchamento em espessura 24h

| Test | |
|------------------|---------|
| Hartley's | 13,1283 |

Apêndice O – Teste para verificação da normalidade para variável inchamento em espessura 24h

| Test | p |
|--------------------|----------|
| Kolmogorov-Smirnov | 0,995218 |

* p = probabilidade

Apêndice P – Teste Análise de covariância para variável resistência à tração perpendicular

| Fonte de variação | Soma dos quadrados | GL | Quadrado médio | F | P |
|-------------------------|--------------------|----|----------------|------|--------|
| Covariável | | | | | |
| Densidade | 0,00330652 | 1 | 0,00330652 | 0,12 | 0,7271 |
| Efeito principal | | | | | |
| A: Tratamento | 0,222575 | 5 | 0,0445149 | 1,67 | 0,1730 |
| Residual | 0,77226 | 29 | 0,0266297 | | |
| Total | 1,04182 | 35 | | | |

* p = probabilidade

Apêndice Q – Teste para homogeneidade das variâncias para variável resistência à tração perpendicular

| Test | |
|-----------|---------|
| Hartley's | 13,1283 |

Apêndice R – Teste para verificação da normalidade para variável resistência à tração perpendicular

| Test | P |
|--------------------|----------|
| Kolmogorov-Smirnov | 0,944432 |

* p = probabilidade