**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE
ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E
CIÊNCIA DE MATERIAIS**

VICTOR HELLMEISTER

Painel OSB de resíduo de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*)

VICTOR HELLMEISTER

Painel OSB de resíduo de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*)

Versão Corrigida

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração:

Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais Voltados à Agroindústria.

Orientador:

Profº. Dr. Juliano Fiorelli

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

HH477p Hellmeister, Victor
Painel OSB de resíduo de madeira Balsa (Ochroma
Pyramidale) / Victor Hellmeister ; orientador
Juliano Fiorelli. -- Pirassununga, 2017.
144 f.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia e Ciência de Materiais) -- Faculdade de
Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade
de São Paulo.

1. Painel OSB. 2. Madeira Balsa. 3. Ochroma
Pyramidale. 4. Ensaio de Caracterização. I.
Fiorelli, Juliano, orient. II. Título.

ATA DE DEFESA

Aluno: 74133 - 8725069 - 1 / Página 1 de 1

Ata de defesa pública de Tese do(a) Senhor(a) Victor Heilmeister no Programa: Engenharia e Ciência de Materiais, do(a) Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo.

Aos 23 dias do mês de novembro de 2017, no(a) Sala 01 do ZAZ realizou-se a Defesa da Tese do(a) Senhor(a) Victor Heilmeister, apresentada para a obtenção do título de Doutor intitulado:

"Painel OSB de resíduo de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*)"

Após declarada aberta a sessão, o(a) Sr(a) Presidente passa a palavra ao candidato para exposição e a seguir aos examinadores para as devidas arguições que se desenvolvem nos termos regimentais. Em seguida, a Comissão Julgadora proclama o resultado:

Nome dos Participantes da Banca	Função	Sigla da CPG	Resultado
Juliano Fiorelli	Presidente	FZEA - USP	<u>APROVADO</u>
João Adriano Rossignolo	Titular	FZEA - USP	<u>APROVADO</u>
Maria Fátima do Nascimento	Titular	USP - Externo	<u>APROVADO</u>
Francisco Antonio Rocco Lahr	Titular	EESC - USP	<u>APROVADO</u>
Valdemir dos Santos	Titular	Externo	<u>APROVADO</u>

Resultado Final: APROVADO

Parecer da Comissão Julgadora *

Eu, Erica Cristina Mello Ferraz, lavrei a presente ata, que assino juntamente com os(as) Senhores(as), Pirassununga, aos 23 dias do mês de novembro de 2017.

João Adriano Rossignolo

Maria Fátima do Nascimento

Francisco Antonio Rocco Lahr

Juliano Fiorelli
Presidente da Comissão Julgadora

Valdemir dos Santos

* Obs: Se o candidato for reprovado por algum dos membros, o preenchimento do parecer é obrigatório.

A defesa foi homologada pela Comissão de Pós-Graduação em 29/11/2017 e, portanto, o(a) aluno(a) faz jus ao título de Doutor em Ciências obtido no Programa Engenharia e Ciência de Materiais - Área de concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais voltados à Agroindústria.

Presidente da Comissão de Pós-Graduação
Prof. Dr. Rosemary Aparecida de Carvalho
Presidente da Comissão de Pós-Graduação
FZEA/USP

DEDICO...

*À minha amada esposa Luciane
e filha Ana, razões da minha vida,*

*Aos meus pais, Luiz Antônio Vasques Hellmeister e Carmen Francisca Lourenço
Pinto Hellmeister, por seu amor, apoio incondicional, incentivo, exemplo de vida e valorosas
contribuições..*

*À saudosa memória do meu avô João Cesar Hellmeister, o Professor João “Madeira”
(1922-1999), fundador do LaMEM-EESC-USP em 1969. Suas sementes continuam
dando frutos..*

Sou eternamente grato a vocês!

AGRADEÇO.....

...ao meu orientador Professor Dr. Juliano Fiorelli, pelos ensinamentos, amizade,
paciência, longanimidade, resiliência, disponibilidade e confiança;
... ao Professor Dr. Holmer Savastano, pelo privilégio de fazer parte do grupo de
pesquisa do CONSTRAMBI;
...a todos os docentes do programa de Pós-Graduação da FZEA,
...aos técnicos de laboratório Mariana e Diego, pelo imenso apoio, paciência, e
disponibilidade em ajudar sempre;
... ao Zaqueu pela amizade, ajuda e preciosas contribuições operacionais nos
ensaios;
...a todos os técnicos e funcionários envolvidos no desenvolvimento da pesquisa,
em especial ao Rodrigo Lourenço do Laboratório de MEV, ao Paulo Tonetti das
Agrárias e ao Lissoni da PDUSP pela ajuda no desdobro das toras;
... ao pessoal da Seção de Pós-Graduação, Érica, Maria Cecília, Kefilin e Gilson,
pela ajuda com as papeladas e prazos... (ufa!!)
... ao Sr. Eduardo e seu filho Juliano da Órion Indústria Aeronáutica de Santa
Cruz da Conceição-SP, pela amizade, confiança, altruísmo, sugestões e doação dos
resíduos de madeira Balsa. Sem vocês, esse trabalho seria impossível de ser realizado;
... a SI Group de Rio Claro e à Plural Química de São Carlos pela doação das
resinas utilizadas neste trabalho;
...a toda equipe do LaMEM-EESC-USP pelo apoio no processamento da madeira
e apoio nos ensaios. Muito obrigado pelo carinho de todos, boas lembranças da “Velha
Guarda” e por manterem o ideal do LaMEM aceso;
...aos amigos e colegas do CONSTRAMBI: Guilherme Barbirato, Christian Gauss,
Guilherme Carmelo, Ronaldo, Gustavo Schmidt, Viviane, Glória, Stephen, Matheus,
Érika, Débora, Núbia, Julian, Gonzalo, Bruna Barra, e outros que não citei, mas fizeram
parte dessa longa caminhada:
... Obrigado pelo convívio e apoio, vocês tornaram esse fardo muito mais leve!;

“A felicidade só se multiplica quando é dividida...”

MUITO, MUITO OBRIGADO A TODOS!

...Deus permitiu que uma inundação de luz fosse derramada sobre o mundo, em descobertas científicas e artísticas; mas mesmo as maiores mentes, se não forem guiadas pela Palavra de Deus em suas pesquisas, desencaminhar-se-ão em suas tentativas de investigar as relações entre a Ciência e a Revelação. O saber humano tanto das coisas materiais como das espirituais é parcial e imperfeito; portanto, muitos são incapazes de harmonizar com as declarações das Escrituras suas opiniões sobre a Ciência. Muitos aceitam meras teorias e especulações como fatos científicos e julgam que a Palavra de Deus deve ser provada pelos ensinamentos da “falsamente chamada ciência.” 1 Timóteo 6:20.

O Criador e Suas obras estão além de sua compreensão; e, por não poderem explicar isto pelas leis naturais, a história bíblica é considerada indigna de confiança. Os que duvidam da fidedignidade dos relatos do Antigo e Novo Testamentos, muito amiúde vão um passo além, pondo em dúvida a existência de Deus e atribuindo à Natureza o poder infinito. Tendo perdido sua âncora, são deixados a chocar-se contra as rochas da incredulidade... (WHITE, 1888)

HELLMEISTER, Victor. Painel OSB de resíduo de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*). Tese de Doutorado - Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2017. 144f.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo produzir e ensaiar painéis OSB (*Oriented Strand Board*) com resíduo de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*) proveniente de reflorestamento, aglomerados com resinas uréia-formaldeído (UF), fenol-formaldeído (FF) e poliuretana à base de óleo mamona (PU-Mamona), e os caracterizar por meio de ensaios termo-físico-mecânicos e microestruturais. A escolha da madeira Balsa residual ocorreu devido a fatores como baixa densidade, alta resistência específica, elevada taxa de crescimento e disponibilidade de matéria-prima. Inicialmente as partículas de madeira Balsa foram caracterizadas por ensaios físicos, químicos (densidade por picnometria de gás hélio, pH e composição química) e microestruturais (microscopia eletrônica de varredura - MEV, espectroscopia de infra-vermelho - FTIR, Difração de Raios-X - DRX e termogravimetria - TG). As resinas foram caracterizadas por ensaios microestruturais (DRX, FTIR e TG-DSC). A partir dessas informações foram produzidos painéis de madeira Balsa em escala laboratorial de baixa e média densidade com partículas do tipo *strand* de resíduo de madeira Balsa aglomerado com as referidas resinas, os quais foram caracterizados por ensaios físicos (inchamento em espessura, absorção de água e densidade aparente), mecânicos (flexão estática e adesão interna), microestruturais (MEV, FTIR, DRX e TG-DSC) e ensaios de condutividade térmica. Os resultados obtidos foram comparados com as indicações da norma europeia EN 300:2006 e indicaram que apenas os painéis OSB de madeira Balsa residual aglomerada com resina poliuretana à base de óleo de mamona atendem os requisitos estabelecidos para painéis OSB de Classe 1 de uso interno e não-estrutural.

Palavras-chave: Painel de partícula, resinas poliméricas, biomassa florestal residual.

ABSTRACT

The objective of this work was to produce and test OSB (Oriented Strand Board) with residual wood balsa (*Ochroma Pyramidale*) from reforestation, agglomerated with urea-formaldehyde (UF) resins, phenol-formaldehyde (FF) and oil-based polyurethane castor bean (PU-Mamona), and characterize them by means of thermo-physical-mechanical and microstructural tests. The choice of residual Balsa wood occurred due to factors such as low density, high specific strength, high growth rate and availability of raw material. Initially the particles of Balsa wood were characterized by physical, chemical tests (density by helium gas picnometry, pH and chemical composition) and microstructural (Scanning Electron Microscopy - SEM, infrared spectroscopy - FTIR, X- Ray Diffraction DRX and Thermogravimetry - TG). The resins were characterized by microstructural tests (XRD, FTIR and TG-DSC). Based on this prior information, OSB wood panels were produced in laboratory scale of low and medium density with strand type particles of wood residue Balsa agglomerated with referred resins, which were characterized by physical tests (swelling in thickness, absorption of water and (static flexural and internal adhesion), microstructural (SEM, FTIR, XRD and TG-DSC) and thermal conductivity tests. The results obtained were compared to the European standard EN 300: 2006 and indicated that only OSB panels of wood Residual Balsa agglomerated with polyurethane resin based on castor oil comply with the requirements established for Class 1 OSB panels for internal and non-structural use.

Keywords: Particleboard, polymeric resins, residual forest biomass.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Linha de produção de painéis OSB.	18
Figura 2: Perfil da lamina de um rotor de turbina eólica experimental. Fonte: (WHITE, 2009) ...	20
Figura 3: Vista em corte da pá do rotor de uma turbina eólica comercial.	20
Figura 4: A) Árvore de <i>Ochroma Pyramidale</i> . B) Tora de Pau de Balsa.....	23
Figura 5: Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) da estrutura da <i>Ochroma Pyramidale</i>	25
Figura 6: Micrografia de madeira Balsa (SALT, 2007)	26
Figura 7: Resistência versos Densidade de diferentes materiais.....	27
Figura 8: A. Flores fechadas. B e C. Flor aberta. D. paina com sementes.....	29
Figura 9: A) Estrutura de Madeira Balsa do DH-98 "Mosquito". B) Modelo de avião em escala reduzida rádio-controlado com estrutura em Balsa.	31
Figura 10: A) Vista em corte do bombardeiro inglês DH-98 Mosquito (ORE, 2007). B) De Havilland DH-98 "Mosquito" (IMAGESHACK, 2013).	31
Figura 11: Aproveitamento da tora. (FERREIRA et al., 1989).....	33
Figura 12: Tipos de painéis de madeira reconstituída.....	36
Figura 13: Compensado de Balsa "BANOVA", laminado entre duas finas chapas de alumínio (3A COMPÓSITOS, 2014).....	38
Figura 14: <i>Waferboard</i> vs. <i>OSB</i> : Direcionamento das lascas. (VIRTUHAB, 2017).....	40
Figura 15: Pátio dos trailers leiloados devido às emissões de formaldeído.(ALTER, 2008).....	49
Figura 16: Moinho de Disco para lascas de OSB.	54
Figura 17: Resíduo madeira Balsa utilizado para produção dos strands constituintes dos painéis OSB.....	56
Figura 18: A. Corte dos blocos. B. Moinho. C. <i>Strands</i> . D. Lascas com dimensões de 25x90x1mm.	58
Figura 19: Madeiras de diferentes tonalidades não se diferenciam pela parte anatômica da árvore.	59
Figura 20: Espectrômetro Infravermelho da marca Perkin Elmer, modelo Spectre One.....	63
Figura 21: Difractômetro utilizado no ensaio de DRX.....	63
Figura 22: Equipamento de Termogravimetria da marca Shimadzu TGA-50.	65
Figura 23: A. Orientador de partículas. B. Bandeja de aço, fôrma de compensado plastificado e tecido de teflon aplicado ao fundo.....	68
Figura 24: Procedimento de produção de painéis OSB. A. Partículas misturadas com resina. B. Montagem do colchão de partículas. C. Colchão posicionado em prensa termo-hidráulica. D. Painel OSB de madeira Balsa residual.....	69
Figura 25: Colchão de partículas formador do painel de média densidade.....	77
Figura 26: : Imagens da anatomia de partículas de madeira Balsa residual da seção transversal à grã em diferentes aumentos (A:x100, B:x500 C:x1000 D:x3000).....	79

Figura 27: Imagens da anatomia de partículas de madeira Balsa residual da seção paralela à grã em diferentes aumentos. Nota-se poros de aproximadamente 30µm na imagem D.	80
Figura 28: Corte transversal de partícula de madeira Balsa (a) Diâmetro dos poros (imagem ampliada 500x). (b) Espessura das paredes fibrilares (imagem ampliada 500x).	81
Figura 29: Espectro de FTIR para madeira Balsa em diferentes tonalidades (Clara, Mista e Escura). Onde: ν = simétrico, $\alpha\nu$ = assimétrico e δ = angular.	82
Figura 30: Picos de DRX para partículas de Balsa Clara, Mista e Escura.	83
Figura 31: Padrões de difração para celulose na madeira Balsa calculada nas bandas de pico de 0,1, 5,0, 6,0, 6,5 e 9,0 utilizando a função March-Dollase (MD) 1,3 e relação às curvas da celulose cristalina (362nm) e amorfa.	85
Figura 32: Difractograma de DRX para Balsa Clara.	86
Figura 33: Difractograma de DRX para Balsa Mista.	87
Figura 34: Padrão de difração para Balsa Escura.	87
Figura 35: Curvas de TG e DSC para Balsa Escura.	88
Figura 36: Curvas de TG e DSC para Balsa Mista.	89
Figura 37: Curvas de TG e DSC para Balsa Clara.	90
Figura 38: Reação genérica de formação dos polímeros por condensação.	91
Figura 39: Reação de formação dos polímeros de condensação para resinas fenólicas.	91
Figura 40: Espectro de FTIR para resina FF (Feno-Formaldeído).	92
Figura 41: Reação de formação dos polímeros de condensação para resinas UF.	93
Figura 42: Espectro de FTIR para resina UF (Uréia-Formaldeído).	93
Figura 43: Reação de polimerização da resina PU-Mamona (CHANG, 2002).	94
Figura 44: Espectro de FTIR para resina PU-Mamona.	95
Figura 45: Espectro de FTIR para o painel OSB de madeira Balsa e resina FF.	100
Figura 46: Espectro de FTIR para painel OSB de madeira Balsa e resina UF.	101
Figura 47: Espectro de FTIR para painel OSB de madeira Balsa e resina PU-Mamona.	102
Figura 48: Difractograma de difração para painel OSB de Balsa e resina FF.	103
Figura 49: Difractograma de DRX para painel OSB de Balsa e resina UF.	104
Figura 50: Difractograma de DRX para painel OSB de Balsa e resina PU-Mamona.	104
Figura 51: Curvas de TG e DSC para Resina Ureia.	105
Figura 52: Curvas de TG e DSC para Painel OSB de Balsa + Resina Uréia-Formaldeído (UF). ..	106
Figura 53: Curvas de TG e DSC para Resina Fenólica (FF).	107
Figura 54: Curvas de TG e DSC para Painel OSB de Balsa + Resina Fenol-Formaldeído (FF). ...	107
Figura 55: Curvas de TG e DSC para Resina Poliuretana a base de óleo de mamona (PU-Mamona).	108
Figura 56: Curvas de TG e DSC para Painel OSB de Balsa + Resina Poliuretana a base de óleo de mamona (PU-Mamona).	108

Figura 57: A) Grumo de resina com baixa aderência na interface resina-partícula. B) Nódulo de farinha não solubilizada.	109
Figura 58: A) Porção de resina UF polimerizada. B) Interface com baixa interação resina/partícula.	110
Figura 59: A) Interface resina/partícula com bom desempenho. B) Rachaduras na resina UF..	111
Figura 60: Interface resina/partícula com bom desempenho na resina PU-Mamona	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resistência mecânica da madeira Balsa para diferentes densidades.....	28
Tabela 2: Classificação de compósitos a base de madeira. Fonte: (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010). Adaptado e traduzido pelo autor.....	37
Tabela 3: Comparativo de densidades de painéis de madeira reconstituída.....	38
Tabela 4: Parâmetros normativos gerais para painéis OSB/1.....	42
Tabela 5: Parâmetros normativos gerais para painéis OSB/2.....	43
Tabela 6: Parâmetros normativos gerais para painéis OSB/3.....	43
Tabela 7: Parâmetros normativos gerais para painéis OSB/4.....	44
Tabela 8: Razões de compactação de acordo com a espécie e densidade do painel.....	51
Tabela 9: Informações sobre as Resinas.....	57
Tabela 10: Planejamento experimental para a produção dos painéis OSB de madeira Balsa residual.....	70
Tabela 11: Nomenclatura para os tratamentos avaliados.....	75
Tabela 12: Densidade aparente e real média da madeira Balsa residual.....	76
Tabela 13: Propriedades químicas de partículas de madeira Balsa.....	77
Tabela 14: Valores médios e desvio padrão de propriedades físicas de painéis OSB de madeira Balsa residual.....	96
Tabela 15: Valores médios e desvio padrão de propriedades mecânicas de painéis OSB de madeira Balsa residual.....	97
Tabela 16: Valores médios e desvio padrão de condutividade térmica de painéis OSB de madeira Balsa residual.....	98
Tabela 17: Valores de referência para Condutividade Térmica (PROTOLAB, 2010).....	99

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

APG - **Angiosperm Phylogeny Group** ou "Grupo de Filogenia das Angiospérmicas"

CSA - *Canadian Standards Association*.

DAP - Diâmetro à Altura do Peito.

DIC - delineamento inteiramente casualizado (ferramenta estatística).

DRX - Difractometria de raios-X

DSC - Calorimetria de Varrimento Diferencial.

EMIC - Fabricante de máquinas universais de ensaios.

et al - "entre outros", tradução livre do latim usada para citar artigos escritos por mais de três autores.

EUA - Estados Unidos da América.

FF - Formol-formaldeído (Resina).

FTIR - *Fourier-transformed infrared spectroscopy* - Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier

MDP - *Medium Density Particleboard*.

MEV - Microscopia Eletrônica por Varredura.

MIG - *Metal Inert Gas* - Tipo de solda utilizada para metais.

MPa - Mega Pascal - unidade de medida utilizada para Tensão.

OSB - *Oriented Strand Board*.

pH - Potencial Hidrogeniônico", uma escala logarítmica que mede o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma determinada solução.

PU-Mamona - Resina Poliuretana a base de óleo de mamona.

TG - Termogravimetria

UF - Uréia-Formaldeído (Resina).

UV - Ultra-violeta

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Densidade Real	60
Equação 2: Equação de Scherer	64
Equação 3: Módulo de Ruptura (MOR)	71
Equação 4: Módulo de Elasticidade (MOE)	72
Equação 5: Adesão Interna (AI)	72
Equação 6: Inchamento em Espessura (IE)	73
Equação 7: Resistência Térmica	74
Equação 8: Resistência Térmica	74

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	18
1.1	Objetivos.....	21
1.2	Justificativa.....	21
1.3	Hipótese.....	22
2.	REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	23
2.1.	Madeira Balsa – Dendrologia e características.....	23
2.2.	Usos da Madeira Balsa	30
2.3.	Resíduos do processamento da madeira	31
2.4.	Materiais Compósitos	35
2.5.	Painéis de madeira reconstituída	36
2.5.1.	Painéis de lâminas de madeira.....	37
2.5.2.	Painéis de partículas de madeira	39
2.5.3.	Resinas para produção de painéis de partículas	45
2.5.4.	Normas para emissões de formaldeído	48
2.5.4	Parâmetros para Produção dos Painéis OSB.....	51
2.5.4.1	Razão de compactação	51
2.5.4.2	Dimensão da partícula.....	52
2.5.4.3	Teor de resina.....	54
2.5.4.4	Densidade dos painéis.....	55
3	MATERIAIS E MÉTODOS	56
3.1	Materiais.....	56
3.2	Processamento do resíduo de Balsa	58
3.2.1	Produção das lascas de madeira (<i>strands</i>).....	58
3.2.2	Peneiramento	58

3.2.3	Secagem em Estufa.....	59
3.3	Caracterização das partículas	59
3.3.1	Composição química	60
3.3.2	pH.....	60
3.3.3	Densidade Real.....	60
3.3.4	Ensaio Microestruturais.....	61
3.3.4.1	Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV).....	61
3.3.4.2	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier - FTIR	62
3.3.4.3	Difração de Raios-X - DRX.....	63
3.3.4.4	Termogravimetria - TG.....	65
3.4	Caracterização das resinas	66
3.5	Produção de painéis OSB de madeira Balsa residual	67
3.6	Caracterização dos painéis OSB	71
3.6.1	Flexão estática	71
3.6.2	Tração perpendicular.....	72
3.6.3	Ensaio de inchamento em espessura 24h.....	73
3.6.4	Condutividade térmica.....	73
3.6.5	Ensaio microestruturais.....	74
3.6.6	Delineamento estatístico	74
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
4.1	Caracterização das partículas.....	76
4.1.1	Propriedades físicas.....	76
4.1.2	Composição Química.....	77
4.1.3	Características microestruturais das partículas	78
4.1.3.1	MEV da partícula	78

4.1.3.2	FTIR das partículas de madeira Balsa	82
4.1.3.3	DRX da partícula	83
4.1.3.4	TG-DSC da partícula.....	88
4.2	Caracterização das resinas	90
4.2.3	FTIR das Resinas	91
4.3	Caracterização dos painéis OSB	95
4.3.1	Propriedades físico-mecânicas	95
4.3.2	Propriedades térmicas	98
4.3.3	Características microestruturais dos painéis OSB.....	100
4.3.3.1	FTIR dos painéis	100
4.3.3.2	DRX dos painéis	103
4.3.3.3	TG dos painéis	105
4.3.3.4	MEV dos painéis.....	109
5	CONCLUSÕES	112
5.1	Partículas:	112
5.2	Resinas	112
5.3	Painéis:	113
5.4	Perspectiva de Continuidade da Pesquisa	115
5.4.1	Partículas.....	115
5.4.2	Resinas.....	115
5.4.3	Painéis.....	116
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
	ANEXO A	140
	ANEXO B	142
	ANEXO C	143

1. INTRODUÇÃO

Os painéis OSB (*Oriented Strand Board*) surgiram como uma evolução dos painéis *waferboard* e se apresentam comercialmente com algumas características dos painéis de madeira compensada desde seu lançamento comercial nos Estados Unidos, em meados da década de 1970 (IWAKIRI, 2004). Tais semelhanças permitem o uso dos painéis OSB em substituição aos compensados, apesar de serem inferiores em quesitos como resistência específica e absorção e inchamento. Os compensados dependem de toras integrais, em geral retas e de diâmetros robustos para que se possa extrair lâminas finas, grandes e íntegras. Bonduelle et al. (2004) demonstrou que apenas 48% da tora em média é aproveitada nas operações de laminação. A extração das lâminas para a fabricação do compensado ainda gera resíduos como o rolo-resto (cerne da tora, impossível de se delaminar) e limita o uso de toras finas, tortas e galhos. Há ainda o problema dos nós, que geram pontos sensíveis nas placas, devido à quebra da anisotropia. (BORTOLETTO JÚNIOR e GARCIA, 2004).

Em relação aos compensados, os painéis OSB utilizam quase a totalidade das toras, pois agregam na produção as toras finas, tortas, galhadas e em alguns casos a casca da árvore. As únicas partes desprezadas das árvores são as folhas e a raiz (SILVA, 2006).

Figura 1: Linha de produção de painéis OSB.

Fonte: MASISA (2014)

Os painéis OSB não são limitados pelas dimensões das toras. O que determina as dimensões dos painéis são as dimensões das prensas e equipamentos utilizados na produção, favorecendo a produção de painéis de grande dimensão, conforme ilustrado na Figura 1 (BORTOLETTO JÚNIOR e GARCIA, 2004).

Os painéis OSB apresentam comportamento estrutural superior ao waferboard devido ao alinhamento perpendicular entre as camadas de partículas, chegando a resistências próximas às dos compensados, porém são mais sensíveis à umidade. Em outros parâmetros como a adesão interna, esses painéis também acabam tendo desempenho inferior aos compensados de mesma espessura. A maior absorção é atribuída à maior área de contato das partículas (*strands*) com a água em relação às folhas de madeira do compensado (JANSSENS, 1998).

A madeira Balsa é uma espécie de madeira que apresenta baixa densidade, alta resistência específica e elevada taxa de crescimento. Atualmente é considerada a madeira comercial mais leve e de crescimento mais rápido em todo o mundo, já tendo sua utilização consagrada nos ramos náutico e aeronáutico (LORENZI, 1992), (LOUREIRO, SILVA e ALENCAR, 1979) e (FERNÁNDEZ, 2010).

A madeira Balsa é de baixa densidade, mas de grande resistência às tensões. É macia e fácil de trabalhar. Pelas suas características, é ideal para construção naval no revestimento de iates, e nas construções aérea e civil no isolante térmico e acústico. Ainda é utilizada na construção de maquetes, caixas leves, artesanato, pranchas de windsurfe, aeromodelismo e pode substituir a cortiça, em seus diversos usos (LOUREIRO, 1979; LORENZI, 1992).

A fabricação de geradores eólicos é um dos grandes consumidores de madeira Balsa no Brasil e no mundo. A madeira Balsa é utilizada como material estruturante no núcleo das pás dos geradores.

Uma turbina eólica é composta principalmente de partes como pás do rotor, uma caixa de engrenagens e um gerador. As pás do rotor são compostas principalmente de madeira Balsa e fibra de vidro, com reforços estruturais em fibra de carbono e fibra aramida (WHITE, 2009).

Figura 2: Perfil da lamina de um rotor de turbina eólica experimental. Fonte: (WHITE, 2009)

As lâminas são moldadas com mantas de tecidos de fibra de vidro e fibra de carbono pré-impregnadas (pré-pregs) com resinas epóxi, em volta de um núcleo de madeira Balsa, como ilustram as Figuras 2 e 3.

Figura 3: Vista em corte da pá do rotor de uma turbina eólica comercial.
Adaptado de GRUNEWALD (2015).

Com diversas aplicações de alto valor agregado, a madeira Balsa, assim como outras espécies de madeira sempre geram durante as etapas de processamento, uma quantidade significativa de resíduos (galhos, rolo resto, sobras de guilhotina, resíduos de esquadrejamento, lâminas de desbaste, casca, e sobras de destopo de toras entre outros). Dados apresentados na literatura (FERREIRA, CARRASCO, HELMEISTER, 1989) indicam que cerca de 50 a 60% de resíduo são gerados nas etapas de processamento da madeira.

O desafio dessa pesquisa consistiu em viabilizar o uso de resíduos do processamento da madeira Balsa para a produção de painéis de partículas OSB aglomeradas com resinas fenol-formaldeído, uréia-formaldeído e poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona.

Os resultados obtidos foram comparados com as indicações da norma européia EN 300: 2006 - *Oriented Strand Boards (OSB) - Definitions, classification and specifications*, com objetivo de verificar a viabilidade técnica de uso de resíduo da madeira Balsa para produção de painéis OSB, bem como enquadrá-los em uma das quatro classes de uso estabelecidas para painéis OSB.

1.1 Objetivos

➤ Objetivo Geral:

Avaliar a viabilidade de produzir painéis OSB de baixa e média densidade com resíduo de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*) aglomerado com resinas fenol-formaldeído, uréia-formaldeído e poliuretana bicomponente à base de óleo mamona.

➤ Objetivos Específicos:

- Estudar características físicas, químicas e microestruturais de partículas de madeira Balsa residual;
- Avaliar o desempenho termo-físico-mecânico de painéis OSB de baixa e média densidade produzidos com resíduo de madeira Balsa e resinas fenol-formaldeído, uréia-formaldeído e poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona;
- Avaliação microestrutural dos painéis OSB de madeira Balsa residual.
- Avaliação da interface resina-partícula, bem como defeitos do processo de produção invisíveis a olho nu.

1.2 Justificativa

Os resíduos sólidos provenientes da agroindústria quando associados à disposição inadequada, além de ocorrer perda de nutrientes e de biomassa, aumenta o potencial poluidor desses materiais. Portanto, utilizações mais adequadas que

agregam maior valor a estes resíduos, podem minimizar problemas ambientais, além de gerar empregos e renda (VARANDA, 2016).

Este trabalho se justifica ao agregar valor para os resíduos do processamento da madeira Balsa, por meio da proposição de um novo compósito, com características diferenciadas dos painéis OSB disponíveis no mercado.

Por conta das emissões de poluentes e da implantação de normas ambientais mais rígidas, as resinas UF e FF têm sido gradualmente abandonadas, gerando uma demanda por novas alternativas a essas resinas no mercado, justificando o uso da resina PU-Mamona neste trabalho.

1.3 Hipótese

Portanto, formulou-se a seguinte hipótese:

“É possível produzir painéis OSB de baixa e média densidade com resíduo do processamento de madeira Balsa e resinas fenol-formaldeído, uréia-formaldeído e poliuretana à base de óleo de mamona?”

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1. Madeira Balsa – Dendrologia e características

A espécie conhecida por Pau-de-Balsa ou simplesmente Balsa, *Ochroma pyramidale* (Carv. ex Lam) Urb., pertence à família Malvaceae, com ocorrência natural no Brasil (Amazônia ocidental), no Amazonas, Acre e Pará. No estado de Mato Grosso a área reflorestada com a espécie aumentou significativamente dos anos 2000 a 2010. A espécie alcança 18 a 25 m de altura e 50 cm de DAP (diâmetro à altura do peito), em aproximadamente sete anos. Seu fuste é reto, cilíndrico e livre de ramas até 15m de altura ou mais, sendo a copa aberta (Figura4A). Possui casca lisa e acinzentada, mosqueada de branco a pardo (FINGER, LOGSDON e ROCHA, 2012).

A Balsa é uma madeira de baixa densidade, extremamente leve (Figura4B) e tem sido utilizada na recomposição de áreas degradadas de florestas naturais graças ao seu acelerado ritmo de crescimento e boa tolerância à luz solar direta (LORENZI, 1992).

Por ser macia, homogênea e de boa trabalhabilidade, costuma ser utilizada em aeromodelismo, trabalhos manuais, brinquedos e embalagens. Apresenta alta flutuabilidade, o que a qualifica como um bom material para a construção de barcos, bóias e coletes salva-vidas em substituição à cortiça (LOUREIRO, SILVA e ALENCAR, 1979).

A

B

Figura 4: A) Árvore de *Ochroma Pyramidale*. B) Tora de Pau de Balsa
Fonte: (BAGLEY, 2014) e (BALSABAUN, 2014).

Outra utilização em que a Balsa se torna atrativa é na obtenção de celulose, pois suas fibras são longas e apresenta rendimento celulósico na ordem de 45 a 50%, com fácil branqueamento devido à cor Clara da madeira e baixos teores de lignina (LAMPRECHT, 1990).

Segundo (SEDER-MT, 2011) a área de ocorrência natural da madeira Balsa engloba áreas ao longo da América Central e América do Sul dentre as espécies pioneiras da Amazônia Oriental.

Sua velocidade de crescimento é alta, sendo superada apenas pela espécie chinesa de bambu (*Bambusa vulgaris Schrad*) (FERNÁNDEZ, 2010).

Finger et al. (2012) indicam que a densidade da madeira Balsa varia de 146 kg/m³ a 172 kg/m³. Para efeito de uma prévia comparação, o *Pinus Taeda* apresenta densidade média variando de 311 kg/m³ a 366 kg/cm³ (HIGA, 1973).

A densidade da madeira Balsa é influenciada pela oferta de água disponível às árvores e pelo clima do local. Árvores que crescem em locais mais frios e com menos água disponível, além de demorarem mais para atingir a maturidade, tendem a apresentar densidades acima da média para essa espécie, deixando nesse caso de apresentar o atrativo da leveza (SEDER-MT, 2011).

Outra classificação aponta que o Pau-Balsa (*Ochroma pyramidale*), pertence à família Bombacaceae, possui comportamento ecológico de espécie pioneira em Floresta Ombrófila Densa, Floresta Tropical Pluvial Amazônica e se desenvolve bem para plantios comerciais no Pantanal. Pode ocorrer nas margens de rios e nos igapós desde o México, Antilhas, América Central, Venezuela e Bolívia e no Brasil distribui-se pela Amazônia, principalmente Pará e Amazonas. (SEDER-MT, 2011)

O clima mais indicado é o tropical úmido, com estação seca e chuvosa bem definida. A precipitação mínima tolerada é em torno de 1500 mm, exceto próximo às margens dos cursos de água. A árvore de Balsa necessita, geralmente, de 1.500 a 3.000 mm de precipitação por ano e temperatura média variando de 22 a 27 °C (SEDER-MT, 2011).

O Brasil, de maneira geral, apresenta níveis pluviométricos e temperaturas compatíveis com o cultivo. Graças à rusticidade e boa adaptabilidade da planta, são

encontrados locais com ótimas condições de desenvolvimento para o plantio no estado do Mato Grosso e em outras regiões do Brasil (SEDER-MT, 2011).

O solo e clima do local de onde provem a árvore, a classificação botânica, sua fisiologia, a anatomia do tecido lenhoso e a variação química, são fatores preponderantes que influenciam nas características físicas da madeira (HELLMEISTER, 1982).

A constituição química da madeira influencia diretamente seu comportamento à compressão, tração, flexão, cisalhamento, fendilhamento, retração, inchamento, e no tratamento com preservativo (HELLMEISTER, 1982).

A Balsa, por se tratar de uma representante da *Bombacaceae* (SEDER-MT, 2011) ou *Malvaceae* (FINGER, LOGSDON e ROCHA, 2012), apresenta grande retenção de água no tronco, podendo apresentar deformações tipo sapopema (SEDER-MT, 2011). Por conta disso, quando seca, esses reservatórios de água ficam vazios, dando lugar ao ar. A Figura 5 (A e B) são imagens em corte longitudinal e transversal à grã, respectivamente, mostrando os grandes vasos que fazem parte do tecido do xilema responsável pelo transporte de água e sais minerais em volta da árvore. Em torno deles há fibras grandes com câmaras de ar formadas a partir de células de esclerênquima. Tais câmaras de ar proporcionam à madeira Balsa uma baixa densidade, em comparação com outras madeiras.

Figura 5: Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) da estrutura da *Ochroma Pyramidale*. A) Corte longitudinal. B) Corte transversal (POWER & SYRED, 2013).

A Figura 6 mostra três planos de projeção composto por imagens de MEV visando mostrar a estrutura da madeira Balsa.

Figura 6: Micrografia de madeira Balsa (SALT, 2007)

Callister (2006) faz um comparativo (Figura 7) mostrando a relação da resistência em função da densidade para vários materiais. É possível visualizar que a densidade da Balsa é similar à da cortiça, porém sua resistência específica se equipara à de resinas epóxi, poliéster, Teflon (PTFE) e até mesmo com o cimento.

Figura 7: Resistência versus Densidade de diferentes materiais
 Fonte: (CALLISTER JR., 2006). Ênfase do autor.

A Balsa tem como desvantagem uma grande variação de densidade, de 60 kg/m^3 nos exemplares mais leves atingindo até 350 kg/m^3 nos mais densos (SEDER-MT, 2011), se aproximando nesses casos da densidade do *Pinus Taeda*.

Daniels (2013) apresenta outros valores. O autor defende que a densidade da Balsa pode variar de 100 kg/m^3 até 380 kg/m^3 , sendo as mais comuns variarem de 120 kg/m^3 a 200 kg/m^3 . Na tabela 01, Pacheco (2013) apresenta informações de propriedades mecânicas da madeira Balsa, para diferentes densidades.

Tabela 1: Resistência mecânica da madeira Balsa para diferentes densidades

		Direção das Fibras	Massa Específica (kg/m ³)			
			100	150	200	250
Compressão	σ_u	paralela	5	12	13	20
	E	paralela	2300	4100	5300	8000
		perpendicular	75	95	175	260
Tração	σ_u	paralela	10	14	21	31
	E	perpendicular	0,65	0,80	0,95	1,30
		paralela	1930	3300	4310	6380
Cisalhamento	τ_u	paralela	1,00	2,00	2,50	3,25
	G	paralela	96	166	200	250

Fonte: (PACHECO, 2013). Adaptado pelo Autor.

Onde:

σ_u = Tensão Máxima em mPa,

E = Módulo de Elasticidade,

τ_u = Tensão de Cisalhamento,

G = Módulo de Cisalhamento.

A madeira Balsa possui casca lisa com algumas cicatrizes lineares de cor Clara, casca interna creme amarelada, às vezes rosada com brilho e textura acetinados. A madeira vai do branco ao creme levemente rosado nas partes centrais do tronco. Sua casca é mosqueada de branco a pardo.

Apresenta folhas simples, sub-intégras ou denteadas, angulosas ou lobadas, palmatinérveas; nervuras impressas nas páginas inferiores que é totalmente coberto por indumento de pelos estrelados, ferrugíneos; pecíolos longos com 30 a 40 cm, cilindros, igualmente pilosos.

Suas flores são brancas (Figura 08a, 08b e 08c), terminais e grandes, em pedúnculos largos e grossos. Os frutos são cápsulas angulosas, compridos e delgado, fornecendo painas. As sementes medem até 4 mm de comprimento e 1,5 mm de diâmetro, com uma extremidade pontiaguda e se abrem em cinco valvas quando as sementes amadurecem liberando um pequeno tufo de lã de cor marrom que facilita a sua disseminação, nele são encontradas numerosas sementes. Apresenta a primeira frutificação com a idade de 3 a 5 anos. (LOUREIRO, SILVA e ALENCAR, 1979).

A

B

C

D

Figura 8: A. Flores fechadas. B e C. Flor aberta. D. paina com sementes.
 Fonte: (ARBOCENTER, 2017)

Alves (1982) indica que a árvore de Balsa anualmente produz grande quantidade de sementes, que são disseminadas pelo vento, apresentando característica ortodoxa e dormência do tipo tegumentar.

É exigente quanto à qualidade do solo, só crescendo em solos profundos e bem drenados. A sua característica heliófita impede o desenvolvimento no interior da floresta, entretanto apresenta abundante regeneração natural em clareiras naturais ou antrópicas, constituindo, às vezes, povoamentos puros.

Segundo Lorenzi (1992) a madeira Balsa apresenta potencial para utilização em construções de peças aeronáuticas e pás de hélices utilizadas para obtenção de energia eólica. Além da madeira, as folhas e casca também possuem utilizações sendo as folhas utilizadas em cozimento para combate a prisão de ventre e estresse, além de possuir propriedades abortivas e a casca utilizada em infusão como tônico e cozida para lavar feridas e tratar doenças da pele (KLEIN, 1984).

De acordo com Revilla (2001), a partir do terceiro ano o fruto da árvore de *Ochroma Pyramidale* desenvolve um tipo de pluma que recobre as sementes, a qual pode ser utilizada no preenchimento de colchoes e travesseiros.

No estado de Mato Grosso houve incentivo ao cultivo dessa espécie, segundo dados da Cooperativa dos Produtores de pau-de-Balsa a espécie já possuía, em 2012 cerca de 7 mil hectares plantados (COPROMAB-MT, 2012).

Schütt & Lang (2014) afirmam que a Balsa é uma madeira nativa da América do Sul e Central de clima tropical que tem um crescimento muito acentuado nos primeiros anos, devendo ser cultivada em períodos de rotação 7 a 8 anos. Os autores enfatizam que é a madeira comercial mais leve e, portanto, ocupa lugar de destaque no mercado mundial. Afirmam também que a Balsa é composta em sua maioria de celulose e é difícil de ser substituída em atividades como a construção de aeronaves, isolamento termo-acústico e modelos como aviões e maquetes arquitetônicas. Apesar do uso excessivo, a espécie não está ameaçada de extinção devido à sua forte capacidade reprodutiva e crescimento acelerado.

2.2. Usos da Madeira Balsa

A madeira Balsa foi utilizada com êxito durante a Segunda Guerra Mundial para a construção do bombardeiro inglês DeHavilland-98 "Mosquito" (Figuras 9 e 10) e atualmente é utilizada em aeromodelismo, brinquedos, artesanato e embalagens (LOUREIRO, SILVA, ALENCAR, 1979).

A estrutura do DH-98 era composta de madeira Balsa laminada e colada, recoberta com finas folhas de cedro coladas e prensadas em moldes já no formato da fuselagem, posteriormente recobertas com tecido e resina (dope).

Segundo Trueman (2013), o "Mosquito" foi um bombardeiro de pequeno/médio porte utilizado pela força aérea inglesa, sendo o mais rápido que todos os aviões de caça de sua época, porém levava cargas de um bombardeiro (1800 kg), o que tornou o Mosquito um avião extremamente versátil. Sua construção em madeira permitia avarias de balas sem comprometer a estrutura e sua velocidade máxima (650 km/h) possibilitou fugas que outras aeronaves de carga dificilmente fariam. O teto operacional de 9.800 m dos Mosquitos também era um dos mais altos

para os padrões da época, o que o qualificava como um avião de reconhecimento fotográfico. A excelente relação entre peso/sustentação ainda permitiu o uso de parabrisa blindado e chapas de blindagem no cockpit, dando maiores chances de sobrevivência à tripulação em caso de contra-ataques. (TRUEMAN, 2013)

A

B

Figura 9: A) Estrutura de Madeira Balsa do DH-98 "Mosquito". B) Modelo de avião em escala reduzida rádio-controlado com estrutura em Balsa.
(TRUEMAN, 2013) e (ANDERSON, 2013).

A

B

Figura 10: A) Vista em corte do bombardeiro inglês DH-98 Mosquito (ORE, 2007). B) De Havilland DH-98 "Mosquito" (IMAGESHACK, 2013).

2.3. Resíduos do processamento da madeira

A maior parte das indústrias madeiras obtém em média 50% de aproveitamento efetivo e 50% de perda de matéria-prima no processo produtivo, sendo que algumas conseguem diminuir esse índice de perda em até 20%, o que só é possível com a utilização de seus resíduos. Do total de resíduos, em média, 85% é

aproveitado para gerar vapor e energia e 15% vendido para terceiros (OLIVEIRA, 2010).

Os roletes, sobras de guilhotina, resíduos de esquadrejamento, lâminas de desbaste, casca e sobras de destopo de toras, são resíduos produzidos nas fábricas de compensados (OLIVEIRA, 2010).

Além da madeira oriunda de desbastes de toras, os painéis podem ser fabricados com a utilização de alguns resíduos e sobras de madeira de processos industriais como peças processadas e acabadas que apresentam boa qualidade técnica e comercial, mas que não foram usadas nos produtos finais, tais como rolo-resto proveniente do processo de laminação, retalhos resultantes do processo de esquadrejamento de painéis de madeira rejeitos em geral, compostos por peças que ao sofrer o processamento, ficaram abaixo dos padrões técnicos ou comerciais, geralmente por apresentarem defeitos de qualidade (TEIXEIRA, 2005).

Bonduelle et al. (2004) demonstrou que apenas 48% da tora em média é aproveitada nas operações de laminação na fabricação de compensados. Antes da etapa de laminação, os autores afirmam que é necessário o arredondamento das toras para possibilitar a delaminação e posterior fabricação de compensados. Esse procedimento despreza 35% do volume das toras processadas, os quais são destinados principalmente à caldeira para a geração de energia térmica e co-geração dentro da própria indústria madeireira. As perdas relativas ao rolo resto, em torno de 13%, estão relacionadas principalmente com a qualidade das toras e tipo de equipamento para laminação. Portanto, aproximadamente 50% de toda a madeira utilizada na fabricação de compensados e no processamento de madeira maciça é descartada na forma de resíduos (BONDUELLE e IWAKIRI, 2006).

O processamento das toras em madeira serrada gera grande quantidade de resíduos sólidos, estimado em 50% do volume total processado (JARA, 1987).

O processo de produção da madeira serrada gera um volume significativo de resíduos e sobras oriundas da transformação das toras pelas serras de desdobro e que, somados aos galhos, troncos e raízes que ficam na floresta, indicam um volume significativamente superior ao produto madeireiro obtido.

O aproveitamento quantitativo da transformação de uma tora madeira serrada, considerando-se uma tora com casca, se dá na ordem de 40% de madeira processada, e os restantes 60% estão assim alocados: 10% aparas de plaina, 26% aparas do corte e 13% pó de serra, conforme apresenta a figura 11 (FERREIRA, CARRASCO, HELMEISTER, 1989).

Figura 11: Aproveitamento da tora. (FERREIRA et al., 1989)

O resíduo de toras descascadas é matéria-prima para fabricação de produtos com maior valor agregado, como painéis de partículas ou fibras e para a obtenção de celulose, atingindo melhores valores de comercialização (ROCHA, 2002).

A cadeia produtiva do setor brasileiro de florestas plantadas caracteriza-se pela grande diversidade de produtos, compreendendo um conjunto de atividades que incluem a produção, a colheita e a transformação da madeira até a obtenção dos produtos finais. Atualmente o consumo de madeira de florestas plantadas é distribuído em setores como: celulose, painéis de madeira industrializada, serrados, compensados, carvão vegetal, lenha e outros, sendo que os três últimos são responsáveis pelo maior consumo de madeira na forma de toras com 38,7% do total (ABRAF, 2013).

Segundo dados da FAO (2013), o setor de painéis de madeira industrializada vem crescendo com incremento de 8,9% ao ano. O aumento da produção de 3,5 milhões de metros cúbicos em 2003 para 7,8 milhões em 2013 corrobora com essa informação, da mesma forma que o aumento do consumo de 3,2 milhões de metros cúbicos para 7,5 milhões colocou o Brasil como o sétimo produtor mundial de painéis em 2012 (FAO, 2013).

A legislação ambiental é cada vez mais severa, exigindo investimentos altos para o controle eficiente dos resíduos e efluentes gerados. As áreas de descarte de resíduos sólidos estão se tornando escassas, distantes e com custos de implantação e gerenciamento cada vez maiores, forçando a indústria de processamento de madeiras a encontrar soluções para os resíduos sólidos ou um melhor aproveitamento das toras (RECH, 2002).

O emprego mais comum dos resíduos do desdobro, no Brasil, tem sido na queima direta para a geração de energia e, a partir de um período mais recente no processo de fabricação de painéis aglomerados e MDF (chapas de fibras de média densidade). Entretanto, não se utiliza integralmente esses resíduos devido aos grandes volumes gerados, sua localização descentralizada, ou ainda às grandes distâncias dos centros consumidores, demandando altos custos de transporte. Por falta de uma destinação imediata, grandes quantidades desses resíduos foram simplesmente empilhados, permanecendo nessas pilhas por muitos anos, e encontram-se hoje em diversos estágios de decomposição. Muitas vezes os resíduos são simplesmente queimados a céu aberto, ou sofrem combustão espontânea com emissão de particulados finos para a atmosfera, provocando problemas respiratórios e reações adversas na população (RECH, 2002).

Após a secagem, é feito o beneficiamento da madeira que também produz um significativo volume de resíduos. Segundo Bittencourt et al. (2002), o beneficiamento de madeira maciça seca produz de 15 a 30% de resíduos, que atualmente são queimados ou simplesmente lançados na natureza causando graves problemas ao meio ambiente, mas que poderiam também ser aproveitados para a fabricação de painéis de madeira reconstituída. A utilização de resíduos e sobras deverá ser feita a partir de programas e mecanismos que permitam a agregação do valor aos mesmos.

Esta agregação de valor é capaz de aumentar a competitividade das empresas processadoras de madeira, elevando os índices competitividade do setor como um todo, além de contribuir para a manutenção e criação de empregos diretos e indiretos.

O aproveitamento de resíduos pode, ainda, auxiliar as empresas do segmento florestal a se adequarem dentro de parâmetros mais sustentáveis, considerando o risco de impactos ambientais negativos que representa a indevida destinação final de resíduos, especialmente da serragem, no caso da madeira.

Os produtores de madeira Balsa do estado de Mato Grosso retiraram no primeiro corte da árvore entre 40 a 50 m³ por hectare. No segundo corte é possível retirar de 100 até 150 m³ de madeira por hectare (BUCI, 2011). A autora ainda afirma que a área reflorestada de madeira Balsa era de 3,7 mil hectares em 2011 no estado do Mato Grosso e que o plantio da espécie está em expansão no país, tendo como principais mercados de exportação a Europa e a Ásia.

Atualmente existe a produção de painéis compensados laminados de madeira Balsa, no entanto, há um resíduo de cerca de 50% oriundo do processamento desses painéis (BONDUELLE e IWAKIRI, 2006).

O reaproveitamento de resíduos oriundos do processamento de madeira maciça e da laminação de madeira para fabricação de compensados resultou no desenvolvimento de painéis particulados que, ao contrário dos painéis compensados, não dependem de troncos retos ou de grandes diâmetros para sua fabricação.

Portanto, esta pesquisa busca contribuir na agregação de valor ao resíduo da madeira Balsa de forma a aumentar a eficiência da cadeia produtiva de produtos à base de madeira reconstituída e consequentemente contribuir para a diminuição de impactos ambientais.

2.4. Materiais Compósitos

Callister (2009) e definem materiais compósitos como multifásicos, produzidos artificialmente, tendo uma desejável combinação das melhores propriedades das fases constituintes. Usualmente, uma fase (a matriz) é contínua e completamente circunda (envolve) a outra fase (a fase dispersa).

Os compósitos originam produtos que podem ser utilizados na construção civil e nas indústrias moveleira, automobilística, esportiva, aeronáutica, entre outras (PUPO, 2012).

Ainda segundo o autor, para tornar os materiais compósitos mais competitivos economicamente e com qualidade superior a outros materiais convencionais, tem-se buscado materiais alternativos de baixo custo. Os materiais de origem vegetal apresentam ainda a vantagem adicional de serem biodegradáveis e originadas de fontes renováveis.

Callister (2009) e Forest Products Laboratory (2010) classificam a madeira como material compósito natural, uma vez que a mesma é formada por fibras de celulose fortes e flexíveis, circundadas e mantidas juntas por um material mais rígido denominado lignina.

2.5. Painéis de madeira reconstituída

Iwakiri (2005) define painéis de madeira como produtos compostos de elementos de madeira como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos a partir da redução da madeira sólida, reconstituídos por meio de ligação adesiva. A figura 12 apresenta de forma simplificada um organograma representando os principais tipos de painéis de madeira.

Figura 12: Tipos de painéis de madeira reconstituída.

Fonte: (IWAKIRI, 2005). Adaptado pelo autor.

Uma classificação mais ampla de produtos industrializados a base de madeira é feita por Forest Products Laboratory, (2010), como mostra a Tabela 2:

Tabela 2: Classificação de compósitos a base de madeira. Fonte: (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010). Adaptado e traduzido pelo autor.

Classificação de compósitos à base de Madeira
Materiais a base de Folhas de Madeira (<i>Veneer-based materials</i>)
Compensado
Painel Estrutural de Lâminas Paralelas (PLP) ou <i>Laminated veneer lumber (LVL)</i> ou <i>Parallel-strand lumber (PSL)</i>
Laminados
Madeira Laminada Colada (MLC)
Materiais Recobertos (Como painéis sarrafeados, portas, etc)
Compósitos laminados Madeira- não madeira
Compósitos Multi-madeiras (<i>COM-PLY</i>)
Materiais Compósitos
Painel de Fibras – Baixa, média ou alta densidade (LDF, MDF ou HDF)
Chapa de Fibra (<i>Cellulosic fiberboard</i>)
Chapa Dura (<i>Hardboard</i>)
Aglomerado (<i>Particleboard</i>)
Painel de Lascas (<i>Waferboard</i> ou <i>Flakeboard</i>)
Painel de Lascas Orientadas (<i>Oriented strandboard (OSB)</i>)
Perfis estruturais de Lascas (<i>Laminated strand lumber (LSL)</i>)
Perfis Estruturais de Partículas Orientadas (<i>Oriented strand lumber (OSL)</i>)
Compósitos Madeira – Não Madeira
Compósitos Madeira-Polímero (<i>Wood-polymer composites (WPC)</i>) (<i>GreenCore-NCell</i> , etc.)
Compósitos à base de madeira aglomerados com materiais inorgânicos (Painéis cimentícios, gesso reforçado com fibras de madeira, etc.)

2.5.1. Painéis de lâminas de madeira

Os compensados, segundo Callister (2009) podem ser considerados como compósitos laminares. Um compósito laminar é composto de 2 ou mais folhas bidimensionais ou painéis que têm uma preferencial direção de alta resistência mecânica tal como encontrado na madeira e em plásticos reforçados por fibras contínuas e alinhadas. As camadas são empilhadas e posteriormente coladas juntas,

de tal maneira que a orientação na direção de alta resistência mecânica varie com cada sucessiva camada.

A empresa suíça "3A Compósitos" fabrica desde 2007 um tipo de compensado utilizando madeira Balsa e adesivos a prova d'água. Este produto foi denominado BANOVA e apresenta densidade de 213 kg/m³.

Em comparação com compensados de outras espécies (tabela 2), fica evidente tendência do painel compensado de Balsa (*Banova*) ser menos denso (210 kg/m³).

Tabela 3: Comparativo de densidades de painéis de madeira reconstituída.
Fonte: (3A COMPÓSITOS, 2014)

Painéis	Peso Pannel kg/m ²	Densidade kg/m ³
MDF	11,09	740
MDP	9,3	620
OSB Pinus	9,65	642
Compensado de Pinus	8,7	580
MDF Ultra-Light	7,93	512
Compensado de Balsa	3,2	213

Segundo informações do fabricante (3A Compósitos), a madeira Balsa utilizada na fabricação do compensado Banova (Figura 13) é proveniente do Equador e previamente selecionada. O painel laminado mostrado na figura recebe duas folhas de alumínio, refletindo até 97% do calor recebido.

Figura 13: Compensado de Balsa "BANOVA", laminado entre duas finas chapas de alumínio (3A COMPÓSITOS, 2014).

O fabricante do compensado de Balsa (3A COMPÓSITOS, 2014) indica possíveis usos do material onde o baixo peso é recomendado, como a fabricação de móveis em veículos de recreação, iates, barcos e aviões, bem como portas, móveis e painéis decorativos em geral.

2.5.2. Painéis de partículas de madeira

Os painéis de partículas de madeira foram criados na Alemanha no início da década de 40, como forma de viabilizar a utilização de subprodutos da madeira face à dificuldade de obtenção de madeiras de boa qualidade para a produção de painéis compensados, devido ao isolamento comercial imposto pela Segunda Guerra Mundial. Ao longo da guerra, a produção alemã de painéis foi paralisada devido à escassez de petróleo, matéria prima das resinas, em razão dos esforços de guerra. A produção de painéis de partículas foi retomada nos EUA após o término da Segunda Guerra Mundial, onde equipamentos e processos produtivos foram aperfeiçoados, tendo grande expansão industrial nos anos 60 (IWAKIRI, 2005).

Em meados da década de 70, iniciou-se o processo de desenvolvimento de painéis estruturais dos tipos "waferboard" e "oriented-strand-board" ou OSB (IWAKIRI, 2005), (KOLLMANN e COTE, 1968).

O OSB se difere do waferboard no direcionamento das partículas. No waferboard a distribuição é aleatória, enquanto que no OSB as partículas se dividem em camadas com direcionamentos perpendiculares, como mostra a figura 14. A partir da década de 1980, o uso de painéis OSB foi largamente difundido, resultando no aumento expressivo de novas unidades produtoras em todas as regiões do mundo. No Brasil, a primeira fábrica de painéis OSB iniciou a sua produção em 2002, tendo a capacidade instalada de 350.000 m³/ano no estado do Paraná (IWAKIRI, 2004).

Figura 14: *Waferboard* vs. *OSB*: Direcionamento das lascas. (VIRTUHAB, 2017)

O OSB é um painel de partículas de madeira orientada, finas e longas (*strands*), consolidadas pelo uso de resinas, calor e pressão (BORTOLETTO JÚNIOR e GARCIA, 2004). O painel OSB é tipicamente formado por três camadas de partículas, sendo que na camada interna o alinhamento é perpendicular à direção de formação do painel, enquanto que nas camadas externas o alinhamento é paralelo (TSOUMIS, 1991).

Janssens (1998) afirma que o painel OSB é um produto utilizado para aplicações estruturais, tais como paredes, suportes para forros e pisos, componentes de vigas estruturais, estrutura de móveis, embalagens, entre outras. A qualidade da madeira desejada para painéis OSB difere daquela requerida para produção de compensados. Os painéis OSB podem ser obtidos a partir de madeiras provenientes de desbastes e de troncos finos e tortuosos, bem como de espécies de menor valor comercial. (JANSSENS, 1998).

Os painéis OSB competem com os compensados, que requerem toras de alta qualidade para a sua manufatura e, por isso, são de custo relativamente superior (BORTOLETTO JÚNIOR e GARCIA, 2004). A possibilidade do painel OSB ser produzido a partir de toras de qualidade inferior, bem como apresentar menor custo de produção e possuir propriedades suficientes para diversos usos, são fatores que fazem que esse tipo de painel ocupe nichos de mercado antes exclusivos aos compensados, como material de construção, mobiliário, fechamentos, etc. (JANSSENS, 1998).

A grande vantagem na produção de OSB está no grau de aproveitamento das toras, sendo que as perdas são mínimas e ocorrem na forma de finos nas fases de geração e secagem das partículas (IWAKIRI, 2004).

Os painéis OSB são produtos utilizados para aplicações em construção civil, como paredes, suportes para forros e pisos, componentes de vigas estruturais, estrutura de móveis, embalagens, entre outras, tendo em vista boas características de resistência mecânica e estabilidade dimensional. Alguns fatores têm contribuído para o aumento da demanda de painéis OSB no mercado, tais como a redução da disponibilidade de toras de boa qualidade para laminação, pelo fato do OSB ser produzido a partir de toras formatos irregulares e de espécies de baixo valor comercial. Outro fator importante é que a largura e o comprimento desses painéis são determinados pela tecnologia de produção e não em função do comprimento das toras como no caso de compensados (CLOUTIER, 1998).

Os painéis OSB são produzidos a partir de partículas de madeira do tipo “strand”, com a incorporação de resina a prova d’água e parafina, divididas em camadas, com direções perpendiculares entre si durante o processo de formação e consolidadas por meio de prensagem a quente. A geometria das partículas “strand” com maior relação comprimento/largura, a sua orientação e formação em três camadas cruzadas (face-centro-face), conferem aos painéis OSB maior resistência à flexão estática e melhor estabilidade dimensional (MALONEY, 1993).

Estudos sobre propriedades, bem como a produção e a influência de variáveis de processamento de painéis OSB, a partir de espécies do gênero *Pinus* plantadas no país, foram realizados por autores tais como Iwakiri (1989); Brito (1995); Mendes (2001); Mendes et al. (2002); Bortoletto Júnior e Garcia (2004); Saldanha (2004); Iwakiri et al. (2009).

Silva, (2006) enumera diversas vantagens do OSB em relação aos painéis compensados, dentre elas:

- Melhor aproveitamento das toras de madeira (OSB utiliza 96% contra 56% do compensado), otimizando o custo e proporcionando um produto ecologicamente mais eficiente.

- Possibilidade da utilização de toras mais finas (6 anos para o OSB contra 14 anos para o compensado) e de espécies com menor valor comercial.
- Produtividade maior devido ao processo de fabricação totalmente automatizado, contínuo e em grande escala: a fábrica existente no Brasil utiliza 24 pessoas em 3 turnos para operar uma linha de produção de 350.000 m³/ano, enquanto uma fábrica de compensado necessita de mais de 200 pessoas para produzir em torno 80.000 m³/ano.

A norma europeia EN 300: 2006 – *Oriented Strand Boards (OSB) – Definitions, classification and specifications* classifica os painéis em 4 classes de uso e indica recomendações mínimas de propriedades físico-mecânicas para painéis OSB.

De acordo com a norma, os quatro tipos diferenciam-se da seguinte forma:

- OSB/1: Uso interno, não estrutural, para uso em condições sem umidade.
- OSB/2: Uso estrutural, para uso em condições sem umidade.
- OSB/3: Uso estrutural, com presença de umidade.
- OSB/4: Uso severo (*heavy-duty*) com presença de umidade.

As tabelas 3 a 5 apresentam as propriedades indicadas pela norma EN 300: 2006 para os tipos 1 a 4.

Tabela 4: Parâmetros normativos gerais para painéis OSB/1.

Fonte: (EN300, 2006). Adaptado pelo autor.

OSB/1 (EN300:2006)			
Variação de Espessura (mm)	6 a 10	>10 a <18	18 a 25
Tensão de Flexão (N/mm²)			
- eixo maior:	20	18	16
- eixo menor:	10	9	8
MOE na flexão (N/mm²)			
- eixo maior:	2500	2500	2500
- eixo menor:	1200	1200	1200
Adesão interna (N/mm²)	0,3	0,28	0,26
Inchamento em espessura (24h)	25%	25%	25%

Tabela 5: Parâmetros normativos gerais para painéis OSB/2.

Fonte: (EN300, 2006). Adaptado pelo autor.

OSB/2 (EN300:2006)					
Variação de Espessura (mm)	6 a 10	>10 a <18	18 a 25	>25 a 32	>32 a 40
Tensão de Flexão (N/mm²)					
- eixo maior:	22	20	18	16	14
- eixo menor:	11	10	9	8	7
MOE na flexão (N/mm²)					
- eixo maior:	3500	3500	3500	3500	3500
- eixo menor:	1400	1400	1400	1400	1400
Adesão interna (N/mm²)	0,34	0,32	0,3	0,29	0,26
Inchamento em espessura (24h)	20%	20%	20%	20%	20%

Tabela 6: Parâmetros normativos gerais para painéis OSB/3.

Fonte: (EN300, 2006). Adaptado pelo autor.

OSB/3 (EN300:2006)					
Variação de Espessura (mm)	6 a 10	>10 a <18	18 a 25	>25 a 32	>32 a 40
Tensão de Flexão (N/mm²)					
- eixo maior:	22	20	18	16	14
- eixo menor:	11	10	9	8	7
MOE na flexão (N/mm²)					
- eixo maior:	3500	3500	3500	3500	3500
- eixo menor:	1400	1400	1400	1400	1400
Adesão interna (N/mm²)	0,34	0,32	0,3	0,29	0,26
Inchamento em espessura (24h)	15%	15%	15%	15%	15%

Tabela 7: Parâmetros normativos gerais para painéis OSB/4.

Fonte: (EN300, 2006). Adaptado pelo autor.

OSB/4 (EN300:2006)					
Variação de Espessura (mm)	6 a 10	>10 a <18	18 a 25	>25 a 32	>32 a 40
Tensão de Flexão (N/mm²)					
- eixo maior:	30	28	26	24	22
- eixo menor:	16	15	14	13	12
MOE na flexão (N/mm²)					
- eixo maior:	4800	4800	4800	4800	4800
- eixo menor:	1900	1900	1900	1900	1900
Adesão interna (N/mm²)	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3
Inchamento em espessura (24h)	12%	12%	12%	12%	12%

2.5.3. Resinas para produção de painéis de partículas

O adesivo é uma parte importante da produção de painéis de partículas devido às implicações técnicas e econômicas, uma vez que a resina pode representar 50% do custo da produção (CARNEIRO et al., 2004). Dependendo da característica dos adesivos, a classificação pode ser realizada considerando a origem das matérias primas, temperatura de cura, resistência à umidade, composição química entre outras. Dentro destas classificações há os adesivos inorgânicos, que geralmente estão constituídos por silicatos e possuem elevadas propriedades mecânicas e os adesivos orgânicos que são divididos em sintéticos e naturais. Os primeiros são mais utilizados na indústria madeireira, pelas qualidades como resistência mecânica, à umidade e fungos.

Os adesivos sintéticos também podem ser classificados em termofixos que endurecem pela ação do calor ou catalisadores e sua cura não é reversível (uréia-formaldeído, fenol-formaldeído e poliuretanos) e em termoplásticos de cura reversível (polietileno, polistírol e borracha sintética). Já, os adesivos orgânicos são obtidos de proteínas animais (BARROS FILHO, 2009; CAMPOS et al., 2009; VICK, 1999).

A indústria de painéis de partículas utiliza com maior frequência a resina uréia-formaldeído, para produção de painéis não estruturais e de uso interno e as resinas fenol-formaldeído e melanina são empregadas na produção de painéis para uso estrutural resistente a umidade. Para obter um balanço entre custo e melhoria das propriedades os fabricantes produziram resinas mistas tais como melanina-uréia-formaldeído ou fenol-melanina-uréia-formaldeído.

Aproximadamente 90% das indústrias de painéis do mundo utilizam uréia-formaldeído em porcentagem de 8 a 10% do peso seco das partículas (ELEOTERIO, 2000; IWAKIRI, 2005; MENDES et al., 2010; MELLO DA SILVA, 2003). A desvantagem na utilização desses adesivos esta na liberação de formal para o ambiente, o qual é um gás incolor, com forte odor, alta reatividade química e solúvel em água. Esse gás provoca irritação nos olhos, na pele e no trato respiratório (IWAKIRI, 2005; KHODER et al., 2000). Por conta das emissões de poluentes, a

resinas UF e FF têm sido gradualmente abandonadas, o que abrirá espaço para novas alternativas no mercado.

As resinas poliuretanas podem ser utilizadas na produção de painéis de partículas aglomeradas. Este adesivo apresenta características mecânicas superiores aos adesivos à base de formaldeído, com vantagens de apresentar melhor resistência à umidade, 100% de sólidos e não emitir formol (DIAS, 2005).

As resinas poliuretanas derivadas de vegetais são caracterizadas como “bi-monômeros” e podem ser obtidas de fontes naturais renováveis como soja, milho, girassol, mamona entre outros (PETRIVIC, 1999).

O desenvolvimento dos poliuretanos derivados de óleo de mamona teve origem na década de 1940, conforme aponta Mutlu (2010).

O Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo, desenvolveu o primeiro adesivo bicomponente derivado do óleo de mamona no Brasil. O óleo de mamona é extraído da semente da planta *Ricinus Communis*, encontrada em regiões tropicais e subtropicais, sendo muito abundante no Brasil. É um líquido viscoso (poliol), obtido pela compressão das sementes ou por extração com solvente. A síntese do poliol e do pré-polímero, alcançada a partir do óleo de mamona, dá origem ao poliuretano (PLURAL, 2015). A reação de polimerização destes componentes ocorre por meio de sua mistura, podendo variar a porcentagem dos mesmos, definindo durezas diferentes, podendo também ser empregados catalisadores de forma a aumentar a velocidade de polimerização (DIAS, 2008).

A mamona (*Ricinus Communis*) é uma planta da família das Euphorbiaceae, de fibras não lenhosas de rápido crescimento, nas zonas tropicais é cultivada durante o ano todo. A mamona é cultivada pelas sementes, as quais contêm 55% de óleo natural. A produção anual mundial é cerca de 460 mil t (1,1 milhão de t de sementes), e os principais produtores são Índia, Brasil e China (GRIGORIOU e NTALOS, 2001).

Na produção de painéis de partículas é importante observar o tipo e quantidade de resina utilizada, pois esses parâmetros apresentam relação com as ligações entre a superfície das partículas, propriedades mecânicas e estabilidade do painel (WEBER, 2011).

Bertolini *et al.* (2013) fabricou painéis de partículas de alta densidade (970, 890 e 800 kg/m³) com resíduos das podas das árvores urbanos como Jatobá, Canelinha e uma mistura entre eles, aglomerados com resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona em porcentagem de 16%. O valor de MOR para painéis com partículas de resíduo de Jatobá foi de 17,3 MPa, desempenho acima das recomendações estabelecidas pela norma ANSI A208-1:1999 que indica valores mínimos de 16 MPa. Para a adesão interna o valor obtido foi superior ao 0,4 MPa exigido pela norma NBR 14810:2006, sendo 1 MPa para a Jatobá e 0,8 MPa para Canelinha e mistura. O trabalho concluiu que os painéis produzidos com resíduos do Jatobá apresentaram características superiores em comparação com estudos que avaliaram outras espécies de madeira. Os autores recomendaram o uso de resíduo de jatobá como matéria prima para produção de painéis de alta densidade.

Poleto *et al.* (2010) estudou a incorporação de resíduos de poda de *Pinus elliottii* em painéis de madeira fabricados com *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis* e utilizou a resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona como aglomerante das partículas. Foram produzidas painéis de 100% madeira e painéis com inclusão de 30%, 50% e 70 % de resíduo de poda e 12% de teor de resina. As partículas utilizadas apresentavam 11% de umidade e as condições de prensagem foram 4,5 MPa e 90°C. O estudo concluiu que a inclusão destes resíduos nas painéis provocou uma redução nas propriedades mecânicas, sendo que as painéis fabricadas com *Pinus Elliotti* a 100% apresentaram os melhores resultados. Os autores recomendaram ajustes nos parâmetros de processo e tratamento nos resíduos de poda, antes de utilizá-lo na produção das painéis.

Silva (2012) desenvolveram painéis de partículas homogêneas com três tipos de madeiras diferentes e resina de mamona bi-componente, com densidade de 800 kg/m³ e partículas com teor de umidade de 5%. Como parâmetros de processo os autores utilizaram 15% de resina poliuretana à base de mamona, 10 min. de prensagem, temperatura de 100°C e pressão de 5MPa. Como conclusão, os autores afirmam que a quantidade de resina utilizada garantiu uma forte adesão das partículas obtendo os seguintes resultados de adesão interna (Canelinha 0,85 MPa,

Cambará 1,20 MPa e Cedrinho 1,00 MPa), todos acima do recomendado pela norma NBR 14810:2006 –Painéis de partículas de madeira (AI = 0,40 MPa).

Devido aos bons resultados, os autores recomendam ajustes no processo de fabricação dos painéis visando à redução da quantidade de resina empregada, permitindo assim, redução de custos.

Dias (2005) utilizou 10% de resina poliuretana à base de óleo de mamona para produzir painéis de partículas de madeira aglomeradas. Os resultados das propriedades mecânicas foram satisfatórios quando comparados com as recomendações da Norma NBR 14810:2002 - Painéis de partículas de madeira. O estudo obteve resultados de adesão interna de 1,09 MPa, sendo que a norma recomenda mínimo de 0,35 MPa.

Varanda et al. (2012) analisaram a viabilidade de produção de painéis de partículas com emprego de resíduos de casca de aveia, madeira de *Eucalyptus grandis* e resina poliuretana à base de óleo de mamona. Os painéis alcançaram propriedades acima dos requisitos normativos para este produto, estacando-se os produzidos com 100% de casca de aveia e 10% de resina PU de mamona, bem como aqueles produzidos com 85% de madeira e 15% de casca de aveia, em relação ao módulo de ruptura na flexão estática.

Santos *et al.* (2013) produziram painéis de partículas de resíduos de madeira Tauari (*Couratari blongifolia*), espécie da região amazônica usada na fabricação de móveis, utilizando teor de 16% de resina poliuretana à base de óleo de mamona. Os painéis foram produzidos com densidade nominal de 1000 kg/m³, diferenciando-se em relação às temperaturas de prensagem (90°C, 110°C e 130°C).

2.5.4. Normas para emissões de formaldeído

As resinas utilizadas neste trabalho (UF e FF) são semelhantes às resinas utilizadas na indústria de painéis.

O uso de adesivos remonta há alguns milhares de anos, porém o seu desenvolvimento ganhou impulso com o avanço da área da química, surgindo as

primeiras resinas sintéticas como a fenol-formaldeído (1929), a uréia-formaldeído (1931), a melamina-formaldeído (final dos anos 30) e a resorcina-formaldeído (1943). (IWAKIRI, 2005)

A utilização dessas resinas porém acarreta a emissão de formaldeído na atmosfera, gerando riscos ocupacionais aos operários envolvidos no processo de fabricação, bem como a usuários das instalações onde esses painéis são utilizados.

A Agência Federal de Gerenciamento de Emergências dos Estados Unidos (*Federal Emergency Management Agency - FEMA*) comprou mais de 165.000 unidades de casas pré-fabricadas e trailers a famílias de desabrigados nos furacões Katrina e Rita no ano de 2005. Posteriormente, devido a inúmeras reclamações dos usuários, comprovou-se que o nível de emissões de formaldeído estava acima do permitido. O formaldeído era proveniente dos adesivos utilizados nos painéis de madeira, bem como do gás de expansão na fabricação de espumas utilizadas nas unidades habitacionais. Aproximadamente 145.000 residências móveis foram leiloadas a preços abaixo do mercado causando prejuízo aproximado de 2,5 bilhões de dólares ao governo dos Estados Unidos. (ALTER, 2008)

Figura 15: Pátio dos trailers leiloados devido às emissões de formaldeído.(ALTER, 2008)

A exposição ao formaldeído pode causar irritação às mucosas dos olhos, nariz, cavidade nasal, faringe e laringe, podendo também causar cefaleias, sonolência, náusea e irritação cutânea por contato frequente e exposição prolongada. Altos níveis de exposição ao formaldeído estão ainda associados a maiores riscos carcinogênicos, mutagênicos e teratogênicos. (VERONEZ, FARIAS, *et al.*, 2010)

O Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional dos Estados Unidos (NIOSH), desde 1993 passou a considerar, através da norma 1910.1098, o formaldeído como fator de risco carcinogênico aos trabalhadores com convivência ocupacional do composto em suas atividades, recomendando que não seja apropriado determinar níveis mínimos de exposição. (OSHA, 2009). Legislações semelhantes tratam do assunto na Europa (Norma EN 13986:2015, classes de emissão de formaldeído de E5 a E0), bem como no Brasil (NBR 15.316-2:2009).

A implantação dessas normativas por parte das indústrias e a fiscalização por parte de governos têm aumentado a demanda por resinas alternativas e traz como tendência o abandono das resinas UF e FF.

2.5.4 Parâmetros para Produção dos Painéis OSB

2.5.4.1 Razão de compactação

A razão de compactação é a relação da densidade do painel pela densidade da madeira.

Vila Zegarra (2011) defende que os painéis OSB manufaturados com madeira de baixa densidade apresentam, normalmente, maior resistência à flexão e à ligação interna, em relação aos confeccionados com madeira de alta densidade. Os painéis produzidos com a madeira de menor densidade possuem uma razão de compactação maior. O autor sugere que a razão de compactação fique entre 1,3 e 1,6 para a adequada densificação e consolidação do painel à espessura final desejada.

Na Tabela 8, Iwakiri et al. (2009) mostra que a razão de compactação é menor para madeiras mais densas. O *Pinus Taeda*, tradicionalmente utilizado como matéria prima de painéis de partículas produzidos comercialmente apresenta uma razão de compactação média de 1,46.

Tabela 8: Razões de compactação de acordo com a espécie e densidade do painel.

Fonte: Adaptado de (IWAKIRI, 2004)

Espécie	Densidade do painel (kg/m ³)	Densidade da madeira (kg/m ³)	Razão de compactação
<i>Eucalyptus grandis</i>	690	610	1,13
<i>Eucalyptus dunnil</i>	680	780	0,87
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	690	810	0,85
<i>Eucalyptus saligna</i>	710	730	0,97
<i>Eucalyptus citriodora</i>	680	770	0,88
<i>Eucalyptus maculata</i>	700	760	0,92
<i>Pinus taeda</i>	670	460	1,46

Tais dados ainda poderão sofrer influências do teor de resina, que segundo Vila Zegarra (2011), devem variar entre os limites de 6 a 12%.

Castro et al. (2012) sugere uma razão de compactação da ordem de 1,3 e 1,4 para painéis de *Eucalyptus Grandis* (densidade 456 kg/m³), obtendo painéis com densidade entre 650 e 700 kg/m³.

Baseando-se nos dados sugeridos por Castro et al. (2012) e Vila Zegarra (2011) pode-se inferir que com uma razão de compactação máxima para madeiras de baixa densidade seria de 1,6.

Kollmann, Kuenzi & Stamm (1975) apud Surdi (2012) afirmaram que todas as propriedades dos painéis são afetadas pela razão de compactação, em maior ou menor grau. Uma razão de compactação muito baixa prejudica a colagem e a resistência do painel, afetando a absorção de água por permitir maiores espaços para a sua penetração (HILLIG, 2000)(HASELIEN, 1989). Já uma razão de compactação elevada caracteriza maior contato entre partículas e entre partículas e adesivo (KELLY, 1977).

No entanto, uma maior razão de compactação do painel, decorrente do uso de madeiras de baixa massa específica, aumenta o inchamento em espessura, prejudicando a estabilidade dimensional dos painéis (MOSLEMI, 1974) (TEODORO, 2008). Esta propriedade se destaca em painéis de maior massa específica ou compactação devido a maior quantidade de material lenhoso, resultando na maior liberação de tensões de compressão impostas durante o processo de prensagem (MOSLEMI, 1974).

2.5.4.2 Dimensão da partícula

A geração de partículas é uma das etapas mais importantes do processo de produção de painéis OSB, por estar diretamente relacionado ao controle de geometria das partículas. As partículas ("*strands*" ou lascas em tradução direta) devem ser produzidas com 25mm de largura, 90 a 150 mm de comprimento entre 0,50 a 0,75 mm de espessura (IWAKIRI, 2005).

A geometria das partículas, que se refere ao tamanho e tipo da partícula e direção da grã em relação ao eixo longitudinal (MALONEY, 1993), influenciam na produção e características dos painéis, como por exemplo o índice de esbeltez, a razão de planicidade e a área superficial específica (MALONEY, 1993).

O índice de esbeltez é um parâmetro importante e exerce influência sobre as características do painel, como por exemplo, a área de contato entre as partículas, as propriedades mecânicas e o consumo de resina.

Já, a razão de planicidade, está estreitamente ligada ao volume relativo de ar do colchão e a área superficial específica também se relaciona com o consumo de resina (SURDI, 2013).

Segundo Maloney (1993) a resistência à flexão, a adesão interna e o arrancamento de parafusos são influenciadas pelo tamanho das partículas que, também exerce influência na absorção de água, causando alteração na estabilidade dimensional e modificações superficiais dos painéis.

Partículas longas e finas resultam em maior índice de esbeltez e produzem painéis com maior resistência à flexão estática e maior estabilidade dimensional (VITAL, 1973). Iwakiri (2005) complementou que o índice de esbeltez, além de influenciar as propriedades mecânicas e dimensionais, exerce influência sobre a qualidade de acabamento e usinabilidade.

Tais medidas sempre levaram em conta a madeira de Pinus. Neste trabalho optou-se por segui-las.

Industrialmente, são utilizadas partículas de dimensões maiores na camada interna e partículas menores, ou finas, na camada externa. A utilização de finos na superfície confere melhor acabamento superficial ao painel, visando principalmente melhorar as condições de aplicação de materiais de revestimento com maior preenchimento de vazios (IWAKIRI, 2005). Por outro lado, um elevado percentual de finos aumenta o consumo de resina e prejudica a qualidade dos painéis, reduzindo a adesão interna entre as camadas interna e externa do painel. Já painéis fabricados com partículas curtas e espessas aumentam a resistência à tração perpendicular ou adesão interna (FERRO, 2013).

Considerando exclusivamente o tamanho das partículas, Moslemi (1974) e Maloney (1993) afirmaram que partículas menores, devido à maior área superficial requerem maior consumo de resina. Partículas maiores apresentam menor área superficial e, conseqüentemente, maior é a disponibilidade de resina.

Matos (1988) afirma que a geometria das partículas no processo se relaciona com a distribuição de calor, permitindo ou dificultando a transferência de calor através da espessura do painel submetido à prensagem.

A obtenção das partículas tipo "*strands*" é feita com o uso de picadores ou moinhos dos tipos "cilindro" ou "disco" (IWAKIRI, 2005), como mostrado na figura Figura 16.

Figura 16: Moinho de Disco para lascas de OSB.

2.5.4.3 Teor de resina

Um dos fatores mais significativos na composição dos painéis é a quantidade de adesivo, pois essa variável apresenta estreita relação com as propriedades mecânicas e de estabilidade dimensional. A literatura indica que o módulo de ruptura e a adesão interna das partículas apresenta estreita relação com a quantidade e distribuição da resina (KELLY, 1977).

Economicamente o adesivo pode representar de 30 a 60% do custo de produção da chapa, por norma o teor de resina em painéis de partículas pode variar de 6 a 12% do peso seco das partículas (BARROS FILHO, 2009).

De acordo com a configuração do painel, há variação na forma de aplicação do adesivo. Para os homogêneos, o adesivo é adicionado em apenas uma etapa, para os painéis multicamadas, o adesivo deve ser aplicado separadamente, segundo o tamanho das partículas, sendo maior quantidade nas camadas externas e menores quantidades nas camadas internas, dependendo da área superficial específica (BARROS FILHO, 2009).

A quantidade de resina empregada na produção de painéis de partículas depende da relação custo/benefício, propriedades mecânicas e tipo de uso (interno ou externo) (CHAMMA, 2004).

2.5.4.4 Densidade dos painéis

Maloney (1993) afirmou que a massa específica é a variável mais importante relativa à espécie, influenciando as propriedades finais dos painéis de partículas.

Segundo Moslemi (1974) além de exercer influência sobre as propriedades dos produtos, a massa específica interfere nos parâmetros do processo. As espécies com massa específica de até 550 kg/m³ são as mais adequadas à produção de painéis de partículas por atingirem uma razão de compactação entre 1,3 e 1,6, considerada a faixa ideal para o processo de densificação e consolidação do painel até a espessura final (MALONEY, 1993).

Partículas de espécies de madeiras mais densas, quando compactadas durante a prensagem, produzem uma baixa razão de compactação, prejudicando as propriedades do painel, necessitando assim, alterar outras variáveis do processamento, como aumentar a proporção de resina, o que aumenta o custo de produção (MENDES, IWAKIRI, *et al.*, 2002).

Segundo Moslemi (1974) painéis produzidos com espécies de baixa massa específica, apresentam aumento na maioria das propriedades mecânicas. A resistência ao arrancamento de parafuso, absorção de água e inchamento em espessura são pouco afetados.

A massa específica dos painéis de madeira também exerce considerável influência sobre as propriedades físicas e mecânicas. Segundo Moslemi (1974), Maloney (1993) e Mendes (2001), painéis com maior massa específica apresentam maior resistência mecânica, entretanto a sua estabilidade dimensional é prejudicada.

Esses autores atribuem este comportamento à maior quantidade de partículas de madeira e, conseqüentemente, a maior densificação do material durante o processo de prensagem.

Surdi (2012) relatou que painéis produzidos com espécies de massa específica mais baixa, apresentam maior resistência à flexão estática e a tração perpendicular. No entanto, a autora mencionou que o arrancamento de parafuso, a absorção de água e o inchamento em espessura são pouco afetados.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

A madeira utilizada na produção dos painéis OSB de Balsa residual foi fornecida pela empresa Orion Indústria Aeronáutica, fabricante de ultraleves e beneficiadora de madeira Balsa serrada, situada no município de Santa Cruz da Conceição, estado de São Paulo. O resíduo consiste em partes rejeitadas do processamento industrial da tora devido a defeitos relacionados ao formato, densidade fora das especificações comerciais ou rachaduras e são partes constituintes do fuste, rolo-resto, galhos grossos, blocos de menor dimensão e eventuais pedaços com casca. A Figura 17 ilustra esse material.

Figura 17: Resíduo madeira Balsa utilizado para produção dos strands constituintes dos painéis OSB.

As resinas fenol-formaldeído (FF) e resina ureia-formol (UF) utilizadas nesse estudo foram cedidas pela SI Group. A resina FF, com especificação CR-7015, é comercialmente utilizada na fabricação de painéis de madeira reconstituída. De acordo com o boletim técnico do fabricante (Anexos A), a resina FF é formulada para a fabricação de compensados de alta resistência à umidade, utilizados em formas de concreto para a construção civil e compensados marítimos.

Essa resina possui viscosidade de mel, com aspecto marrom-avermelhado e odor adocicado.

Para o preparo da resina FF, o fabricante recomenda que primeiramente se adicione 2/3 da água definida na formulação dentro do misturador, adicionando

vagarosamente a farinha de trigo, até obter uma massa brilhante e sem grumos. Após, misture a resina CR-7015 e adicione o restante da água. O processo de agitação deve ser contínuo até obter uma mistura homogênea. Este procedimento não deve exceder 15 min.

Essa resina não necessita de catalisador, pois sua cura depende exclusivamente do calor aplicado à colagem. A farinha de trigo tem a função de aumentar a viscosidade da resina, evitando assim que a madeira absorva resina em excesso. A Tabela 9 apresenta informações técnicas da resina fenol-formaldeído como teor de sólidos, gel time e brookfield.

A resina ureia-formol (UF), com especificação ARGOS-660HT, é comercialmente utilizada para fabricação de compensados, revestimento de painéis e colagens de madeira em geral. É uma resina de aspecto líquido branco leitoso, com baixo teor de formol livre. Possui viscosidade alta, semelhante à cola vinílica escolar, com odor similar ao amoníaco.

De acordo com o boletim técnico do fabricante (Anexo B), a resina deve ser aplicada incorporando-se extensor (farinha de trigo), água e catalisador (sulfato de amônia), em proporções (partes por peso) que podem variar de acordo com a qualidade de colagem desejada. Dessa forma, a resina é mantida fora dos poros da madeira melhorando a encolagem na superfície das partículas.

A resina poliuretana à base de óleo de mamona (PU-Mamona) utilizada nesse trabalho foi adquirida da empresa Plural Indústria Química, de São Carlos-SP. Trata-se de um adesivo bicomponente de designação “Sistema de Poliuretano LECOPOL F 0911/E 0921”.

Com base nas informações encontrados na literatura foram utilizados nesse estudo teores de 8% de resina FF e UF e 12% de PU-Mamona.

A Tabela 9 traz informações básicas sobre as resinas.

Tabela 9: Informações sobre as Resinas.

	FF	UF	PU-Mamona A	PU-Mamona B
Sólidos a 105 °C	50 a 54%	64-70%	100%	100%
Gel Time a 121 °C	8 a 11min	30-60s	20min	
Visc. Dinâmica (Brookfield) a 25 °C	400 a 800cPs	400-1000cPs	167cPs	

Informações mais detalhadas sobre as resinas encontram-se nos anexos:

- Fenol-Formaldeído (Anexo A);
- Uréia-Formaldeído (Anexo B);
- Poliuretana a base de Mamona (Anexo C).

3.2 Processamento do resíduo de Balsa

3.2.1 Produção das lascas de madeira (*strands*)

O resíduo de madeira Balsa foi inicialmente cortado em blocos de aproximadamente 9 x 3cm (dimensões máximas do bocal de abastecimento do moinho) garantindo que os *strands* produzidos possuíssem fibras na direção longitudinal.

O moinho utilizado é classificado como moinho de disco com acionamento por motor elétrico de 3,5 cv, onde um disco de aço de 500 mm com lâminas geram *strands* do material inserido no bocal de abastecimento. A Figura 18 mostra a ordem de produção.

A

B

C

D

Figura 18: A. Corte dos blocos. B. Moinho. C. *Strands*. D. Lascas com dimensões de 25x90x1mm.

3.2.2 Peneiramento

Após a produção dos strands, as mesmas foram submetidas a um processo de peneiramento para eliminar lascas quebradas, e partículas de menores dimensões,

inclusive pó de madeira. Esse procedimento foi realizado em peneira vibratória com granulometria crescente. Tal procedimento foi efetuado para que as subpartículas menores não interferissem no processo de colagem, visando uma melhor distribuição e menor consumo de resina.

3.2.3 Secagem em Estufa

Após o peneiramento, as partículas de madeira Balsa foram secas em estufa a 60°C, durante 48 horas, de forma a atingir o teor de 12% de umidade, conforme recomendações de Bonduelle e Iwakiri (2006).

3.3 Caracterização das partículas

Optou-se por separar as partículas em duas classes distintas, de acordo com a cor apresentada. As partículas foram classificadas em Clara e Escura, de modo a diferenciá-las por meio de ensaios físico-químicos.

Figura 19: Madeiras de diferentes tonalidades não se diferenciam pela parte anatômica da árvore.

As partículas utilizadas na produção dos painéis, no entanto, não foram classificadas, apresentando-se como uma mistura homogênea das partículas de diferentes cores, denominada Balsa Mista.

As partículas foram caracterizadas por meio de ensaios químicos (composição química e pH), ensaios físicos (densidade real) e ensaios microestruturais (Microscopia eletrônica de varredura – MEV, Espectroscopia de Infravermelho com

Transformada de Fourier (FTIR), Difração de Raios-X (DRX), Termogravimétrica - TG).

3.3.1 Composição química

Para determinar a composição química das partículas de madeira Balsa residual foi utilizada a metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002) que permitiu quantificar os teores de celulose, hemicelulose, lignina e extrativos.

3.3.2 pH

A determinação do pH foi realizada de acordo com a metodologia modificada de Vital (1973), utilizando-se pHmetro da marca DIGIMED modelo DM-23. Inicialmente as amostras de partículas de madeira foram trituradas, sendo posteriormente misturadas e agitadas em uma solução de água destilada a 25°C. Em seguida prosseguiu-se o teste com o pHmetro da marca Digimed, modelo DM-23.

3.3.3 Densidade Real

A densidade real das partículas de madeira Balsa foi determinada por picnometria de gás hélio, de acordo com a metodologia descrita por Moura et al. (2002). Foi utilizada uma balança de precisão de marca Shimadzu AY-220 e um multi-picnômetro de marca Quantachrome Instruments.

A Equação 1 utilizada para o cálculo da densidade real é mostrada abaixo:

$$Vp = (Vc - Vr * \left(\left(\frac{P1}{P2} \right) - 1 \right)) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

- Vp = Volume da amostra (cm³)
- Vc= Volume do porta amostra (cm³)
- Vr = Volume da referência (cm³)
- P1 = Pressão medida depois da pressurização do volume de referência (PSI)
- P2 = Pressão medida depois de incluída Vc (PSI).

3.3.4 Ensaios Microestruturais

A análise microestrutural foi realizada com os ensaios de MEV, Difração de Raios-X (DRX), espectroscopia de infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), e análise termogravimétrica (TG).

Estes ensaios permitiram dimensionar o tamanho de cristalito, determinar a quantidade de material cristalino x material amorfo, verificar se a cura das resinas foi completa, determinar a decomposição térmica das resinas e dos painéis prontos, bem como analisar a resistência mecânica do ponto de vista molecular, permitindo traçar um paralelo com os resultados dos ensaios mecânicos destrutivos.

O resíduo de madeira Balsa utilizado para construção dos painéis OSB neste trabalho é composto por uma mistura de lascas Claras e Escuras, denominado por “Balsa Mista”. Tal diferença de coloração não se deve a aspectos anatômicos da tora, mas a fatores aleatórios. A Figura 19 mostra que há variação de cores entre diferentes árvores, incluindo partes iguais dos troncos e galhos. Portanto, apesar dos resíduos da madeira serem provenientes de diferentes toras, bem como diversas partes da árvore, tais como cerne, alburno, galhos e até mesmo partes da casca, as diferentes tonalidades se devem a fatores adversos, como mudanças de geometria molecular da celulose, hemicelulose e lignina nos grupos cromáticos, apresentando conseqüentemente diferentes propriedades microestruturais (FRENCH, 2014).

3.3.4.1 Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV)

A MEV é uma técnica que consiste da formação de um feixe altamente focado num pequeno diâmetro (5nm) que é sequencialmente escaneado sobre a superfície da amostra num campo regular de exploração sob o comando da bobina eletromagnética.

A técnica de MEV permitiu a visualização da interface resina-partícula, bem como defeitos do processo de produção invisíveis a olho nu.

As amostras de partículas de madeira Balsa foram avaliadas em microscópio eletrônico de varredura (MEV) de baixo vácuo, modelo TM-3000 marca Hitachi, acoplado com sistema de microanálise de raios X por espectroscopia de energia dispersiva. Por operar com baixo vácuo ele permite observar amostras sem fazer o

recobrimento metálico. Buscou-se avaliar a anatomia dos poros e espessura da parede fibrilar.

Foi utilizada tensão de aceleração de 15kV e as imagens formadas por aquisição de elétrons retroespalhados, com aumentos da ordem de 50x, 200x, e dimensões de amostras de 25 x 25 mm, sem tratamento ou embutimento.

O ensaio foi executado no Laboratório de MEV da Zootecnia da FZEA-USP Pirassununga.

3.3.4.2 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier - FTIR

O ensaio de Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) busca medir o estado vibracional/rotacional das moléculas presentes na estrutura química de um determinado composto. Através desse ensaio, é possível identificar a natureza de ligações químicas, bem como a existência de radicais, anéis aromáticos e outras estruturas moleculares pela obtenção de espectros de absorção, emissão, fotocondutividade ou de difração (SILVERSTEIN, 2005).

O ensaio de FTIR foi utilizado para verificar a ocorrência de alterações nos grupos funcionais e na estrutura da celulose e das resinas após o processo de cura. Os dados foram obtidos utilizando o equipamento Paragon 1000 Spectrometer, marca Perkin Elmer, equipada com o acessório de refletância total atenuada, ao longo da gama de varrimento de 4000 a 600 cm^{-1} , com uma resolução espectral de 4 cm^{-1} , e com uma acumulação total de 128 escaneamentos. O ensaio foi executado no Laboratório MultMat da Engenharia de Biossistemas da FZEA-USP Pirassununga.

Figura 20: Espectrômetro Infravermelho da marca Perkin Elmer, modelo Spectre One.

3.3.4.3 Difração de Raios-X - DRX

O ensaio de DRX foi realizado para verificar a proporção de material cristalino e amorfo nas partículas de madeira Balsa e nos painéis OSB aglomerados com resina UF, FF e PU-Mamona visando compreender a interação molecular que ocorre entre partículas e resinas após a conformação dos painéis OSB.

O equipamento utilizado para realizar as medições de difração de raios-X foi o difractômetro de marca Siemens, modelo AXS Analytical X-Ray Systems D5005 (Figura 21), com potência de 1600 W, 40kVx40mA (Figura 19). O aparelho utiliza emissões de radiação alfa de Cu-K, com comprimento de onda λ : 1,54056Å.

Figura 21: Difractômetro utilizado no ensaio de DRX.

Inicialmente a amostra foi triturada em moinho de facas e peneirada com granulometria Mesh 100 (0,149mm). O pó obtido foi submetido ao ensaio de difractometria de raios-X. A varredura utilizada na obtenção dos difractogramas das amostras foram de 5° to 60°.

Os resultados foram comparados com um padrão de celulose estabelecido na literatura (fichas CIFs) e o cálculo do tamanho de cristalito foi determinado através da Equação 2 de Scherrer descrito por Langford e Wilson (1978).

$$D = \frac{K \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

- D é o tamanho de cristalito, perpendicular ao plano [hkl] da estrutura representada pelo pico (200);
- K é a constante relacionada com a forma dos cristais e os índices de reflectância do plano (200), λ é o comprimento de onda do feixe incidente no experimento de difração;
- β é a largura a meia altura (LMA) ou em inglês Peak-width at half-maximum (PWHM) em radianos, calculado utilizando o software OriginPro 2017;
- θ é a posição do pico.

Os padrões de difração obtidos da amostra foram ajustados ao padrão de celulose da ficha CIF, sendo manipulados e ajustados para comparação através do software livre Mercury, conforme metodologia descrita por French & Santiago Cintrón (2013).

As coordenadas da celulose padrão foram extraídas da Ficha CIF obtida por Nishiyama et al. (2002). Para o ajuste da intensidade escolhida foi utilizado o fator de March-Dollase aplicado ao plano (200).

O ensaio foi executado no Laboratório MultMat da Engenharia de Biosistemas da FZEA-USP Pirassununga.

3.3.4.4 Termogravimetria - TG

O ensaio de TG-DSC busca determinar propriedades dos materiais ao analisar a decomposição térmica do material bem como suas reações endotérmicas e exotérmicas, analisando a perda de massa e fases distintas de aquecimento ou resfriamento durante uma variação constante e controlada da temperatura ao longo do tempo.

Neste trabalho, a estabilidade térmica das partículas de madeira Balsa, resinas e painéis OSB foram analisados via termogravimétrica (TG) e Calorimetria de Varrimento Diferencial (DSC). O equipamento utilizado foi o de marca Shimadzu modelo TGA-50 (Figura 22) sob atmosfera de Nitrogênio. O material foi aquecido de 25 °C até 800 °C sob fluxo de gás constante a 20 mL/min. e taxa de aquecimento de 10°C / min. (BARBOSA Jr. et al., 2010).

A atmosfera de nitrogênio foi utilizada para retardar a oxidação dos materiais, possibilitando que ocorresse em temperaturas maiores, obtendo-se assim um espectro mais largo, o que permite uma leitura mais precisa dos picos e curvas resultantes do ensaio.

Figura 22: Equipamento de Termogravimetria da marca Shimadzu TGA-50.

O ensaio foi executado no Laboratório MultMat da Engenharia de Biosistemas da FZEA-USP Pirassununga.

3.4 Caracterização das resinas

As resinas fenol-formaldeído (FF), ureia-formaldeído (UF) e poliuretana à base de óleo de mamona (PU-mamona) foram caracterizadas por meio de ensaio microestruturais em seu estado puro, já curadas, de forma a obter-se os espectros de FTIR, DRX e TG-DSC em separado, antes da moldagem dos painéis.

As resinas foram preparadas sem adição de catalisadores, extensores ou aditivos, secas em estufa a 100 °C por 24 horas e posteriormente trituradas. O pó obtido foi peneirado e analisado seguindo a mesma metodologia descrita no item 3.3.4.

Os resultados permitiram analisar a interação resina x partícula do ponto de vista microestrutural, suas ligações químicas e alterações térmicas.

3.5 Produção de painéis OSB de madeira Balsa residual

Os painéis OSB foram produzidos com as tonalidades de madeira Balsa Clara e Escura, devido à dificuldade em separar o material durante o processamento. As partículas foram aglomeradas com resina (Fenol-Formaldeído - FF, Uréia-Formaldeído - UF e Poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona - PU-mamona).

Para a fabricação dos painéis OSB em escala laboratorial, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Orientador de partículas: Gradil feito em chapas de aço carbono 1020, dobradas a frio em formato quadrado, com medidas externas de 395 mm, com divisórias em chapas de aço, soldadas em solda MIG, dividindo-se o espaço interno em oito partes iguais, de aproximadamente 44 mm cada. Alças para manejo feitas em aço soldadas nas laterais. A peça foi pintada em pintura poliéster para proteção contra ferrugem (Figura 23A);
- Fôrma em madeira, feita em compensado plastificado preto, parafusado com parafusos de rosca soberba zincados. Medida interna: 400 x 400mm ;
- Tecido de Teflon: O politetrafluoretileno é um polímero conhecido mundialmente pelo nome comercial teflon, marca registrada de propriedade da empresa DuPont. O material apresenta propriedades anti-aderentes e excelente resistência ao calor (-70 a 260 °C). O tecido feito com fios de Teflon é utilizado como anti-aderente em superfícies aquecidas. Na moldagem das placas OSB o tecido de coloração marrom Clara foi utilizado para evitar a adesão do painel na bandeja de aço da prensa, sendo aplicado ao fundo da fôrma (Figura 23B);
- Pistola pneumática para aspergir as resinas sobre as partículas.

A

B

Figura 23: A. Orientador de partículas. B. Bandeja de aço, fôrma de compensado plastificado e tecido de teflon aplicado ao fundo.

O processo de produção dos painéis OSB de baixa e média densidade seguiu os procedimentos indicados a seguir e ilustrados na Figura 24.

- Pesagem das partículas e aplicação da resina por aspersão;
- Divisão das porções de partículas a serem posicionadas em camadas de direções opostas na fôrma;
- Formação do Colchão de partículas (400 x 400 mm) em três camadas de partículas, sendo que na camada interna o alinhamento é perpendicular à direção das partículas das faces;
- Prensagem em prensa termo-hidráulica Hidralmac, por 10 min. temperatura variando de 90 – 160 °C de acordo com o tipo de resina.

A

B

C

D

Figura 24: Procedimento de produção de painéis OSB. A. Partículas misturadas com resina. B. Montagem do colchão de partículas. C. Colchão posicionado em prensa termo-hidráulica. D. Painel OSB de madeira Balsa residual.

Os painéis foram produzidos de acordo com o planejamento experimental detalhado na Tabela 10.

Tabela 10: Planejamento experimental para a produção dos painéis OSB de madeira Balsa residual

	Qtde. Painéis	Teor Resina (%)	Temp. (°C)	Tempo (min.)	Densidade (kg/m ³)	Massa de Partículas (g)	Resina (g)	Massa Resina (g)	Farinha (g)	Água (g)	Sulf. de Amônia (sol. 20%) (g)	Parafina (g)
FF	4	8	140	12	350	560	44,8	29,1	4,5	11,2	-	8,4
	4	8	140	12	500	800	64	41,6	6,4	16	-	12
	4	8	140	12	650	1040	83,2	54,1	8,3	20,8	-	15,6
UF	4	8	120	12	350	560	44,8	38,5	4,5	-	1,8	8,4
	4	8	120	12	500	800	64	55	6,4	-	2,6	12
	4	8	120	12	650	1040	83,2	71,6	8,3	-	3,3	15,6
PU-M	4	12	100	10	350	560	67,2	-	-	-	-	-
	4	12	100	10	500	800	96	-	-	-	-	-
	4	12	100	10	650	1040	124,8	-	-	-	-	-

3.6 Caracterização dos painéis OSB

Os painéis OSB de madeira Balsa residual foram caracterizados e comparados com as indicações de classes estabelecidos por meio de ensaios mecânicos, físicos e térmicos seguindo as especificações da norma EN300:2006 - *Oriented Strand Boards(OSB) – Definitions, classification and specifications* e suas normas derivadas, relacionadas a cada ensaio específico, tais como a EN 310:2000 - *Wood-based panels: Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength*, EN-317:1993 - *Particleboards and fibreboards – Determination of swelling in thickness after immersion in water* e ASTM E1530:2011 - *Evaluating the Resistance to Thermal Transmission of Materials by the Guarded Heat Flow Meter Technique*.

3.6.1 Flexão estática

O ensaio de flexão estática para determinação do Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) foi realizado com corpos de prova de formato retangular, com a largura igual a (50 ± 1) mm., comprimento (l₂) igual a 20 vezes a espessura nominal mais 50 mm, com um comprimento máximo de 1050 mm e um mínimo de 50 mm.

Os corpos de prova foram condicionados em câmara climatizada até atingirem peso constante, sob umidade relativa de $(65 \pm 5)\%$ e uma temperatura de 20 ± 2 °C (procedimento padrão), sendo que se considera peso constante quando os resultados de duas pesagens sucessivas, efetuadas com pelo menos 24 h de intervalo, não diferem mais de 0,1% em relação ao peso inicial do corpo-de-prova.

Os corpos de prova foram biapoiados e a força aplicada pontualmente no centro do vão à velocidade constante de modo que a força de ruptura fosse atingida em 60 ± 30 s.

O MOR e o MOE foram calculados pelas equações 3 e 4 e um total de 10 amostras de cada tratamento foram avaliadas.

$$MOR = \frac{1,5 * P * D}{B * E^2} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

P - carga de ruptura (N);

D - distância entre apoios do aparelho (mm);

B - largura do corpo de prova (mm);

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

$$MOE = \frac{P_1 * D^3}{d * 4 * B * D^3} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

P_1 - carga no limite proporcional (N);

D - distância entre apoios do aparelho (mm);

d - deflexão correspondente à carga P_1 (N);

B - largura do corpo de prova (mm);

E - espessura média referente a três pontos do corpo de prova (mm).

3.6.2 Tração perpendicular

O ensaio de tração perpendicular para determinar a adesão interna das partículas seguiu as recomendações da norma EN319:1993. Foram confeccionados 10 corpos de prova nas dimensões 50 x 50 mm, posicionados no dispositivo para ensaio de tração perpendicular e submetidos a esforços de tração a uma velocidade de 4 mm/min.

Após a realização do ensaio, foi determinado o valor da adesão interna (AI) das partículas visando identificar a eficiência e quantidade do adesivo de acordo com a equação 5 e um total de 10 amostras de cada tratamento foram avaliadas.

$$AI = P/S \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

AI - Resistência à tração perpendicular (MPa);

P - Carga de ruptura (N);

S - Área da superfície do CP (mm²).

3.6.3 Ensaio de inchamento em espessura 24h

A determinação dos valores de inchamento em espessura foram feitos de acordo com a metodologia descrita pela norma EN-317:1993.

Para a determinação de inchamento em espessura, as dimensões dos corpos de prova são aferidas antes e após 24 h de imersão em água destilada, com pH igual a 7 e temperatura de 20 ± 1 °C. O inchamento em espessura dado em percentagem é calculado por meio da equação 6 e um total de 10 amostras de cada tratamento foram avaliadas.

$$G_t = \frac{t_2 + t_1}{t_1} * 100 \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

- G_t = inchamento em espessura 24h (%);
- t_1 = espessura inicial (mm);
- t_2 = espessura final após 24h (mm).

3.6.4 Condutividade térmica

O ensaio de condutividade térmica foi realizado seguindo as recomendações da norma ASTM E1530:2011 - *Standard Test Method for Evaluating the Resistance to Thermal Transmission of Materials by the Guarded Heat Flow Meter Technique* no equipamento *Thermal Conductivity Tester DTC-300* Marca Discovery que opera com medidores de fluxo de calor, em estado estacionário e com fluxo de calor descendente.

Para a avaliação da condutividade térmica dos painéis OSB foram elaborados corpos de prova com dimensões de 50 mm de diâmetro. Com o objetivo de reduzir a resistência térmica entre a amostra e o equipamento os corpos de prova foram recobertos na parte superior e inferior com pasta térmica. A pressão de compressão aplicada no corpo de prova foi de 0,28 MPa, para garantir a ocorrência do fluxo de calor. A diferença de temperatura estabelecida foi de 30°C entre os pratos, ou seja, prato superior com temperatura de 45 °C e prato inferior com temperatura de 15 °C.

A resistência térmica foi determinada pelas equações 7 e 8 e um total de 3 amostras de cada tratamento foram avaliadas.

$$R_{\text{Termica}} = \left[\frac{T_u - T_m}{Q} \right] - R_{\text{Int}} \quad (\text{Equação 7})$$

$$R_{\text{Termica}} = \frac{e}{\lambda} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

- R_{Termica} é a resistência térmica da amostra ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$);
- T_u é temperatura da placa superior ($^{\circ}\text{C}$);
- T_m é temperatura da placa inferior ($^{\circ}\text{C}$);
- Q é Fluxo de calor (W);
- R_{Int} é resistência total da interface entre a amostra e a superfície das placas ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$);
- e é espessura da amostra (m);
- λ é condutividade térmica (W/mK).

3.6.5 Ensaios microestruturais

A caracterização microestrutural dos painéis OSB de madeira Balsa residual foi realizada seguindo a metodologia descrita no item 3.3.4.

3.6.6 Delineamento estatístico

Os valores obtidos para as propriedades mecânicas, físicas e térmicas dos painéis OSB de madeira Balsa residual foram avaliados pela estatística descritiva, com o propósito de organizar os resultados. Como medida de tendência central foi adotada a média aritmética e, como medida de dispersão, o desvio padrão.

Após a análise descritiva, os dados foram submetidos a uma análise inferencial para diagnosticar a existência de diferença significativa entre os tratamentos estudados. Foi realizado um delineamento inteiramente casualizado (DIC) e os dados comparados pelo teste de comparação múltipla (Tukey) quando a ANOVA for significativa, sendo ambos testados a $p < 0,05$.

A Tabela 11 apresenta a nomenclatura estabelecida para cada tratamento.

Tabela 11: Nomenclatura para os tratamentos avaliados

Tipo de resina e densidade do Paine! OSB	Nomenclatura do Tratamento
FBD - Fenólica Baixa Densidade	T1-FB
FMD - Fenólica Média Densidade	T2-FM
UBD - Uréia Baixa Densidade	T3-UB
UMD - Uréia Média Densidade	T4-UM
MBD - Mamona Baixa Densidade	T5-PuB
MMD - Mamona Média Densidade	T6-PuM

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esse capítulo apresenta os resultados da caracterização física, química e microestrutural de partículas de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*), caracterização microestrutural das resinas FF, UF e PU-Mamona e da caracterização física, mecânica, térmica e microestrutural de painéis OSB de madeira Balsa residual aglomerada com resinas FF, UF e PU-Mamona.

4.1 Caracterização das partículas

Esse item apresenta resultados da caracterização física, química e microestrutural de partículas de madeira Balsa residual que permitem verificar a viabilidade técnica desse material como matéria prima para produção de painéis OSB.

4.1.1 Propriedades físicas

A Tabela 12 apresenta valores médios e respectivos desvio padrão de densidade aparente e densidade real da madeira Balsa.

Tabela 12: Densidade aparente e real média da madeira Balsa residual

Densidade Aparente (kg/m³)	Densidade Real (kg/m³)
198	126

Madeiras de baixa densidade tendem a ser mais porosas e consequentemente, tendem a absorver mais resina. Os teores de resina convencionalmente utilizados na produção de painéis de partículas com madeira das espécies de Eucalipto e Pinus, que apresentam densidade variando de 320 a 770 kg/m³, tendem a ser insuficientes.

A madeira Balsa, por apresentar baixa densidade aparente, para a mesma massa, apresenta um volume de partículas significativamente superior quando comparado com madeiras das espécies Pinus e Eucalipto utilizadas na produção de painéis OSB comerciais. A Figura 25 ilustra o volume de madeira Balsa residual em um colchão de partículas formador do painel de média densidade, antes da prensagem, o que indica a necessidade de teores de resina superiores aos utilizados

comercialmente e indicados na literatura para painéis com madeiras de densidade superior.

Figura 25: Colchão de partículas formador do painel de média densidade.

4.1.2 Composição Química

A Tabela 13 apresenta resultados da composição química das partículas de madeira Balsa residual. São indicadas teor de extrativos, lignina, celulose, hemicelulose e pH de amostras classificadas pela coloração.

Tabela 13: Propriedades químicas de partículas de madeira Balsa

Amostra	Extrativos	Lignina	Celulose	Hemicelulose	pH
Balsa Clara	18,2	13,5	68,9	4,2	-
Balsa Escura	21,9	12,8	64,2	7,7	-
Balsa mista	19,2	14,0	66,5	6,1	6,0

Pelos resultados apresentados é possível verificar que a madeira Balsa residual, independente da coloração, apresenta baixo teor de lignina, quando comparada com madeira de Pinus residual que apresenta teor de lignina 27,29% segundo Fiorelli et al. (2014), que utilizou a mesma metodologia para determinação da composição química. Esse resultado indica que os painéis de partículas com essa matéria prima poderão apresentar problemas de colagem, uma vez que a lignina presente na

madeira se solubiliza no processo de prensagem com aquecimento e atua como uma aglomerante natural das partículas. O teor de celulose e hemicelulose é superior ao encontrado para resíduo de *Pinus* sp., que segundo Fiorelli et al. (2014) é de 51% e 15 %, respectivamente. Isso indica que a madeira Balsa tem potencial para uso como matéria prima na produção de painéis de partículas, no entanto, teores mais elevados de resina podem ser requeridos para obter painéis de partículas com propriedades que atendam as recomendações normativas mínimas.

O pH de 6,0 indica que as reações de polimerização, principalmente das resinas FF e UF não deverão ser prejudicadas.

4.1.3 Características microestruturais das partículas

Esse item apresenta resultados da caracterização microestrutural das partículas de madeira Balsa residual que incluem análise por MEV, FTIR, DRX e TG.

4.1.3.1 MEV da partícula

As Figura 26 e Figura 27 apresentam imagens obtidas por MEV da seção transversal e paralela à grã (respectivamente) de partículas de madeira Balsa residual com incrementos de 100x, 500x, 1000x e 3000x. É possível verificar a estrutura porosa do material, com paredes fibrilares finas e grandes vasos. Nota-se uma grande quantidade de vazios, que justifica a baixa densidade dessa madeira. A Figura 28 apresenta o dimensionamento das estruturas anatômicas da madeira aferidas com auxílio do software Image-J.

Essas imagens da anatomia da madeira Balsa residual justificam a baixa ancoragem de parafusos e pregos, alta absorção de água e de resina e fragilidade dessa espécie de madeira conforme retratado por (IWAKIRI, 2005) e (FINGER, LOGSDON e ROCHA, 2012).

A

B

C

D

Figura 26: : Imagens da anatomia de partículas de madeira Balsa residual da seção transversal à grã em diferentes aumentos (A:x100, B:x500 C:x1000 D:x3000)

A

B

C

D

Figura 27: Imagens da anatomia de partículas de madeira Balsa residual da seção paralela à grã em diferentes aumentos. Nota-se poros de aproximadamente $30\mu\text{m}$ na imagem D.

Figura 28: Corte transversal de partícula de madeira Balsa (a) Diâmetro dos poros (imagem ampliada 500x). (b) Espessura das paredes fibrilares (imagem ampliada 500x). (c) Diâmetro dos vazios (imagem ampliada 100x).

4.1.3.2 FTIR das partículas de madeira Balsa

Para determinar as alterações químicas na celulose da madeira Balsa foi usado o espectro de FTIR obtido no ensaio, mostrado na Figura 29.

Figura 29: Espectro de FTIR para madeira Balsa em diferentes tonalidades (Clara, Mista e Escura).

Onde: ν = simétrico, $\alpha\nu$ = assimétrico e δ = angular.

A banda em 1580 cm^{-1} corresponde ao estiramento angular da água represada junto à estrutura da celulose (HAAFIZ et al., 2013), o que confirma que o material mais amorfo absorve mais água. Este estiramento apresenta valor diferenciado para as fibras em análise, diferente dos demais que não sofreram alteração, tais como: C-H em 2780 cm^{-1} e O-H em 3420 cm^{-1} Assimétrico, e C-C em 1640 cm^{-1} Simétrico (Silverstein et al., 2005).

As bandas importantes para a discussão deste tipo de material, no caso das madeiras, estão citadas acima, principalmente a ligação C-H e O-H, sendo que o O-H pode ser da água ou da molécula de celulose.

As diferentes tonalidades de Balsa avaliadas diferem muito pouco do ponto de vista químico, exceto pela Balsa Escura no que tange ao grupo C-H (pico em 2780 cm^{-1}). Isso ocorre provavelmente devido à ruptura parcial da cadeia celulósica, o que corrobora com os

dados de DRX que mostrou uma menor cristalinidade para a celulose presente em sua estrutura.

4.1.3.3 DRX da partícula

A diferenciação das cores da madeira Balsa foi feita de maneira visual e não apresenta relação com as diferentes regiões de crescimento do tronco tais como medula, cerne, alburno ou casca. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** nota-se dois blocos cortados de galhos diferentes, de mesmo diâmetro, porém de colorações distintas.

Foi determinado o tamanho do cristalito pela equação de Scherrer da celulose da madeira Balsa. Os resultados apenas obtiveram diferenças significativas entre os padrões de difração na largura a meia altura, porém com pico coincidente, como mostra a Figura 30.

Figura 30: Picos de DRX para partículas de Balsa Clara, Mista e Escura.

A estrutura e o grau de cristalinidade da celulose dependerão de história e do processamento da amostra (FRENCH, 2014). Quatro polimorfos principais (I, II, III, e IV) têm sido relatados para a estrutura da celulose. Celulose I é a estrutura da celulose nativa, enquanto outros polimorfos são obtidos através de diferentes tratamentos de celulose (MOON et al., 2011).

O padrão Celulose I possui dois polimorfos, $I\alpha$ e $I\beta$, que coexistem em diferentes proporções, no entanto, o principal tipo em fibras vegetais é β (VANDERHART & ATALLA, 1984), a mesma observada para a estrutura da Balsa, como mostra a Figura 31. Portanto, neste trabalho foi utilizado o padrão de Celulose β para comparação com as amostras.

Ao se comparar os três tipos de amostras (Clara, Escura e Mista), as diferentes colorações apresentam uma redução mínima no tamanho de cristalito, porém com a mesma estrutura I β . A Figura 31 apresenta a comparação das amostras com a celulose totalmente cristalina (linha laranja, com tamanho de cristalito igual a 362nm) e a celulose amorfa (linha preta, LMA=9,0).

Essa diminuição do tamanho do cristalito pode ter relação com alterações da estrutura da celulose causada pela interação com outras estruturas tais como lignina e hemicelulose, as quais deslocam espacialmente a molécula de celulose ao longo da estrutura do material (SOMWANG *et al.*, 2002).

Uma das possíveis causas do menor tamanho de cristalito (material mais amorfo), no caso deste estudo a Balsa Escura, são as ligações de hidrogênio intramolecular que ocorrem devido à aproximação dos grupos –OH ou hidroxilas (OSTLUND *et al.*, 2010) e ocorrência de hidrólise, que é o rompimento parcial da cadeia de celulose na presença de água (VERMA; BHARDWAJ; SINGH, 2014).

Os dados do ensaio de difractometria de raios-X confirmam os resultados da caracterização química, onde a variação da quantidade de celulose aponta que a Balsa Clara possui maior porcentagem de celulose. Além de possuir maior quantidade, o ensaio de DRX mostrou que a cristalinidade (tamanho de cristalito) da celulose é maior na Balsa Clara. A Figura 30 mostra um pico maior de 362 nm para a Balsa Clara.

Figura 31: Padrões de difração para celulose na madeira Balsa calculada nas bandas de pico de 0,1, 5,0, 6,0, 6,5 e 9,0 utilizando a função March-Dollase (MD) 1.3 e relação às curvas da celulose cristalina (362nm) e amorfa.

Os dados da caracterização química (Tabela 13) confirmam a variação da lignina e o aumento percentual da celulose dentre as tonalidades diferentes da madeira Balsa, onde a Balsa Clara possui 68.91%, a Mista 66.47 % e a Escura 64.19%. A Figura 31 apresenta a evolução da estrutura desde o ponto totalmente cristalino (LMA=0.1 e tamanho de cristalito de 362nms) até o material amorfo, ou seja, com pouca organização estrutural (LMA=9).

A Balsa Clara possui maior organização estrutural da celulose, com tamanho de cristalito de 116 nms, sendo que a Balsa Escura apresenta maior caráter de desorganização estrutural com tamanho de cristalito de 92 nms, assim segundo Subramanian et al. (2008) a Balsa Clara deverá apresentar maior resistência mecânica associada a maior cristalinidade da celulose de sua estrutura.

Portanto, a Balsa Escura, por ser menos cristalina deve apresentar resistência menor em relação à Balsa Clara. Porém, tal afirmação não pôde ser testada uma vez

que não foram efetuados ensaios mecânicos com diferenciação da tonalidade da madeira.

A fração amorfa/cristalina das amostras são apresentadas nas Figuras 32, 33 e 34.

Figura 32: Difractograma de DRX para Balsa Clara.

A Figura 32 apresenta 89% de material cristalino, confirmando sua maior característica organizacional parcial, visto que a celulose é uma estrutura mista de material cristalino e amorfo (Moon et al., 2011).

As Figuras 33 e 34 apresentam a mesma de tendência de cristalinidade observadas na Figura 31.

Figura 33: Difractograma de DRX para Balsa Mista.

Figura 34: Padrão de difração para Balsa Escura.

A maior presença de material amorfo na Balsa Escura acarreta uma maior absorção de água (CLARAMUNT; ARDANUY; GARCIA-HORTAL, 2010), desta forma a presença de madeira Balsa Escura pode proporcionar maior inchamento em espessura dos painéis e também influenciar na absorção da resina durante o processo de encolagem.

4.1.3.4 TG-DSC da partícula

Para determinar as alterações químicas na celulose da madeira Balsa foram usados os dados de TG e DSC. As análises apresentaram duas regiões distintas referentes aos processos de decomposição das estruturas orgânicas presentes por oxidação.

A primeira fase ocorre na faixa de temperatura entre 110°C e 280°C, referente à perda de massa por oxidação da lignina, extrativos e hemicelulose (JONES et al, 2017). Uma segunda fase de decomposição ocorre na faixa de temperatura de 330-480°C, referente à oxidação da cadeia celulósica (ZANG, 1991 and FU et al., 2017). Os diagramas são mostrados nas figuras 35, 36 e 37, correspondendo respectivamente à Balsa Escura, Mista e Clara.

Figura 35: Curvas de TG e DSC para Balsa Escura

Os materiais lignocelulósicos constituídos de lignina, extrativos e hemicelulose, apresentam menor calor específico (CE) quando comparados a fases mais cristalinas (SILVA, 2008), isto ocorre porque o CE relaciona a capacidade de uma substância em receber calor e retransmitir parte deste à sua rede cristalina que o dissipa na forma de vibração.

O baixo valor de CE explica a menor temperatura de oxidação para estes materiais, entre 110°C e 280°C, como pode ser visto nas Figuras 35, 36 e 37, sendo que os grupos mais voláteis são oxidados primeiro.

Assim, quanto maior a presença destes grupos, mais cedo se inicia o processo de oxidação, como pode ser visto nos gráficos de TG e DSC, onde o processo passou de 257 °C nas partículas de Balsa Escura (Figura 35), ou 254 °C para Balsa Mista (Figura 36) e para 241 °C na Balsa Clara (Figura 37).

Quanto mais cristalino o material, maior será o Calor Específico. Isto se deve a organização cristalográfica que pode dissipar mais energia na rede cristalina, através da vibração, assim o material apresenta-se em maior equilíbrio termodinâmico (ATKINS, 2011).

Figura 36: Curvas de TG e DSC para Balsa Mista

Um alto índice de cristalinidade está em conformidade com os dados de tamanho de cristalito calculado no item DRX (Figura 37).

A maior organização microestrutural leva a uma maior resistência térmica do material (ATKINS, 2011), apresentando assim temperaturas crescentes de oxidação da cadeia celulósica proporcional à sua cristalinidade.

As temperaturas de decomposição aferidas no ensaio foram de 437 °C (Escura) e 490 °C (Mista) para 561 °C (Clara), corroborando com os índices de cristalinidade (tamanho de cristalito) obtidos nos ensaios de DRX.

Ao final do ensaio, restam apenas os óxidos, pois os materiais orgânicos já foram decompostos, verificando-se então uma área plana na curva dos gráficos.

Tais óxidos são compostos de 60 a 70 % de silício e de 15 a 20% de óxidos de ferro, alumínio e outros óxidos resultantes da decomposição térmica (KONTTURI & VUORINEN, 2009).

Figura 37: Curvas de TG e DSC para Balsa Clara

As partículas de Balsa Clara (Figura 37) apresentam uma maior resistência ao processo de oxidação da celulose, onde seu pico ocorre fora da zona proposta por Zang (1991). Isto se deve provavelmente ao entrelaçamento maior das cadeias de celulose de forma organizada, além de provavelmente uma maior remoção de água de sua estrutura, quando comparada as demais durante o processo de formação da microestrutura (KONTTURI & VUORINEN, 2009).

4.2 Caracterização das resinas

Este item apresenta resultados da caracterização das resinas FF, UF e PU-Mamona pela técnica de FTIR.

4.2.3 FTIR das Resinas

As resinas usadas neste projeto (UF, FF e PU-Mamona) apresentam reações de polimerização diferentes, contudo todas elas são por condensação, onde duas moléculas monoméricas com grupos periféricos complementares (O-H e -H) formam um grupo resultante estável, ou seja, dois produtos com elevada estabilidade química (SANDLER & KARO, 1977), como exemplifica a Figura 35.

Figura 38: Reação genérica de formação dos polímeros por condensação
(Adaptado de Knop & Scheib, 1979)

Para caracterizar os grupos funcionais de forma mais efetiva, as resinas foram divididas em tópicos.

A seguir serão discutidos os respectivos tipos de resina (FF, UF e PU-Mamona) de acordo com seus mecanismos de polimerização.

➤ Resina Fenol-Formaldeído (FF)

A resina FF segundo KNOP e SCHEIB (1979) sofrem reação de condensação conforme ilustrado na Figura 36.

Figura 39: Reação de formação dos polímeros de condensação para resinas fenólicas.
(Adaptado de Knop & Scheib, 1979)

O processo de polimerização leva a formação de uma estrutura aromática ramificada, assim sustentando o polímero.

Figura 40: Espectro de FTIR para resina FF (Feno-Formaldeído)
Onde ν = simétrico, $\alpha\nu$ = assimétrico e δ = angular.

A faixa entre 3300 e 3500 cm^{-1} mostra a presença de água livre (OH) resultante do processo de condensação.

Os dados de FTIR confirmam a polimerização pela formação do anel aromático, representando completamente pelas ligações C=C em 1430 cm^{-1} e C-C em 880 cm^{-1} (SILVERSTEIN, 2005).

A presença de um anel aromático confere resistência mecânica à estrutura da resina polimerizada (KNOP & SCHEIB, 1979)

➤ Resina Uréia Formaldeído (UF)

As resinas Uréicas segundo Kim (1990), sofrem reação de condensação, conforme ilustrado na Figura 41.

Figura 41: Reação de formação dos polímeros de condensação para resinas UF.

A poli-condensação usando o nitrogênio como base de Lewis permite obter polímeros estruturado e com diversas possibilidades de produtos finais, dependendo da relação dos reagentes, pH reacional dentre outros (HSE; XIA; TOMITA; (1994).

Os dados de FTIR indicados na figura 39, confirmam a polimerização, tendo com nucleador o par de elétron de nitrogênio, levando a formação de uma estrutura composta e mista com vários estiramentos.

Figura 42: Espectro de FTIR para resina UF (Uréia-Formaldeído)
 Onde ν = simétrico, $\alpha\nu$ = assimétrico e δ = angular.

O estiramento em 3440 cm^{-1} referente à banda de OH, associado às ligações de N-C em 980 cm^{-1} e N-H em 1032 cm^{-1} confirmam a polimerização tendo como catalisador o nitrogênio e a presença do estiramento C-O em 1683 cm^{-1} (SILVERSTEIN, 2005) corrobora para validar a estrutura proposta na Figura 41.

O estiramento referente ao grupo OH é maior do que da resina fenólica (FF) devido a vários processos concomitantes que antecedem a formação do produto final, como mostra a Figura 41. Tais processos envolvem a liberação de água durante o processo de consolidação do composto final.

➤ Resina Poliuretana à base de óleo de mamona (PU-Mamona)

As resinas a base de óleo de mamona segundo WULTZ, (1997), sofrem reação de condensação segundo a Figura 43. A primeira etapa deste processo é a formação da Uretana e posteriormente, ocorre o processo de policondensação (CHANG; YEH; CHANG, 2002), levando a formação da poliuretana (Figura FTIR7-2).

Figura 43: Reação de polimerização da resina PU-Mamona (CHANG, 2002)

A estrutura polimérica formada com o uso da resina poliuretana à base de óleo de mamona possui estiramento muito próximo dos observados para a resina uréia-formaldeído, contudo são estruturas diferentes entre si, mas apresenta espectros de FTIR muito próximos, como mostra a Figura 44.

Figura 44: Espectro de FTIR para resina PU-Mamônia
Onde ν = simétrico, $\alpha\nu$ = assimétrico e δ = angular.

O processo de polimerização não gerou muitas ramificações, outrossim haveria um alargamento ou deslocamento de número de onda para os estiramentos principais das bandas citadas (VILAR, 1993).

4.3 Caracterização dos painéis OSB

Este item apresenta resultados da caracterização física, mecânica, térmica e microestrutural de painéis OSB com partículas de madeira Balsa residual.

4.3.1 Propriedades físico-mecânicas

A tabela 12 apresenta resultados médios e desvio padrão de densidade aparente e inchamento em espessura 24 h de painéis OSB de madeira Balsa residual dos tratamentos T1 a T6.

Os resultados obtidos indicam que os painéis produzidos são classificados como de baixa ($< 550 \text{ kg/m}^3$) e média densidade ($550 \text{ kg/m}^3 < d < 750 \text{ kg/m}^3$) e

estatisticamente diferem entre si os painéis de mesma densidade produzidos com resinas FF, UF e Pu-Mamona.

Tabela 14: Valores médios e desvio padrão de propriedades físicas de painéis OSB de madeira Balsa residual

Tratamentos	Densidade Aparente Kg/m ³	Inchamento 24h %
T1-FB	572±24 ^b	-
T2-FM	731±71 ^a	-
T3-UB	457±19 ^c	153±43 ^a
T4-UM	563±37 ^b	142±46 ^a
T5-PuB	481±24 ^c	44±23 ^b
T6-PuM	698±41 ^a	38±8 ^b

(Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem significativamente a 5% pelo Teste Tukey)

Os resultados de AA e Inchamento em Espessura após 24 h de imersão indicam que todos os tratamentos avaliados não atendem as recomendações do documento normativo EN317:1993 que estabelece 25% para Inchamento em Espessura de painéis OSB tipo 1.

Os altos valores de IE 24 h de imersão encontrados nesse estudo refletem a constituição dos painéis OSB com partículas de madeira Balsa residual que devido à baixa densidade da madeira, necessitam de uma quantidade superior de partículas em comparação com painéis produzidos com *Pinus* sp. ou *Eucalipto* sp., madeiras utilizadas na produção de painéis OSB comerciais.

Esses resultados indicam que os painéis OSB de madeira Balsa residual, independente do tipo de resina avaliado nesse estudo (FF, UF ou PU-Mamona) devem ser utilizados apenas em ambientes secos, sem a presença de fontes de umidade.

A Tabela 13 apresenta os resultados de MOR, MOE e adesão interna das partículas para os diferentes tratamentos. É possível observar que apenas os painéis OSB produzidos com resina PU-Mamona de baixa e média densidade atenderam as recomendações mínimas estabelecidas pelo documento normativo EN300:2000 para painéis do tipo 1 – uso em ambientes internos.

Os painéis OSB produzidos com resina FF e UF de baixa e média densidade apresentaram um desempenho mecânico muito inferior às recomendações do documento normativo EN 310:2000, indicando que a formulação adotada nesse estudo foi inadequada para a produção desse tipo de painel.

A continuidade dos estudos que avaliem teores mais elevados de resina UF e FF, superior aos 8% indicados pela literatura como ideal para esse tipo de resina, devem ser avaliados com as partículas de madeira Balsa residual, uma vez que essa matéria prima apresenta baixa densidade, alta porosidade e um volume significativo de partículas é utilizado para a conformação dos painéis, o que exige teores mais elevados de resina para a obtenção de produtos com melhores propriedades mecânicas. Os resultados de AI para os painéis OSB produzidos com resina FF e UF não foram possíveis de serem quantificados e validam a afirmação da quantidade insuficiente de resina, uma vez que esse tipo de ensaio permite avaliar a eficiência da colagem e consequentemente, o teor de resina utilizado.

Tabela 15: Valores médios e desvio padrão de propriedades mecânicas de painéis OSB de madeira Balsa residual

	MOR Long. (MPa)	MOE Long. (MPa)	MOR Transv. (MPa)	MOE Transv. (MPa)	AI (MPa)	Razão de Compactação
T1-FB	3,3 ^c	257 ^b	3,5 ^c	229 ^c	-	4,94±2,25
T2-FM	2,8 ^c	189 ^b	3,4 ^c	222 ^c	-	5,76±2,81
T3-UB	3,8 ^c	676 ^b	4,3 ^c	526 ^c	-	3,97±1,6
T4-UM	3,5 ^c	322 ^b	2,9 ^c	236 ^c	-	4,73±2,6
T5-PuB	22,4 ^b	3656 ^a	11,4 ^b	1567 ^b	0,06 ^b	4,17±1,74
T6-PuM	29,1 ^a	4539 ^a	21,7 ^a	2265 ^a	0,13 ^a	5,84±3,38

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem significativamente a 5% pelo Teste Tukey

4.3.2 Propriedades térmicas

O ensaio de condutividade térmica revela a capacidade de um determinado material em transmitir calor através de sua estrutura. A Tabela 16 apresenta os valores médios dos tratamentos avaliados e é possível enquadrar os painéis OSB em estudo no grupo de materiais isolantes que apresentam condutividade térmica abaixo de 0,25 W/mk.

Devido à estrutura porosa da madeira, o seu coeficiente de condutividade térmica é relativamente baixo ($\lambda = 0,12$), o que a caracteriza como um bom isolante de temperatura. Isto se deve à porção de ar existente no seu interior, este com um coeficiente $\lambda = 0,0216$, e ao fato da baixa condutividade térmica do próprio material lenhoso. (MORESCHI, 2012)

Kotlarewski (2014) traz valores de referência para a madeira Balsa, variando numa faixa de 0.0381W/mK a 0.0665 W/mK. Similares a outros materiais isolantes já utilizados industrialmente. Nota-se que a condutibilidade do painel aumentou devido à densificação, atingindo valores de madeiras maciças naturalmente mais densas.

Outros valores de referência são mostrados na Tabela 17.

Tabela 16: Valores médios e desvio padrão de condutividade térmica de painéis OSB de madeira Balsa residual

Tratamento	Condutividade térmica (W/mK)
T1-FB	0,106±0,015
T2-FM	0,110±0,015
T3-UB	0,120±0,015
T4-UM	0,144±0,015
T5-PuB	0,139±0,015
T6-PuM	0,140±0,015

Tabela 17: Valores de referência para Condutividade Térmica (PROTOLAB, 2010)

CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO			
Grupo	Material	Massa específica (kg/m ³)	Condutividade térmica (W/mK)
Metal	Alumínio	2800	204
	Cobre	9000	372
Pedra natural	Basalto, granito	3000	3.5
	Calcário, mármore	2700	2.5
Alvenaria	Tijolo	1600-1900	0.6-0.7
Cimentícios	Concreto leve	1600-1900	0.7-0.9
		700-1000	0.23-0.35
	Concreto de isolamento	300-700	0.12-0.23
	Concreto celular	1000-1300	0.35-0.5
		400-700	0.17-0.23
Inorgânico	Fibrocimento	1600-1900	0.35-0.7
	Vidro	2500	0.8
	Lã de rocha	35-200	0.04
	Telhas	2000	1.2
Emplastos	Cimento	1900	0.9
	Cal	1600	0.7
	Gipsita	1300	0.5
Orgânico	Cortiça (expandida)	100-200	0.04-0.0045
	Borracha	1200-1500	0.17-0.3
Madeira	Folhosa	800	0.17
	Madeira leve	550	0.14
	compensada	700	0.17
	Cartão duro	1000	0.3
	Soft-board	300	0.08
	Polietileno, Polipropileno	930	0.17
	Cloreto de Polyvinyl	1400	0.17
Espuma sintética	Espuma de poliestireno	out/40	0.035
	Ditto, expulso	30-40	0.03
	Espuma de poliuretano (PUR)	30-150	0.025-0.035
	PVC-espuma	20-50	0.035
Água	Água	1000	0.58
	Gelo	900	2.2
Ar	Ar	1.2	0.023
Solo	Solo florestal	1450	0.8
	Solo (seco)	1600	0.3
Naturais	Cortiça	200	0.06-0.07
	Lãs	400	0.07

4.3.3 Características microestruturais dos painéis OSB

Este item apresenta resultados da caracterização microestrutural dos painéis OSB de madeira Balsa residual. São apresentados resultados de FTIR, DRX, TG e MEV.

4.3.3.1 FTIR dos painéis

Os painéis OSB, como já mencionado anteriormente, foram produzidos com a mistura aleatória das tonalidades de madeira Balsa residual de reflorestamento, ou seja, sem separação por cores. As partículas foram separadas visualmente para caracterização em separado de forma a se analisar o motivo das variações de cor e quais características seriam alteradas, juntamente com as mudanças de cor. Tais mudanças de coloração ocorrem naturalmente na árvore, não sendo porém influenciadas pela localização anatômica da planta, como mostra a Figura 45.

➤ Paineis de madeira Balsa e resina Fenol-formaldeído (FF)

A Figura 455 apresenta os dados para o Paineis de Balsa aglutinado com resina FF.

Figura 45: Espectro de FTIR para o painel OSB de madeira Balsa e resina FF.

Pela figura observa-se uma diminuição da intensidade dos picos referentes ao anel aromático C=C e C-C em relação à resina pura. Como houve uma diminuição dos grupos OH em 3340 cm^{-1} e 1040 cm^{-1} , provavelmente os grupos OH da celulose estão reagindo com o anel aromático, pois também é possível observar a diminuição das ligações C=C e C-H respectivamente em 1430 e 880 cm^{-1} .

A reação de polimerização juntamente com a madeira Balsa, em relação ao processo de polimerização natural da resina pura, gerou uma menor quantidade de polímeros, observado na diminuição dos estiramentos de NH, o que acaba por diminuir o potencial de aglutinação das partículas de madeira pela resina, corroborando para explicar os resultados mecânicos obtidos nesse trabalho.

➤ **Painel de madeira Balsa e resina Uréia-Formaldeído (UF)**

A Figura 46 apresenta os dados para o Painel de Balsa aglutinado com resina UF.

Figura 46: Espectro de FTIR para painel OSB de madeira Balsa e resina UF.

A resina UF apresentou diminuição nas bandas N-H com estiramentos em 1520 cm^{-1} e C-O em 1740 cm^{-1} respectivamente, indicando que a polimerização da resina

foi afetada pela presença da madeira em relação à sua polimerização natural (resina pura).

A Figura 41 indica que a diminuição destas duas ligações vai gerar polímeros de cadeias mais curtas e com a perda da estabilidade por ressonância nas margens do polímero. O rompimento de cadeias poliméricas se inicia nas margens do material, fragilizando a estrutura da resina polimerizada.

Tais fatores interferiram no processo de aglomeração das partículas de madeira, refletindo negativamente nas propriedades mecânicas do painel.

➤ Paineis de Madeira Balsa e resina PU-Mamona.

A Figura 47 apresenta os dados para o Painel de Balsa aglutinado com resina PU-Mamona.

Figura 47: Espectro de FTIR para painel OSB de madeira Balsa e resina PU-Mamona.

A Resina PU-Mamona mostra maior consonância entre o polímero formado puro e atuando como agente aglutinador na presença da madeira Balsa, assim indicando que há sinergia com a madeira durante e após o processo de polimerização, o que contribui para os melhores resultados mecânicos obtidos em relação às resinas FF e UF.

A maior conformidade da resina de mamona com a madeira Balsa pode ser observada pelos estiramentos em C-O, N-H e especialmente C-N, respectivamente em 1643, 1534 e 992 cm^{-1} (Figura 47).

A base do polímero da poliuretana (

Figura 48) é a ligação C-N, assim sua manutenção implica que o polímero consegue manter sua estrutura mínima durante a polimerização, mesmo em contato com os grupos OH da celulose. Desta forma mesmo que outros meros tenham se formado alterando a periferia do polímero, sua estrutura principal está consolidada, o que lhe proporciona uma forte capacidade de agente aglutinante.

4.3.3.2 DRX dos painéis

O resultado para o painel a base de resina Fenólica apresentou redução total da cristalinidade da Balsa associada ao aparecimento de duas fases cristalinas pertencente à resina (Figura 48).

Figura 48: Difractograma de difração para painel OSB de Balsa e resina FF.

Os painéis a base de resina UF apresentaram uma diminuição na cristalinidade das fibras de 102 nm (média entre 116, 98 e 92 apresentada na Figura 48 para 31 e

12nm na Figura 49 indicando que a resina altera a organização cristalina da celulose, tornando o material mais amorfo ISOBE; WADA; KUGA, (2012), o que reflete nas propriedades mecânicas do painel OSB.

Figura 49: Difractograma de DRX para painel OSB de Balsa e resina UF.

O painel a base de resina de mamona (Figura 50) apresentou o maior resultado no que tange à cristalinidade, cujo valor passou de 102 nm para 44,32 nm, apesar do tamanho de cristalito da resina curada ser apenas de 18,58 nm, assim indicando que a resina de mamona é a que menos altera a estrutura da fibra de celulose, o que corrobora para uma maior sinergia entre a resina e a fibra.

Figura 50: Difractograma de DRX para painel OSB de Balsa e resina PU-Mamona

O maior valor de tamanho de cristalito observado na Figura 50 permite afirmar que este painel possui propriedades mecânicas superiores em comparação aos painéis OSB produzidos com resina UF e FF.

4.3.3.3 TG dos painéis

As resinas usadas neste projeto (FF, UF, e PU-mamona) apresentam reações de polimerização diferenciadas, mas por condensação (SANDLER & KARO, 1977).

A quebra das diferentes cadeias e suas ramificações resulta em produtos primários, secundários e assim por diante. Os dados de TG e DSC do painel de resina UF apresenta os picos referentes à madeira Balsa, não sendo possível observar os picos endotérmicos da resina no painel (Figura 51 e Figura 52).

Figura 51: Curvas de TG e DSC para Resina Ureia

Figura 52: Curvas de TG e DSC para Painel OSB de Balsa + Resina Uréia-Formaldeído (UF)

A ausência dos picos referentes à resina indica que o material está muito pobre de resina, logo a mesma acaba sendo mascarada por picos referentes à madeira Balsa. A ausência do agente aglutinante interfere diretamente nas propriedades mecânicas, comprovando assim os baixos valores de propriedades mecânicas obtidas para esse tipo de painel.

O mesmo ocorre com os painéis à base de resina FF, tendo somente como diferencial que os picos da resina são exotérmicos e não endotérmicos, mas a ausência do agente aglutinante também é observada (Figura 54).

Figura 53: Curvas de TG e DSC para Resina Fenólica (FF)

Figura 54: Curvas de TG e DSC para Painel OSB de Balsa + Resina Fenol-Formaldeído (FF)

Os dados dos painéis OSB a base de resina PU-Mamona, apresentam uma banda características da resina em sua composição quando oxidada pelo efeito da temperatura na região de 610 °C, como pode ser observado na Figura 55.

Figura 55: Curvas de TG e DSC para Resina Poliuretana a base de óleo de mamona (PU-Mamona)

Figura 56: Curvas de TG e DSC para Painel OSB de Balsa + Resina Poliuretana a base de óleo de mamona (PU-Mamona)

A leve redução na banda em 610 °C para 586 °C da resina PU-Mamona em relação ao painel OSB com essa mesma resina reflete a presença de material com menor potencial de oxidação, que no caso é a celulose, assim validando a tese de que a estrutura da resina foi mantida. A presença desta banda implica que o painel está sustentado pelo agente aglutinante e que há sinergia entre ambos (Figura 56).

4.3.3.4 MEV dos painéis

As imagens de MEV foram obtidas em detector de elétrons retro-espalhados, de forma a dar maior contraste na imagem e diferentes tons de cinza para diferentes materiais.

A Figura 57 mostra um grumo de resina FF, com baixa aderência na interface resina/partícula, bem como nódulos de farinha de trigo (extensor) que não tiveram boa dispersão à massa de resina (destaques nas figuras 57 A e B).

Figura 57: A) Grumo de resina com baixa aderência na interface resina-partícula. B) Nódulo de farinha não solubilizada.

A micrografia mostrada na Figura 58 revela a interface resina/partícula da resina UF. Apesar de ter uma polimerização pouco melhor do que a resina FF, fatores como a presença massiva de água e farinha de trigo, bem como um baixo teor de resina acarretaram num baixo desempenho estrutural do painel OSB de Balsa com

resina UF. A interface resina/partícula se apresentou ligeiramente mais eficiente do que a apresentada pela resina FF.

A resina UF não apresenta caráter expansivo, portanto sua capacidade em preencher os vazios é menor, ao contrário da resina PU-Mamona, o que pode ter colaborado para seu melhor desempenho (Figura 60). Nota-se na figura que a expansão do poliuretano pela presença de bolhas.

Figura 58: A) Porção de resina UF polimerizada. B) Interface com baixa interação resina/partícula.

A Figura 59 traz detalhes importantes referentes à resina UF, mostrando regiões onde a interface resina/partícula obteve bom desempenho (A) e outras regiões onde surgiram fissuras após a consolidação dos painéis. Tais condições não foram verificadas visualmente, somente através das micrografias. Essas fissuras podem ser decorrentes da preparação das amostras, visto que foram fraturadas e não cortadas nem polidas.

Figura 59: A) Interface resina/partícula com bom desempenho. B) Rachaduras na resina UF.

A resina PU-Mamona (Figura 60) apresentou a melhor interação resina/partícula em relação às outras resinas. A interface é praticamente contínua, fato que é favorecido pelo caráter ligeiramente expansivo da resina durante a fase de polimerização. Tal fato pode ser constatado visualmente. A afinidade química entre a resina e a partícula também promoveu uma melhor encolagem, como ficou demonstrado pelos ensaios de DRX, FTIR e TG-DSC. Constatou-se através das micrografias que a resina PU-Mamona apresenta maior quantidade de bolhas nos vazios do próprio material, porém se densifica quanto mais próxima das fibras. Nota-se também ausência de quaisquer grumos ou rachaduras.

Figura 60: Interface resina/partícula com bom desempenho na resina PU-Mamona

5 CONCLUSÕES

5.1 Partículas:

O ensaio de análise química evidenciou que a madeira Balsa tem como características a alta porcentagem de celulose e baixo teor de lignina, o que segundo a bibliografia indica, é um fator de redução de eficiência para as resinas. Tal fato foi comprovado mediante os ensaios e ao comportamento mecânico dos painéis.

A presença de vazios e poros nas partículas da madeira Balsa podem ter colaborado para o baixo desempenho das resinas, principalmente em relação ao teor utilizado das resinas UF e FF (8%). Este pode ter sido um dos fatores em que o desempenho da resina PU-Mamona tenha sido superior. O teor de resina PU-Mamona utilizado nos painéis foi de 12%.

Sugere-se que as partículas sejam secas em estufa além dos 12% de umidade, de forma a ficarem entre 5 e 2%. Tal medida poderá melhorar a encolagem das resinas UF e FF visto que a água livre no painel diminuiu consideravelmente o desempenho mecânico das respectivas resinas.

5.2 Resinas

A resina FF possui grupos OH nos reagentes e em menor quantidade, no produto final da reação de polimerização. Da mesma forma, a resina UF possui grupos NH, tanto nos reagentes como no produto final da reação. Essas duas estruturas, OH e NH, possuem alta afinidade com água. Tal característica associada à presença de estruturas como a hemicelulose presente na madeira, que também possui grande afinidade com água, gera um passivo aquoso na reação de polimerização por condensação estabilizando o processo antes da conversão total dos reagentes em polímeros estáveis.

Essas características das resinas UF e FF acarretam, portanto, em conjunto com a hemicelulose um menor poder de aglutinação e um alto índice de absorção de água

no compósito. Tais características foram corroboradas pelos fracos resultados dos ensaios de absorção e inchamento e ensaios mecânicos.

Diferentemente das resinas UF e FF, o nitro-composto C-N se mantém ligado à estrutura principal da cadeia polimérica na resina PU-mamona, conferindo ao polímero gerado uma maior resistência mecânica, bem como menor afinidade com água. Tais características tiveram um reflexo direto nas propriedades mecânicas do painel OSB de Balsa e resina PU-mamona.

A grande quantidade de água, tanto resultante da polimerização, quanto a naturalmente presente na madeira, interferem de forma significativa na polimerização das resinas FF e UF. O processo de prensagem a quente acaba ainda por vaporizar parte dessa água, o que resultou na desagregação dos painéis logo em seguida da retirada da prensa, o que não se observou nos painéis feitos com resina PU-mamona.

O aumento do teor de resina está diretamente ligado a um possível aumento de custo de produção dos painéis. Há, portanto, a necessidade de se investigar o teor ótimo de forma a otimizar a relação custo/benefício.

Sugere-se em pesquisas futuras que o cálculo da massa de resina seja feito levando-se em consideração o teor de sólidos e não somente a massa absoluta da resina líquida. Dessa forma o teor de resina será consideravelmente maior de acordo com os dados da Tabela 9.

5.3 Painéis:

Os painéis OSB de Balsa e resinas UF e FF, de acordo com os ensaios de TG-DSC apresentaram baixo teor de resina. Tal característica corrobora com os resultados dos ensaios físico-mecânicos, onde tais painéis apresentaram baixo desempenho estrutural.

Ainda foi possível inferir que, de acordo com o resultado dos ensaios, o teor de resina PU-mamona foi suficiente para agregar o painel. As curvas de TG-DSC do painel OSB de Balsa e resina PU-mamona mostraram que houve sinergia entre a resina e as lascas de madeira, o que explica o desempenho físico-mecânico superior dos referidos painéis em relação a seus pares feitos com resinas FF e UF.

As imagens de MEV dos painéis de Balsa com resina FF revelaram que o extensor da resina (farinha de trigo) não teve uma diluição eficiente na resina, formando grumos que impediram a ação efetiva de adesão das resinas às fibras.

Através dos resultados dos ensaios microestruturais, provou-se que a farinha de trigo não contribui para o desempenho das resinas, podendo ser removida da receita em pesquisas futuras.

Os resultados aquém dos parâmetros normativos por parte dos painéis de Balsa com resinas UF e FF ainda puderam ser justificados com os ensaios microestruturais, que, por diversos fatores, indicaram a não consolidação dos painéis, bem como uma interação fraca entre resina e partícula. A figura 60 mostra blocos de resina que não aderiram às fibras, bem como grumos de farinha de trigo que não tiveram boa dispersão à massa de resina (pontos circulares na imagem).

Os painéis feitos com resinas UF e FF não atingiram os requisitos normativos. Os resultados dos ensaios microestruturais (FTIR, DRX e TG) demonstraram que uma das possíveis causas do baixo desempenho dos painéis com as resinas UF e FF pode ser atribuída à baixa concentração de resina.

Os ensaios de caracterização microestrutural revelaram que os painéis feitos com as resinas UF e FF não obtiveram um bom desempenho devido ao baixo teor de resina no painel, bem como à interação química com a celulose, tornando-a menos resistente.

Os painéis de madeira Balsa com resina poliuretana a base de mamona atendem os requisitos normativos na Classe 1, de uso interno e não estrutural.

Os painéis aglomerados com resina PU-Mamona mostraram-se promissores, atendendo os parâmetros normativos, necessitando apenas de ajustes em pesquisas futuras ou numa possível industrialização.

A resina PU-Mamona mostrou-se quimicamente compatível com a madeira Balsa, com boa polimerização e bons resultados mecânicos. Por ser de origem vegetal e não emitir formaldeído no processo de cura, pode ser considerada como real alternativa à industrialização de painéis de madeira.

O ensaio de condutibilidade térmica mostrou que a densificação do painel alterou significativamente o valor de referência da condutibilidade térmica da

madeira balsa maciça. Mesmo com essa alteração, a condutividade térmica do painel pronto de equiparou à de madeiras leves maciças, ou seja, sem densificação.

5.4 Perspectiva de Continuidade da Pesquisa

5.4.1 Partículas

A madeira Balsa se mostrou como uma boa alternativa para a fabricação industrial de painéis OSB, visto que possui boa resistência específica, acelerado crescimento da árvore e crescente área de reflorestamento no Brasil.

Levantou-se a necessidade de se avaliar a permeabilidade da madeira Balsa. Tal propriedade está ligada diretamente à absorção de resina durante o processo de encolagem. Conhecendo-se melhor os valores para permeabilidade, possibilitará a otimização dos teores de resina.

Outro fator que deverá ser investigado são as dimensões da partícula, visto que a norma preconiza o uso de Pinus. É possível que um estudo aprofundado analisando o índice de esbeltez em relação à resistência da Balsa resulte em dimensões de partículas diferentes, demandando assim o desenvolvimento de um moinho de disco específico.

Abrem-se algumas possibilidades envolvendo tratamentos das partículas como termo-retificação, com avaliação físico-mecânica de painéis feitos após o tratamento com objetivo de otimizar a desempenho dos painéis.

5.4.2 Resinas

O uso da madeira Balsa para a fabricação de painéis com resinas UF e FF deverá ser feito utilizando-se teores de resina maiores que 8% para a madeira Balsa em pesquisas futuras. Sugere-se teores por volta de 12%, semelhantes à resina PU-Mamona. Dessa forma, buscar-se-ia atingir boas propriedades com o uso de resinas comerciais, com aplicação já consagrada na indústria de painéis de madeira e custo menor que a resina PU-Mamona.

As imagens de MEV da estrutura da madeira Balsa mostraram grande quantidade de vasos, vazios e poros. Tal característica justifica um possível aumento dos teores de resina em pesquisas futuras.

5.4.3 Painéis

Sugere-se a execução de ensaios de envelhecimento acelerado, uso de diferentes preservativos e resistência ao ataque de cupins de forma a se analisar a durabilidade dos painéis.

Os painéis de baixa e média densidades tiveram uma alta taxa de compactação devido à baixa densidade apresentada pela madeira Balsa. Sugerem-se pesquisas com painéis de densidade entre 250-400 kg/m³ de forma a manter a taxa de compactação mais próxima de 1,6, preconizado pela bibliografia. Dessa forma, espera-se obter painéis de menores densidades, com comportamento esperado melhor em termos de condutividade térmica e com propriedades mecânicas semelhantes, visto que o amassamento das fibras da madeira será menor. Dessa forma se tornaria possível o uso de painéis leves na fabricação de móveis para uso veicular e aplicações leves conforme indicado por Hellmeister (2011).

Recomenda-se revestir os painéis para melhorar a absorção e inchamento. Poderão ser utilizados látex natural, filmes poliméricos, etc.

Como aplicação prática e validação das boas propriedades isolantes dos painéis, sugerem-se investigações do uso dos painéis OSB de madeira Balsa em condições reais para forros, envolvendo testes de envelhecimento, bem como degradação por insetos xilófagos, com e sem tratamentos preservativos nas partículas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3A COMPÓSITOS. Fabricante de materiais compósitos. **http://www.3accorematerials.com/en/products/banova/banovareg-ply.html/**, 20¹⁴
Disponível em: <Site principal: <http://www.3acomposites.com/>>. Acesso em: out. 2014.

A, F. Santiago CM (2013) Cellulose polymorphy, crystallite size, and the 366 Segal Crystallinity Index.

ABRAF. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF**, Brasília, n. 2012, 2013.

ABRAMENTO, M. **Durabilidade e comportamento de longo prazo de geossintéticos - Parte 11 - Durabilidade dos Materiais**. SIMPÓSIO DE APLICAÇÕES DE GEOSSINTÉTICOS. São Paulo: [s.n.]. 1995. p. 227-235.

AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso das fibras vegetais**. Tese (Livre-docência) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 204. 1991.

ALBUQUERQUE, C.E. C. ET AL. Diagnóstico da variação do conteúdo de umidade da madeira no processo de produção de chapas de madeira aglomerada. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. n.1, p. 121-128, 2000.

ALTER, L. FEMA Ignored or Buried Formaldehyde Research., 2008. Disponível em: <<https://www.treehugger.com/corporate-responsibility/fema-ignored-or-buried-formaldehyde-research.html>>. Acesso em: 18 jan. 2018.

ALVAREZ, D.O. **Caracterización físico - mecánica de morteros fibroreforzados de matriz cementicia y fibra de coco**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, p. 85. 2008.

ALVES, S. T. **Estudos sobre o pau-de-balsa (Ochroma pyramidale, Cav. Urb. Bombacaceae.). CONGRESSO NACIONAL DE SILVICULTURA**. São Paulo SP, Brasil: Anais, Vol.2. 1982.

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE. **ANSI A208.1.** Particleboard. Gaithersburg. 1999.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Method for Accelerated Laboratory Test of Natural Decay Resistance for Woods.** ASTM D-2017. Philadelphia. 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E1530-11.** Evaluating the Resistance to Thermal Transmission of Materials by the Guarded Heat Flow Meter Technique. West Conshohocken. 2014.

ANDERSON, D. Great Planes Model Manufacturing. **Disponível em:** <http://www.greatplanes.com/discontinued/gpma0220.html>, 2013. Acesso em: 22 maio 2013.

ARAUJO, L. C. R. **Caracterização química e mecânica de poliuretanas elastoméricas baseadas em materiais oleoquímicos.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Física e Química, Departamento de Física e Química de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 1992.

ARBOCENTER. Sementes e Flores do Pau-de-Balsa. **Arbocenter**, 2017. Disponível em: <https://www.sementesarbocenter.com.br/sementes-de-pau-de-balsa.html>. Acesso em: 12 set. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14833-1.** Revestimento de Pisos Laminados Melaninicos de Alta Resistencia. Parte 1: Requisitos, características, classes e métodos de ensaio. Rio de Janeiro. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220.** Desempenho térmico de edificações parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-3.** Chapas de Madeira Aglomerada: Parte 3: Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro. 2006.

BAGLEY. Imagem da árvore da espécie Ochroma Pyramidale. **Disponível em:** <http://bagleybait.com/balsa-lures/>, 2014. Acesso em: 16 dez. 2014.

BALSABAUN. Imagem de uma tora de balsa sendo carregada por um homem. **Disponível em** <http://www.balsabaum.com/sortiment/>, 2014. Acesso em: 16 dez. 2014.

BARBOSA JR., V. et al. Biobased composites from tannin-phenolic polymers reinforced with coir fibers. **Industrial Crops and Products**, v. 32, p. 305-312, 2010.

BARNETT, J. J. G. **Wood Quality and its Biological Basis**. [S.l.]: [s.n.], 2003. 240 p.

BARROS FILHO, R. M. **Painéis aglomerado a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas uréia formaldeído e melamina formaldeído**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais - Processos de Fabricação, Departamento de Engenharia de Materiais, Rede Temática em Engenharia de Materiais. Ouro Preto, p. 99. 2009.

BASTOS, L. P. **Desenvolvimento e caracterização acústica de painéis multicamadas unifibra, multifibras e mesclados, fabricados a partir de fibras vegetais**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Concentração em Vibrações e Acústica, Universidade Federal do Pará. Belém, p. 155. 2009.

BELINI, U.L. ET AL. Near infrared spectroscopy for estimating sugarcane bagasse content in medium density fiberboard. **Bioresources**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 1816-1829, abr. 2011.

BERTOLINI, M. D. S. **Painéis de resíduos madeireiros e de borracha de pneu associados à espuma poliuretana**. São Carlos: USP, v. Tese, 2014.

BERTOLINI, M. S. . M. S. et al. Accelerated artificial aging of particleboards from residues of CCB treated Pinus sp and castor oil resin. **Materials Research**, São Carlos, v. 16, n. 02, p. 293-303, 2013.

BERTOLINI, M. S. **Emprego de resíduos de Pinus sp tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona**. Dissertação (Mestrado) - Curso em Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 129. 2011.

BERTOLINI, M.S. ET AL. Eco-panels based on wastes from urban trees and castor oil polyurethane resin. **International Journal Of Agriculture And Forestry**, [S. L.], 2013. 12-15.

BIANCHE, J. J. **Propriedades de aglomerado fabricado com partiulas de eulipto (Eucalyptus urophylla), Paricá (Schizoloviu amazonicum) e vassoura (Sida**

spp). Dissertação (Mestrado) – Curso em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 93. 2009.

BITTENCOURT, E.; ALARCON, O. E.; FARIAS, M. G. **Chapas Aglomeradas a partir de resíduos de madeira reforçada com fibras vegetais**. Anais. ed. Uberlândia MG: EBRAMEM, v. 8, 2002.

BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibres. **Progress in Polymer Science**, Oxford, v. 24, p. 221-274, 1999.

BONDUELLE, G. M.; IWAKIRI, S. Fatores que influenciam no rendimento em laminação de Pinus spp. **Floresta e Ambiente**, v. 12(2), p. 35-41, 2006.

BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARCIA, J. N. Propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de painéis compensados e OSB. **Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 4, p. 557-564, 2004.

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. Iowa State Press. **Forest products and wood science: an introduction**, Ames, n. 4, 2003.

BRITO, E. O. et al. Chapas de madeira aglomerada de uma camada de Pinus elliottii Engelm com a adição das cascas de Eucalyptus pellita F. Muell. **Revista Cerne**, v. 11, n. 4, p. 369-375, 2005.

BRITO, E.O. ET AL. Propriedade de chapas produzidas com resíduos do fruto de coco e partículas de pinus. **Floresta e Ambiente**, v. 1, n. 2, p. 1-6, 2004.

BUCL, A. **Produtores realizam o primeiro corte do pau de balsa em seis municípios de MT**. Cuiabá.: EMPAER-MT, 2011.

CABRAL, C.P. ET AL. Propriedades de chapas de aglomerado confeccionadas com misturas de partículas de Eucalyptus spp e Pinus elliottii. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 897-905, 2007.

CALLISTER JR, W. D. **Ciência e engenharia de materiais**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CALLISTER JR., W. D. **MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING: An Introduction**. 7th. ed. Nova York, EUA: John Wiley & Sons, 2006.

CALLISTER JR., W. D. **MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING: An Introduction**. 8th. ed. Nova York, EUA: John Wiley & Sons, 2009.

CAMPOS, A.C.M. ET AL. Near infrared spectroscopy to evaluate composition of agro-based particleboards. **Bioresources**, Raleigh USA, v. 4, p. 1058-1069, jun. 2009.

CAMPOS, C. I. **Propriedades físico-mecânicas de MDF produzido com fibras de madeira de reflorestamento e adesivos alternativos em diferentes teores**. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 113.

CARNEIRO, A.C.O. ET AL. Propriedades de chapas de flocos fabricadas com adesivo ureia-formaldeído e de taninos da casaca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden ou de *Eucalyptus pellita* F.Muell. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 5, p. 715-724, 2004.

CASTRO, MONIK BEGNAME DE; CÉSAR, ANTÔNIA AMANDA DA SILVA; BUFALINO LINA; MENDES LOURIVAL MARIN; MENDES RAFAEL FARINASSI. **Resistência mecânica de painéis OSB de pinus e eucalipto**. [S.l.]: Anais XIII EBRAMEM. 2012.

CHAMMA, P. V. C. **Produção de painéis a partir de resíduos sólidos para uso como elemento arquitetônico**. Tese (Doutorado) - Curso em Agronomia, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho". Botucatu. 2004.

CHANG, H. T.; YEH, T. F.; CHANG, S. T. Comparisons of chemical characteristic variations for photodegraded softwood and hardwood with/without polyurethane clear coatings. **Polymer Degradation and Stability**, v. 77, p. 129-135, 2002.

CHIPANSKI, E. D. R. **Proposição para melhoria do desempenho ambiental da indústria de aglomerado no Brasil**. Dissertação (Mestrado) - Curso em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 193. 2006.

CLARAMUNT, J.; ARDANUY, M.; GARCIA-HORTAL, J. A. Effect of drying and rewetting cycles on the structure and physicochemical characteristics of softwood fibres for reinforcement of cementitious composites. **Carbohydrate Polymers**, Kidlington, v. 79, n. 1, p. 200-205, Jan 2010.

CLARO NETO, S. C. **Caracterização Físico-Química de um Poliuretano Derivado de Óleo de Mamona Utilizado para Implantes Ósseos**. 1997. 127 p. Tese (doutorado), Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 1997.

CLOUTIER, A. **Oriented strandboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties, and uses**. INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY. Belo Horizonte, MG.: [s.n.]. 1998. p. 173-185.

COLLI, A. ET AL. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de paricá (*Schyzolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e fibras de coco (*Cocos nucifera* L.). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 333-338, out. 2010.

COPROMAB-MT, C. D. P. D. P.-D.-B. D. M. G. **Pau-de-balsa: aptidões e desafios**. [S.l.]: EMBRAPA-MT. 2012.

CRAVO, J. C. M. **Compósito particulado de baixa densidade com casca de amendoim, fibra de coco verde e resina poliuretana à base de óleo de mamona para aplicação como forro de galpões avícolas**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Departamento de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo. Pirassununga, p. 167. 2013.

DAMASCENO, S.M. ET AL. Utilização da biomassa no desenvolvimento de novos produtos. **Revista Pesquisa e Extensão**, Montes Claros, v. 2, n. 1, p. 17-19, 2012.

DANIELS, P. L. Working with Balsawood – The definitive guide to using Balsa,. **Disponível em:** <http://pldaniels.com/flying/balsa/balsa-properties.html>. Acesso em: 22 maio 2013.

DEL MENEZZI, C. H. S. ET AL. DEL MENEZZI, C. H. S et al. Efeito do carregamento cíclico sobre as propriedades de flexão de painéis comerciais de MDF e MDP. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 403-409, jul/set. 2011.

DEMUTH. Imagem de Picador de Disco. **Disponível em:** DEMUTH - <http://www.demuth.com.br/produtos/index.php?prod=1>, 2014. Acesso em: 17 dez. 2014.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. Tese (Doutorado) - Curso de

Física e Química, Departamento de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 151. 2005.

ELEOTÉRIO, J. R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, p. 121. 2000.

EMBRAPA. **Importância econômica da cocoicultura no Brasil**, 2015. Disponível em: <<http://www.sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Coco/ACulturadoCoqueiro/importancia.htm>>. Acesso em: 1 jun. 2015.

EN 12369-1. **Wood-based panels - characteristic values for structural design - Part 1: OSB, particleboards and fiberboards**. Norma europeia para painéis OSB e painéis de fibra. Irlanda. 2001.

EN300. **Oriented Strand Boards (OSB) - Definitions, classification and specifications**. [S.l.]: [s.n.], 2006.

FAGUNDES, H. A. V. **Diagnóstico da produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre RS: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFGRS, 2003.

FAGURY, R. V. G. **Avaliação de fibras naturais para a fabricação de compósitos: açaí, coco e juta**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Pará. Belém, p. 83. 2005.

FAO. **ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA**. Porto Editora, 2013. Porto, Portugal. 2013.

FERNÁNDEZ, M. A. V. **Avaliação dos processos de polpação soda-antraquinona e bissulfito-base magnésio para bambu - Dissertação (Mestrado)**. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ-USP. Piracicaba, p. 90. 2010.

FERREIRA, C. E. M.; CARRASCO, E. V. M.; HELMEISTER, J. C. **Tecnologia de adesivos poliuretanos, propriedades e aplicações em madeiras**. Anais. ed. São Carlos SP: EBRAMEM, v. LaMEM-EESC-USP, 1989.

FERRO, F. S. **Painéis OSB com madeira *Schizolobium amazonicum* e resina poliuretana à base de óleo de mamona: viabilidade técnica de produção.** EESC - USP. [S.l.]. 2013.

FINGER, Z.; LOGSDON, N. B.; ROCHA, K. J. Descrição dendrológica e caracterização física da madeira de Pau-de-balsa, *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam) Urb. **Encontro Brasileiro Em Madeiras E Estruturas De Madeira.**, Vitória, Anais. UFES, 2012. CD-ROM 1., 2012.

FIORELLI, J. **Desenvolvimento, produção e caracterização de painéis de partículas lignocelulósicas de resíduos agroindustriais.** Tese (Livre Docência), Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo. Pirassununga, p. 161. 2013.

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, p. 401-406, 2011.

FIORELLI, J. ET AL. Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An eco-efficient product. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 40, n. 4, p. 69-75, Nov. 2012.

FIORELLI, J. ET AL. Physico-chemical and anatomical characterization of residual lignocellulosic fibers. **Cellulose**, Dordrecht, v. 21, p. 3269-3277, 2014.

FIORELLI, J. et al. **Multilayer Particleboard Produced with Agroindustrial Waste and Amazonia Vegetable Fibres.** v. 8, p. 1-11. ed. [S.l.]: Waste and Biomass Valorization, 2017.

FONTENELE, R. E. S. **Cultura do Coco no Brasil:** caracterização do mercado atual e perspectivas futuras. in: CONGRESSO DA SOBER “INSTITUIÇÕES, EFICIÊNCIA, GESTÃO E CONTRATOS NO SISTEMA AGROINDUSTRIAL. Anais. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural. 2005. p. 24-27.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook—Wood as an engineering material.** Madison, WI: USDA - Department of Agriculture, v. General Technical Report FPL-GTR-190, 2010.

FRANCO, F. J. P. **Aproveitamento da fibra do epicarpo do coco babaçu e compósito com matriz de epóxi: estudo do efeito do tratamento da fibra.** 2010, 77p.

Dissertação (Mestrado) – Curso em Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2010.

FRENCH, A. D. Idealized powder diffraction patterns for cellulose polymorphs. **Cellulose**, v. 21, p. 885-896, 2014.

FRENCH, A.; SANTIAGO, C. M. Cellulose polymorphy, crystallite size, and the 366 Segal Crystallinity Index. **Cellulose**, v. 20, p. 583-588, 2013.

FU, S.; SONG, P.; LIU, X. Thermal and flame retardancy properties of thermoplastics/natural fiber biocomposites. **Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction**, p. 479-508, 2017.

FUENTES, T. **Elaboración y evaluación físico mecánica de tableros aglomerados a partir de las partículas de las astillas del fuste de la palma de coco**. 1989. 104p. Tese (Doctorado) - Curso de Ingeniería, Departamento de Madera, Celulosa y Papel, Universidad de Guadalajara. Guadalajara. 1989.

GARZÓN, N. E. A. **Application of methodologies for durability evaluation of sugar cane bagasse particle boards**. in: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NON-CONVENTIONAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES. Anais...João Pessoa, 2013: [s.n.]. 2013.

GOMEZ, F. M.; CHAGAS, M. P.; SETTE JR., C. R. T. **Avaliação da densidade aparente da madeira de 8 espécies de eucalipto**. Piracicaba: Pós-Graduação em Recursos Florestais, Dep. de Ciências Florestais, ESALQ/USP, 2013.

GRIGORIOU, A. H.; NTALOS, G. A. The potential use of *Ricinus communis* L. (Castor) stalks as a lignocellulosic resource for particleboards. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, p. 209-218, Abr. 2000.

GRIGORIOU, A. H.; NTALOS, G. A. The potential use of *Ricinus communis* L. (Castor) stalks as a lignocellulosic resource for particleboards. **Industrial Crops and Products** **13** (2001) **209-218**, Thessaloniki, v. 13, p. 209-218, 2001. ISSN [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(00\)00078-9](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(00)00078-9).

GROUP, S. **Fichas Técnicas das resinas Fenol-Formaldeído (FF) e Uréia-Formaldeído (UF)**. Rio Claro: SI GROUP - Indústria Química, 2015.

GRUNEWALD, S. J. NEW 3D PRINTING MATERIAL MIMICS LIGHT WEIGHT BALSA WOOD FOR USE IN WIND TURBINE CONSTRUCTION. **3D**

PRINTING INDUSTRY, 2015. Disponível em: <<https://3dprintingindustry.com/news/3d-printing-material-light-weight-balsa-wood-29265/>>. Acesso em: 09 setembro 2017.

HAAFIZ, M. K. M. et al. Isolation and characterization of microcrystalline cellulose from oil palm biomass residue. **Carbohydr Polym**, v. 93, p. 628–634, 2013.

HARRINGTON, J. J. M. A. S. **Handbook on structural timber design to Eurocode 5 (IS EN 1995-1-1)**. James Harrington and Associates - National Council for Forest Research and Development. COFORD. Dublin, Ireland. 2006.

HASELIEN, C. R. **Análise de parâmetros para a fabricação de chapas de partículas de madeira aglomeradas de madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex - Maiden) e embaúba (*Cecropiasp.*)** Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 75. 1989.

HAVILLAND, I. A. D. Mosquito Bomber awaiting restoration in Nanton, Alberta. **Disponível em** <http://imgur.com/gallery/sOVd8>. Acesso em: 22 maio 2013.

HELLMEISTER, J. C. **Sobre a determinação das características físicas da madeira. Tese (Doutorado)**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. EESC-USP. São Carlos, p. 119. 1982.

HELLMEISTER, V. **ESTUDO COMPARATIVO DE SISTEMA CONSTRUTIVO DE MÓVEIS PARA APLICAÇÃO VEICULAR**. Curitiba: Programa de Pós Graduação em Design, Universidade Federal do Paraná. UFPR., 2011.

HIGA, A. R. . K. P. Y. . F. M. **Variação da densidade básica da madeira de *P. elliottii* var. *elliottii* e *P. taeda***. [S.l.]: IPEF. 1973. p. vol 7,79-91.

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

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e cácianegra. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 59-65, 2002.

HSE, C. Y.; XIA, Z. Y.; B., T. Effects of Reaction pH on Properties and Performance of Urea-Formaldehyde Resins, *Holzforschung*, v. 48, p. 527- 532, 1994.

IMAGESHACK. Disponível em : <http://img836.imageshack.us/img836/7259/mosquitom.jpg>, 2013. Acesso em: 22 maio 2013.

IMGUR A DE HAVILLAND. Mosquito Bomber awaiting restoration in Nanton, Alberta. Disponível em <http://imgur.com/gallery/sOVd8>, 2013. Acesso em: 22 maio 2013.

INTERRANTE, L. V.; HAMPDEN-SMITH, M. J. **Chemistry of Advanced Materials: an Overview**. [S.l.]: Willey-VCH: New York, 1998.

ISOBE, N. et al. Mechanism of cellulose gelation from aqueous alkali-urea solution. *Carbohydr Polym*, v. 89, p. 1298-1300, 2012.

IWAKIRI, S. . M. L. M. . S. L. K. . S. J. D. Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas-OSB. *Cerne*, Lavras, 2004.

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

IWAKIRI, S. E. A. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melanina-ureia-formaldeído. *Cerne*, Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, out./dez. 2005.

IWAKIRI, S. ET AL. Produção de painéis aglomerados homogêneos e multicamadas de Melia azedarach (Cinamono) e Pinus taeda com diferentes teores de resina. *Cerne*, Lavras, v. 18, n. 3, p. 465-470, 2012.

IWAKIRI, S.; SALDANHA, L.K.; ALBUQUERQUE, C.E.C. DE; MENDES, L. M. Influência da espessura de partículas e reforço laminar nas propriedades dos painéis de partículas orientadas OSB de Pinus taeda L. *Cerne*, Lavras, v. 15, n. 1, p. 116-122, jan./mar 2009.

IWAKIRI, S.; SILVA, J. DE C.; SILVA, J. R. M. DA; ALVES, C. R.; PUEHRINGER, C. A. Produção de compensados de Pinus taeda L. e Pinus oocarpa Schiede com diferentes formulações de adesivo ureia-formaldeído. *Árvore*, Viçosa, v. 26, n. 03, maio/junho 2002.

IWAKIRI, S.; SILVA, J. DE C.; SILVA, J. R. M. DA; ALVES, C. R.; PUEHRINGER, C. A. Produção de compensados de *Pinus taeda* L. e *Pinus oocarpa* Schiede com diferentes formulações de adesivo ureia-formaldeído. **Árvore**, Viçosa, MG., v. 26, n. 3, maio/juho 2002.

JANSSENS, D. P. **The increasing recognition of oriented stranboard (OSB) as referred structural panel**. In: International Seminar On Solid Wood Products Of High Technology. Belo Horizonte: Anais. Belo Horizonte: SIF. 1998. p. 169-172.

JARA, E. R. P. **A geração de resíduos pelas serrarias**. São Paulo: ABPM, v. no. 59, 1987.

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

JONES, D. et al. Chemical compositions of natural fibres. **Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction**, p. 23-58, 2017.

KELLY, M. W. **A critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards**. General Technical Report FPL-10 - Forest Product Laboratory. Madison, U.S., p. 66. 1977.

KELLY, M. W. **Critical Literature Review of Relationships Between Processing Parameters and Physical Properties of Particleboard**. USDA, for. Ser. Gen. Tech. Rep. FPL v.10. Madison, p. 66. 1977.

KHODER, M. I. et al. **Indoor and outdoor formaldehyde concentrations in homes**. in: residential areas in Greater Cairo, J.E.M. 123p. Cairo: [s.n.]. 2000.

KIM, M. G. Examination of Selected Synthesis Parameters for Typical Wood Adhesive-Type Urea-Formaldehyde Resins by ^{13}C NMR Spectroscopy. **I journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry**, 37, 1999. 995-1007.

KLEIN, R. M. **Meliaceas**. Itajai, Santa Catarina. Brasil: [s.n.], v. 140., 1984.

KNOP, A.; SCHEIB, W. **Chemistry and Application of Phenol Resins (Polymer/Properties and Applications3)**. New York Spring-Verlag Berlin: Heidelberg, 1979. 248 p.

KOLLMANN, F. F. P.; COTE, W. A. J. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer, 1968. 562 p.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology**. Berlim: Springer-Verlag, 1975. 703 p.

KONTTURI, E.; VUORINEN, T. Indirect evidence of supramolecular changes within cellulose microfibrils of chemical pulp fibers upon drying. **Cellulose**, Dordrecht, v. 16, n. 1, p. 65-74, Feb. 2009.

KOTLAREWSKI, E. A. "Balsa thermal conductivity,". **BioResources**, 2014. ISSN 5784-5793.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura en los trópicos**: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. [S.l.]: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1990.

LANGFORD, J. I.; WILSON, A. J. C. Scherrer after sixty years: A survey and some new results in the determination of crystallite size. **J Appl Cryst**, v. 11, p. 102-113, 1978.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**. [S.l.]: plantarum-Verlag, 1992.

LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. D.; ALENCAR, J. D. C. **Essências madeireiras da Amazônia**. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia - Por Icones, Anatomy and morphology. Plant records., 1979. 245 p.

MACRAE, C. F. et al. Wood PA Mercury CSD 2.0-new features for the visualization and investigation of crystal structures. **J Appl Crystallogr**, v. 41, p. 466-470, 2008.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. 3. ed. [S.l.]: São Francisco: M. Freeman, 1993.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. 2. ed. [S.l.]: São Francisco: Miller Freeman, 1993. 689 p.

MASISA. Fabricante de painéis de madeira reconstituída. Disponível em <http://www.masisa.com/bra/>, 2014. Acesso em: 11 fev. 2014.

MATHEUS, E. **Efeitos do envelhecimento acelerado e do dano mecânico induzido no desempenho e durabilidade de alguns geossintéticos**. 2002. 324f. Tese (Doutorado) – Curso em Engenharia Civil e Ambiental, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília. 2002.

MATOS, J. L. M. **Ciclo da prensa em chapas de partículas estruturais Waferboards**. 1988. 164 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 1988.

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

MEDEIROS. MEDEIROS, Ana. Disponível em: <http://www.acasaqueaminhavoqueria.com/wp-content/uploads/2013/04/compensado.jpg>, 2013. Acesso em: 24 maio 2013.

MEJIA, J. E. B. **Compósitos cimentícios reforçados com polpa celulósica tratada por hornificação para aplicação em construções rurais**. Pirassununga: Universidade de São Paulo, v. 158f. Dissertação de mestrado, 2014.

MELLO DA SILVA, S. A. **Chapa de media densidade (MDF) fabricada com poliuretana mono-componente derivada de óleo de mamona- caracterização por método destrutivo e por ultra som**. 2003. Tese (Doutorado) – Curso em Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2003.

MELO, R. R. E. A. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 449-460, 2009.

MELO, R. R.; DEL MENEZZI, C. H. Influencia da massa especifica nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados. **Silva Lusitana**, v. 18, n. 1, p. 59-73, 2010.

MENDES, L. M. et al. Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 135-145, 2002.

MENDES, R.F ET AL. The adhesive effect on the properties of particleboards made from sugar cane generate in the distiller. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 32, n. 2, p. 209-218, 2009.

MENDES, R.F. ET AL. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, p. 285-289, 2010.

MOON et al. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. **Chem Soc Rev**, v. 40, p. 3941–3994, 2011.

MORESCHI, J. C. **PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA MADEIRA**. Curitiba: UFPR, 2012.

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

MOTTA, L. A. C.; AGOPYAN, V. **Caracterização de fibras curtas empregadas na construção civil**. [S.l.]: São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2007.

MOURA, M. J.; FIGUEIREDO, M. M. **Aplicação das Técnicas de Picnometria de Gás e de Porosimetria de Mercúrio à Caracterização da Madeira de E. globulus. LABGRAN**. Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Química. Portugal. 2002.

MUTLU, H. A. M. M. A. R. Castor oil as a renewable resource for the chemical industry. **Euro J. Lipid Science Technologie**. ISSN doi:10.1002/ejlt.200900138.

NASCIMENTO, M.F. ET AL. Painéis de partículas homogêneas fabricados com espécies de manejo da região da Caatinga do Brasil. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 5, n. 2, p. 1-10, 2013.

NISHIYAMA, Y.; LANGAN, P.; CHANZY, H. Crystal Structure and Hydrogen-Bonding System in Cellulose I β from Synchrotron X-ray and Neutron Fiber Diffraction. **J Am Chem Soc**, v. 124, p. 9074-9082, 2002.

OKINO, E. Y. A. E. A. Physico-mechanical properties of chemically modified sugar cane bagasse particleboards. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 52, p. 35-42, 1997.

OLIVEIRA, A. V. D. **UTILIZAÇÃO DE ROLO-RESTO GERADO PELA INDÚSTRIA DE CHAPAS COMPENSADAS NA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES POPULARES**. UFAM - Universidade Federal do Amazonas. Manaus AM, p. 60. 2010.

OLIVEIRA, S. L. **Painéis aglomerados de bagaço de cana de açúcar: caracterização visando ao uso na indústria moveleira**. 2013. 145f. Dissertação (Mestrado) – Curso em Ciência e Tecnologia em Madeiras, Universidade federal de Lavras. Lavras. 2013.

ORE, R. Technical Cutaway of a world war 2 De-havilland Mosquito light bomber showing the unique all wood construction. Imagem JPG. **Disponível em:** <http://clanger.cgsociety.org/gallery/>. Acesso em: 22 maio 2013.

ORELLANA, A. **Inventario de sistemas constructivos a base de paneles prefabricados, normalización y procedimientos para su caracterización**. 2009. 85f. TCC (Pre-graduação) - Curso de Ingeniería Civil, Departamento de Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2009.

OSHA. Occupational Safety and Health Standards - Department of Labor. **Occupational Safety and Health Administration**, 2009. ISSN 1910.1048. Disponível em: https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_id=10075&p_table=STANDARDS. Acesso em: 2018.

OSTLUND, A. ET AL. NMR cryoporometry to study the fiber wall structure and the effect of drying. **Cellulose**, Dordrecht, v. 17, n. 2, p. 321-328, Apr. 2010.

PACHECO, A. UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Competição de Pontes de Madeira Balsa**, 2013. Disponível em: <http://chasqueweb.ufrgs.br/~apacheco/balsa/midia/bau/PropriedadesBalsa.pdf>. Acesso em: 22 maio 2013.

PAES, J. E. A. Qualidade de chapas de partículas de Pinus elliottii coladas com resina poliuretana sob diferentes combinações de pressão e temperatura. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 551-558, 2011.

PANYAKAEW, S.; FOTIOS, S. New Thermal Insulation Boards Made from Coconut Husk and Bagasse. **Energy and Buildings**, Lausanne, p. 1732-1739, 2011.

PASSOS, P. R. **Destinação sustentável de cascas de coco (Cocos nucifera) verde: Obtenção de telhas e chapas de partículas**. 2005. 186f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência em Planejamento, Universidade Federal de Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2005.

PAZETTO, V. M. F. **Efeito da espessura e do vão sobre deformação em flexão de painéis de madeira utilizados na produção de móveis**. 2009. 60f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Florestais, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília. Brasília. 2009.

PEREIRA, C. L. **Aproveitamento do resíduos do coco verde para produção de compósitos destinados à construção rural**. 2012. 137 f. Tese (Doutorado) – Curso em Zootecnia, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo. Pirassununga. 2012.

PETROVIC, Z.S. ET AL. **Thermosetting resins from vegetable oils**. In: Annual Thecnical Conference 57. New York: Proceedings... New York. 1999 1CD Rom.

PLURAL. **Resina Poliuretana LECOPOL F0911 - Boletim Técnico**. Plural Indústria e Comércio de Produtos Químicos. São Carlos - SP. 2015.

POLETO, S. F. S. E. A. Evaluation of the mechanical properties of particleboards manufactures with waste of *Pinus elliottii*. **International Journal of Composite Materials**, Rosemead, USA, 3, n. 3, 2013. 56-60.

PORTAL DA MADEIRA. Imagem de delaminação para fabricação de compensados. **Disponível em:** <http://portaldamadeira.blogspot.com.br/2010/04/contraplacado-processo-de-fabrico.html>. Acesso em: 17 dez. 2014.

POWER & SYRED. Site especializado em imagens de microscopia eletrônica por varredura (MEV). **Disponível em:** <http://www.psmicrographs.co.uk/balsa-wood-structure--ochroma-pyramidale-/science-image/80200232>, 2013. Acesso em: 22 maio 2013.

PROTOLAB. Tabela de Referência - Condutividade Térmica. **Protolab**, 2010. Disponível em: <http://www.protolab.com.br/Tabela-Conductividade-Material-Construcao.htm>. Acesso em: 18 janeiro 2018.

PUPO, H. F. D. F. **Painéis alternativos produzidos a partir de resíduos termoplásticos e da pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth) - Dissertação (Mestrado)**. Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrônomicas - FCA/UNESP. [S.l.]. 2012.

RECH, C. **Estudo sugere uso de serragem como insumo**. Curitiba: Revista da Madeira, v. no.66, 2002.

REVILLA, J. **Plantas da Amazônia: oportunidades econômicas e sustentáveis**. Manaus, Amazonas. Brasil: INPA/SEBRAE, v. p.335-338, 2001.

ROCHA, M. P. **Aspectos tecnológicos no desdobro de Pinus**. Curitiba PR: Revista da Madeira - Especial PINUS, 2002.

ROLLERI, A.; ROFFAEL, E. Influence of the surface roughness of particleboards and their performance towards coating. **Maderas, Cienc. Tecnol.**, Concepcion, v. 12, n. 2, p. 143-149, 2010.

ROWELL, R. M.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S. Characterization and factors effecting fiber properties. **Natural Polymers And Agrofibers Composites**, São Carlos, p. 115-134, 2000.

SALDANHA, L. K. **Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas "OSB"**. 2004 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2004.

SALDANHA, L. K. **Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas "OSB"**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 96. 2004.

SALT, D. A Tale of Three Timbers: The amazing structure of wood revealed by electron microscopy. **Science Wise - University, Australian National**, Australia, Volume IV, n. Nº - 4, (August/September 2007) 2007.

SAMLAIC, J. Os atuais problemas e as possibilidades dos adesivos para madeira. **Revista da Madeira**, v. 374, p. 7-10, 1983.

SANCHES, F. L. **Qualidade de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeira de quatro espécies florestais**. 2012. 80f. Dissertação (Mestrado) - Curso em Ciências Florestais, Universidade Estadual de Centro-Oeste. Irati. 2012.

SANDLER, S. R.; KARO, W. Polymer Synthesis. **Academic Press, Inc.**, Orlando, 2, 1977. 140-450.

SANTOS, W. L. F. et al. FABRICAÇÃO DE PAINÉIS DE PARTÍCULAS DE MADEIRA TAUARI (Couratari oblongifolia). **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 14, n. 3, p. 95-101, Set/Dez 2013. ISSN ISSN 1519-1125.

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

SCHÜTT, . P.; LANG, U. M. **Ochroma pyramidale**. **Enzyklopädie der Holzgewächse**: Handbuch und Atlas der Dendrologie. [S.l.]: [s.n.], v. 1-6, 2014.

SEDER-MT. **Diretrizes técnicas para o cultivo de pau de balsa no estado de Mato Grosso**. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Rural do Estado de Mato Grosso. Cuiabá, MT., p. 20. 2011.

SENHORAS, E. M. **Estratégias de uma agenda para a cadeia agroindustrial do coco: Transformando a ameaça dos resíduos em oportunidades eco-eficientes**. 2003. 38f. Univerisade Estadual de Campinas Instituto de Economia. Campinas. 2003.

SHANKS, R. A. Chemistry and structure of cellulosic fibres as reinforcements in natural fibre composites. **Natural Fibre Composites**, p. 66-83, 2014.

SICOPLAN. **MDF plant: technology manual**. 1996. v.1. [S.l.]. 1996.

SI-GROUP. **Fichas técnicas das resinas Fenol-Formaldeído (FF) código CR-7015 e Uréia-Formaldeído (UF) código ARGOS-660HT**. Rio Claro: [s.n.], v. ANEXO., 2015.

SILVA, A. J. P. **Aplicação de partículas longas e orientadas de bagaço de cana-de-açúcar na produção de painel particulado similar ao osb**. 2006. 167f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2006.

SILVA, A. J. P. D. **Aplicação de partículas longas e orientadas de bagaço de cana-de-açúcar na produção de painel particulado similar ao OSB**. Universidade de São Paulo. [S.l.]. 2006.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 2002.

SILVA, M. C. et al. Characterization of three non-product materials from a bleached eucalyptus kraft pulp mill, in view of valorising them as a source of cellulose fibres. **Industrial crops and products**, v. 27, p. 288-295, 2008.

SILVA, M. R. D. **Efeito do tratamento térmico nas propriedades químicas, físicas e mecânicas em elementos estruturais de Eucalipto Citriodora e Pinus Taeda**. São Carlos: EESC-USP, v. Tese, 2012.

SILVA, S. A. M. E. A. Particleboard manufactured with bicomponent polyurethane resin base on castor oil. **International Journal of Composite Materials**, Rosemead, USA, p. 115-118, 2012.

SILVA, S. A. M. E. A. Strength properties of medium density fiberboards (mdf) manufactured with pinus elliottii wood and polyurethane resin derived from castor oil. **International Journal Of Composite Materials**, Rosemead, USA, p. 7-14, 2013.

SILVA, V. L. M. M.; GOMES, W. C. O.; ALSINA, L. S. Utilização do bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v. 2, p. 27-32, 2007.

SILVERSTEIN, R. M.; KIEMLE, D. J.; BRYCE, D. L. **Spectrometric Identification of Organic Compunds**. 7. ed. New York: John Wiley & Sons, 2005.

SOMWANG, K. E. A. Changes in crystallinity and re-swelling capability of pulp fibers by recycling treatment. **Japan Tappi Journal**, Japan, v. 56, n. 6, p. 103-109, 2002.

SUBRAMANIAN, R. et al. (2008) Structure and properties of some natural cellulosic fibrils. **BioResources**, v. 3, p. 192-203, 2008.

SUBRAMANIAN, R. et al. Structure and properties of some natural cellulosic fibrils. **BioResources**, v. 3, p. 192- 203, 2008.

SURDI, P. G. **Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de um híbrido de Pinus elliottii var. elliottii x Pinus caribaea var. hondurensis**. Piracicaba: [s.n.], 2012. 99 p. Dissertação de Mestrado.

SURDI, P. G. **Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de um híbrido de Pinus elliottii var. elliottii x Pinus caribaea var. hondurensis**. **Dissertação de Mestrado**. UFV. Viçosa MG. 2013.

TANGJUANK, S. E. K. S. Partileboard from papyrus fibers as termal insulation. **Journal of Applied Sciences**, 4, 2011. 2640-2645.

TEIXEIRA, D. E.; COSTA, A. F.; SANTANA, M. A. E. Aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar: resistência natural ao ataque de fungos apodrecedores. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 52, p. 29-34, 1997.

TEIXEIRA, M. G. **Aplicação dos conceitos da ecologia industrial para a produção de painéis ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira.** Universidade Federal da Bahia. Salvador, p. 159. 2005.

TEODORO, A. S. **Utilização de adesivos à base de taninos na produção de painéis de madeira aglomerada e OSB.** 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica. 2008.

TEODORO, A. S. **Utilização de adesivos à base de taninos na produção de painéis de madeira aglomerada e OSB.** Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, p. 110. 2008.

TORQUATO, L. P. **Caracterização dos painéis MDF comerciais produzidos no Brasil.** 2008. 94f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia florestal, Universidade Federal de Paraná. Curitiba. 2008.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada.** 2010. 262f. dissertação (Mestrado) – Curso em Engenharia Florestal, Universidade Florestal do Paraná. Curitiba. 2010.

TRUEMAN, C. History Learning Site. **Disponível em:** <http://www.historylearningsite.co.uk/mosquito.htm>, 2013. Acesso em: 22 maio 2013.

TSOUMIS, G. Science and technology of wood: structure, properties, utilization., New York, 1991. 309-339.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2015. Disponível em: <http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php>. Acesso em: 01 jun. 2015.

VAN DAM, J. E. G. et al. Process for production of high density/high performance binderless boards from whole coconut husk - Part 1: Lignin as intrinsic thermosetting binder resin. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 19, n. 3, p. 207-216, 2004.

VAN SOEST, P. J. Nutritional ecology of the ruminant. **New York: Cornell University Press**, 1994. 476.

VANDERHART, D. L.; ATALLA, R. H. Studies of microstructure in native celluloses using solid-state ¹³C NMR. **Macromolecules**, v. 17, n. 8, p. 1465-1472, 1984.

VARANDA, L. D. **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de Eucalyptus grandis confeccionados com adição de casca de aveia**. 2012. 155f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2012.

VARANDA, L. D. **Painéis de alta densidade para aplicação em pisos: produção e avaliação de desempenho. Tese(Doutorado)**. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 169. 2016.

VERMA, P. K.; BHARDWAJ, N. K.; SINGH, S. P. Selective hydrolysis of amorphous cellulosic fines for improvement in drainage of recycled pulp based on ratios of cellulase components. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, Washington, 2014.

VERMA, P. K.; BHARDWAJ, N. K.; SINGH, S. P. Selective hydrolysis of amorphous cellulosic fines for improvement in drainage of recycled pulp based on ratios of cellulase components. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, Washington, 2014.

VERONEZ, D. A. L. et al. Potencial de risco para a saúde ocupacional de docentes, pesquisadores e técnicos de anatomia expostos ao formaldeído. **Revista de Gestão Integrada m Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, 2010. 14.

VICK, C. B. Adhesive bonding of wood materials. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. - FPL-GTR, G. T. R. **Wood Handbook: Wood as an engineering material**. Madison: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. Cap. chapter 9, p. 199-222., p. 113.

VIEIRA, R. J. A. **Desenvolvimento de painéis confeccionados a partir de fibras de coco para controle acústico de recintos**. 2008. 262f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Setor de Ciências Exatas, Departamento de Vibrações e Acústica, Universidade Federal do Pará. Belém. 2008.

VILA ZEGARRA, B. E. **Caracterização da estrutura anatômica e da densidade do lenho de Pinus taeda e efeito nas propriedades tecnológicas dos painéis OSB. Dissertação de Mestrado.** Universidade de São Paulo - ESALQ-USP. Piracicaba. 2011.

VILAR, W. D. **Química e Tecnologia dos poliuretanos.** Grupo Pronor. [S.l.]. 1993.

VILARIM DA SILVA, R. **Composito de resina de poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais.** 2003. 157f. Tese (Doutorado) – Curso Engenharia e Ciencia de Materiais, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2003.

VIRTUHAB. Virtuhab, 2017. Disponível em: <<http://virtuhab.wixsite.com/virtuhab/osb>>. Acesso em: 17 abr. 2017.

VITAL, B. R. **Effects of species and panel densities on properties of hardwood particleboard. (M.S.).** Madison: University of Wisconsin, 1973. 111 p.

WEBER, C. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados.** 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2011.

WHITE, E. G. **The Great Controversy.** 1999. ed. Battle Creek: Pacific Press Publishing Association, 1888. 720 p.

WHITE, J. Operational Load Estimation of a Smart Wind Turbine Rotor Blade. **Purdue News**, West Lafayette, Indiana. Estados Unidos., n. Purdue University, 2009.

WIDYORINI, R.; XU, J.; UMEMURA, K. Manufacture and properties of binderless particleboard from bagasse I: effects of raw material type, storage methods, and manufacturing process. **Journal Of Wood Science**, Tokyo, 51, 2005. 648-654, 2005.

ZANG, Y. H.; SAPIEHA, S. A differential scanning calorimetric characterization of the sorption and desorption of water in cellulose/linear low-density polyethylene composites. **Polymer**, v. 32, p. 489-492, 1991.

ANEXO A

BOLETIM TÉCNICO DA RESINA FENOL-FORMALDEÍDO (FF)

TECHNICAL DATA SHEET

RESINAS PARA MADEIRA

CR-7015

Descrição:

CR-7015 é uma resina fenol-formaldeído, formulada especialmente para a fabricação de compensados de alta qualidade com alta resistência à umidade, utilizados em formas de concreto para a construção civil e compensados marítimos. Essa resina atende às normas internacionais.

Características:

Sólidos a 105 °C	50 - 54 %
Gel Time a 121 °C	8 - 11 minutos
Brookfield a 25 °C	400 - 800 cP's

Formulação da cola:

CR-7015 não requer o uso de catalisador, estendendo o uso da cola preparada por horas. O ideal é que a cola preparada seja usada dentro de 6 horas, mas em casos excepcionais, pode ser usada em até 24 horas após a sua preparação. A viscosidade da resina deve ser avaliada cuidadosamente antes da escolha da formulação da cola, especialmente em casos em que a viscosidade esteja maior devido ao longo período de estocagem.

Segue alguns exemplos de formulação de cola em partes por peso:

Resina CR-7015	100	100	100
Farinha de trigo	5	8	15
Água	5	10	15

Preparação da cola:

Primeiramente adicione 2/3 da água definida na formulação dentro do misturador e ligue-o. Adicione devesgar a farinha de trigo. Mantenha-os misturando até obter uma massa brilhante e sem grumos. Após, misture a resina CR-7015 e adicione o restante da água. O processo de agitação deve ser contínuo até obter uma mistura homogênea. Este procedimento não deve exceder a 15 minutos.

Código: Q00679 Revisão: 03 Aprovação: 09/04/2014

Page 1 of 3

SI Group Crios Resinas S.A.

Brasil: Avenida Brasil, n° 4.500, Rio Claro, SP 13501-600. Tel. +(55) 19 3527 6700. Fax +(55) 19 3527 0920. Website: www.sigroup.com

The information contained herein is true to the best of our knowledge. SI Group, Inc. makes no warranty or guarantee of results and assumes no obligations or liabilities from the use of any products or processes mentioned herein. This publication is not to be taken as a license to operate under, or recommendation to infringe upon, any patents. © 2009 SI Group, Inc. All Rights Reserved.

TECHNICAL DATA SHEET

Preparação das lâminas:

O Teor de Umidade das lâminas deve estar entre 6 e 12 %. Em caso da umidade ser menor que 6 %, a água contida na cola penetrará na madeira, resultando em uma colagem fraca e ineficiente, se a umidade for maior que 12 %, pode ocorrer bolhas e deformações nas lâminas. As lâminas devem ter umidade uniforme a fim de evitar empenamento e descolagem.

Aplicação da cola:

A cola deve ser aplicada nas lâminas com aplicadores cilíndricos de borracha, obtendo uma maior quantidade de cola por m² da lâmina. A quantidade da cola aplicada pode variar de 340 a 450 gramas por m² de face dupla, dependendo de alguns fatores além da formulação usada, como:

- espessura (lâminas mais espessas, maior é a quantidade de cola usada);
- rugosidade (lâminas mal torneadas, requerem maior consumo de cola);
- tipo de madeira (a capacidade de absorção de cada madeira altera o consumo de cola).

Prensagem:

As lâminas montadas adequadamente podem ser prensadas dentro de 15 minutos a 12 horas após a aplicação da cola. Recomendamos uma pré-prensagem em temperatura ambiente para tornar fácil o manuseio das lâminas e evitar perda de umidade. Essa pré-prensagem não deve ser feita em menos de 15 minutos após a aplicação da cola, devido a uma possível insuficiência da penetração da cola na madeira. Nos casos de uso após 12 horas da aplicação da cola, deve-se aumentar a quantidade de cola preparada com a resina CR-7015. A pressão aplicada na prensa, pode variar de 8 a 15 Kg/cm² e a temperatura pode variar entre 125 a 150 °C. Essa pressão deve ser compatível com a densidade da madeira, sendo maior para madeiras mais densas e menor para madeiras menos densas, facilitando a colagem e evitando a redução de espessura dos compensados.

Embalagem:

CR-7015 é fornecida à granel a partir de 12 toneladas, contêineres com peso líquido de 1.200 kg e tambores com peso líquido de 240 kg.

Código: Q00679 Revisão: 03 Aprovação: 09/04/2014

Page 2 of 3

SI Group Crios Resinas S.A.

Brasil: Avenida Brasil, n° 4.500, Rio Claro, SP 13501-600. Tel. +(55) 19 3527 6700. Fax +(55) 19 3527 0920. Website: www.sigroup.com

The information contained herein is true to the best of our knowledge. SI Group, Inc. makes no warranty or guarantee of results and assumes no obligations or liabilities from the use of any products or processes mentioned herein. This publication is not to be taken as a license to operate under, or recommendation to infringe upon, any patents. © 2009 SI Group, Inc. All Rights Reserved.

TECHNICAL DATA SHEET

Armazenagem:

Recomendamos o armazenamento em local seco e arejado, em temperatura ambiente, para maior possibilidade de utilização do produto dentro de sua especificação.

Temperaturas elevadas por longo período, podem comprometer a estabilidade da resina, reduzindo seu prazo de uso, conforme dados de referência abaixo:

Temperatura até 20 °C, validade de 90 dias;

Temperatura até 30 °C, validade de 35 dias;

Temperatura até 35 °C, validade de 15 dias;

Recomendamos ainda observar as informações contidas na respectiva FISPQ (Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos).

Código: Q00679 Revisão: 03 Aprovação: 09/04/2014

SI Group Crios Resinas S.A.

Brasil: Avenida Brasil, nº 4.500, Rio Claro, SP 13501-600. Tel. +(55) 19 3535 6700. Fax +(55) 19 3527 0920. Website: www.sigroup.com

The information contained herein is true to the best of our knowledge. SI Group, Inc. makes no warranty or guarantee of results and assumes no obligations or liabilities from the use of any products or processes mentioned herein. This publication is not to be taken as a license to operate under, or recommendation to infringe upon, any patents. © 2009 SI Group, Inc. All Rights Reserved.

Page 3 of 3

ANEXO B

BOLETIM TÉCNICO DA RESINA URÉIA-FORMALDEÍDO (UF)

TECHNICAL DATA SHEET

RESINAS PARA MADEIRA

ARGOS-660HT

Descrição:

ARGOS-660HT é uma resina Uréia / Formol, de aspecto líquido branco leitoso, alto "tack", roduto de baixo teor de Formol Livre.

Aplicação:

ARGOS-660HT é utilizada para a fabricação de compensados, revestimento de painéis e colagens de madeira em geral. Sua característica de alto "tack", ou seja, alta pega à temperatura ambiente, lhe confere grandes vantagens, particularmente em linhas de fabricação de compensado com pré-prensagem a frio, antecedendo a prensagem a quente.

O alto "tack" da Argos-660HT manterá os painéis formados após a pré-prensagem, facilitando o carregamento (manual ou automático) da prensa a quente, evitando os transtornos e perdas de qualidade por deslocamentos ou dobras de capas e deslocamento das lâminas de miolo, evitando formação de janelas ou cavacos.

ARGOS-660HT é aplicada incorporando-se extensor, água e catalisador, em proporções (partes por peso) que podem variar de acordo com a qualidade de colagem desejada.

Algumas sugestões de fórmulas estão a seguir:

Componentes:	A	B	C	D
ARGOS-660HT	100	100	100	100
Extensor	20	50	75	100
Água	20	50	75	100

Catalisadores:	A	B	C	D
GPCat-21	4 a 7	4 a 7	4 a 7	4 a 7
G-7	1 a 4	1 a 4	1 a 4	1 a 4
CA-7060	2 a 6	2 a 6	2 a 6	2 a 6

A opção pelo uso do **Catalisador GPCat-21, G-7** ou **CA-7060** e as proporções exatas a utilizar, dentro do limites sugeridos, devem levar em conta as condições ambientais, as condições de prensagem e as características do material a ser colado. Maiores detalhes, consultar os boletins técnicos específicos.

Código: Q00810 Revisão: 02 Aprovação: 16/08/2013

SI Group Crios Resinas S.A.
Brasil: Avenida Brasil, nº 4.500, Rio Claro, SP 13501-600. Tel. +(55) 19 3535 6700. Fax +(55) 19 3527 0920. Website: www.sigroup.com

The information contained herein is true to the best of our knowledge. SI Group, Inc. makes no warranty or guarantee of results and assumes no obligations or liabilities from the use of any products or processes mentioned herein. This publication is not to be taken as a license to operate under, or recommendation to infringe upon, any patents. © 2009 SI Group, Inc. All Rights Reserved.

Page 1 of 2

TECHNICAL DATA SHEET

Características:

Viscosidade Brookfield a 25 °C	400 - 1.000 cPs
pH a 25 °C	7,4 - 8,3
Gel Time a 98 °C	30 - 60 seg.
Sólidos 3H a 105 °C	64 - 70 %

Características orientativas:

Densidade a 25 °C	1.240 - 1.300 g/cm ³
Formol Livre Sulfito	Máx. 0,5 %

Embalagem:

ARGOS-660HT é fornecida à granel, em tambores com peso líquido de 250 kg ou containers com peso líquido de 1.200 Kg.

Armazenagem:

Recomendamos o armazenamento em local seco e arejado, para maior possibilidade de utilização do produto dentro de sua especificação. Temperaturas elevadas por longo período, podem comprometer a estabilidade da resina, reduzindo seu prazo de uso, conforme dados de referência abaixo:

Temperatura de 25°C, validade de 60 dias

Temperatura de 30°C, validade de 30 dias

Temperatura de 35°C, validade de 15 dias

Recomendamos ainda observar as informações contidas nas respectivas FISPQ (Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos).

Código: Q00810 Revisão: 02 Aprovação: 16/08/2013

SI Group Crios Resinas S.A.
Brasil: Avenida Brasil, nº 4.500, Rio Claro, SP 13501-600. Tel. +(55) 19 3535 6700. Fax +(55) 19 3527 0920. Website: www.sigroup.com

The information contained herein is true to the best of our knowledge. SI Group, Inc. makes no warranty or guarantee of results and assumes no obligations or liabilities from the use of any products or processes mentioned herein. This publication is not to be taken as a license to operate under, or recommendation to infringe upon, any patents. © 2009 SI Group, Inc. All Rights Reserved.

Page 2 of 2

ANEXO C

BOLETIM TÉCNICO DA RESINA Poliuretana a base de óleo de Mamona (PU-Mamona)

Plural Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda

Rua Vicente D'Aquino, 60/70 – Jd. Ricetti
13570-060 – São Carlos – SP
(16)3361-2159 pluralquimica@uol.com.br

Sistema de Poliuretano F 0911/E 0921

DESCRIÇÃO DO SISTEMA

LECOPOL F 0911 – Componente A

Derivado vegetal para obtenção de resina de poliuretano.

LECOPOL E 0921 – Componente B

Isocianato aromático para obtenção de resina de poliuretano.

PREPARO DO SISTEMA

- O sistema possui dois componentes, A (poliól) e B (isocianato), que devem ser misturados no momento da utilização.
- ***Misture 2 partes, em massa do componente A para 1 parte do componente B;***
- Efetuar primeiro a homogeneização do componente A separado, antes da mistura com o componente B.
- Em seguida proceder à mistura dos componentes A e B nas quantidades necessárias para a aplicação, durante 3-5 minutos.
- Misture quantidades pequenas dos produtos. Preferencialmente o que vai ser utilizada em 15 minutos no máximo.
- Após a mistura do componente B, a reação de polimerização se inicia imediatamente e não cessa.

ESTOCAGEM DOS PRODUTOS

Armazenar em local coberto seco e longe de fontes de calor, nas embalagens originais e intactas. A validade é de 3 (três) meses, desde que esteja adequadamente estocado.

LIMPEZA DE FERRAMENTAS UTILIZADAS NA APLICAÇÃO

Antes da cura, utilizar xilól, acetato de etila, ou a mistura de ambos. Após a cura, somente com limpeza mecânica.

RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA

- Diluir só com solventes especiais para poliuretanos
- Não aplicar em superfícies úmidas
- Manter as embalagens fechadas, longe de fonte de calor, e fora do alcance de crianças e animais.
- Manter o ambiente ventilado durante aplicação e secagem.
- Utilizar EPIs adequados para a manipulação e aplicação (óculos de segurança, luvas, máscara protetora).
- Em caso de contato com a pele ou olhos, lavar com água em abundância, em caso de ingestão procurar imediatamente um médico informando sobre o tipo de produto ingerido, descrito na ficha técnica dos produtos.

“ATENÇÃO: As informações e recomendações do fabricante se referem a um produto específico e seu uso adequado, ou seja, o fabricante só responde por elas, desde que usado para o fim a que se destina. Deve ser observada atentamente a forma correta de manuseio, a finalidade do produto e descarte de eventuais resíduos, sob pena de isenção total de responsabilidade do fabricante por danos ou indenizações de qualquer espécie – ART. 12, § 3º, III da Lei 8.078/90.”

FICHA TÉCNICA DOS PRODUTOS

FICHA TÉCNICA – COMPONENTE A

1. Descrição

- **Produto:** Poliól para obtenção de poliuretanas, derivado de óleos vegetais. Pode possuir cargas minerais e pigmentos.
- **Aspecto:** Líquido colorido, com odor característico.
- **Densidade:** 1,0 – 1,2 (aproximadamente).

2. Riscos

Fogo: Produto não inflamável.

Saúde: **Produto pouco irritante para pele e olhos. Pode causar irritação em contatos prolongados com a pele.**

Meio Ambiente: Não causa efeitos adversos para o meio ambiente. Águas residuais para incêndio não causam poluição. Solúvel em água, com resíduos biodegradáveis.

3. Em caso de acidente

Vazamento: Utilizar material absorvente e descarte de acordo com as Leis locais. O local pode ser limpo com água e detergente.

Fogo: Extinção com espuma, CO₂, pó químico e água.

4. Envolvimento de pessoas

Em caso de ingestão e inalação não provoque vômito. Procurar orientação médica. Em contato com pele e olhos: Lavar com água e sabão neutro em abundância.

5. Informações ao médico

O produto não possui antídoto específico, proceder com tratamento sintomático. Pouco tóxico por ingestão.

FICHA TÉCNICA – COMPONENTE B

1. Descrição

- **Produto:** Isocianato di ou polifuncional. Contém mistura e 4,4'-difenílmetano diisocianato.
- **Aspecto:** Líquido marrom escuro
- **Densidade:** 1,24 (aproximadamente)

2. Riscos

Fogo: Produto não inflamável.

Saúde: Produto irritante para pele e olhos. Pode causar irritação em contatos prolongados com a pele. Evite contato prolongado.

Meio Ambiente: Insolúvel em água, com a qual reage liberando CO₂. Produz resíduo inerte e não-biodegradável.

3. Em caso de acidente

Vazamento: Utilizar material absorvente e descarte de acordo com as Leis locais. Descontamine o local com solução contendo 0,5% de detergente e 5% de hidróxido de amônio (5-10% de carbonato de sódio pode ser utilizado.)

Fogo: Extinção com espuma, CO₂, e pó químico e água.

4. Envolvimento de pessoas

Em caso de ingestão e inalação, não provoque vômito. Procurar orientação médica. Em contato com pele e olhos: Lavar com água e sabão neutro em abundância.

5. Informações ao médico

O produto não possui antídoto específico, proceder com tratamento sintomático. LD oral > 5.000 mg/Kg.