

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE BAURU

FERNANDA CHRISTIANE ROSSETTO DINHANE

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE
PAINÉIS DE MDP (*MEDIUM DENSITY PARTICLEBOARD*)
CONSTITUÍDO DE BAMBU E FIBRA DE COCO**

Bauru
Março-2016

FERNANDA CHRISTIANE ROSSETTO DINHANE

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE
PAINÉIS DE MDP (*MEDIUM DENSITY PARTICLEBOARD*)
CONSTITUÍDO DE BAMBU E FIBRA DE COCO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Processos e Fabricação.

Orientador: Prof. Dr. Ivaldo De Domenico Valarelli
Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Cristiane Inácio de Campos

Bauru
Março-2016

Dinhane, Fernanda Christiane Rossetto.

Propriedades físico-mecânicas de painéis de MDP
(*Medium Density Particleboard*) constituído de bambu e
fibra de coco / Fernanda Christiane Rossetto Dinhane,
2015

100 f.

Orientador: Prof^o. Dr^o. Ivaldo De Domenico
Valarelli

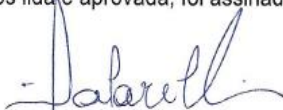
Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Cristiane Inácio de Campos

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2015

1. Painel MDP (*Medium Density Particleboard*). 2.
Bambu. 3. Resistência. I. Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado DE FERNANDA CHRISTIANE ROSSETTO DINHANE, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, DA FACULDADE DE ENGENHARIA.

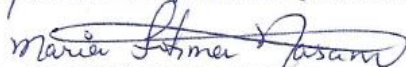
Aos 25 dias do mês de janeiro do ano de 2016, às 10:30 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-graduação da FEB, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. IVALDO DE DOMENICO VALARELLI do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru, Profa. Dra. ROSANE APARECIDA G BATTISTELLE do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Faculdade de Engenharia de Bauru, Profa. Dra. MARIA FÁTIMA DO NASCIMENTO do(a) Departamento de Engenharias de Estruturas / Universidade de São Paulo, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de FERNANDA CHRISTIANE ROSSETTO DINHANE, intitulada **PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE PAINÉIS PARTICULADOS DE MDP (MEDIUM DENSITY PARTICLEBOARD) CONSTITUÍDO DE BAMBU E FIBRA DE COCO**. Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovada. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.



Prof. Dr. IVALDO DE DOMENICO VALARELLI



Profa. Dra. ROSANE APARECIDA G BATTISTELLE



Profa. Dra. MARIA FÁTIMA DO NASCIMENTO

PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO

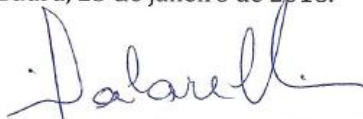
A BANCA EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DA ALUNA:
FERNANDA CHRISTIANE ROSSETTO DINHANE

DE: "PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE PAINÉIS PARTICULADOS DE MDP (MEDIUM DENSITY PARTICLEBOARD) CONSTITUÍDO DE BAMBU E FIBRA DE COCO"

PARA:

*Propriedades físico-mecânicas de painéis de
MDP (medium density particleboard) constituído de
bambu e fibra de coco*

Bauru, 25 de janeiro de 2016.



Prof. Dr. Ivaldo de Domenico Valarelli

Orientador

DADOS CURRICULARES

FERNANDA CHRISTIANE ROSSETTO DINHANE

| | |
|------------|--|
| NASCIMENTO | 01.12.1986 – Botucatu-SP |
| FILIAÇÃO | Hermínia Aparecida Rossetto Dinhane Arthur Fernandes Dinhane |
| 2005/2013 | Curso de Graduação em Engenharia Industrial Madeireira – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus Experimental de Itapeva. |
| 2013/2015 | Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado, na Faculdade de Engenharia do Campus de Bauru, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. |

Dedico a Deus, aos meus pais, ao meu irmão,
ao meu noivo, ao meu orientador, a minha co-
orientadora e aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por iluminar meu caminho, minha cabeça, minha família e meus amigos. Obrigada a Deus por ter colocado tantas pessoas boas no meu caminho.

Agradeço aos meus pais pela educação que recebi, pelo carinho que sempre tive e por me proporcionar a realização deste sonho. Agradeço a minha MÃE que para mim é uma guerreira e a minha fortaleza. Obrigada por estar sempre ao meu lado, me aconselhando, me dando bronca, eu te amo muito. Agradeço ao meu PAI que é o meu paizão. Obrigada por sempre me ouvir e me ensinar como um sorriso faz bem, para si e para os outros, eu te amo.

Agradeço ao meu IRMÃO que esteve sempre ao meu lado com muito carinho e sempre prestativo para qualquer coisa e qualquer hora, eu te amo.

Agradeço ao meu NOIVO que é o meu guerreiro. Obrigada por ser primeiramente meu amigo, e por se tornar parte da minha família. Obrigada por tantos conselhos, tantas ligações, tantos abraços e tantos beijos que me confortaram e que me acalmaram. TE AMO muito meu amor!

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Ivaldo De Doménico Vallareli que aceitou ser meu orientador e auxiliou no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a minha co-orientadora Prof^a. Dr^a. Cristiane Inácio de Campos que além de auxiliar no desenvolvimento deste trabalho foi minha parceira de congressos e amiga.

Agradeço a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) que forneceu subsídios para o aprimoramento do trabalho e que proporcionou a minha realização profissional.

Agradeço a UNESP de Bauru e a UNESP de Itapeva, que auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho, utilizando os equipamentos dos laboratórios.

Agradeço a Técnica Thais Peres Zanetine Marques do Laboratório de Anelasticidade e Biomateriais do Departamento de Física da Unesp-Bauru, por ter concedido gratuitamente o uso do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), para análise de material.

Agradeço aos meus amigos Marcus A. P. Bueno, Isabella de A. Imakawa e Gabriel A. Galdino que colaboram com o desenvolvimento deste trabalho e com a fabricação dos painéis.

Agradeço as minhas amigas Ana Claudia e Sueli Souza Leite.

Agradeço aos meus tios Marlene Rossetto e José Rossetto pelo carinho que me receberam como hospede em sua casa.

Agradeço à Fátima Abigail Tonelli pelas conversas e pelos cafezinhos.

Agradeço a todos os amigos que fiz no mestrado.

“A auto disciplina e força de vontade é mais importante para o crescimento profissional do que o intelecto aguçado”, Daniel Godri Junior.

DINHANE, F. C. R. Propriedades físico-mecânicas de painéis de MDP (*Medium Density Particleboard*) constituído de bambu e fibra de coco. 2015. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de mesquita Filho”, Bauru- SP, 2015.

RESUMO

A matéria-prima utilizada pelas indústrias de painéis é a madeira de reflorestamento, sendo de diversas espécies. Visando o aproveitamento dos resíduos agroindustriais e a melhora no desempenho físico-mecânico dos painéis, a utilização de outros materiais como o bagaço de cana, o sisal, a casca de café e a fibra de coco são algumas alternativas. Além destes materiais, o bambu destaca-se pela sua alta produtividade e pela menor quantidade de área plantada quando comparada com outras culturas, como o Eucalipto. Números que representam a quantidade de resíduos gerados, no caso da fibra de coco no Brasil são de aproximadamente 3,7 mil toneladas considerando que um fruto pesa dois quilogramas, no ano de 2014. O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades físicas e mecânicas de painéis MDP (*Medium Density Particleboard*), fabricado com três camadas, constituídos de fibra de coco e partículas de bambu, com variações nas porcentagens utilizadas de fibra de coco na camada interna do painel. Para a fabricação dos painéis utilizou-se partículas retidas em peneiramento com peneiras de 9 *mesh*, 16 *mesh*, 35 *mesh* e 60 *mesh*. Através do processamento mecânico dos materiais e da adição de adesivo poliuretano bi-componente à base de óleo de mamona foram confeccionado painéis de bambu com fibra de coco. Painéis estes constituídos de duas camadas externas de bambu e a camada interna de fibra de coco mais bambu. Em termos de porcentagem de material utilizado em um painel, 60 % representa a parte interna e o restante corresponde à parte externa, 20 % acima e 20 % abaixo da camada interna. Sendo que, as variações das porcentagens de fibra de coco na camada interna foram de 0% para o Tratamento 0-100, 10% para o Tratamento 10-90, 20% para o Tratamento 20-80 e 30% para o Tratamento 30-70. Para cada tratamento foram realizados cinco repetições, totalizando 20 painéis produzidos. As normas utilizadas como referência para avaliação físico-mecânica foram NBR 14810-2 (2013), ANSI A208.1 (1999) e CS 236-66 (1968), avaliando as propriedades físicas e mecânicas. Foram determinados o teor de umidade, densidade, inchamento em espessura 24 horas, absorção de água 24 horas, resistência à flexão estática e módulo de elasticidade, resistência à tração perpendicular e arrancamento de parafuso no topo e na superfície. O tratamento 0-100 obteve os maiores valores médios de resistência. Atendeu as especificações das três normas, exceto a CS 236-66 (1968) para o MOE. Com o objetivo da utilização da fibra de coco, o tratamento 30-70 foi o tratamento que dentre os três (tratamentos 10-90, 20-80 e 30-70) obteve os maiores valores médios de resistência, viabilizando assim o uso da fibra de coco com o bambu, para a produção de móveis e de painéis de revestimento térmico acústico que necessitam de valores mínimos de resistência.

Palavras-chave: painéis de partículas, resina de mamona, coco-da-bahia.

DINHANE, F. C. R. Physical and mechanical properties of panels MDP (Medium Density Particleboard) made of bamboo and coconut fiber. 2015. 100 f. Dissertation (Master in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do *Campus* de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru-SP, 2015.

ABSTRACT

The raw material used by panels industries is reforested wood, and of several species. Targeting the use of agro-industrial waste and the improvement in physical and mechanical performance of the panels, the use of other materials such as sugarcane bagasse, sisal, coffee husk and coir are some alternatives. In addition to these materials, bamboo stands out for its high productivity and the lower amount of planted area compared to other crops such as Eucalyptus. Numbers representing the amount of waste generated in the case of coconut fiber in Brazil are approximately 3.7 thousand tons whereas a fruit weighs two kilograms, in the year 2014. The objective of this study was to evaluate the physical and mechanical properties MDP panels (Medium Density Particleboard) made of three layers consisting of coconut and bamboo fiber particles with variations in the percentages of coconut fiber used in the inner layer panel. For the manufacture of the panels used to particulates collected in sieve with mesh sieve 9, 16 mesh, 35 mesh and 60 mesh. Through the mechanical processing of the materials and the addition of two-component polyurethane adhesive on castor oil-based panels were made with bamboo coconut fiber. These panels consisting of two outer layers of bamboo and the inner layer coconut more bamboo fiber. In terms of percentage of material used in a panel, 60% is inside, and the rest is to the outside, 20% above and 20% below the inner layer. Since the variations of the percentages of coconut fiber in the inner layer was 0% for the Treatment 0-100, 10% for the Treatment 10-90 20% 20-80 for the treatment and 30% for the Treatment 30- 70. For each treatment were performed five repetitions, totaling 20 panels produced. The standards used as reference to physical and mechanical evaluation were NBR 14810-2 (2013), ANSI A208.1 (1999) and CS 236-66 (1968), evaluating the physical and mechanical properties. They were determined moisture content, density, thickness swelling 24 hours, water absorption 24 hours, static bending strength and modulus of elasticity, internal bond and screw pullout top and bottom surface. Treatment 0-100 obtained the highest average values of resistance. Met the specifications of the three standards, except CS 236-66 (1968) to the MOE. With the goal of using coir, treatment 30-70 was the treatment of the three (treatments 10-90, 20-80 and 30-70) had the highest average values of resistance, thus enabling the use of fiber coconut with bamboo, for the production of furniture and sound insulated panels requiring minimum resistance values.

Keywords: particleboards, castor oil resin, coconut-the-bahia.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1-Fluxograma do desenvolvimento da pesquisa. | 3 |
| Figura 2-Compostos Laminados; (a) Compensado Laminado, (b) Compensado Sarrafeado. ... | 6 |
| Figura 3-Compostos de fibras; (a) Dura e (b) MDF (<i>Medium Density Fiberboard</i>). | 7 |
| Figura 4- Composto aglomerado; (a) Convencional e (b) OSB (<i>Oriented Strand Board</i>)..... | 7 |
| Figura 5- MDP (<i>Medium Density Particleboard</i>). | 9 |
| Figura 6-Tipos de distribuição de camadas para os painéis de partículas. | 9 |
| Figura 7-Gráfico da quantidade produzida de painéis particulados por continente. | 10 |
| Figura 8-Consumo per capita de MDP em cada país, no ano de 2012..... | 11 |
| Figura 9- A densidade da madeira e a densidade do painel alteram os valores de resistência á flexão estática, adaptado Iwakiri (2005). | 13 |
| Figura 10- Cadeia produtiva de painéis de madeira aglomerada..... | 17 |
| Figura 11- Bambu da espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i> | 24 |
| Figura 12-Colmo do bambu..... | 25 |
| Figura 13-O coqueiro; (a) coco, (b) fibra de coco..... | 26 |
| Figura 14- Maiores produtores de coco por região do Brasil. | 27 |
| Figura 15-Desenho esquemático das partes que compõe o coco..... | 28 |
| Figura 16- Resíduo de fibra de coco..... | 34 |
| Figura 17-Resíduos de bambu, da espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i> | 35 |
| Figura 18-Equipamentos utilizados para a geração das partículas; (a) Triturador de galhos, (b) Picador de facas e (c) Peneira eletromagnética. | 37 |
| Figura 19- Material processado; (a) pelo Triturador de galhos, (b) pelo Picador de facas. | 37 |
| Figura 20-Classificação das partículas de bambu e fibra de coco segundo a granulometria; Bambu retido na peneira: de 9 mesh (a), de 16 mesh (b), de 35 mesh (c), de 60 mesh (d);(e) Fibra de coco processado pelo picador de facas..... | 38 |
| Figura 21-As três camadas separadas em recipientes e a mistura do adesivo manualmente. ... | 39 |
| Figura 22-Montagem das camadas de forma didática. | 39 |
| Figura 23- Forma vazada para a formação do painel. | 39 |
| Figura 24- Esquema da distribuição das camadas do painel em porcentagem..... | 40 |
| Figura 25- Pré - prensa utilizada antes da prensagem a quente. | 40 |
| Figura 26- Após a pré-prensagem; (a) Vista superior do painel pré-prensado e (b) vista lateral do painel formado antes da prensagem a quente..... | 41 |
| Figura 27- (a)Prensa à quente utilizada na prensagem dos painéis; (b) e o painel formado. ... | 41 |

| | |
|---|----|
| Figura 28- Chapa de MDP composta de bambu e fibra de coco, tratamento 80-20..... | 42 |
| Figura 29- Plano de corte para a retirada dos corpos de prova e seus respectivos corpos de prova..... | 42 |
| Figura 30- Serra circular utilizada para os cortes dos corpos de prova. | 43 |
| Figura 31-Equipamentos utilizados; (a) balança digital semi-analítica e (b) estufa para secagem. | 43 |
| Figura 32-Corpos de prova submersos em água; (a) inicialmente imerso e (b) após 24 horas de imersão. | 46 |
| Figura 33- Máquina universal de ensaios utilizada para realização dos testes mecânicos..... | 47 |
| Figura 34- Ensaio de determinação da resistência à flexão estática e módulo de elasticidade. | 48 |
| Figura 35- Realização do ensaio de tração perpendicular. | 49 |
| Figura 36-Ensaio de determinação da resistência ao arrancamento de parafuso na superfície. | 50 |
| Figura 37 -Ensaio de determinação da resistência ao arrancamento de parafuso no topo. | 51 |
| Figura 38- Gráfico do teor de umidade com os valores médios e os desvios padrões para cada tratamento..... | 52 |
| Figura 39- Gráfico da densidade com os valores médios e os desvios padrões para cada tratamento..... | 53 |
| Figura 40- Gráfico de inchamento em espessura 24 horas com os valores médios e os desvios padrões para cada tratamento. | 54 |
| Figura 41- Gráfico de absorção de água 24 horas com os valores médios e os desvios padrões para cada tratamento..... | 55 |
| Figura 42- Gráfico de resistência à flexão estática (MOR) os valores médios e os desvios padrões para cada tratamento. | 57 |
| Figura 43- Gráfico de módulo de elasticidade (MOE) com os valores médios e os desvios padrões para cada tratamento. | 58 |
| Figura 44- Gráfico de resistência à tração perpendicular com os valores médios e os desvios padrões para cada tratamento. | 59 |
| Figura 45- Gráfico de resistência ao arrancamento de parafuso de topo com os valores médios e os desvios padrões para cada tratamento. | 60 |
| Figura 46- Gráfico de resistência ao arrancamento de parafuso de superfície com os valores médios e os desvios padrões para cada tratamento. | 61 |

Figura 47- Imagens de MEV da vista da borda do painel, com resolução em 50 vezes; (a) Tratamento 100-0; (b) Tratamento 90-10; (c) Tratamento 80-20; (d) Tratamento 70-30..... 65

Figura 48- Imagens de MEV da vista da borda do painel, com resolução em 150 vezes;(a) Tratamento 100-0; (b) Tratamento 90-10; (c) Tratamento 80-20; (d) Tratamento 70-30..... 65

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1- Classificação dos painéis de madeira reconstituída segundo Iwakiri (2005)..... | 5 |
| Tabela 2-Classificação dos produtos à base de madeira segundo Gonçalves (2000)..... | 8 |
| Tabela 3- Diferenças entre aglomerado convencional e MDP | 12 |
| Tabela 4- Dados taxonômicos do bambu, Adaptado de PEREIRA e BERALDO (2008). | 23 |
| Tabela 5-Distribuição dos elementos anatômico do bambu da espécie | 25 |
| Tabela 6- Maiores produtores de coco no mundo | 26 |
| Tabela 7-Dados taxonômicos do coqueiro ou coco-da-bahia..... | 27 |
| Tabela 8-Composição química da casca do coco verde produzido no Estado do Ceará. | 29 |
| Tabela 9- Valores das propriedades físico-mecânicas determinadas por Beraldo e José (2006) | 32 |
| Tabela 10- Propriedades obtidas por Bertolini (2011) para o tratamento E..... | 32 |
| Tabela 11-Composições utilizadas na camada interna para a produção dos painéis MDP de bambu e fibra de coco. | 36 |
| Tabela 12-Valores normativos indicados segundo as normas brasileira, canadense e americana para os ensaios físicos. | 52 |
| Tabela 13-Valores normativos indicados segundo as normas brasileira, canadense e americana para os ensaios mecânicos..... | 56 |
| Tabela 14– Resultados médios obtidos dos ensaios físicos, desvios padrões e as diferenças estatísticas para cada tratamento. | 62 |
| Tabela 15- Resultados médios obtidos dos ensaios mecânicos, o desvio padrão dos dados e as diferenças estatísticas para cada tratamento. | 62 |
| Tabela 16-Resumo dos ensaios classificados pelo melhor desempenho. | 64 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|--|
| MDP | <i>Medium Density Particleboard</i> |
| OSB | <i>Oriented Strandboard</i> |
| HDF | <i>Density Fiberboard</i> |
| MDF | <i>Medium Density Fiberboard</i> |
| LVL | <i>Laminated Venner Lumber</i> |
| EGP | <i>Edge Glue Panel</i> |
| PW | <i>Plywood</i> |
| BB | <i>Blockboard</i> |
| PB | <i>Fiberboard</i> |
| WB | <i>Waferboard</i> |
| PSL | <i>Parallel Strand Lumber</i> |
| OSL | <i>Oriented Strand Lumber</i> |
| IB | <i>Insulation Board</i> |
| HB | <i>Hardboard</i> |
| ABIPA | Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira |
| MOE | Módulo de Elasticidade |
| MOR | Módulo de Ruptura |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ANSI | <i>American National Standards Institute</i> |
| CS | <i>Commercial Standard</i> |
| FAO | <i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. OBJETIVOS | 4 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 5 |
| 3.1 Painéis de partículas..... | 9 |
| 3.1.1 Fatores que afetam as propriedades dos painéis de partículas | 12 |
| 3.1.1.1 Densidade | 13 |
| 3.1.1.2 Acidez..... | 14 |
| 3.1.1.3 Teor de extrativos e teor de umidade | 14 |
| 3.1.1.4 Geometria das partículas | 15 |
| 3.1.2 Processo de produção dos painéis de partículas..... | 16 |
| 3.1.3 Adesivo e adesão..... | 18 |
| 3.1.4. Matérias-primas alternativas para a produção de painéis de partículas | 20 |
| 3.1.4.1 Bambu | 21 |
| 3.1.4.2 Fibra de coco | 25 |
| 3.1.5. Painéis particulados produzidos com matérias-primas alternativas..... | 30 |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS | 34 |
| 4.1 Materiais | 34 |
| 4.2 Produção dos painéis | 35 |
| 4.2.1. Geração e classificação das partículas | 36 |
| 4.2.2. Confeção dos painéis..... | 38 |
| 4.3 Ensaio físicos..... | 44 |
| 4.3.1 Determinação da umidade | 44 |
| 4.3.2. Determinação da densidade..... | 45 |
| 4.3.3. Determinação do inchamento em espessura 24 horas e absorção de água 24 horas | 45 |
| 4.4. Ensaio Mecânicos..... | 47 |
| 4.4.1. Determinação da resistência à flexão estática e módulo de elasticidade | 48 |
| 4.4.2. Determinação da resistência à tração perpendicular | 49 |
| 4.4.3 Determinação da resistência ao arrancamento de parafuso..... | 50 |
| 4.5 Microscopia Eletrônica de varredura (MEV) | 51 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 51 |
| 5.1 Propriedades físicas | 52 |

| | | |
|-------|--|-----------|
| 5.1.1 | Determinação do teor de umidade..... | 52 |
| 5.1.2 | Determinação da densidade..... | 53 |
| 5.1.3 | Determinação do inchamento em espessura 24 horas | 54 |
| 5.1.4 | Determinação da absorção de água 24 horas | 55 |
| 5.2 | Propriedades mecânicas | 56 |
| 5.2.1 | Determinação da resistência à flexão estática e módulo de elasticidade | 56 |
| 5.2.2 | Determinação da resistência à tração perpendicular | 59 |
| 5.2.3 | Determinação da resistência ao arrancamento de parafuso..... | 60 |
| 5.3 | Análise dos resultados obtidos dos ensaios físicos e mecânicos | 61 |
| 5.4 | Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura | 64 |
| | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 66 |
| | REFERÊNCIAS | 68 |
| | APÊNDICE A | 74 |
| | APÊNDICE B..... | 79 |

1. INTRODUÇÃO

O cenário social busca no conceito de sustentabilidade ambiental um modo para fomentar projetos que diminuam os impactos providos pelo desenvolvimento industrial e o consumo exacerbado de recursos naturais. Dentre uma das vertentes deste conceito, encontra-se o destino final adequado de produtos, pois o lançamento indevido de resíduos sólidos, líquidos e gasosos de diferentes fontes, ocasiona modificações nas características do solo, da água e do ar, podendo poluir ou contaminar o meio ambiente.

Uma das soluções proposta para o destino adequado dos resíduos é transformá-los em matéria-prima para a fabricação de outros produtos. O desenvolvimento de novos materiais surge como uma proposta promissora especialmente com o uso racional, procurando agregar materiais sustentáveis e, ainda utilizando resíduos agroindustriais.

Um exemplo de resíduo agroindustrial brasileiro é a casca de coco verde. Sendo o consumo de coco estimado no mercado brasileiro de 62 % de coco seco e 38 % coco verde (SILVEIRA, 2008). Segundo dados do IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a LSPA-Levantamento Sistemático da Produção Agrícola-(2015) em 2014 apresentou que o Brasil possuía uma área de plantação de coco de 242.093 hectares sendo a produção de 1.848.319 frutos, obtendo um rendimento de 7.635 frutos/hectares. Desta produção 73,13 % encontra-se no nordeste e a Bahia é o Estado brasileiro que mais produz coco.

No mundo, cerca de 80 % de coqueiro situa-se na Ásia e o restante distribuído entre África e América Latina, Oceania e Caribe. A Indonésia é destacada como o maior produtor mundial de coco, seguida por Filipinas, Índia e em quarto lugar o Brasil, segundo o IBGE (2015) no ano de 2013.

Mas as pesquisas e soluções para o aproveitamento da casca de coco estão avançadas e as alternativas são muitas. Entre os projetos de pesquisa realizados pela Embrapa Agroindústria Tropical, o intitulado “Alternativas de aproveitamento da casca de coco verde”, financiado pelo Banco do Nordeste do Brasil, estima que 70% do lixo recolhido nas praias brasileiras são compostos de cascas de coco verde, cascas que representam até 80% do peso final do fruto (A LAVOURA, 2012).

Produtos constituídos de resíduos viabilizam as construções de baixo custo e durabilidade compatível com outros materiais de mesma aplicação, sendo uma forma de agregar valor ao subproduto, antes considerado resíduo. E o desenvolvimento de novos materiais, os compósitos, que no Brasil e nos países Europeus possuem ampla aplicação e

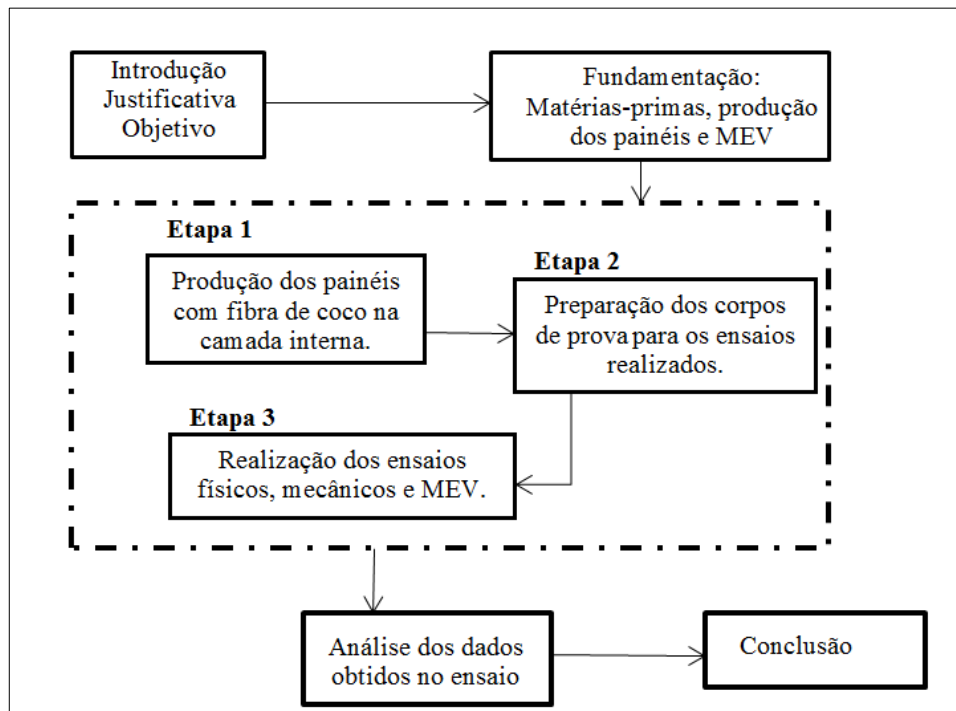
comercialização destes produtos constituídos geralmente de fibras naturais, proporciona o *marketing* sustentável destes produtos.

Como solução para a problemática do aproveitamento dos resíduos agroindustriais, como a fibra do coco, pesquisadores desenvolveram produtos com a casca de coco verde, como por exemplo, o “coxim” (xaxim), substrato agrícola, alternativa na substituição de fibras sintéticas, fibrocimento ou fibroconcreto, bioplástico, brinquetes e vasos para plantas. E o bambu, sendo outra fibra natural, está inserido em muitos produtos que valorizam este material. Caracterizado pela sua alta produtividade em menor área quando comparada com as áreas de reflorestamento. O bambu é um material utilizado, na sua grande maioria, na fabricação de objetos de decoração e móveis (artesanal), instrumentos musicais, confecção de roupas, e na indústria de papel e celulose. E na construção civil é utilizado em países que este material é necessário para edificações à prova de terremotos, como na China, ou em países que está mais difundido culturalmente, como no Japão. O desenvolvimento de bioconstruções propicia a utilização deste material, que visa não agredir o ambiente de entorno e beneficia a responsabilidade ambiental com o máximo aproveitamento dos recursos disponíveis com o mínimo de impacto ambiental.

Neste trabalho, a delimitação pode ser descrita por um compósito constituído de fibra de coco, bambu e adesivo poliuretano bi-componente à base de óleo de mamona obtendo assim um painel de bambu. A avaliação das propriedades física e mecânicas desse painel segundo a norma (NBR 14810-2: 2013- Painéis de partículas de média densidade) proporcionam um material resistente, com alto potencial de comercialização e sustentabilidade. Esta norma é utilizada geralmente para painéis constituídos de madeira, mas este trabalho explora o aproveitamento do resíduo agroindustrial, como a fibra de coco na constituição do painel de bambu. Fibra esta da espécie *Cocos nucifera*, com produção estimada de 11,6 milhões de hectares em 86 países (SIQUEIRA *et al.*, 2002). E o bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*, como um substituto da madeira, pois com o rápido crescimento, cerca de 94 cm por dia, incentivam o seu plantio e posterior utilização, em construções residências e para decoração.

Este trabalho experimental foi desenvolvido conforme o fluxograma apresentado na Figura 1.

Figura 1-Fluxograma do desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: Autor.

No Capítulo 1, apresentou-se a introdução e justificativas da realização dessa pesquisa.

No Capítulo 2, o objetivo principal e os específicos foram apresentados.

No Capítulo 3, foi explanado a revisão bibliográfica do processo produtivo industrial do painel, das matérias-primas utilizadas (como o bambu, a fibra de coco e o adesivo bi-componente à base de mamona) e os resultados de outros estudos desenvolvidos.

No Capítulo 4, foi apresentado a descrição da fabricação dos painéis e dos ensaios realizados.

No Capítulo 5, os dados foram analisados e comparados com os valores normativos.

E, por fim foram desenvolvidas as considerações finais desta pesquisa, as referências bibliográficas utilizadas foram citadas e os apêndices A e B com as análises estatísticas e as tabelas com os resultados.

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo principal, produzir e caracterizar painéis MDP (*Medium Density Particleboard*) compostos por partículas de bambu e de fibras de coco utilizando adesivo poliuretano bi-componentes à base de óleo de mamona.

O painel MDP estudado foi composto por partículas de bambu nas camadas externas, e a camada interna foi composto por bambu e adição de fibras de coco em diferentes porcentagens.

Os objetivos específicos foram:

- Produzir painéis MDP de três camadas, com 0%, 10%, 20% e 30% em massa de partículas de fibra de coco na camada interna;
- Realizar os ensaios físicos e mecânicos para a determinação das propriedades dos painéis de partículas produzidos;
- Realizar análise estatística para avaliar a diferença significativa ou não entre os grupos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O desenvolvimento de materiais à base de madeira existe desde a segunda guerra mundial, ocorrendo assim a substituição de madeira maciça por painéis à base de madeira utilizando espécies de reflorestamento. A necessidade de utilizar “pedaços” de madeira ocorreu após a dificuldade de encontrar árvores de madeiras de diâmetros significativos, surgindo os painéis de madeira.

Esta dificuldade fomentou o surgimento dos painéis de madeira que auxiliou na redução da anisotropia, de defeitos naturais, do limitante das dimensões dos painéis e da instabilidade dimensional da madeira maciça, ocorre um aumento nas propriedades isolantes, térmicas e acústica, obtem assim a oportunidade do desenvolvimento de novos materiais, utilizando lâminas, partículas ou fibras de madeira. Segundo Iwakiri (2005) as classificações dos painéis de madeira reconstituída estão em dois grupos principais, como apresentado na Tabela 1.

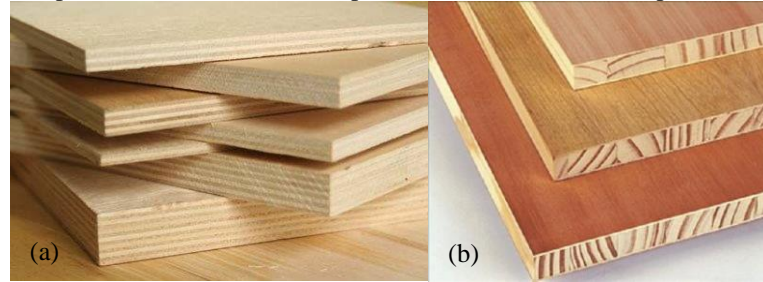
Tabela 1- Classificação dos painéis de madeira reconstituída segundo Iwakiri (2005).

| | |
|----------------------------------|--|
| <u>Compostos laminados</u> | |
| Laminado (<i>LVL</i>) | |
| Sarrafeado (<i>Blockboard</i>) | |
| <u>Compostos particulados</u> | |
| Minerais | |
| | <i>Flake</i> |
| | <i>Excelsior</i> |
| Fibras | |
| | Dura |
| | MDF (<i>Medium Density Fiberboard</i>) |
| | HDF (<i>Hardboard</i>) |
| | Isolante |
| Aglomerados | |
| | Convencional |
| | <i>Fineboard</i> |
| | <i>Waferboard</i> |
| | OSB (<i>Oriented Strand Board</i>). |

Os compostos laminados utilizam lâminas de madeira para a sua composição. Um exemplo do compensado laminado é o compensado multilaminado, formado por lâminas de madeira sobrepostas em número ímpar de camadas, formando um ângulo de 90° entre as camadas adjacentes (Figura 2 (a)). Outro exemplo de laminados são os LVL (*Laminated Venner Lumber*) com o miolo formado por painéis de lâminas paralelas, seccionados no

sentido longitudinal, e viradas em ângulos de 90°, e por fim com lâminas de madeira nas faces do painel. E o compensado sarrafeado (*Blockboard*) é formado por um miolo de sarrafos e as faces com lâminas de madeira (Figura 2 (b)). Outros exemplos de sarrafeado são: painel de lâminas paralelas (*Lamyboard*), painel de colagem lateral (*Edge Glued Panel-EGP*) e o *THREE-PLY* (IWAKIRI, 2005).

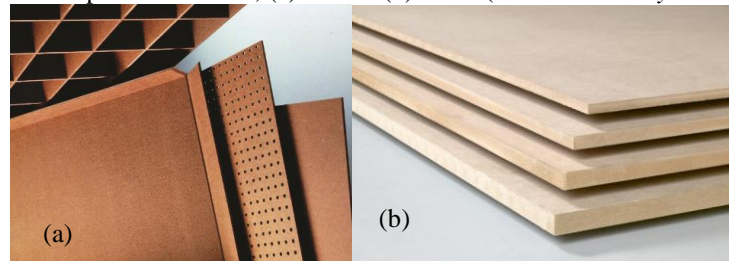
Figura 2-Compostos Laminados; (a) Compensado Laminado, (b) Compensado Sarrafeado.



Fonte: www.marcenariahelfstein.com.br Fonte: www.club33.com.br

Os compostos particulados, como o próprio nome sugere, utilizam partículas de madeira de diferentes granulometrias e associadas a outros materiais. Os compostos de minerais são semelhantes aos aglomerados, constituídos de partículas ou fibras de biomassa vegetal, água, aditivos e aglomerantes. Aglomerantes estes, de origem mineral, que diferem dos aglomerantes dos painéis de aglomerado de origem orgânica. Os compostos de fibras são constituídos de fibras de madeira encoladas com resina, e consolidadas em prensagem a quente. A individualização das fibras e a disposição aleatória das fibras ao plano do painel no processo produtivo proporciona grandes vantagens em termos de homogeneidade das propriedades do painel. O painel de fibras dura (*Hardboard*) de alta densidade, é formado por fibras de madeira encoladas com resina fenol-formaldeído e consolidado a prensagem à quente obtendo assim um painel com espessura fina e homogênea (Figura 3 (a)). O MDF (*Medium Density Fiberboard*) é um painel de fibras de média densidade formado por fibras de madeira encoladas normalmente com resina uréia-formaldeído e consolidados através de prensagem à quente (Figura 3 (b)). O painel de fibras isolantes (*Insulation Board*) de baixa densidade, formado por fibras de madeira com ligação primária derivada do interempastamento das fibras e de suas inerentes propriedades adesivas (IWAKIRI, 2005).

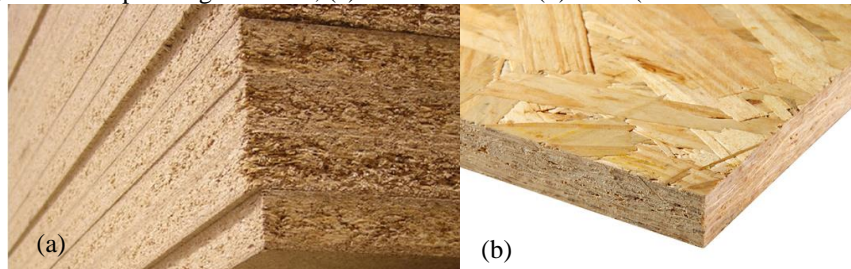
Figura 3-Compostos de fibras; (a) Dura e (b) MDF (*Medium Density Fiberboard*).



Fonte: www.durafloor.com.br. Fonte: www.marcenariahelfstein.com.br.

Os compostos aglomerados são formados por partículas de diferentes dimensões e com diferentes tipos de distribuições das camadas. O aglomerado convencional é formado por partículas de madeira encoladas normalmente com resina uréia-formaldeído, com distribuição aleatória das partículas e consolidado através de prensagem a quente (Figura 4 (a)). O *Waferboard*, painel de uso estrutural, é formado por partículas maiores de formatos quadrado ou ligeiramente retangular, encoladas com resina fenol-formaldeído, com distribuição aleatória das partículas e consolidado através de prensagem à quente. O OSB (*Oriented Strand Board*), também é um painel estrutural, é formado por partículas longas de formato retangular, encoladas com resinas fenol-formaldeído e/ou isocianato e uréia, orientadas na mesma direção, consolidado através de prensagem a quente (Figura 4 (b)). Outros exemplos de painéis aglomerados são: o *COM-PLY lumber* e o *Parallel Strand Lumber (PSL-Parallam)*, descrito em Iwakiri (2005).

Figura 4- Composto aglomerado; (a) Convencional e (b) OSB (*Oriented Strand Board*).



Fonte: www.marcenariahelfstein.com.br. Fonte: www.arquidicas.com.br.

Os painéis de madeira aglomerada, segundo Iwakiri (2005), podem ser classificados com base na densidade, tipos de partículas e sua distribuição. Com relação à densidade divide-se em três: baixa (até $0,59 \text{ g/cm}^3$), média (de $0,59 \text{ g/cm}^3$ a $0,80 \text{ g/cm}^3$) e alta (acima de $0,80 \text{ g/cm}^3$). Os tipos de partículas são divididos em quatro: *sliver* (para aglomerado convencional), *flake* (*Flakeboard*), *wafer* (*Waferboard*) e *strand* (*Strandboard*). Segundo a distribuição das partículas no painel são divididas em homogêneas, múltiplas camadas, graduadas e partículas orientadas. Painel aglomerado que recentemente chamando de MDP (*Medium Density Particleboard*) ganha visibilidade e mercado, principalmente na produção

de móveis. Com base nas classificações de painéis de madeira aglomerado, citadas anteriormente, a definição de MDP está adequada para um painel de média densidade e de partículas do tipo *sliver*. Sendo que a distribuição das partículas é influenciada pelos equipamentos utilizados na fabricação.

Com relação à comercialização dos painéis de MDP, MDF e HDF, em 2010, representaram 78% da produção de painéis no Brasil (VITAL e HORA, 2011). Em termos econômicos o MDP e o MDF são os produtos de maior representatividade, entretanto o MDP se destaca na escala mundial. É o painel mais produzido e consumido no mundo (BIAZUS *et al.* 2010). Segundo a ABIPA (2010) no Brasil aproximadamente 2,5 milhões de m³ são consumo interno.

As chapas à base de madeira podem ser classificadas segundo aspectos técnicos, como por exemplo, Youngquist (1988) classifica utilizando informações múltiplas segundo a densidade, o processo e a matéria prima. E Gonçalves (2000) classifica os produtos à base de madeira em função da forma da matéria-prima utilizada na fabricação dos painéis e das peças.

Sendo as matérias-primas mais comuns as lâminas, as partículas e as fibras de madeira. Na Tabela 2 estão apresentados os painéis segundo Gonçalves (2000) e as respectivas siglas adotadas na língua inglesa.

Tabela 2-Classificação dos produtos à base de madeira segundo Gonçalves (2000).

| <u>LÂMINAS</u> |
|-------------------------------------|
| Chapa de madeira compensada (PW) |
| Chapa de madeira sarrafeada (BB) |
| Peça micro-lâmina (LVL) |
| <u>PARTÍCULAS</u> |
| Chapa de madeira aglomerada (PB) |
| Chapa de flocos orientados (OSB) |
| Chapa de flocos não-orientados (WB) |
| Peça de ripas paralelas (PSL) |
| Peças de flocos orientados (OSL) |
| <u>FIBRAS</u> |
| Chapa isolante (IB) |
| Chapa dura (HB) |
| Chapa de média densidade (MDF) |

Quando avaliado o setor de painéis de madeira industrializada (MDP, MDF, chapa dura, OSB, *waferboard* e outros), a Associação Brasileira de Produtores de Floresta- ABRAF (2012) apresenta os principais destinos para exportação brasileira são os Estados Unidos da América, México, Bolívia, Argentina e Jamaica. E o Brasil produz e consome aproximadamente 7,3 milhões de m³ e 7,2 milhões de m³ respectivamente.

3.1 Painéis de partículas

Painéis de partículas podem ser definidos como sendo um painel produzido com material lignocelulósico, geralmente madeira, na forma de partículas, combinado com uma resina sintética ou outro ligante adequado e unidos sob temperatura e pressão em uma prensa aquecida, por um processo no qual toda a ligação entre as partículas é criada pela resina adicionada (MALONEY, 1993). É um material isotrópico no plano do painel, no entanto, pode apresentar valores de resistência na direção paralela à formação do colchão cerca de 10% superiores aos da direção perpendicular (MACHADO, 2005).

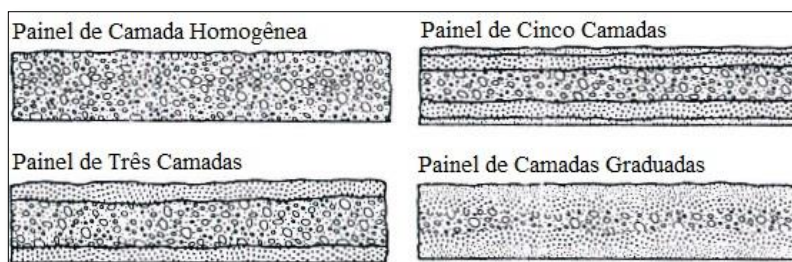
Sendo o MDP um painel de partículas, pode ser definido segundo a NBR 14.810-2 (2013) como um painel com densidade entre 551 Kg/m³ e 750 Kg/m³ constituídas de partículas de madeira aglutinadas com resina sintética termofixa, que se consolidam sob ação conjunta de calor e pressão (Figura 5). Na Figura 6 está a distribuição de camadas para diferentes painéis de partículas, podendo assim ilustrar a distribuição das camadas para um painel de MDP.

Figura 5- MDP (*Medium Density Particleboard*).



Fonte: www.madeireirabh.com.

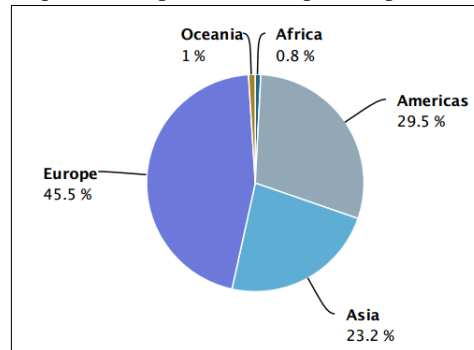
Figura 6-Tipos de distribuição de camadas para os painéis de partículas.



Fonte: Adaptado de Moslemi (1974).

Com relação aos valores de produtividade mundial a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação-FAO (2015), apresenta na Figura 7 as porcentagens de produção de painéis particulados por continente, sendo que a maior produção foi na Europa com 45,22 milhões de m³, em 2013.

Figura 7-Gráfico da quantidade produzida de painéis particulados por continente.



Fonte: FAO (2015).

Os cinco maiores países produtores de painéis particulados e seus valores médios de produção, descritos na FAO (2015) para o ano de 2013, são:

- Estados Unidos da América (15,19 milhões de m³);
- China (12,33 milhões de m³);
- China continental (12,25 milhões de m³);
- Canadá (7,96 milhões de m³);
- Alemanha (6,81 milhões de m³).

A produção de painéis particulados no Brasil em 2013 foi de 3,8 milhões de m³, dados obtidos pela FAO (2015). Com uma diferença insignificante entre os valores, o país que mais exporta painéis de partículas e o que mais importa são respectivamente Canadá e os Estados Unidos, dados da FAO (2015) em 2013.

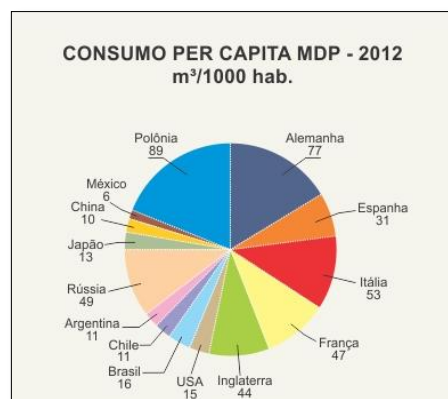
Com relação à produção de resíduos de madeira, dados da FAO (2015) em 2013 retratam que a China ocupou o primeiro lugar neste ranking (produzindo em média 82 milhões de m³). China que é um país populoso e com alta produção de painéis instalada pode explicar a quantidade de resíduos de madeira gerados. O Brasil ocupou o terceiro lugar entre os maiores geradores de resíduos de madeira (produzindo em média 17,19 milhões de m³).

Em contraponto segundo a “*Composite Panel Association*” (CPA), a engenharia auxilia em algumas linhas de produção obtendo um aproveitamento quase que total das toras, cerca de 95% de uma tora usada na produção de MDF e chapas de madeira aglomerada (GONÇALVES, 2000).

Estes painéis são consumidos principalmente pela indústria moveleira, entretanto são utilizados na construção civil, como por exemplo os pisos residenciais, vigamento de telhados, divisórias, degraus de escadas e como soalhos para casas (GONÇALVES, 2000).

Segundo ABIPA (2015a), para a aplicação doméstica do MDP, produzidos no Brasil, cerca de 95% foram para a indústria de móveis, em 2012. O Brasil possui dez indústrias que fabricam painéis de MDP sendo distribuídas nos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (ABIPA, 2009). Em 2012, Polônia, Alemanha e Rússia foram os três países com maior consumo per capita de MDP, sendo o Brasil em oitavo lugar (Figura 8). Este consumo pode ser atribuído por algumas vantagens que o painel desempenha quando comparado com a madeira serrada. Iwakiri (2005) apresenta como, por exemplo, a eliminação dos efeitos da anisotropia, a resistência do painel no sentido da largura e do comprimento é similar, a eliminação de fatores de formação da árvore (nós, grã reversa, lenhos juvenil e adulto, entre outros) e principalmente o controle das propriedades físico-mecânicas (por meio das variáveis de processo, como a resina, a geometria das partículas e o grau de densificação).

Figura 8-Consumo per capita de MDP em cada país, no ano de 2012.



Fonte: EPF/ABIPA.

Segundo Iwakiri (2015), quando comparado algumas especificações entre painéis de aglomerado convencional e de MDP notam-se diferenças como apresentado na Tabela 3. E apresenta maior número de vantagens para o MDP, sendo algumas características do processo

produtivo que melhora sua eficiência e do produto final que resulta em valores de resistência superiores.

Tabela 3- Diferenças entre aglomerado convencional e MDP.

| Especificações | Aglomerado convencional | MDP |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
| PRENSA | ciclo | contínua |
| FORMAÇÃO | Má distribuição camadas | Distribuição perfeita camadas (baixo empenamento) |
| DENSIDADE DA CAMADA EXTERNA | 800 kg/m ³ | Maior > 950 kg/cm ³ (menor absorção umidade e economia de tintas) |
| VARIAÇÃO DE ESPESSURA | 03 mm | 0,1 mm |
| DENSIDADE MÉDIA | 710 kg/m ³ | 650 kg/m ³ (painel mais leve e excelente fechamento de borda) |
| TRACÇÃO | 3,5 kg/cm ² | 5,5 kg/cm ² |
| RESISTÊNCIA DA CAMADA EXTERNA | 11 kgf/cm ² | 14 kgf/cm ² |
| CAMADA EXTERNA | Menor quantidade de partículas finas | Maior quantidade de partículas finas |
| ABSORÇÃO DE ÁGUA | alta | baixa |

Fonte: Iwakiri (2015).

3.1.1 Fatores que afetam as propriedades dos painéis de partículas

Segundo Moslemi (1974), Maloney (1977) *apud* Bertolini (2011), os painéis de partículas são influenciados por algumas características como:

- A qualidade da madeira a ser empregada, sendo que algumas características podem influenciar no produto final como a densidade, a quantidade de extrativos, a quantidade de nós, a espécie, a acidez e outros.

A densidade do material a ser utilizado na produção do painel irá influenciar a densidade do painel e conseqüentemente a sua razão de compactação e a resistência à flexão estática. O valor mínimo da razão de compactação, entre o valor da densidade do painel e a densidade da madeira utilizada, de um painel de madeira aglomerada é de 1,3 (IWAKIRI, 2005).

- A qualidade e a quantidade dos adesivos e aditivos.

Para aplicações mais específicas dos painéis necessita-se da adição de alguns produtos como retardantes de fogo, emulsão de parafina e preservantes contra fungos e insetos.

- As características do processo produtivo como a geometria e as dimensões das partículas, a umidade e a distribuição das partículas são fundamentais para a produção de painéis com durabilidade mínima exigida, dependendo do seu uso final.

3.1.1.1 Densidade

O parâmetro de densidade é essencial, pois influenciará nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis. Desse modo, painéis fabricados com partículas de baixa densidade envolve menos custo de operação do que partículas de alta densidade, como o aumento da temperatura de prensagem. Partículas de madeira de menor densidade podem produzir painéis de média densidade com as propriedades físicas e mecânicas desejadas. Mas isto pode ser solucionado com a mistura de madeiras de baixa e alta densidade, possibilitando produzir painéis de média densidade com propriedades mínimas exigidas em norma. (MALONEY, 1993).

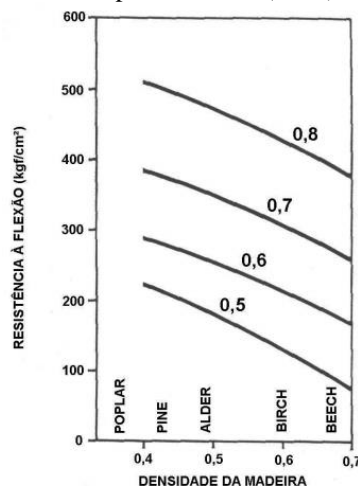
Para obter melhor desempenho nos painéis fabricados, a adesão satisfatória do adesivo na madeira pode ser afetada pela densidade da madeira. Densidade alta da madeira caracteriza pela baixa porosidade podendo resultar em dificuldade de penetração do adesivo em questão, ocorrendo o inverso desta situação quando a madeira apresentar baixa densidade.

Madeiras de alta densidade apresentam maiores alterações dimensionais causadas pelas alterações do volume de água interna (IWAKIRI, 2005).

A densidade da madeira influencia na determinação da razão de compactação que é a razão entre a densidade do painel e a densidade da madeira, sendo exigido o valor mínimo de 1,3 para painéis aglomerados para que ocorra a densificação necessária para formação do painel.

A densidade da madeira e a densidade do painel alteram os valores de resistência à flexão estática como apresentado na Figura 9. Madeiras de baixa densidade podem constituir painéis de alta, proporcionando alta resistência à flexão estática utilizando um adesivo resistente na proporção satisfatória (IWAKIRI, 2005).

Figura 9- A densidade da madeira e a densidade do painel alteram os valores de resistência à flexão estática, adaptado Iwakiri (2005).



3.1.1.2 Acidez

A acidez é medida através do pH, o qual mede o nível específico de atividade ácida da madeira sob determinadas condições e também através da capacidade tampão, a qual mede a resistência da madeira à mudança do nível de pH (MALONEY, 1993). O maior problema ocorre em madeiras que possuem alteração inconstante e rápida do nível de pH, necessitando de uma variação do nível do catalisador de acordo com o nível de pH atingido durante o processo, o que acaba se tornando um problema a ser controlado no processo produtivo (IRLE, 2012).

O pH da madeira e da resina devem ser verificados para a posterior colagem, pois o pH da resina não deve ultrapassar a faixa de 2,5 a 11 podendo ocorrer degradação das fibras de madeira e um pH muito baixo provoca a formação de espuma excessiva (IWAKIRI, 2005).

Uma madeira de alta acidez pode provocar a pré-cura da resina ureia-formaldeído, que cura em meio ácido, durante a prensagem dos painéis, comprometendo a qualidade de colagem entre partículas (IWAKIRI, 2005).

3.1.1.3 Teor de extrativos e teor de umidade

A quantidade de extrativos na madeira depende da espécie e entre espécies. A quantidade de extrativos presentes na madeira é de aproximadamente 5% a 30%, sendo eles taninos, corantes, óleos essenciais, graxos, materiais voláteis, resinas, ceras, amido, gomas e substâncias nutrientes. Materiais voláteis presentes nos painéis durante a prensagem a quente podem surgir problemas de “bolhas” e de delaminação do painel (IWAKIRI, 2005).

Os extrativos podem interferir nas propriedades dos painéis de madeira, pois as substâncias que os constituem podem afetar a cura da resina ou a quantidade de resina a ser consumida (WEBER, 2011). Conforme Moslemi (1974) e Kollmann; Kenzi e Stamm (1975) o elevado teor de extrativos pode reduzir consideravelmente a resistência à adesão interna, no entanto, pode também proporcionar um relativo aumento na resistência a umidade.

O controle do teor de umidade das partículas deve ser avaliando antes da produção do painel. Após a fabricação do painel ele será prensado, podendo então ocasionar bolhas e até mesmo explosões nestes painéis ocasionadas pela liberação de vapores de água (MOSLEMI, 1974 *apud* BERTOLINI, 2011).

Extrativos que constituem uma proporção média de aproximadamente 1% a 10% e 0,1% a 0,5% de cinzas (IWAKIRI, 2005).

3.1.1.4 Geometria das partículas

Uma das características principais no desempenho do compósito, em termos de reforço e tensão, é o tamanho das partículas. As propriedades mecânicas dos compósitos de fibras vegetais dependem de alguns fatores, tais como a fração volumétrica, a distribuição e orientação das fibras/matriz e a composição química da matriz polimérica. As resinas termorrígidas (sob a ação do calor sofrem um processo de cura) mais utilizadas nestes compósitos são as fenólicas, epóxi e poliamida (FRANCO, 2010).

Segundo Michaque (1992), a geometria das partículas é um dos principais fatores a ser levado em consideração na produção das painéis de madeira aglomerada. Alterada a geometria das partículas, é necessário ajustar outras variáveis do processo, como a quantidade de adesivo. Haselein *et al.* (2001), Peixoto; Brito (2000) e Hillig (2000) desenvolveram trabalhos que verificam o desempenho dos painéis alterando as dimensões das partículas (geometria e granulometria), que influenciam outras variáveis do processo de produção como a quantidade de adesivo empregada.

Considerando exclusivamente o tamanho das partículas, Moslemi (1974) e Maloney (1993) afirmaram que partículas menores, devido à maior área superficial requerem maior consumo de resina. Portanto, partículas maiores apresentam menor área superficial e, conseqüentemente, maior é a distribuição de resina (WEBER, 2011). Painéis fabricados com partículas curtas e espessas aumentam a resistência à tração perpendicular (VITAL *et al* 1992).

A classificação das partículas é apresentada por Dacosta (2004) em dois métodos: de corrente de ar, não usual, e peneiramento, mais comum. A separação das partículas tem como objetivo aumentar a resistência do painel, em três camadas alocando as mais alongadas na região interna do painel melhorando o MOE e as menores na região externa do painel para obter melhor acabamento superficial (MICHAQUE, 1992)

Os dados obtidos por Michaque (1992) apresentaram que os valores do MOE e do MOR tiveram uma tendência de aumentarem, com o aumento do comprimento das partículas e redução da espessura.

Albuquerque (2002) afirma que os painéis de partículas finas apresentam-se como uma opção interessante para o mercado, visto que não houve a necessidade de aumento do teor de resina, além de se comportarem de forma mais estável e homogênea que os painéis de partículas grossas.

3.1.2 Processo de produção industrial dos painéis de partículas

O processo produtivo de painéis de madeira aglomerada, segundo Iwakiri (2005), envolve as seguintes etapas:

➤ Geração de partículas: O teor de umidade da madeira e a quantidade de cascas influenciam a geração das partículas. O processamento é dividido em redução primária (cavaco) e secundária (transformação de cavacos em partículas), sendo por exemplo utilizados respectivamente o picador de cilindro e o moinho de martelo.

➤ Secagem das partículas: Industrialmente as partículas devem ser secas ao teor de umidade de 3%. O controle da secagem é de suma importância, pois influenciará na cura da resina, no tempo de prensagem e na pressão de consolidação do colchão de partículas (obtido a espessura especificada). Prevenindo assim a possibilidade de incêndios e explosões na prensagem a quente. Equipamentos utilizados são secadores do tipo tambor rotativo, como por exemplo.

➤ Classificação das partículas: Geralmente utilizam-se peneiras vibratórias para melhor classificação das partículas nas dimensões especificadas.

➤ Aplicação de adesivo e de aditivos químicos: O custo relativo desta etapa é alto, portanto os fatores que afetam o desempenho da resistência dos painéis fabricados são: o controle da quantidade do adesivo a ser aplicado e a forma de distribuição (homogênea).

➤ Formação do colchão: Esta etapa consiste na deposição de partículas impregnadas de adesivo sobre uma esteira móvel, em quantidade pré-determinada para obter um painel com densidade e espessura estabelecidas inicialmente. O equipamento utilizado é denominado de estação formadora, que dosa a quantidade necessária do material a ser distribuído na esteira móvel. Esta estação pode ser contínua ou descontínua, sendo a contínua a mais utilizada. E com distribuição aleatória das partículas, podendo ser homogênea, multicamadas ou camadas graduadas. O sistema de deposição podem ser de quatro fontes, como por exemplo.

➤ Pré-prensagem: Realizada para auxiliar a prensagem a quente, pois reduz seu volume e a quantidade de vazios.

➤ Prensagem a quente: Esta proporciona a cura da resina, densificação e consolidação do colchão (até a espessura final do painel). Parâmetros do ciclo de prensagem são: valor da pressão (12 Kgf/cm² a 40 Kgf/cm²), da temperatura (depende do tipo de resina uréia formaldeído em torno de 190°C), do tempo de fechamento da prensa e tempo de

prensagem (genericamente, em torno de 6 segundos a 12 segundos). Os tipos de prensas são de pratos múltiplos, contínua plana ou de calandra.

➤ Resfriamento/condicionamento: Os painéis são colocados em um sistema de garfos giratórios para um período de resfriamento. Após o término deste resfriamento os painéis são empilhados por um período mínimo de 48 horas para climatização, sendo temperatura e umidade de equilíbrio com o ambiente.

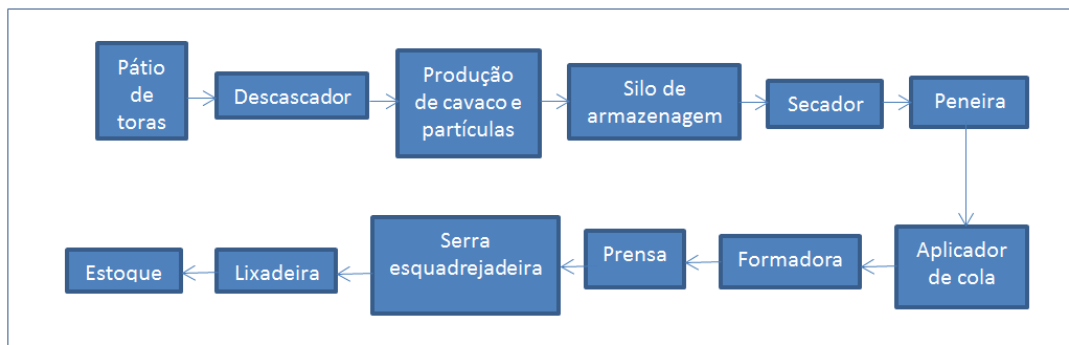
➤ Acabamento: Os painéis são esquadrejados nas dimensões de largura e comprimento solicitadas comercialmente. Os equipamentos que realizam este processo produtivo são automatizados e de alta produtividade. Em um sistema de prensas contínuas, sendo contínuo e integrado à movimentação do painel, o esquadrejamento é realizado logo após a prensagem. Para conferir melhor acabamento superficial dos painéis com a última etapa do processo de produção o lixamento. Padronizando a espessura e proporcionando uma superfície adequada para a posterior aplicação ou não de um revestimento. O tipo de revestimento empregado irá influenciar sua utilização final, para móveis em ambientes internos ou externos.

➤ Classificação: As dimensões dos painéis e seus revestimentos. Classificação de qualidade: painéis com ou sem defeitos visuais para a posterior etapa de armazenamento.

➤ Embalagem e armazenamento: Esta etapa deve ser realizada com muita cautela. A forma adequada de embalar o produto final proporcionará a chegada ao seu destino sem defeitos de quebras das bordas, empenamentos e defeitos na superfície dos painéis.

Em resumo, a cadeia produtiva de painéis de madeira aglomerada pode ser apresentada como um fluxograma na Figura 10.

Figura 10- Cadeia produtiva de painéis de madeira aglomerada.



Fonte: Autor.

3.1.3 Adesivo e adesão

O surgimento da fabricação do primeiro adesivo animal foi na Holanda em 1690, e posteriormente na Grã Bretanha e nos Estados Unidos (TSOUMIS, 1991).

A produção de adesivos foi fomentada pela necessidade de aderir lâminas de madeira e partículas de madeira para a produção e o desenvolvimento dos painéis de madeira. Para compreender a colagem de madeira é necessário conhecer a definição de adesivo, aderência ou substrato e adesão. Adesivo consiste em uma substância com capacidade de manter unidos outros materiais em suas superfícies. Substrato termo este utilizado para sólidos unidos por adesivos, tais como a madeira. Adesão é um fenômeno físico-químico que prevê um mecanismo de interação entre superfícies sólidas e uma segunda fase, que consiste de partículas individuais como moléculas, pequenas gotas, pó ou ainda de uma película contínua, líquida ou sólida (IWAKIRI, 2005).

Quatro fatores influenciam na colagem de madeiras como as características físico-químicas do adesivo, procedimentos realizados na colagem, composição e características da madeira e as condições de uso do produto colado, segundo Iwakiri (2005). As características físico-químicas do adesivo são compreendidas pela viscosidade, tempo de gelatinização (gel time), teor de substâncias sólidas e o pH. Adesivo com alta viscosidade acarretará na menor penetração do adesivo, condições de umectação desfavoráveis e dificuldade de espalhamento. O “gel-time” está relacionado à vida útil do adesivo, sendo o ponto máximo de viscosidade do adesivo para a posterior aplicação. O tempo de prensagem é influenciado pela reatividade do adesivo, se o “gel-time” será duradouro ou não. Com o aumento da temperatura ocorrerá aumento da reatividade do adesivo ocasionando a redução do “gel-time”. Teor de substâncias sólidas depende do tipo de resina, sendo que as resinas são compostas de componentes sólidos e líquidos voláteis constituídos de solventes orgânicos. Procedimentos realizados na colagem são apresentados como a prévia formulação e quantidade de adesivo necessária e os parâmetros do ciclo de prensagem.

A composição e características da madeira estão compreendidas nas propriedades anatômicas, físicas, químicas e mecânicas. As propriedades anatômicas influenciam diretamente na “ancoragem” do adesivo para o interior da madeira, sendo os anéis de crescimento, cerne e alburno, idade da árvore, lenhos de reação, grã e porosidade. As propriedades físicas que afetam a colagem são a densidade e o conteúdo de umidade. As madeiras de baixa densidade podem absorvem maior quantidade de adesivo e madeiras de alta densidade podem gerar tensões na linha de cola. O conteúdo de umidade influencia no

desempenho da ligação madeira e adesivo, que quanto menor o conteúdo de umidade da madeira maior será a velocidade de cura do adesivo. As propriedades químicas da madeira afetam a colagem por três fatores: os extrativos, o pH e o teor de cinzas. As propriedades mecânicas que afetam a colagem são definidas pelas tensões externas e internas na linha de cola (IWAKIRI, 2005).

As condições de uso são de importância fundamental para a escolha do tipo de adesivo, conforme as condições ambientais do local. Os adesivos para colagem de madeira são três, os naturais, os sintéticos termoplásticos e os sintéticos termoendurecedores (termofixos). Adesivos naturais: derivados protéicos de origem natural (glutina, caseína e albumina do sangue), derivados protéicos de origem vegetal (mamona, soja), derivados de amido, éter celulósico e borracha natural. Os adesivos sintéticos termoplásticos: polivinil/acetato, polivinil/acrilato, polietileno, poliestireno e borracha sintética. E os adesivos sintéticos termofixos: uréia-formaldeído, melamina-formaldeído, fenol-formaldeído, resorcina-formaldeído, tanino-formaldeído, licor sulfito e isocianato. Os adesivos utilizados industrialmente para a produção de painéis de aglomerados são o fenol-formaldeído, uréia-formaldeído e malamina-uréia-formaldeído. Dentre os três painéis o mais utilizado é o adesivo a base de uréia-formaldeído que libera formaldeído na realização do processo de prensagem. O ser humano exposto em altas concentrações de formaldeído ou por longo período de tempo pode apresentar problemas respiratórios, enfisema e até câncer nos pulmões. Neste trabalho utilizou-se um adesivo poliuretano a base de madeira.

O óleo da mamona é obtido com extração do óleo da semente da planta *Ricinus communis*, que sua constituição química diferente de muitos óleos vegetais por estar presente uma faixa de 84% a 91% de ácido graxo hidroxilado. Este adesivo pode ser dividido em duas formas como monocomponente e bicomponente, ambas são curadas por algum tipo de reação quando aplicada ao substrato a primeira em contato com o meio ambiente (por evaporação do solvente) e a segunda cura pela ação de um catalizador (COUTINHO e DELPECH, 1999). É um adesivo de cura a frio e utilizado nas proporções em peso de 1:2 (DIAS, 2005). Autores relatam valores para produção de painéis com 3,0 MPa e temperatura de 90°C, sendo valores normativos de resistência física-mecânica encontrados nas NBR 14810 (2006) e NBR 14810 (2013). Neste estudo, o adesivo empregado pode ser considerado natural, pois comparado com as resinas oriundas do formaldeído possui benefícios ambientais, pelo fato do óleo da mamona ser biodegradável e extraído de fonte renovável (CRAVO, 2013). O cultivo da mamona está sendo incentivado pela característica da versatilidade da aplicação com

propriedades superiores aos polímeros derivados do petróleo segundo Jesus (2000), na utilização em painéis MLC (madeira laminada colada), por exemplo.

Nascimento *et al.* (2013) informa que o cultivo da mamona está sendo difundido nos estados do Mato Grosso, Minas Gerais, Paraíba e Bahia, sendo o último estado o maior produtor de mamona. Este cultivo possui vantagens para o agricultor como possuir um ciclo curto, custo de produção baixo e o teor de óleo contido em cada planta está na ordem de 50%.

Com relação ao meio ambiente esta planta ajuda na redução da emissão de CO₂, óxidos de enxofre e hidrocarboneto; sequestro de CO₂ da atmosfera; alta biodegradabilidade comparada com o óleo diesel mineral; tecnologia limpa subprodutos da cadeia produtiva são utilizados e reduz a emissão de particulados. Características descritas acima que justificam o seu uso neste trabalho, mesmo que no estágio de pesquisa e desenvolvimento para aplicação industrial.

Estudos acadêmicos estão sendo desenvolvidos para a melhoria do desempenho na logística de utilização do adesivo e do produto final, como Santos (2014) verifica a influencia da temperatura no processo produtivo. Santos (2014) apresentou um artigo que discute o uso potencial de resíduos de madeira do Tauari (*Couratari oblongifolia*), espécie da região da Amazônia, para a produção de aglomerados com adesivo de poliuretano bi-componente a base de óleo de mamona. Utilizando 16% de adesivo com base no peso das partículas secas foram produzidos chapas com densidade nominal de 1000 Kg/m³ e compressão de 5 Mpa variando três temperaturas, 90°C, 110°C e 130°C durante 10 minutos. De acordo com a NBR 14810-3 (2006) os corpos de prova foram fabricados e ensaiados, sendo realizado oito tipos de ensaios de densidade aparente, umidade, absorção de água, inchamento em espessura, MOR e MOE, resistência á tração perpendicular e arrancamento do parafuso. Os resultados indicaram que independentemente da temperatura de processamento, a densidade média de Tauari aglomerado foi de 930 a 941 kg/m³, com maior resistência á tração perpendicular e inchamento em espessura do que os exigidos pela norma brasileira e pela ANSI A208.1(1999). Dados obtidos que enquadram na classificação de painéis aglomerados de partículas de alta densidade (SANTOS, 2014).

3.1.4. Matérias-primas alternativas para a produção de painéis de partículas

O algodão, a folha de bananeira, a folha de abacaxi, o bagaço de cana, a fibra de coco, a juta, o linho, o rami e o sisal são alguns exemplos de fibras vegetais que estão sendo estudas por muitos pesquisadores, de todo o território brasileiro, para fomentar o melhor

aproveitamento destes resíduos. Como por exemplo, Fiorelli (2015) utilizando fibra de coco, Bueno (2014) o bagaço de cana, Gatani (2013) utilizando casca de amendoim e Ferreira (2013) com macadâmia. Conforme descrito na introdução, um dos objetivos deste trabalho é o de verificar se há possibilidade de substituição da madeira por bambu e fibras de coco em painéis de partículas. As matérias-primas utilizadas neste trabalho, bambu e fibra de coco, estão descritos nos itens 3.1.4.1 e 3.1.4.2.

3.1.4.1 Bambu

A história do bambu remonta ao começo da civilização na Ásia, sendo aceito que o bambu teve sua origem no Período Cretáceo, um pouco antes do início da era Terciária, quando surgiu o homem (HIDALGO LOPEZ, 2003).

Segundo Pereira e Beraldo (2008) o bambu esteve presente na história em dois momentos, o primeiro com Thomas Alva Edison, sabe-se que o primeiro filamento utilizado em uma lâmpada foi o carvão de bambu, e o segundo com Alberto Santos Dumont, que na construção dos primeiros aviões foram utilizados colmo de bambu (como o modelo *Demoiselle*).

Algumas características do bambu que lhe têm proporcionado o mais longo e variado papel na evolução da cultura humana, quando comparado com qualquer outro tipo de planta, segundo Farrelly (1984):

- É uma planta predominantemente tropical, perene, renovável e que produz colmos anualmente sem a necessidade de replantio. Sendo assim um grande potencial agrícola;
- Cresce mais rapidamente do que qualquer outra planta do planeta, necessitando, em média, de 3 a 6 meses para que um broto atinja sua altura máxima, de até 30 m. O bambu é o recurso natural que se renova em menor intervalo de tempo, não havendo nenhuma outra espécie florestal que possa competir com o bambu em velocidade de crescimento e de aproveitamento por área (JARAMILLO, 1992);
- As espécies denominadas de gigantes apresenta uma admirável vitalidade, uma grande versatilidade, leveza, resistência e facilidade em ser trabalhado com ferramentas simples;
- Formidável beleza do colmo ao natural ou após ser processado.

Algumas aplicações tradicionais como artesanato, vara-de-pescar, fabricação de móveis, na produção de brotos comestíveis são exemplos do uso do bambu no Brasil, excetuando-se a produção de papel (PEREIRA, 2001).

Na Ásia e em alguns países latino-americanos considera um excelente material para construções, e principalmente em regiões com abalos sísmicos por apresentar grande flexibilidade. A maior tradição na utilização do bambu é na China cerca de 4 mil diferentes usos tradicionais. Segundo o importante centro de pesquisas chinês *China Bamboo Research Center*- CBRC em 2001 destacou que a partir dos anos 1980 tem havido uma intensificação do uso do bambu em diversas áreas industriais, destacando-se a produção de alimentos, a fabricação de papel, além de aplicações em engenharia e na química (PEREIRA e BERALDO, 2008).

A utilização do bambu divide-se em sete possibilidades: alimento, habitação, construção rural, artesanato, paisagismo, meio ambiente e processado. A possibilidade processado subdivide em nove, sendo eles o carbono ativado, carvão, palitos, chapas, esteira, laminados, compósitos, OSB, celulose e papel, segundo Pereira (2006a).

Em relação às propriedades estruturais do bambu, as relações resistência/ massa específica e rigidez/ massa específica, tais valores superam as madeiras e o concreto, podendo ser tais relações comparáveis, inclusive, ao aço (JANSSEN, 2000).

O bambu e madeira se assemelham pela influencia de vários fatores para descrever seu desempenho físico, mecânico e químico. Alguns deles são:

- Espécie;
- Condições climáticas;
- Silvicultura;
- Época da colheita;
- Idade do colmo na época do corte;
- Teor de umidade;
- Posição ocupada pela amostra em relação à altura do colmo;
- Presença ou ausência de nós nos corpos de prova;
- Condição fitossanitária dos colmos.

Os produtos desenvolvidos estão sendo moldados nos padrões de sustentabilidade, sendo materiais renováveis e de baixo custo. Dessa forma, autores como Bertolini (2011) e Moraes (2011) desenvolvem e estudam a produção de painéis utilizando o material bambu.

Dois fatores que impedem a maior disseminação deste material seriam a inexistência de normas específicas, utilizando assim as normas para madeira, e a dificuldade de fornecedores de colmos e de mudas em quantidades industriais. Um exemplo em escala industrial está no município de Coelho Neto em Maranhão, que a empresa Itapagé possui um plantio de 30.000 ha visando o fornecimento de matéria-prima para a produção de celulose, utilizada na fabricação de papel Kraft, destinado a embalagens diversas e como sacaria para cimento (PERREIRA e BERALDO, 2008).

A Tabela 4 apresenta dados taxonômicos do bambu no mundo e no Brasil. Existem 34 gêneros sendo 16 gêneros de bambu do tipo herbáceo (ornamental) e 18 gêneros do tipo lenhoso, apresentado em Filgueiras & Gonçalves (2004). Com relação às espécies de bambu no Brasil, que representam 232 espécies, sabe-se que 174 espécies são consideradas endêmicas (ocorre somente em uma determinada área ou região geográfica).

Tabela 4- Dados taxonômicos do bambu, Adaptado de PEREIRA e BERALDO (2008).

| | Família | Subfamília | Gêneros | Espécies | Natural | Crescimento* |
|-----------------------------|--|---------------------|----------------|-----------------|--|--|
| BAMBU (no mundo) | <i>Graminae</i> ou algumas vezes tratados separadamente como <i>Bambusaceae</i> . | <i>Bambusoideae</i> | 50 | 1300 | Ásia, África e América do Sul | ➤ 62% das espécies são nativas da Ásia; ➤ 34% das Américas; ➤ 4% da África e da Oceania |

Fonte: Pereira e Beraldo (2008).

* Bambus nativos crescem naturalmente em todos os continentes, exceto na Europa. (Hidalgo Lopez, 2003).

Segundo Pereira e Beraldo (2008), dentre as espécies introduzidas no Brasil destacam-se aquelas pertencentes aos gêneros:

- *Bambusa* (espécies: *blumeana*, *dissimulador*, *multiplex*, *tulda*, *tuldoides*, *ventricosa*, *vulgaris*, *beeheyana*);
- *Dendrocalamus* (espécies: *giganteus*, *asper*, *latiflorus*, *strictus*);
- *Gigantochloa*, *Guadua*, *Phyllostachys* (espécies: *aurea*, *purpuratta*, *bambusoides*, *nigra*, *pubescens*);
- *Pseudosasa*;
- *Sasa*;
- *Sinoarundinaria*.

Neste trabalho foi utilizada a espécie *Dendrocalamus giganteus* que é uma espécie de bambu gigante entouceirante, de grande porte, altura dos colmos de 24-40 m, diâmetro dos colmos de 10- 20 cm e sendo a espessura da parede espessa de 1-3 cm (Figura 11). Espécie que usualmente prefere solos ricos e de temperaturas mínimas de -2°C . Natural das regiões do SriLanka, Bangladesh, Nepal, Tailândia, China e também introduzida na Indonésia, Malásia e Filipinas. Muito utilizada nas construções, na confecção de laminado colado (*playbamboo*), na fabricação de polpa e papel, utensílios domésticos e alimento. O uso potencial deste bambu é para a produção de brotos e para a expansão da indústria de laminado colado (*playbamboo*). No setor acadêmico existe uma carência de trabalhos no manejo, da agronomia e do melhoramento para esta espécie.

Figura 11- Bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*.



Fonte: <http://comprar-vender.mfrural.com.br>.

As dimensões médias das fibras celulósicas do bambu da espécie *D. giganteus* de comprimento de 3,08 mm, largura de 19,10 micrón e espessura de 5,66 micrón (BERALDO e AZZINI, 2002).

A distribuição dos elementos anatômicas do bambu da espécie *D. giganteus* estão descritos na Tabela 5, sendo que a parte externa do bambu possui uma porcentagem de fibras significativa, entretanto a maior parte do bambu é composta por parênquima (BERALDO e ZOULALIAN, 1995 *apud* PEREIRA e BERALDO, 2008). O parênquima é um tecido com baixa resistência, reduzindo assim a resistência do material produzido, portanto é justificada a importância da utilização das resinas adicionadas ao painel, por exemplo. O parênquima possui células alongadas e curtas, as alongadas se lignificam com o passar do tempo e as curtas não ocorre a lignificação podendo com o passar do tempo armazenar amido.

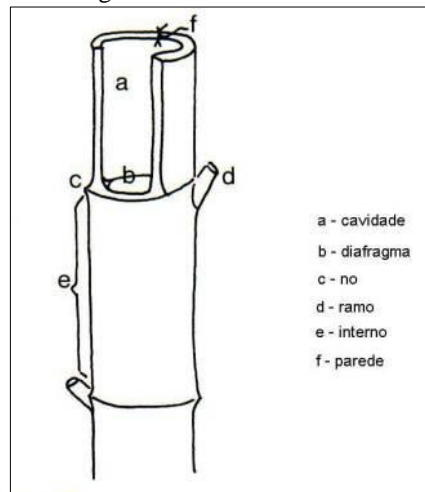
Tabela 5-Distribuição dos elementos anatômico do bambu da espécie.

| Camada de colmo | Vasos (%) | Fibras (%) | Parênquima (%) |
|-----------------|-----------|------------|----------------|
| Interna | 11 | 16 | 73 |
| Intermediária | 9 | 32 | 59 |
| Externa | 8 | 55 | 37 |

Fonte: Adaptado Beraldo e Zoulalian (1995).

A Figura 12 apresenta os nomes das estruturas do colmo de bambu, sendo definido como uma estrutura cilíndrica formada por uma sequência de entrenós (internós) ocos separados perpendicularmente uns dos outros por diafragmas (maior rigidez, flexibilidade e resistência aos colmos).

Figura 12-Colmo do bambu



Fonte: Pereira e Beraldo (2008).

A densidade aparente do bambu da espécie *D. giganteus* é de 772,73 kg/m³ segundo Barbosa *et al.* (2015) e apresenta que outras literaturas adotam a faixa de 500 kg/m³ a 800 kg/m³.

3.1.4.2 Fibra de coco

O coqueiro é uma cultura tropical, disseminada ao longo da faixa costeira entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, largamente distribuída na Ásia, África, América Latina e região do Pacífico (SILVEIRA, 2008). A dispersão do coqueiro ocorreu do sudeste asiático para a Índia e posteriormente para o leste africano, sendo levado para o oeste africano após a descoberta do Cabo da Boa Esperança e daí para as Américas e toda área tropical da Terra (PURSEGLOVE, 1975 *apud* BARBOSA, 2011). O coqueiro (Figura 13) requer algumas

condições para favorecer o seu crescimento e a formação do fruto, um clima quente (em torno de 27°C), umidade relativa do ar inferior a 60% e um regime de chuvas contínuo (mensais não inferiores a 130 mm), sendo fator que mais influencia (SILVEIRA, 2008).

Figura 13-O coqueiro; (a) coco, (b) fibra de coco.



Fonte: <http://smoky.com.br/>.

Fonte: <http://smoky.com.br/>.

Com relação à produção de coco no mundo, no ano de 2013, a FAO (2015)- Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura- estabeleceu um ranking dos 50 países por *commodities* sendo que na Tabela 6 descreve os quatro maiores produtores e o Brasil como o quarto maior produtor de coco.

Tabela 6- Maiores produtores de coco no mundo.

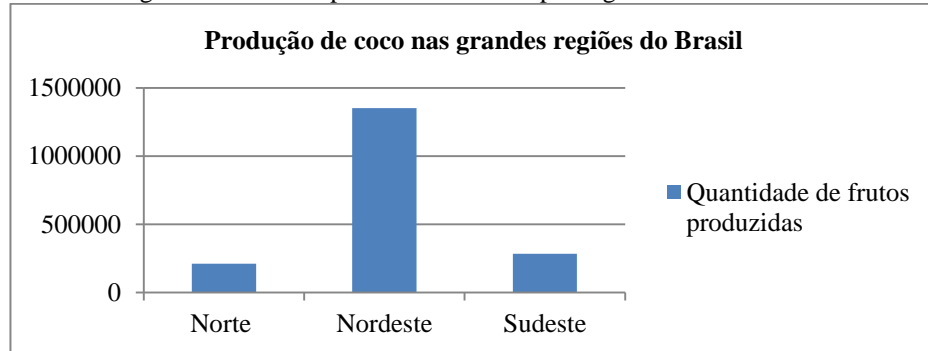
| País | Produção anual (toneladas) |
|-------------|---------------------------------------|
| Indonésia | 18.300.000 |
| Filipinas | 15.353.200 |
| Índia | 11.930.000 |
| Brasil | 2.890.286 |

Fonte: FAO (2015).

Segundo a FAO (2015), a produção de coco mundial em 2013 é de 62.450.192,34 toneladas ocupando a posição de trigésimo lugar no ranking mundial de *commodities* por região, e no ranking de *commodities* por país no Brasil ocupa o décimo nono lugar com uma produção de 2.890.286 toneladas. Transformando a quantidade de toneladas de coco produzido em frutos e adotando que um coco equivale a 2 Kg, obtêm-se 1.445.143 frutos produzidos no Brasil, em 2013.

No Brasil os coqueiros podem ser vistos por todo litoral nordeste do país e parte do sudeste e do norte, sendo que os maiores produtores de coco estão apresentados na Figura 14 (LSPA, 2015).

Figura 14- Maiores produtores de coco por região do Brasil.



Fonte : LSPA (2015).

Em plena Floresta Amazônica, no Estado do Pará, encontra-se a maior área contínua de cultivo do mundo de coco pertencente a uma grande empresa brasileira. Área esta que foi avaliada como a mais apropriada para a cultura por suas condições edafoclimáticas (são relativas à influência dos solos nos seres vivos, em particular nos organismos do reino vegetal, incluindo o uso da terra pelo homem, a fim de estimular o crescimento das plantas).

Com relação às características dos coqueiros, a classificação taxonômica de Joly (1966) *apud* Silveira (2008), o coqueiro é da classe das angiospermas e sub-classe das monocotiledôneas, e da ordem das Palmales (Tabela 7).

Tabela 7-Dados taxonômicos do coqueiro ou coco-da-bahia.

| | <u>Família</u> | <u>Subfamília</u> | <u>Gêneros</u> | <u>Espécies</u> | <u>Natural</u> |
|--------------------------|--------------------------|-------------------|---|---------------------------|--|
| Coqueiro ou coco-da-baia | <i>Palmae/ Aracaceae</i> | <i>Cocoidae</i> | <i>Cocos</i> (Duas variedades: <u>Typicar Nar</u> (gigante) e <u>Nana Griff</u> (anão)). | <i>Cocos nucifera, L.</i> | Autores dividem-se entre a origem asiática e/ou do sudoeste do Pacífico. |

Fonte: Adaptado de Joly (1966) *apud* Silveira (2008).

O coco é formado pelo pericarpo e pela semente (Figura 15). O primeiro subdivide-se em epicarpo (“casca verde” do fruto), mesocarpo (parte mais desenvolvida e com muitas fibras que foi utilizado neste trabalho) e endocarpo (casca dura em torno da semente comestível). A segunda subdivide-se em tegumento, camada fina de cor marrom que protege a semente, e endosperma carnoso, formado pela água e pela parte comestível sólida do coco (VIDAL, 1986; RAVEN *et al.*, 2007). A casca de coco é constituída por uma fração de fibras e outra denominada pó, que se apresenta agregada às fibras (ROSA *et al.*, 2001a).

Figura 15-Desenho esquemático das partes que compõe o coco.



Fonte: <http://pu3yka.com.br/>.

Algumas utilizações de cada parte do coco seco estão descritas abaixo segundo Fontinele (2005):

Mesocarpo fibroso:

- As fibras longas utilizadas na fabricação de mantas, tapetes, fibra para colchões, cordoaria, peças de carros, barreira sonora, contenção de encostas, vasos, enchimento para bancos automotivos, etc;
- O pó da casca de coco, material residual obtido através do processamento da casca de coco maduro para a obtenção da fibra longa, é utilizado como substrato na agricultura intensiva-orgânica (vantagens: economia de água, pela sua elevada capacidade de retenção de umidade (94%); aumento nos índices de produtividade da horticultura e floricultura face seu efeito fertilizante (rico em potássio e nitrogênio); expansão de cinco vezes o seu volume, a menos de 20% de umidade; alternativa para substituição da turfa).

Endocarpo: combustível lenhoso (apresenta índice calorífico 1,5 vezes superior ao da lenha); transformado em carvão ativado (filtro de usinas nucleares); triturado em forma de pó para utilização na fabricação de pastilhas de freios; material impermeabilizante de chapas de madeira compensada; artesanato.

Endosperma carnoso: coco ralado e leite de coco; bebidas; margarinas; ração animal; óleos; álcool graxo; ácido graxo; glicerina; solventes.

O consumo ocorre por todo território nacional, obtendo todos nutrientes e sais minerais que a água de coco e o coco possuem, gerando assim maior volume de resíduos sólidos urbanos. A grande quantidade de coco que é consumida, pode sobrecarregar os aterros sanitários ocasionando uma maior produção de metano e chorume, poluição visual e a proliferação de vetores como a dengue (com o acúmulo de água nos cocos), demonstrando assim a importância sócio-econômica ambiental. Além disto, este resíduo é de difícil decomposição, podendo levar mais de oito anos para sua completa degradação (ROSA *et al.*, 2001a). Além das indústrias alimentícias existem também as de cosméticos e de utensílios (tapetes, pincéis, bolsas e vasos, por exemplo) que consomem o coco. Necessitando de alternativas para o melhor aproveitamento deste material, como por exemplo tijolos, telhas e na produção de painéis de partículas (auxiliando nas propriedades térmicas e acústicas).

A composição química da casca de coco verde depende de vários fatores que influenciam o crescimento da planta e a produção do fruto, sendo os principais a fonte de plantio, a época do ano e a quantidade de chuvas (KÄMPF e FERMINO, 2000). A casca do coco é constituída de celulose, hemicelulose e lignina. A celulose é definida como um polímero da glicose, assim elevados conteúdos de glicose representam elevados teores de celulose. De forma similar, elevados conteúdos de xilose indicam elevados teores de hemicelulose. Já a lignina é uma substância polimérica que age como aglutinante mantendo as cadeias de celulose unidas; a combinação de ambas confere as plantas resistência e flexibilidade (PINO, 2005). Na Tabela 8 são apresentados os resultados de uma análise química típica da casca de coco verde do Estado do Ceará apresentada por ROSA *et al.* (2001a).

Tabela 8-Composição química da casca do coco verde produzido no Estado do Ceará.

| Elementos químicos | Quantidade |
|---------------------------------|-------------------|
| N (g/Kg) | 6,52 |
| P (g/Kg) | 1,42 |
| K(g/Kg) | 11,5 |
| Ca (g/Kg) | 6,80 |
| Mg (g/Kg) | 1,79 |
| Na (g/Kg) | 12,5 |
| Fe (g/Kg) | 1973,0 |
| Cu (mg/Kg) | 6,6 |
| Zn (mg/Kg) | 31,8 |
| Mn (mg/Kg) | 23,3 |
| Matéria Orgânica (mg/Kg) | 72,58 |

Fonte: Adaptado de Rosa *et al.* (2001a).

Segundo Savastano (2000) a fibra de coco pó residual apresentou comprimento médio de 20,6 mm, diâmetro de 223 micrometros, massa específica real de 1165 kg/m³, massa específica aparente de 370 kg/m³, volume de vazios permeáveis de 73,1% e absorção máxima de 146%.

O aproveitamento das fibras de coco vem sendo feito em alguns estados brasileiros a exemplo do Pará, Ceará e Rio de Janeiro. Os resíduos do coco podem ser aproveitados de algumas formas:

- Produção de enzimas através da casca toda verde (COELHO *et al.*, 2001);
- Utilização da fibra de coco na indústria automotiva (SILVEIRA, 2008);
- Produção de isolante térmico e acústico, através da adição da fibra ao aglomerado de cortiça expandido (SALVADOR, 2001);
- Na fabricação de “telhas ecológicas” ;
- Painéis de partículas com fibra de coco, realizado por PASSOS (2005) e CRAVO (2013);
- Compósitos de propileno com fibras naturais (FIORELLI, 2013) ou cimentícios com fibras naturais (SAVASTANO JUNIOR, 2012);
- Produção de briquetes com a fibra e o pó da casca do coco verde como alternativa para o fornecimento de energia (SILVEIRA, 2008).

3.1.5. Painéis particulados produzidos com matérias-primas alternativas

A produção de compósitos é uma alternativa para o aproveitamento deste material gerado. Segundo Matoski (2005), os materiais compósitos são formados por pelo menos dois componentes distintos, cujas propriedades físicas e químicas se diferem e quando misturados, propiciam um composto com características singulares, as quais não se poderiam obter com apenas um deles.

Campos *et al.* (2014) realizou um trabalho com a metodologia similar a este trabalho. Teve como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis de partículas de três camadas utilizado o adesivo uréia-formaldeído. As espécies de madeira utilizadas foram nas camadas externas o *Eucalyptus urograndis* e na camada interna as cascas de *Eucalyptus saligna* variando as porcentagens para cada tratamento. Sendo as porcentagens de 5%, 10%, 15% e 20% de casca, em massa das partículas, na camada interna. Os painéis foram fabricados e ensaiados segundo a norma brasileira para posterior comparação dos resultados

obtidos com os valores especificados nas NBR 14810-2 (2006) e EN 312 (2003). Os resultados atenderam os valores normativos, exceto para o teor de umidade do tratamento com 5% de casca.

Passos (2005) confeccionou painéis constituídos de fibras de coco (*Cocos nucifera*, L), de partículas de pinus (*Pinus elliottii*) e adesivo de uréia-formaldeído. Os parâmetros usados no processo de produção dos painéis foram: (a) densidade nominal da chapa: 0,70 g/cm³; (b) conteúdo de adesivo: 6% e 8%; (c) teor de umidade das partículas: 5%; (d) tempo de prensagem: 10 minutos; (e) tempo de fechamento da prensa: 23 segundos; (f) temperatura de prensagem: 160°C e (g) pressão da prensa: 30 kgf/cm² (2940 KPa). Foram produzidos e analisados oito tipos de tratamentos, alterando o teor de adesivo (6% e 8%) e a porcentagem de fibra de coco (0%, 10%, 20% e 30%). Os corpos-de-prova foram obtidos das chapas produzidas e testados de acordo com a norma ASTM D 1037-91. Os ensaios realizados foram absorção de água 24 horas, inchamento em espessura 24 horas, módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e tração perpendicular. Os valores obtidos foram comparados com os valores normativos, para os painéis de uso interno e externo, da CS 236-66 (1968). Para os valores obtidos de MOR os oito tratamentos foram satisfatório para uso interno e para uso externo apenas quatro tratamentos, sendo os tratamentos 1, 2, 4 e 6. Dentre os oito tratamentos realizados apenas o tratamento 2 obteve o valor de MOE mínimo exigido pela norma para painéis de uso interno, e para uso externo todos os tratamentos não atingiram o valor normativo. Com relação aos valores obtidos nos ensaios de tração perpendicular os tratamentos 3 e 4 foram satisfatórios segundo a norma para painéis de uso interno e externo, e os tratamentos 1 e 2 foram satisfatório apenas para uso externo. O valor esperado para o ensaio de inchamento 24 horas é de no máximo 35%, sendo que apenas os tratamentos 1 e 2 não foram satisfatório segundo a norma brasileira. As normas (brasileira, americana e canadense) não apresentam valor especificado para o ensaio de absorção de água 24 horas, mas os valores determinados estão na faixa de 96% a 125% sendo comparados com os encontrados em literatura que obtiveram valores máximos de 93%.

Beraldo e José (2006) desenvolveram um trabalho sobre a avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis de partículas de bambu de camada única (da espécie *B. vulgaris*) com a adição de adesivo poliuretano à base de óleo de mamona variando os teores de 5%, 10% e 15%, apresentando na Tabela 9 dois ensaios. Os autores concluíram que os tratamentos com 10% e 15% de teores de adesivo não possuem diferença significativa, e que os valores determinados não atenderam os valores do painel comercial de aglomerado.

Tabela 9- Valores das propriedades físico-mecânicas determinadas por Beraldo e José (2006).

| Chapas | Inchamento em espessura 24 h (%) | Flexão (MPa) |
|-------------------------------|---|---------------------|
| 5% | 16,2 | 4,5 |
| 10% | 11,2 | 8,0 |
| 15% | 9,0 | 8,7 |
| Aglomerado (comercial) | 19,6 | 22,8 |

Outro trabalho desenvolvido com painéis de partículas de camada única foi de Bertolini (2011), que avaliou o efeito da adição de resíduos de *Pinus* sp. tratado com CCB (sais de cromo, cobre e boro) e adesivo poliuretana à base de mamona (na proporção de 1 parte pré-polímero para 1 parte de polioliol). Os tratamentos foram influenciados pela variação de alguns parâmetros, como a quantidade de partículas (1300g e 1400g), de adesivo (12% e 15%) e o tempo de prensagem (10 min. e 12 min.), utilizou a NBR 14810-3 (2006) para a realização dos ensaios.

Dentre os oito tratamentos realizados e estudados por Bertolini (2011), o tratamento que mais se assemelha ao painel desenvolvido neste trabalho é o tratamento E. E sua justificativa está baseada na maior quantidade de partículas, e no menor porcentagem de adesivo e no menor tempo de prensagem. As propriedades avaliadas no tratamento E estão descritas na Tabela 10.

Tabela 10- Propriedades obtidas por Bertolini (2011) para o tratamento E.

| Valores obtidos para o tratamento E | |
|--|-------------|
| Densidade (g/cm ³) | 0,89±3,58 |
| Teor de Umidade (%) | 7,81±2,01 |
| Inchamento em espessura 24h(%) | 10,68±21,11 |
| Absorção de água 24h (%) | 19,06±10,83 |
| MOR (MPa) | 28±9,21 |
| MOE (MPa) | 2670±6,97 |

Os resultados obtidos dos oito tratamentos realizados por Bertolini (2011) apontaram para excelentes propriedades físicas e mecânicas das chapas de partículas. Em alguns casos em média 50% superiores ao estipulado pela NBR 14.810-3 (2006) e superiores aos requisitos das normas americana e canadense, respectivamente ANSI A208.1 (1999) e a CS 236-66 (1968). Dessa forma propiciando a viabilidade da produção destes painéis para a utilização em produtos desta natureza.

Melo *et al.* (2010) avaliou a influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de painéis de partículas confeccionadas com partículas de *Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden*, variando três densidades ($0,6 \text{ g/cm}^3$, $0,7 \text{ g/cm}^3$ e $0,8 \text{ g/cm}^3$). Para cada nível de densidade foram produzidos quatro painéis com as seguintes características: 8% de resina ureia-formaldeído, 1% de parafina. A prensagem foi realizada a 3,0 MPa por 8 minutos a uma temperatura de 180°C. Foram retirados corpos-de-prova para ensaios físicos (massa específica, teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura) e mecânicos (flexão estática, tração perpendicular à superfície do painel e resistência ao arrancamento de parafusos). De acordo com os resultados, ficou evidenciado que o aumento da massa específica proporcionou um aumento significativo nas propriedades mecânicas. Por outro lado, as propriedades de estabilidade dimensional tiveram um comportamento antagônico: maior massa específica, menor absorção e maior inchamento em espessura (MELO *et al.*, 2010).

Dinhane (2015) produziu e caracterizou mecanicamente (MOR e MOE) corpos de prova de painéis particulados MDP com três camadas constituídos de fibra de coco e bambu com o objetivo de avaliar a proporção de adesivo poliuretana bi-componente a base de mamona utilizado, sendo três condições experimentais 1:2, 1:1,5 e 1:1 (pré-polímero: poliol).

Os valores obtidos foram inversamente proporcionais à medida que a proporção de poliol foi diminuindo a resistência foi aumentando, como esperado. O experimento 1:1,5 foi o mais indicado, pois possui valor intermediário da quantidade de pré-polímero na formulação da cola , devido à diminuição da utilização de produtos químicos mais poluentes.

Araújo (2015) com objetivo de avaliar as propriedades físicas de painéis particulados de três camadas (MDP) utilizou partículas de resíduo de casca de café e bambu unidas por um adesivo poliuretana bi-componente a base de mamona. A produção e caracterização física foi realizada com base na norma brasileira realizando os ensaios de densidade, teor de umidade, absorção de água 24 horas e inchamento em espessura 24 horas. Os resultados obtidos foram satisfatórios segundo a norma brasileira e concluiu-se que a partir das propriedades avaliadas, este painel pode ser utilizado comercialmente.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho fomenta o desenvolvimento de um material compósito que visa o aproveitamento de resíduos de fibra de coco e bambu. Os experimentos foram realizados segundo as NBR 14.810-3: 2006 e NBR 14.810-2: 2013, que descreve dimensões e procedimento experimentais para o cálculo das resistências físicas e mecânicas. Valores estes que foram comparados com os normativos e trabalhos semelhantes. Este trabalho foi realizado no período de atualização da norma brasileira para Chapa de madeira aglomerada, NBR 14.810-2 : 2006, sendo modificada para Painéis de partículas de média densidade, NBR 14.810-3 : 2013. Justificando assim a utilização das duas normas.

Neste capítulo estão descritos os materiais que foram utilizados no presente trabalho, bem como a metodologia aplicada nas etapas de produção, experimentação e análise de resultados dos painéis de partículas.

4.1 Materiais

A utilização da fibra de coco neste trabalho busca apresentar uma aplicação economicamente viável, agregando valor a este resíduo com o desenvolvimento de um material novo no mercado e ambientalmente correto, minimizando o impacto ambiental causado por este resíduo quando lançado de maneira aleatória no meio ambiente, ou mesmo em lixões.

As matérias-primas utilizadas, para a produção dos painéis particulados de três camadas, foram: partículas de bambu, partículas de fibra de coco e adesivo poliuretano bi-componente à base de mamona.

A fibra de coco da espécie *Coco nucifera* foi adquirida em fardos com 200 kg de material seco, da cidade de Hortolândia-SP (Figura 16).

Figura 16- Resíduo de fibra de coco.



Fonte: Autor.

O bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*, foi obtido no Laboratório de Experimentação em Bambu, pertencente ao Departamento de Engenharia Mecânica –DEM da Faculdade de Engenharia do Campus de Bauru (Figura 17). O adesivo para a produção dos painéis foi o poliuretano bi-componente a base de óleo de mamona adquirida na Plural Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda, da cidade de São Carlos-SP.

Figura 17-Resíduos de bambu, da espécie *Dendrocalamus giganteus*.



Fonte: Autor.

4.2 Produção dos painéis

A produção dos painéis foi realizada no Laboratório de Processamento da Madeira pertencente ao DEM da Faculdade de Engenharia da UNESP do Campus de Bauru e no Laboratório de Propriedades dos Materiais da UNESP do Campus de Itapeva.

Os painéis produzidos com dimensões nominais de 32 cm x 38 cm x 1,27 cm foram confeccionados em três camadas, sendo as duas externas de bambu e a interna composta de fibra de coco e bambu. Em termos de porcentagem de material total utilizado no painel (1.081 g), 60 % representou a parte interna (648,6 g) e o restante, 40% correspondeu à parte externa, sendo 20 % na camada superior (216,2 g) e 20 % na camada inferior (216,2 g). Estas porcentagens foram adotada visando a maior utilização dos resíduos e assim agregar valor a estes.

Cada camada externa foi composta por duas diferentes granulometria de partículas de bambu, 35 *mesh* e 60 *mesh*, na proporção de 70 % de 35 *mesh* e 30 % de 60 *mesh*, respectivamente 151,34 g e 64,86 g valores fixos para todos os painéis. Entretanto a camada interna foi influenciada pelo tipo de tratamento, com quatro diferentes composições, os quais a porcentagem de fibra de coco variou conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11-Composições utilizadas na camada interna para a produção dos painéis MDP de bambu e fibra de coco.

| Tratamento | Materiais na camada interna (%) | Massa de partículas [g] na camada interna | Massa de partículas [g] de granulometria de 9 <i>mesh</i> na camada interna | Massa de partículas [g] de granulometria de 16 <i>mesh</i> na camada interna |
|-------------------|--|--|--|---|
| 100-0 | 100 % de bambu | 648,6 | 324,3 | 324,3 |
| | 0 % de coco | 0 | 0 | 0 |
| 90-10 | 90 % de bambu | 583,74 | 291,87 | 291,87 |
| | 10 % de coco | 64,86 | 0 | 0 |
| 80-20 | 80 % de bambu | 518,88 | 259,44 | 259,44 |
| | 20 % de coco | 129,72 | 0 | 0 |
| 70-30 | 70 % de bambu | 454,02 | 227,01 | 227,01 |
| | 30 % de coco | 194,58 | 0 | 0 |

Fonte: Autor.

Na Tabela 11 são apresentados os tratamentos estudados, nos quais descreve a variação das porcentagens com base no peso total das partículas, peso este adequado para o volume do painel produzido, mantendo a densidade nominal desejada de 700 kg/m³ (0,70 g/cm³). Para cada tratamento foram realizadas cinco repetições, ou seja, a confecção de cinco painéis sendo um total de vinte painéis.

4.2.1. Geração e classificação das partículas

Inicialmente o bambu foi triturado no Triturador de Galhos, da marca CID, modelo 50 SL TRIG, no Laboratório de Processamento da Madeira pertencente ao DEM da Faculdade de Engenharia da UNESP do Campus de Bauru, Figura 18 (a). Em seguida, levada ao Picador de facas da marca Marconi, modelo MA 683/3, onde suas dimensões foram reduzidas a um tamanho suficiente para serem peneiradas na Peneira eletromagnética, marca BERTEL, ambos os equipamentos localizados no Laboratório de Propriedades dos Materiais da UNESP do Campus de Itapeva, Figura 18 (b) e Figura 18 (c). Na Figura 19 podem ser visualizadas as partículas de bambu, obtidos após os processamentos descritos anteriormente, respectivamente. A fibra de coco foi processada no picador de facas para a obtenção de

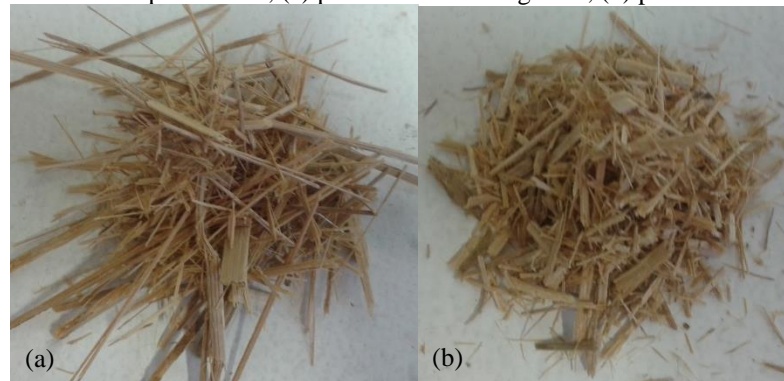
partículas adequadas à utilização no painel MDP proposto neste trabalho e não foi classificada.

Figura 18-Equipamentos utilizados para a geração das partículas; (a) Triturador de galhos, (b) Picador de facas e (c) Peneira eletromagnética.



Fonte: Autor.

Figura 19- Material processado; (a) pelo Triturador de galhos, (b) pelo Picador de facas.



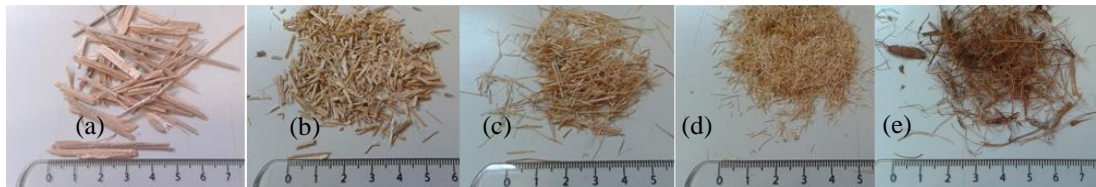
Fonte: Autor.

Com a utilização de um jogo de peneiras, as partículas foram classificadas no tamanho ideal para a produção dos painéis, descartando assim as partículas muito pequenas (*finos*) e as partículas muito grandes (*overs*). Obtendo quatro granulometria de partículas úteis, sendo a primeira passada na peneira de 5 *mesh* e retida na peneira de 9 *mesh*, a segunda passada na peneira de 9 *mesh* e retida na peneira de 16 *mesh*, a terceira passada na peneira de 16 *mesh* e retida na peneira de 35 *mesh* e a quarta geometria as partículas passadas na peneira de 35

mesh e retidas na peneira de 60 *mesh*. As partículas retidas nas peneiras de 5 *mesh* foram alocadas como os *overs* e as que passaram na peneira de 60 *mesh* alocadas como os finos, ambos descartadas.

Na Figura 20 estão apresentadas as partículas de bambu e de fibra de coco no tamanho de utilização para a produção dos painéis. Pode-se notar a semelhança no tamanho e na granulometria das partículas, sendo que as de bambu possuem maiores espessuras, se comparadas com as da fibra de coco, na maioria das partículas. Posteriormente, as partículas foram pesadas e colocadas em sacos plásticos com as quantidades necessárias para cada tratamento descrito na Tabela 11.

Figura 20-Classificação das partículas de bambu e fibra de coco segundo a granulometria; Bambu retido na peneira: de 9 *mesh* (a), de 16 *mesh* (b), de 35 *mesh* (c), de 60 *mesh* (d);(e) Fibra de coco processado pelo picador de facas.



Fonte: Autor.

4.2.2. Confeção dos painéis

Primeiramente, realizou-se o preparo do adesivo, as dosagens utilizadas tomaram como base o peso seco das partículas. Para tal, utilizou-se 10% de adesivo à base de mamona (108,1g), sendo 1 parte de Pré-polímero (43,24g) para 1,5 partes de Polioliol (64,86g). Então foi dividida proporcionalmente em 60 % do adesivo para a camada interna e 20 % do adesivo para cada camada externa, respectivamente 25,92g e 8,64g. Os dois elementos foram misturados até que estivessem totalmente homogeneizados, aparentando uma cor “caramelo”.

A aplicação do adesivo em cada painel ocorreu em três porções, o primeiro recipiente contendo somente as partículas de bambu de uma das camadas externas, totalizando 216,2g de partículas, e a quantidade de 21,60g de adesivo homogeneizados. O segundo recipiente contendo a mesma quantidade de partículas de bambu e mesma quantidade de adesivo. O terceiro recipiente com a mistura de partículas de bambu e de fibra de coco, conforme o tipo de tratamento. E a quantidade de adesivo para o terceiro recipiente, que está alocando a camada interna, foi de 64,8g de adesivo homogeneizados (Pré-polímero e o Polioliol). Em seguida, a solução adesiva foi adicionada às partículas e misturada manualmente em cada

recipiente (Figura 21). A mistura foi homogeneizada completamente por um período de 5 minutos desfazendo as formações dos “grumos” (concentrações de adesivo na mistura).

Figura 21-As três camadas separadas em recipientes e a mistura do adesivo manualmente.



Fonte: Autor.

Após a aplicação do adesivo formou-se o colchão de partículas (Figura 22) cujas dimensões são de 32 cm x 38 cm (Figura 23). Na parte inferior foi posicionada uma placa de aço inoxidável revestida com uma folha papel alumínio para que as partículas não impregnassem na placa metálica durante a prensagem. As partículas foram dispostas no interior da forma de madeira, e espalhadas manualmente de maneira uniforme em três camadas (sendo a primeira camada externa inferior, a segunda camada interna e a terceira camada externa superior).

Figura 22-Montagem das camadas de forma didática.



Fonte: Autor.

Figura 23- Forma vazada para a formação do painel.



Fonte: Autor.

A Figura 24 apresenta a distribuição das camadas internas e externas do painel em porcentagem e a granulometria utilizada, como descrito no item 4.2 produção dos painéis.

Figura 24- Esquema da distribuição das camadas do painel em porcentagem

| | | |
|-----------------------|--------------------------------------|--|
| Camada externa | 20% bambu (216,2 g) | $\begin{matrix} \rightarrow 70\% \text{ de } 35 \text{ mesh} \\ \rightarrow 30\% \text{ de } 60 \text{ mesh} \end{matrix}$ |
| Camada interna | 60 % bambu e fibra de coco (648,6 g) | É alterado conforme cada tratamento |
| Camada externa | 20% bambu (216,2 g) | $\begin{matrix} \rightarrow 70\% \text{ de } 35 \text{ mesh} \\ \rightarrow 30\% \text{ de } 60 \text{ mesh} \end{matrix}$ |

Fonte: Autor

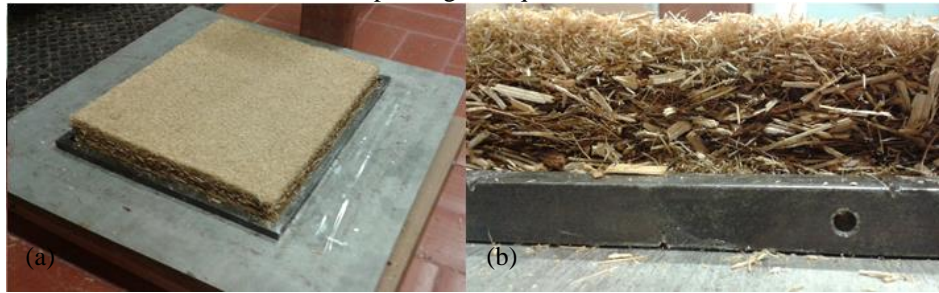
Na sequência, foi realizada uma pré-prensagem com o auxílio de uma tampa de madeira com as dimensões internas da forma, com a aplicação de força através de uma alavanca, aproximadamente 350 kg (Figura 25). A força na haste da alavanca foi mantida por alguns minutos para a estabilização do colchão (Figura 26). O objetivo desta pré-prensagem foi reduzir os espaços vazios entre as partículas, consequentemente diminuir a quantidade de ar no interior do colchão, e também a consolidação do colchão à prensa a quente.

Figura 25- Pré - prensa utilizada antes da prensagem a quente.



Fonte: Autor.

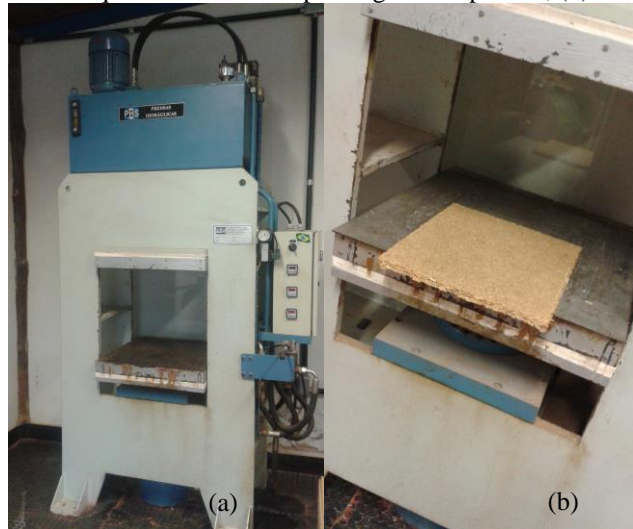
Figura 26- Após a pré-prensagem; (a) Vista superior do painel pré-prensado e (b) vista lateral do painel formado antes da prensagem a quente.



Fonte: Autor.

Após a realização da pré-prensagem e a retirada da forma de madeira, uma segunda placa de aço inox, revestida com papel alumínio foi colocada sobre o colchão de partículas. O conjunto foi levado para a prensa hidráulica com sistema de aquecimento, marca PHS MÁQUINAS HIDRÁULICAS LTDA, modelo PHH 80T (Figura 27). A prensagem foi realizada a uma temperatura de 90°C, durante 10 minutos e pressão específica de 40 kgf/cm².

Figura 27- (a) Prensa à quente utilizada na prensagem dos painéis; (b) e o painel formado.



Fonte: Autor.

Após 10 minutos o painel foi retirado da prensa e acondicionado de acordo com as especificações normativas, durante 72 horas, para então ser retirado os corpos de prova. Um exemplo dos painéis produzidos pode ser visualizado na Figura 28. Foram produzidos cinco painéis de cada tratamento, totalizando 20 painéis.

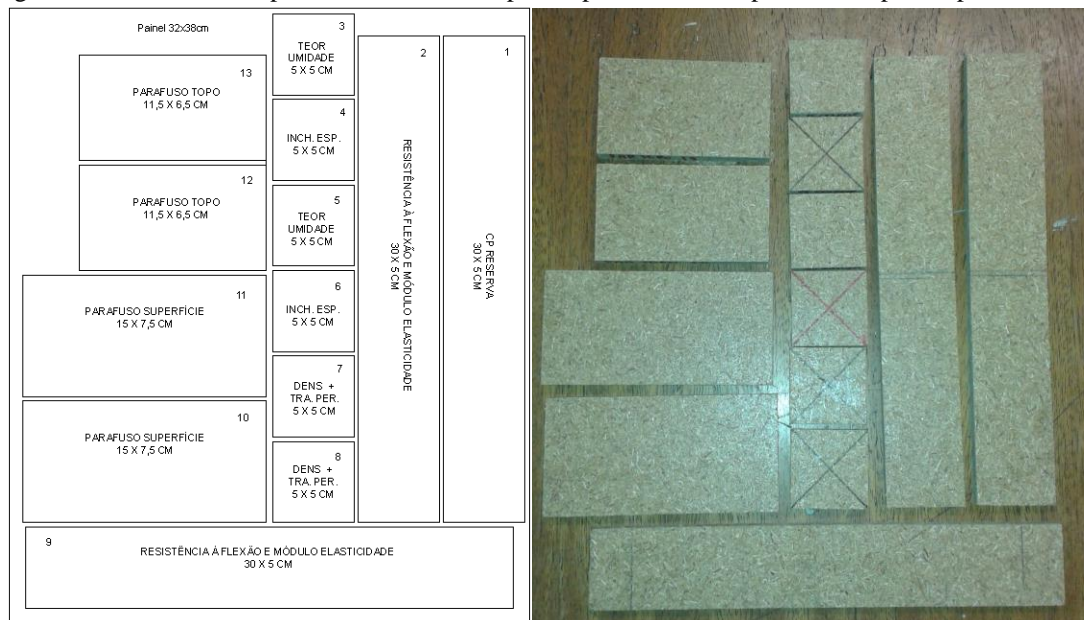
Figura 28- Chapa de MDP composta de bambu e fibra de coco, tratamento 80-20.



Fonte: Autor.

Para a retirada dos corpos de prova nas dimensões normativas foi desenvolvido um plano de corte, segundo NBR 14.810-2/2013 (Figura 29). Os corpos de prova foram obtidos utilizando-se uma serra circular esquadrejadeira (Figura 30). Então, de cada painel foram retirados dois corpos de prova para os ensaios de densidade e tração perpendicular (sendo o mesmo corpo de prova para os dois ensaios), dois corpos de prova para o ensaio de inchamento em espessura 24 horas e absorção de água (sendo o mesmo corpo de prova para os dois ensaios) e da mesma forma foram retirados dois corpos de prova para cada ensaio de determinação do teor de umidade, da resistência à flexão e módulo de elasticidade, da resistência ao arrancamento de parafuso na superfície e no topo.

Figura 29- Plano de corte para a retirada dos corpos de prova e seus respectivos corpos de prova.



Fonte: Autor.

Figura 30- Serra circular utilizada para os cortes dos corpos de prova.



Fonte: Autor.

Os itens 4.3 e 4.4 descrevem a metodologia dos ensaios físicos e mecânicos. Para os ensaios foram utilizado os seguintes equipamentos:

- Balança digital semi-analítica da marca Marte e modelo BL3200H com precisão de 0,01g, Figura 31 (a);
- Estufa para secagem e esterilização, marca Olidef e modelo 480 ES, Figura 31 (b);
- Paquímetro digital, escala 200 mm, da marca Mitutoyo e modelo 500-144B com precisão de 0,01mm;
- Micrômetro digital, com abertura de 0-25 mm, da marca Mitutoyo e modelo MDC-25PJ com precisão de 0,001mm.

Figura 31-Equipamentos utilizados; (a) balança digital semi-analítica e (b) estufa para secagem.



Fonte: Autor.

Após realização dos ensaios e posterior cálculo dos valores obtidos utilizou-se o *software* R, versão 2.12.2 de 2011 para a análise estatística dos dados, através da análise de regressão linear simples a um nível de significância de 5% para a análise de variância da

regressão. E também a Análise de correlação que busca a correlação dos dados obtidos entre cada tratamento. Para tal foram verificadas inicialmente as condicionantes de regressão que são a normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias, através dos testes de Shapiro Wilk e Bartlett, respectivamente. Sendo que as planilhas foram construídas no *software* Excell versão 2010. Por meio dos valores obtidos nos ensaios físicos e mecânicos os mesmos foram comparados com outros estudos encontrados na literatura e valores normativos. Valores estes das normas brasileira, americana e canadense respectivamente, NBR 14.810-2 (2013), ANSI A208.1 (1999), CS 236-66 (1968).

4.3 Ensaios físicos

Foram realizados ensaios físicos de determinação do teor de umidade, de densidade, de inchamento em espessura 24h e absorção de água 24h, conforme documentos normativos a NBR 14810-3 (2006) e a NBR 14810-2 (2013). Todos os corpos de prova, após terem sido produzidos, foram acondicionados em ambiente climatizado por pelo menos 72 horas.

4.3.1 Determinação da umidade

Na realização dos ensaios para a determinação do teor de umidade, dos painéis de partículas de bambu e fibra de coco, foram utilizados 10 corpos de prova por tratamento, com dimensão de 50 mm x 50 mm, número de amostras que atende as especificações normativas.

Inicialmente os corpos de prova foram pesados individualmente para determinação da massa úmida, e em seguida, foram colocados em estufa uma temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ até obter massa constante. Considerando a massa constante quando não houver variação maior que 0,1% entre duas pesagens consecutivas.

Logo após a retirada da estufa, as amostras foram esfriadas em dessecador, da marca Arsec e novamente pesados para obtenção da massa seca. Para o cálculo da porcentagem do teor de umidade, foi utilizada a Equação (1).

$$TU = \frac{M_U - M_S}{M_S} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

TU -é a umidade residual do corpo de prova, em porcentagem.

M_U -é a massa úmida do corpo de prova, em gramas.

M_S -é a massa seca do corpo de prova, em gramas.

4.3.2. Determinação da densidade

Na realização dos ensaios para a determinação da densidade dos painéis de partículas de bambu e fibra de coco, foram utilizados 10 corpos de prova por tratamento, com dimensão de 50 mm x 50 mm.

Após os corpos de prova serem devidamente identificados, foi mensurado a espessura com a utilização de um micrômetro digital. A espessura foi medida em cinco pontos, sendo um no centro e os demais nas extremidades, e então calculados a média aritmética, conforme a NBR 14.810-2: 2013. Foram medidos também o comprimento e a largura, utilizando um paquímetro digital. E por fim, os corpos de prova foram pesados em balança semi-analítica. O cálculo da densidade foi realizado por meio da Equação (2).

$$D = \frac{m}{L \times C \times E} \times 10^6 \quad (2)$$

Onde:

D -é a densidade do corpo de prova, em kg/m³.

m -é a massa do corpo de prova, em gramas.

L -é a largura do corpo de prova, em milímetros.

C -é o comprimento do corpo de prova, em milímetros.

E -é a espessura do corpo de prova, em milímetros.

4.3.3. Determinação do inchamento em espessura 24 horas e absorção de água 24 horas

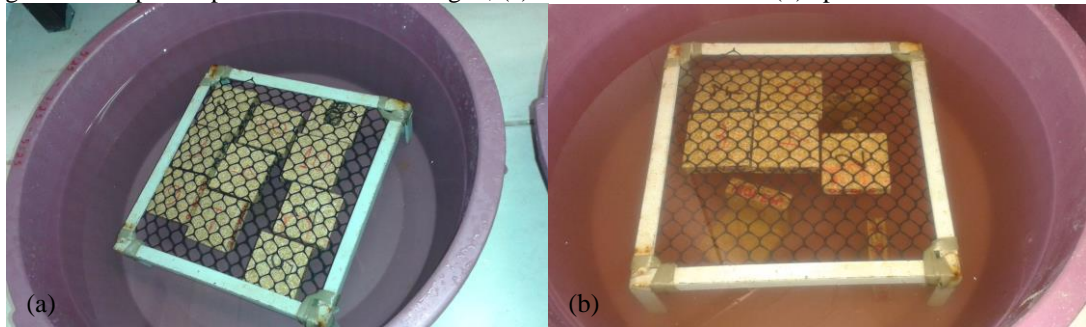
Na realização dos ensaios de inchamento em espessura 24 horas e absorção de água 24 horas dos painéis de partículas de bambu e fibra de coco, foram utilizados 10 corpos de prova

para cada tratamento, com dimensão de 50 mm x 50 mm, sempre atendendo as especificações da NBR 14.810-2 (2013).

Após a identificação das amostras, foi mensurada a espessura inicial no centro de cada uma delas, para tal utilizou-se um micrômetro digital, para realização dos ensaios de inchamento e absorção 24 horas. E para o ensaio de absorção de água 24 horas, os corpos de prova foram pesados antes da imersão.

Posteriormente, os corpos de prova foram submersos em água destilada em um recipiente, de forma que permaneceram totalmente submersos, 25 mm abaixo da superfície da água (Figura 32). Isso ocorreu em uma sala climatizada, para que a temperatura da água permaneça em $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, como exigido pela norma.

Figura 32-Corpos de prova submersos em água; (a) inicialmente imerso e (b) após 24 horas de imersão.



Fonte: Autor.

Após 24 horas de imersão foram retirados os corpos de prova do recipiente. Foram verificadas as dimensões de: espessura e massa dos corpos de prova. O cálculo do inchamento em espessura do corpo de prova foi realizado através da Equação (3). O cálculo da absorção de água 24 horas foi realizado através da Equação (4).

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

Onde:

I - é o inchamento em espessura do corpo de prova, em porcentagem.

E_1 - é a espessura do corpo de prova após o período de imersão considerado, em milímetros.

E_0 - é a espessura do corpo de prova antes da imersão, em milímetros.

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

Onde:

A - é a absorção de água do corpo de prova, em porcentagem.

M_1 - é a massa do corpo de prova após o período de imersão considerado, em gramas.

M_0 - é a massa do corpo de prova antes da imersão, em gramas.

4.4. Ensaios Mecânicos

Foram realizados os ensaios mecânicos de determinação da resistência à flexão estática e módulo de elasticidade, para a determinação do módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE); determinação da resistência à tração perpendicular (também conhecida como adesão interna); determinação da resistência ao arrancamento de parafuso.

Os ensaios foram realizados em uma máquina universal de ensaio, marca EMIC, com capacidade de carga de 30 toneladas pertencente ao Laboratório de Propriedades dos Materiais da UNESP do Campus de Itapeva (Figura 33). Os ensaios foram executados conforme especificações normativas da NBR 14810-2: 2013. Todos os corpos de prova, após terem sido produzidos, foram acondicionados em ambiente climatizado por pelo menos 72 horas.

Figura 33- Máquina universal de ensaios utilizada para realização dos testes mecânicos.



Fonte: Autor.

4.4.1. Determinação da resistência à flexão estática e módulo de elasticidade

Foram caracterizados 10 corpos de prova para cada tratamento, com dimensões de 300 mm x 50 mm no ensaio de flexão estática para a determinação do MOR e MOE, sendo cinco deles retirados no sentido vertical e cinco deles no sentido horizontal.

Primeiramente, com o auxílio de paquímetro digital, foram medidas a espessura e a largura no centro dos corpos de prova. Posteriormente os corpos de prova foram posicionados na máquina de ensaios para a realização dos ensaios, de forma que o cutelo de carregamento coincida com o centro do corpo de prova e os apoios laterais fiquem a 25 mm da sua extremidade, formando, portanto, um vão livre de 250 mm (Figura 34).

Figura 34- Ensaio de determinação da resistência à flexão estática e módulo de elasticidade.



Fonte: Autor.

No decorrer do ensaio, a carga foi aplicada com velocidade constante de 6 mm/min, até que ocorra o rompimento do corpo de prova e assim os valores de carga de ruptura e deformação. O *software* da máquina EMIC forneceu os valores de MOR e MOE, calculados conforme as Equações (5) e (6).

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

Onde:

MOR - é o módulo de ruptura, em MPa.

P - é a carga de ruptura, em N.

D - é a distância entre apoios do aparelho, em milímetros.

B - é a largura do corpo de prova, em milímetros.

E - é a espessura do corpo de prova, em milímetros.

$$MOE = \frac{P_1 \times D^3}{d \cdot 4 \cdot B \cdot E^3} \quad (6)$$

Onde:

MOE - é o módulo de elasticidade, em MPa.

P_1 - é a carga no limite proporcional, em N.

d - é a deflexão em correspondente à carga P_1 , em milímetros.

4.4.2. Determinação da resistência à tração perpendicular

Para a realização do ensaio foram destinados 10 corpos de prova por tratamento, com dimensão de 50 mm x 50 mm. Foram realizadas as medições da largura e do comprimento da amostra, com um paquímetro digital. Os corpos de prova, então, lixados e colados entre duas sapatas, com as mesmas dimensões dos corpos de prova e com encaixe para acomodação no suporte de ensaio, com a utilização de um adesivo a base de cianocriolato de etila de uso geral da marca Leo Madeiras, que permaneceram sob pressão pelo período de 24 horas. Após a colagem, os conjuntos foram acondicionados em ambiente climatizado por pelo menos 72 horas.

Após a climatização, o conjunto foi acoplado no dispositivo de tração na Máquina Universal de Ensaio, e regulado com velocidade de carregamento de 4 mm/min, segundo especificação da NBR 14.810-3 (2006) (Figura 35).

Figura 35- Realização do ensaio de tração perpendicular.



Fonte: Autor.

Em seguida, acionada a Máquina de Universal de Ensaio até a ruptura do corpo de prova. A Equação (7) refere-se ao cálculo da resistência a tração perpendicular.

$$TP = \frac{P}{S} \quad (7)$$

Onde:

TP - é a resistência à tração perpendicular, em MPa.

P - é a carga na ruptura, em N.

S - é a área da superfície do corpo de prova, em mm².

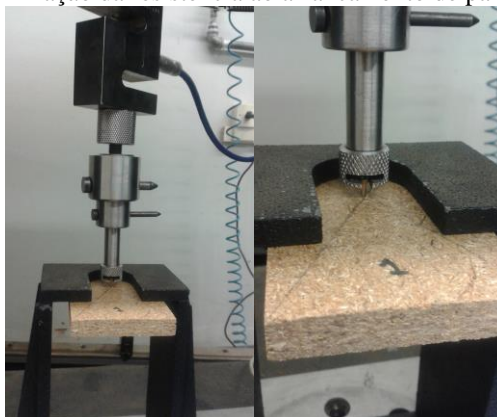
4.4.3 Determinação da resistência ao arrancamento de parafuso

Para a realização do ensaio na superfície foram separados 10 corpos de prova por tratamento, com sessão transversal de 150 mm x 75 mm, e para o ensaio no topo do painel outros 10 corpos de prova por tratamento, com sessão transversal de 115 mm x 65 mm, conforme especifica a NBR 14.810-3 (2006).

O ensaio consiste na perfuração do painel com uma broca de 2,8 mm, a uma profundidade de 17 mm, em um ponto central da superfície ou do topo do corpo de prova.

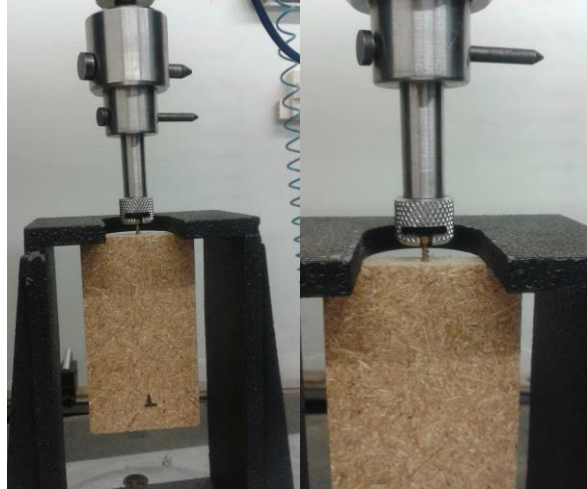
Com o auxílio de um guia, o parafuso foi introduzido no centro do corpo de prova. Na execução do ensaio acionou-se o sistema de tração da Máquina Universal de Ensaio com velocidade de 15 mm/min (Figura 36 e Figura 37). Os resultados foram expressos em Newtons, com exatidão de 0,1 N.

Figura 36-Ensaio de determinação da resistência ao arrancamento de parafuso na superfície.



Fonte: Autor.

Figura 37 -Ensaio de determinação da resistência ao arrancamento de parafuso no topo.



Fonte: Autor.

4.5 Microscopia Eletrônica de varredura (MEV)

As fotografias de MEV das amostras foram obtidas utilizando o modo ambiental para proporcionar a melhor resolução. Amostras estas que foram retiradas dos painéis com dimensões de 1,2 cm x 1,2 cm x 1,2 cm de cada tratamento, sendo observado no MEV as bordas dos painéis onde ocorreu a variação da porcentagem de fibra de coco e bambu. As amostras foram fixadas em peças de alumínio conhecidas como “stub”, os quais foram inseridos no MEV e logo em seguida as fotografias foram realizadas com resolução de 50 vezes e 150 vezes (BUENO, 2014). Esse ensaio foi realizado no Laboratório de Anelasticidade e Biomateriais do Departamento de Física da UNESP, no Campus de Bauru.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O item 5.1 descrevem os resultados e as análises dos valores determinados através dos ensaios físicos, respectivamente determinação da umidade, da densidade, do inchamento em espessura 24 horas e absorção de água 24 horas. O item 5.2 descrevem os resultados e as análises dos valores determinados através dos ensaios mecânicos: determinação da resistência à flexão estático e módulo de elasticidade, da resistência a tração perpendicular (adesão interna) e da resistência ao arrancamento de parafuso. As Tabelas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 que apresentam os valores obtidos para cada corpo de prova, e juntamente com os resultados das médias e desvios padrões estão no Apêndice A. Os cálculos estatísticos estão apresentados no Apêndice B.

5.1 Propriedades físicas

A Tabela 12 fornece parâmetros dos documentos normativos para os ensaios de determinação do teor de umidade, da densidade, do inchamento 24h e absorção de água 24h estabelecidos pelas normas NBR 14.810-2 (2013), CS 236-66 (1968) e ANSI A208.1(1999).

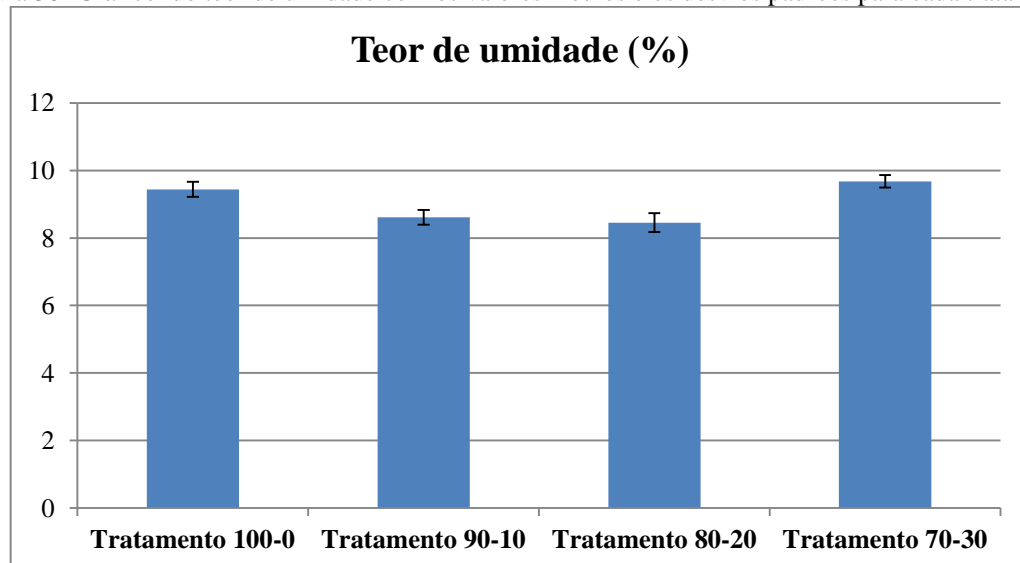
Tabela 12-Valores normativos indicados segundo as normas brasileira, canadense e americana para os ensaios físicos.

| | NBR 14.810-2 (2013) | CS 236-66 (1968) | ANSI A208.1 (1999) |
|---|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Teor de umidade (%) | 5 a 13 | * | * |
| Densidade (kg/m³) | 551-750 | 600-800 | 640-800 |
| Inchamento em espessura 24 horas (%) | 18 17 | 35 | 35 |
| Absorção de água 24 horas (%) | * | * | * |

5.1.1 Determinação do teor de umidade

Os resultados médios do teor de umidade e respectivos desvios padrões para cada um dos quatro tratamentos variando de 0% de fibra de coco, 10% de fibra de coco, 20% de fibra de coco e 30% de coco na camada interna do painel estão apresentados graficamente na Figura 38.

Figura 38- Gráfico do teor de umidade com os valores médios e os desvios padrões para cada tratamento.



Fonte: Autor.

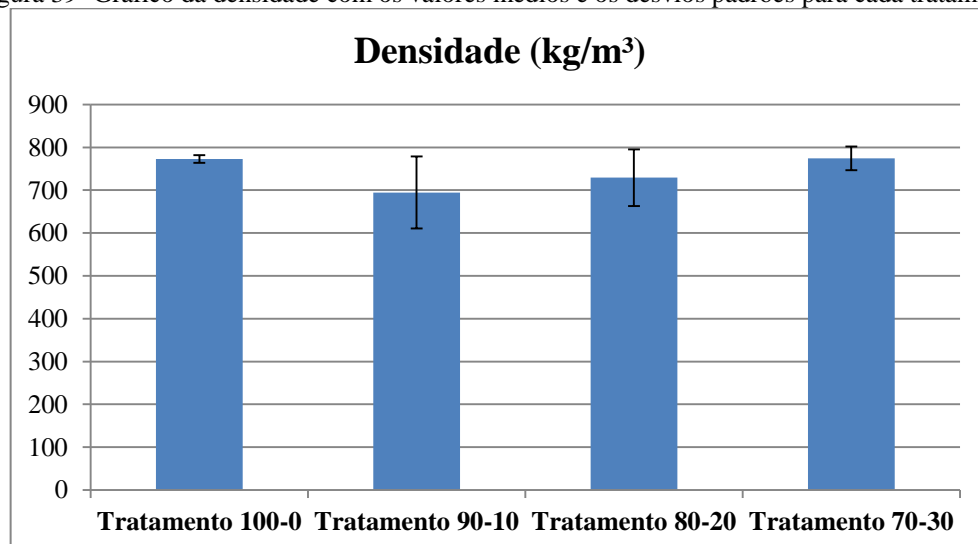
Segundo a NBR 14.810-2 (2013), a faixa desejada do teor de umidade é de 5 % a 13 %, portanto os quatro tratamentos atenderam as especificações da norma brasileira. O tratamento 80-20 com 20 % de fibra de coco na camada interna obteve o menor valor médio de teor de umidade entre os quatro tratamentos, sendo este de 8,45 %. As normas ANSI A208.1 (1999) e CS 236-66 (1968) não apresentaram valores normativos para o teor de umidade.

Analisando estatisticamente os dados nota-se que houve diferença significativa entre as quatro variações da porcentagem de fibra de coco ($P\text{-value} = 4,465 \times 10^{-15} < 0,05$), considerando nível de significância de 5%. Demonstrando assim que houve uma relação entre a porcentagem de fibra de coco e o teor de umidade, evidenciando que as densidades obtidas são estatisticamente diferentes. Sendo um resultado satisfatório para a realização dos ensaios mecânicos, pois a umidade reflete na resistência mecânica dos painéis, e isto poderia afetar a posterior comparação dos resultados obtidos nestes ensaios.

5.1.2 Determinação da densidade

A Figura 39 apresenta os resultados médios e respectivos desvios padrões para cada tratamento na determinação da densidade.

Figura 39- Gráfico da densidade com os valores médios e os desvios padrões para cada tratamento.



Fonte: Autor.

Segundo a norma CS 236-66 (1968), se caracteriza uma densidade ideal a faixa de 600 Kg/m³ a 800 Kg/m³ para um painel de média densidade (MDP) com aplicabilidade em

ambiente interno, portanto os valores médios obtidos para os quatro tratamentos atenderam a solicitação, conforme descrito em Passos (2005).

A NBR 14.810-2 (2013) descreve a faixa de 551 Kg/m³ a 750 Kg/m³ para a densidade de um painel MDP de uso não estrutural em ambientes secos, sendo que os valores médios obtidos para os quatro tratamentos atenderam os especificados. Para os tratamentos 100-0 e 70-30 foram obtidos valores médios superiores aos indicados na norma.

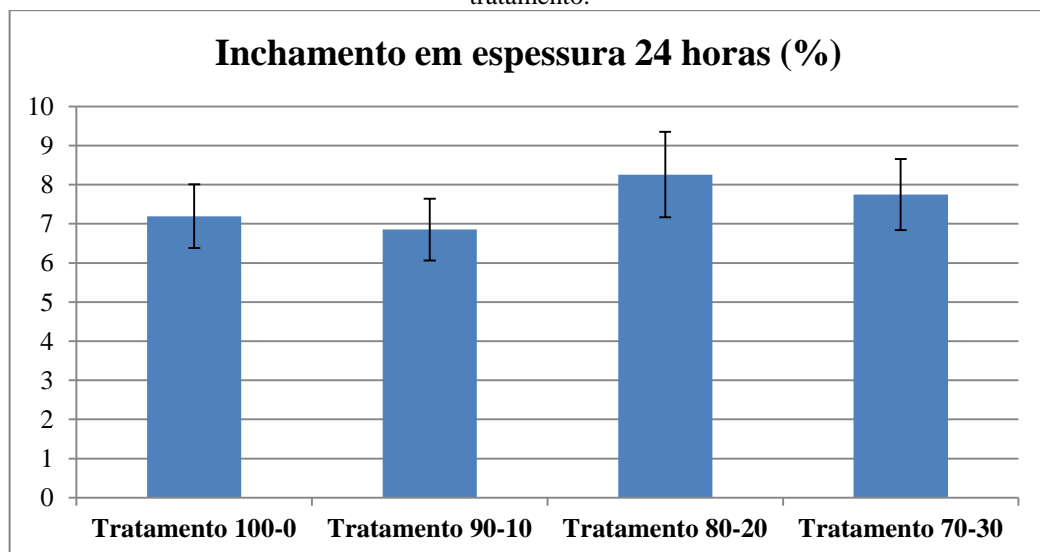
A norma ANSI A208.1 (1999) relata uma faixa de valores para um painel MDP entre 640 Kg/m³ e 800 Kg/m³, desta feita os valores médios obtidos de densidade neste trabalho se enquadram nesta norma.

Estatisticamente, nos dados nota-se que houve diferença significativa entre as quatro variações da porcentagem de fibra de coco ($P\text{-value} = 0,006958 < 0,05$), considerando nível de significância de 5%. Demonstrando assim que houve uma relação entre a porcentagem de fibra de coco e a densidade, evidenciando que as densidades obtidas são estatisticamente diferentes. Porém é um resultado satisfatório para a realização dos ensaios mecânicos, pois a densidade reflete na resistência mecânica dos painéis, afetando assim a posterior comparação dos resultados obtidos nestes ensaios.

5.1.3 Determinação do inchamento em espessura 24 horas

A determinação do inchamento em espessura 24 horas, os valores médios, e respectivos desvios padrões estão apresentados na Figura 40.

Figura 40- Gráfico de inchamento em espessura 24 horas com os valores médios e os desvios padrões para cada tratamento.



Fonte: Autor.

A norma CS 236-66 (1968) apresenta como valor médio máximo de inchamento 24 horas de 35 %, portanto os valores encontrados estão abaixo dessa norma (PASSOS, 2005). E o valor médio máximo obtido foi de 8,26% para o tratamento 80-20, resumindo assim valores satisfatórios que atendem a padronização para a utilização deste painel.

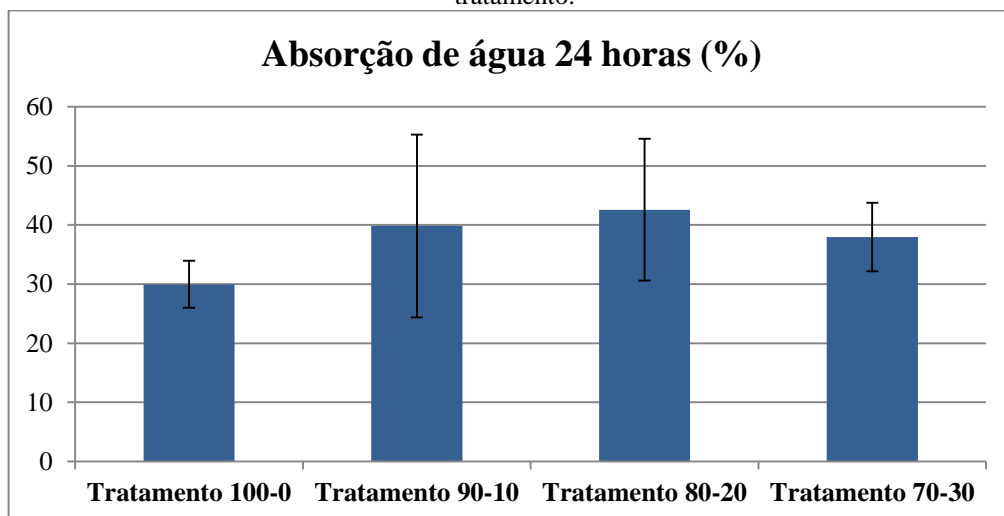
A NBR 14.810-2 (2013) descreve como 18% o inchamento 24h para um painel de uso não estrutural em ambientes secos, e para ambientes úmidos o valor máximo é de 17%, portanto os valores apresentados estão abaixo do máximo permitido. Os valores obtidos atendem a norma ANSI A208.1 (1999) que descreve como valor máximo de referencia 35 % para um painel MDP.

Estatisticamente, nos dados nota-se que houve diferença significativa entre as quatro variações da porcentagem de fibra de coco ($P\text{-value} = 0,007574 < 0,05$), considerando nível de significância de 5%. Demonstrando assim que houve uma relação entre a porcentagem de fibra de coco e o inchamento 24 horas, evidenciando que os valores de inchamento 24 horas obtidos são estatisticamente diferentes.

5.1.4 Determinação da absorção de água 24 horas

Para cada tratamento de determinação de absorção de água 24 horas estão apresentados na Figura 41.

Figura 41- Gráfico de absorção de água 24 horas com os valores médios e os desvios padrões para cada tratamento.



Fonte: Autor.

As normas NBR 14.810-2 (2013), ANSI A208.1 (1999) e CS 236-66 (1968) não especificaram valores de absorção de água 24 horas, portanto os dados obtidos foram comparados com valores obtidos em trabalhos semelhantes. Quando comparado com os valores obtidos por Bertolini (2011) nota-se uma variação muito acima da faixa de 12,66% a 20,93% encontrada pela autora.

Estatisticamente, nos dados nota-se que não houve diferença significativa entre as quatro variações da porcentagem de fibra de coco ($P\text{-value} = 0,05825 > 0,05$), considerando nível de significância de 5%. Demonstrando assim que não houve uma relação entre a porcentagem de fibra de coco e a absorção de água 24 horas, evidenciando que os valores de absorção de água 24 horas obtidos são estatisticamente iguais.

5.2 Propriedades mecânicas

Após a obtenção e análise dos dados utilizou-se a Tabela 13 que apresenta os valores normativos para os ensaios de determinação do MOR e MOE, determinação da resistência à tração, determinação da resistência ao arrancamento de parafuso estabelecidos pelas normas NBR 14.810-2 (2013), CS 236-66 (1968) e ANSI A208.1(1999).

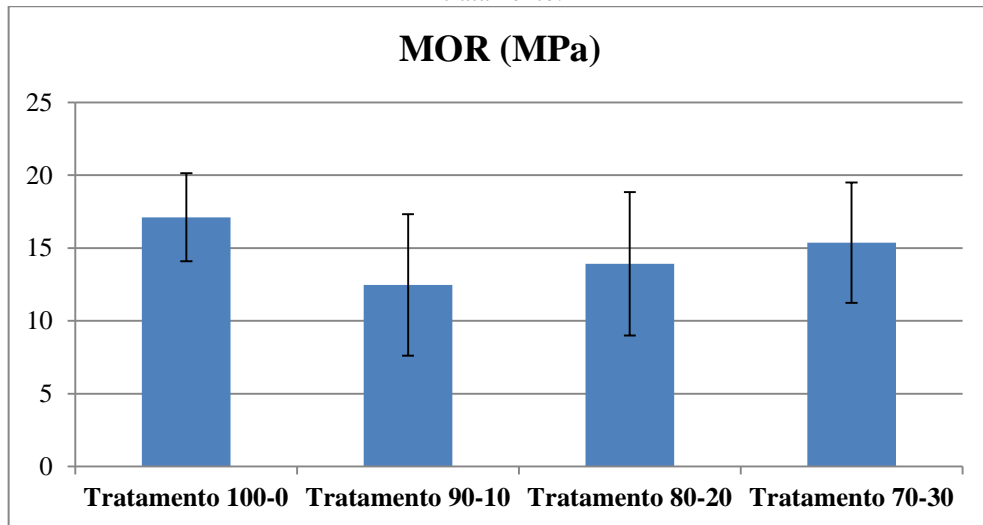
Tabela 13-Valores normativos indicados segundo as normas brasileira, canadense e americana para os ensaios mecânicos.

| | NBR 14.810-2 (2013) | CS 236-66 (1968) | ANSI A208.1 (1999) |
|---|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| MOR (MPa) | 11 | 10,98 | 11 |
| | 15 | 16,46 | |
| MOE (MPa) | 1800 | 2401 | 1725 |
| | 2050 | 2744 | |
| Tração perpendicular (MPa) | 0,4 | 0,48 | 0,4 |
| | 0,45 | 0,42 | |
| Arrancamento de parafuso no topo (N) | * | * | 800 |
| Arrancamento de parafuso na superfície (N) | * | * | 900 |

5.2.1 Determinação da resistência à flexão estática e módulo de elasticidade

Os resultados para cada tratamento no ensaio de determinação da resistência à flexão estática (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) estão apresentados graficamente nas Figuras 42 e 43.

Figura 42- Gráfico de resistência à flexão estática (MOR) os valores médios e os desvios padrões para cada tratamento.



Fonte: Autor.

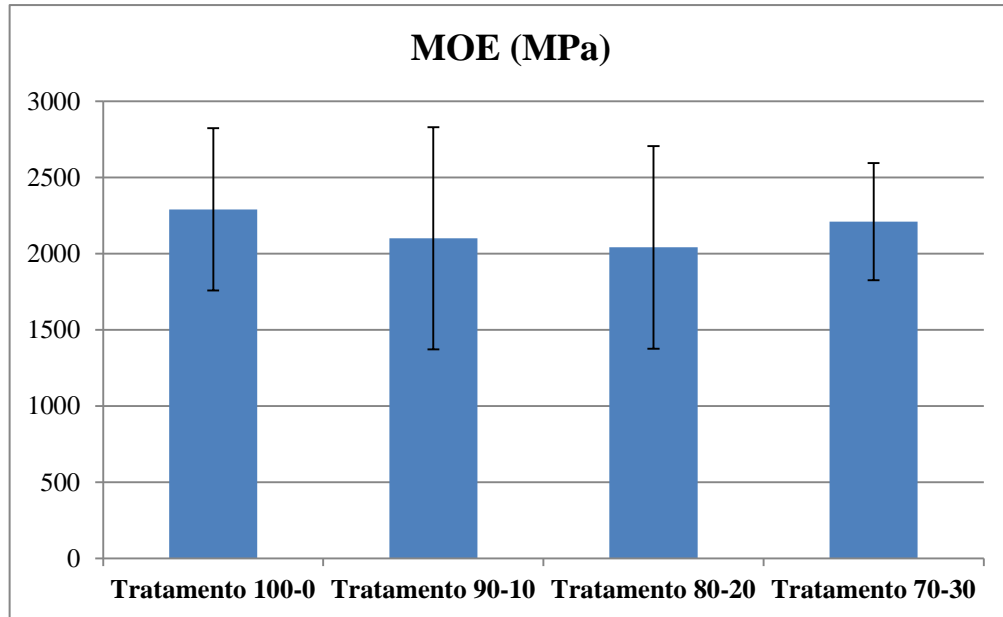
A norma CS 236-66 (1968) especifica valores para o MOR de 10,98 MPa para ambientes internos e 16,46 MPa para ambientes externos (PASSOS, 2005). Os valores encontrados para cada tratamento atenderam o valor mínimo da norma para uso interno, e para uso externo apenas o tratamento 100-0 atendeu a especificação. E considerando os tratamentos que possuem porcentagens de fibra de coco o melhor desempenho foi para o tratamento com 30 % de fibra de coco (tratamento 70-30).

A NBR 14.810-2 (2013) descreve como sendo 11 MPa de MOR para um painel de uso não estrutural em ambientes secos, e para ambientes úmidos o valor mínimo é de 15 MPa. Quando comparado com os valores obtidos, nota-se que os quatro tratamentos atenderam a norma brasileira para painéis não estruturais em ambientes secos. Quando comparado com os painéis não estruturais em ambientes úmidos apenas os tratamentos 100-0 e 70-30 foram satisfatórios. O tratamento 70-30, com a maior porcentagem de fibra de coco, obteve um desempenho de MOR satisfatório segundo a norma brasileira comprovando uma viabilidade do seu uso.

A norma ANSI A208.1 (1999) descreve o valor do MOR para um painel de partículas de média densidade de 11 MPa, sendo assim os dados obtidos neste trabalho foram satisfatório quando comparado com a norma em questão.

Estatisticamente, nos dados nota-se que não houve diferença significativa entre as quatro variações da porcentagem de fibra de coco ($P\text{-value} = 0,5582 > 0,05$), considerando nível de significância de 5%. Demonstrando assim que não houve uma relação entre a porcentagem de fibra de coco e o MOR, evidenciando que os valores de MOR obtidos são estatisticamente iguais.

Figura 43- Gráfico de módulo de elasticidade (MOE) com os valores médios e os desvios padrões para cada tratamento.



Fonte: Autor.

A norma CS 236-66 (1968) informa que o valor especificado do MOE é de 2.401 MPa ao uso em ambiente interno e de 2.744 MPa para ambientes externos, portanto os valores encontrados para cada tratamento não atenderam o valor mínimo do normativo comercial (PASSOS, 2005). Sendo que o tratamento que mais se aproxima do normativo em questão seria o tratamento com 100% de bambu.

A NBR 14.810-2 (2013) descreve como sendo 1.800 MPa para MOE para um painel de uso não estrutural em ambientes secos, e para ambientes úmidos o valor mínimo é de 2.050 MPa. Quando comparado com os valores obtidos, nota-se que os quatro tratamentos atenderam a norma brasileira para painéis não estruturais em ambientes secos. Para painéis não estruturais em ambientes úmidos apenas os tratamentos 100-0, 90-10 e 70-30 foram satisfatórios. O tratamento 70-30, com 30 % de fibra de coco, obteve um desempenho de MOE satisfatório segundo a norma brasileira comprovando a viabilidade do seu uso em mais um ensaio mecânico.

A norma ANSI A208.1 (1999) descreve o valor do MOE para um painel de partículas de média densidade como sendo 1.725 MPa, sendo assim os dados obtidos para os quatro tratamentos foram satisfatório quando comparado com a norma em questão.

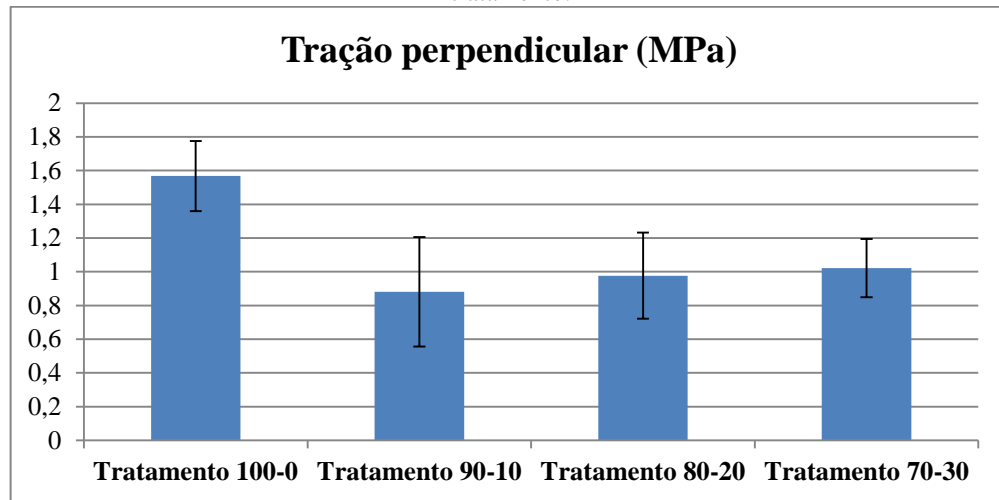
Estatisticamente, nos dados nota-se que não houve diferença significativa entre as quatro variações da porcentagem de fibra de coco ($P\text{-value} = 0,7173 > 0,05$), considerando nível de significância de 5%. Demonstrando assim que não houve uma relação entre a

porcentagem de fibra de coco e o MOE, evidenciando que os valores de MOE obtidos são estatisticamente iguais.

5.2.2 Determinação da resistência à tração perpendicular

Após a determinação da resistência à tração perpendicular dos corpos de prova, para os valores médios, foram inseridos no gráfico apresentado na Figura 44.

Figura 44- Gráfico de resistência à tração perpendicular com os valores médios e os desvios padrões para cada tratamento.



Fonte: Autor.

A norma CS 236-66 (1968) especifica valores para a tração de 0,48 MPa para ambientes internos e 0,42 MPa para ambientes externos (PASSOS, 2005). Os valores obtidos para cada tratamento atenderam o valor mínimo da norma para uso interno e para uso externo. E considerando os tratamentos que possuem porcentagens de fibra de coco o melhor desempenho foi para o tratamento com 30 % de fibra de coco (tratamento 70-30).

Segundo a NBR 14.810-2 (2013), o valor mínimo para o ensaio de tração perpendicular é de 0,40 MPa para painéis não estruturais e em ambientes secos desse modo verificou-se que os quatro tratamentos atenderam o valor normativo. Quando comparado com os valores da norma brasileira para painéis não estruturais e em ambientes úmidos os quatro tratamentos apresentaram valores superiores a 0,45 MPa. O maior valor obtido de tração perpendicular dentre os tratamentos foi para o tratamento com 100 % de bambu, e quando observam-se os valores dos tratamentos que possuem porcentagens de fibra de coco verificou-se que o tratamento 70-30 obteve o valor médio de 1,02 MPa.

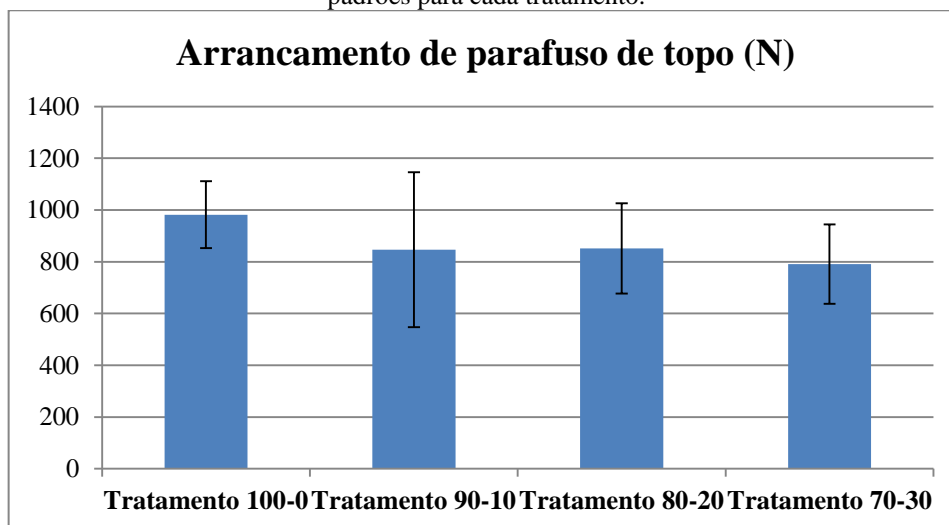
A norma ANSI A208.1 (1999) relata valores mínimos de adesão interna para uma panel de partículas de média densidade de 0,40 MPa semelhante ao valor estipulado pela norma brasileira, atendendo assim a norma americana.

Estatisticamente, nota-se que houve diferença significativa entre as quatro variações da porcentagem de fibra de coco ($P\text{-value} = 0,001554 < 0,05$), considerando nível de significância de 5%. Demonstrando assim que houve uma relação entre a porcentagem de fibra de coco e a adesão interna, evidenciando que os valores de adesão interna obtidos são estatisticamente diferentes.

5.2.3 Determinação da resistência ao arrancamento de parafuso

Após os resultados obtidos a média referente a cada tratamento está apresentada nos gráficos das Figuras 45 e 46.

Figura 45- Gráfico de resistência ao arrancamento de parafuso de topo com os valores médios e os desvios padrões para cada tratamento.



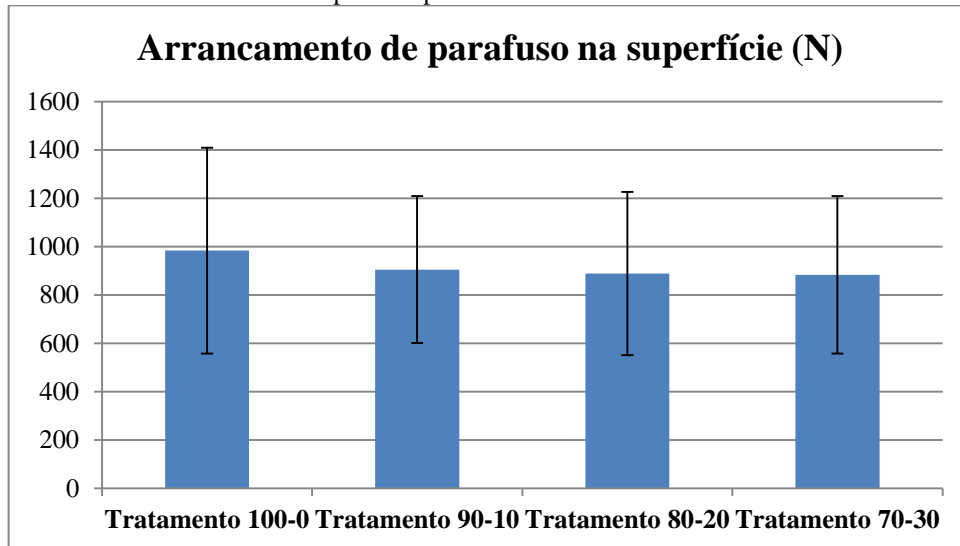
Fonte: Autor.

Os valores mínimos da norma ANSI A208.1 (1999) para o arrancamento de parafuso no topo é de 800 N para painéis de uso comercial, portanto os tratamentos 100-0, 90-10 e 80-20 apresentaram valores superiores. As normas NBR 14.810-2 (2013) e CS 236-66 (1968) não especificaram valores mínimos para este ensaio.

Estatisticamente, nos dados nota-se que não houve diferença significativa entre as quatro variações da porcentagem de fibra de coco ($P\text{-value} = 0,1996 > 0,05$), considerando nível de significância de 5%. Demonstrando assim que houve uma relação entre a

porcentagem de fibra de coco e o arrancamento de parafuso no topo, evidenciando que os valores de arrancamento de parafuso no topo obtidos são estatisticamente iguais.

Figura 46- Gráfico de resistência ao arrancamento de parafuso de superfície com os valores médios e os desvios padrões para cada tratamento.



Fonte: Autor.

Os tratamentos 100-0 e 90-10 apresentaram valores superiores ao valor mínimo da norma ANSI A208.1 (1999) para o arrancamento de parafuso na superfície é de 900 N para painéis de uso comercial. O maior valor médio obtido para os dois ensaios de arrancamento de parafuso foi para o tratamento 100-0.

Estatisticamente, nos dados nota-se que não houve diferença significativa entre as quatro variações da porcentagem de fibra de coco ($P\text{-value} = 0,8591 > 0,05$), considerando nível de significância de 5%. Demonstrando assim que não houve uma relação entre a porcentagem de fibra de coco e o arrancamento de parafuso na superfície, evidenciando que os valores de o arrancamento de parafuso na superfície obtidos são estatisticamente iguais.

Os valores normativos para o arranque de parafuso são solicitações que ocorrem em muitos produtos que utilizam os painéis de MDP, como os móveis residenciais. Belini (2012) descreve que o ensaio de arrancamento de parafuso está relacionado à densidade do material e a dosagem de resina utilizada. Segundo Maloney (1989) *apud* Grubert (2014) a capacidade de arranque de parafuso é uma propriedade que está relacionada e é influenciada pelo tamanho das partículas dos painéis.

5.3 Análise dos resultados obtidos dos ensaios físicos e mecânicos

As Tabelas 14 e 15 descrevem os resultados médios, desvios padrão e análise estatística para os quatro tratamentos sendo respectivamente os ensaios físicos e os ensaios

mecânicos. A análise estatística que verifica a correlação dos dados entre os tratamentos estão apresentados nas tabelas como letras, sendo que letras iguais não apresentam diferença significativa à um nível de significância de 5%, no teste de Tukey, e letras diferentes apresentam diferença significativa à um nível de significância de 5%.

Tabela 14– Resultados médios obtidos dos ensaios físicos, desvios padrões e as diferenças estatísticas para cada tratamento.

| Tratamentos | Densidade (kg/m ³) | Teor de umidade (%) | Inchamento | Absorção |
|-------------|-----------------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------|
| | | | em espessura 24h (%) | de água 24h (%) |
| 100-0 | 772,76 b ¹ | 9,44 b | 7,19 ab | 29,95 a |
| | (9,10) ² | (0,23) | (0,81) | (3,98) |
| 90-10 | 694,62 a | 8,61 a | 6,85 a | 39,83 a |
| | (84,16) | (0,22) | (0,79) | (15,44) |
| 80-20 | 729,10 ab | 8,45 a | 8,26 b | 42,56 a |
| | (66,11) | (0,28) | (1,09) | (12,00) |
| 70-30 | 774,20 b | 9,68 b | 7,75 ab | 37,96 a |
| | (29,02) | (0,18) | (0,91) | (5,79) |

¹ Valores seguidos de letras iguais não apresentam diferença significativa à um nível de significância de 5% no teste de Tukey.

² Os valores entre parênteses apresentam o desvio padrão dos dados.

Tabela 15- Resultados médios obtidos dos ensaios mecânicos, o desvio padrão dos dados e as diferenças estatísticas para cada tratamento.

| Tratamentos | MOE (MPa) | MOR (MPa) | Tração | Arrancamento de parafuso | |
|-------------|------------------------|--------------|------------------------|--------------------------|-------------------|
| | | | perpendicular (MPa) | no topo (N) | na superfície (N) |
| 100-0 | 2290,24 a ¹ | 17,12 a | 1,57 a | 981,96 a | 983,25 a |
| | (532,45) ² | (3,03) | (0,21) | (129,35) | (366,03) |
| 90-10 | 2100,86 a | 12,46 a | 0,88 b | 846,97 a | 904,94 a |
| | (728,93) | (4,86) | (0,33) | (299,09) | (330,28) |
| 80-20 | 2041,00 a | 13,92 a | 0,98 b | 851,56 a | 888,72 a |
| | (664,58) | (4,93) | (0,26) | (174,90) | (231,22) |
| 70-30 | 2209,75 a | 15,37 a | 1,02 b | 791,30 a | 883,52 a |
| | (385,32) | (4,13) | (0,17) | (153,20) | (209,19) |

¹ Valores seguidos de letras iguais não apresentam diferença significativa à um nível de significância de 5% no teste de Tukey.

² Valores entre parênteses representam o desvio padrão dos dados.

Após a análise estatística dos dados obtidos apresentados na Tabela 14 verificou-se:

➤ Segundo o teor de umidade, os tratamentos 100-0 e 70-30 não diferem, da

mesma forma os tratamentos 90-10 e 80-20 possuem um desempenho estatístico semelhante;

- Segundo a densidade, os tratamentos 100-0, 80-20 e 70-30 não diferem e para 90-10 e 80-20 ocorre da mesma forma;

- Considerando o ensaio de inchamento em espessura 24 horas, os tratamentos 100-0, 90-10 e 70-30 não diferem estatisticamente e da mesma forma que os tratamentos 100-0, 80-20 e 70-30;

- Para o ensaio de absorção de água 24 horas os quatro tratamentos não diferem estatisticamente.

Após a análise estatística dos dados obtidos apresentados na Tabela 15 verificou-se:

- Para o MOR e MOE os quatro tratamentos não diferem estatisticamente;

- Considerando o ensaio de tração perpendicular, os tratamentos 90-10, 80-20 e 70-30 não diferem estatisticamente e o tratamento 100-0 difere em relação aos outros;

- Para os ensaios de arrancamento de parafuso no topo e na superfície, os quatro tratamentos não diferem estatisticamente.

Os ensaios de absorção de água 24 horas, resistência à flexão estática e módulo de elasticidade e arrancamento de parafuso no topo e na superfície apresentaram estatisticamente valores médios iguais para os quatro tratamentos, portanto o tratamento 70-30 é o mais indicado. A justificativa seria os maiores valores de resistência, o menor valor de absorção de água, e o maior aproveitamento do resíduo em questão, a fibra de coco, que no tratamento 70-30 possui 30 % na camada interna do painel MDP. Segundo os valores médios da análise estatística dos ensaios de densidade, teor de umidade, inchamento 24 horas e tração perpendicular são diferentes entre os quatro tratamentos. O tratamento 70-30 obteve valores representativos para a densidade, sendo que quanto maior a densidade maior será resistência do painel de MDP. Com relação ao teor de umidade o tratamento 70-30 obteve valores máximo. A Tabela 16 apresenta os ensaios realizados (primeira coluna) e a respectiva classificação de primeiro melhor tratamento (segunda coluna) e segundo melhor tratamento (terceira coluna). O tratamento 100-0 obteve o melhor desempenho, pois dentre os sete ensaios ele atendeu quatro deles. E o tratamento 70-30 obteve o segundo melhor desempenho sendo justificado por atender três ensaios dentre os sete realizados. Considerando que este trabalho tem como objetivo a utilização de fibra de coco sendo que o tratamento com 30 % de fibra de coco obteve resultados satisfatórios

Tabela 16-Resumo dos ensaios classificados pelo melhor desempenho.

| ENSAIO | TRATAMENTO | TRATAMENTO |
|---|-------------------|-------------------|
| FÍSICOS | | |
| Densidade | 70-30 | 100-0 |
| Teor de umidade | 80-20 | 90-10 |
| Inchamento em espessura 24 horas | 90-10 | 100-0 |
| Absorção de água 24 horas | 100-0 | 70-30 |
| MECÂNICOS | | |
| Resistência à flexão estática e módulo de elasticidade | 100-0 | 70-30 |
| Tração perpendicular | 100-0 | 70-30 |
| Resistência ao arrancamento de parafuso no topo e na superfície | 100-0 | 90-10 |

5.4 Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura

As Figuras 47 e 48 representam a análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos painéis de MDP dos quatro tratamentos realizados.

Observando a Figura 47, com menor resolução, pode-se verificar que ocorreu uma tendência na redução dos vazios com o aumento da porcentagem de fibra de coco no acabamento da superfície da borda dos painéis.

E na Figura 48, sendo a mesma região da Figura 47 com resolução de 150 vezes, nota-se uma imagem mais clara e que proporciona uma clareza dos vazios.

Vazios estes que nos tratamentos 100-0 e 90-10 estão mais profundos e escuros reafirmando o que foi verificado na Figura 48, proporcionando assim um desempenho físico-mecânico inferior quando comparado com as imagens dos tratamentos 80-20 e 70-30. As imagens dos tratamentos 80-20 e 70-30 possuem vazios, mas com profundidades menores do que os tratamentos 100-0 e 90-10.

Podendo concluir que as imagens do MEV foram fundamentais para comprovar o desempenho favorável obtido das análises dos dados dos painéis para o tratamento 70-30.

Figura 47- Imagens de MEV da vista da borda do painel, com resolução em 50 vezes; (a) Tratamento 100-0; (b) Tratamento 90-10; (c) Tratamento 80-20; (d) Tratamento 70-30.

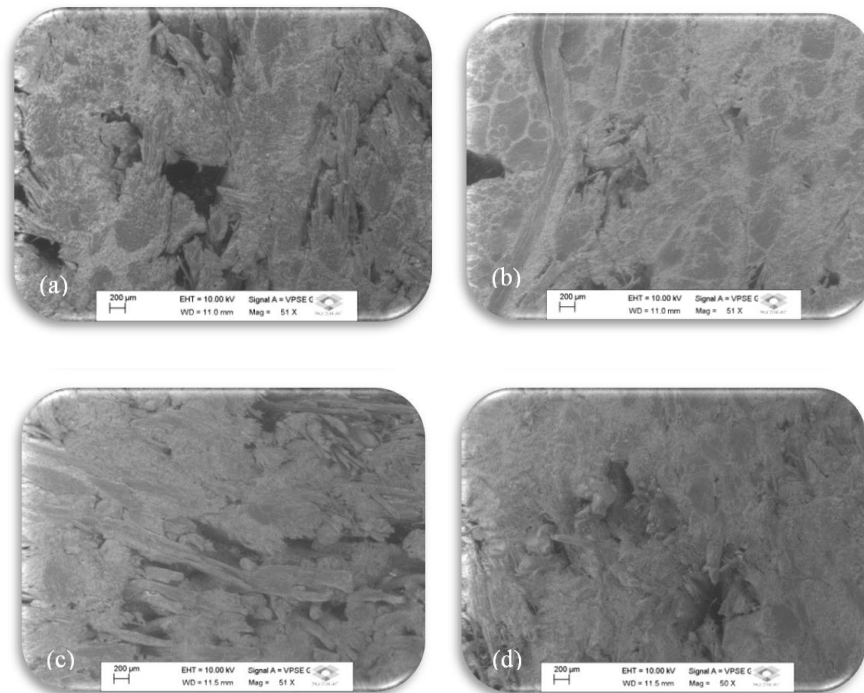
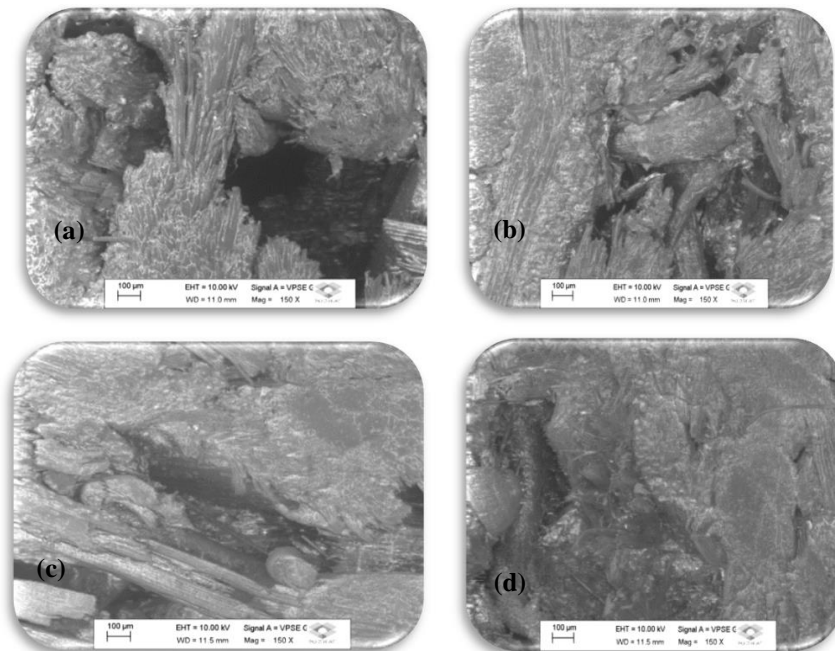


Figura 48- Imagens de MEV da vista da borda do painel, com resolução em 150 vezes; (a) Tratamento 100-0; (b) Tratamento 90-10; (c) Tratamento 80-20; (d) Tratamento 70-30.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após produzir e caracterizar painéis MDP (*Medium Density Particleboard*) de três camadas compostos por partículas de bambu e de fibras de coco utilizando adesivo poliuretano bi-componentes à base de óleo de mamona, com 0%, 10%, 20% e 30% em massa de partículas de fibra de coco na camada interna, foram realizados os ensaios físicos e mecânicos para a determinação das propriedades dos painéis e a análise estatística para avaliar se haveria diferença significativa entre os tratamentos. Como o objetivo desta pesquisa era verificar o comportamento do painel de partículas com a adição da fibra de coco, o tratamento 70-30 foi o melhor tratamento dentre os três com diferentes porcentagens de fibra de coco, tratamentos 90-10, 80-20 e 70-30. Sendo justificado em termos estatísticos, os valores médios obtidos pelos ensaios de resistência mecânica não apresentaram diferenças estatísticas entre os painéis 90-10, 80-20 e 70-30. Estatisticamente os valores médios obtidos para o ensaio de densidade não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos 80-20 e 70-30. O tratamento 70-30 não atingiu valores mínimos exigidos pela NBR 14.810 (2013) obtidos para o teor de umidade, sendo os tratamentos 90-10 e 80-20 não apresentaram diferenças estatísticas. Em relação aos valores médios obtidos pelos ensaios de inchamento em espessura 24 horas e absorção de água 24 horas os tratamentos 90-10 e 70-30 não apresentaram diferenças estatísticas.

Os valores médios obtidos para os quatro tratamentos foram comparados com os valores especificados pelas NBR 14.810-2 (2013), ANSI A208.1 (1999), CS 236-66 (1968), sendo que o tratamento 100-0 atendeu as três normas exceto para o valor de MOE quando avaliado pela CS 236-66 (1968).

Embora não tenha apresentado os melhores valores para todos os ensaios realizados, sejam físicos ou mecânicos, o tratamento 70-30 mostrou-se adequado a partir dos documentos normativos consultados e comparados (NBR 14.810-2 (2013), ANSI A208.1 (1999), CS 236-66 (1968)). Destaca-se que os resultados obtidos para este tratamento foram próximos ao tratamento dos painéis com 100% bambu. A viabilidade de adicionar a fibra de coco justificase por ser uma matéria-prima abundante e sustentável que apresenta baixíssimo valor agregado e quando incorporada a outro material indicou excelente viabilidade de utilização. Este painel pode ser utilizado na produção de móveis como tampo de mesa e na construção civil como divisórias de ambiente, forros entre outros produtos.

ESTUDOS FUTUROS

Com relação aos estudos futuros, foi observada a necessidade da avaliação de outros fatores:

- Análise química das fibras de coco e de bambu, como por exemplo, a quantidade de lignina;
- Realização de outros ensaios, como por exemplo, de envelhecimento artificial acelerado com ou sem impermeabilização;
- Utilização deste painel em um protótipo de um móvel, como o tampo de uma mesa de centro.

REFERÊNCIAS

ABRAF (Associação Brasileira de Produtores de Floresta). Anuário Estatístico ABRAF 2013 (ano base 2012). Disponível em : <file:///C:/Users/Administrator/Downloads/anuario-ABRAF-2013.pdf >Acesso em:26/08/2015.

ALBUQUERQUE, C. E. C. de. Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados. 2002. 150p. **Tese (Doutorado em Ciências Florestais)**. Universidade Federal de Paraná. Curitiba- PR. 2002.

AMERICAN NATIONAL STANDARD. **ANSI A208.1-99**: Particleboard. Gaithersburg. 1999.

ARAÚJO, I. I. DE; DINHANE, F. C. R.; VALARELLI, I. DE D.; BUENO, M. A. P.; FERREIRA, B. S.; CAMPOS, C. I. DE. *Influence of the Addition of Coffee Husk in Physical Properties of Bamboo Particleboard"*, **Advanced Materials Research**, Vol. 1088, pp. 648-651, Feb. 2015.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Annual book of **ASTM: D-1037** - Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials. Philladelphia, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA - ABIPA. **MDP**. Disponível em: < <http://www.abipa.org.br/produtosMDP.php>>. Acesso em: 22 abril. 2015a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. **Nossos produtos**. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/produtosMDP.php>>. Acesso em: 22 Abril. 2015b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2** Chapa de madeira aglomerada, parte 2: Requisitos. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-3** Chapa de madeira aglomerada, parte 3: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-1**: Painéis de partículas de média densidade, parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2** Painéis de partículas de média densidade, parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

A Lavoura. Nº 690/2012. Aproveitamento de resíduos. Disponível em: <sna.agr.br/uploads/ALavoura_690_26.pdf>. Acesso em: 12 abril. 2014.

BATISTA, D. C.; BRITO, E. O., SETUBAL, V. G., GÓES, L. G. de. Fabricação de aglomerado de três camadas com madeira de *Pinus elliottii Engelm.* e casca de *Eucalyptus pellita F. Muel.* **Cerne**, v.13, n.2, p.178-187, 2007.

BARBOSA, J. C.; ARAUJO, C. K. de C.; ARAUJO, S. K. de C.; FONSECA, K. A. V.; MORITA, B. de S.; TODESCO, V. Revisão sobre as Propriedades Físicas e Mecânicas de duas espécies de Bambu. 21º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP. Disponível em: <<https://uspdigital.usp.br/siicusp/cdOnlineTrabalhoVisualizarResumomonumeroInscricaoTrabalho=4473&numeroEdicao=21>> Acesso em: 29/11/2015.

BELINI, U. ; SAVASTANO JUNIOR, H. ; GARZON, N. ; SARTORI, D. ; LEITE, M. K. ; FIORELLI, J. ; TOMAZELO, M. Painel multicamada com reforço de partículas de bambu. **Scientia Forestalis (IPEF)**, v. 42, p. 421-427, 2014.

BERALDO, A. L.; JOSÉ, F. J. *Tableros prensados de partículas de bambú y adhesivo poliuretano a base de aceite de ricino*. In: *Memórias del Tercer Simposio Latinoamericano de bambu*, Guayaquil, Equador, CD-ROM, 2006.

BERTOLINI, M. S. Emprego de resíduos de *Pinus* sp. tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretano à base de mamona. 2011. 126f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

BUENO, M. A. P. Painéis de *medium density fiberboard* fabricados com bagaço de cana-de-açúcar e madeira de Reflorestamento. 176f. **Dissertação**. Pós-graduação em Engenharia Mecânica-Universidade “Júlio de Mesquita Filho”-FEB. Bauru-SP. 2014

CAMPOS, C. I. de, LAHR, F. A. R. *Production and characterization of MDF using eucalyptus fibers and castor oil-based polyurethane resin*. *Mat. Res.* [online], vol. 7, n. 3, pp. 421-425. ISSN 1980-5373. 2004.

CAMPOS, C. I.; FERREIRA, B. S.; BARBOSA, J. C.; MORALES, E. A. M.; CHRISTOFORO, A. L. ; ROCCO LAHR, F. A. *Particleboard Manufactured with Additions of Eucalyptus Bark in Different Percentages*. In: *The Internal Layer. Advanced Materials Research (Online)*, v. 1025-1026, p. 3-6, 2014.

CS - *COMMERCIAL STANDARD*. **CS 236-66: Material formed wood particleboard**. [S.l.], 1968

COELHO, M.A.Z.; LEITE, S.G.F.; ROSA, M.F.; FURTADO, A.A.L. Aproveitamento dos resíduos agroindustriais: **Produção de enzimas a partir da casca de coco verde**. Curitiba: Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos, 2001. p. 33-42. (Boletim CEPPA, v.19, n1). Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/alimentos/article/view/1220/1020>>. Acesso em: 12/03/2015.

CRAVO, J. C. M. Compósito particulado de baixa densidade com casca de amendoim, fibra de coco verde e resina poliuretano à base de óleo de mamona para aplicação como forro de galpões avícolas. 166 p. **Dissertação**. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos-Universidade de São Paulo. Pirassununga-SP. 2013.

CRAVO, J. C. M. ; SARTORI, D. ; NAKANISHI, E. Y. ; FIORELLI, J. ; SANTOS, W. N. ; BALIEIRO, J. C. C. . Forro ecológico de resíduos agroindustriais para galpões avícolas. **Ciência Rural (UFSM. Impresso)**, v. 44, p. 1466-1471, 2014.

CURTOLO, D. D. Painel de partícula ECO-eficiente de fibra da casca do coco verde. **Trabalho de Conclusão de Curso**. (Graduação em Engenharia de Biosistemas) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. 2013.

DACOSTA, L. P. E. Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas. 101 p. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria –RS. jan. 2004.

DINHANE, F. C. R.; ARAÚJO, I. I. de; VALARELLI, I. de D.; BUENO, M. A. P.; FERREIRA, B. S.; CAMPOS, C. I. de. *Particleboard Manufactured with Bamboo and Coconut Fibers in Different Ratios of Adhesive*. **Advanced Materials Research**, Vol. 1088, pp. 672-675, Feb. 2015.

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. Disponível em:<http://faostat3.fao.org/browse/Q/*/E>. Acesso em: 20/05/2015.

FEITOSA, D. ; BASTOS, D. C. ; PEREIRA, P. S. C. . Caraterização de compósitos à base de polipropileno reforçados com fibras de bagaço de cana-de-açúcar. In: 12o. Congresso Brasileiro de Polímeros, 2013, Florianópolis. **Anais** do 12o. Congresso Brasileiro de Polímeros, 2013.

FERREIRA, B. S. Propriedades físico-mecânicas de painéis particulados de *Eucalyptus saligna* e casca de noz macadâmia. 2013. 77 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do *Campus* de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

FIORELLI, J. ; CHRISTOFORO, A. L. ; LAHR, F. A. R. ; NASCIMENTO, M. F. ; CURTOLO, D. D. ; SARTORI, D. ; BELINI, U. . Painéis de partículas monocamadas fabricados com resíduo de madeira e fibra do coco verde. **Scientia Forestalis (IPEF)**, v. 43, p. 175-182, 2015.

FIORELLI, J.; LAHR, F. A. R.; BALIEIRO, J. C. C. Compósito particulado de baixa densidade com casca de amendoim, fibra de coco verde e resina poliuretana à base de óleo de mamona para aplicação como forro de galpões avícolas. 2013. **Dissertação** (Mestrado em Pós-Graduação em Zootecnia) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos.

FIORELLI, J.; ROSSIGNOLO, J. A.; CRAVO, J. C. M. Painéis de partículas de maravalha de *Pinus spp* e fibra da casca do coco verde. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia de Biosistemas) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. 2013.

FIORELLI, J. ; LAHAR, F. A. R. ; NASCIMENTO, M. F. DO ; SAVASTANO JUNIOR, H. ; ROSSIGNOLO, J. A. Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona produção e propriedades. **Acta Scientiarum. Technology (Online)**, v. 33, p. 401-406, 2011.

FRANCO, F. J. P. Aproveitamento da fibra do epicarpo do coco babaçu em compósito com matriz epóxi: Estudo do efeito do tratamento da fibra. **Dissertação**. Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. 77p . Natal-RN. 2010.

GATANI, M. ; FIORELLI, J. ; MEDINA, J. C. ; ARGUELLO, R. ; NASCIMENTO, M. F. ; SAVASTANO JUNIOR, H. . Viabilidade técnica de produção e propriedades de painéis de partículas de casca de amendoim. **Matéria (UFRJ)**, v. 18, p. 1286-1293, 2013.

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

HASELEIN, C.R., *et al.* Resistência à flexão estática de alguns painéis aglomerados comercializados no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria- RS. v.11, n.1, p.195-200. 2001.

HILLIG, E. Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino- formaldeído. 2000. 96 p. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)** Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria- RS. 2000.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF. 247 p. 2005.

IWAKIRI, S. **Material didático**. Universidade Federal do Paraná. UFPR- DETF. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinassetsuo/setsuo-pma.pdf> > Acesso em: 26/11/2015.

JESUS, J. M. H. Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC). São Carlos. **Tese (Doutorado)**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 106 p.2000.

KOLLMANN, F.; KENZI, P.; STAMM, A. *Principles of wood science and technology II. Wood based materials*, 703p. New York, USA, 1975.

LSPA. LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. v.29. n.5. p.1-76 . Rio de Janeiro. Maio.2015.

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

MELO, R. R.; DEL MENEZZI, C. H. S. **Influência da Massa Específica nas Propriedades Físico-Mecânicas de Painéis Aglomerados**. Silva Lusitana 18(1), © EFN, Lisboa-Portugal. p. 59-73. Jan. 2010.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard**. 2. ed. San Francisco: Miller Freeman, 681p. 1993.

MARCON,J.S. ; CIOFFI, Maria Odila Hilário ; BENINI, K.C.C.C . **Efeito da modificação da fibra de abacaxi sobre as propriedades mecânicas em compósitos poliméricos**. In: Congresso Brasileiro de Polímeros, Campos do Jordão. 11º Congresso brasileiro de polímeros, 2011. p. 4977-4982. 2011.

MICHAQUE, A. M. M., Efeito da geometria das partículas e da densidade, sobre as propriedades de painéis estruturais *Waferboards*. 122 p. **Dissertação**. Pós-graduação em

Engenharia Florestal do setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR. 1992.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Illinois: *Southern Illinois University Press*, v. 1. 244 p. 1974.

NAUMANN, R. B. *et al.* Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e de *Schizolobium amazonicum* Herb. **Rev. Árvore** [online]. vol.32, n.6, pp. 1143-1150. 2008.

PASSOS, P. R. DE A. Destinação Sustentável de Cascas de Coco (*Cocos nucifera*) Verde: Obtenção de Telhas e Chapas de Partículas. **Tese**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE- Doutor em Ciências em Planejamento Energético. 166 p. Rio de Janeiro- RJ. 2005.

PERREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. 1ªed. Bauru-SP: canal6editora, p. 38-51. 2008.

PIERRE, C. F. Caracterização físico-mecânica de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com adição de resíduos industriais madeireiros .**Tese** –Doutorado. Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP – Campus de Botucatu. dez. 2010

SAIN, S; SUHARA, P; LAW, S; BOUILLOUX, A. **Interface modification and mechanical properties of natural fibre-polyolefin composite products**. J Reinf Plast Compos 2005;24(2):121–30

SALVADOR, S. **Inovação de produtos ecológicos em cortiça**. 2001. 57 f. Projecto de Termodinâmica Aplicada, Departamento de Engenharia mecânica – Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2001. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/38187492/Trabalho-Sobre-a-Cortica#scribd>> Acesso em: 20/03/2015.

SILVEIRA, M. S. Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquetes em Salvador-BA. **Dissertação** (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo). – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica. 163 p. Salvador-BA. 2008.

SINDICATO DE COCO. Disponível em:<http://www.sindcoco.com.br/noticia_detalhe.php?idNoticia=24>.Acesso em: 20/05/2015.

SANTOS, Washington Luis França; SILVA, Antônio Jorge Parga da; CABRAL, Aluísio A. and MERCURY, José Manuel Rivas. Particleboard manufactured from Tauari (*Couratari oblongifolia*) wood waste using castor oil based polyurethane resin. *Mat. Res.* [online]. 2014, vol.17, n.3, pp. 657-663. Epub Feb 18, 2014. ISSN 1516-1439. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392014005000013>.

SAVASTANO JR, H. ; SANTOS, S. F. ; TONOLI, G. H.D. ; MEJIA, J. E.B. ; FIORELLI, J. . Compuestos cementantes no convencionales reforzados con fibras vegetales: Una revisión de estrategias para mejorar la durabilidad. *Materiales de Construcción* (Madrid), v. 65, p. e041, 2015.

SAVASTANO JUNIOR, H.; AKASAKI, J. L.; COCINA, E. V.; ROSSIGNOLO, J. A.; FIORELLI, J.. Participação em banca de Camila Lúcio Pereira. Aproveitamento do resíduo do coco verde para produção de compósitos destinados à construção rural. **Tese** (Doutorado em ZOOTECNIA - QUALIDADE E PRODUTIVIDADE ANIMAL) - Universidade de São Paulo. 2012.

VITAL, B. R.; HASELEIN, C. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito da geometria das partículas nas propriedades das chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden). **Revista Árvore**, v.16, n.1, p.88-96, 1992.

APÊNDICE A

Tabela 1- Dados obtidos após mensurar os corpos de prova, segundo sua diferença de massa.

| Tratamento | Teor de umidade (%) | | | |
|----------------------------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Número de corpos de prova | | | | |
| CP 1 | 9,80 | 8,39 | 8,89 | 9,84 |
| CP 2 | 9,57 | 8,21 | 8,63 | 9,66 |
| CP 3 | 9,49 | 8,68 | 8,44 | 9,69 |
| CP 4 | 9,47 | 8,43 | 8,48 | 9,44 |
| CP 5 | 9,63 | 8,88 | 8,83 | 9,81 |
| CP 6 | 9,43 | 8,57 | 8,30 | 9,47 |
| CP 7 | 9,07 | 8,72 | 8,34 | 9,47 |
| CP 8 | 9,08 | 8,58 | 8,36 | 9,59 |
| CP 9 | 9,51 | 8,81 | 8,33 | 9,84 |
| CP 10 | 9,37 | 8,84 | 7,94 | 9,97 |
| Média | 9,44 | 8,61 | 8,45 | 9,68 |
| Desvio padrão | 0,23 | 0,22 | 0,28 | 0,19 |

Tabela 2- Dados obtidos após mensurar os corpos de prova, segundo sua massa e volume.

| Tratamento | Densidade (Kg/m ³) | | | |
|----------------------------------|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Número de corpos de prova | | | | |
| CP 1 | 776,29 | 564,14 | 698,38 | 796,30 |
| CP 2 | 787,15 | 518,53 | 758,97 | 738,45 |
| CP 3 | 779,94 | 741,37 | 809,59 | 828,90 |
| CP 4 | 766,15 | 711,52 | 797,01 | 781,34 |
| CP 5 | 767,55 | 763,32 | 723,78 | 765,45 |
| CP 6 | 754,72 | 730,37 | 772,87 | 739,22 |
| CP 7 | 776,33 | 742,58 | 744,69 | 774,37 |
| CP 8 | 778,38 | 727,52 | 744,94 | 748,38 |
| CP 9 | 767,16 | 756,59 | 632,99 | 801,79 |
| CP 10 | 773,97 | 690,22 | 607,73 | 767,80 |
| Média | 772,76 | 694,62 | 729,10 | 774,20 |
| Desvio padrão | 9,10 | 84,16 | 66,11 | 27,53 |

Tabela 3- Dados obtidos após mensurar os corpos de prova, segundo sua diferença em espessura.

| Tratamento | Inchamento 24 horas (%) | | | |
|----------------------------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Número de corpos de prova | | | | |
| CP 1 | 5,69 | 7,71 | 8,45 | 7,95 |
| CP 2 | 6,33 | 7,16 | 8,47 | 7,13 |
| CP 3 | 7,93 | 7,18 | 6,69 | 6,84 |
| CP 4 | 6,58 | 7,30 | 8,08 | 8,85 |
| CP 5 | 7,43 | 6,69 | 10,69 | 7,62 |
| CP 6 | 7,67 | 6,24 | 9,01 | 9,07 |
| CP 7 | 7,48 | 5,25 | 7,04 | 8,52 |
| CP 8 | 6,73 | 7,98 | 7,95 | 7,95 |
| CP 9 | 8,09 | 6,63 | 8,18 | 7,35 |
| CP 10 | 8,01 | 6,40 | 8,05 | 6,20 |
| Média | 7,19 | 6,85 | 8,26 | 7,75 |
| Desvio padrão | 0,81 | 0,79 | 1,09 | 0,91 |

Tabela 4- Dados obtidos após mensurar os corpos de prova, segundo sua diferença de massa.

| Tratamento | Absorção de água 24 horas (%) | | | |
|----------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Número de corpos de prova | | | | |
| CP 1 | 35,27 | 67,38 | 36,14 | 38,24 |
| CP 2 | 26,14 | 67,41 | 34,69 | 30,26 |
| CP 3 | 27,05 | 37,32 | 33,49 | 40,99 |
| CP 4 | 26,47 | 35,92 | 31,88 | 46,33 |
| CP 5 | 25,99 | 28,66 | 55,52 | 42,31 |
| CP 6 | 29,12 | 28,63 | 53,52 | 42,06 |
| CP 7 | 35,36 | 31,95 | 30,88 | 40,78 |
| CP 8 | 27,09 | 42,97 | 33,33 | 30,62 |
| CP 9 | 33,33 | 24,16 | 56,71 | 38,15 |
| CP 10 | 33,65 | 33,85 | 59,47 | 29,89 |
| Média | 29,95 | 39,83 | 42,56 | 37,96 |
| Desvio padrão | 3,98 | 15,44 | 12,00 | 5,79 |

Tabela 5- Dados obtidos após os corpos de prova serem ensaiados através da máquina universal ensaios, determinando MOR.

| Tratamento | MOR (MPa) | | | |
|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Número de corpos de prova | | | | |
| CP1 | 19,79 | 7,57 | 17,11 | 22,35 |
| CP2 | 18,20 | 3,25 | 13,55 | 9,89 |
| CP3 | 17,49 | 11,64 | 20,97 | 12,95 |
| CP4 | 13,92 | 17,32 | 15,50 | 16,34 |
| CP5 | 14,54 | 16,68 | 14,51 | 19,60 |
| CP6 | 13,30 | 12,35 | 12,46 | 10,69 |
| CP7 | 22,90 | 16,67 | 17,51 | 18,34 |
| CP8 | 19,36 | 12,05 | 16,15 | 11,60 |
| CP9 | 15,15 | 18,09 | 5,97 | 17,48 |
| CP10 | 16,51 | 8,98 | 5,42 | 14,46 |
| Média | 17,12 | 12,46 | 13,92 | 15,37 |
| Desvio padrão | 3,03 | 4,86 | 4,93 | 4,13 |

Tabela 6- Dados obtidos após os corpos de prova serem ensaiados através da máquina universal ensaios, determinando MOE.

| Tratamento | MOE (MPa) | | | |
|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Número de corpos de prova | | | | |
| CP1 | 2921,31 | 1268,77 | 2199,35 | 2888,56 |
| CP2 | 1510,59 | 808,79 | 1763,67 | 1640,46 |
| CP3 | 1328,17 | 2191,99 | 2788,22 | 1926,89 |
| CP4 | 2193,86 | 2655,45 | 1987,35 | 2312,00 |
| CP5 | 2428,74 | 2655,24 | 2276,72 | 2445,79 |
| CP6 | 2273,10 | 1876,83 | 1724,93 | 1750,19 |
| CP7 | 2960,88 | 2765,78 | 2633,85 | 2625,60 |
| CP8 | 2663,15 | 2055,78 | 2939,19 | 2273,01 |
| CP9 | 2285,22 | 3127,60 | 1165,61 | 2121,97 |
| CP10 | 2337,42 | 1602,32 | 931,14 | 2113,00 |
| Média | 2290,24 | 2100,86 | 2041,00 | 2209,75 |
| Desvio padrão | 532,45 | 728,93 | 664,58 | 385,32 |

Tabela 7- Dados obtidos após os corpos de prova ser ensaiado através da máquina universal ensaios, determinando o MOR.

| Tratamento | Tração perpendicular (MPa) | | | |
|----------------------------------|----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Número de corpos de prova | | | | |
| CP1 | 1,45 | 0,53 | 0,80 | 1,20 |
| CP2 | 1,81 | 0,42 | 1,08 | 0,86 |
| CP3 | 1,34 | 0,76 | 1,24 | 1,15 |
| CP4 | 1,46 | 0,98 | 1,39 | 0,94 |
| CP5 | 1,51 | 1,28 | 0,70 | 1,07 |
| CP6 | 1,74 | 1,30 | 1,07 | 1,07 |
| CP7 | 1,47 | 0,73 | 1,00 | 1,08 |
| CP8 | 1,70 | 0,94 | 0,66 | 0,82 |
| CP9 | 1,29 | 1,27 | 0,68 | 1,28 |
| CP10 | 1,91 | 0,60 | 1,15 | 0,75 |
| Média | 1,57 | 0,88 | 0,98 | 1,02 |
| Desvio padrão | 0,21 | 0,33 | 0,26 | 0,17 |

Tabela 8- Dados obtidos após os corpos de prova ser ensaiado através da máquina universal ensaios, determinando a força necessária para arrancar o parafuso do topo do painel.

| Tratamento | Arrancamento de parafuso no topo (N) | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Número de corpos de prova | | | | |
| CP1 | 831,70 | 480,37 | 862,78 | 530,37 |
| CP2 | 837,11 | 359,44 | 1154,65 | 705,36 |
| CP3 | 983,72 | 939,13 | 1085,06 | 816,84 |
| CP4 | 913,45 | 986,42 | 893,18 | 966,15 |
| CP5 | 1167,49 | 908,05 | 641,85 | 714,14 |
| CP6 | 1064,79 | 1149,25 | 726,98 | 1001,96 |
| CP7 | 844,54 | 902,64 | 941,15 | 714,82 |
| CP8 | 1186,41 | 1353,29 | 839,81 | 995,20 |
| CP9 | 996,55 | 743,87 | 640,50 | 744,54 |
| CP10 | 993,85 | 647,25 | 729,68 | 723,60 |
| Média | 981,96 | 846,97 | 851,56 | 791,30 |
| Desvio padrão | 129,35 | 299,09 | 174,90 | 153,20 |

Tabela 9- Dados obtidos após os corpos de prova ser ensaiado através da máquina universal ensaios, determinando a força necessária para arrancar o parafuso da superfície do painel.

| Arrancamento de parafuso na superfície (N) | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Tratamento | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Número de corpos de prova | | | | |
| CP1 | 1414,77 | 591,85 | 1006,01 | 579,01 |
| CP2 | 833,73 | 605,36 | 1078,31 | 815,49 |
| CP3 | 946,56 | 1288,43 | 1068,85 | 1170,87 |
| CP4 | 1119,52 | 1268,83 | 1003,31 | 994,53 |
| CP5 | 325,65 | 772,24 | 914,13 | 648,60 |
| CP6 | 947,91 | 1343,83 | 798,59 | 1001,28 |
| CP7 | 1255,32 | 958,04 | 981,01 | 1072,22 |
| CP8 | 1271,54 | 406,73 | 1066,82 | 1068,85 |
| CP9 | 437,13 | 743,87 | 410,78 | 848,59 |
| CP10 | 1280,32 | 1070,20 | 559,42 | 635,77 |
| Média | 983,25 | 904,94 | 888,72 | 883,52 |
| Desvio padrão | 366,03 | 330,28 | 231,22 | 209,19 |

APÊNDICE B

DENSIDADE

```
> anova(aov(lm(dens~coco)))
```

Analysis of Variance Table

Response: dens

| | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) |
|-----------|----|--------|---------|---------|-------------|
| coco | 3 | 43933 | 14644.2 | 4.7324 | 0.006958 ** |
| Residuals | 36 | 111399 | 3094.4 | | |

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> TukeyHSD(aov(lm(dens~coco)))
```

Tukey multiple comparisons of means

95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = lm(dens ~ coco))

\$coco

| | diff | lwr | upr | p adj |
|---------|---------|------------|-----------|-----------|
| 10%-0% | -78.148 | -145.14845 | -11.14755 | 0.0168988 |
| 20%-0% | -43.669 | -110.66945 | 23.33145 | 0.3110931 |
| 30%-0% | 1.436 | -65.56445 | 68.43645 | 0.9999296 |
| 20%-10% | 34.479 | -32.52145 | 101.47945 | 0.5160872 |
| 30%-10% | 79.584 | 12.58355 | 146.58445 | 0.0145835 |
| 30%-20% | 45.105 | -21.89545 | 112.10545 | 0.2839562 |

TEOR DE UMIDADE

```
> anova(aov(lm(umid~coco)))
```

Analysis of Variance Table

Response: umid

| | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) |
|-----------|----|---------|---------|---------|---------------|
| coco | 3 | 10.9593 | 3.6531 | 69.825 | 4.465e-15 *** |
| Residuals | 36 | 1.8834 | 0.0523 | | |

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> TukeyHSD(aov(lm(umid~coco)))
```

Tukey multiple comparisons of means

95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = lm(umid ~ coco))

\$coco

| | diff | lwr | upr | p adj | |
|---------|--------|-------------|-----------|-----------|--|
| 10%-0% | -0.831 | -1.10649504 | -0.555505 | 0.0000000 | |
| 20%-0% | -0.988 | -1.26349504 | -0.712505 | 0.0000000 | |
| 30%-0% | 0.236 | -0.03949504 | 0.511495 | 0.1152819 | |
| 20%-10% | -0.157 | -0.43249504 | 0.118495 | 0.4279418 | |
| 30%-10% | 1.067 | 0.79150496 | 1.342495 | 0.0000000 | |
| 30%-20% | 1.224 | 0.94850496 | 1.499495 | 0.0000000 | |

ABSORÇÃO

> anova(aov(lm(abs~coco)))

Analysis of Variance Table

Response: abs

| | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) |
|-----------|----|--------|---------|---------|---------|
| coco | 3 | 882.8 | 294.26 | 2.7277 | 0.05825 |
| Residuals | 36 | 3883.7 | 107.88 | | |

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

INCHAMENTO

> anova(aov(lm(inch~coco)))

Analysis of Variance Table

Response: inch

| | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) |
|-----------|----|--------|---------|---------|-------------|
| coco | 3 | 11.508 | 3.8359 | 4.6488 | 0.007574 ** |
| Residuals | 36 | 29.705 | 0.8251 | | |

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> TukeyHSD(aov(lm(inch~coco)))

Tukey multiple comparisons of means

95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = lm(inch ~ coco))

```

$coco
      diff      lwr      upr      p adj
10%-0% -0.340 -1.43408116 0.7540812 0.8365217
20%-0%  1.067 -0.02708116 2.1610812 0.0581736
30%-0%  0.554 -0.54008116 1.6480812 0.5296508
20%-10% 1.407  0.31291884 2.5010812 0.0072849
30%-10% 0.894 -0.20008116 1.9880812 0.1424040
30%-20% -0.513 -1.60708116 0.5810812 0.5919413

```

MOE

```

> anova(aov(lm(moe~comp)))
Analysis of Variance Table

```

Response: moe

```

      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
comp   1  45404  45404  0.133 0.7173
Residuals 38 12970409 341327

```

MOR

```

> anova(aov(lm(mor~comp)))
Analysis of Variance Table

```

Response: mor

```

      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
comp   1   7.16  7.1555  0.349 0.5582
Residuals 38 779.14 20.5038

```

ADESÃO INTERNA

```

> anova(aov(lm(adeint~comp)))
Analysis of Variance Table

```

Response: adeint

```

      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
comp   1 11.1889 11.18888 11.626 0.001554 **
Residuals 38 3.8858 0.10226

```

```

> TukeyHSD(aov(lm(adeint~comp)))
Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level

```

```

Fit: aov(formula = lm(adeint ~ comp))

```

```

$comp
  diff   lwr   upr   p adj
2-1 -0.687 -0.9846405 -0.3893595 0.0000021
3-1 -0.591 -0.8886405 -0.2933595 0.0000298
4-1 -0.546 -0.8436405 -0.2483595 0.0001026
3-2  0.096 -0.2016405  0.3936405 0.8208903
4-2  0.141 -0.1566405  0.4386405 0.5838649
4-3  0.045 -0.2526405  0.3426405 0.9768480

```

PARAFUSO TOPO

```

> anova(aov(lm(paratop~comp)))
Analysis of Variance Table

```

Response: paratop

| | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) |
|-----------|----|---------|---------|---------|--------|
| comp | 3 | 195827 | 65276 | 1.6294 | 0.1996 |
| Residuals | 36 | 1442207 | 40061 | | |

PARAFUSO SUPERFÍCIE

```

> anova(aov(lm(parasup~comp)))
Analysis of Variance Table

```

Response: parasup

| | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) |
|-----------|----|---------|---------|---------|--------|
| comp | 3 | 64400 | 21467 | 0.2523 | 0.8591 |
| Residuals | 36 | 3062582 | 85072 | | |