

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

BRUNA BESSA ROCHA

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MADEIRA E BAGAÇO DE
CANA-DE-AÇÚCAR NA PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DE PAINÉIS
AGLOMERADOS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia - UNESP - Campus de Ilha Solteira, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Conhecimento: Estruturas

Prof. Dr. Sérgio Augusto Mello da Silva
Orientador

Prof. Dra. Elen Aparecida Martines Morales
Coorientadora

Ilha Solteira
2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

R672a Rocha, Bruna Bessa.
Aproveitamento de resíduos de madeira e bagaço de cana-de-açúcar na produção e avaliação de painéis aglomerados / Bruna Bessa Rocha. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2016
93 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2016

Orientador: Sérgio Augusto Mello da Silva
Coorientador: Elen Aparecida Martines Morales
Inclui bibliografia

1. Painéis de partículas de madeira de média densidade. 2. Resíduos de marcenaria industrial. 3. Partículas de bagaço de cana-de-açúcar.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Aproveitamento de resíduos de madeira e bagaço de cana de açúcar na produção e avaliação de painéis aglomerados

AUTORA: BRUNA BESSA ROCHA

ORIENTADOR: SERGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA

CO-ORIENTADORA: ELEN APARECIDA MARTINES MORALES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ENGENHARIA CIVIL, área: ESTRUTURAS pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. SERGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. ANTONIO ANDERSONS SEGANTINI
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Profa. Dra. MARA REGINA PAGLIUSO RODRIGUES
Departamento de Engenharia Civil / Instituto Federal de São Paulo - Câmpus de Votuporanga

Ilha Solteira, 25 de julho de 2016

*Dedico este trabalho aos meus pais
Ataíde e Lúcia, a minha irmã Luana, e
ao meu noivo William, pelo incentivo e
compreensão.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais uma vitória em minha vida e saber que Ele estará sempre ao meu lado para me conduzir, me abençoar e iluminar o meu caminho. Tu és a minha fortaleza, e com o Senhor quero aprender os mais valiosos saberes desta vida, para todo o sempre.

À minha família, por me mostrar que o saber é algo mais que precioso, e por estar sempre ao meu lado para suprir as ausências e ansiedades.

Aos meus amigos que me incentivaram, Adriana Maria, João Victor e Verônica que também acreditaram na realização deste projeto.

Também sou eternamente grata ao meu Orientador Prof. Dr. Sérgio Augusto Mello da Silva e a minha Coorientadora Profa. Dra. Elen Aparecida Martines Morales da Faculdade de Engenharia Madeireira da UNESP de Itapeva, ao técnico de laboratório Brito e a Profa. Ana Paula Jorge da UNESP de Presidente Prudente pelo auxílio da análise estatística realizada, que me levaram a entender o quão importante se faz trabalhar com seriedade e competência, além da amizade e profissionalismo compartilhados. Agradeço pelas valiosas contribuições, o que permitiu ampliar meus conhecimentos em materiais de construção civil e estruturas.

A Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro através da bolsa de estudo.

Aos técnicos do Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Estadual Paulista, Gilson, Mário, Flávio, Ozias, pela amizade, apoio e disposição.

Agradeço em especial aos colegas de iniciação científica Daniela, Luíza e Luís Guilherme, por ter acompanhado e auxiliado todo o processo de ensaios, e a colega de mestrado Larissa.

*“O verbo de Deus nos céus é fonte de
sabedoria, seus caminhos são os
mandamentos eternos.”*

Eclesiástico 1,5

RESUMO

No Brasil intensificam-se os estudos visando o aproveitamento dos subprodutos industriais com a justificativa de que propiciarão proteção ao meio ambiente, pois seu aproveitamento poderá agregar valor a novos produtos com interesse comercial e poderão minimizar a exploração e o uso de recursos naturais. Neste trabalho se propõe avaliar a influência da composição granulométrica no desempenho de painéis de partículas de madeira de média densidade de acordo com a ABNT NBR14810 - 1 e 2:2013, pois, em estudos realizados para produção e avaliação de painéis de partículas de madeira de marcenarias industriais e de indústrias moveleiras com emprego de adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona (PU-Mamona) foi identificado que, para melhorar as propriedades dos painéis, seria necessário melhorar a composição granulométrica do resíduo utilizado. Neste sentido, este trabalho, propôs cinco tratamentos com misturas diferentes de partículas de madeira e adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar. Em seguida foram confeccionados painéis de partículas com as misturas propostas nos tratamentos e realizadas avaliações para a verificação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis. Os resultados obtidos evidenciaram significativa melhoria nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis, sendo possível indicar o aproveitamento dos resíduos estudados para a produção de painéis de madeira de média densidade do tipo P2 segundo a NBR 14810 - 1 e 2:2013.

Palavras-chave: Painéis de partículas de madeira de média densidade. Resíduos de marcenaria industrial. Partículas de bagaço de cana-de-açúcar.

ABSTRACT

In Brazil, the studies targeting the utilization of industrial by-products are intensified, with the justification that will provide environmental protection, therefore its use can add value to new products with commercial interest and may minimize the exploitation and use of natural resources. This study aims to evaluate the influence of granulometric composition in the performance of panels of medium density wood particles according to ABNT NBR14810 - 1 and 2: 2013, since in studies for production and evaluation of panels of wood particles of industrial joinery and furniture industries with employment polyurethane adhesive derived from castor oil (PU-Castor Oil) was identified that, to improve the properties of the panels, it is necessary improve granulometric composition of the residue utilized, in this sense, this paper proposed five treatments with different mixtures of particles of wood and sugarcane bagasse. Then were prepared particle boards with the mixtures proposed and evaluations carried out to verify the physical and mechanical properties of the panels. The results showed significant improvement in physical and mechanical properties of the panels, which can indicate the use of residues studied for the production of medium density wood panels of P2 type according to NBR 14810-1 and 2: 2013.

Keywords: Medium density wood particles panels. Industrial joinery residues. Sugarcane bagasse particles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cadeia produtiva do Setor de Madeira Processada Mecanicamente	18
Figura 2 - Evolução do consumo nacional dos produtos florestais oriundos de florestas plantadas (2000-2001).....	19
Figura 3 – Pannel aglomerado de madeira	21
Figura 4 – Composição estrutural dos aglomerados	22
Figura 5 – Processo de fabricação dos painéis	23
Figura 6 - Esquema de uma vida de MLC.....	25
Figura 7 – Evolução do Consumo Nacional	26
Figura 8 – Painéis de madeira compensada	27
Figura 9 – Painéis de Fibras de Madeira	29
Figura 10 - Painéis de MDF - Medium Density Fiberboard.....	29
Figura 11 – Painéis de OSB – Oriented Strand Board	31
Figura 12 – Painéis de MDP Medium Density Particleboard	32
Figura 13 – Aplicações de sistemas na cobertura de madeira laminada colada	33
Figura 14 – Resíduo de madeira de serraria	37
Figura 15 - Bagaço de cana-de-açúcar.....	39
Figura 16 – Fotomicrografia 10x.....	43
Figura 17 – Cupiúba.....	44
Figura 18 – Cambará.....	45
Figura 19 – Face radial do Ipê	45
Figura 20 – Fotomicrografia (10x)	46
Figura 21 – Conjunto de peneiras com dispositivo vibratório	47
Figura 22 – Ilustração do processamento do bagaço de cana em moinho de facas, para produção de partículas.....	48
Figura 23 - Seleção prévia das partículas de serragem.....	54
Figura 24 – Objetos separados com o peneiramento da serragem	54
Figura 25 – Misturas de resíduos previamente selecionados	55
Figura 26 – Adição e homogeneização do adesivo e misturador de tambor.....	55
Figura 27 - Formação do colchão de partículas.....	56

Figura 28 – Prensagem do Painel	56
Figura 29 – Painéis exploratórios	57
Figura 30 – Curva granulométrica do Tratamento 0	58
Figura 31 – Curva Granulométrica do Tratamento 1	60
Figura 32 – Curva Granulométrica do Tratamento 2	61
Figura 33 – Curva Granulométrica do Tratamento 3.....	62
Figura 34 – Curva Granulométrica do Tratamento 4	63
Figura 35 – Curva Granulométrica do Tratamento 5	64
Figura 36 – Curva Granulométrica da mistura do Tratamento	70
Figura 37 – Processo de Confeção dos Painéis ajustados com 50% serragem e 50% bagaço de cana	71
Figura 38 – Ensaio de Inchamento.....	71
Figura 39 – Ensaio de Flexão.....	72
Figura 40 – Ensaio de Tração Perpendicular.....	73
Figura 41 – Avaliação da Distribuição dos valores obtidos com os ensaios para caracterização das propriedades físicas dos painéis.....	75
Figura 42 – Avaliação da Distribuição dos valores obtidos com os ensaios para caracterização das propriedades mecânicas dos panéis.....	76
Figura 43 – Análise da dispersão entre os valores obtidos para Tração Perpendicular e Densidade.....	77
Figura 44 – Reta de Regressão do modelo ajustado.....	78
Figura 45 – Gráfico para análise da tendência dos resíduos.....	80
Figura 46 – Gráfico para análise da distribuição dos resíduos.....	80
Figura 47 – Histograma dos resíduos padronizados.....	81
Figura 48 – Gráfico para verificação da normalidade dos resíduos.....	81
Figura 49 - Quantidade de corpos de prova utilizados no ensaio de Densidade e resultados...90	
Figura 50 - Quantidade de corpos de prova utilizados no ensaio de Umidade e resultados.....91	
Figura 51 - Quantidade de corpos de prova utilizados no ensaio de Absorção e resultados....91	
Figura 52 - Quantidade de corpos de prova utilizados no ensaio de Adesão Interna e resultados.....92	
Figura 53 - Quantidade de corpos de prova utilizados no ensaio de Flexão e resultados.....93	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tratamentos propostos para confecção dos painéis aglomeradas.....	48
Tabela 2 – Teores de umidade de cada mistura em função dos tratamentos propostos.....	56
Tabela 3 – Determinação da composição granulométrica do tratamento de referência.....	57
Tabela 4 – Determinação da composição granulométrica da serragem (90%) e bagaço de cana (10%) e caracterização do agregado	58
Tabela 5 – Determinação da composição granulométrica da serragem (80%) e bagaço de cana (20%) e caracterização do agregado.....	59
Tabela 6 – Determinação da composição granulométrica da serragem (70%) e bagaço de cana (30%) e caracterização do agregado	60
Tabela 7 – Determinação da composição granulométrica da serragem (60%) e bagaço de cana (40%) e caracterização do agregado	61
Tabela 8 – Determinação da composição granulométrica da serragem (50%) e bagaço de cana (50%) e caracterização do agregado	62
Tabela 9 – Resumo da composição granulométrica de cada tratamento	63
Tabela 10 – Teores de umidades das misturas de cada tratamento proposto	64
Tabela 11 – Resultados dos ensaios para caracterização das propriedades físicas	64
Tabela 12 – Avaliação da umidade dos painéis	65
Tabela 13 – Valores das propriedades mecânicas dos painéis	66
Tabela 14 – Determinação da composição granulométrica da serragem (50%) e bagaço de cana (50%) e caracterização do agregado	68
Tabela 15 – Valores das propriedades físicas.....	71

Tabela 16 – Valores das propriedades mecânicas.....	72
Tabela 17 – Análise descritivas das propriedades físicas dos painéis.....	73
Tabela 18 – Análise descritiva das propriedades mecânicas dos painéis.....	74
Tabela 19 – Análise de Variância (ANOVA).....	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Evolução histórica da produção, consumo, exportação e importação de painéis de madeira aglomerada no Brasil em m ³	18
Quadro 2 - Produção de compensados, consumo e exportação em 1.000m ³	26
Quadro 3 - Produção, Consumo, Exportação, Importação de chapas de fibra (m ³)	28
Quadro 4 - Evolução histórica da produção, consumo, exportação e importação de MDF no Brasil (m ³)	30
Quadro 5 - Produção, importação, exportação e consumo interno 1.000 (m ³) de MDP no Brasil.....	33

SUMÁRIO

1	Introdução	14
1.1	Considerações Iniciais.....	14
1.2	Importância do Tema.....	14
1.3	Objetivo.....	15
1.4	Apresentação do Trabalho.....	15
2	Revisão Bibliográfica	17
2.1	Breve Histórico sobre painéis de madeira aglomerada	17
2.1.1	Produção de Painéis de Madeira Aglomerada.....	17
2.2	Tipos de Painéis Produzidos Industrialmente	24
2.2.1	Laminados de Madeira	24
2.1.2	Madeira compensada.....	25
2.1.3	Madeira Reconstituída.....	27
2.1.4	Painéis de Fibras de Madeira.....	28
2.1.5	MDF Medium Density Fiberboard – Painel de Fibra de Média Densidade.....	29
2.1.6	OSB Oriented Strand Board – Painéis de Partículas Orientadas.....	31
2.1.7	MDP Medium Density Particleboard – Painéis de Partículas de Média Densidade ..	32
2.1.8	Madeira Laminada Colada	23
3.	Resíduos	35
3.1	Aproveitamento de Resíduos de Madeira	36
3.2	Aproveitamento de Resíduos de Bagaço de Cana-de-Açúcar.....	38
3.3	Adesivo.....	40
3.3.1	Resina Poliuretana à Base de Mamona	41
3.4	Materiais e Equipamentos	41
3.5	Propriedade dos Materiais	42
4	Materiais e Métodos	43
4.1	Serragem.....	43
4.2	Bagaço de cana-de-açúcar	46
4.3	Resina	46
4.4	Peneiramento e processamento das partículas para preparação das misturas	47
4.5	Preparação das partículas do bagaço de cana-de-açúcar.....	47

4.6	Preparação das Misturas (tratamentos) para Confecção dos Painéis.....	48
4.7	Cálculo da massa de Partículas para Confecção dos Painéis.....	49
4.8	Caracterização dos Painéis	49
4.8.1	Cálculo do Teor de Umidade das Partículas de acordo com cada Tratamento	49
4.8.2	Determinação do Inchamento e Absorção de Água	49
4.8.3	Determinação do Teor de Umidade dos Painéis	50
4.8.4	Determinação da Densidade Aparente dos Painéis.....	50
4.8.5	Determinação da Resistência ao Arrancamento de Parafuso	51
4.8.6	Flexão e Módulo de Elasticidade	51
4.8.7	Tração Perpendicular ou Adesão Interna	52
5.	Primeira Etapa - Programa Experimental	53
5.1	Procedimentos para Confecção dos Painéis Exploratórios	54
5.1.1	Composição Granulométrica.....	56
5.2	Resultados Iniciais e Discussões.....	64
5.3	Considerações sobre o Programa Experimental.....	68
6	Segunda Etapa (Análise granulométrica ajustada com 50% serragem e 50% bagaço de cana).....	69
6.1	Propriedades físicas painéis do T5 com ajustes do comprimento das partículas.....	71
6.2	Propriedades mecânicas dos painéis do T5 com ajustes do comprimento das partículas.....	72
6.3	Análise Estatística.....	73
6.3.1	Análise de Regressão entre os valores de Tração Perpendicular e Densidade.....	79
6.3.2	Análise dos resíduos.....	79
6.3.3	Conclusão.....	82
7	Referências	84
	Apendice.....	

1 INTODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

O desmatamento no mundo continua sendo uma das principais preocupações de nossa época (SBS, 2009). Por outro lado, o aumento constatado das áreas de florestas plantadas sinaliza para o reconhecimento de sua capacidade de proporcionar benefícios sociais e ambientais. Ainda de acordo com a Associação, no Brasil, verifica-se que esta é uma tendência para aumentar a demanda que propicia a oportunidade de ampliar o manejo florestal e a quantidade de florestas plantadas no país para produção de bens e serviços.

De acordo com Visnardi (2010) os problemas com a escassez de madeira no Brasil, devido ao desmatamento das florestas, fazem com que haja uma busca por soluções e propostas, que a nível ambiental e sustentável, promovam programas e metas para a devida utilização dos resíduos industriais e agrários.

No campo agroindustrial há uma dependência direta ou indiretamente do ambiente como fonte de matérias-primas para o seu desenvolvimento, bem como da utilização de algumas áreas para o descarte de seus subprodutos e resíduos gerados durante os processos produtivos.

A eliminação de resíduos, uma vez quantificados, controlados e tratados, torna-se facilmente passível de depuração pelo ambiente em um certo tempo, caso isso não ocorra, esse processo pode levar milhares de anos ou, deixar de acontecer, pela falta de mecanismos específicos na natureza (FIORELLI et al., 2011).

1.2 Importância do tema

A utilização de resíduos objetivando agregar valor ao produto é uma solução viável para a fabricação de derivados de madeira, que gradativamente vem substituindo a madeira maciça, como é o caso dos painéis de madeira aglomerada, pois, dentre suas qualidades, possui maior estabilidade dimensional, menor peso e menor custo.

No processo de fabricação dos painéis de madeira aglomerada observa-se menor gasto de energia com menor tempo de produção e menos esforços, sendo possível incrementar propriedades especiais como térmicas e acústicas.

Os resíduos de madeira, em todas as fases do processo produtivo, são considerados subprodutos sendo descartados e depositados a céu aberto, entretanto, quando possível, são reintegrados ao processo produtivo. Por outro lado, várias pesquisas são desenvolvidas para o aproveitamento desses subprodutos objetivando reduzir os impactos ambientais.

De acordo com Caraschi et. al (2009) a produção de painéis alternativos, com aproveitamento de resíduos de diferentes origens pode contribuir para o atendimento da demanda de painéis e estimular a produção de novos materiais e de painéis para uso arquitetônico, adicionado ao fato de que o uso de resíduos lignocelulósicos e plásticos contribui para amenizar os impactos ambientais.

Consequentemente, neste trabalho serão confeccionadas e avaliadas painéis de madeira aglomerada composto por dois subprodutos industriais e resina poliuretana de mamona, o primeiro é proveniente de marcenarias e o outro, proveniente de usinas de cana de açúcar. De acordo com Marton (2014) verificou-se que os resíduos de marcenarias indústrias apresentam potencialidades para a produção de chapas de madeira aglomerada. Entretanto, existe a necessidade de se melhorar a sua composição granulométrica. Neste sentido, será proposto neste trabalho verificar a melhor composição granulométrica para confecção e avaliação de painéis de madeira aglomerada, com misturas de resíduos de serragem e de bagaço de cana-de-açúcar de acordo com a ABNT NBR 14810/2006.

1.3 Objetivo

Confecção e avaliação de painéis de madeira aglomerada, com o objetivo de melhorar a composição granulométrica, utilizando-se serragem de marcenaria, partículas provenientes de bagaço de cana-de-açúcar e empregando-se como aglomerante resina poliuretana derivada de óleo de mamona. As avaliações dos painéis serão realizadas com base na NBR 14810-2014 para verificação do uso.

1.4 Apresentação do trabalho

A pesquisa foi dividida em 7 capítulos, descritos a seguir.

O primeiro capítulo apresenta a introdução do tema abordado e os objetivos.

O segundo capítulo engloba uma revisão bibliográfica, com destaque aos tipos de painéis e suas propriedades.

O terceiro capítulo aborda os tipos de resíduos, materiais e equipamentos utilizados para a confecção dos painéis.

A caracterização dos materiais empregados e a descrição detalhada da montagem e do ensaio experimental dos modelos, são apresentados no quarto capítulo.

A primeira etapa da pesquisa com o programa experimental, resultados iniciais, são apresentadas no capítulo 5.

O sexto capítulo aborda sobre a segunda etapa da pesquisa.

O capítulo sete finaliza com as referências.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Breve histórico sobre painéis de madeira aglomerada

2.1.1 *Produção de painéis de madeira aglomerada*

De acordo com Iwakiri (2005) os painéis de madeira aglomerada surgiram na Alemanha no início da década de 40 como forma de viabilizar a utilização de resíduos de madeira, sendo que após 1946, o desenvolvimento dos painéis continuou nos Estados Unidos, com o aperfeiçoamento dos processos produtivos e a criação de novos painéis.

A madeira oriunda de florestas nativas vem sendo substituída por madeira de florestas plantadas, pois as florestas plantadas são fonte renovável de fornecimento de produtos e serviços demandados em escala crescente pela sociedade em nível global, buscando hoje estudos e desenvolvimento de novos materiais que possam suprir com eficiência os materiais já existentes.

Embora o emprego da madeira em sua estrutura natural pareça estar diminuindo, há um aumento de utilização desse material em produtos nos quais a madeira esta química e mecanicamente modificada, como nas placas de fibras e partículas prensadas (PATTON, 1978).

Um país como o Brasil, com um grau elevado de disponibilidade de materiais com ótimas condições para a industrialização, encontra dificuldades para a organização, investimentos e utilização de seus recursos, ficando a desejar em investimentos para a tecnologia nos processos de produção.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira – ABIPA (2013), a área total de florestas plantadas do segmento de painéis é de 500 mil hectares de recursos renováveis, resultando toda a produção de madeira para a indústria de painéis, representando apenas 0,5% da área total do país, sendo que 240 mil hectares são de reservas naturais e de representação permanente.

O Brasil possui condições favoráveis para se tornar um produtor mundial de painéis de madeira, pois, além das tecnologias implantadas de última geração, vem desenvolvendo tecnologias que possibilitam o uso de resíduos do processamento da madeira (LAHR, 2004).

As empresas fabricantes de painéis aglomerados têm uma capacidade nominal instalada de 3,0 milhões de m³ por ano, sendo as madeiras de reflorestamento, pinus e

eucalipto, mais utilizadas para a produção de aglomerados (ABIPA, 2008 citado por SBS, 2008).

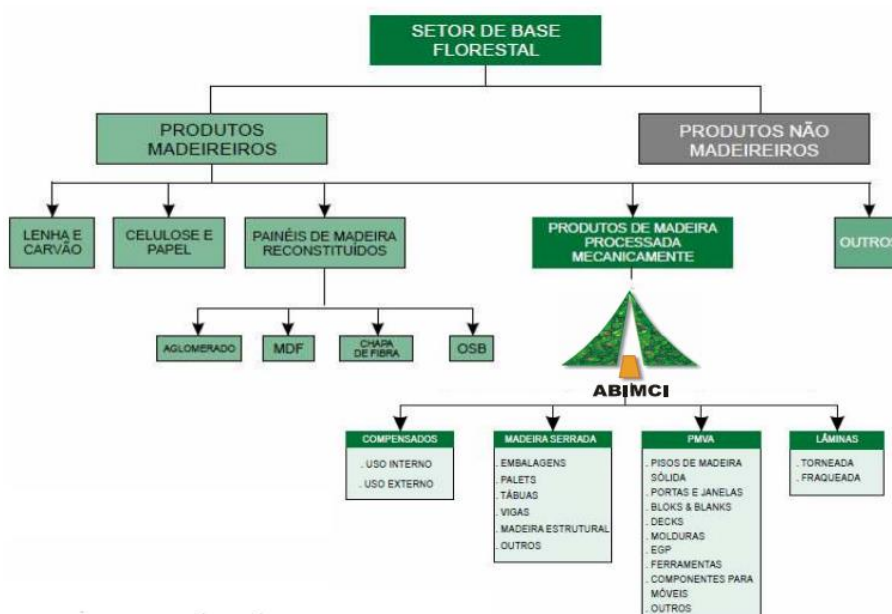
Quadro 1 – Evolução histórica da produção, consumo, exportação e importação de painéis de madeira aglomerada no Brasil em m³

ANO	PRODUÇÃO	CONSUMO	EXPORTAÇÃO	IMPORTAÇÃO
2000	1.762.220	1.761.947	15.712	15.439
2001	1.832.996	1.871.469	7.808	46.281
2002	1.779.445	1.804.749	17.536	42.840
2003	1.859.144	1.908.403	12.879	62.138
2004	2.083.533	2.157.857	19.831	94.155
2005	2.048.957	2.097.921	25.748	74.712
2006	2.198.216	2.179.730	76.666	58.180
2007	2.557.141	2.545.126	37.387	25.372

Fonte: Adaptado de Abipa (2008)

De acordo com a ABIPA (2013), o Brasil está entre os mais avançados do mundo na fabricação de painéis de madeira reconstituída, contando com o maior número de fábricas de última geração e com investimentos em novas tecnologias, automação e implantando novos processos de impregnação, impressão, revestimento e pintura. Com resultado, verifica-se no Quadro 1 um aumento do consumo e importação de painéis.

Figura 1 - Cadeia produtiva do Setor de Madeira Processada Mecanicamente



Fonte: ABRAF (2006) e STCP (2008), adaptado por ABIMCI (2009)

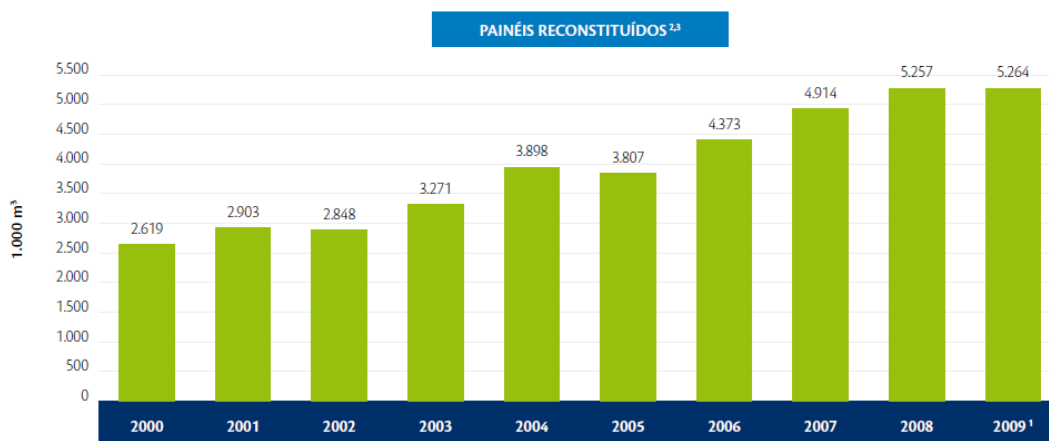
Dentre as indústrias no Brasil, a Masisa é a principal produtora de painéis da América Latina, com produção equivalente a 19% da capacidade instalada, suas unidades estão em funcionamento no Chile, Argentina, Brasil, Venezuela e México e seus principais produtos são os painéis MDF (Medium Density Fiberboard) e painéis MDP (Medium Density Particleboard).

Outra empresa do segmento de madeira reconstituída é a Duratex que utiliza madeira proveniente de florestas certificadas, provenientes de fontes controladas, seguindo procedimentos do FSC (Forest Stewardship Council). Essas florestas são utilizadas para a produção de painéis de madeira reconstituída.

A Eucatex instalada em Botucatu e Salto, no Estado de São Paulo produz e exporta painéis MDP, MDF e chapas de fibras de madeira para 37 países. Em relação à sustentabilidade a empresa realiza ações sociais desenvolvidas para comunidades, produtos de reciclagem para o reaproveitamento de resíduos de madeira e redução da poluição no meio ambiente, ações socioambientais, política de compra de madeira e políticas ambientais.

A indústria de painéis reconstituídos de madeira utiliza como matéria-prima a madeira obtida de florestas plantadas de pinus e de eucalipto, correspondendo a um plantio de 500 hectares de plantio, empregando cerca 5.500 funcionários (ABIPA, 2013). Os principais produtos são os aglomerados e o MDF, utilizados basicamente para a fabricação de móveis.

Figura 2 - Evolução do consumo nacional dos produtos florestais oriundos de florestas plantadas (2000-2001)



Fonte: ABIPA, ABIMCI, AMS, BRACELPA, (2009, 2010), adaptado por STCP (2010)

A Sociedade Brasileira de Silvicultura (SBS, 2010), afirma que a produção de painéis de madeira reconstituída em 2007, incluindo aglomerado, chapa dura e MDF, foi cerca de 4,9 milhões m³ e as exportações alcançaram US\$ 292,2 milhões. Sendo que, os aglomerados foi cerca de 2,6 milhões de m³, representando 51,5% do total, seguida pelo MDF com 37,9% e chapa de fibra com 10,6%, enquanto que, a produção de OSB foi de 350 mil m³.

Segundo o BNDES nos últimos 12 anos, o consumo aparente de painéis de madeira apresentou crescimento médio de 7,2% a.a. (11,2% a.a. para os painéis de madeira reconstituída e -4,2% a.a. para os compensados), basicamente em função da qualidade dos novos produtos oferecidos, sobretudo do MDF, e da escassez de madeira maciça.

A madeira aglomerada é formada por partículas ou lascas de madeira “[...] muito utilizada na indústria moveleira e da construção civil. Estas chapas são produzidas com partículas de madeira e resina [...]” (DIAS, 2008, p. 73).

Para Iwakiri et al (2005), citado por Castro e Iwakiri (2014), os painéis de madeira podem ser definidos como produtos compostos de elementos de madeira como sarrafos, partículas, lâminas e fibras resultante da diminuição da madeira maciça e transformados por meio de uma junção adesiva. Podem também ser denominados painéis obtidos pela aglomeração de pequenos fragmentos de madeira como aparas, maravalhas ou flocos.

Os painéis de madeira aglomerada são muito utilizados no Brasil, como descreve Dias et al. (2008); a vantagem destes painéis é sua utilização em grande escala das espécies de madeira, com o aproveitamento de resíduos originários de serraria ou das indústrias de beneficiamento de madeiras.

De acordo com Bernardi (2014), no Brasil a normalização é recente, surgiu em 2002 a ABNT NBR 14810. Esta norma define um produto em forma de painel, variando de 3 a 50 mm de espessura, constituído por partículas de madeira aglomeradas com resinas naturais ou sintéticas, sob pressão e calor. Os painéis aglomerados não exigem muito em relação à qualidade da madeira, pois apresentam flexibilidade de aplicação para diversos usos.

A granulometria das partículas, os aglomerantes e a pressão exercida na compactação dos painéis de mistura, durante a confecção, caracterizam e diferenciam os tipos de chapas de aglomerado e as características físico-mecânicas finais (BAUER, 1999).

Figura 3 - Painel aglomerado de madeira



Fonte: CriareCampinas (2013)

A geometria das partículas e sua homogeneidade, os tipos de adesivos, a densidade e os processos de fabricação podem ser modificados para produzir produtos adequados aos usos finais e específicos, pois estas propriedades propiciam estabilidade dimensional aos painéis que os diferenciam da madeira maciça que possuem limitações quanto a esta importante propriedade.

A escolha de determinada matéria-prima para a fabricação de chapas depende do seu valor comercial e de sua disponibilidade e durante o processo de fabricação, podem ser ainda incorporados aditivos para promover painéis com características especiais.

A mistura das partículas de madeira com outros materiais, para a fabricação de painéis, tem como finalidade a diminuição dos custos de aquisição de matéria-prima, podendo ser produzida industrialmente "[...] desde que não sejam alteradas negativamente as propriedades físico-mecânicas destes produtos [...]" (MELO et al., 2015, p. 35)

Para a confecção dos painéis aglomerados é necessário analisar as espécies de madeira, verificando alguns aspectos importantes, como sua densidade e o pH, fatores influentes na compactação dos painéis e adesão. Segundo Maloney (1993), citado por Colli et al. (2010), madeiras de baixa densidade são preferidas porque permitem a fabricação de painéis mais leves e com propriedades adequadas.

Para Iwakiri et al. (2012) a taxa de compactação é a relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira, com valor mínimo de 1,3 para garantir um campo de contato satisfatório entre as partículas e que tenha densidade suficiente para formação do painel.

As chapas aglomeradas de madeira podem ser confeccionadas a partir de algum material que seja ligno-celulósico, que apresente resistência mecânica, física e biológica apropriada. Para a produção dos painéis de partículas de madeiras com fibras naturais, como o bagaço de cana-de-açúcar, bambu e casca de arroz, vem sendo estudadas para verificação

da qualidade e a viabilidade da produção de chapas aglomeradas com essas misturas (STANGERLIN et al., 2011).

De acordo com Petrucci (1998), as características do material admitem revestimentos em suas faces como o plástico, os laminados melânicos e pinturas, devendo ser material que resista ao desgaste, à temperatura alta, água fervente, e produtos químicos.

Pierre (2010) descreve que o processo industrial para produção das partículas para confecção dos painéis utiliza toretes de madeira previamente descascados, transformando-os em cavacos. Esses são transformados em partículas, por meio de moinhos ou refinadores, que são secas em estufas e posteriormente, classificadas em peneiras vibratórias, giratórias ou classificadores. De acordo com Bertolini (2011) a fabricação dos painéis depende diretamente das partículas que definirão sua estrutura, assim como os aditivos e adesivos empregados.

De acordo com a ABNT, NBR 14810 - 2 (1999), as chapas de madeira aglomerada classificam-se de acordo com sua densidade, natureza do adesivo, geometria da partícula e características complementares.

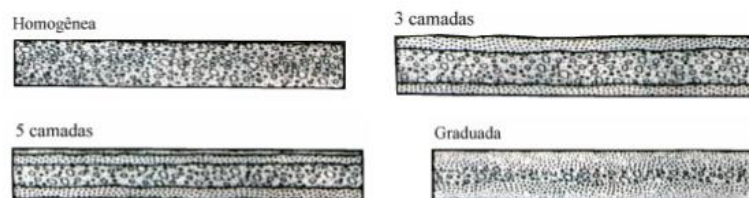
A distribuição das partículas conforme Maloney (1977) citado por DIAS (2005) se apresentam em três formas básicas de chapas aglomeradas: homogêneas, múltiplas camadas e graduadas.

Homogêneas: a mistura das partículas ocorre por acaso;

Múltiplas camadas: as partículas são mais finas nas faces, e mais grossas no centro.

Graduadas: as partículas são mais finas sobre as faces da chapa, havendo uma variação gradual da dimensão das partículas por meio das mais finas nas faces, para as mais grossas no centro.

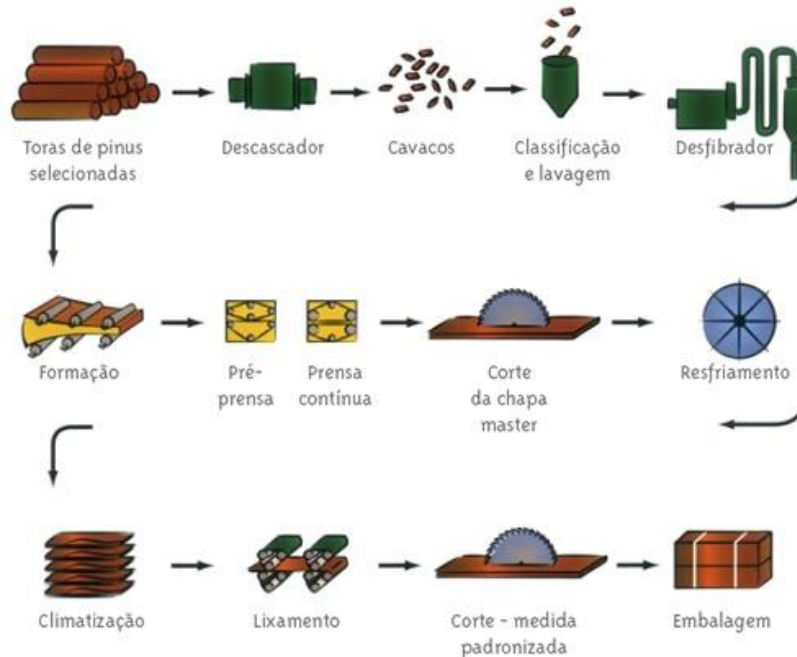
Figura 4 - Composição estrutural dos aglomerados



Fonte: Dias (2005)

De acordo com Bauer (1999) o processo de fabricação dos painéis, esquematizado na Figura 5, utiliza madeira bruta, que pode ser de pinho, de eucalipto e de outras espécies, sob o formato de toras, de galhos, que serão conduzidos a equipamentos e transformados em painéis derivados de madeira.

Figura 5 - Processo de fabricação dos painéis



Fonte: Aecweb (2014)

No processo de fabricação dos painéis de partículas são necessários:

Descascador de partículas: navalhas giratórias, que reduzem em fragmentos pequenos, onde são removidas as cascas da madeira.

Secadores: Os fragmentos passam pelos secadores com um teor de umidade de 35% a 120%, antes de serem misturados com o aglomerante, que pode ser mineral, como cimento Portland, gesso, ou resinas sintéticas.

Misturadores de partículas ao adesivo: São equipamentos onde as partículas são misturadas com o adesivo uniformemente, tornando-se um parâmetro importante nesse processo, por conta da adesão.

Formadora de colchão: A mistura vai se transformar em um colchão de partículas numa esteira, onde será controlado seu peso e suas dimensões para definição da densidade nominal dos painéis.

Prensa contínua: Responsável pela compactação do colchão de partículas transformando-o em painel por meio de temperatura e pressão.

Câmaras para cura ou climatização: Após prensagem, os painéis descansarão por 72h em câmara ou climatizadoras para finalização do ciclo de cura do adesivo.

Acabamento final: As chapas recebem acabamento final, como, ajuste nas dimensões, lixamento, pintura ou revestimento.

2.2 Tipos de painéis produzidos industrialmente

Entende-se por madeira transformada de acordo com PETRUCCI (1975), uma alteração da estrutura fibrosa orientada do material, para corrigir suas características negativas, que consiste em alguns processos; um deles é a “reaglomeração” de fibras de madeira, o outro processo é a “reaglomeração” de pequenos fragmentos, maravalhas ou flocos e, finalmente, tem-se o processo de “reaglomeração” por colagem de finas lâminas de madeira.

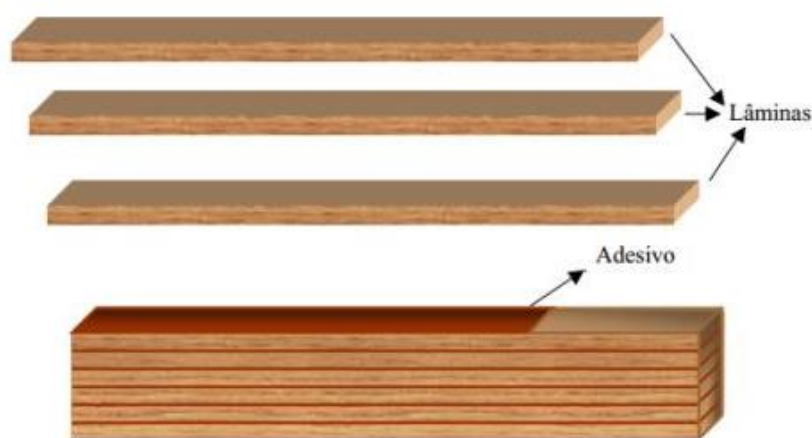
2.2.1 Laminados de madeira

Os laminados de madeira são produzidos com finas lâminas de madeira prensada, na maioria utilizados em construções, que “[...] possuem as vigas laminadas de piso, são formadas por várias lâminas de madeiras, que são unidas umas as outras para formar uma viga mais grossa [...]” (PATTON, 1978, p. 204).

Os tipos de madeira usados para formar os laminados são o mogno, pinho, cedro e a imbuia. A madeira colada para o uso ao tempo deve apresentar de 10 a 12% de umidade antes da colagem.

Para Zangiácomo (2003) a técnica de laminar peças de madeira para sua aplicação como um elemento construtivo e estrutural mais avançado, se originou na Alemanha, no fim do século XIX. Conhecido como sistema Hetzer, foi sendo empregado em construções de estruturas de coberturas de escolas, fábricas e pontes.

Figura 6 – Esquema de uma vida de MLC



Fonte: Istoeengenharia.com (2016)

Admite a redução dos defeitos observados em peças de madeira maciça com grandes dimensões como, nós e rachaduras. O adesivo utilizado deve ter resistência mecânica e ao intemperismo compatível com a estrutura a ser produzida (JESUS; CALIL JUNIOR, 2002).

2.1.2 *Madeira compensada*

A madeira compensada foi patenteada por Witikowski em 1986, porém sua exploração industrial começou em 1900 nos Estados Unidos e Finlândia.

No período de 1905 a 1935 teve início a fase de desenvolvimento de tecnologia básica, em relação à fabricação de equipamentos para processos de produção de derivados de madeira. De 1936 a 1965, aconteceu uma fase de consolidação das indústrias de compensados como importante segmento da indústria madeireira (SBS, 2010).

No ano de 1982, ocorreu o aperfeiçoamento em termos de materiais como resinas, catalisadores e de novas máquinas como as prensas, conseqüentemente houve uma melhora considerável na qualidade dos produtos e na redução dos custos de produção (ABIPA, 2010).

De acordo com o Quadro 2, o volume total produzido no ano de 1994 apresentou uma recuperação em relação à produção obtida em 1991, após uma forte queda no período 1980.

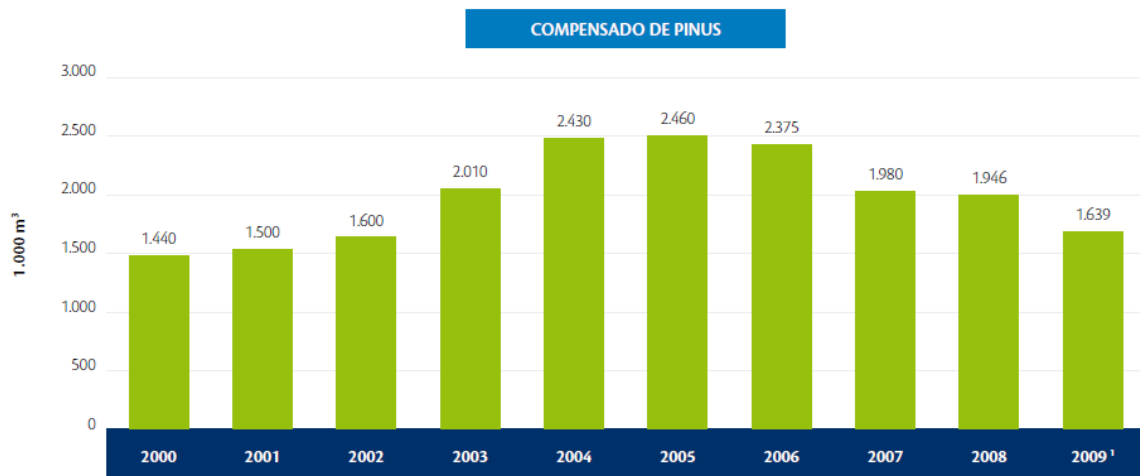
Quadro 2 – Produção de compensados, consumo e exportação em 1.000m³

ANO	PRODUÇÃO	CONSUMO	EXPORTAÇÃO
1990	1.050	750	300
1991	1.120	751	369
1992	1.250	770	480
1993	1.600	782	813
1994	1.900	1.002	898
1995	1.600	852	748
1996	1.670	1.012	658
1997	1.650	1.000	650
1998	1.600	980	620
1999	2.200	2.000	1.300
2000	2.470	1.000	1.400

Fonte: Fonte: Adaptado de Abimci, STCP, ABPM (2001).

A Figura 7 mostra a evolução histórica do consumo de compensados produzidos a partir de florestas plantadas de pinus no Brasil.

Figura 7 - Evolução do consumo nacional.



Fonte: ABIPA, ABIMCI, AMS, BRACELPA, (2009, 2010)

Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF, 2008, a produção de compensados de pinus teve redução de 15,8% na produção em 2009, pelo quarto ano consecutivo, em relação a 2008, totalizando 1,6 milhões de m³.

O consumo de compensados de pinus é diretamente afetado pela reação observada no mercado externo devido ao grande volume exportado anualmente. Por outro lado, o consumo interno de compensado de pinus aumentou 8,6% em relação a 2008, totalizando

604 mil m³. De certa forma, isto é um reflexo do crescimento registrado no segmento de construção civil, consumidor de produtos de madeira, dentre elas o compensado.

Segundo (PETRUCCI, 1995) os painéis compensados são formados de folhas de madeira muito finas com suas fibras colocadas perpendicularmente umas às outras. E de acordo com (DIAS, 2008) as lâminas de madeira são justapostas em números ímpares, coladas entre si de maneira que a direção da grã de camadas adjacentes forme um ângulo de 90°.

O sistema de colagem das lâminas de madeira propicia resistência física e mecânica ao compensado.

Figura 8 - Painéis de madeira compensada



Fonte: Forte (2014)

Conforme descreve Dias (2008), o compensado foi o primeiro painel a ser produzido em escala industrial, sendo um dos mais utilizados no mundo. São materiais produzidos com resina à base de uréia-formaldeído, com cura a altas temperaturas, entre 130 a 160°C e apresentam as seguintes vantagens: maior resistência e menor variação de dimensões, possibilidade de obtenção de grandes chapas e melhor aproveitamento da madeira.

2.1.3 Madeira reconstituída

Os painéis reconstituídos de madeira surgiram como alternativa ao uso de madeiras maciças, que entraram em regime de restrição na metade do século passado por esgotamento ou limitações dos recursos ambientais e pelas características tecnológicas de produtos colados de madeira, suas aplicações não se limitam apenas à fabricação de móveis, embalagens e como componentes estruturais de paredes, pisos e coberturas de edificações,

mas também como elementos estruturais como a viga em perfil “I” (PEDROSA; IWAKIRI; MATOS, 2005).

2.1.4 Painéis de fibras de madeira

De acordo com Iwakiri (2005), o desenvolvimento da tecnologia de produção de painéis de fibras se deu a partir do século XIX e somente em 1932 foi instalada a primeira fábrica na Alemanha, passando por períodos de desenvolvimento até 1975, quando iniciou-se a produção de painéis de fibras de média densidade (MDF). No Brasil as indústrias foram instaladas a partir de 1950, quando se tornou o país exportador dessas chapas com grande potencial internacional.

Segundo o (BNDES, 2002) a produção mundial de chapas de fibra foi de 9,2 milhões de m³ em 2000, ou seja, cerca de 11% da produção mundial de aglomerado, com um crescimento de cerca de 7% ao ano, no período 1996/2000. A China e Estados Unidos são os dois maiores produtores e consumidores, participando com quase 50% do volume mundial.

Quadro 3 - Produção, Consumo, Exportação, Importação de chapas de fibra (m³)

ANO	PRODUÇÃO	CONSUMO	EXPORTAÇÃO	IMPORTAÇÃO
1994	554.400	273.252	281.230	82
1997	539.230	321.964	233.397	16.131
2000	558.766	363.846	194.920	0

Fonte: Adaptado de Apiba (2001)

Os painéis de fibra são produzidos com fibras individualizadas, entrelaçadas e aglomeradas com sua própria lignina e se classificam em função de suas características de uso: isolantes e painéis prensados. Os painéis isolantes possuem densidade baixa, entre 0,02 a 0,15g/cm³, sendo empregados para o uso de isolamento termo-acústico e os painéis prensados, possuem densidade média, entre 0,50 a 0,85g/cm³, sendo aplicados em fôrmas de concreto; painéis com pré-acabamento para móveis e divisórias.

Figura 9 – Painéis de fibra de madeira



Fonte: Somapil (2014)

2.1.5 Medium Density Fiberboard (MDF) – Painel de fibra de média densidade

Do Inglês MDF - Medium Density Fiberboard é uma Chapa de Fibra de Média Densidade, é um produto homogêneo derivado da madeira, produzido a partir da madeira reflorestada de pinus ou eucalipto, um material uniforme que oferece boa trabalhabilidade, podendo receber diversos tipos de revestimentos. É produzido a partir de fibras de madeira aglutinadas com resinas sintéticas e pela ação conjunta de temperatura e pressão, apresentando densidade entre 0,50 a 0,80g/cm³.

Figura 10 - Painéis de MDF - Medium Density Fiberboard



Fonte: Masisa (2014)

Esses painéis, com alta tecnologia de produção, surgiram devido à necessidade de suprir as deficiências dos painéis aglomerados, compensados, principalmente na produção de móveis, pois dentre suas principais características, possuem excelente estabilidade dimensional, propiciam usinagem e resistem mais a umidade que os painéis aglomerados.

No Quadro 4 observa-se a cronologia da produção, consumo, exportação e importação de MDF no Brasil.

Quadro 4 - Evolução histórica da produção, consumo, exportação e importação de MDF no Brasil (m³)

ANO	PRODUÇÃO	CONSUMO	EXPORTAÇÃO	IMPORTAÇÃO
2000	381.356	388.878	3.307	10.559
2001	609.072	629.059	3.878	23.865
2002	835.081	705.612	155.039	25.570
2003	1.095.533	1.018.585	217.696	140.748
2004	1.405.996	1.372.464	204.518	170.986
2005	1.407.730	1.394.356	159.809	146.435
2006	1.695.359	1.828.653	73.301	204.595
2007	1.879.072	2.032.541	42.185	195.654

Fonte: Adaptado de Abipa (2008)

No Brasil as empresas fabricantes de MDF possuem capacidade nominal instalada de 2,0 milhões de m³ por ano. O MDF cresce em utilização e vem ocupando o mercado de madeira maciça e de outros painéis reconstituídos. De acordo com o Quadro 4, a produção de MDF em 2007, foi cerca de aproximadamente 1,9 milhão m³, um aumento de 10,8% comparado com a produção do ano anterior. Para o período de 2000 a 2007 o MDF apresentou um crescimento da ordem de 392,7% na produção e 422,7% no consumo. Em 2007, as exportações com aproximadamente 42,2 mil m³, representaram queda de 42,4%, comparado com as exportações de 2006. As importações em 2007 atingiram 195 mil m³, representando 4,37% a menos do que em 2006 (SBS, 2008).

A produção mundial do MDF duplicou entre 1996 e 2000, correspondendo a um crescimento de 18%. Os maiores produtores de MDF são a China, a Alemanha e os Estados Unidos.

As exportações brasileiras de MDF, no ano de 2009, foram destinadas principalmente à França e ao México, representando em conjunto 31% do total, que correspondeu respectivamente a 9,1 mil m³ e 7,7 mil m³. A participação dos outros países que agrupados foram responsáveis pela importação de cerca de 24 mil m³ de MDF produzidos no Brasil e que representaram 46% do total exportado pelo Brasil em 2009 (BNDES, 2002).

Devido ao uso relativamente especializado e nobre que se prevê para as chapas MDF, a matéria-prima preferida para sua fabricação é proveniente de madeira de florestas plantadas, com características uniformes e preferencialmente, de baixa densidade, de massa e cor clara, sendo o pinus a madeira mais utilizada (SBS, 2010).

2.1.6 *Oriented strand board (OSB) – Painéis de partículas orientadas*

O nome Oriented Strand Board (OSB), ilustrado na Figura 11, são painéis fabricados com tiras de madeiras orientadas, coladas com resina à prova d'água, prensadas sob temperatura e utilizados como painel estrutural; suas partículas são organizadas aleatoriamente ou perpendicularmente. Por se tratar de um painel estrutural, possui capacidade de contraventar estruturas de madeira e aço.

Figura 11 – Painéis de OSB – Oriented Strand Board



Fonte: Engineeredwood (2014)

A produção comercial do OSB teve início na região dos Grandes Lagos no Canadá, utilizando-se da madeira de bétula (*Populus sp*), logo teve uma expansão pela América do Norte bem significativa, tendo uma importância no mercado internacional grande, devido seu emprego nas construções de habitações.

O OSB se inseriu no mercado mundial desde o início da década de 1980. Os países que mais utilizavam esse painel eram os Estados Unidos e Canadá, com maior emprego na construção civil, tendo seu crescimento na América do Norte.

No ano de 2000, a produção de OSB significou 50% do total de painéis estruturais produzidos no mercado da América do Norte (IWAKIRI, 2003 citado por NASCIMENTO; MORALES, 2008).

Os painéis OSB produzidos no Brasil têm sua origem no Grupo Masisa, com sedes no Chile e Argentina. No Brasil, a empresa foi instalada no ano de 1995, no Paraná, na cidade de Ponta Grossa que em 2001, produziu 2.976.000m³ de painéis destinados ao consumo brasileiro (NASCIMENTO; MORALES, 2008).

2.1.7 Medium density particleboard (MDP) – Painéis de partículas de média densidade

Medium density particleboard, ilustrados na Figura 12, são painéis de partículas de média densidade, produzidos com a aglutinação entre partículas de madeira com resinas especiais, através da aplicação simultânea de temperatura e pressão, resultando em um painel homogêneo e de grande estabilidade dimensional.

Figura 12 - Painéis de MDP - Medium Density Particleboard



Fonte: Masisa (2015)

No processo de fabricação dos MDP, suas partículas são classificadas e separadas por camadas, as mais finas são depositadas na superfície, enquanto que aquelas de maiores dimensões são depositadas em camadas internas. Os MDP possuem densidade elevada nas camadas superiores ($0,95$ a $1,0$ g/cm^3) em comparação ao MDF ($0,80$ g/cm^3), essa característica assegura melhor acabamento para pinturas, impressão e revestimentos (IPT, 2009).

O MDP possui partículas de várias dimensões distribuídas aleatoriamente, o que proporciona boa homogeneidade das camadas externas e internas. Possui boa resistência à flexão, ao empenamento e ao arrancamento de parafusos, boa estabilidade dimensional e boa resistência a absorção de umidade.

Segundo a SBS (2009), os principais importadores de MDP brasileiro são representados por 18 países sul americanos. A Argentina, Colômbia, Bolívia, Paraguai e Peru, importaram juntos 19.578 m^3 de MDP em 2009, correspondendo a 94% do total das exportações brasileiras.

No Quadro 5 observa-se um histórico a industrialização de MDP no Brasil entre os anos de 2007 a 2012.

Quadro 5 - Produção, importação, exportação e consumo interno 1.000 (m³) de MDP no Brasil.

ANO	PRODUÇÃO	IMPORTAÇÃO	EXPORTAÇÃO	CONSUMO INTERNO	CAPACIDADE NOMINAL INSTALADA (m ³)
2007	2.557.141	28.080	37.390	2.547.831	3.085,000
2008	2.617.066	42.520	26.640	2.632.946	3.265,000
2009	2.488.915	36.271	25.761	2.499.425	4.020,000
2010	3.017.902	15.388	16.235	3.017.055	4.544,000
2011	3.069.718	1.470	23.993	3.047.195	4.790,000
2012	3.260.646	2.699	30.612	3.232.733	4.790,000

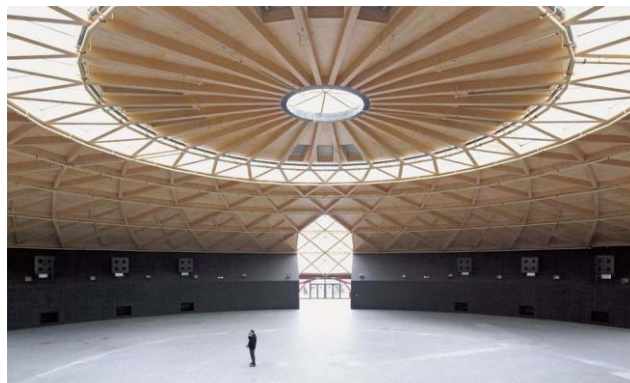
Fonte: ABIPA/SECEX (2012)

2.1.8 Madeira laminada colada

A MLC é o grupo de derivados de madeiras representado por vigas formadas por várias lâminas, unidas por colagem, dispostas de modo que suas fibras fiquem paralelas entre si. A técnica surgiu da necessidade de utilização da madeira de reflorestamento, principalmente o Pinus, encontrada em abundância nos países do hemisfério norte (CAVALHEIRO, 2014).

Segundo Azambuja (2006) a madeira laminada colada surgiu na Europa, sendo utilizada em sistemas estruturais internos, com a evolução da tecnologia e dos materiais, passou a ser empregada em sistemas estruturais expostos, introduzida nos Estados Unidos da América, foi utilizada em diversas construções de grande porte.

Figura 13 - Aplicações de sistemas na cobertura de madeira laminada colada



Fonte: Casa Abril (2015)

O uso da MLC vem se intensificando no mundo e no Brasil principalmente devido a determinadas características específicas de uso, tais como suportar altas cargas, ter baixo peso próprio, proporcionar grande flexibilidade em curvaturas, ter alta resistência ao fogo, excelente estabilidade dimensional em elementos estruturais, resiste a substâncias químicas e por ser uma matéria-prima renovável, oriunda de florestadas plantadas (REVISTA DA MADEIRA, 2010).

A Figura 13 ilustra uma das aplicações da MLC evidenciando a plasticidade do material, a capacidade de vencer grandes vãos e o maravilhoso efeito estético das figuras geométricas que compõem o conjunto das estruturas.

3 RESÍDUOS

De acordo com a norma brasileira ABNT NBR 10.004 (2004) os resíduos podem ser definidos no estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços ou de varrição. O resíduo industrial quando gerado em diversas áreas de produção, geralmente não é utilizado para outros fins, sendo descartado de forma incorreta, causando prejuízos ambientais.

A resolução 307 do CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente considera os geradores de resíduos da Construção Civil responsáveis pelo seu destino. Eles deverão ter como objetivo primordial a não geração de resíduos e secundariamente, a redução, reutilização, reciclagem e destinação final. Os Estados e municípios devem elaborar suas políticas de gestão de resíduos, nas quais deve ser prevista a implantação de ATT – Áreas de Transbordo e Triagem, para onde deverão ser encaminhados os resíduos da construção civil, entre eles os de madeira, para que possam ser segregados, reutilizados, reciclados ou tenham a correta destinação.

Uma das soluções para diminuir o descarte inadequado e reutilizar os resíduos é a criação de novos produtos a partir do resíduo resultante das indústrias, entretanto, que atendam a critérios de eco-eficiência, neste caso reduzindo a utilização de recursos energéticos e principalmente economizando matéria-prima, conseqüentemente, baixando os custos de produção ao utilizar as sobras da produção primária.

Os resíduos podem ser considerados matéria-prima classificada como sendo alternativa, à medida que a reutilização dessa matéria seja economicamente viável e em termos de sustentabilidade, consuma os recursos existentes de maneira mais proveitosa, agregando um valor maior a esse material e beneficiando o meio ambiente.

Para que a gestão desses resíduos seja adequada, é necessário que haja um planejamento de uso desde sua geração para aproveitamento das sobras na linha de produção, no processo de tratamento e na sua disposição final, pois, desta forma, propiciará um benefício para o produtor e para o meio ambiente, podendo ganhar créditos de sustentabilidade, como um produto ecologicamente correto.

Resíduos provenientes da produção agrícola vêm sendo utilizado visando o aproveitamento dos recursos naturais existentes no Brasil, buscando-se também alternativas que sejam economicamente viáveis para o estudo e aplicação em diversas áreas de pesquisa (TITA; PAIVA; FROLLINI, 2002).

Assim como os resíduos industriais, os agrícolas também têm despertado interesse quanto a sua reutilização, pois, nos dias atuais são materiais abundantes em quantidade e com baixo custo que muitas vezes são removidos dos campos para serem queimados, provocando problemas de poluição ambiental (ALBERTINI; CARMO; PRADO FILHO, 2007).

Segundo Carashi et al. (2008), os materiais lignocelulósicos provenientes de subprodutos agroindustriais vêm sendo utilizados com sucesso na fabricação de painéis, sendo possível destacar a casca de arroz, folhas de bambu e também o bagaço de cana-de-açúcar.

3.1 Aproveitamento de resíduos de madeira

As indústrias de base florestal geram no Brasil um volume significativo de resíduos durante as fases operacionais, desde a exploração florestal até o produto final (IWAKIRI et al, 2000). De acordo com Cerqueira et al. (2012) o volume de perdas e o não aproveitamento dos resíduos florestais na indústria, são considerados grandes, até mesmo em pequenas marcenarias e serrarias.

Segundo Albertini, Carmo e Prado Filho (2007) a geração de resíduos florestais no Brasil tem mostrado valores expressivos, considerando sua utilização na cadeia produtiva, produzindo 22,5 milhões de toneladas de madeira serrada, gerando assim 22,5 milhões de toneladas de resíduos, significando um problema econômico e ambiental para o país que as indústrias ainda não sabem o que fazer com esses subprodutos.

As indústrias moveleiras tratam os resíduos como lixo resultante do processo de produção e enfrentam problemas para sua destinação (ABREU et al., 2009).

A geração de resíduos, independentemente do tipo de indústria madeireira, é uma consequência direta do processamento primário ou secundário da madeira sólida, de painéis reconstituídos. Para Fontes (1994), de acordo com as características morfológicas, os resíduos industriais são classificados como:

Cavacos: partículas com dimensões máximas de 50 x 20 mm, provenientes de uso de picadores;

Maravalhas: resíduo com menos de 2,5 mm;

Serragem: partículas de madeira com dimensões entre 0,5 e 2,5 mm, provenientes do uso de serras;

Pó: resíduos menores que 0,5 mm;

Lenha: resíduos de maiores dimensões, compostos por costaneiras, aparas e resíduo de topo de tora.

O processamento primário gera a maioria dos resíduos, apesar de algumas variantes, determinadas por alguns fatores, como o tipo de processo, máquinas utilizadas, dimensões e características físicas das toras (CERQUEIRA et al. 2012).

Segundo Narciso et al. (2014) a identificação dos resíduos que são provenientes do processamento (desdobro) da madeira são elementos essenciais para a análise das possibilidades de aplicação e bom emprego de outros bens.

Figura 14 - Resíduo de madeira proveniente de serraria



Fonte: Ciflorestas (2015)

A perda de material na forma de sobras ou resíduos, nos cortes de serraria de madeira é em torno de 20% a 40% e o aproveitamento de toda a árvore pelas indústrias madeireiras está em torno de 30% a 60%. O processamento de toras de madeira, além de ser uma variável muito importante para o gerenciamento da produção, é responsável por uma parcela significativa dos impactos ambientais causados pela produção de madeira serrada (NARCISO et al., 2014).

Uma alternativa de aproveitamento mais adequado de resíduos do processamento de madeiras é a produção de chapas de madeira aglomerada, pois esse é um processo que se caracteriza pela modificação da madeira sólida em partículas pequenas e secas, que podem ser provenientes de serrarias, como, aparas e refilos.

Quando combinadas com resinas e sob pressão e calor, resultam em chapas com valor agregado e de excelentes qualidades (IWAKIRI et al., 2000).

Alves e Silva (2014) produziram e avaliaram chapas a partir de resíduos coletados em indústrias madeireiras, com resina bicomponente (derivada de óleo de mamona) e densidade nominal de 0,80g/cm³, espessura nominal de 10mm, 10% de resina base peso seco, tempo de prensagem de 10min, temperatura de prensagem de 110°C e pressão de prensagem de 5MPa.

Diante das avaliações realizadas e dos argumentos sobre os resultados obtidos, concluiu-se que os painéis de partículas confeccionados com resíduos de indústrias de móveis, contendo 4 espécies de madeira e 10 % de resina poliuretana bicomponente de mamona é uma alternativa viável para produção de painéis aglomerados.

Além da contribuição ambiental o aproveitamento de resíduos possibilita agregar valor aos painéis que poderão ser utilizados na produção de móveis e em várias aplicações na construção civil (ALVES E SILVA, 2014).

3.2 Aproveitamento de resíduos de bagaço de cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar chegou ao Brasil em 1522, originária da Índia e explorada nos dias atuais em quase todo o país. Está sendo cultivada em 5,4 milhões de hectares, sendo considerado o mais produzido no mundo, com maior extensão territorial e com maior potencial de expansão de áreas plantadas (ALBERTINI; CARMO; PRADO FILHO, 2007).

O Brasil é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar, oferecendo uma área total de plantio de 4,2 milhões de hectares, representando 7,5% da área cultivada.

De acordo com Albertini, Carmo e Prado Filho (2007) a queima dos canaviais é classificada como uma atividade poluidora, que degrada o meio ambiente e ocasiona problemas de saúde pública, pois são propagados por ano na atmosfera aproximadamente 64,8 milhões de toneladas de gás carbônico, colaborando para a redução da qualidade do ar e a elevação do efeito estufa.

Para Manzano et al. (2000) a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*, L.) é uma planta de suma importância para a economia brasileira, geradora de empregos possuindo em sua composição em torno de 30% de caldo, sendo o restante constituído por biomassa (palha e bagaço) e compostos inorgânicos como a sílica. A utilização vai desde a produção de energia térmica à indústria de papel e celulose, além de alimentação animal.

Dentre os subprodutos da indústria sucroalcooleira, o bagaço representa um volume de 280kg/ton. de cana moída e considerado o principal subproduto da agroindústria

brasileira, que pode ser reutilizado como adubo, fonte de energia, e outros (SANCHEZ et al., 2010).

Figura 15 - Bagaço de cana-de-açúcar



Fonte: IEPEC (2015)

De modo geral, o bagaço da cana tem cerca de 45% de fibras de material lignocelulósico (lignina extraída do bagaço), de 2 a 3% de sólidos insolúveis e de 2 a 3% de sólidos solúveis. É proveniente das usinas de álcool e açúcar obtido de fonte renovável, considerado um material complexo, formado por polímeros naturais, compostos de celulose e hemicelulose, responsável pelo conteúdo energético, apresentando uma composição de fibras de bagaço seco (SANTOS et al., 2011).

A última moagem da cana, reproduz um bagaço formado por um conjunto de partículas heterogêneo (grãos e fibras) com dimensões que variam de 1 a 25mm, com tamanho médio de 2mm, podendo variar, de acordo com a máquina utilizada no processo da cana.

As fibras componentes do bagaço de cana-de-açúcar muitas vezes são agrupadas em vários materiais termoplásticos como um tipo de carga ou reforço, pois as pesquisas que vem sendo realizadas mostram a viabilidade da utilização dessas fibras naturais como uma alternativa para as fibras sintéticas existentes no mercado e na aplicação de embalagens e até na construção civil.

Para Sanchez et al., (2010) e Tita, Paiva e Frollini (2002), o interesse se deve as fibras vegetais serem fontes renováveis de matéria-prima, reduzem o impacto ambiental e os custos, possuem baixa densidade, flexibilidade no processamento, são adaptáveis, não-abrasivas, porosas, visco elásticas, combustíveis, reativas e biodegradáveis.

Comparadas com outras fibras, a de bagaço de cana-de-açúcar "[...] apresentam menor resistência a tração e menor módulo de elasticidade, maior umidade e melhor

degradabilidade devido ao alto teor de hemicelulose (27%) e lignina (21%) [...]" (SANCHEZ et al., 2010, p. 194). Segundo (FREIRE; BERALDO, 2003) o bagaço de cana-de-açúcar são altamente apropriados para a fabricação de aglomerados, compensados, polpa celulósica e alguns tipos de papel.

Alguns autores relatam sobre o aproveitamento do bagaço como um material alternativo para a construção civil, pois desde 1981 nos Estados Unidos, Suécia, Canadá, Grã-Bretanha e países europeus, algumas indústrias fabricam painéis laminados com cimento e bagaço de cana-de-açúcar, entretanto, possuem pouca resistência em meio alcalino.

Sartori (2012) desenvolveu estudos com o bagaço de cana-de-açúcar na fabricação de painéis portantes com bagaço de cana, obtidos de usinas sucroalcooleiras.

O material foi seco ao ar livre, peneirado e processado em moinho de facas para produção de chapas aglomeradas, considerando-se o emprego de resina poliuretana derivada de óleo de mamona, pressão de prensagem de 5MPa e temperatura de 100°C; com as avaliações realizadas foi possível concluir que é viável a produção de chapas aglomeradas de alta densidade.

Pedreschi (2009) avaliou a utilização de bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados, com treze tipos de tratamentos diferentes, tendo em vista o efeito da composição dos painéis em camadas, comparando as propriedades físico-mecânicas, de painéis compostos por bagaço, e por madeira de eucalipto.

3.3 Adesivo

Após a primeira guerra mundial, os adesivos utilizados na época eram de origem de proteína animal, logo depois, resistentes à água e à temperatura. Sendo eles utilizados até os dias atuais por muitas indústrias na colagem de madeira (DIAS, 2005).

Para Negrão et al. (2014) as tecnologias para fabricação dos derivados de madeira tiveram grande impulso com o surgimento dos adesivos sintéticos, em especial aqueles à base de uréia-formaldeído (UF). Na década de 30 foi criada a resina sintética à base de fenol-formaldeído, ainda hoje, em países como Brasil, a produção de painéis aglomerados é realizada empregando-se esse adesivo.

De acordo com alguns estudos, esses tipos de resinas têm apresentando alguns pontos insatisfatórios devido à baixa resistência à ação de umidade, e quando é aquecida ocorre uma

saída de gás do formaldeído, prejudicando o meio ambiente. Portanto há uma necessidade de encontrar um substituto com igual qualidade e desempenho às resinas tradicionais (ZAU et al., 2014).

3.3.1 Resina poliuretana à base de mamona

A resina poliuretana derivado de mamona teve origem na década de 1940, conforme aponta Vilar (1993), citado por Bertolini (2011). Ainda para o mesmo autor, o óleo da mamona é extraído da semente da planta (*Ricinus Communis*, encontrada em regiões tropicais e subtropicais, abundante no Brasil. Para Dias (2008), a partir do óleo de mamona, torna-se possível sintetizar polióis e pré-polímeros com características diferenciadas, que quando são misturadas, dão origem a poliuretana.

Atualmente, muitas pesquisas vem sendo desenvolvidas com a resina poliuretana à base de mamona para a produção de derivados de madeira e os resultados obtidos indicam a possibilidade de utilização destes materiais na produção de móveis e de modo geral na construção civil. Além do que a resina é proveniente de fontes renováveis, é biodegradável e propicia excelentes benefícios ambientais.

Jesus e Calil Junior (2002) estudaram o comportamento do adesivo para o emprego em madeira laminada colada (MLC), mostrando-se corretamente adequado, tornando-se alternativa tecnicamente viável. O valor atual do adesivo, em escala ainda não industrial, é basicamente a mesma do adesivo comercial, atualmente em utilização pela indústria da MLC.

3.4 Materiais e equipamentos

Inicialmente foram definidos os materiais de estudo, considerando que sua maioria estivesse disponível no próprio município de Ilha Solteira – SP, facilitando sua aquisição. Para a confecção dos painéis foram utilizados serragem, bagaço de cana-de-açúcar, resina e fôrma de compensado para moldagem do colchão de partículas.

Os equipamentos utilizados para confecção dos painéis foram: peneira vibratória, misturador de tambor, prensa manual, e prensa hidráulica com controle de temperatura e pressão.

Os equipamentos utilizados para avaliação dos painéis foram: prensa universal de ensaios, balanças, paquímetros e peneiras elétricas.

3.5 Propriedade dos Materiais

Foram realizados ensaios para determinação da composição granulométrica da serragem e bagaço de cana-de-açúcar.

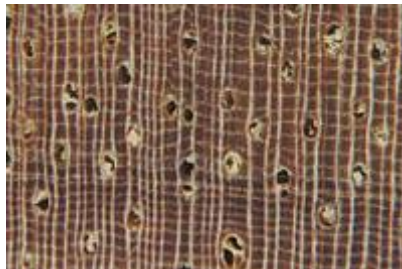
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Serragem

A serragem utilizada neste trabalho foi coletada em marcenarias industriais na região de São José do Rio Preto - SP e foi a mesma serragem utilizada no trabalho de Marton (2014). A serragem se constitui das seguintes espécies de madeiras: *Cariniana micrantha* (Tauari), *Goupia glabra* (Cupiúba), *Vochysia guianensis* (Cambará), *Tabebuia Alba* (Ipê), *Apuleia lei ocarpa* (Garapa) com densidades aparente de 0,68; 0,88; 0,76; 1,02 e 0,88 (g/cm³), respectivamente.

- *Cariniana micrantha* (Tauari): Espécie comercializada devido à trabalhabilidade da madeira, que tem suas propriedades bastante influenciadas pela presença de depósitos minerais nos seus poros, como a sílica, que acontece naturalmente no interior das células (PROCÓPIO E SECCO, 2008), a figura 2.16 mostra o seu interior.

Figura 16 – Fotomicrografia 10x



Fonte: IPT (2016)

Segundo Iwakiri et.al (2011), a densidade da madeira é um dos requisitos básicos na escolha de espécies para produção de painéis aglomerados, por influenciar diretamente na sua razão de compactação. Os autores, em seu estudo, analisaram as propriedades físicas, como de absorção e inchamento, obtendo um resultado de 8,61% para 2 horas e 20,85% para 24 horas, e 4,85% para 2 horas, 14,02 para 24 horas respectivamente.

E os ensaios mecânicos com a espécie tauari, e concluíram que foram satisfatórios em comparação aos valores referenciais apresentados na literatura para espécies de madeiras provenientes de floretas plantadas, e os valores médios de tração perpendicular, módulo de

elasticidade e módulo de ruptura obtidos para todas a espécie estudada atendem aos requisitos mínimos da norma, obtendo 1,45 Mpa, 2.417 Mpa, e 20,15 Mpa respectivamente (IWAKIRI et. al 2011).

- *Goupia glabra* (Cupiúba): Essa espécie de madeira possui algumas características, como a textura que varia de média a grosseira; coloração castanho-amarelada, com superfície de pouco brilho (ANJOS; SOUSA, 2015).

Figura 17 - Cupiúba



Fonte: IPT (2016)

Segundo Anjos e Sousa (2015) apud Schwengber e Smiderle (2005), esse tipo de madeira pode ser considerada dura e pesada, devida sua alta relação massa por volume, e sua densidade variando de 0,8 a 0,9g/cm³, proporcionando resistência mecânica média e boa trabalhabilidade, apresentando boa resistência ao apodrecimento.

- *Vochysia guianensis* (Cambará): A espécie Cambará, da família Vochysiaceae, está entre as espécies de maior interesse da área madeireira por ser uma matéria prima de baixo custo e de alta durabilidade, tornando a espécie visada pelos empresários desse setor, vem ganhando grande demanda de mercado, por apresentar grande resistência física as intempéries temporais e apresentar preço competitivo no mercado de mobiliário e na construção civil (GARCIA, 2013).

Figura 18 - Cambará



Fonte: IPT (2016)

Longo (2014) estudou painéis homogêneos e multicamadas com resíduos da espécie cambará e outras, porém algumas das espécies, inclusive o cambará, demonstraram resultados promissores para painéis homogêneos ou multicamadas, indicando o potencial do resíduo destas espécies como matéria-prima na produção de painéis, por ter apresentado resultados satisfatórios em relação aos ensaios de propriedades físicas e mecânicas.

- *Tabebuia Alba* (Ipê): *Tabebuia Alba* (Ipê): a madeira de ipê pertence ao grupo de espécies do gênero *Tabebuia* que produzem madeiras pesadas, duras, de coloração pardo-acastanhada, com seus vasos obstruídos por ipeína (substância de cor amarela-esverdeada).

Figura 19 – Face radial do Ipê



Fonte: IPT (2016)

Dentre essas espécies, pode-se mencionar *Tabebuia ochraceae* (Cham.) Bureau, *Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex DC.) Standl., *Tabebuia longifolia* (Bureau) Standl. e *Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nichols (IPT, 2016).

Figura 20 – Fotomacrografia (10x)



Fonte: IPT (2016)

Júnior, Carvalho e Silva (2014) analisaram os resultados das propriedades físicas do ipê, e observaram que o mesmo possui a maior densidade aparente, 1,186 caracterizando uma madeira pesada. A trabalhabilidade da madeira demonstrou-se difícil, porém no teste de torneamento, foi umas das espécies estudadas que mais demonstraram resultados, apresentando superfície isenta de defeitos, concluindo que a espécie do ipê pode ser utilizada pela indústria de mobiliário, como fabricação de móveis.

4.2 Bagaço de cana-de-açúcar

O bagaço de cana utilizado neste trabalho foi coletado em usinas sucroalcoleiras do na região de Ilha Solteira e é proveniente de cana-de-açúcar da espécie *Saccharum officinarum* que apresentam densidade aparente de 0,092 g/cm³.

4.3 Resina

A resina utilizada para a confecção dos painéis aglomerados é uma poliuretana bicomponente derivada de óleo de mamona. Com base nos documentos normativos ABNT NBR 14810/06, foram confeccionados painéis nas dimensões de 40 x 40 x 1cm e de acordo com os estudos desenvolvidos por Marton (2014), para melhorar a qualidade dos painéis confeccionados com serragem provenientes de marcenarias industriais, há necessidade de ajustes na composição granulométrica da serragem. Conseqüentemente, em um primeiro momento, desenvolveu-se o procedimento conforme descrito no item a seguir.

4.4 Peneiramento e processamento das partículas para preparação das misturas

Primeiramente foi realizado um peneiramento na serragem coletada nas indústrias, objetivando-se obter partículas na faixa de 2 a 6mm de comprimento. Esta seleção de partículas foi realizada utilizando-se um conjunto de peneiras com malhas de 12,5; 9,52; 6,36; 4,36; 2,36 (mm), respectivamente, conforme ilustrado na Figura 21.

Figura 21 - Conjunto de peneiras com dispositivo vibratório.



Fonte: Própria autora.

Em seguida, com o objetivo de melhorar a composição granulométrica das partículas de serragem, iniciou-se o preparo do bagaço de cana, conforme será descrito no item a seguir.

4.5 Preparação das partículas do bagaço de cana-de-açúcar

Objetivando-se obter partículas com dimensões adequadas para propiciar maior homogeneidade à serragem e por considerar que a densidade das partículas do bagaço de cana poderá facilitar na compactação dos painéis e melhorar a adesão entre as partículas, foram desenvolvidos procedimentos para preparação do bagaço de cana-de-açúcar objetivando-se obter partículas na faixa de 2 a 4mm.

O bagaço de cana-de-açúcar coletado na usina do município de Ilha Solteira foi seco em estufa em período de 72h à temperatura de $60^{\circ}\text{C} \pm 2$. Em seguida o bagaço de cana foi processado em moinho de facas conforme ilustra a Figura 22.

Figura 22 - Ilustração do processamento do bagaço de cana em moinho de facas, para produção de partículas.



(a) Moinho de facas



(b) Processamento do bagaço



(c) Partículas de bagaço de cana de 2 a 4mm de comprimento.

Fonte: Própria autora.

4.6 Preparação dos tratamentos para confecção dos painéis

De acordo Marton, 2014 os estudos desenvolvidos com serragem proveniente de marcenarias de São José do Rio Preto, para produção de painéis de madeira aglomerada, foi identificado que há necessidade de melhorar a composição granulométrica com partículas na faixa de 4 a 6mm, conseqüentemente, para confecção dos painéis foram propostos os tratamentos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Tratamentos propostos para confecção dos painéis aglomeradas.

TRATAMENTOS	SERRAGEM (%)	BAGAÇO (%)	RESINA (%)	MASSA TOTAL (g)
Referência	100	0	10	1280
T1	90	10	10	1280
T2	80	20	10	1280
T3	70	30	10	1280
T4	60	40	10	1280
T5	50	50	10	1280

Fonte: Própria autora.

4.7 Cálculo da massa de partículas para confecção dos painéis

O cálculo da massa de partículas para confecção dos painéis foi realizado considerando-se a seguinte equação:

$$D = \frac{m}{v} \text{ g/cm}^3 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

D = densidade nominal dos painéis igual a 0,75 g/cm³

m = massa em gramas de partículas a ser determinada para confecção dos painéis.

v = volume em cm³ dos painéis definido em função da formadora de colchão com dimensões de 40x40x1cm.

4.8 Caracterização dos painéis

Neste item estão apresentados, os principais procedimentos a serem adotados para caracterização das propriedades físicas e mecânicas dos painéis que serão confeccionadas com os tratamentos propostos na Tabela 6, com base na NBR 14810-2014

4.8.1 Cálculo do teor de umidade das partículas de acordo com cada tratamento

O cálculo da umidade das partículas, de acordo com cada tratamento foi realizado de acordo com a seguinte equação 2:

$$U = \frac{MU-MS}{MS} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

U = teor umidade residual (%),

m_u = massa úmida expressa em gramas,

m_s = massa seca expressa em gramas.

4.8.2 Determinação do inchamento e absorção de água

Foi realizado em corpos-de-prova de 25x25x10mm empregando-se a Equação 3

$$I = \frac{e_1 - e_0}{e_0} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

I = inchamento em espessura do corpo de prova, em porcentagem;

e₁ = espessura do corpo de prova após o período de imersão considerado, em milímetros;

e₀ = espessura do corpo de prova antes da imersão, em milímetros.

ABSORÇÃO

Foi realizado em corpos de prova de 25x25x10mm empregando-se a Equação 4.

$$A = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

A = absorção de água, em porcentagem;

m₁ = massa do corpo de prova após imersão, em gramas;

m₀ = massa do corpo de prova antes da imersão, em gramas.

4.8.3 Determinação do teor de umidade dos painéis

Foi realizado em corpos de prova de 50x50x10mm empregando-se a Equação 5.

$$U = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

U = umidade residual do corpo de prova, em porcentagem;

m_u = massa úmida do corpo de prova, em gramas;

m_s = massa seca do corpo de prova, em gramas.

4.8.4 Determinação da densidade aparente dos painéis

Foi realizado em corpos de prova de 50x50x10mm empregando-se a Equação 6

$$D_{ap} = \frac{m_{cp}}{v_{cp}} \text{ g/cm}^3 \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

Dap = densidade aparente dos painéis, igual a 0,75 g/cm³

mcp = massa em gramas do corpo-de-prova.

vch = volume em cm³ do corpo-de-prova.

4.8.6 Flexão e Módulo de Elasticidade

O ensaio de Flexão Estática foi realizado em corpos-de-prova nas dimensões 250 x 50x10 mm de acordo com a ABNT NBR 14810-3:2014 e conseqüentemente o respectivo Módulo de Elasticidade (MOE) e o Módulo de Ruptura (MOR).

Para o calculo da resistência à flexão (**MOR**) do corpo de prova, utilizou-se a Equação 7:

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

Onde:

MOR = módulo de ruptura, em Megapascals;

P = carga de ruptura lida no indicador de cargas, em Newtons;

D = distância entre apoios do aparelho, em milímetros;

B = largura do corpo de prova, em milímetros;

E = espessura média tomada em três pontos do corpo de prova, em milímetros.

Para determinação do módulo de elasticidade será utilizada a seguinte equação:

$$MOE = \frac{P1 \times D^3}{d \times 4 \times B \times E^3} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

MOE = módulo de elasticidade, em Megapascals;

P1 = carga no limite proporcional lida no indicador de cargas, em Newtons;

D = distância entre os apoios do aparelho, em milímetros;

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

B = largura do corpo de prova, em milímetros;

E = espessura média tomada em três pontos do corpo de prova, em milímetros.

4.8.7 Tração Perpendicular ou Adesão Interna

Para os ensaios de tração perpendicular, serão preparados corpos-de-prova nas dimensões 50 x 50 mm.

$$TP = \frac{P}{S}$$

Equação 9

Onde:

TP = resistência à tração perpendicular (MPa);

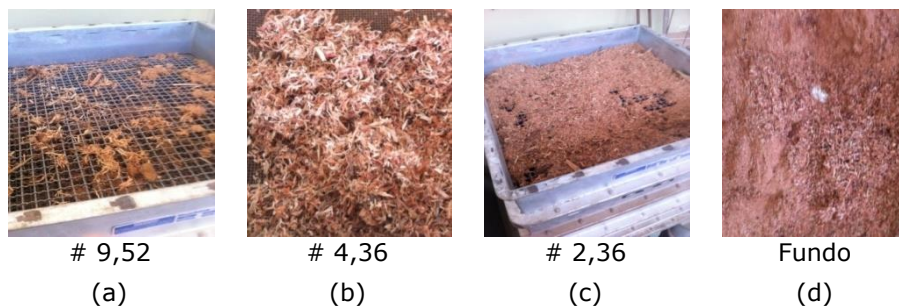
P = carga na ruptura (N);

S = área da superfície do corpo de prova (mm²)

5 PRIMEIRA ETAPA – PROGRAMA EXPERIMENTAL

Em função do peneiramento realizado na serragem, verificou-se retenção de partículas nas peneiras de malha 9,52; 4,36; 2,36 (mm) e fundo, conforme ilustra a Figura 23.

Figura 23 - Seleção prévia das partículas de serragem.



Fonte: Própria autora

Esse peneiramento serviu para dar uma idéia do volume de partículas adequadas para a confecção dos painéis, conseqüentemente, verificou-se que os volumes eram muito heterogêneos, com muita concentração de finos, principalmente no fundo da peneira. Ressalta-se ainda que, devido ao peneiramento, ocorreu a separação de vários objetos indesejáveis ao processo de confecção dos painéis, que certamente influenciariam a qualidade e as propriedades físicas e mecânicas. A Figura 24 ilustra os objetos separados.

Figura 24 - Objetos separados com o peneiramento da serragem.



Fonte: Própria autora

5.1 Estudos exploratórios

Com o objetivo de se fazer uma análise prévia tanto dos procedimentos para confecção dos painéis como de suas propriedades físicas e mecânicas, foram realizados estudos exploratórios considerando-se os seis tratamentos propostos. A Figura 25 ilustra as misturas de cada tratamento preparadas para a confecção dos painéis.

Figura 25 - Misturas de resíduos previamente selecionadas



Fonte: Própria autora.

A Figura 26 ilustra a adição da resina e o processo de homogeneização manual e com auxílio do misturador de tambor.

Figura 26 - Adição e homogeneização do adesivo e misturador de tambor

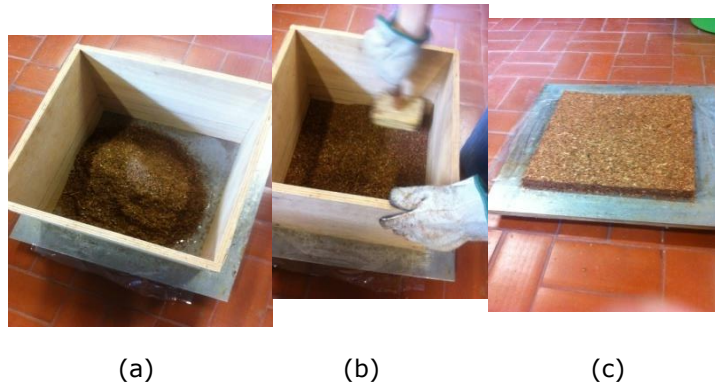


Fonte: Própria autora.

Após adição e homogeneização de adesivo às partículas, realizaram-se procedimentos para preparação do colchão de partículas, objetivando-se conferir à massa de

partículas uma forma inicial que auxiliará no processo de compactação por meio da prensa hidráulica com controle de temperatura e pressão. Para preparação do colchão de partículas utilizou-se uma formadora de colchão nas dimensões de 40x40x10cm, conforme se observam a sequência ilustrada na Figura 27.

Figura 27 - Formação do colchão de partículas



Nota: (a) partículas sendo colocados na forma, (b) organização das partículas na formadora de colchão, (c) colchão de partículas pronto para prensagem em prensa hidráulica com controle de temperatura e pressão.

Fonte: Própria autora.

O procedimento de prensagem (Figura 28) foi realizado considerando-se a pressão de prensagem de 50 toneladas, ou seja, para painéis com dimensões nominais de 40x40x1cm, tem-se área da superfície igual a 1600cm², conseqüentemente, a pressão de prensagem foi de 32kgf/cm², temperatura de prensagem de 100⁰C e tempo inicial de prensagem de 3 minutos, alívio de pressão por 30 segundos, objetivando-se a eliminação de gases para evitar a formação de bolhas nos painéis e 7 minutos finais de pressão de prensagem.

Figura 28 - Prensagem do painel



Fonte: Própria autora.

Para os estudos exploratórios foram confeccionados seis chapas de partículas, ou seja, uma para cada tratamento. A figura 29 ilustra os principais aspectos das seis chapas confeccionadas.

Figura 29 – Painéis exploratórios



Fonte: Própria autora.

5.1.1 Composição granulométrica

Após seleção das partículas e considerando-se a heterogeneidade entre suas massas, foram avaliadas proporções de misturas de partículas, adicionando-se partículas de bagaço de cana-de-açúcar, conforme apresentado na Tabela 2.2 e foram realizados ensaios para verificação da umidade de cada mistura, apresentado na Tabela 2 e, em seguida, realizaram-

se ensaios para avaliação da composição granulométrica das misturas, de acordo com a ABNT NBR 7181/1988.

Tabela 2 - Teores de umidades de cada mistura em função dos tratamentos propostos.

TRATAMENTOS	SERRAGEM $\bar{u}=11,32\%$	BAGAÇO $\bar{u}= 8,5\%$	MASSA TOTAL (g)	UMIDADE DA MISTURA (%)
Referência	100	0	1280	11,32
T1	90	10	1280	8,66
T2	80	20	1280	7,85
T3	70	30	1280	6,89
T4	60	40	1280	6,38
T5	50	50	1280	6,56

Nota: A massa total de cada chapa foi determinada em função da Equação 1 e na Tabela 2.2 verifica-se que o valor determinado corresponde a 1280g.

Fonte: Própria autora

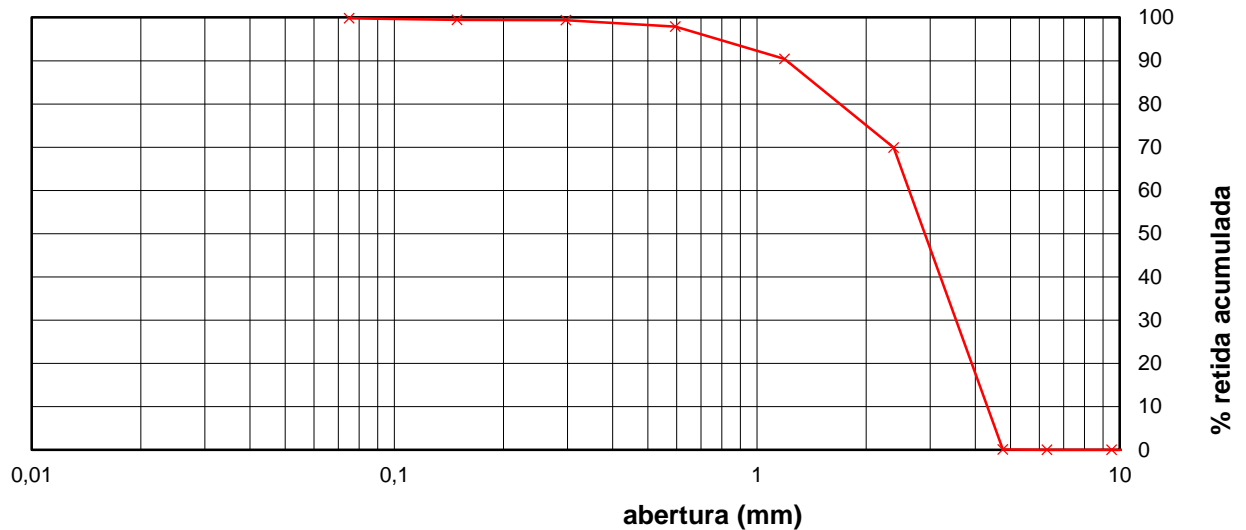
Os resultados obtidos para verificação da composição granulométrica da serragem estão apresentados nas tabelas e figuras a seguir:

Tabela 3 - Determinação da composição granulométrica do Tratamento de referência.

AMOSTRA :		SERRAGEM											
PRO. RESPONSÁVEL: SÉRGIO				OBSERVAÇÃO: 17/09/2013									
PENEIRAS		Abert (mm)	Peso Retido (g)	% Retida		% Retida Acumulada				% Passando			
Normal	Auxil												
3/8"	-	9,51		0,00	0,00					100,00			
-	1/4"	6,3		0,00		0,00				100,00			
N.º 4	-	4,76	0,50	0,10	0,10					99,90			
N.º 8	-	2,38	349,25	69,84	69,94					30,06			
N.º 16	-	1,19	102,25	20,45	90,38					9,62			
N.º 30	-	0,595	37,45	7,49	97,87					2,13			
N.º 50	-	0,297	7,42	1,48	99,35					0,65			
N.º 100	-	0,149	0,54	0,11	99,46					0,54			
fundo	-	0,075	1,89	0,38		99,84							
Total			500,10	100	4,57								
Peneiras		% Retida Acumulada											
(mm)		0,075	0,149	0,297	0,595	1,19	2,38	4,76	6,3	9,51	12,7	19,0	25,4
Serragem		99,84	99,46	99,35	97,87	90,38	69,94	0,11	0,0	0,0	0,0		

Fonte: Marton (2014)

Figura 30 - Curva granulométrica do Tratamento de referência.



diâmetro máximo (mm)	módulo de finura	massa específica		absorção (%)	pulverulento (%)	massa unitária		matéria orgânica
		s.s.s. (g/cm ³)	seco (g/cm ³)			aparente seca (g/cm ³)	aparente 4% (g/cm ³)	
	4,6							

Fonte: Marton (2014)

Considerando-se a composição granulométrica realizada, verifica-se que existe uma grande concentração de partículas na faixa de 2 a 4mm, ou seja, 69,84% totalizando 349,25g e, na faixa de 4 a 6mm, observa-se um percentual de apenas 10%, de uma massa total ensaiada de 500g, conseqüentemente, de acordo com Marton, 2014, há necessidade de ajustar as proporções entre os comprimentos de partículas para melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

A Tabela 4 apresenta a avaliação da composição granulométrica do Tratamento 1, composto por 90% de serragem e 10 % de bagaço de cana.

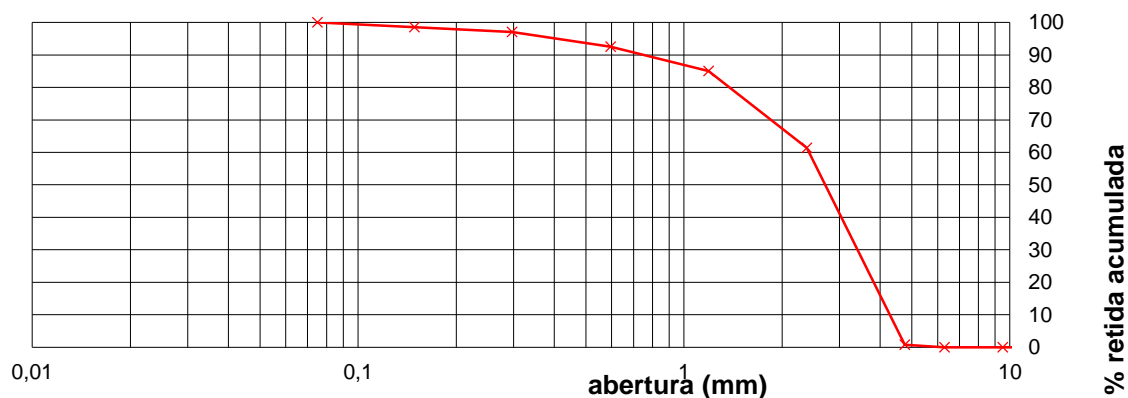
Tabela 4 - Determinação da composição granulométrica da mistura com serragem (90%) e bagaço de cana (10%) correspondente ao Tratamento 1.

AMOSTRA : SERRAGEM E BAGAÇO DE CANA							
PROF. RESPONSÁVEL: SÉRGIO				OBSERVAÇÃO : 90% + 10%			
PENEIRAS		Abert. (mm)	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada		% Passando
Normal	Auxil.						
3/8"	-	9,51		0,00	0,00		100,00
-	1/4"	6,3		0,00		0,00	100,00
N.º 4	-	4,76	3,75	0,75	0,75		99,25
N.º 8	-	2,38	304,35	60,62	61,36		38,64
N.º 16	-	1,19	119,05	23,71	85,07		14,93
N.º 30	-	0,595	37,50	7,47	92,54		7,46

N.º 50	-	0,297	22,85	4,55	97,09		2,91					
N.º 100	-	0,149	7,40	1,47	98,57		1,43					
fundo	-	0,075	7,20	1,43		100,00						
Total			502,10	100	4,35							
Peneiras	% Retida Acumulada											
(mm)	0,075	0,149	0,297	0,595	1,19	2,38	4,76	6,30	9,5	12,7	19,0	25,4
S/B	100,00	98,57	97,09	92,54	85,07	61,36	0,75	0,00	0,00	0		

Fonte: Própria autora

Figura 31 - Curva Granulométrica do Tratamento 1



diâmetro máximo (mm)	módulo de finura	massa específica		absorção (%)	pulverulento (%)	massa unitária		matéria orgânica
		s.s.s. (g/cm ³)	seco (g/cm ³)			aparente seca (g/cm ³)	aparente 4% (g/cm ³)	
	4,4							

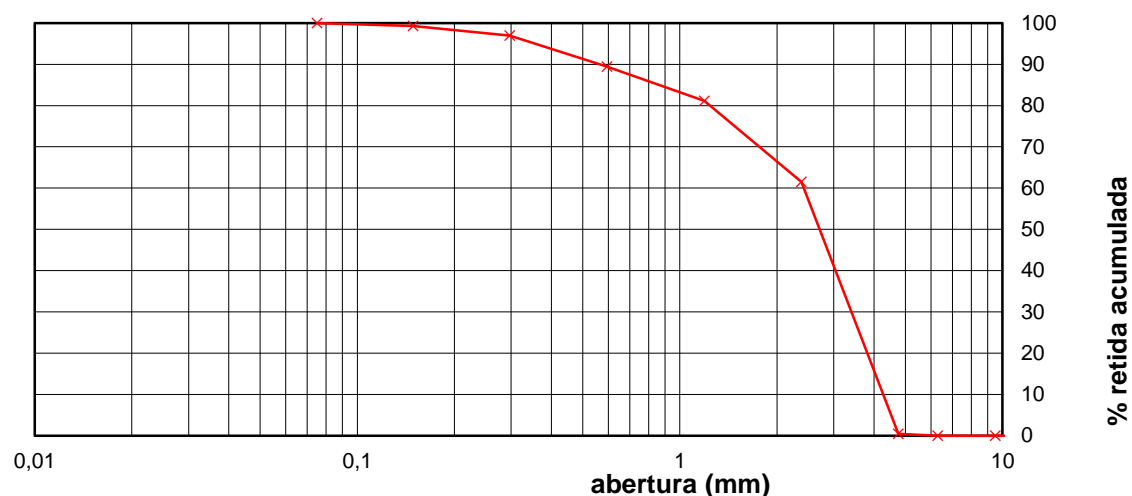
Fonte: Própria autora

Tabela 5 - Determinação da composição granulométrica da serragem (80%) e bagaço de cana (20%), correspondente ao Tratamento 2

AMOSTRA : SERRAGEM E BAGAÇO DE CANA													
PROF. RESPONSÁVEL: SÉRGIO				OBSERVAÇÃO : 80% + 20%									
PENEIRAS		Abert. mm	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada		% Retida Acumulada						
Normal	Auxil.												
3/8"	-	9,51		0,00	0,00							100,00	
-	1/4"	6,3		0,00		0,00						100,00	
N.º 4	-	4,76	2,45	0,50	0,50							99,50	
N.º 8	-	2,38	301,50	61,03	61,53							38,47	
N.º 16	-	1,19	96,75	19,59	81,11							18,89	
N.º 30	-	0,595	41,15	8,33	89,44							10,56	
N.º 50	-	0,297	37,15	7,52	96,96							3,04	
N.º 100	-	0,149	11,25	2,28	99,24							0,76	
fundo	-	0,075	3,75	0,76		100,00							
Total			494,00	100	4,29								
Peneiras		% Retida Acumulada											
(mm)		0,075	0,149	0,297	0,595	1,19	2,38	4,76	6,30	9,5	12,7	19,0	25,4
S/B		100,00	99,24	96,96	89,44	81,11	61,53	0,50	0,00	0,00	0		

Fonte:?

Figura 32 - Curva granulométrica do Tratamento 2



diâmetro máximo (mm)	módulo de finura	massa específica		absorção (%)	pulverulento (%)	massa unitária		matéria orgânica
		s.s.s. (g/cm³)	seco (g/cm³)			aparente seca (g/cm³)	aparente 4% (g/cm³)	
	4,3							

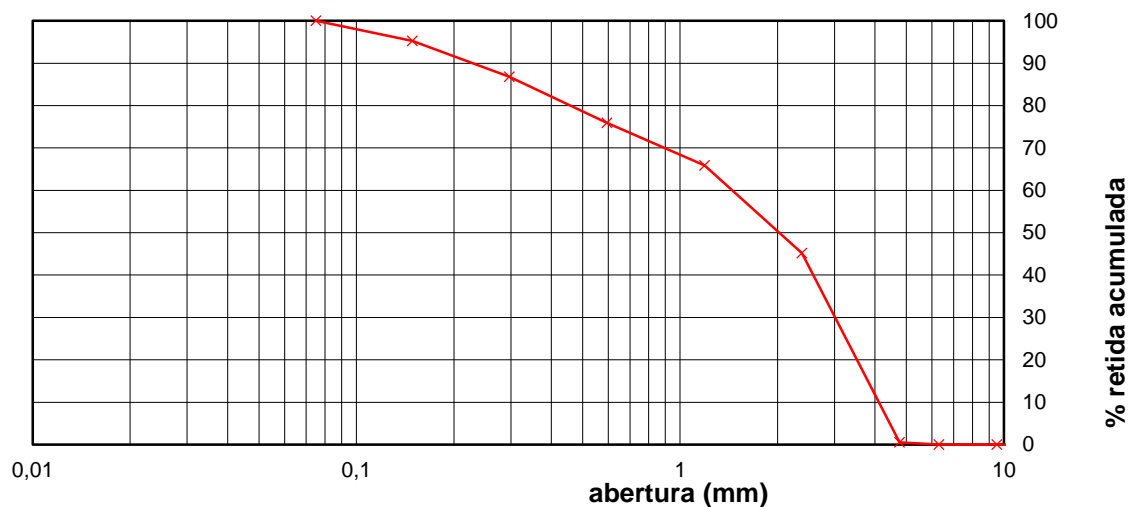
Fonte: Própria autora

Tabela 6 - Determinação da composição granulométrica da serragem (70%) e bagaço de cana (30%) e caracterização do agregado

AMOSTRA : SERRAGEM E BAGAÇO DE CANA													
PROF. RESPONSÁVEL: SÉRGIO			OBSERVAÇÃO : 70% + 30%										
PENEIRAS		Abert. mm	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada		% Retida Acumulada						% Passando
Normal	Auxil.												
3/8"	-	9,51		0,00	0,00								100,00
-	1/4"	6,3		0,00		0,00							100,00
N.º 4	-	4,76	2,65	0,53		0,53							99,47
N.º 8	-	2,38	224,65	44,64		45,17							54,83
N.º 16	-	1,19	104,20	20,71		65,87							34,13
N.º 30	-	0,595	50,45	10,02		75,90							24,10
N.º 50	-	0,297	54,80	10,89		86,79							13,21
N.º 100	-	0,149	42,80	8,50		95,29							4,71
fundo	-	0,075	23,70	4,71		100,00							
Total			503,25	100		3,70							
Peneiras		% Retida Acumulada											
(mm)		0,075	0,149	0,297	0,595	1,19	2,38	4,76	6,30	9,5	12,7	19,0	25,4
S/B		100,00	95,29	86,79	75,90	65,87	45,17	0,53	0,00	0,00	0		

Fonte: Própria autora

Figura 33 - Curva granulométrica do Tratamento 3



diâmetro máximo (mm)	módulo de finura	massa específica		absorção (%)	pulverulento (%)	massa unitária		matéria orgânica
		s.s.s. (g/cm ³)	seco (g/cm ³)			aparente seca (g/cm ³)	aparente 4% (g/cm ³)	
	3,7							

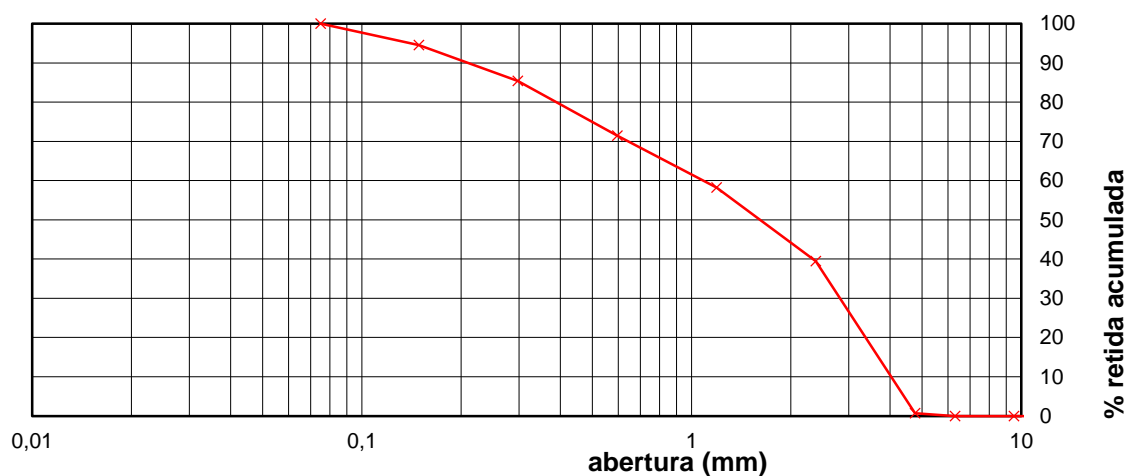
Fonte: Própria autora

Tabela 7 - Determinação da composição granulométrica da serragem (60%) e bagaço de cana (40%) e caracterização do agregado

AMOSTRA : SERRAGEM E BAGAÇO DE CANA													
PROF. RESPONSÁVEL: SÉRGIO					OBSERVAÇÃO : 60% + 40%								
PENEIRAS		Abert. mm	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada				% Passando				
Normal	Auxil.												
3/8"	-	9,51		0,00	0,00							100,00	
-	1/4"	6,3		0,00		0,00						100,00	
N.º 4	-	4,76	3,40	0,67	0,67							99,33	
N.º 8	-	2,38	196,10	38,82	39,49							60,51	
N.º 16	-	1,19	94,65	18,74	58,22							41,78	
N.º 30	-	0,595	66,70	13,20	71,43							28,57	
N.º 50	-	0,297	70,80	14,01	85,44							14,56	
N.º 100	-	0,149	46,05	9,12	94,56							5,44	
fundo	-	0,075	27,50	5,44								100,00	
Total			505,20	100	3,50								
Peneiras		% Retida Acumulada											
(mm)		0,075	0,149	0,297	0,595	1,19	2,38	4,76	6,30	9,5	12,7	19,0	25,4
S/B		100,00	94,56	85,44	71,43	58,22	39,49	0,67	0,00	0,00	0		

Fonte:?

Figura 34 - Curva granulométrica do Tratamento 4



diâmetro máximo (mm)	módulo de finura	massa específica		absorção (%)	pulverulento (%)	massa unitária		matéria orgânica
		s.s.s. (g/cm ³)	seco (g/cm ³)			aparente seca (g/cm ³)	aparente 4% (g/cm ³)	
	3,5							

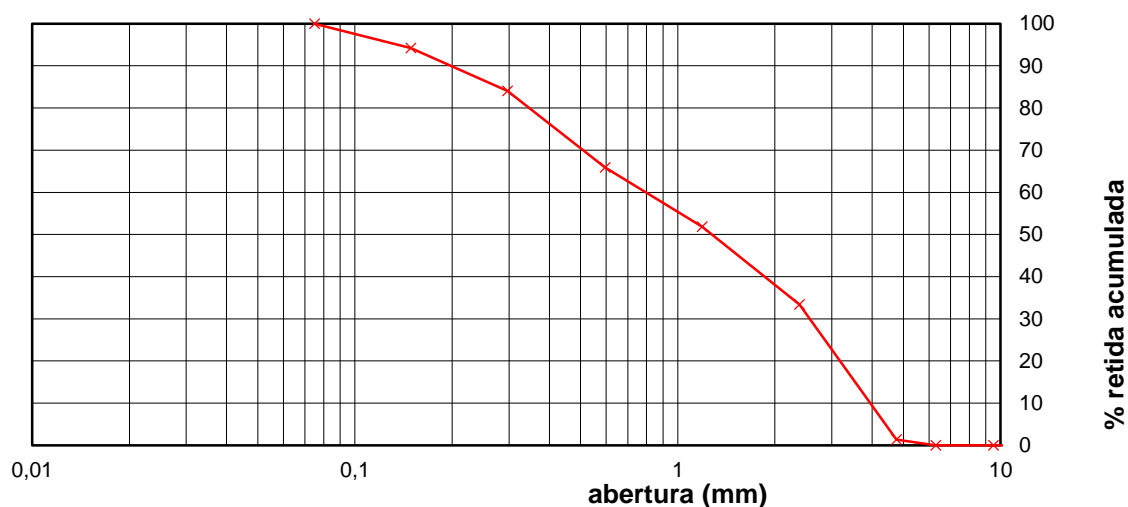
Fonte: Própria autora

Tabela 8 - Determinação da composição granulométrica da serragem (50%) e bagaço de cana (50%) e caracterização do agregado

AMOSTRA : SERRAGEM E BAGAÇO DE CANA													
PROF. RESPONSÁVEL: SÉRGIO						OBSERVAÇÃO : 50% + 50%							
PENEIRAS		Abert. mm	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada			% Passando					
Normal	Auxil.												
3/8"	-	9,51		0,00	0,00			100,00					
-	1/4"	6,3		0,00		0,00		100,00					
N.º 4	-	4,76	6,95	1,33	1,33			98,67					
N.º 8	-	2,38	167,15	32,05	33,38			66,62					
N.º 16	-	1,19	96,10	18,42	51,80			48,20					
N.º 30	-	0,595	73,60	14,11	65,91			34,09					
N.º 50	-	0,297	94,40	18,10	84,01			15,99					
N.º 100	-	0,149	53,30	10,22	94,23			5,77					
fundo	-	0,075	30,10	5,77		100,00							
Total			521,60	100	3,31								
Peneiras		% Retida Acumulada											
(mm)		0,075	0,149	0,297	0,595	1,19	2,38	4,76	6,30	9,5	12,7	19,0	25,4
S/B		100,00	94,23	84,01	65,91	51,80	33,38	1,33	0,00	0,00	0		

Fonte: Própria autora

Figura 35 - Curva granulométrica do Tratamento 5



diâmetro máximo (mm)	módulo de finura	massa específica		absorção (%)	pulverulento (%)	massa unitária		matéria orgânica
		s.s.s. (g/cm ³)	seco (g/cm ³)			aparente seca (g/cm ³)	aparente 4% (g/cm ³)	
	3,3							

Fonte: Própria autora

5.2 Resultados Iniciais e Discussões

A Tabela 9 apresenta um resumo dos resultados obtidos com o ensaio de composição granulométrica dos tratamentos propostos.

Tabela 9 - Resumo da composição granulométrica de cada tratamento.

PENEIRA (mm)	T0	T1	T2	T3	T4	T5
	Ma = 500,10g	Ma = 502,10g	Ma = 494g	Ma = 503,25g	Ma = 505,20g	Ma = 521,60g
	MRA (g)	MRA (g)	MRA (g)	MRA (g)	MRA (g)	MRA (g)
6,300	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4,760	0,500	3,750	2,450	2,650	3,400	6,950
2,380	349,3	304,35	301,50	224,64	196,10	167,15
1,190	102,3	119,05	96,75	104,20	94,65	96,10
0,595	37,50	37,50	41,15	50,45	66,70	73,60
0,297	7,400	22,85	37,15	54,80	70,80	94,40
0,149	0,500	7,400	11,25	42,80	46,05	53,30
0,075	1,900	7,200	3,750	23,70	27,50	30,10
MF	4,6	4,4	4,3	3,7	3,5	3,3

Nota: Ma = massa aparente da mistura; MRA = massa retida e acumulada; MF = módulo de finura

Fonte: Própria autora

Conforme apresentado na Tabela 9, o módulo de finura das partículas foi diminuindo na medida em que se aumentava a massa de partículas de bagaço de cana-de-açúcar, indicando que a adição dessas partículas propiciou maior distribuição na faixa de 4 a 6 mm.

A Tabela 10 apresenta os valores de umidade das partículas de cada tratamento. Vale ressaltar que antes de misturar as partículas de resíduo de marcenaria com as partículas de bagaço de cana-de-açúcar, seus teores de umidade correspondiam a 11,32% e 8,5%, respectivamente.

Tabela 10 - Teores de umidades das misturas de cada tratamento proposto.

TRATAMENTOS	PARTÍCULAS DE SERRAGEM (g)	PARTÍCULAS DE BAGAÇO (g)	UMIDADE (%)
T0	1280	0g	11,32
T1	1152	128	8,66
T2	1024	256	7,85
T3	896	384	6,89
T4	768	512	6,38
T5	640	640	6,56

Fonte: Própria autora

Observa-se na Tabela 10, que as partículas de bagaço de cana-de-açúcar e serragem sofreram trocas de umidade e propiciaram misturas com teores de umidades ajustados em função das trocas sofridas, ou seja, estes teores estão adequados para o emprego da resina PU-Mamona que admite teores de umidade do substrato até entre 5 a 12%.

Na Tabela 11 observa-se os resultados de ensaios de densidade aparente, umidade e inchamento após 24h dos painéis de cada tratamento proposto.

Tabela 11 - Resultados dos ensaios para caracterização das propriedades físicas

NBR 14810-2:2014	0,55 a 0,75(g/cm ³)	5 a 13(%)	18 (%)
TRATAMENTOS	DENSIDADE	UMIDADE	INCHAMENTO 24H
T0	0,73	6,70	24,27
T1	0,89	6,88	17,06
T2	0,83	6,48	18,46
T3	0,77	6,09	15,53
T4	0,79	5,80	17,93
T5	0,73	5,70	15,10

Fonte: Própria autora

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que para os painéis do tratamento T0, que não possuem adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar e para os painéis do

T5, com 50% de adição de bagaço de cana-de-açúcar, as densidades estão dentro do intervalo definido pela ABNT NBR14810-1:2014, enquanto que, os painéis dos demais tratamentos apresentaram densidade acima do intervalo. A variação da densidade observada pode ser explicada devido à adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar que facilitou a compactação dos painéis durante a confecção, propiciando maior aproximação entre as partículas, entretanto, a ABNT NBR14810-2:2014 considera uma tolerância para a densidade média de $\pm 7\%$, ou seja, os maiores valores de densidade obtidos para os tratamentos estão muito próximos dos requisitos normativos.

De acordo com a Tabela 11, ao se analisar o inchamento em espessura dos painéis do T0, ou seja, sem adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar, verifica-se que o inchamento determinado foi de 24,27%, ou seja, acima do valor de referência da ABNT NBR14810-2:2014, entretanto, ao se analisar os demais tratamentos, somente os teores de umidade para os painéis do T2 ficaram ligeiramente acima do recomendado pela referida norma.

Os bons resultados obtidos para o inchamento dos painéis podem estar relacionados à adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar às partículas de resíduos de marcenaria, que durante a confecção dos painéis propiciaram facilidade na compactação, conseqüentemente, maior aproximação entre as partículas, diminuição de espaços vazios no interior dos painéis e maior resistência ao inchamento em espessura.

Vale ressaltar que o adesivo PU-Mamona também contribuiu significativamente para melhorar a resistência ao inchamento dos painéis, pois, os adesivos poliuretanos são conhecidos por conferirem boas resistências em situações de exposição à umidade.

A Tabela 12 apresenta uma análise comparativa das perdas entre os teores de umidades das misturas de partículas de cada tratamento com o teor de umidade dos painéis.

Tabela 12 - Avaliação da umidade dos painéis.

TRATAMENTOS	PARTÍCULAS(%)	PAINÉIS(%)	PERDAS(%)
T0	11,32	6,70	0,591
T1	8,66	6,88	0,794
T2	7,85	6,48	0,825
T3	6,89	6,09	0,883
T4	6,38	5,80	0,909
T5	6,56	5,70	0,869

Fonte: Própria autora

Comparando-se o teor de umidade das partículas dos tratamentos T1 a T5 com o teor de umidade dos painéis, observam-se perdas de aproximadamente 0,8%, essas perdas são decorrentes do processo de confecção com temperatura de 100°C durante 10 minutos de prensagem. Na Tabela 12, verifica-se que foram determinados teores de umidade para os painéis na ordem de 6%, ou seja, dentro do recomendado pela ABNT NBR 14810-2:2013.

Na Tabela 13 observam-se os valores das propriedades mecânicas determinados para os painéis de cada tratamento.

Tabela 13 - Valores das propriedades mecânicas dos painéis.

ABNT NBR14810-2:2014	11MPa	1800MPa	0,40MPa
TRATAMENTOS	MOR	MOE	TP
T0	7,40	1108,00	1,12
T1	8,57	1821,45	1,21
T2	9,13	1959,41	1,10
T3	11,44	1841,70	1,23
T4	9,29	1935,88	1,20
T5	11,09	2033,80	0,91

Nota: MOR = módulo de resistência à flexão; MOE = módulo de elasticidade; TP = tração perpendicular

Fonte: Própria autora

De acordo com a ABNT NBR14810-2:2014 o valor apresentado na Tabela 13 para o MOR dos painéis do T0, T1, T2 e T4 estão abaixo dos valores recomendados pela referida norma, entretanto, os valores encontrados para os painéis do T3 e T5 estão de acordo com a referida norma.

Os painéis do T5 apresentaram massas de partículas na faixa de 4mm a 6mm de comprimento (Tabela 12), na ordem de 6,95g, ou seja, apenas 1,33% da massa total ensaiada. Vale ressaltar que apesar da adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar ter melhorado de modo geral as propriedades físicas e mecânicas dos painéis, esta faixa de comprimento das partículas ainda apresenta quantidades muito reduzidas dentro das misturas.

Com relação ao MOE, verifica-se na Tabela 13 que os painéis do T1, T2, T3, T4 e T5, alcançaram a resistência adequada segundo o documento normativo, pois, independente da quantidade de partículas de bagaço de cana-de-açúcar em cada tratamento, é possível inferir que seus comprimentos na faixa de 4 a 6mm, influenciaram no MOE dos painéis.

Na Tabela 13 verifica-se que os valores de TP dos painéis de todos os tratamentos são superiores a 0,40MPa, ou seja, acima dos valores exigidos pela ABNT NBR14810-

2:2013, conseqüentemente, é possível inferir que tanto o adesivo PU-Mamona como a adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar foram eficientes e propiciaram boas resistências à tração perpendicular.

5.3 Considerações sobre o Programa Experimental

A adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar às partículas de madeira provenientes de resíduo de marcenarias com o objetivo de ajustar a composição granulométrica da mistura, propiciou aos painéis melhores distribuições de partículas na faixa de 4 a 6mm de comprimento. Para a confecção dos painéis, devido à baixa densidade das partículas de bagaço de cana-de-açúcar, verificou-se que houve uma significativa melhora no processo de prensagem, melhorou a eficiência do adesivo no interior dos painéis, facilitando sua compactação e diminuição dos espaços vazios entre as partículas.

Vale ressaltar que o adesivo PU-Mamona também contribuiu significativamente para melhorar a resistência ao inchamento dos painéis, pois, os adesivos poliuretanos são conhecidos por conferirem boas resistências em situações de exposição à umidade.

Com relação aos resultados obtidos com os ensaios, verificou-se que a adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar, na faixa de 4 a 6mm de comprimento, propiciou propriedades físicas e mecânicas com valores adequados, de acordo com a ABNT NBR 14810 - 1 e 2:2014, sendo que o T5 foi o tratamento que apresentou melhores valores de resultados físico-mecânico para os painéis, possibilitando a produção de *“Painéis de partículas de madeira de média densidade”* do *“Tipo P2”*, ou seja, *“Painéis não estruturais para uso interno em condições secas”*.

Considerando-se os resultados obtidos com os tratamentos estudados, verificou-se a possibilidade de melhorar algumas propriedades físicas e mecânicas dos painéis, conseqüentemente, foram confeccionados novos painéis com ajustes na granulometria do T5, ou seja, realizaram-se adições de partículas de bagaço de cana-de-açúcar na faixa de 6mm.

6 SEGUNDA ETAPA (ANÁLISE GRANULOMÉTRICA AJUSTADA COM 50% SERRAGEM E 50% BAGAÇO DE CANA)

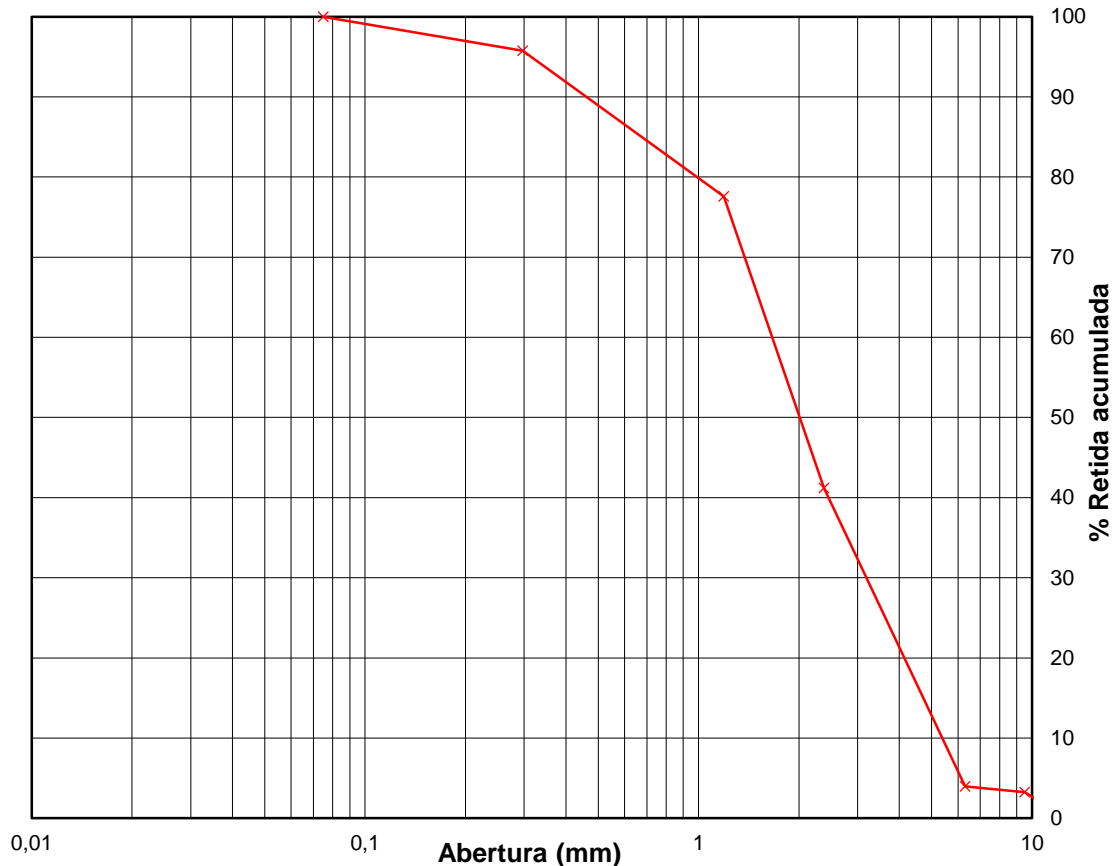
A Tabela 14 e a Figura 36 apresentam a composição granulométrica e a curva granulométrica da mistura proposta para o T5, considerando-se a adição de partículas proveniente de bagaço de cana-de-açúcar na faixa de 6mm de comprimento.

Tabela 14 - Determinação da composição granulométrica da serragem (50%) e bagaço de cana (50%) e caracterização do agregado.

Fonte: Própria autora

PENEIRAS		Abert.	Peso Retido	%	% Retida Acumulada		% Passando					
Normal	Auxil.	mm	(g)	Retida								
3"	-	76,1		0,00	0		100,00					
-	2 1/2"	64		0,00		0	100,00					
-	2"	50,8		0,00		0,00	100,00					
1 1/2"	-	38,1		0,00	0,00		100,00					
-	1"	25,4		0,00		0,00	100,00					
3/4"	-	19		0,00	0,00		100,00					
-	1/2"	12,7		0,00		0,00	100,00					
3/8"	-	9,51	16,26	3,23	3,23		96,77					
-	1/4"	6,3	3,63	0,72		3,96	96,04					
N.º 4	-	4,76	0,00	0,00	0,00		96,04					
N.º 8	-	2,38	187,19	37,23	41,19		58,81					
N.º 16	-	1,19	182,86	36,37	77,56		22,44					
N.º 30	-	0,595	0,00	0,00	0,00		22,44					
N.º 50	-	0,297	91,52	18,20	95,77		4,23					
N.º 100	-	0,149	0,00	0,00	0,00		4,23					
fundo	-	0,075	21,28	4,23		100,00	0,00					
Total			502,74	100	2,18							
Peneiras	% Retida Acumulada											
(mm)	0,075	0,149	0,297	0,595	1,19	2,38	4,76	6,30	9,5	12,7	19,0	25,4
	100,00		95,77		77,56	41,19		3,96	3,23	0		

Figura 36 - Curva granulométrica da mistura do Tratamento 5



diâmetro máximo (mm)	módulo de finura	massa específica		absor- ção (%)	pulve- rulento (%)	massa unitária		matéria orgânica
		s.s.s. (g/cm ³)	seco (g/cm ³)			aparente seca (g/cm ³)	aparente 4% (g/cm ³)	
	2,2							

Fonte: Própria autora

Para a realização do ensaio de composição granulométrica, as peneiras de número 4, 30 e 100 foram removidas do conjunto e não participaram do processo de peneiramento da mistura, pois, verificou-se nos ensaios anteriores que estas peneiras não retiveram as partículas em função de seus comprimentos, por outro lado, devido a espessura reduzida das partículas, propiciavam facilmente a passagem pela malha da peneira. Este fato propiciava ao ensaio uma composição granulométrica com partículas que não representavam os comprimentos que deveriam ser retidos.

Conforme se observa na Tabela 14, com a adição das partículas de bagaço de cana-de-açúcar ocorreu um significativo aumento no percentual de partículas nas faixas de 2 a

6mm, ou seja, 41,17% e 77,56%, respectivamente e na Figura 37 verifica-se uma homogeneização do percentual retido das partículas com comprimentos na faixa de 2 a 6mm.

Figura 37 – Processo de confecção dos painéis ajustados 50% serragem e 50% bagaço de cana



Fonte: Própria autora.

6.1 Propriedades físicas painéis do T5 com ajustes do comprimento das partículas

Figura 38 – Ensaio de Inchamento



Fonte: Própria autora.

A Tabela 15 apresenta os resultados de ensaios referentes às propriedades físicas dos painéis confeccionados com os ajustes do comprimento das partículas propostos no T5.

Tabela 15 – Valores das propriedades físicas

NBR14810-2:2014	0,55 a 0,75 (g/cm ³)	5 a 13 (%)	18 (%)
TRATAMENTOS	DENSIDADE	TEOR UMIDADE	INCHAMENTO 24H
T5	0,94	9,75	11,34

Fonte: Própria autora.

Conforme se observa na Tabela 14, em função dos ajustes na composição granulométrica das partículas, segundo a NBR 14810-2:2014 o teor de umidade e o inchamento estão de acordo com as exigências da referida norma. A densidade foi determinada com valores superiores à referência normativa mínima, é provável que os valores de densidade obtidos foram determinados pela facilidade de compactação da mistura devido a presença das partículas de bagaço de cana-de-açúcar.

6.2 Propriedades mecânicas dos painéis do T5 com ajustes do comprimento das partículas.

Figura 39 – Ensaio de Flexão



Fonte: Própria autora.

Figura 40 – Ensaio de Tração Perpendicular



Fonte: Própria autora.

A Tabela 16 apresenta os valores das propriedades mecânicas obtidas com a realização dos ensaios nos painéis confeccionados com os ajustes do comprimento das partículas propostos no T5.

Tabela 16 - Valores das propriedades mecânicas dos painéis.

ABNT NBR14810-2:2014	11MPa	1800MPa	0,40MPa
TRATAMENTOS	MOR	MOE	TP
T5	18,63	2186,18	0,74

Nota: MOR = módulo de resistência à flexão; MOE = módulo de elasticidade; TP = tração perpendicular

Fonte: Própria autora

Na Tabela 16 verificam-se análises comparativas entre os valores normativos mínimos e os valores de MOR, MOE e TP obtidos com os ensaios para caracterização dos painéis. Considerando-se os valores obtidos, é possível inferir que os ajustes propostos no T5 propiciaram melhores propriedades mecânicas aos painéis.

6.3 Análise Estatística dos resultados

A Tabela 17 apresenta uma análise descritiva da absorção, inchamento, densidade e umidade dos painéis confeccionados com o T5 ajustado.

Tabela 17 - Análise descritivas das propriedades físicas dos painéis

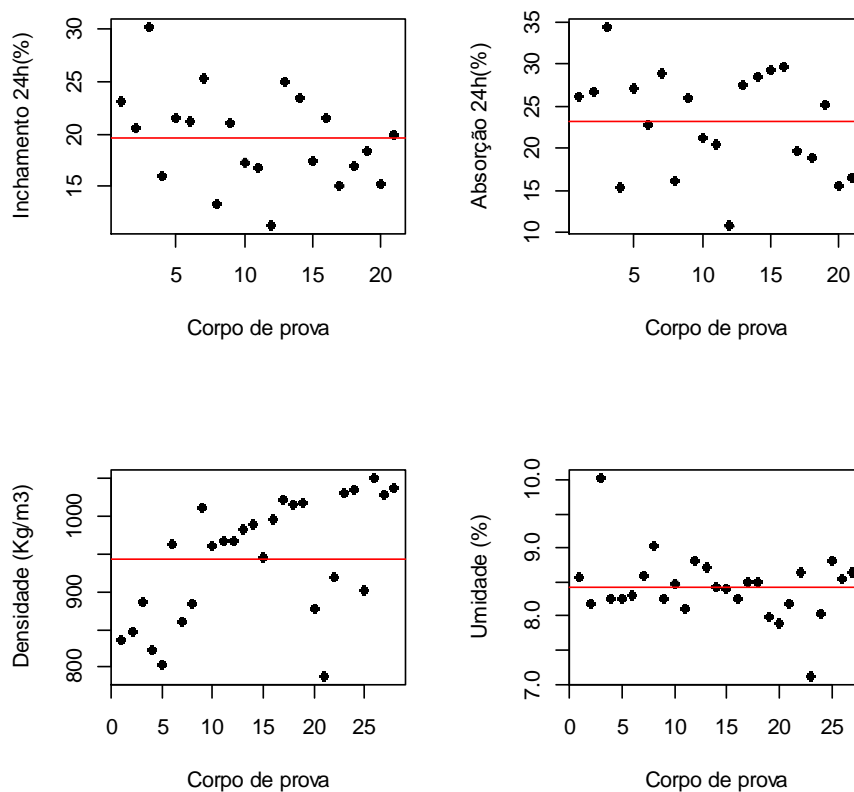
Propriedades Físicas	Estatísticas					
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)	Intervalo de Confiança da média (95%)
Absorção (%)	10.80	34.49	23.16	6.10	26.33	[20.39;25.94]
Inchamento (%)	11.31	30.20	19.95	4.48	22.94	[17.50;21.58]
Densidade (Kg/m³)	787.10	1050.00	944.20	80.06	8.48	[913.16;975.25]
Umidade (%)	7.10	10.02	8.42	0.49	5.79	[8.23;8.61]

Fonte: Própria autora

De acordo com as análises apresentadas na Tabela 17, é possível afirmar que os resultados obtidos para as propriedades físicas dos painéis são homogêneos, pois, verificase que os coeficientes de variação são inferiores a 30%, conseqüentemente, ocorre pouca dispersão de valores em torno das medias avaliadas. Neste caso os valores médios avaliados representam significativamente todos os valores obtidos com os ensaios para caracterização das propriedades físicas dos painéis.

A Figura 41 ilustra o comportamento das propriedades físicas, descritas na Tabela 17, em torno de sua média.

Figura 41 - Avaliação da distribuição dos valores obtidos com os ensaios para caracterização das propriedades físicas dos painéis.



Fonte: Própria autora

A Tabela 18 apresenta uma análise descritiva do Módulo de Resistência a Flexão (MOR), Módulo de Elasticidade (MOE) e Resistência a Tração Perpendicular (TP) dos painéis confeccionados com o T5 ajustado.

Tabela 18 - Análise descritiva das propriedades mecânicas dos painéis

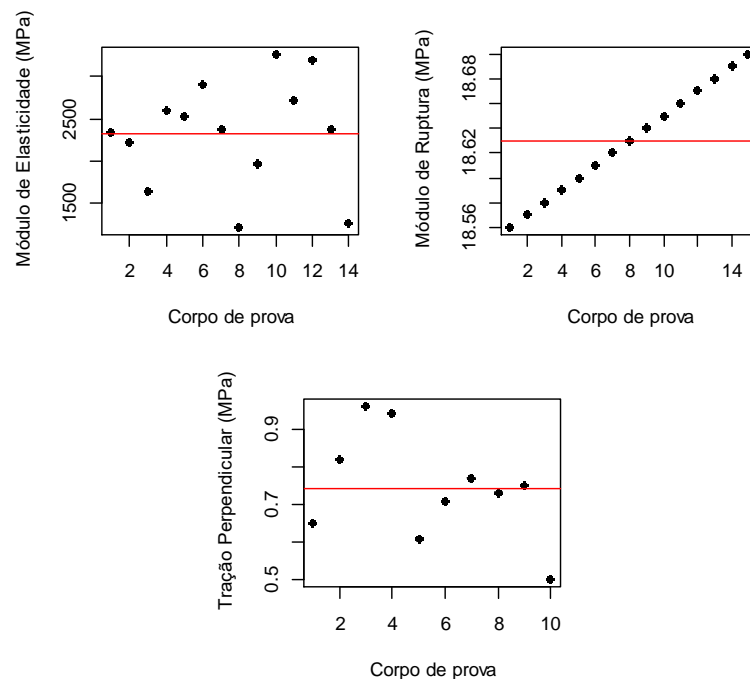
Propriedades Mecânicas	Estatísticas					
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)	Intervalo de Confiança da média (95%)
MOR (MPa)	18.56	18.70	18.63	0.04	0.24	[18.60;18.65]
MOE (MPa)	1214	3271	2330	632.31	27.14	[1964.66;2694.83]
TP (MPa)	0.50	0.96	0.74	0.14	18.97	[0.64;0.84]

Fonte: Própria autora

De acordo com as análises apresentadas na Tabela 18, é possível afirmar que os resultados obtidos para as propriedades mecânicas dos painéis são homogêneos, pois, verifica-se que os coeficientes de variação são inferiores a 30%, conseqüentemente, ocorre pouca dispersão de valores em torno das médias avaliadas. Neste caso os valores médios avaliados representam significativamente todos os valores obtidos com os ensaios para caracterização das propriedades mecânicas dos painéis.

A Figura 42 ilustra o comportamento das propriedades físicas, descritas na Tabela 17, em torno de sua média.

Figura 42 - Avaliação da distribuição dos valores obtidos com os ensaios para caracterização das propriedades mecânica dos painéis.



Fonte: Própria autora

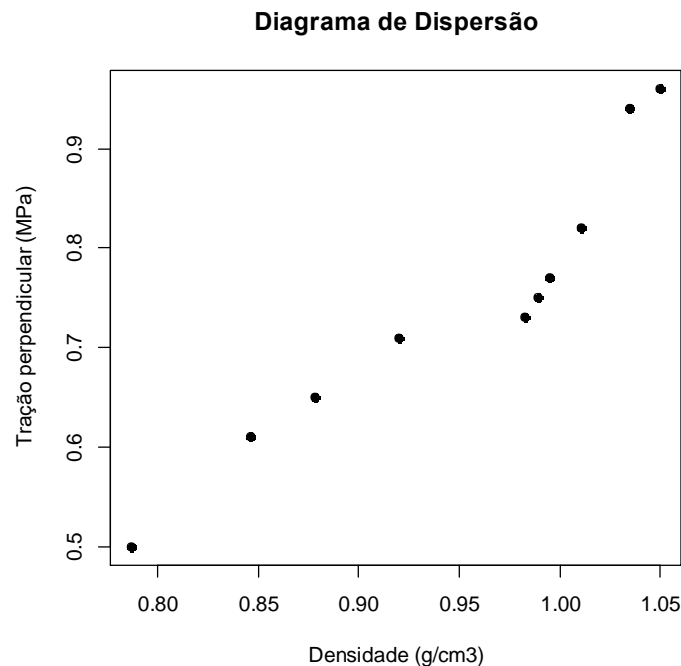
6.3.1 Análise de Regressão entre os valores de Tração Perpendicular e Densidade

Dentre as propriedades que caracterizam a qualidade dos painéis a Resistência a Tração Perpendicular e a Densidade são muito importantes, pois estão também diretamente relacionadas com a eficiência da resina empregada para aglutinar as partículas.

Conseqüentemente, geralmente quanto maior a densidade, maior deverá ser o valor da Resistência à Tração Perpendicular.

Estatisticamente espera-se uma correlação positiva entre tais propriedades. A Figura 43 a seguir, ilustra a dispersão (comportamento) das propriedades conjuntamente.

Figura 43 - Análise da dispersão entre os valores obtidos para Tração Perpendicular e Densidade.



Fonte: Própria autora

Graficamente podemos observar uma forte correlação positiva (à medida que a densidade aumenta a tração perpendicular também aumenta) entre as propriedades (densidade e tração perpendicular).

O Coeficiente de Correlação de Pearson (ρ), em que $-1 < \rho < 1$, é uma medida estatística utilizada para medir a relação linear entre duas variáveis. Para ρ próximo de -1 existe uma forte correlação negativa, para ρ próximo de zero não existe correlação e para ρ próximo de 1 existe uma forte correlação positiva.

Como $\rho = 0.9468487$ podemos concluir que existe uma forte correlação positiva entre Densidade e Tração Perpendicular. Dessa forma, uma Análise de Regressão terá o objetivo de inferir sobre a propriedade de Resistência a Tração dos painéis a partir dos valores da densidade.

Ajustando-se o Modelo de Regressão Linear Simples, tem-se:

$$\hat{T} = -0,7044 + 1,5256 * D$$

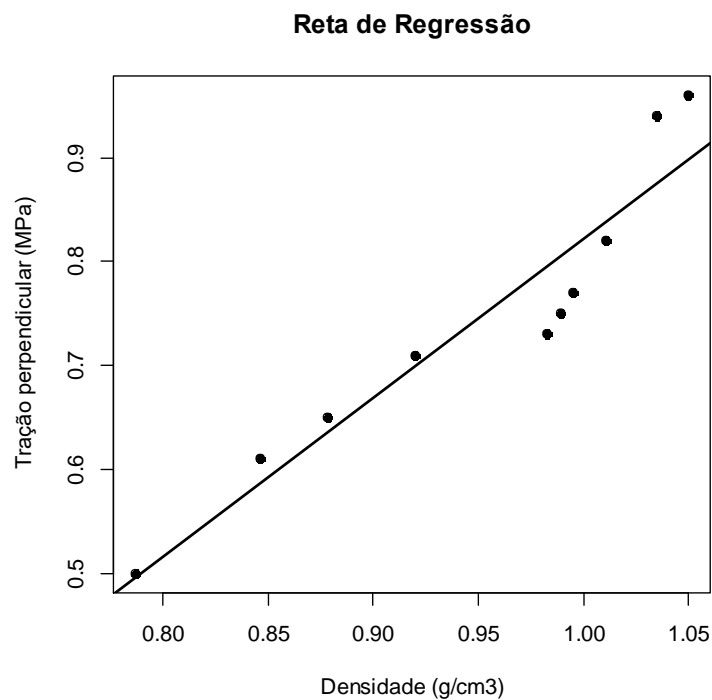
Onde:

T = tração perpendicular e

D = densidade.

A Retra de Regressão para o modelo ajustado é apresentada na Figura 43.

Figura 44 - Retra de Regressão do Modelo Ajustado



Fonte: Própria autora

A Tabela 19 apresenta a Análise de Variância (ANOVA) para o Modelo de regressão ajustado.

Tabela 19 - Análise de Variância (ANOVA)

Fonte de Variação	g.l.	Soma de quadrados (SQ)	Quadrado médio (QM)	F calculado	P-valor
Regressão	1	0,160693	0,160693	69,311	3,274e-05
Resíduo	8	0,018547	0,002318		
Total	9	0,179240			

Fonte: Própria autora

As hipóteses a serem testadas são:

$$\begin{cases} H_0: \beta_0 = 0 \\ H_1: \beta_1 \neq 0 \end{cases}$$

Ou equivalentemente, as hipóteses a serem testadas:

$$\begin{cases} H_0: \text{o modelo não é adequado (a "densidade" não explica a "tração perpendicular")} \\ H_1: \text{o modelo é adequado (a "densidade" explica a "tração perpendicular")} \end{cases}$$

A um nível de 95% de confiança, com um P-valor muito pequeno (P-valor < 0,05), rejeitamos a hipótese H_0 e podemos concluir que a “densidade” contribui significativamente para explicar a “tração perpendicular”, ou seja, o modelo de Regressão é adequado. Além disso, o coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) explica 89,65% da variabilidade total (comportamento dos dados).

$$R^2 = \frac{SQReg}{SQT} = \frac{0,160693}{0,179240} = 0,8965$$

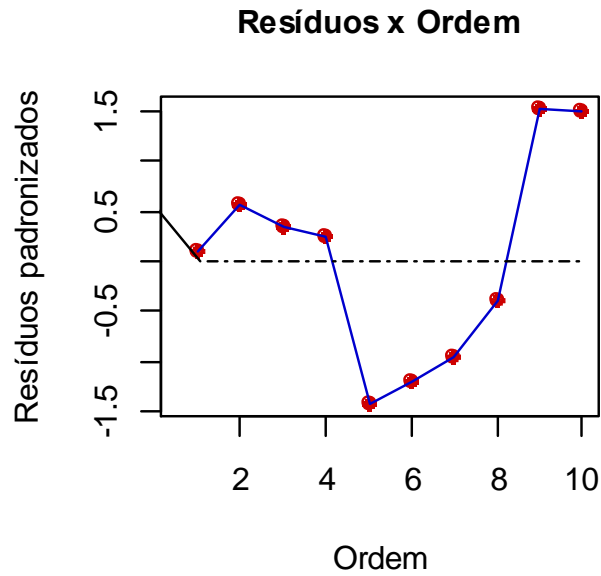
6.3.2 Análise dos resíduos

A Análise de Resíduos consiste em um conjunto de técnicas para investigar a adequabilidade do modelo com base nos resíduos. Basicamente, para que os resultados obtidos por meio da ANOVA sejam válidos, temos que verificar as pressuposições iniciais do modelo, que são: independência, homocedasticidade das variâncias e normalidade dos resíduos.

As suposições de independência e homocedasticidade foram feitas somente pela análise gráfica. Para testar a normalidade utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov.

Uma análise gráfica para verificar a hipótese de independência dos resíduos pode ser feita por meio do gráfico dos resíduos versus a ordem. Analisando o gráfico da Figura 44, vemos que os pontos não parecem ter uma tendência e por isso temos indícios de independência dos erros.

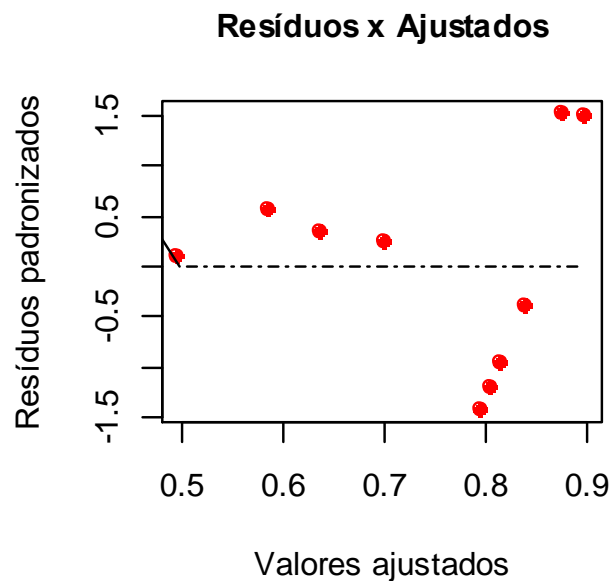
Figura 45 - Gráfico para análise da tendência dos resíduos



Fonte: Própria autora

O gráfico dos resíduos versus valores ajustados, ilustrado na Figura 45 é uma das principais técnicas utilizadas para verificar a homocedasticidade. Como podemos observar no gráfico, os pontos estão aleatoriamente distribuídos em torno de zero sem nenhum comportamento ou tendência. Logo, temos fortes indícios que a homocedasticidade das variâncias foram satisfeitas.

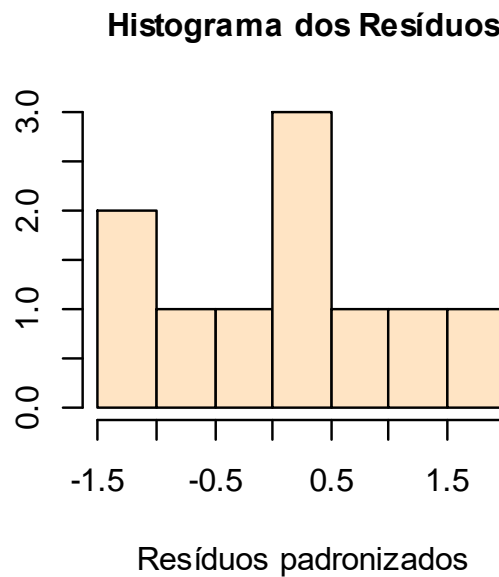
Figura 46 - Gráfico para análise da distribuição dos resíduos



Fonte: Própria autora

A Figura 47 ilustra o Histograma dos resíduos padronizados.

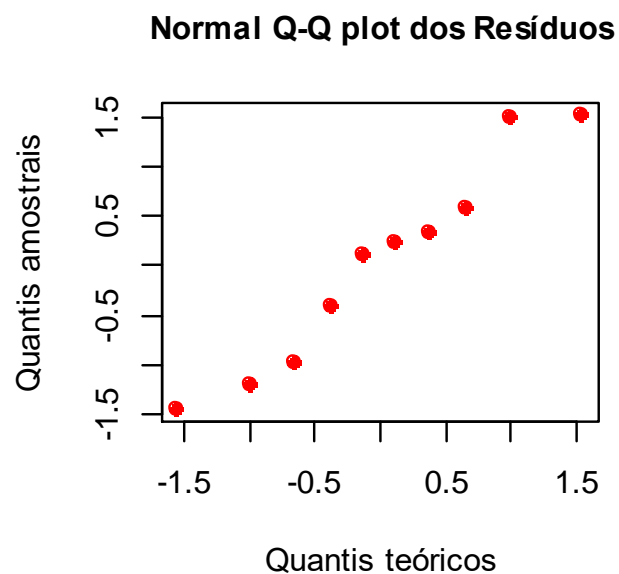
Figura 47 - Histograma dos resíduos padronizados



Fonte: Própria autora

Pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, com um P-valor de 0,9689 podemos confirmar a normalidade dos resíduos, tais resultados podem ser verificados e no gráfico Normal Q-Q plot, ilustrados na Figura 48.

Figura 48 - Gráfico para verificação da normalidade dos resíduos.



Fonte: Própria autora

6.3.3 Conclusão

A utilização de partículas de bagaço de cana-de-açúcar adicionadas a misturas de partículas de madeira provenientes de resíduo de marcenarias com o objetivo de ajustar a composição granulométrica da mistura, propiciou aos tratamentos melhores distribuições granulométricas na faixa de 4mm a 6mm.

Para a confecção dos painéis, devido à baixa densidade das partículas de bagaço de cana-de-açúcar e a quantidade de resina PU-Mamona utilizada, verificou-se que houve uma significativa melhora no processo de prensagem à quente, facilitando a compactação dos painéis, propiciando maior fluidez da resina no interior dos painéis e consequentemente, melhor adesão e diminuição dos espaços vazios entre as partículas.

Com relação às análises realizadas nos resultados obtidos com os ensaios, verificou-se que o emprego de 10% de resina PU-Mamona foi eficiente e propiciou adesão adequada entre as partículas e que a adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar, ajustando a composição granulométrica do T5 com, propiciou propriedades físicas e mecânicas aos painéis com valores que de acordo com a ABNT NBR 2:2014 e são indicadas, segundo a referida norma, para produção de “Painéis de Partículas de Madeira de Média Densidade” do “Tipo P2”, ou seja, “Painéis não Estruturais para Uso Interno em Condições Secas” e para produção de painéis do “Tipo P4”, ou seja, “Painéis Estruturais para uso em condições secas”

7 RECOMENDAÇÕES PARA PRÓXIMAS PESQUISAS

Considerando-se os valores obtidos nas avaliações das propriedades físicas e mecânicas dos corpos-de-prova dos tratamentos T3, T4 e T5, com 30%, 40% e 50% de partículas de bagaço de cana-de-açúcar, respectivamente, verificou-se um baixo percentual destas partículas na faixa de 4mm a 6mm e valores de inchamento acima do indicado pela NBR 14810-2:2014, conseqüentemente, sugere-se para as próximas pesquisas, a realização de ajustes na granulometria destas partículas para a faixa de 4 a 6mm de comprimento e aumento do teor de resina PU-Mamona par 12%. Esta sugestão objetiva produzir painéis que se classifiquem segundo a ABNT NBR 14810-2:2014 como “Painéis não Estruturais para Uso em Condições Úmidas - Tipo 3” e, “Painéis Estruturais para Uso em Condições Úmidas - Tipo 5”

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI. **Estudo Setorial 2007**. Curitiba: Step, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE Madeira - ABIPA. **Programa Setorial da Qualidade de Painéis de Madeira**. São Paulo: Tesis, 2013. Disponível em: <www.abipa.org.br>. Acesso em: 05 set. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL - BRACELPA. **Florestas Plantadas**. São Paulo, 2014. Disponível em: <www.bracelpa.org.br>. Acesso em: 20 dez. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-1**: Chapas de madeira aglomerada: terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14810-2**: Chapas de madeira aglomerada: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14810-3**: chapas de madeira aglomerada: métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7217**: agregados determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987. 03 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. **NBR 14810**: chapas de madeira aglomerada. Rio de Janeiro, 2006.51 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 1004**: resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 2004.71 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Mercado de Produtores Florestais**. São Paulo, 2006. Disponível em: <www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF10-BR/capitulo03.pdf>. Acesso em: 28 out.2013.
- ABREU, L. B. de et al. Avaliação de resíduos de painéis de madeira gerados por indústrias moveleiras para aproveitamento na confecção de pequenos objetos: estudo de caso. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 33, p. 1747-1751, 2009. DOI: 10.1590/s1413-70542009000700008.
- ALBERTINI, S.; CARMO, L. F. do; PRADO FILHO, L. G. do. Utilização de serragem e bagaço de cana-de-açúcar para adsorção de cádmio. **Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas**, v. 27, n. 1, p.113-118, 2007. DOI: 10.1590/s0101-20612007000100020.
- ALVES, L. S.; SILVA, S. A. M. Confecção e avaliação de chapas de madeira aglomerada homogêneas empregando-se resíduos de empresas moveleiras de São José do Rio Preto e poliuretana derivada de óleo de mamona. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRAS E DE ESTRUTURAS DE MADEIRA, 14., 2014, Natal. **Anais...** Natal: EMBRAMEM, 2014. p. 1-10.

ANJOS, F. P. dos; SOUSA, A. M. L. de. Umidade de equilíbrio em madeira termorretificada de cupiúba da região amazônica. **Biota Amazônia**, Amapá, v. 5, n. 1, p. 100-104, 2015.

AZAMBUJA, M. dos A. **Estudo experimental de adesivos para fabricação de madeira laminada colada: avaliação da resistência de emendas dentadas, da durabilidade e de vigas**. 2006. 128 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos. 2006.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO - BNDES. **Painéis de madeira reconstituída**. Brasília, DF, 2002. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/>>. Acesso em: 15 maio 2015.

BAUER, F. **Materiais de construção 2**. Uberlândia: LTC, 1999. 951 p.

BERNARDI, R. **Reconstituição de chapas de aglomerado**. [S. l]: BRT, 2014. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br/>>. Acesso em: 29 jul. 2014.

BERTOLINI, Marília da Silva. **Emprego de resíduos de Pinus sp tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona**. 2011. 126 f. Dissertação (Mestrado EM Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L.; COIADO CHAMMA, P. V. Avaliação de painéis produzidos a partir de resíduos sólidos para aplicação na arquitetura. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 47-53, 2009.

CASTRO, V.; IWAKIRI, S. Influência de diferentes níveis de acetilação nas propriedades físico-mecânicas de aglomerados e painéis madeira-cimento. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 4, p. 535-540, 2014. DOI: 10.1590/01047760201420041673.

CAVALHEIRO, R. S. **Madeira laminada colada de schizolobium amazonicum Herb. (Paricá): combinação adesivo/tratamento preservante**. 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

CERQUEIRA, P. H. A. de et al. Análise dos resíduos madeireiros gerados pelas serrarias do município de Eunápolis-BA. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 4, p. 506-510, 2012. DOI: 10.4322/floram.2012.051.

COLLI, A. et al. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e fibras de coco (*Cocos nucifera* L.). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 333-338, 2010. DOI: 10.1590/s0100-67622010000200016.

CONAMA. Resolução nº 307, de 5 de Julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**, n. 136, p. 95-96, 17 jul. 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 30 out. 2013.

CORDEIRO, G. C.; FILHO, R. D. T.; ALMEIDA, R S de. Influence of ultrafine wet grinding on pozzolanic activity of submicrometre sugar cane bagasse ash. **Advances In Applied Ceramics**, Abingdon, v. 110, n. 8, p. 453-456, nov. 2011. DOI: 10.1179/1743676111y.0000000050.

DIAS, A. A. Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira aglomerada. In: LAHR, F. A. R. **Produtos derivados de madeira**. São Carlos, USP, 2008. p. 73-92.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. 2005. 150 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 14., 2014, Natal. **Painéis aglomerados produzidos com resíduo de serraria**. Natal: Moura Ramos, 2014. 3 v.

FIORELLI, J. et al. Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona – produção e propriedades. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 33, n. 4, p.401-406, nov. 2011.

FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. Campinas: Unicamp, 2003. 331 p.

FONTES, P. J. P. **Auto-suficiência energética em serraria de pinus e aproveitamento dos resíduos**. 1994. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

GARCIA, F. M. **Rendimento operacional de uma serraria com a espécie Cambará (Qualea albiflora Warm.) na região amazônica**. 2013. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B.; ALBUQUERQUE, C. E. L.; GORNIK, E.; MENDES, L. M. et al. Resíduo de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 1, n. 1-2, p. 23-28, 2000.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. p. 123-166, 2005.

IWAKIRI, S. et al. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 1, p. 59-64, 2012. DOI: 10.1590/s0044-59672012000100007.

IWAKIRI, S. et al. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, p. 59-64, abr. 2011.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Avaliação, controle de qualidade e elaboração de especificações de madeiras e produtos derivados**. São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.ipt.br/solucoes/60avaliacao_controle_de_qualidade_e_elaboracao_de_especificacoes_de_madeiras_e_produtos_derivados.htm>. Acesso em: 28 out. 2014.

JESUS, J. M. H. de; CALIL JUNIOR, C. Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC). **Madeira: Arquitetura e Engenharia**, São Carlos, v. 3, n. 8, p.01-47, maio 2002.

LAHR, R. **Derivados de Madeira**: produtos derivados de madeira. São Carlos: USP, 2004. 161 p.

LONGO, Bruna Laís. **Potencial do resíduo de espécies tropicais para a produção de painéis particulados**. 2014. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.

MANZANO, R. P. et al. Digestibilidade do bagaço de cana-de-açúcar tratado com reagentes químicos e pressão de vapor. **Rev. Bras. Zootec.**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p. 1196-1204, 2000. DOI: 10.1590/s1516-35982000000400034.

MARTON, A. **Confecção e avaliação de chapas de madeira aglomerada com aproveitamento de resíduos de marcenaria industrial**. 2014. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. das. **Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. Rio de Janeiro: Bndes Setorial, 2008. 156 p.

MELLO, S MORALES, E GONÇALVES, R. Utilização da técnica de ondas ultrasônicas para estimativa de propriedades mecânicas de chapas MDF e OSB. In: LAHR, F. A. R. **Produtos derivados de madeira**. São Carlos, USP, 2008. p. 1-159.

MELO, R. R. de et al. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados madeira-bambu. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 1, p. 35-42, jan. 2015. DOI: 10.1590/0103-8478cr20120970.

NASCIMENTO, M. MORALES, E. Fabricação de painéis OSB com matéria-prima proveniente de espécies de madeira da caatinga do nordeste brasileiro. In: LAHR, F. A. R. **Produtos derivados de madeira**. São Carlos, USP, 2008. p. 117-136.

NARCISO, C. R. P. et al. Painéis aglomerados produzidos com resíduo de serraria. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 14. 2014, Natal. **Anais...** Natal: Moura Ramos, 2014. v. 3, p. 56 - 67.

NEGRÃO, W. H. et al. Painéis aglomerados fabricados com mistura de partículas de madeiras tropicais. **Ambiente Construído**, São Paulo, v. 14, n. 3, p.103-112, 2014. DOI: 10.1590/s1678-86212014000300008.

PATTON, J. **Materiais de construção**: materiais de construção para engenharia civil. São Paulo: Pedagógica e Universitária, 1978. 365 p.

PEDRESCHI, Ricardo. **Aproveitamento de bagaço de cana da indústria sucroalcooleira na produção de painéis de aglomerados**. 2009. 61 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

PEDROSA, A.L.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. de. Produção de vigas estruturais em perfil “i” com painéis de madeira reconstituída de *Pinus taeda* L.E *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 3, p.443-449, dez. 2005.

PETRUCCI, G. R. **Materiais de construção**. 10 ed. São Paulo: São Paulo, 1975. 435 p.

PIERRE, F. C. **Caracterização físico-mecânica de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com adição de resíduos i**. 2010. 122 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

PROCÓPIO, L. C.; SECCO, R. S. A importância da identificação botânica nos inventários florestais: o exemplo do “tauari” (*Couratari* spp. e *Cariniana* spp. – *Lecythidaceae*) em duas áreas manejadas no Estado do Pará. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 1, p. 31-44, 2008.

REVISTA DA MADEIRA. Curitiba: Lettech, 2010.

SANCHEZ, E. M. S. et al. Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades. **Polímeros**, São Carlos, v. 20, n. 3, p. 194-200, 2010. DOI: 10.1590/s0104-14282010005000034.

SANTOS, M. L. dos et al. Estudo das condições de estocagem do bagaço de cana-de-açúcar por análise térmica. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 34, n. 3, p. 507-511, 2011. DOI: 10.1590/s0100-40422011000300024.

SARTORI, D. de L. **Painel portante estrutural com chapa de partículas de bagaço de cana-de-açúcar e resina de mamona para centro de manejo bovino**. 2012. 128 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia e Engenharia de Alimentos) - Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2012.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS. **Série histórica da produção, consumo, exportação e importação de aglomerados (m³)**. São Paulo, 2014. Disponível em: <http://www.sbs.org.br/estatisticas_htm>. Acesso em: 01 abr. 2014.

STANGERLIN, D. M. et al. Durabilidade natural de painéis aglomerados confeccionados com *Eucalyptus grandis* e *Bambusa vulgaris* em ensaio de apodrecimento acelerado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 8, p.1369-1374, 2011. DOI: 10.1590/s0103-84782011000800012.

TITA, S. P. S.; PAIVA, J. M. F. de; FROLLINI, E. Resistência ao impacto e outras propriedades de compósitos lignocelulósicos: matrizes termofixas fenólicas reforçadas com fibras de bagaço de cana-de-açúcar. **Polímeros**, São Carlos, v. 12, n. 4, p. 228-239, 2002. DOI: 10.1590/s0104-14282002000400005.

VISNARDI, O. C.; VALARELLI, I. de D.; CARVALHO, M. R. de O.; TIBÚRCIO, U. F. de O. Produção e avaliação física de chapas de partículas de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*. In. ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURA DE MADEIRA, 12., Lavras. **Anais...** Lavras: [s. n.], 2010.

ZANGIÁCOMO, A. L. **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada**. 2003. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

ZAU, M. D. L. et al. Avaliação das propriedades química, física e mecânica de painéis aglomerados produzidos com resíduo de madeira da Amazônia - Cumaru (*Dipteryx Odorata*) e resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Polímeros**, São Carlos, v. 24, n. 6, p. 101-108, dez. 2014.

APENDICE

Figura 49 – Quantidade de corpos de prova utilizados no ensaio de Densidade e resultados

CPS	VOLUME (m3)	MASSA (Kg)	DENSIDADE (Kg/m3)
D01	0,000023	0,0190	834,9985211
D02	0,000019	0,0159	845,9163287
D03	0,000021	0,0184	885,3873254
D04	0,000021	0,0171	822,5357515
D05	0,000020	0,0158	802,8098646
D06	0,000021	0,0205	962,6319394
D07	0,000021	0,0182	860,8270999
D08	0,000022	0,0191	883,6193072
D09	0,000021	0,0215	1010,612351
D10	0,000020	0,0192	960,9076386
D11	0,000020	0,0196	966,2559216
D12	0,000019	0,0184	968,2645674
D13	0,000023	0,0227	983,3590364
D14	0,000023	0,0224	989,1701834
D15	0,000021	0,0201	945,0812159
D16	0,000021	0,0209	994,5438353
D17	0,000021	0,0215	1020,82845
D18	0,000021	0,0211	1016,319704
D19	0,000021	0,0218	1016,780796
D20	0,000020	0,0177	877,8904808
D21	0,000019	0,0146	787,0591593
D22	0,000019	0,0178	919,7635998
D23	0,000021	0,0219	1030,542115
D24	0,000023	0,0234	1034,806729
D25	0,000021	0,0186	901,4600122
D26	0,000022	0,0236	1049,934764
D27	0,000023	0,0234	1028,801064
D28	0,000021	0,0220	1036,766515

Fonte: Própria autora

Figura 50 – Quantidade de corpos de prova utilizados no ensaio de Umidade e resultados

CPS	massa úmida (g)	massa seca (g)	UMIDADE (%)
D01	19,00	17,5	8,571429
D02	15,86	14,66	8,185539
D03	18,55	16,86	10,023725
D04	17,05	15,75	8,253968
D05	15,75	14,55	8,247423
D06	20,48	18,91	8,302485
D07	18,21	16,77	8,586762
D08	19,08	17,5	9,028571
D09	21,54	14,8	45,540541
D10	19,15	17,69	8,253250
D11	19,58	18,05	8,476454
D12	18,39	17,01	8,112875
D13	22,71	20,87	8,816483
D14	22,44	20,64	8,720930
D15	20,1	18,54	8,414239
D16	20,91	19,29	8,398134
D17	21,51	19,87	8,253649
D18	21,07	19,42	8,496395
D19	21,82	20,11	8,503232
D20	17,69	16,38	7,997558
D21	14,64	13,57	7,885041
D22	17,83	16,48	8,191748
D23	21,85	20,11	8,652412
D24	23,37	21,82	7,103575
D25	18,55	17,17	8,037274
D26	23,6	21,69	8,805901
D27	23,4	21,56	8,534323
D28	22,02	20,27	8,633448

Fonte: Própria autora

Figura 51 - Quantidade de corpos de prova utilizados no ensaio de Absorção e resultados

CPS	INCHAMENTO (%)	ABSORÇÃO (%) 24H
D01	23,15	26,0588
D02	20,50	26,7797
D03	30,20	34,4928
D04	15,95	15,2525
D05	21,57	27,0659
D06	21,25	22,7059
D07	25,31	28,8485
D08	13,27	16,1033
D09	20,98	25,9236
D10	17,21	21,1558
D11	16,79	20,4813
D12	11,31	10,8000
D13	25,00	27,5000
D14	23,33	28,4810
D15	17,43	29,3023
D16	21,57	29,6364
D17	15,12	19,7143
D18	16,97	18,8649
D19	18,37	25,1445
D20	15,20	15,5556
D21	19,95	16,5641

Fonte: Própria autora

Figura 52 - Quantidade de corpos de prova utilizados no ensaio de Adesão Interna e resultados

CORPO DE PROVA	T,P(Mpa)
CP1	0,65
CP2	0,82
CP3	0,96
CP4	0,94
CP5	0,61
CP6	0,71
CP7	0,77
CP8	0,73
CP9	0,75
CP10	0,5

Fonte: Própria autora

Figura 53 - Quantidade de corpos de prova utilizados no ensaio de Flexão e resultados

CORPO DE PROVA	MOE (Mpa)	MOR (Mpa)
CP1	2338,17	18,56
CP2	2229,31	18,57
CP3	1646,61	18,58
CP4	2592,97	18,59
CP5	2528,24	18,6
CP6	2900,79	18,61
CP7	2373,95	18,62
CP8	1214,28	18,63
CP9	1963,4	18,64
CP10	176,42	18,65
CP11	3270,69	18,66
CP12	2717,06	18,67
CP13	3189,71	18,68
CP14	2383,42	18,69
CP15	1267,79	18,7

Fonte: Própria autora