

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

FELIPE REIS RODRIGUES

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE RESÍDUO DE POLIESTIRENO E
POLIURETANO DE ÓLEO DE MAMONA NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS
AGLOMERADOS HOMOGÊNEOS DE PINUS E EUCALIPITO**

Ilha Solteira
2022

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

FELIPE REIS RODRIGUES

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE RESÍDUO DE POLIESTIRENO E
POLIURETANO DE ÓLEO DE MAMONA NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS
AGLOMERADOS HOMOGÊNEOS DE PINUS E EUCALIPITO**

Defesa apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Especialidade: Estruturas.

Prof. Dr. Sergio Augusto Mello da Silva
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

R696e Rodrigues, Felipe Reis.
Estudo da viabilidade do uso de resíduo de poliestireno e poliuretano de óleo de mamona na produção de painéis aglomerados homogêneos de pinus e eucalipito / Felipe Reis Rodrigues. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
112 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estrutura, 2022

Orientador: Sergio Augusto Mello da Silva
Inclui bibliografia

1. Reciclagem. 2. Adesivo. 3. Derivado de madeira. 4. Poliestireno.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE RESÍDUO DE POLIESTIRENO E POLIURETANO DE ÓLEO DE MAMONA NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS HOMOGÊNEOS DE PINUS E EUCALÍPTO

AUTOR: FELIPE REIS RODRIGUES

ORIENTADOR: SERGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ENGENHARIA CIVIL, área: Estruturas pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. SERGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. MICHAEL JONES DA SILVA (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia de Energia / UNESP - Câmpus Experimental de Rosana

Prof. Dr. ANDRÉ LUIS CHRISTOFORO (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Civil / Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

Ilha Solteira, 23 de fevereiro de 2022

DEDICATÓRIA

Ao meu pai Marco Antonio, minha mãe Eliane, meus irmãos, Guilherme e Manuela, e meus avós, que sempre foram o esteio do meu aprimoramento pessoal.

AGRADECIMENTOS

Obrigado Deus por possibilitar a humanidade conseguir através dos seus próprios esforços o conhecimento do mundo e do universo, isso demonstra o seu amor por nós que nos possibilita vencermos por nós mesmos, o senhor, sendo misericordioso, nos concede possibilidades, assim como eu, que tive a imensa alegria de estar aqui agradecendo a possibilidade de vencer mais esta etapa.

Ao Professor Dr. Sergio Augusto Mello da Silva pela orientação e incentivo em todo o processo de desenvolvimento da pesquisa, que todo o conhecimento trocado foi essencial para a obtenção dos resultados finais que alcançamos.

Aos professores da pós-graduação da UNESP de Ilha Solteira que me ajudaram nesse processo com acréscimos de conhecimento em toda a minha jornada pelo mestrado.

Aos técnicos do laboratório de engenharia civil, em especial aos técnicos Gilson, Flávio e Ozias, que me ajudaram na execução de todas as atividades práticas, atividades como preparo do material, passando por produção dos painéis, até execução dos ensaios. Sem esse auxílio e conhecimento trocado o projeto não teria saído do papel.

Agradeço por todos os funcionários do campus de Ilha Solteira da UNESP que de forma direta ou indiretamente estiveram envolvidos na realização desse estudo.

A todos os meus amigos, que compartilharam momentos de trabalho, conversa, conhecimento e descontração, momentos esses que foram essenciais para todo o processo de elaboração do trabalho. Em especial, agradeço a, Pedro, Matheus, Rodrigo, Mariana e Caroline.

A cada um dos meus familiares que sempre me apoiaram em todos os momentos, e me incentivaram com minhas decisões: Meu Pai Marco, mãe Eliane, meus irmãos Guilherme e Manuela, meus tios Claudio e Marly, Maria Heloise e Pedro Angelo, meus avós Laurentina, Darcy, Edith e Aparício, e minha esposa Bruna. Pois cada um foi importante para que esse projeto se concluísse.

Agradeço a empresa IMPERVEG® Polímeros Indústria e Comércio Ltda, pela doação da resina poliuretana bicomponente derivada do óleo de mamona, pois foi essencial para realização de parte dos estudos elaborados nesse projeto.

Agradeço a empresa HEXION® Química do Brasil Ltda, pela doação da resina uréia formaldeído, pois foi essencial para realização de parte dos estudos elaborados nesse projeto.

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, por disponibilizar a bolsa de estudos de aperfeiçoamento de pós-graduação, que foi fundamental para manutenção e cumprimento de todas as etapas desse processo.

RESUMO

A má gestão na proteção de florestas nativas e florestas plantadas, e o reuso de resíduos plásticos, são dois fatores relevantes de poluição do meio ambiente na atualidade. Buscando-se mitigar os problemas decorrentes da poluição, este trabalho avaliou painéis aglomerados homogêneos de madeira produzidos com maravalhas de pinus e eucalipto, a partir de 07 misturas constituídas com 50% em massa seca de cada espécie. Dentro deste contexto foram consideradas para as misturas com Poliestireno (PS) e Poliuretano bicomponente derivado de óleo de mamona (PUR), foi realizada substituição da proporção de PUR por PS (M2, M3 e M4), e adição de PS sem alterar as proporções de materiais (M5, M6 e M7). Os painéis produzidos foram submetidos aos ensaios para avaliação de suas propriedades físicas (Densidade, Teor de Umidade, Inchamento e Absorção) e de suas propriedades mecânicas (Flexão Estática e Tração Perpendicular). Com os resultados obtidos verificou-se que os painéis com as misturas M5, M6 e M7 apresentaram boas características de resistência à umidade, bem como foram determinados bons resultados para as propriedades mecânicas. Obtendo resultados de Resistência à Tração Perpendicular de: 1,50, 1,27, 1,13 MPa, respectivamente. E Resistência à Flexão Estática de: 20,29, 23,27 e 24,40 MPa, respectivamente.

Palavras-chave: reciclagem; adesivo; derivado de madeira; poliestireno.

ABSTRACT

Poor management in the protection of native and planted forests, and the reuse of plastic waste, are two relevant factors of environmental pollution today. Seeking to mitigate the problems arising from pollution, this work evaluated homogeneous wood-based panels produced with pine and eucalyptus shavings, from 07 mixtures composed of 50% in dry mass of each species. Within this context were considered for the mixtures with Polystyrene (PS) and Poliuretane bicomponent derived from castor oil (PUR), was performed substitution of the proportion of PUR by PS (M2, M3 and M4), and addition of PS without changing the proportions of materials (M5, M6 and M7). The produced panels were submitted to tests to evaluate their physical properties (density, moisture content, swelling and absorption) and their mechanical properties (static bending and perpendicular traction). With the results obtained it was verified that the panels with the mixtures M5, M6 and M7 presented good moisture resistance characteristics, as well as good results were determined for the mechanical properties. Obtaining Perpendicular Tensile Strength results of: 1.50, 1.27, 1.13MPa, respectively. And Static Flexural Strength of: 20.29, 23.27 and 24.40 MPa, respectively.

Keywords: recycling; adhesive; wood based; polystyrene.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Esquema representativo dos produtos de madeira reconstituída.	22
Figura 2	- Processo de produção Industrial de Painel Aglomerado de Madeira.....	25
Figura 3	- Produção Mundial de Madeira Redonda por tipo em 2018.....	30
Figura 4	- Estados do Brasil com áreas plantadas por gênero de árvores.....	31
Figura 5	- Diferentes Níveis de Umectação Conforme o ângulo de contato do adesivo e umectação.....	40
Figura 6	- Ciclo de Vida do Plástico.....	45
Figura 7	- Tratamento dos Resíduos Plásticos por Renda.....	46
Figura 8	- Unidade Repetida do Poliestireno.....	47
Figura 9	- Agitador de Peneiras utilizados para separação dimensional das maravalhas.....	53
Figura 10	- Determinação da composição granulométrica das maravalhas de madeira.....	54
Figura 11	- Materiais e equipamentos utilizados para determinação da massa específica das maravalhas.....	57
Figura 12	- Curva de Calibração do Picnômetro.....	58
Figura 13	- Adição da PU-Mamona e homogeneização das maravalhas.....	59
Figura 14	- Formadora de Colchão.....	59
Figura 15	- Prensa utilizada na prensagem dos Painéis.....	60
Figura 16	- Aspectos gerais dos painéis após prensagem.....	60
Figura 17	- Diagrama para extração dos corpos de prova.....	62
Figura 18	- Ensaio de Resistência à Flexão Estática.....	65
Figura 19	- Preparação do cp para Ensaio de Tração Perpendicular.....	66
Figura 20	- Aspectos Gerais do Ensaio de Resistência à Tração Perpendicular no Momento da Ruptura de um cp.....	67
Figura 21	- Gráfico de densidade em relação à porcentagem de EPS à mistura, (a) M1, M2, M3 e M4; (b) M1, M5, M6, M7 e M8.....	74
Figura 22	- Gráfico de teor de umidade em relação à porcentagem de EPS à mistura, (a) M1, M2, M3 e M4; (b) M1, M5, M6, M7 e M8.....	76
Figura 23	- Gráfico de inchamento em espessura após 24h em relação à porcentagem de EPS à mistura, (a) M1, M2, M3 e M4; (b) M1, M5, M6, M7 e M8.....	78
Figura 24	- Gráfico de absorção de água após 24h em relação à porcentagem de EPS à mistura, (a) M1, M2, M3 e M4; (b) M1, M5, M6, M7 e M8.....	81
Figura 25	- Gráfico de MOR em relação à porcentagem de EPS à mistura, (a) M1, M2, M3 e M4; (b) M1, M5, M6, M7 e M8.....	83
Figura 26	- Gráfico de MOE em relação à porcentagem de EPS à mistura, (a) M1, M2, M3 e M4; (b) M1, M5, M6, M7 e M8.....	85
Figura 27	- Gráfico de RTP em relação à porcentagem de EPS à mistura, (a) M1, M2, M3 e M4; (b) M1, M5, M6, M7 e M8.....	88
Figura 28	- Análise de MEV da morfologia das amostras dos painéis compósitos: (a) amostra M1 (sem EPS); (b) M2 com 7% de PUR e 3% de EPS; (c) M3 com 5% de PUR e 5% de EPS e (d) M4 com 3% de PUR e 7% de EPS. Em todas as amostras as	

	concentrações mássicas de Pinus e Eucalipto foram iguais a 50%.....	91
Figura 29	Análise de MEV da morfologia das amostras dos painéis compósitos: (a) amostra M5 com 10% de PUR e 10% de EPS; (b) M6 com 10% de PUR e 30% de EPS; (c) M7 com 10% de PUR e 50% de EPS e (d) M8 com 10% de PUR e 50% de EPS. Em todas as amostras as concentrações mássicas de Pinus e Eucalipto foram iguais a 50%.....	93
Figura 30	- Análises termogravimétricas das amostras de PUR puro e resíduo de EPS: (a) TG e (b) DTG.....	95
Figura 31	- Análises termogravimétricas das amostras de Pinus e Eucaliptos: (a) TG e (b) DTG.....	96
Figura 32	Análises termogravimétricas das amostras do painel compósito Pinus/Eucaliptos/PUR-EPS, foram mantidas fixas as concentrações mássicas de Pinus, Eucaliptos e PUR em 50%, 50% e 10%, respectivamente e variadas às concentrações de EPS em 10, 30 e 50%: (a) TG e (b) DTG.....	97
Figura 33	Análises termogravimétricas das amostras do painel compósito Pinus/Eucaliptos/PUR-EPS, foram mantidas fixas as concentrações mássicas de Pinus e Eucaliptos 50% e 50% e variadas as concentrações de EPS em relação ao PUR entre 3 a 7%: (a) TG e (b) DTG.....	98
Figura 34	- Gráfico para análise dos resultados obtidos nos ensaios físicos e mecânicos dos painéis.....	100

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	- Característica dos Painéis de Madeira mais comercializados.....	23
Quadro 2	- Características dos Painéis Aglomerados de Madeira.....	24
Quadro 3	- Espécies de Pinus e suas características.....	32
Quadro 4	- Espécies de Eucalipto e suas características.....	34
Quadro 5	- Aspectos que influenciam a colagem de adesivos.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Definição de cada mistura conforme a aplicação de EPS.....	51
Tabela 2	- Quantidade de materiais (g) por produção de painéis.....	52
Tabela 3	- Composição Granulométrica do Pinus.....	69
Tabela 4	- Composição Granulométrica do Eucalipto.....	70
Tabela 5	- Composição Granulométrica da Mistura Pinus e Eucalipto.....	70
Tabela 6	- Resultado das misturas de maravalha com 50% de Pinus e 50% de Eucalipto.....	71
Tabela 7	- Teor de Umidade de cada Painei Produzido.....	72
Tabela 8	- Massa Específica das Maravalhas.....	72
Tabela 9	- Resultado do Ensaio da Determinação de Densidade.....	73
Tabela 10	- Resultado do Ensaio da Determinação do Teor de Umidade.....	76
Tabela 11	- Resultado do Ensaio de Inchamento em Espessura após 24 horas.....	78
Tabela 12	- Resultado do ensaio para determinação da absorção após 24h..	80
Tabela 13	- Resultado do ensaio de Resistência a Flexão	82
Tabela 14	- Estática.....Resultado do módulo de	85
Tabela 15	- elasticidade.....	88
Tabela 16	- Resultado do Ensaio de Resistência a Tração Perpendicular.....	99
Tabela 17	- Relação de resultados das propriedades físicas dos painéis.....	99
Tabela 18	- Relação de resultados das propriedades mecânicas dos painéis. Resultados do teste de contraste de médias de Tukey para os	100
Tabela 19	- painéis avaliados das três composições.....	
	Comparação de resultados obtidos dos ensaios físicos dos	101
Tabela 20	- painéis.....	
	Comparação de resultados obtidos dos ensaios mecânicos dos	101
	painéis.....	

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	15
1.2	OBJETIVO.....	17
1.2.1	Objetivo geral.....	17
1.2.2	Objetivo específico.....	17
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1	PAINÉIS DE MADEIRA.....	18
2.1.1	Breve Histórico.....	18
2.1.2	Característica de cada Painei.....	19
2.1.3	Processo de Produção Industrial do Painei Aglomerado de Madeira.....	22
2.2	MADEIRAS.....	27
2.2.1	Algumas características da composição da madeira.....	27
2.2.2	Madeira de Reflorestamento.....	27
2.2.2.1	<i>Pinus.....</i>	<i>29</i>
2.2.2.2	<i>Eucalipto.....</i>	<i>31</i>
2.3	POLÍMEROS.....	33
2.3.1	Característica dos polímeros.....	35
2.3.2	Adesivos.....	37
2.3.2.1	<i>Característica Física dos Adesivos.....</i>	<i>37</i>
2.3.2.2	<i>Adesivos Usados para a Confecção de Painéis.....</i>	<i>40</i>
2.3.2.3	<i>Poliuretano de Óleo de Mamôna (PUR).....</i>	<i>40</i>
2.3.3	Polímeros Plásticos.....	42
2.3.3.1	<i>Produção, Uso e Destino dos Plásticos.....</i>	<i>42</i>
2.3.3.1.1	<i>Uso e Destino dos Plásticos.....</i>	<i>42</i>
2.3.3.1.2	<i>Reuso de resíduos plásticos.....</i>	<i>43</i>
2.3.3.2	<i>Poliestireno.....</i>	<i>44</i>
2.3.3.3	<i>Painéis Aglomerados Plásticos.....</i>	<i>47</i>

3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	48
3.1	MATERIAIS.....	48
3.2	DEFINIÇÃO DAS MISTURAS.....	48
3.3	DETERMINAÇÃO DA MASSA DE MARAVALHAS PARA PRODUÇÃO DOS PAINÉIS.....	49
3.4	TRATAMENTO DAS MARAVALHAS DE MADEIRA.....	50
3.4.1	Produção das maravalhas.....	51
3.4.2	Separação e classificação dimensional das maravalhas.....	51
3.4.2.1	<i>Separação dimensional das maravalhas.....</i>	51
3.4.2.2	<i>Determinação da composição granulométrica das misturas das maravalhas de madeira.....</i>	52
3.4.3	Determinação do teor de umidade das maravalhas.....	53
3.5	PREPARAÇÃO DO POLIESTIRENO.....	54
3.5.1	Trituração do poliestireno.....	54
3.6	DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DAS MARAVALHAS.....	54
3.7	PRODUÇÃO DOS PAINÉIS.....	56
3.7.1	Homogeneização da resina e prensagem dos painéis.....	56
3.8	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – MEV.....	58
3.9	TERMOGRAVIMETRIA - TG.....	59
3.10	ENSAIOS FÍSICO E MECÂNICO.....	59
3.10.1	Ensaaios Físicos.....	61
3.10.1.1	<i>Determinação da Densidade.....</i>	61
3.10.1.2	<i>Determinação do Teor de Umidade dos Painéis.....</i>	61
3.10.1.3	<i>Inchamento em espessura após 24h.....</i>	62
3.10.1.4	<i>Absorção de água após 24h.....</i>	62
3.10.2	Ensaaios mecânicos.....	63
3.10.2.1	<i>Resistência à Flexão Estática e Módulo de Elasticidade.....</i>	63
3.10.2.2	<i>Resistência à Tração Perpendicular.....</i>	64
3.11	ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS RESULTADOS.....	65
4	RESULTADOS E DISCUSÕES.....	66
4.1	SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DAS MARAVALHAS.....	66
4.1.1	Granulometria das maravalhas.....	67

4.1.2	Teor de Umidade das Maravalhas.....	69
4.2	RESULTADOS DOS ENSAIOS FÍSICOS.....	70
4.2.1	Determinação da Densidade.....	70
4.2.1.1	<i>Massa específica das maravalhas.....</i>	70
4.2.1.2	<i>Resultado da Densidade dos Painéis.....</i>	71
4.2.2	Determinação do Teor de Umidade.....	74
4.2.3	Determinação do Inchamento em Espessura por 24h.....	75
4.2	Determinação da Absorção de Água.....	79
4.3	RESULTADOS DOS ENSAIOS MECÂNICO.....	80
4.3.1	Resistência a Flexão Estática – MOR.....	80
4.3.2	Resultado do Módulo de Elasticidade – MOE.....	83
4.3.3	Resultado de Resistência à Tração Perpendicular.....	85
4.4	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – MEV.....	88
4.5	TERMOGRAVIMETRIA – TG.....	92
4.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS.....	96
5	CONCLUSÃO.....	100
	REFERÊNCIAS.....	102

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A degradação do meio ambiente e o descarte irregular de plástico são considerados dois importantes fatores que propiciam o aumento na liberação de gás carbônico na atmosfera da terra, aumento da temperatura e, conseqüentemente, a produção do efeito estufa.

Segundo a *World Meteorological Organization* - WMO (2020), o relatório *United in Science 2020* e de acordo com o secretário geral da Organização das Nações Unidas - ONU (2020), o mundo vem sofrendo um aumento na média climática. As conclusões sobre o aumento da temperatura média da Terra foram obtidas a partir dos dados coletados e calculados, referentes ao período pré-industrial, evidenciando que estamos passando pelo período mais quente desde o início das medições, tendo um aumento na média de 1,1°C, com previsão de chegar a 1,4°C em 2024 (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2020).

Um dos grandes fatores que tem ajudado na aceleração desse aquecimento da temperatura média do planeta nos últimos anos é o plástico. Por esse motivo, se observarmos a produção de plásticos no mundo, nos últimos anos tem aumentado significativamente, sendo a Ásia o maior produtor, com 51% em relação ao mundo; sendo a China, o país que mais produziu com cifra de 31% da produção mundial. Já as Américas produziram em torno de 23% do plástico mundial, que correspondeu um total de 368 milhões de toneladas em 2019 (PLASTICSEUROPE, 2020).

Estima-se que desde o início da produção industrial de plásticos até 2015, foram gerados cerca de 6,3 bilhões de toneladas (Bt), sendo que, somente 9% foram reciclados, 12% receberam incineração e 79% foram descartados em aterros sanitários ou no meio ambiente (GEYER *et al.*, 2017; RONKAY *et al.*, 2020).

Dentre os resíduos plásticos descartados no meio ambiente, uma parte fica depositada no solo e a outra parte encontra-se nos oceanos. A parte terrestre é mais fácil de separar e reciclar, contudo, os plásticos nos oceanos são de difícil coleta (ANDRADY, 2017; RONKAY *et al.*, 2020).

Em 2020 observou-se que os oceanos receberam 8,8 Mt de resíduos plásticos (ALI *et al.*, 2021). A poluição dos oceanos gera problemas tanto aos animais quanto ao ciclo de renovação da biodiversidade, os animais sofrem com os resíduos que

prejudicam seu desenvolvimento, e em alguns casos, esses resíduos podem acumular toxicidades na carne de peixes (AMOBONYE *et al.*, 2021; CHAMAS, 2020). Sob outro aspecto, as grandes camadas de plásticos que se formam nos oceanos prejudicam a renovação de oxigênio no meio ambiente, acelerando o aquecimento global (JAMBECK, 2015; ARAUJO, 2020).

Mesmo com a problemática do descarte incorreto dos materiais plásticos no meio ambiente, o seu uso é muito importante para a indústria automobilística, geração de energia, área médica, construção civil etc., além disso, seu uso adequado é indispensável para reduzir a poluição e emissão de gases e, para melhorar a qualidade de vida da sociedade. Contudo é importante que se crie uma legislação específica para o descarte do plástico e ao mesmo tempo conscientizar as pessoas para o descarte correto, por meio de coletas seletivas (CZIGANY, 2020).

Outro problema da degradação do meio ambiente pela ação humana tem sido o desmatamento de matas e florestas, principalmente, por meio de queimadas o que torna o problema ainda mais alarmante devido a grande emissão de gás carbono na atmosfera (HENDERS *et al.*, 2015; PENDRILL *et al.*, 2019).

Entretanto, não somente as queimadas tem sido um problema, mas também o desmatamento com o intuito de aumentar a área do plantio de soja ou cultivo de pasto para a criação de gado. (LAMBIN *et al.*, 2018).

Dentro deste contexto observa-se que a produção de oxigênio está sendo afetada pela poluição provocada pelos resíduos de plásticos e desmatamentos, conseqüentemente, propostas para reaproveitamento desses materiais pode representar importante contribuição para melhorar a qualidade de vida dos seres humanos.

Dessa forma, á muitos estudos em torno do reuso de resíduos plásticos na produção de painéis de madeira no desenvolvimento da ciência pelo mundo, alguns exemplos são: (Macedo *et al.*, 2016; Masriet *al.*, 2018; Lacombe, 2015; Kaseemet *al.*, 2017; Sommerhuber, Wang e Krause, 2016; Ratanawilai e Taneerat, 2018; Abdel-Hakimet *al.*, 2021). Entre outros diversos pesquisadores que tem desenvolvido pesquisa entorno do tema.

Nesse íterim, a realização desse trabalho irá trazer um diferencial com as pesquisas que estão sendo elaboradas, no sentido de que, o uso de Poliuretano á base de óleo de mamona (PUR), é uma resina que não foi implantada no uso industrial, e pouco explorada fora do Brasil. O processo de diluição do Poliestireno expandido

(EPS) totalmente térmico, normalmente se dilui através de solventes como gasolina ou thinner. Sendo assim, a elaboração de um painel aglomerado utilizando as duas principais espécies de madeira de reflorestamento do Brasil (Pinus e Eucalipto), aglutinado com resina PUR e resíduos de EPS.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo geral

Produzir e avaliar painéis aglomerados de madeira homogêneos com composições iguais de misturas de maravalhas de Pinus e Eucalipto, reforçados com resíduos de poliestireno e aglutinado com resina poliuretana derivada do óleo de mamona.

1.2.2 Objetivos específicos

- Produzir painéis aglomerados de madeira homogêneos com composições de resina PUR e de EPS.
- Analisar a influência do poliestireno na composição das misturas.
- Avaliar as propriedades físicas e mecânicas conforme o documento normativo ABNT NBR 14810-1 e 2: 2018.

1.2 ESTRUTURAS DA DISSERTAÇÃO

A estrutura deste trabalho consiste em oito tópicos.

O primeiro tópico se constitui da introdução.

O segundo tópico descreve uma revisão da literatura corrente, onde se apresenta algumas características de painéis MDP (Medium Density Particleboard), evidenciando o processo de fabricação industrial com as madeiras de reflorestamento *Pinus elliotti* e *Eucalipto saligna*. É descrito também alguns aspectos sobre as resinas Ureia Formaldeído, o adesivo Poliuretano bicomponente derivado de óleo de Mamona e o Poliestireno.

No terceiro tópico é apresentado o objetivo da pesquisa. .

No quarto tópico estão apresentados os materiais e métodos, do processo de preparação dos materiais, produção dos painéis, e realização dos ensaios físicos e mecânicos, bem como os equipamentos utilizados na pesquisa.

No quinto tópico são descritos os resultados e a discussão dos resultados obtidos da caracterização dos novos materiais.

No sexto tópico se descreve a conclusão do estudo realizado.

No sétimo tópico estão descritas sugestões para futuras pesquisas.

No oitavo tópico estão apresentadas as referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento desse estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PAINÉIS DE MADEIRA

De acordo com Iwakiriet *al.* (2005), os painéis de madeira são resíduos de madeira sólida que são classificados como lâminas, sarrafos, maravalhas e fibras, e aglutinados com alguma resina.

Segundo a FAO (2020), a partir de 2012 iniciaram-se a coleta de dados de pelotas de madeira e aglomerados, sendo produzidos 23 milhões de toneladas. Em 2018 ocorreu um aumento de 83% na produção, ou seja, 43 milhões de toneladas. Ainda de acordo com a FAO (2020), a produção de painéis derivados de madeira vem apresentando uma crescente desde 2016, pois, em 2018 verificou-se uma produção de 404 milhões de m³, um aumento de 127% em relação à produção de 2000.

2.1.1 Breve Histórico

De acordo com documentos históricos, o primeiro derivado de madeira foi o laminado que se aproximou de um painel de madeira, seu surgimento data de 3.000 a.C. no antigo Egito (ALBUQUERQUE, 1996).

A história dos derivados de madeira coincide com a história da industrialização no mundo e no Brasil, pois a partir do momento que se foi desenvolvendo as chapas de madeira foi se aprimorando os maquinários e aglutinadores para a sua produção (Albuquerque, 1996; Kollmannet *al.*, 1975). As primeiras indústrias foram às laminadoras, que só surgiram na Alemanha em 1818 após a invenção do torno laminador. Porém, a primeira faqueadora foi registrada na França em 1834 (KOLLMANNet *al.*, 1975).

No início do século XX ocorreu a implantação das primeiras indústrias de compensados nos Estados Unidos, também foi um período em que se despertou o interesse para um novo mercado que surgiu as chapas de madeira. Essa indústria acelerou o mercado e produção dos laminados de madeira que começou a crescer em outros países emergentes (IWAKIRI *et al.*, 2005).

Após 1936 foram desenvolvidas as resinas mais utilizadas na indústria de painéis, os polímeros a base de fenol formaldeído e uréia formaldeído, ambas

sintéticas termorrígidos, o que tornaram os painéis de madeira mais consolidados na indústria (BALDWIN, 1981).

Os painéis aglomerados surgiram na Alemanha no início da década de 40, por conta da escassez de madeira de boa qualidade para produção de compensados devido à segunda guerra mundial, foi uma forma encontrada para viabilizar o uso dos resíduos de madeira. Em 1946, os Estados Unidos aperfeiçoaram a produção e equipamentos (IWAKIRI *et al.*, 2005).

Apartir de 1956 os compensados obtiveram um grande avanço tecnológico, com implantação de prensas automatizadas, materiais aperfeiçoados, secadores mais eficientes, melhorando em várias vertentes o produto final (BALDWIN, 1981).

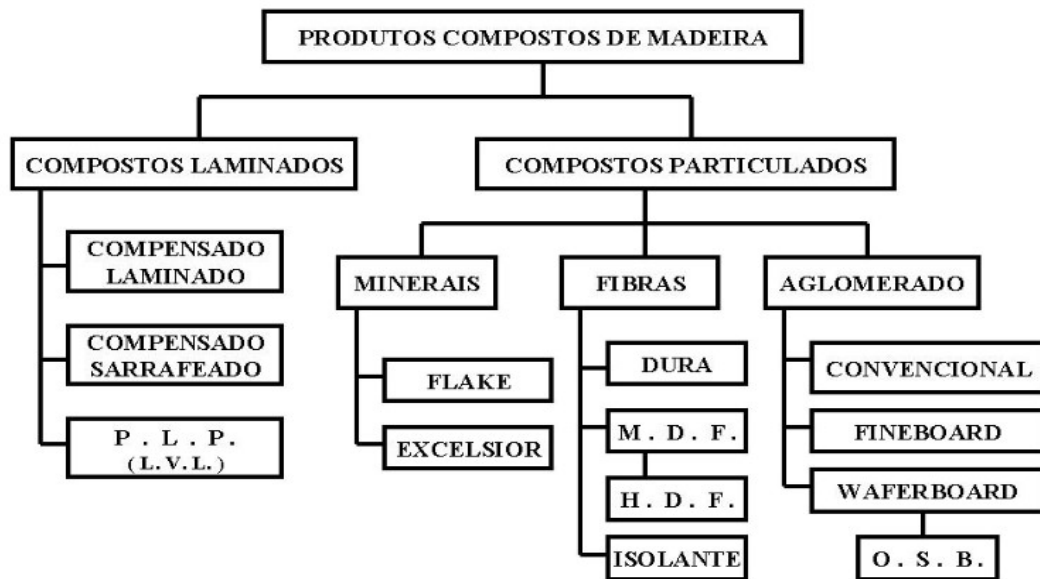
Os aglomerados desde sua criação vêm ganhando espaço e a partir da década de 60 obteve avanços tecnológicos e qualidades de produção. Já na década de 70 iniciou-se a produção de painéis estruturais como *Waferboard* e *Oriented Strand Board* – OSB (MIRSKI *et al.*, 2018b; MIRSKI *et al.*, 2017a; IWAKIRI *et al.*, 2005).

2.1.2 Característica de Cada Painel

Segundo Iwakiri *et al.* (2005), a partir do início da produção de compensados no início do século XIX, surgiram vários tipos de painéis de madeira, com o intuito de buscar o melhor custo/benefício para diversas finalidades. Dessa forma, a Figura 1 ilustra os principais tipos de painéis desenvolvidos pela indústria de produtos compostos de madeira.

Os produtos compensados de madeira, conforme analisamos na Figura 1 e no Quadro 1, se distribui em Compostos Laminados, que são definidos como os painéis compensados, ou painéis derivados de laminas de madeira. E os Compostos Particulados, que são subdivididos em painéis minerais, sendo definidos como os painéis de madeira cimento; os painéis de fibras, destes são muito populares o *Medium Density Fiberboard* - MDF; e os painéis aglomerados, que são popularmente conhecidos como madeira particulada, por exemplo, o *Medium Density Particleboard* – MDP.

Figura 1 - Esquema representativo dos produtos de madeira reconstituída



Fonte: Iwakiriet *al.* (2005)

No Quadro 1 são apresentados os painéis reconstituídos, laminados e particulados, e suas respectivas características.

Quadro 1 - Característica dos Painéis de Madeira mais comercializados

PRODUTOS COMPOSTOS DE MADEIRA			
COMPOSTOS LAMINADOS	Compensado Multilaminado	O compensado pioneiro na industria de painéis contendo lâminas de madeira posicionada com o sentido adjacente uma da outra, com camadas impares, esse posicionamento forma um angulo de 90° entre as camadas adjacentes.	
	Compensado Sarrafeado (Blockboard)	Compensado de uma camada central constituído por sarrafos e as faces possuem lâminas de madeira.	
	Painéis de Lâminas Paralelas (LVL)	Formado por lâminas de madeira coladas em sentido paralelo uma da outra.	
	Compensado de Lâminas Paralelas (Lammyboard)	Camada central constituído por lâminas paralelas seccionados no sentido longitudinal e virado em ângulo de 90°. Nas faces as lâminas estão posição cruzada.	
COMPOSTOS PARTICULADOS	Agglomerados	Painéis de Madeira Aglomerada	Painel constituído de pequenas maravalhas de madeira encoladas com adesivo, distribuído aleatoriamente no painel, sendo necessária prensagem a quente para concluir a produção.
		Waferboard	Com finalidade de uso estrutural, as maravalhas são maiores do que no aglomerado, de formatos quadrado ou retangular, distribuído aleatoriamente no painel, sendo necessária prensagem quente para concluir a produção.
		Oriented Strand Board – OSB	Com finalidade de uso estrutural, as maravalhas são longas de formato retangular, orientadas no mesmo sentido e sendo necessária prensagem a quente para concluir a produção.
	Fibras	Fibras Isolantes	Produzidas a partir de fibras de madeira, sendo painéis de baixa densificação,.
		Hardboard	Painéis de fibras de média a alta densificação, com espessura fina e homogênea, sendo necessária prensagem a quente para concluir a produção.
		Medium Density Fiberboard – MDF	Painéis de fibras de média densificação, encoladas com adesivo, sendo necessária prensagem a quente para concluir a produção.

	Minerais	Madeira-Cimento	Maravalhas de madeira misturados com um aglutinante mineral (normalmente cimento) e ativos aceleradores de cura, sendo necessária prensagem a quente para concluir a produção.
--	----------	-----------------	--

Fonte: Elaborado pelo autor com referência de Iwakiri *et al.* (2005).

2.1.3 Processo de Produção Industrial do Painel Aglomerado de Madeira

De modo geral os painéis aglomerados de madeira são classificados conforme suas densidades, tipos de maravalhas e sua distribuição no painel. O Quadro 2 apresenta uma classificação para uso comercial dos painéis de madeira.

Quadro 2 - Características dos Painéis Aglomerados de Madeira

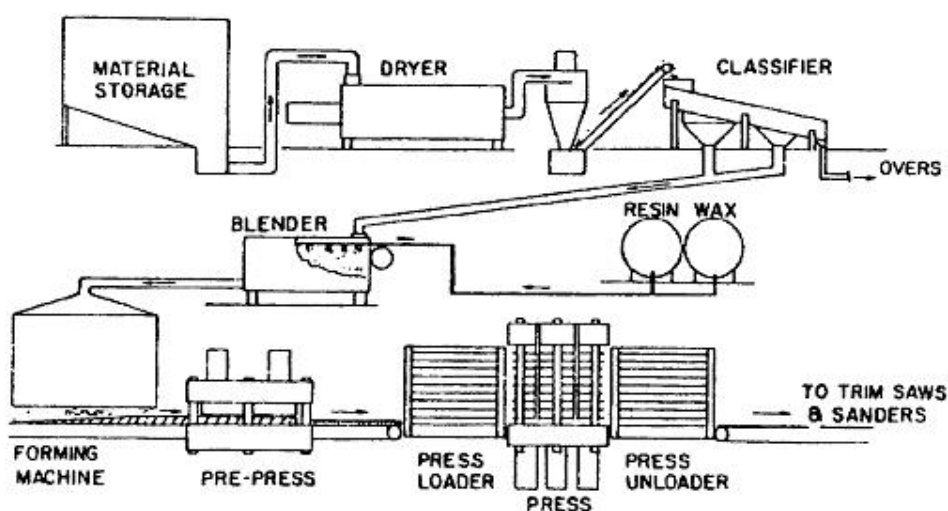
Densidade	Baixa Densidade	Até 0,59 g/cm ³
	Média Densidade	0,59 a 0,80 g/cm ³
	Alta Densidade	Acima de 0,80 g/cm ³
Tipos de Maravalhas	Aglomerado	+/- 15mm
	Maravalhasflake	pré dimensionadas
	Maravalhaswafer	20 a 50mm X 35 a 70mm
	Maravalhasstrand	2 a 10mm X 30 a 50mm
Distribuição das Maravalhas no Pannel	Homogêneos	
	Múltiplas Camadas	
	Camadas Graduadas	
	Maravalhas Orientadas	

Fonte: Elaborado pelo autor com referência de Iwakiri *et al.* (2005).

De acordo com o processo de produção dos painéis aglomerados é importante determinar as características das maravalhas e definir previamente as características do painel para possibilitar sua produção adequada.

Conforme Nascimento (2015) pode-se definir as etapas do processo de produção como: geração de maravalhas; secagem; classificação; “encolagem”; formação do colchão; pré-prensagem e prensagem; acondicionamento; acabamento; estocagem; expedição. A Figura 2 ilustra de forma resumida as principais etapas do processo de produção industrial dos painéis aglomerados.

Figura 2 – Processo de produção industrial do painel aglomerado de madeira



Fonte: Maloney, 1993

Em seguida são descritas as características de cada etapa para produção industrial dos painéis:

- Preparação de Maravalhas

De acordo com Oliveira e Freitas (1995) as maravalhas de madeira são obtidas de toras e de resíduos madeireiros, sendo que a utilização de toras é o meio mais viável.

No qual um dos principais aspectos a serem considerados é a umidade das toras; isso porque, mesmo armazenadas adequadamente podem atingir umidade entre 35 e 120%, devido ao processo de secagem natural. Teores de umidade abaixo de 35% geram maior quantidade de finos, consumindo mais energia e desgaste do picador, por outro lado, altos teores de umidade provocam esmagamento da madeira e obstrução dos espaços entre as facas. Desse modo, o melhor teor de umidade, para produção de maravalhas, deve estar entre 35 e 50% (IWAKIRI *et al.*, 2005).

A madeira passa por uma primária redução, transformando as toras em cavacos. A segunda redução utiliza-se moinhos de martelo, picadores ou “*ringflakers*”, para diminuir os cavacos em grãos. Dessa forma, as maravalhas de madeira passam por dois processos de trituração até possuir um tamanho próximo do ideal para os aglomerados. (NASCIMENTO, 2015).

- Secagem

As maravalhas devem ser secas no secador com teor de umidade abaixo de 3%, variando para teores de 5 a 12%. (Kollmann *et al.*, 1975); o secador mais utilizado pela indústria é do tipo tambor rotativo contínuo (Nascimento, 2015). Quanto maior a densidade da madeira, a espessura das maravalhas, o teor de umidade inicial e/ou final das maravalhas, maior será o tempo de secagem (HILLIG, 2000).

O secador irá operar conforme a variação da temperatura, velocidade do ar e alimentação das maravalhas, seu tempo de secagem pode ser de 1 a 3 minutos (IWAKIRI *et al.*, 2005).

- Classificação

A classificação é o processo de separação dos grãos por tamanhos e retirar impurezas, para isso dois equipamentos podem ser destacados, peneira vibratória e pneumática (OLIVEIRA E FREITAS, 1995).

Na peneira vibratória as maravalhas são classificadas conforme a dimensão, o peneirador pode ser horizontal ou inclinado com uma ou mais peneiras intercaladas de diferentes malhas, ficando as malhas da maior para a menor, separando as maravalhas maiores por cima (MALONEY, 1993).

No peneirador pneumático, as maravalhas são classificadas conforme sua massa, passando pelo tubo de alimentação as maravalhas chega a uma mesa circular onde são distribuídas em movimentos giratórios. As maravalhas pesadas caem em tela inferior, às maravalhas leves são seccionadas em uma abertura superior conectada ao sistema de exaustor (SILVA, D. 2012).

- Encolagem

Os adesivos geram um custo na ordem de 35 a 60% do custo total da produção dos painéis (Iwakiriet *al.*, 2005). Por esse motivo, uma das propostas desse trabalho é buscar diminuir o custo do adesivo.

Há um controle da dosagem do adesivo de 6 a 12% em relação à massa seca das maravalhas, isso é necessário para que todo o painel tenha uma distribuição

homogênea do adesivo por toda a sua superfície para que tenha um recobrimento por igual em toda a sua proporção (MALONEY, 1993).

Para a aplicação de adesivo em painéis homogêneos se utiliza um único aplicador, e para painéis de múltiplas camadas a aplicação é realizada com dois aplicadores para maravalhas no meio e nas faces do painel (NASCIMENTO *et al.*, 2015).

Conforme Moslemi (1974) há dois tipos de encoladeiras, aplicação por rolos e aplicação por atomização, sendo a segunda a mais utilizada pela indústria.

- Formação do Colchão

No processo de formação do colchão utiliza-se de um equipamento chamado formadora de colchão, no qual consiste em um reservatório que depois de ser dosado vai para o sistema de distribuição na esteira móvel. Nesse processo há dois sistemas de formação, o contínuo e o descontínuo (MOSLEMI, 1974).

Alguns fatores que podem influenciar na formação do colchão são: a densidade, a espessura, a uniformidade de distribuição das maravalhas e o arranjo do material (OLIVEIRA E FREITAS, 1995).

Já a altura do colchão é influenciada por alguns fatores como: a densidade do painel; a densidade da madeira; a espessura do painel (NASCIMENTO, 2015).

Segundo Iwakiriet al. (2005), na estação formadora há um sistema de deposição do material que podem ser de três tipos conforme o tipo de painel que se deseja:

- a) Sistema com 4 fontes de deposição, painéis de três camadas;
- b) Sistema de deposição a ar, painéis de camadas graduadas;
- c) Sistema de deposição mecânica, painéis de camadas graduadas.

- Pré-prensagem e Prensagem dos Painéis

O processo de pré-prensagem tem como objetivo a redução da altura do colchão de maravalhas, melhorar sua consistência e facilitar o transporte para a prensa quente. Já o objetivo básico da prensagem a quente é a cura da resina (MOSLEMI, 1974).

As prensas utilizadas na indústria de aglomerados são de pratos com uma ou mais aberturas, contínua de calandra e contínua plana. Para o processo de

aquecimento utiliza-se o sistema a vapor ou óleo quente (KOLLMANN, KUENZI e STAMM 1975).

O cálculo final para a prensagem, depende de três condições que podem variar o resultado final: pressão, temperatura e tempo de prensagem (NASCIMENTO, 2015; IWAKIRI *et al.*, 2005).

A pressão pode variar conforme as seguintes condições: área de contato entre as maravalhas; densidade do painel; controle da espessura do painel; transferência de adesivo entorno do painel e tempo de fechamento da prensa. Nessas situações a pressão pode variar entre 12 e 40 kgf/cm² (SILVA, D. 2012).

Em termos de aquecimento, os painéis vão se aquecendo da superfície até o centro, até que a temperatura se iguale em todo painel, de modo a propiciar a cura da resina. Além disso, a temperatura de prensagem varia com o tipo de adesivo (IWAKIRI *et al.*, 2005).

Outra variável importante é o tempo de prensagem, isso porque o mesmo deve ser suficiente para que a temperatura atinja os valores suficientes para a resina atingir a cura, e que possa ocorrer a liberação da umidade presente nos materiais pelas bordas dos painéis (MOSLEMI, 1974).

O tempo de prensagem pode variar de acordo com a espessura do painel, a umidade do colchão, e a temperatura de prensagem. De acordo com essas características, o tempo de prensagem pode variar de 4 a 8 minutos, ou seja, em torno de 6 a 12 segundos/mm de espessura do painel (IWAKIRI *et al.*, 2005).

- Acabamento

Após prensagem, os painéis são retirados da prensa e levados a um equipamento do tipo garfo giratório, para ser resfriado. Em seguida são posicionadas em pilha por 24 a 72 horas, período de cura total da resina. Após esse período os painéis seguem para esquadreamento, para definição do comprimento e largura de acordo com o padrão comercial. E por último, para o processo de acabamento, os painéis recebem lixamento, que é um processo importante para padronizar as espessuras e dar melhor acabamento à superfície (SILVA, D. 2012).

Os painéis precisam de cuidados ao serem armazenados, esses são empilhados em alturas de 600 mm, pois é necessário evitar que os painéis venham a empenar ou quebrar as bordas e danificar as superfícies (NASCIMENTO, 2015).

2.2 MADEIRAS

2.2.1 Algumas características da composição da madeira

Em sua composição natural e complexa a madeira é composta por celulose, hemicelulose e lignina e uma quantidade de extrativos entre 2 a 5% (LI *et al.*, 2015; POPESCU *et al.*, 2013; CHEN *et al.*, 2021).

O componente mais importante da madeira é a celulose, caracterizado como um polímero de alta massa molar e linear, sendo que, de 42 a 45% de toda a composição da madeira é celulose, formado por unidades anhidro-D-gluci-piranoose sendo unidos por meio das ligações glicosídicas de β , por conter três grupos de OH por cada unidade estrutural. A celulose é definida como altamente polar (BULIAN e GRAYSTONE, 2009; POPESCU *et al.*, 2013; CHEN *et al.*, 2021).

As Hemiceluloses ocupam de 27 a 30% da composição da madeira, sendo que, os mesmos são ramificações da estrutura celular da celulose. Possui massa molecular inferior à celulose, outra característica é que a celulose tende a ser mais resistente que a hemicelulose. Sua composição deriva de galactose, glicose, xilose, arabinose e manose (ESTEVES, 2011; LI *et al.*, 2015; CHEN *et al.*, 2021).

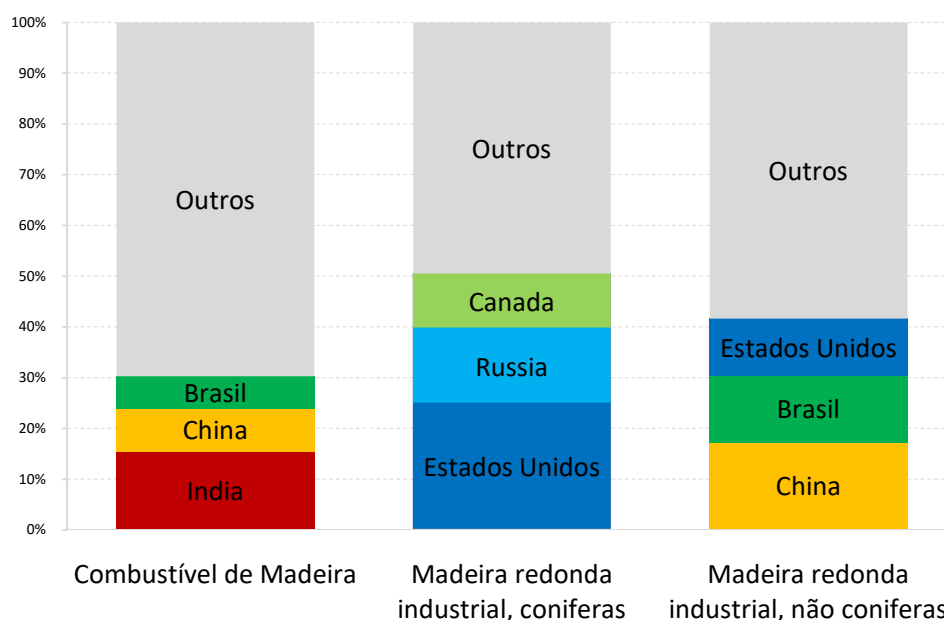
Segundo Popescu *et al.* (2013), a lignina é caracterizada como um polímero aromático tridimensional e interligada, tendo sua formação de propano fenil, e grupos de metoxil. Sendo que, de 20 a 28% da madeira é lignina. Essa estrutura é ligada por β -0-4 ou por ligações carbono-carbono (POPESCU *et al.*, 2013; LI *et al.* 2015; ESTEVES *et al.*, 2011; CHEN *et al.*, 2021).

2.2.2 Madeira de Reflorestamento

Conforme a FAO (2020), houve um aumento de 15% na produção de madeira redonda entre os anos de 2000 e 2018, sendo um aumento de 3,5 bilhões de m³ para 4 bilhões de m³. Desse total de 2018, o principal produto é o combustível de madeira, com 1,9 bilhão de m³, seguido pela madeira industrial conífera, 1,2 bilhão de m³, e madeira industrial não conífera, com 0,9 bilhões de m³. Com 29% da produção total de madeira redonda, Ásia e Américas são as duas principais regiões produtoras do mundo.

Na Figura 3, observam-se os países que mais tiveram participação na produção mundial de madeira redonda por tipo em 2018.

Figura 3 - Produção Mundial de Madeira Redonda por tipo em 2018



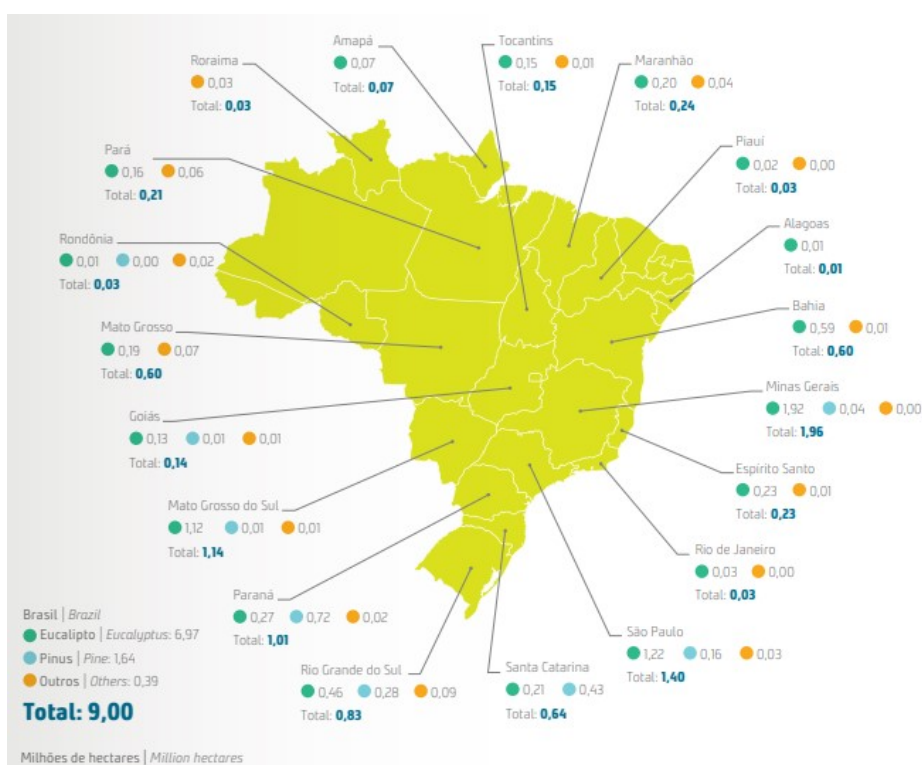
Fonte: Alterado de FAOSTAT (2020)

Segundo Ibá (2020), em 2019 o Brasil obteve um total de 9 milhões de hectares plantados com árvores de reflorestamento. Com destaque para o aumento na plantação do gênero eucalipto em relação aos anos anteriores, cuja cifra foi de 6,97 milhões de hectares de áreas de árvores plantadas no País, desse total, a maior parcela está em Minas Gerais (28%). O gênero de pinus ocupa o segundo lugar com 1,64 milhão de hectares de áreas de árvores plantadas, o estado do Paraná conta com maior área plantada, correspondendo 44% do total.

Devido ao solo e clima, o gênero pinus possui um centro de desenvolvimento fixo no Brasil, com as maiores plantações nas regiões Sul e Sudeste, e um pouco no centro-oeste. Por outro lado, o eucalipto se desenvolve bem no clima e solos brasileiros, por isso tem tido um aumento populacional na sua produção nos últimos anos, e uma queda na população do pinus (EMBRAPA, 2014b).

Podemos observar essa distribuição geográfica na Figura 4, que ilustra as áreas de árvores plantadas no Brasil.

Figura 4 – Estados do Brasil com áreas plantadas por gênero de árvores



Fonte: IBÁ E FGV (2016).

Macedo *et al.* (2016) produziram painéis aglomerados com a substituição de 20% em massa de partículas de madeira (misturas de Pinus e de Eucalypto) por polipropileno. Os autores consideraram as composições: 100% de Eucalypto; 50% de Pinus e 50% de Eucalypto e 100% de Pinus com e sem o uso de produto impermeabilizante, cabendo destacar que a resina poliuretana derivada do óleo de mamona foi utilizada para aglutinar as partículas (proporção de 12%). Os painéis foram prensados a uma temperatura de 150°C e pressão de 4.5 MPa.

2.2.2.1 Pinus

O cultivo de pinus no Brasil vem sendo realizado há pouco mais de um século. As primeiras espécies de pinus a ser plantadas no Brasil exigiam um clima de temperatura e precipitação constante, e os primeiros plantios não vingaram. Sendo assim, em torno de 1960, criou-se o incentivo fiscal ao reflorestamento, desde então, o plantio de diversas espécies de pinus para fins comerciais cresceu e se desenvolveu, principalmente, nas regiões Sul e Sudeste, com as principais espécies *P. elliottii* e *P. taeda* mais plantadas no Brasil (EMBRAPA, 2014b).

Observemos no Quadro 3, a distribuição das espécies de pinus supracitadas e suas principais características.

Quadro 3 – Espécies de Pinus e suas características

Espécie	Localização no Brasil	Uso da Madeira	Variações da Espécie	Características Mecânicas	Características de Físicas
P. Caribaea	700 mil hectares da região tropical	Resina Madeira	Hondurens Bahamens Caribaea	Bons resultados mecânicos	Rápido crescimento
P. Chiapensis	-	Acabamentos Embalagens Artesanatos	-	Densidade de 0,35 a 0,36 g/cm ³	Cor Esbranquiçada
P. Elliotti	Sul e Sudeste	Resina Madeira	Densa Elliotti	Densidade de 0,89 g/cm ³	Fase adulto aos 7 e 8 anos
P. Greggii	Sul	Madeira	-	Densidade de 0,45 a 0,55 g/cm ³	-Altura de 6m a 20m. -DPA de 22cm e 40cm. -Cor amarela-pálido.
P. Kesiya	Sul	Celulose Papel MDP Resina	-	Densidade de 0,560 g/cm ³	Altura de 45m DPA de 100cm Cor amarelo claro
P. Maximinoi	Sul Sudeste Centro-Oeste	Celulose Papel Madeira	-	Densidade de 0,32 a 0,51 g/cm ³	Altura de 35m DPA de 100cm Cor clara
P. Oocarpa	Centro-Oeste Sudeste	Resina Madeira Painéis Resina	-	Baixa resistência	Cor amarelada
P. Palustris	Sul Sudeste	Dormentes Postes Aglomerados	-	Resisti a fungos e moluscos	Altura de 40m DPA de 100cm
	-	Resina	-	Densidade de 0,49 g/cm ³	-
P. Patula	Sudeste	Madeira Papel Celulose	-	-	-
P. Taeda	Sul Sudeste	Celulose Papel Madeira Painéis	-	Alta resistência	-
P. Tecunumanii	Sul Sudeste	Resina	-	Densidade de 0,51 a 0,56 g/cm ³	Altura de 50m DPA de 120cm

FONTE: Elaborado pelo autor com referência de Embrapa, (2014b)

2.2.2.2 Eucalipto

A plantação de eucalipto no Brasil vem crescendo desde seu primeiro plantio no começo da década de 1960 com o início dos primeiros plantios comerciais. Conforme Ibá (2020), os estados de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul vem se destacando, com porcentagem de 28% e 16% do total plantado no Brasil.

Atualmente no Brasil são cultivadas mais de 800 espécies de eucalipto, porém apenas 47 espécies desse total têm se destacado no uso comercial, sendo as mais plantadas, *Eucaliptus grandis*, *Eucaliptus saligna* e *Eucaliptus urophylla* (Flores et al., 2016). Além disso, entre essas espécies também se encontra híbridos de duas ou mais espécies, ou mutações genéticas. Outras espécies que tem sua plantação em destaque no Brasil são *Corymbia citriodora* e *Eucaliptus cloeziana*. A primeira tem grande produção pela extração de óleo das folhas, já a segunda por possuir uma madeira de alta resistência. Outras espécies de largo plantio no Brasil são o *E. dunnii*, *E. benthamii*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. maculata* (EMBRAPA, 2014a).

Ao observar a Quadro 4, pode se analisar as espécies mais utilizadas no reflorestamento no Brasil e suas principais características.

Quadro 4 - Espécies de Eucalipto e suas características

Espécie	Clima	Característica Física	Algumas Características Mecânica	Uso
E. dunnii	Geadas Severas	Crescimento rápido Altura 30 a 40m Corrosa cizentada		Carvão Serraria
E. benthamii	Geadas Severas	Altura de 36m DPA de 50cm Necessita de precipitação e solos argilosos		Carvão
E. grandis	Sem Geadas Severas	Altura de 20 a 40m Cor marrom-rosada		Carvão Celulose Construção Civil Serraria
E. urophylla	Regiões tropicais	Altura de 45m DPA de 2m		Uso em todos os ramos de plantio eucalipto
E. saligna	Região livre de geada	Altura de 20 a 30m Cor vermelho-claro	Mais densa que a espécie E. grandis Boa qualidade mecânica	Fins energéticos, laminação, estruturas, caixotaria, postes, celulose
E. camaldulensis	Regiões livre de geadas severas	Cor branca, cinzenta ou listrado de vermelho		Carvão Serraria Postes Dormentes Mourões Estruturas Construção Civil
E. tereticornis	Regiões sem geadas severas	Altura de 20 a 25m Cor pardo-acinzentada		Carvão Serraria Postes Dormentes Mourões Estruturas Construção Civil
E. Maculata	Tropicais e Subtropicais	Altura de 35 a 70m DPA de 1,0m a 1,3m Cor rosa-pálido ou azul-acinzentado	Densidade de 0,85 g/m ³	Serraria Laminação Marcenaria Postes Dormentes Mourões
E. cloeziana	Subtropicais	Altura de 30 a 40m DPA de 50 a 70cm Cor marrom-escuro	Alta resistência a insetos e fungos e durabilidade natural	Construção Civil Rural Carvão Sistemas Agrossilvopastoris

FONTE: Elaborado pelo autor com referência de Embrapa (2020a)

2.3 POLÍMEROS

A pesquisa entorno dos polímeros iniciou antes da Segunda Guerra Mundial, por volta de 1934, na Inglaterra, com o intuito de desenvolver novos adesivos, tanto com caráter natural quanto sintético; pois, nesse período a sociedade em todo o mundo tinha necessidade de obter novos materiais com baixo custo e rápido processo de produção. Após a 2ª grande guerra e a escassez de matéria prima, a pesquisa e desenvolvimento de novos polímeros cresceram muito nesse período.

A maioria dos polímeros possui origem orgânica, derivados e obtidos de moléculas de hidrocarboneto, unidos por ligações químicas do tipo covalente, ou seja, os átomos do carbono se unem covalentemente por meio de ligações simples, no qual cada átomo da molécula contribui com um elétron. Como exemplo, pode ser citado o poliestireno (C_4H_4), no qual cada átomo de carbono está ligado covalentemente a um átomo de hidrogênio por ligação simples, enquanto que dois átomos de carbono se ligam em uma ligação dupla (CALLISTER *et al.*, 2020).

Esses materiais são formados por cadeias moleculares muito grandes, e com diferentes átomos formando seus grupos laterais ou orgânicos. Essas são macromoléculas compostas por unidades repetidas (meros pequenas moléculas), que vão se repetindo por toda a cadeia (GOOCH, 1997).

A configuração molecular de uma unidade repetida se dá, quando um átomo, ou grupos de átomos laterais estão ligados a cadeia principal. Dessa forma, as configurações se definem, como: “cabeça-a-cabeça”; “cabeça-a-cauda” (Schluter, Hawker e Sakamoto, 2012; CALLISTER *et al.*, 2020).

A diferença nos arranjos desses átomos laterais se define como, estereoisomerismo, se diferenciando em três grupos: isostática, sindiotática, atática. Nestas três situações, os átomos estão ligados em mesma ordem, mas se diferenciam no seu arranjo espacial (Gooch, 1997).

Outra configuração de cadeia se define, isomerismo geométrico, é possível quando tem uma dupla ligação entre átomos de carbono na cadeia. Ligados aos átomos de carbono, existe um grupo lateral, que pode estar ligado a um dos lados da cadeia (cis) ou no lado oposto (trans) (CALLISTER *et al.*, 2020).

Os polímeros podem se dividir em duas categorias, conforme a unidade de repetição, sendo os homopolímeros, onde as unidades repetidas têm o mesmo tipo na

formação da cadeia de moléculas. E os copolímeros, onde as unidades repetidas são de dois ou mais tipos na formação da cadeia molecular (BRAZEL e ROSEN, 2012).

A forma da cadeia polimérica sofre alterações em seu formato, por conta da rotação que os átomos de carbono exercem na cadeia principal, fazendo com que as cadeias moleculares criem formas torcidas, espiraladas ou retorcidas (CHEREMISINOFF, 1997).

Algumas características mecânicas e térmicas dos polímeros ocorrem por conta da rotação, que muitas das vezes ocorrem em resposta a tensões aplicadas, ou vibrações térmicas. Há uma redução da flexibilidade a rotação, quando grupos laterais volumosos estão presentes na formação da unidade repetida, ou quando se tem ligações duplas na cadeia (MATYJASZEWSKI e MOLLER, 2012; CALLISTER *et al.*, 2020).

Em uma estrutura polimérica, é muito importante se definir a massa molar, já que os valores de massa molar definiram a estrutura do polímero, no caso, quando um polímero tem massa molar baixa são normalmente definidos como líquidos, já os polímeros sólidos, estão por volta de 10.000 á milhões de g/mol. A resistência e o módulo de elasticidade são outros fatores que se define pela massa molar (SCHLUTER, HAWKER e SAKAMOTO, 2012; CALLISTER *et al.*, 2020).

Segundo Stribeck e Smarsly (2005), a definição das características físicas de um polímero também se define pela estrutura molecular de uma cadeia. As estruturas se definem como: lineares; ramificados; ligações cruzadas; em rede (CALLISTER *et al.*, 2020):

- a) Polímeros lineares - são aqueles que possuem as unidades repetidas unidas entre si, em cadeias únicas;
- b) Polímeros ramificados - as cadeias principais possuem algumas cadeias ramificadas ligadas a elas;
- c) Polímeros com ligações cruzadas - as cadeias lineares adjacentes, estão ligadas umas as outras por meio de ligações covalentes;
- d) Polímeros em Rede - são monômeros multifuncionais com três ou mais ligações covalentes ativas, formam uma rede tridimensional.

Nos estados cristalinos, diferente dos metais e cerâmicas, os arranjos atômicos para os polímeros são mais complexos por envolver moléculas em vez de apenas átomos ou íons (MATYJASZEWSKI e MOLLER, 2012).

Com um intuito de produzir um arranjo atômico ordenado, o desenvolvimento da cristalinidade dos polímeros é considerado como uma compactação de cadeias moleculares (CHEREMISINOFF, 1997).

Por conta da complexidade e tamanho, as moléculas de polímeros são normalmente semicristalinas, e regiões cristalinas dispersas no material amorfo. Possuem massa específica maior que o mesmo polímero amorfo de mesma massa molar. Para o grau de cristalinidade, é importante alinhar a taxa de resfriamento durante a solidificação e a configuração da cadeia (CALLISTER *et al.*, 2020).

A habilidade de um polímero de cristalizar é influenciada pela estrutura química da molécula, assim como a configuração da cadeia molecular. Quanto menos restrição para prevenir o alinhamento das cadeias mais fácil será de se obter a cristalização, como é o caso dos polímeros lineares (GOOCH, 1997).

2.3.1 Característica dos polímeros

As propriedades mecânicas dos polímeros normalmente são avaliadas com os mesmos equipamentos e métodos de ensaio que se utiliza para avaliar as propriedades mecânicas dos materiais metálicos, em alguns casos, com um ensaio de tensão-deformação é usado para definir os parâmetros mecânicos de alguns polímeros. Dessa forma, os polímeros possuem características mecânicas que são altamente sensíveis a taxa de deformação, à temperatura e à natureza química do ambiente. Em alguns casos, são necessárias algumas modificações nas técnicas de ensaio e nos corpos de prova em comparação ao que normalmente se usa nos ensaios com os metais. A diminuição na taxa de deformação tende a ter a mesma influência sobre as propriedades mecânicas dos polímeros, tanto quanto o aumento na temperatura; desta forma, o polímero tende a desenvolver uma característica mais macia e dúctil. (CALLISTER *et al.*, 2020).

Em função das altas temperaturas os polímeros são classificados em termoplásticos, que se liquefazem ao serem aquecidos e endurecem ao resfriar, de tal modo que pode ser moldado e reciclado. Isso ocorre porque a interações das ligações secundárias diminuem devido a maior energia cedida ao sistema e causado pelo aumento do movimento molecular (BRAZEL e ROSEN, 2012).

Os termofixos são polímeros que se enrijecem com aplicação de calor, e não retornam ao estado inicial com novo aquecimento, isso se dá por conta do tratamento

térmico inicial, que cria ligações cruzadas covalentes e fortes entre cadeias moleculares adjacentes e, conseqüentemente, inibe os movimentos de vibração e rotação das cadeias mesmo em altas temperaturas. Normalmente os termofixos são mais dúcteis, resistentes, e possuem melhor estabilidade dimensional (BRAZEL e ROSEN, 2012).

É importante ressaltar que muitos polímeros têm comportamento viscoelástico, em temperatura baixa e sob deformação relativamente baixa, os polímeros apresentam características elásticas, na mesma condição de deformação, mas em temperaturas altas, os polímeros se caracterizam a um líquido viscoso, em temperaturas intermediárias, passa a ter característica de um sólido borrachudo, esse seria o estado de viscoelástico (CALLISTER *et al.*, 2020).

O comportamento viscoelástico varia em função do tempo e da temperatura. Sendo esse comportamento analisado através do módulo de relaxação, que é influenciado pelo tempo, sendo sua magnitude sensível a temperatura (MATYJASZEWSKI e MOLLER, 2012; CALLISTER *et al.*, 2020).

No processamento de polímeros, ocorrem três fenômenos importantes, a cristalização, a fusão e a transição vítrea (CALLISTER *et al.*, 2020).

Sendo a cristalização, o processo em que, no resfriamento, uma fase cristalina é produzida a partir de um líquido. Obtêm-se a transformação por fusão, através do aquecimento do polímero. A transição vítrea ocorre com polímeros amorfos que não podem cristalizar, onde resfriado como um líquido fundido, tornam-se sólidos, mas que se encontram com a estrutura molecular desordenada (CALLISTER *et al.*, 2020).

Nesses processos há mudanças nas propriedades mecânicas e físicas. Também, os polímeros semicristalinos, as regiões cristalinas terão fusão e cristalização, já as áreas não cristalinas terão uma transição vítrea (GOOCH, 1997; CALLISTER *et al.*, 2020).

Em relação a polimerização, é o processo de união dos polímeros de grandes pesos moleculares, nesse processo, as unidades monoméricas se unem e formam moléculas gigantes (LUCAS, SOARES E MONTEIRO, 2001).

Os polímeros se dividem em plásticos, elastômeros, fibras, revestimentos, adesivos, espumas, e filmes. (Callister *et al.*, 2020).

2.3.2 Adesivos

A utilização de resina pela humanidade não é algo novo, historicamente, há relatos de que 3.000 a.C. no Egito antigo já se usavam adesivo a base de albumina como aglutinante de peças de madeira, como em sarcófagos, peças mobiliárias (FRIHART, 2015).

A evolução em relação aos estudos dos adesivos se deu em 1690 na Holanda, quando se fundou a primeira fábrica de adesivos de origem animal. E foi justamente no aperfeiçoamento do uso da madeira e compensados que ocorreu um maior avanço na tecnologia de desenvolvimento e produção de adesivos (IWAKIRI *et al.*, 2005).

A primeira resina sintética utilizada foi a fenol formaldeído cujo surgimento é datado de meados de 1929. Já a ureia formaldeído surgiu em 1931, seguida da melamina formaldeído (1939), e resorcinol formaldeído (1943) (Soltet *et al.*, 2019; Frihart, 2015). Posteriormente foi desenvolvido os adesivos termoplásticos, como acetato polivinílico e emulsões copolímeros (SILVA, OCHSNER E ADAMS, 2011).

2.3.2.1 Características Físicas do Adesivo

Adesivo é um material com características aderentes, podendo se unir a um material ou vários sólidos. A adesão é o fenômeno de interação mecânica entre os materiais, ou seja, é o mecanismo de interação da superfície do sólido com o adesivo (EBNESAJJAD e LANDROCK, 2015; SILVA, OCHSNER e ADAMS, 2011; IWAKIRI *et al.*, 2005).

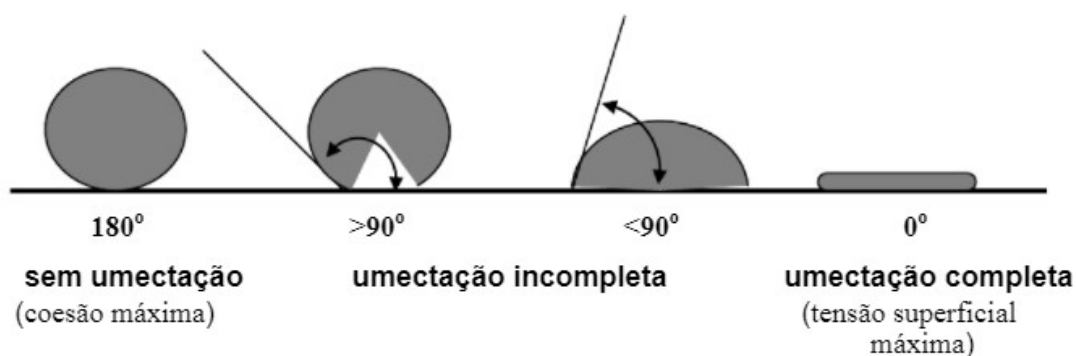
Em decorrência da adesão surge a sorção, que pode ser definido como a absorção sobre uma superfície ou dentro da camada superficial. Dessa forma, várias forças surgem da adesão, como: forças moleculares eletrostáticas, as forças de Van derWaal e as ligações covalentes (COGNARD, 2006).

Ebnesajjad (2011) classificou o fenômeno de adesão levando em conta as teorias mecânica; eletrostática; difusão; umedecimento. Passando assim, a exemplificar de diferentes olhares, como se dá o fenômeno da adesão.

No contato do adesivo com a superfície de madeira ocorrem as forças de coesão do líquido, que mantém o adesivo no seu estado esférico inicial e a força de adesão líquido-sólido, que surge por ocasião da tensão superficial, forçando a gota se espalhar na superfície da madeira (TEREI, 2020; IWAKIRI *et al.*, 2005).

Devido a estas forças, os materiais estarão sujeitos a vários níveis de umectação e conforme o grau de atuação das forças pode ocorrer umectação completa, incompleta ou sem umectação (IWAKIRI *et al.*, 2005).

Figura 5 – Diferentes Níveis de Umectação Conforme o ângulo de contato do adesivo e umectação



Fonte: Iwakiriet *al.*, 2005

Por meio de uma análise da reação da gota do adesivo na superfície do substrato, é possível ver o ângulo que vai se formando com o contato da superfície do substrato tangente ao menisco da gota; dessa forma é possível ver em qual dos três estágios se encontra a umectação (Figura 5), essa análise é conhecida como ângulo de contato e umectação (SILVA, OCHSNER e ADAMS, 2011; COGNARD, 2006).

O processo de ligação do adesivo opera cinco funções de mobilidade sobre a superfície dos substratos, sendo eles; o movimento do adesivo para a superfície oposta; adesão ao sólido, penetração nos poros e estruturas intersticiais; o recobrimento dos sólidos em estágios de microscopicidade e a mudança de estado químico (EBNESAJJAD e LANDROCK, 2015; IWAKIRI *et al.*, 2005).

IWAKIRI *et al.* (2005) descreve quatro características para o tipo de linha de cola que se forma com um sólido de acordo com as condições de colagem:

- Faminta: o adesivo apresenta baixa viscosidade com baixo espalhamento, formando uma grossa linha de cola, mas que não aderiu suficientemente ao sólido.
- Pré-endurecida: o adesivo possui alta viscosidade, se espalha e cura rapidamente, contudo, sua quantidade é baixa e não é suficiente para recobrir o sólido, ou seja, quase não forma linha de cola.
- Ancorada: há boa mobilidade, contudo, não há penetração suficiente para umectação.
- Normal: possui boa mobilidade e recobre todos os interstícios do sólido.

Para se obter melhor colagem do adesivo com um sólido é importante observar a viscosidade, tempo de gelatinização, teor de sólidos e pH (EBNESAJJAD, 2011).

No Quadro 5 é apresentado os aspectos que influenciam o processo de colagem adesivo-sólido.

Quadro 5 – Aspectos que influenciam a colagem de adesivos.

Viscosidade	Resistência ao fluxo livre entre camadas de uma matéria.	Adesivo com alta viscosidade gera maior dificuldade de espalhamento; Baixa viscosidade gera maior penetração do adesivo nos poros do sólido.
Tempo de Gelatinização	Tempo de preparação do adesivo até seu estado de gel, ou seja, quando não sofre mais elasticidade.	O tempo de gelatinização tem sua importância em relação à vida útil do adesivo, também relacionado a reatividade do adesivo.
Teor de Sólidos	É referente à quantidade de sólidos contido na resina, essa que é composta de produtos sólidos e líquidos voláteis.	Para se obter o teor de sólidos, realiza-se a seguinte formulação: Pesar 1,2g da resina (P1); Secar em estufa a temperatura de 103°C +/- 2°C por 15 horas; Resfriar e pesar (P2). $TS = \left(\frac{P1}{P2}\right) \times 100 (\%)$.
pH	O pH é determinado pela concentração de íons dissociados de H ⁺ e OH ⁻ .	Os adesivos necessitam ter pH no limite de 2,5 a 11. A uréia-formaldeído, a alta acidez da madeira pode provocar uma pré cura na prensagem de aglomerados.

Fonte: Elaborado pelo autor com referência de Iwakiri *et al.* (2005).

Com relação ao que foi descrito anteriormente, existem dois fatores físicos que influenciam diretamente o desempenho do adesivo na madeira: (i) a densidade e (ii) o conteúdo de umidade (PETRIE, 2020; IWAKIRI *et al.*, 2005).

São importantes os cuidados para com a linha de cola, pois, é nessa interface, entre o contato com a madeira que será o ponto dos esforços no material colado. Quanto mais resistente for a linha de cola em relação à resistência da madeira, maior será a taxa de ruptura (IWAKIRI *et al.*, 2005).

A tensão na linha de cola gera esforços de cisalhamento no plano da ligação ou perpendicular a linha de cola, essas tensões são sujeitas a duas fontes, sendo elas: internas e externas (EBNESAJJAD e LANDROCK, 2015).

2.3.2.2 Adesivos Usados para a Confeção de Painéis

Os adesivos utilizados para confecção de painéis de madeira são classificados em naturais/orgânicos, sintéticos termoplásticos e sintéticos termoendurecedores/termofixos (SILVA, OCHSNER e ADAMS, 2011; IWAKIRI *et al.*, 2005).

É importante o conhecimento dos principais tipos de adesivos utilizados pelas indústrias de derivados de madeira, com o intuito de entender sua função e influência nas propriedades finais dos painéis (IWAKIRI *et al.*, 2005).

Em termos dos ativos, pode-se destacar os adesivos sintéticos termofixos/termoendurecedores. Esse tipo de adesivo reagem à medida que são aquecidos a uma determinada temperatura, no qual as reações físico-químico que sofrem são irreversíveis (EBNESAJJAD, 2011).

2.3.2.3 Poliuretano de Óleo de Mamona (PUR)

A tecnologia dos Poliuretanos (PU's) é desenvolvida por Otto Bayer, e demonstrado no ano de 1937, na Alemanha, nessa mesma época e país já começa a ser comercializado com a fabricação de espumas rígidas, adesivos e tintas. Por conta da Segunda Guerra Mundial foi necessário parar a produção de PU's, e após o ano de 1946 o mercado desse material só vem crescendo até os dias de hoje (SILVA, 2009; VILAR, 2004).

Uma resina térmica em que o grupo uretano é composto ou bicomponente em que sua composição é aplicada após ou durante a cura. Sendo classificados como termoplásticos ou termoendurecíveis, estes sendo a reação de produtos dos isocianatospolifuncionais(SHIELDS, 1985). Quimicamente falando, os isocianatos possuem o NCO em sua estrutura atômica, estes reagem a compostos que possuem átomos de hidrogênio ativo, como os polióis. Comercialmente são dois os isocianatos mais comuns, toluenodiisocianato(TDI) e difenilmetanodiisocianato (MDI) (VILAR, 2004, SHIELDS, 1985).

Em termos de uso comercial, o MDI tem sido mais usado que o TDI e mesmo possuindo uma química mais complexa, permite um grau de liberdade para modificar e aperfeiçoar os tipos diferentes de MDI's. com a diversificação dos componentes moleculares da estrutura química dos MDI's vieram novos produtos e novas aplicações

destes. Os tipos de MDI's mais comuns: MDI puro; MDI puro modificado; MDI com alto teor de OP; prepolímero de MDI puro; poliisocianatos líquido de baixa funcionalidade; mistura de isômeros; mistura com MDI cru; MDI polimérico de baixa viscosidade; MDI polimérico de alta viscosidade (VILAR, 2004).

Os polióis são compostos dos grupos hidroxilas, que reagem aos isocianatos e formam os PU's. Os polióis à base de óleo natural (NOP's) tem sido uma opção no mercado mundial de PU's, dentre os NOP's utilizados na fabricação de PU's, tem-se o óleo de mamona (VILAR, 2004;EBNESAJJAD e LANDROCK, 2015).

O óleo de mamona possui triglicerídeo em sua proporção entorno de 40 a 50% na semente da planta "RicinusCommunis" esta que se encontra em abundancia no Brasil e em regiões de clima tropical e subtropical. Alguma característica do óleo de mamona, sendo este um líquido viscoso, possui odor forte, a extração do óleo se exerce através de dois processos: prensagem das sementes ou uso de solventes (VILAR, 2004; SILVA, 2009).

Essa resina tem vantagens em cima da uréia-formaldeído, por ser impermeável, não é nociva nem ao meio ambiente, nem ao ser humano, sendo uma matéria prima natural e renovável (EBNESAJJAD, 2011).

O PUR vem sendo muito utilizado em grupos de pesquisadores como é o caso de Fiorelliet *al.* (2019) que produziu painéis de multicamadas a partir de bagaço de cana-de-açúcar e fibra de coco verde aglutinadas com a resina PUR. Os painéis foram produzidos utilizando duas densidades diferentes (500 e 700 kg/m³) e avaliados por meio de ensaios das propriedades físicas, mecânicas, térmicas e envelhecimento químico. Obtendo resultados de absorção de água entre 40,22 à 54,56%. Já o inchamento de espessura em valores entre 13,83 à 23,08%. Para os resultados da resistência à flexão estática os valores ficam entre 5,89 à 16,20 MPa. Já o módulo de elasticidade obteve valores entre 650 à 1879 MPa.

Outro estudo que fez uso do PUR foi elaborado por Oliveira *et al.* (2021) nesse caso é realizado uma substituição da massa de madeira da espécie eucalipto por couro (10%, 25% e 50%) derivado de resíduos da industria de sapatos e aglutinados com 10% mássica de PUR. Para a produção dos painéis aglomerados as maravalhas foram dimensionadas e preparadas, e prensadas em uma prensa hidráulica a uma temperatura de 100°C com carga de 70 tons. Foram realizados ensaios físicos e mecânicos para definição da efetividade do material.

2.3.3 Polímeros Plásticos

Os plásticos são materiais que possuem alguma rigidez estrutural sobre alguma carga, tendo seu uso generalizado. Tendo uma ampla variedade de resistência entre eles, uns são mais rígidos, outros mais elásticos, outros mais plásticos quando submetido a uma tensão, em outros casos apresentam uma deformação considerável antes de fraturar. Os plásticos possuem qualquer grau de cristalinidade em suas estruturas e configurações moleculares. Sendo diferenciados entre si pela classificação de termofixo e termoplástico, é importante que para se ter essa classificação de plástico precisam manter a temperatura de seu estado rígido (CALLISTER *et al.*, 2020).

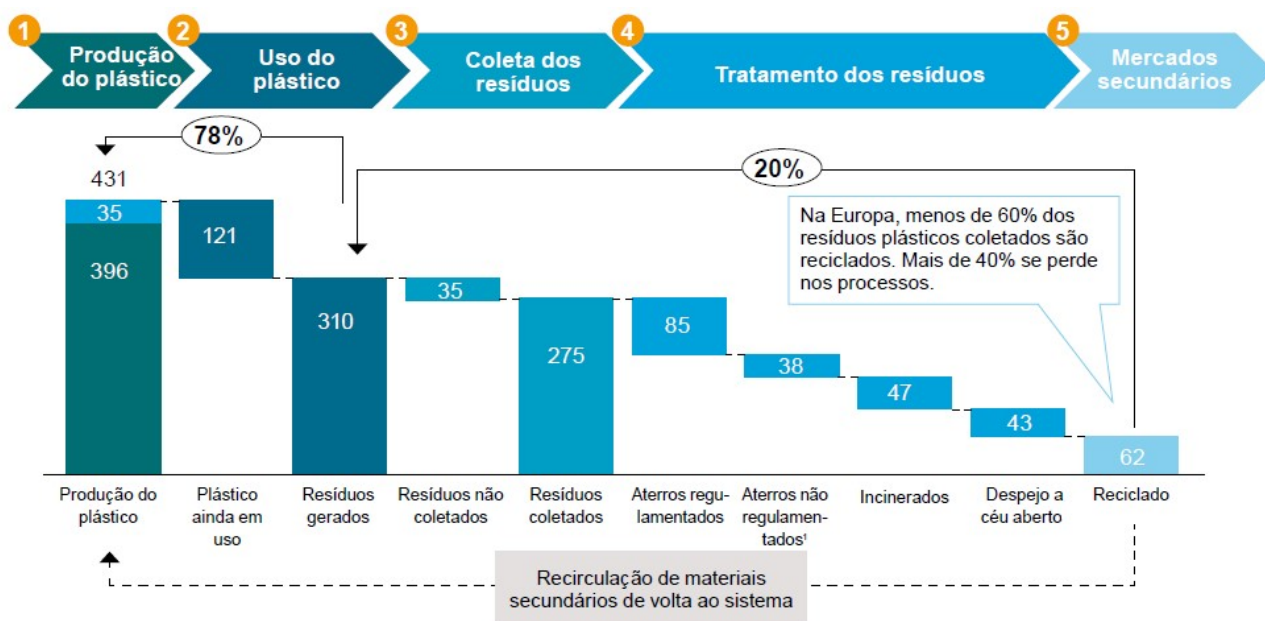
2.3.3.1 Produção, Uso e Destino dos Plásticos

Como foi discutido no item “1. Introdução” deste trabalho, tem tido uma enorme produção de plástico no mundo, e ao mesmo tempo o plástico tem sido um dos grandes vilões do meio ambiente, prejudicando oceanos, florestas, rios e animais. É importante fazermos uma observação da produção, uso e destino do plástico para melhor sabermos com que tipo de material está trabalhando.

2.3.3.1.1 Uso e Destino do Plástico

De acordo com ABIPLAST (2020) os 368 (Mt) de plástico produzido em 2019, descrito no relatório técnico Perfil 2019 – Abiplast, no qual 20,1% desse plástico é de polipropileno (PP), 13,1% é de policloreto de vinila (PVC), 13,2% é de polietileno de alta densidade (PEAD) e 4,8% de poliestireno (PS). Os plásticos podem ser divididos em três ciclos, ou seja, de curta, média e longa vida. De modo geral, 49,3% da produção total dos plásticos são destinados para o consumo de ciclo de longa vida, sendo a construção civil o seu maior mercado, com consumo entorno de 23,1% deste subtotal. Por outro lado, 15,9% desses plásticos possuem ciclo de vida média e 9,1% desse subtotal são utilizados pelo comercio varejista. Já 34,8% dos plásticos de vida curta, ou seja, 20,4% são destinados para o ramo alimentício.

Figura 6 – Ciclo de Vida do Plástico



Fonte: WWF (2019)

De acordo com o relatório escrito por Dalberg (2019), para o uso da WWF-Brasil, evidencia-se um aumento anual de 3% de resíduos plásticos desde 2010 e, em 2016 verificou-se que 37% dos resíduos plásticos gerados foram mal administrados e correm o risco de se tornar poluidores (Figura 6). Do total dos resíduos plásticos gerados nesse mesmo ano, 14% foi despejado a céu aberto, em rios, mares e terra; 12% foram para aterros sem regulamentação ou que tem má conduta de armazenamento; 11% não foi possível computar o destino final, ou seja, em 2016 verificou-se que 43,56 Mt de resíduos plásticos não se sabe o destino. Os outros 63% dos resíduos plásticos passaram por uma coleta e tratamento eficaz.

Conforme o relatório anual da WWF-Brasil (2019), o Brasil se encontra em quarto lugar entre os países que mais geram lixo plástico no mundo, com 11,3 Mt ao ano, sendo os Estados Unidos em primeiro com 70,8 Mt, China em segundo com 54,7 Mt, a Índia em terceiro com 19,3 Mt.

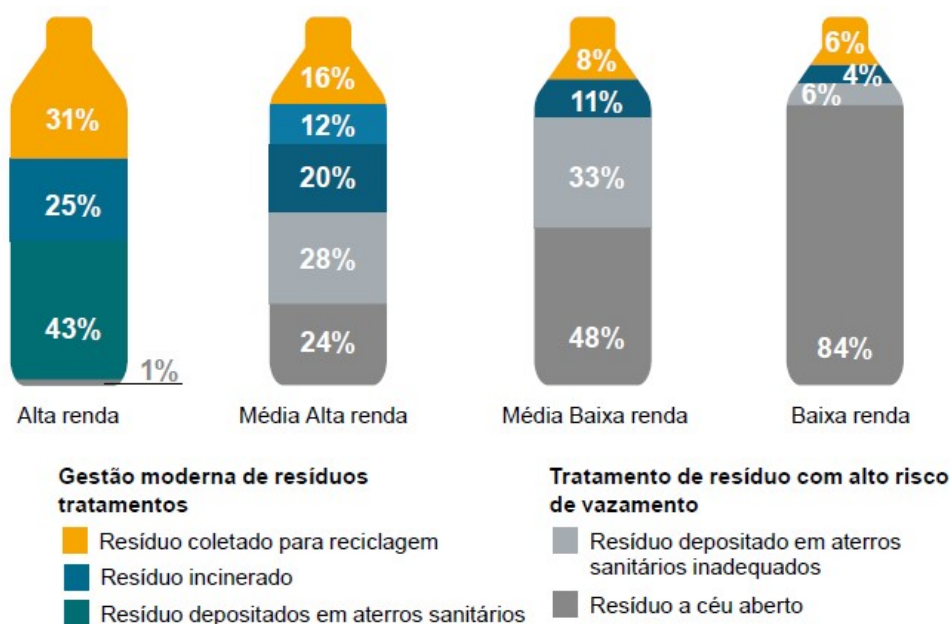
2.3.3.1.2 Reuso de resíduos plásticos

De acordo com a Dalberg (2019), os 63% dos resíduos plásticos em 2016 que foram bem administrados estão subdivididos em aterros regulamentados sendo 28%, incineração industrial 15%, e os demais 20% reciclagem. Essa porcentagem de tratamento de resíduos plásticos no mundo é baixa por conta que, o gráfico de

tratamento dos resíduos está em conformidade com a linha de desenvolvimento dos países no mundo, países mais ricos possuem melhor coleta e tratamento dos resíduos, países mais pobres têm maior dificuldade de gerir esse sistema.

Na Figura 7 observa-se uma comparação entre a distribuição de renda e o tratamento de resíduos.

Figura 7 – Tratamento dos Resíduos Plásticos por Renda



Fonte: WWF (2019)

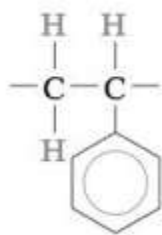
Conforme o Relatório Anual da WWF-Brasil(2019), o Brasil se encontra em uma situação alarmante, pois, ocupa a quarta posição mundial entre os países que mais geram resíduos plásticos e recicla apenas 1,28%.

2.3.3.2 Poliestireno

Podendo ser uma solução solvente ou em forma de emulsão aquosa, o poliestireno é uma resina termoplástica transparente e sem cloro. Normalmente tem boa aderência a materiais porosos. Tem boa aderência a madeira, e com exceção a ele mesmo, não adere a plásticos. Para a execução da colagem, é utilizado um catalisador de peróxido para operar um polímero de estireno de baixo peso molecular. O poliestireno polimeriza na linha de cola (SHIELDS, 1985).

A Figura 8 ilustra um exemplo da unidade repetida do poliestireno.

Figura 8 – Unidade Repetida do Poliestireno



Fonte: Callister *et al.* (2020)

Sendo muito utilizado como aprimorador de outros adesivos, como poliésteres insaturados, materiais termofusíveis. Tem limitações com altas temperaturas, produtos químicos, inflamabilidade, fragilidade e craqueamento. Sendo um bom isolante elétrico, resistência a água, radiação nuclear, biodeterioração e isolante termoacústico (EBNESAJJAD e LANDROCK, 2015).

As propriedades mecânicas do poliestireno se definem com a Gravidade Específica na faixa de 1,04 a 1,05, o Módulo em Tração podendo atingir valores de 2,28 a 3,28 GPa, o Limite de Resistência a Tração chegando a valores de 35,9 a 51,7 MPa, o Limite de Escoamento com valores entre 25,0 a 69,0 MPa e os valores de Alongamento na Ruptura atingindo 1,2 a 2,5 %. Outro valor importante ao poliestireno é o valor de temperatura de transição vítrea e fusão, onde a primeira ocorre á 100°C e o segundo á 240°C (CALLISTER *et al.*, 2020).

Na literatura corrente é freqüente estudos com a utilização de poliestireno expandido (EPS), (Masriet *al.*, 2018; Lacombe, 2015; Kaseemet *al.*, 2017; Sommerhuber, Wang e Krause, 2016; Ratanawilai e Taneerat, 2018; Abdel-Hakimet *al.*, 2021), porém, em alguns casos, é realizado um pré processo de diluição do EPS em solvente como thinner, gasolina. No processo de produção do EPS utiliza-se oxigênio para expansão das partículas de poliestireno, ao adicionar o solvente liberamos as partículas de oxigênio deixando o EPS em seu estado inicial.

Como é o caso supracitado de Masriet *al.* (2018) desenvolveu um compósito de matriz polimérica em seu estudo, sendo que, inicialmente utilizaram um pré processo de diluição do EPS em solvente. Esse processo é realizado para diminuir as células do EPS e liberar os gases presentes. Após a diluição e formação da massa de poliestireno, essa foi misturada as partículas de folha de Tamareira. O intuito desta pesquisa consistiu no desenvolvimento de compósitos com os resíduos de Tamareira e a matriz polimérica. A proporção mássica da matriz e das partículas de Tamareira foi de: 30/70, 25/75 e 20/80%. Para moldagem dos corpos de prova os materiais foram

depositados em formas metálicas com prensagem sem calor, com pressão de 10 bars (1 MPa) por 10 minutos. Além do estudo do polímero como aglutinante, os autores também realizaram ensaios para a análise da granulometria da folha de Tamareira (0.1 - 0.315; 0.315 - 0.5; 0.5 - 1mm). Os valores médios dos módulos de elasticidade e das resistências na flexão estática obtidos dos compósitos fabricados variaram entre 0.12 a 0.76 GPa e 0.43 a 2.96 MPa, respectivamente.

Estudos realizados por Lacombe (2015), em que os compósitos (partículas de resíduos de madeira e o PS como adesivo) foram fabricados de acordo com um processo de moldagem e prensagem (4 MPa) a frio por 12 minutos. A mistura das partículas de serragem foi feita manualmente, já que conforme o autor, o PS diluído em solvente se torna uma massa. Para a evaporação do solvente e também para a maior rigidez do polímero, as amostras foram ensaiadas 30 dias após o período de fabricação dos compósitos. O inchamento dos compósitos fabricados com partículas de madeira de Pinus resultou em valores entre 2.02 e 3.74%, sendo de 0.72 a 2.94%, de 0.80 a 1.50% e de 0.30 a 1.92% os valores do inchamento dos materiais feitos com partículas de madeira de Eucalipto, Peroba e Teca, respectivamente.

Kaseem *et al.* (2017) realizaram uma pesquisa com o objetivo da incorporação de PS como matriz em compósitos de fibras de madeira com a intenção de analisar o fluxo capilar e também as propriedades mecânicas dos mesmos elevando-se a temperatura do PS à temperatura de transição vítrea. Foram utilizadas partículas de madeira com espessuras nas dimensões de 100 e 600µm. Essas partículas foram misturadas (misturador aberto de dois rolos) com pallets de PS a uma temperatura de 180°C e velocidade de 20rpm por 20 minutos.

Pesquisa entorno de compósitos é executado também por Abdel-Hakim *et al.* (2021) onde eles estudam a possibilidade do uso de serragem e PS (SD/rEPS) para absorção de som, com isso, ouve uma substituição da matriz polimérica por serragem nas proporções em porcentagem (SP0, SP20, SP40, SP60 e SP80), as partículas de EPS estavam na ordem de 5 a 10mm, a serragem e o EPS foram misturados em um misturador a 170°C em uma rotação de 20rpm, por 10 minutos. Foi utilizado uma prensa aquecida eletricamente a uma temperatura de 180°C e pressão de 150kg/cm². Foram realizados ensaios de densidade, ensaios morfológicos, ensaios mecânicos, absorção de som e biodegradação.

O estudo desenvolvido por Ratanawilai e Taneerat (2018) analisa as propriedades mecânicas de cinco polímeros plásticos distintos como matriz polimérica

sendo eles, polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD), polipropileno (PP), polivinilcloreto (PVC) e PS, como reforço foi usado farinha de madeira. Para produção dos compósitos foi utilizado um misturador interno para misturar a farinha e conforme o tipo de plástico, além dos componentes citados foi utilizado 3% de anidrido maleico como agente de acoplamento, 0,2% de estabilizador de ultravioleta e 1,0% de cera de parafina como lubrificante, todos em massa, segundo os autores essas são as composições ideais encontradas na literatura para esses materiais. A composição mássica de plástico ficou definido (40, 50 e 60%), já a proporção mássica de farinha de madeira ficou definido (35,8, 45,8 e 55,8%). Os painéis foram produzidos por moldagem por compressão a uma temperatura variável de 140 a 200°C, e pressão de 1.000 a 2.500psi, velocidade do rotor de 50 a 120 rpm, por 10 a 20 min.

O estudo desenvolvido por Sommerhuber, Wang e Krause (2016) tem o propósito de avaliar o desempenho de compósitos derivados de madeira (Painel Aglomerado e *abeto da Noruega*) como reforço, onde essas madeiras são lascadas utilizando-se uma lamina de corte, e acrilonitrila-butadienoestireno (Abs) reciclado e PS de eletrônicos pós consumo ambos como matriz. A composição das misturas foi distribuída conforme o acréscimo de madeira a mistura, substituindo a massa de matriz plástica, ficando (0, 30 e 60%), foi realizado uma mistura a mais, referente a proporção de 60%, com o acréscimo de agente de acoplamento (anidrido maleico) em 3% referente a massa da mistura. A produção dos painéis foi realizado através de uma extrusora a 180°C (PS) e 200°C (Abs) com velocidade de 80 rpm e pressão de 53bar (PS) e 60bar (Abs). Foi realizado ensaio de densidade, absorção de água, resistência a flexão e resistência a tração perpendicular.

2.3.3.3 Painéis Aglomerados Plásticos

De acordo com Macedo *et al.* (2016) e Ferreira *et al.* (2019); são escassas as pesquisas sobre painéis aglomerados com a incorporação de plástico e conforme descrevem Masriet *al.*(2018); Lacombe (2015); Kaseemet *al.* (2017); Sommerhuber, Wang e Krause (2016); Ratanawilai e Taneerat (2018); Abdel-Hakim *et al.*(2021) é mais comum encontrar pesquisas que evidenciam o uso de plásticos em compósitos do que em painéis aglomerados.

Para a produção de painéis compósitos (madeira e plástico) os principais materiais se constituem da matriz plástica e o reforço que são as fibras e/ou as partículas de madeira. Para a produção dos painéis, é necessário expor o material a uma gradiente superior à temperatura de fusão do termoplástico e em alguns casos, utiliza-se pressão e em outros, extrusão (MUZEL, 2017).

Segundo Iwakiriet *al.* (2005), um painel derivado de madeira consiste do uso da madeira em suas diversas características de uso, adesivo, temperatura e pressão. Sendo assim, um painel aglomerado de madeira deve ter sua matriz aglutinada com adesivo. Dessa forma, o polímero plástico entra na composição da mistura como um reforço quando não atinge a temperatura de fusão, ou como aglutinante junto com o adesivo quando atinge a temperatura de fusão.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

No presente estudos foram utilizados os seguintes materiais:

- a) Madeira de Eucalipto *saligna*;
- b) Madeira de Pinus *elliottii*;
- c) Poliestireno expandindo;
- d) Poliuretanobicomponente derivado do óleo de mamona.

As madeiras de Eucalipto *saligna* e Pinus *elliottii* foram adquiridas no comércio local da cidade de Ilha Solteira - SP. O EPS é oriundo de copos descartáveis obtidos em pontos de coleta seletiva e o adesivo PUR fornecido pela empresa IMPERVEG.

3.2 DEFINIÇÃO DAS MISTURAS

Para avaliação da influência do EPS nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis, foram propostas misturas conforme apresentado na Tabela 1. São utilizados 10% de PUR com referência a porcentagem padrão utilizada no uso industrial (Iwakiriet *al.*, 2005).

Dessa forma, a mistura M1 é adotada como referência, sem adição de EPS, apenas PUR e mistura de madeira. As misturas M2, M3 e M4, são consideradas substituição, onde é substituída uma porcentagem de PUR por EPS (3/7; 5/5; 7/3). E as misturas M5, M6, M7 e M8 são adições de EPS na mistura, mantendo a porcentagem de PUR em 10%, sendo as variações de porcentagem do EPS em 10%, 30% e 50% sendo o M8 a mesma proporção de material que M7 variando o tamanho dos grãos de EPS.

Tabela 1 – Definição de cada mistura conforme a aplicação de poliestireno

Mistura	Pinus/Eucalipto (%)	PS (%)	PUR (%)
M₁	50/50	0	10
M₂	50/50	3	7
M₃	50/50	5	5
M₄	50/50	7	3
M₅	50/50	10	10
M₆	50/50	30	10
M₇	50/50	50	10
M₈	50/50	50	10

Fonte: Acervo do Autor

3.3 DETERMINAÇÃO DA MASSA DE MARAVALHAS PARA PRODUÇÃO DOS PAINÉIS.

De acordo com a NBR 14810-2 (ABNT- 2018) foi utilizada a Equação.

$$D = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Onde:

D = densidade do painel em g/cm³;

m = massa total de maravalhas necessário para produção do painel em g;

v = volume do painel em cm³.

Para produção dos painéis das misturas M1, M2, M3 e M4 foi utilizado o seguinte procedimento:

- Primeiramente foi definido a densidade nominal de 0,55g/cm³ e conjuntamente com o volume previamente estabelecido de 35x35x2cm (2.450cm³) foi determinado a massa seca das maravalhas para produção desse conjunto de amostras, o valor da massa determinado foi equivalente a 1.347,5g.

Já para produção dos painéis das misturas M5, M6, M7 e M8, considerou-se os seguintes procedimentos:

- Após definir a densidade nominal de $0,55\text{g/cm}^3$ e o volume previamente estabelecido igual a $35 \times 35 \times 1,5\text{cm}$ ($1.837,5\text{ cm}^3$) foi determinado o valor a massa seca de maravalhas para as misturas M5, M6, M7 e M8, com valor equivalente a 1010,625 g.

A Tabela 2 traz uma análise da distribuição mássica de cada mistura conforme cada componente da mesma, sendo assim, ao final é possível uma observação da massa total de todos os componentes somados de um painel e de três painéis.

Tabela 2 – Quantidade de materiais (g) por produção de painéis

Fonte: Acervo do Autor

3.4 TRATAMENTO DAS MARAVALHAS DE MADEIRA

Para a produção dos painéis, inicialmente houve a necessidade de se produzir as maravalhas e remover a umidade, para que fique em torno de 3%.

Mistura	Pinus (g)	Eucalipto (g)	EPS (g)	PUR (g)	Massa total p/ Painel (g)	Painel p/ Mistura	Massa total (g)
M₁	673,75	673,75	0	134,75	1.347,5	3	4.042,5
M₂	673,75	673,75	40,425	94,325	1.347,5	3	4.042,5
M₃	673,75	673,75	67,375	67,375	1.347,5	3	4.042,5
M₄	673,75	673,75	94,325	40,425	1.347,5	3	4.042,5
M₅	505,30	505,30	101,06	101,06	1.010,6	3	3.031,8
M₆	505,30	505,30	303,18	101,06	1.010,6	3	3.031,8
M₇	505,30	505,30	505,3	101,06	1.010,6	3	3.031,8
M₈	505,30	505,30	505,3	101,06	1.010,6	3	3.031,8

Fonte: Próprio autor.

3.4.1 Produção das maravalhas

Para produção das maravalhas foi utilizado uma plaina desengrossadeira para produção de cavacos. Em seguida, os cavacos foram processados em moinho de facas com peneira de 12mm objetivando produzir as maravalhas para serem utilizadas na produção dos painéis.

3.4.2 Separação e classificação dimensional das maravalhas

3.4.2.1 Separação dimensional das maravalhas

Para separação dimensional das maravalhas foi utilizado um agitador de peneiras, com o objetivo de se obter maravalhas no intervalo de 2 a 10 mm, portanto, as malhas utilizadas foram na abertura de 19,05; 12,5; 9,52; 6,36; 4,36 e 2,36 mm, sendo as maravalhas retidas nas peneiras de malha 2,36 e 6,36 utilizadas nas confecções dos painéis. Já as maravalhas com dimensões superiores foram processadas novamente no moinho de facas, novamente peneiradas e a menores descartadas.

A Figura 9 ilustra o agitador de peneiras onde foram depositadas as maravalhas e agitadas por período de 7 minutos.

Figura 9 – Agitador de Peneiras utilizados para separação dimensional das maravalhas



Fonte: Acervo do Autor

3.4.2.2 Determinação da composição granulométrica das misturas das maravalhas de madeira.

Para avaliação da composição granulométrica das maravalhas utilizou-se a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003). Este ensaio foi realizado utilizando peneiras de $\frac{1}{4}$ " nas numerações de N°4; N°8; N°16; N°30; N°50 e N°100 que correspondem as aberturas de malha de 6,36; 4,36; 2,36; 1,19; 0,595; 0,297; 0,149mm, respectivamente.

A Figura 10 ilustra o equipamento normatizado com as peneiras utilizadas no ensaio em ordem decrescente.

Figura 10 – Determinação da composição granulométrica das maravalhas de madeira



Fonte: Acervo do Autor

A NBR NM 248 (ABNT, 2003) é uma norma brasileira utilizada para determinação da composição granulométrica de agregados sólidos. Para realização dos ensaios foram utilizados 300g de cada amostra, contudo, para a avaliação da composição granulométrica de maravalhas no presente estudo, os ensaios foram realizados com aproximadamente 50g de amostra. Essa medida foi tomada, devido ao fato de a madeira ter tendência a ser um material mais leve que materiais como areia ou brita, o seu volume seguindo a norma não caberia no peneirador, logo a necessidade de diminuir a massa das amostras. Esse valor de massa seca ser considerado como suficiente para realização do ensaio que foi realizado em triplica para efeito de comparação dos resultados.

Para realização do ensaio, as amostras foram secas em estufa até atingirem umidade próximo de 0%. Em seguida foram depositadas no agitador configurado com vibração de nível 4 por 15 minutos.

Em seguida foi retirada a peneira superior e agitado manualmente (sobre a coluna de peneiras) para que o material que ficou preso nas malhas caísse na peneira seguinte. O material retido no interior da peneira teve sua massa medida e definido como material retido esse procedimento foi repetido com todas as peneiras. De acordo

com a norma, a somatória do material retido em de todas as peneiras não pode ser inferior a 0,3% da massa da amostra ensaiada.

Este ensaio possibilitou definir a porcentagem retida de cada peneira, a porcentagem média retida e acumulada, assim como o módulo de finura, com 0,01 de desvio.

3.4.3 Determinação do teor de umidade das maravalhas

Os ensaio do teor de umidade das maravalhas foram realizados de acordo com a norma NBR 14810-2 (ABNT- 2018). Inicialmente foi medido as massas de três amostras de cada madeira (Pinus e Eucalipto), e de três amostras das misturas com duas madeiras. Sucessivamente essas amostras foram colocadas em uma estufa na temperatura de $(105 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e em seguida foram aferidas as massas em intervalos de tempo diferentes, até que variação da massa seja de 0,1 g e atinjam umidade entre 3 a 5%. O teor de umidade foi determinado empregando-se a Equação 2:

$$U = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

U = teor de umidade das maravalhas, em (%);

M_u = massa úmida, cotado em g;

M_s = massa seca, cotado em g.

3.5 PREPARAÇÃO DO POLIESTIRENO

O PS utilizado para produção dos painéis é proveniente de copos plásticos e é conhecido comercialmente como poliestireno expandido (EPS). Para dissolução do oxigênio, objetivando a fluidificação do EPS, foi utilizado o valor de temperatura de transição vítrea do PS, por meio de aquecimento no momento da prensagem das maravalhas para produção do painel.

3.5.1 Trituração do poliestireno

Após o processo de higienização, os resíduos de EPS foram triturados em um moinho de facas equipada com peneira com malha de 3 mm de diâmetro. O objetivo de se triturar o EPS foi à produção de partículas com a menor dimensão possível, pois, ao ser submetido à temperatura, facilitar a fluidez do EPS e consequentemente, melhorar a interação com o PUR e envelopamento das maravalhas.

No processo de trituração, foram acrescentados os resíduos de EPS, aos poucos, para que não o corresse danos ao moinho, já que em primeiro contato, o resíduo de EPS se desfiam e se aglomeram uns aos outros criando uma palha; depois todas as fibras são cortadas e picotadas dentro do moinho na espessura da malha ou menor.

Para a Mistura M8 foi utilizado o moinho de facas novamente para um segundo reprocessamento, porém nessa segunda etapa equipado com a peneira de 0,5mm.

3.6 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DAS MARAVALHAS.

Visando determinar a massa específica das maravalhas e sabendo que esse tipo de materiais possui estrutura porosa, foi utilizado a NBR 6457 e 6458. Nesse sentido, considerando-se que os materiais obtidos são formados por misturas com maravalha de madeira de pinus, eucalipto e o resíduo de EPS. Verificou-se inicialmente que não seria possível a realização dos ensaios com água, devido a dificuldade da imersão adequada das maravalhas de madeira e das partículas de poliestireno, desse modo, para realização correta do ensaio foi utilizado o álcool etílico anidro 99,3% INPM.

Na Figura 11 é apresentado o experimento para a realização da calibração do picnômetro para 500ml de álcool, no qual foi utilizado um termômetro com escala de -10 a 100°C (resolução de 0,1°C), balança de precisão com resolução de 0,01g e funil de vidro. O processo de calibração do picnômetro com álcool etílico foi iniciado colocando o termômetro para aferição da temperatura (Figura 11a) até estabilizar e em seguida foi introduzido resíduo de EPS no picnômetro para determinação da massa específica, como ilustrado na Figura 11b.

Figura 11 – Materiais e equipamentos utilizados para determinação da massa específica das maravalhas.



(a) Calibração do picnômetro



(b) Introdução do poliestireno no picnômetro

Fonte: Acervo do Autor

Por meio da Equação 3 calculou-se a massa específica das maravalhas e do EPS.

$$\rho_s = \frac{M_s \times \rho_a}{M_2 - M_1 + M_s} \quad (3)$$

Onde:

ρ_s = massa específica (g/cm³) das maravalhas;

M_s = massa seca (g);

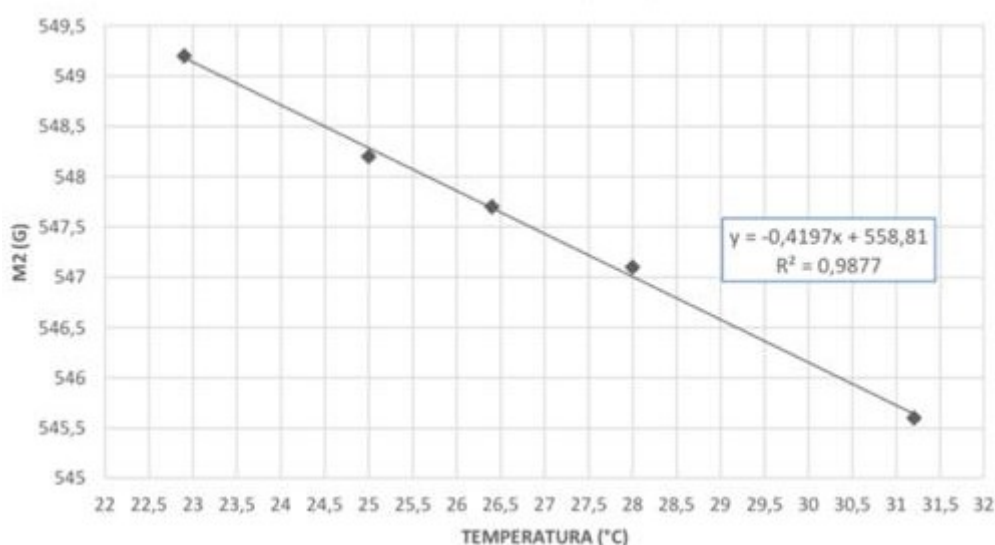
M_1 = Massa aferida dos componentes (massa (g) da somatória de picnômetro + álcool + maravalhas), à temperatura constante aferida em ensaio (T°C);

M_2 = Massa aferida dos componentes (massa (g) da somatória de picnômetro + álcool) à temperatura constante aferida em ensaio (T°C) obtido pela curva de calibração do picnômetro;

ρ_a = massa específica do álcool (g/cm³).

A Figura 12 ilustra a curva de calibração realizada.

Figura 12 – Curva de Calibração do Picnômetro



Fonte: Bispo (2021)

3.7 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS

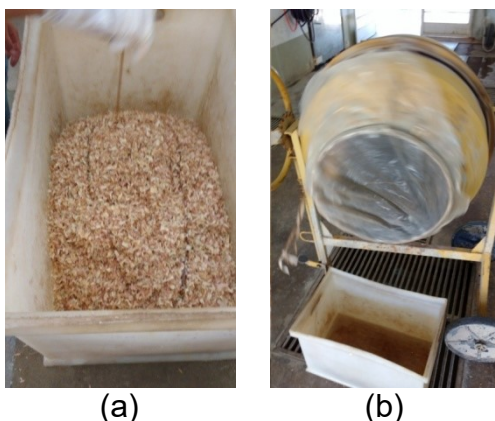
3.7.1 Homogeneização da resina e prensagem dos painéis

Para obtenção dos painéis, primeiramente realizou a mistura dos componentes, onde foram mantidas fixas as concentrações mássicas de pinus e eucaliptos, enquanto que foram variadas as concentrações de mássicas resíduo de EPS e PUR. Com as maravalhas previamente misturadas, conforme os valores das massas apresentados na Tabela 1 para cada amostra, realizou-se a homogeneização do adesivo conforme descrito por Gilio (2020), onde foi adicionado primeiramente o poliol para depois ser adicionado o pré-polímero, sendo que, os dois componentes são utilizados na razão 1:1. Esse procedimento vem sendo adotado para possibilitar melhor homogeneização do PUR e maravalhas antes de iniciar a cura do adesivo.

A Figura 13a e 13b ilustra a adição e homogeneização da resina PUR por meio do processo manual e em um tambor giratório (betoneira).

Primeiro foi adicionado na maravalhas o poliol e em seguida realiza-se a homogeneização com o tambor giratório durante 5 minutos. Em seguida, foi adicionado o pré-polímero e realizado o mesmo procedimento de homogeneização.

Figura 13 – Adição da PU-Mamona e homogeneização das maravalhas

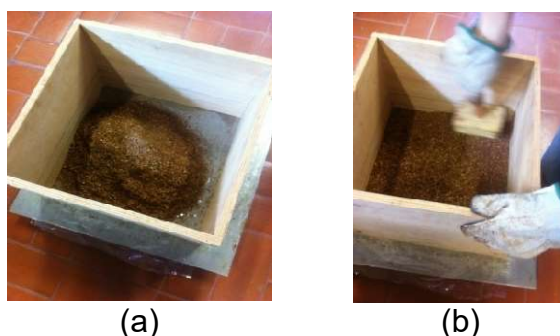


(a) Adição da PU-Mamona e homogeneização manual (b) Homogeneização em tambor giratório

Fonte: Acervo do Autor

Após adição da PUR preparou-se o colchão da mistura com maravalhas utilizando-se uma formadora de colchão conforme ilustra a Figura 14.

Figura 14 – Formadora de Colchão



(a) Deposição das maravalhas na formadora de colchão (b) Acomodação das maravalhas na formadora de colchão

Fonte: Acervo do Autor

Em seguida o colchão de maravalhas foi depositado nos pratos da prensa hidráulica com controle de temperatura e pressão.

Os painéis foram prensados uma temperatura de 110 °C e 65 tf de força, ou pressão aproximada de 50 Kf/cm², durante tempo de 10 minutos, em intervalo inicial de 5 minutos, alívio da carga por 30 segundos e intervalo final de 5min. A Figura 15 demonstra a prensagem de um painel.

Figura 15 – Prensa utilizada na prensagem dos Painéis



Fonte: Acervo do Autor

Após prensagem os painéis foram submetidos à secagem em local coberto à temperatura ambiente por período acima de 7 dias, visando a finalização da polimerização e cura da PUR. Após esse período foram realizados o esquadrejamento e os primeiros preparos para os ensaios físicos. A Figura 16 ilustra os painéis após prensagem.

Figura 16 – Aspectos gerais dos painéis após prensagem



Fonte: Acervo do Autor

3.8 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – MEV

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada com o intuito de analisar a distribuição das duas espécies (pinus e eucalipto) de maravalhas de madeira, a adesão das maravalhas com os polímeros (PUR e EPS), e a superfície de fratura.

Inicialmente é realizado a preparação das amostras que serão utilizadas para a obtenção das imagens. Aproveitou-se de um cp de cada mistura que foi utilizado no ensaio de tração perpendicular, dessa forma, esse cp possuía uma das faces com fratura esta que foi preservada para a realização do ensaio. Posteriormente, o cp que possuía uma dimensão de 5x5x1,5(2,0)cm foi cortado em um tamanho de 1x1x0,4cm.

Após a especificação dos tamanhos específicos das amostras estes foram posicionados em um porta amostra Stub fixado com dupla face de carbono. Foi feita uma fina camada de ouro na superfície onde foi realizado o ensaio, foi utilizado a metalizadoraQuarum, modelo Q150TE para esse procedimento, posteriormente as amostras foram levadas ao equipamento ZEISS modelo EVO LS15, acoplado com EDS – OXFORD Instruments, modelo INCAX-act, onde foi realizado o ensaio de MEV.

3.9 TERMOGRAVIMETRIA - TG

No presente trabalho foram avaliados o comportamento térmico dos painéis obtidos durante a realização desse projeto visando avaliar a influencia da resina PUR e a inserção do resíduo EPS nas propriedades térmicas finais dos painéis compósitos de Pinus/Eucalipto. Para essa finalidade, primeiramente foi realizado um estudo das propriedades térmicas de cada material individual, para então compreender qual sua influência sobre as propriedades de cada amostra obtida.

3.10 ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS

Foram realizados ensaios para determinação da densidade, teor de umidade, inchamento em espessura após 24 horas, bem como teste de tração perpendicular, resistência à flexão estática e módulo de elasticidade.

A Figura 17 apresenta um diagrama elaborado para extração dos corpos de prova (cps) dos painéis.

Figura 17 – Diagrama para extração dos corpos de prova

	Flexão	Flexão	Flexão	Flexão		
	Flexão	Flexão	Flexão	Teor de Umidade		
	Flexão	Tração e Densidade	Tração e Densidade	Inchamento e Absorção	Inchamento e Absorção	
					Inchamento e Absorção	
	Flexão	Tração e Densidade	Tração e Densidade	Inchamento e Absorção	Teor de Umidade	
	Flexão	Flexão	Teor de Umidade	Teor de Umidade		
	Flexão	Flexão	Flexão	Flexão		

Fonte: Elaborado pelo Autor

Para o ensaio de flexão estática foram extraídos cp's de 5x35cm, esse critério foi adotado para que a partir dos cp's de flexão fossem retirados cp's para os demais ensaios. Os ensaios foram realizados usando a norma ABNT NBR 14810-2 (2018).

Assim, para realização do ensaio de flexão estática utilizou-se a Equação 4 para determinação do comprimento do vão, considerando-se a largura de 5cm e a espessura previamente aferida para o cp.

$$C = (20 \times E + 50) \text{ mm} \quad (4)$$

Onde:

C = Comprimento do vão em milímetros

E = Espessura em milímetros dos corpos de prova.

Conforme proposto na Figura 17, considerou-se para realização dos ensaios que as regiões mais centrais dos painéis fossem utilizadas para extração dos cp's para os avaliação das propriedades mecânicas e as regiões mais próximas das bordas dos painéis foram utilizadas para extração dos cp's para os ensaios físicos.

3.10.1 Ensaios Físicos

De acordo com a ABNT NBR 14810-2 (2018) para os ensaios físicos são necessários no mínimo 3 painéis e 10 cp's com dimensões de 50x50x e em milímetros, onde e é a espessura variável do cp, observando-se o intervalo de variação de acordo com a norma, consequentemente, dos três painéis de cada mistura proposta na Tabela 1, foram retirados 10 cp's.

3.10.1.1 Determinação da Densidade

Seguindo a norma ABNT NBR 14810-2 (2018), a densidade dos painéis foi determinada utilizando-se a Equação (1), onde o comprimento e largura de cada amostra foram aferidas utilizando um paquímetro e a espessura do corpo de prova foi aferido utilizando um micrômetro digital.

Após o cálculo da densidade de cada cp com precisão de 0,001g/cm³, determinou-se a densidade média e utilizando-se a Equação 5, calculou-se a variação percentual da densidade dos cp's em relação à densidade média.

$$D_{\%} = \frac{(D - D_m)}{D_m} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

D = densidade do painel em g/cm³;

$D_{\%}$ = variação da densidade em porcentagem (%);

D_m = densidade média dos corpos de prova de uma mistura, dado em g/cm³.

3.10.1.2 Determinação do Teor de Umidade dos Painéis

O teor de umidade dos painéis foi determinado de acordo com a normativa ABNT NBR 14810-2 (2018) a partir de 10 cp's extraídos de 3 painéis. Os cp's foram ensaiados e os teores de umidade determinados utilizando-se uma balança semi-analítica com precisão de 0,01g para aferição da massa úmida e da massa seca dos cp's. Os resultados foram calculados por meio da Equação 6.

$$U = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

U = teor de umidade em %;

M_u = massa úmida em g;

M_s = massa seca em g.

3.10.1.3 Inchamento em espessura após 24h

Para verificação da variação da espessura dos cp's após serem submersos em água deionizada durante 24h, foi seguido à norma ABNT NBR 14810-2 (2018). O cálculo da variação de espessura em % foi realizado pela Equação 7.

$$I = \frac{E_1 - E_0}{E_0} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

I = inchamento em espessura do corpo de prova, dado em porcentagem (%);

E_1 = espessura do corpo de prova após imersão, dado em mm;

E_0 = espessura do corpo de prova antes da imersão, dado em mm.

3.10.1.4 Absorção de água após 24h

Para verificação da variação da absorção de água dos cp's após serem submersos em água deionizada durante 24h, foi seguido à norma ABNT NBR 14810-2 (2013). O cálculo da variação de espessura em % foi realizado pela Equação 8.

$$AA = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

AA = absorção de água do corpo de prova, dado em porcentagem (%);

M_1 = massa do corpo de prova após imersão, dado em (g);

M_0 = massa do corpo de prova antes da imersão, dado em (g).

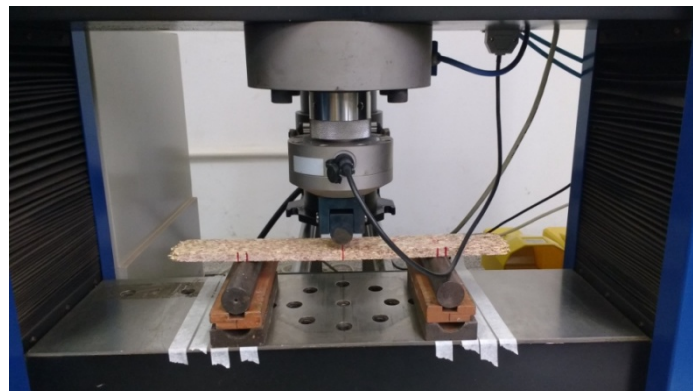
3.10.2 Ensaios mecânicos

Ensaios mecânicos foram realizados para avaliar a resistência à flexão estática; módulo de elasticidade; resistência à tração perpendicular. Todos os ensaios foram realizados com base na norma ABNT NBR 14810-2 (2018) utilizando um equipamento de ensaio mecânico universal de modelo EMIC GR048 da Instron, com célula de força de 300kN.

3.10.2.1 Resistência à Flexão Estática e Módulo de Elasticidade

Para realização dos ensaios foram considerados 10 cp's de 3 painéis de cada tratamento nas dimensões de 350x50x10 mm sendo a espessura variando de 10 a 20mm. A Figura 18 ilustra o ensaio realizado para avaliação da resistência à flexão estática.

Figura 18 – Ensaio de Resistência à Flexão Estática



Fonte: Acervo do Autor

A Equação 9 foi utilizada para calcular o módulo de resistência à flexão estática.

$$MOR = \frac{1,5 \times (P \times D)}{B \times (E)^2} \quad (9)$$

Onde:

MOR = módulo de resistência à flexão estática, dado em (MPa);

P = carga de ruptura lida no indicador de cargas, dado em (N);

D = distância entre apoios, dado em (mm);

B = largura do corpo de prova, dado em (mm);

E = espessura do corpo de prova, dado em (mm).

A partir dos valores determinados para o MOR, a Equação 10 foi utilizada para determinação do MOE.

$$MOE = \frac{1,5 \times (P \times D)}{B \times (E)^2} \quad (10)$$

Onde:

MOE = módulo de resistência à flexão estática, dado em (MPa);

P1 = carga do limite proporcional, lida no indicador de cargas, dado em (N);

D = distância entre apoios, dado em (mm);

d = deflexão, dado em (mm);

B = largura do corpo de prova, dado em (mm);

E = espessura do corpo de prova, dado em (mm).

3.10.2.2 Resistência à Tração Perpendicular

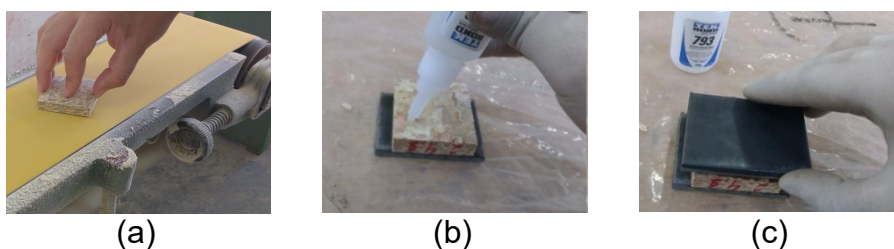
Os ensaios para avaliação da resistência à tração perpendicular foram realizados nos cp's utilizados para determinação da densidade aparente dos painéis, com o objetivo de avaliar a influência da densidade na resistência à tração.

Para a realização do ensaio de tração é muito importante realizar a preparação para colagem dos suportes metálicos na superfície do cp:

- Lixa-se as faces do cp para deixá-las paralelas (a);
- Distribui-se um adesivo de boa qualidade na superfície do cp e limpa-se o suporte metálico com “thinner” para propiciar melhor fixação do cp (b);
- Fixa o suporte metálico na superfície do cp aplicando-se pressão constante por 24h.

A Figura 19 ilustra o processo de preparação para colagem dos suportes metálicos.

Figura 19 – Preparação do cp para Ensaio de Tração Perpendicular.



Fonte: Acervo do Autor

A Figura 20 ilustra a realização do ensaio para avaliação da resistência à tração perpendicular com base na norma ABNT NBR 14810-2 (2018).

Figura 20 – Aspectos Gerais do Ensaio de Resistência à Tração Perpendicular no Momento da Ruptura de um cp.



Fonte: Acervo do Autor

Logo, os valores de tração perpendicular foram determinados pela equação 11

$$TP = \frac{P}{S} \quad (11)$$

Onde:

TP = resistência à tração perpendicular, dado em (N/mm²);

P = carga na ruptura, dado em (N);

S = área da superfície do corpo de prova, dado em (mm²).

3.11 ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS RESULTADOS

Para a realização das análises estatísticas foi utilizado o teste de contraste de médias de Tukey, ao nível de 5% de significância, essa análise foi elaborada com o objetivo de avaliar a interação e a eficiência do EPS na produção dos painéis aglomerados aglutinados com PUR.

Inicialmente foram analisados os resultados dos painéis da mistura de referência (M1) com 0% de EPS e 10% de PUR. Em seguida foram analisados os resultados das misturas M5 com 10% de EPS e 10% de PUR, M6 com 30% de EPS e 10% de PUR e M7 com 50% de EPS e 10% de PUR. Vale ressaltar que os painéis dessas misturas apresentaram os resultados mais significativos.

A análise por meio do teste de Tukey possibilita verificar o desempenho dos painéis por comparações múltiplas, conforme a propriedade analisada e, os resultados das análises são representadas por letras para distinguir os graus de maior valor médio até o menor valor médio, a ordem segue o alfabeto romano que utilizamos sendo (A) o grupo ligado ao maior valor médio da propriedade investigada, seguindo por (B) como o grupo com o segundo maior valor médio e assim por diante, outro detalhe é que letras iguais implicam em composições distintas com médias estatisticamente equivalentes.

Para validar os resultados obtidos no teste de Tukey foi utilizado o teste de Anderson-Darling e o teste de Comparações Múltiplas, os dois foram avaliados ao nível de 5% de significância.

Pela formulação de ambos os testes, valor-p (probabilidade p) maior ou igual ao nível de significância implica na normalidade e na equivalência das variâncias, e na não normalidade e não equivalência das variâncias em caso contrário.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse tópico serão apresentados os resultados obtidos para os diferentes testes e ensaios realizados em todas as amostras dos painéis obtidos no presente estudo. Para isso, os resultados dos ensaios e caracterização dos painéis foram realizados com base na ABNT NBR 14810-2 (2018).

4.1 SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DAS MARAVALHAS

De acordo com vários estudos encontrados na literatura corrente sobre painéis aglomerados de madeira, as características físicas e mecânicas das maravalhas influenciam diretamente nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis (OLIVEIRA *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2021; IWAKIRI *et al.*, 2012).

O teor de umidade influencia diretamente no desempenho do adesivo, bem como a densidade das maravalhas na compactação e nas propriedades físicas e mecânicas do painel, ou seja, maravalhas de espécies de madeira menos densas propiciam melhor eficiência do adesivo e, conseqüentemente, mais facilidade de envelopamento e adesão entre as maravalhas (IWAKIRI *et al.*, 2005).

4.1.1 Granulometria das maravalhas

Com o intuito de se determinar a granulometria das maravalhas de cada espécie das madeiras utilizadas e das suas misturas para produção dos painéis, foi realizado o ensaio de granulometria conforme descrito anteriormente no capítulo metodologia. As Tabelas 3, 4 e 5 apresentam os resultados dos ensaios para determinação da composição granulométrica para as maravalhas de pinus, eucalipto e misturas de pinus e eucalipto (50x50%).

Tabela 3 – Composição Granulométrica do Pinus

PENEIRA		M	MA	PR	PRA	MP	PMP
Nº	D (mm)	(g)	(g)	(%)	(%)	(g)	(%)
¼"	6,30	0,30	0,30	0,86	0,86	34,70	99,14
4	4,76	1,31	1,61	3,74	4,60	33,39	95,40
8	2,38	26,36	27,97	75,31	79,91	7,03	20,09
16	1,19	6,77	34,74	19,34	99,25	0,26	0,74
30	0,595	0,16	34,90	0,46	99,71	0,10	0,29
50	0,297	0,00	34,90	0,00	99,71	0,10	0,29
100	0,149	0,00	34,90	0,00	99,71	0,10	0,29
Fundo	Fundo	0,00	34,90	0,00	99,71	0,10	0,29
Massa Ensaída (g)		Perdas (g)		Perdas (%)		Módulo de Finura	
35,00		0,10		0,29		4,84	

M=massa; MA=massa acumulada; PR=porcentagem retida; PRA=porcentagem retida acumulada;
MP=massa passante; PMP=porcentagem de massa passante

Fonte: Elaborado pelo Autor

Tabela 4 – Composição Granulométrica do Eucalipto

PENEIRA		M	MA	PR	PRA	MP	PMP
Nº	D (mm)	(g)	(g)	(%)	(%)	(g)	(%)
¼"	6,30	0,26	0,26	0,74	0,74	34,74	99,26
4	4,76	1,75	2,01	5,00	5,74	32,99	94,26
8	2,38	16,14	18,15	46,11	51,86	16,85	48,14
16	1,19	14,34	32,49	40,97	92,83	2,51	7,17
30	0,595	2,24	34,73	6,40	99,23	0,27	0,77
50	0,297	0,18	34,91	0,51	99,74	0,09	0,26
100	0,149	0,02	34,93	0,06	99,80	0,07	0,20
Fundo	Fundo	0,00	34,93	0,00	99,80	0,07	0,20
Massa Ensaída (g)		Perdas (g)		Perdas (%)		Módulo de Finura	
35,00		0,07		0,20		4,50	

M=massa; MA=massa acumulada; PR=porcentagem retida; PRA=porcentagem retida acumulada;
MP=massa passante; PMP=porcentagem de massa passante

Fonte: Elaborado pelo Autor

Tabela 5 – Composição Granulométrica da Mistura Pinus e Eucalipto

PENEIRA		M	MA	PR	PRA	MP	PMP
Nº	D (mm)	(g)	(g)	(%)	(%)	(g)	(%)
¼"	6,30	0,62	0,62	1,77	1,77	34,38	98,23
4	4,76	2,91	3,53	8,31	10,08	31,47	89,91
8	2,38	20,46	23,99	58,46	68,54	11,01	31,46
16	1,19	9,12	33,11	26,06	94,60	1,89	5,40
30	0,595	1,55	34,66	4,43	99,03	0,34	0,97
50	0,297	0,22	34,88	0,63	99,66	0,12	0,34
100	0,149	0,03	34,91	0,09	99,75	0,09	0,26
Fundo	Fundo	0,00	34,91	0,00	99,75	0,09	0,26
Massa Ensaída (g)		Perdas (g)		Perdas (%)		Módulo de Finura	
35,00		0,09		0,26		4,73	

M=massa; MA=massa acumulada; PR=porcentagem retida; PRA=porcentagem retida acumulada;
MP=massa passante; PMP=porcentagem de massa passante

Fonte: Elaborado pelo Autor

Ao se analisar as Tabelas 3, 4 e 5, percebe-se um acúmulo de maior proporção nas peneiras 8 e 16 (2 a 4mm) para as três análises. Sendo assim, em porcentagem retida, somando as duas peneiras (8 e 16) retém-se acima de 84% do total de todo o material apenas nessas duas peneiras, para ser mais exato, na Tabela 3, verificou-se que a retenção foi de 94,65%; na Tabela 4 foi de 87,08%; e na Tabela 5 o valor foi de 84,52%, contudo, os painéis foram produzidos considerando-se maravalhas com dimensões nas faixas de 2 a 10mm, objetivando-se propiciar melhor distribuição granulométrica e consequentemente maior estabilidade dimensional para os painéis.

Vale ressaltar outro aspecto importante a ser considerado na análise granulométrica que é o módulo de finura, pois, para as composições granulométricas realizadas foram obtidos na faixa de 4mm, ou seja, dentro das especificações normativas para produção de painéis aglomerados.

4.1.2 Teor de umidade das maravalhas

Nos estudos propostos todos os painéis foram produzidos com misturas de 50% Pinus e 50% Eucalipto e, consequentemente, foi calculado o teor de umidade para essa mistura. A Tabela 6 apresenta o resultado obtido para o teor de umidade.

Tabela 6 – Resultado das misturas de maravalha com 50% de Pinus e 50% de Eucalipto

MISTURA	MÉDIA TEOR DE UMIDADE (%)	CV (%)
50% Pinus e 50% Eucalipto	3,00	3,27

Fonte: Elaborado pelo Autor

Considerando-se a utilização do adesivo PUR e segundo suas características do ponto de vista da reação de cura, as partículas de maravalha necessitam serem secas até atingirem o mínimo de umidade possível, para isso as mesmas foram levadas a estufa à temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (MARINHO *et al.*, 2013). Visando reduzir os valores de umidade das maravalhas cujo valor médio ficou entre de 2,76 a 7,35%, para a M1 e M5, respectivamente.

Com os ensaios realizados nos cps dos painéis, foram determinados valores de teores de umidade e apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Teor de Umidade de cada Painel Produzido

MISTURA	PAINEL 1 (%)	PAINEL 2 (%)	PAINEL 3 (%)	MÉDIA (%)	CV (%)
M1	2,73	2,79	2,76	2,76	0,89
M2	5,45	5,90	5,44	5,60	3,83
M3	3,12	2,92	2,91	2,98	3,25
M4	2,89	2,89	2,85	2,88	0,67
M5	7,19	7,80	7,05	7,35	4,43
M6	6,73	6,50	6,81	6,68	1,97
M7	6,42	7,15	6,44	6,67	5,09
M8	1,92	3,71	3,48	3,04	26,16

Fonte: Elaborado pelo Autor

4.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS FÍSICOS

4.2.1 Determinação da Densidade

4.2.1.1 Massa específica das maravalhas

Na Tabela 8 são apresentados os resultados do ensaio determinados para a massa específica das maravalhas de pinus, eucalipto e EPS.

Tabela 8 – Massa Específica das Maravalhas

MATERIAL	MASSA ESPECÍFICA (g/cm³)
Poliestireno	1,1330
Pinus	0,6350
Eucalipto	0,9328

Fonte: Elaborado pelo Autor

Os valores determinados para as massas específicas do EPS, pinus e eucalipto objetivam propiciar melhor entendimento nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis, considerando-se a influência das características de cada material na mistura para produção dos painéis.

4.2.1.2 Resultado da Densidade dos Painéis

De acordo com os valores expostos na Tabela 8 referente à Massa específica das maravalhas é possível comparar os resultados de densidade média obtido com os painéis do presente estudo, dispostos na Tabela 9, assim como o módulo máximo de variação da densidade.

Tabela 9 – Resultado do Ensaio da Determinação de Densidade

P/M	DM (kg/m³)	MVD (%)	CV (%)
P/M1	791,35	3	2,98
P/M2	756,34	4	4,57
P/M3	774,94	3	2,80
P/M4	821,55	2	1,60
P/M5	890,45	2	2,80
P/M6	925,85	2	2,42
P/M7	967,61	1	1,73
P/M8	867,89	3	4,05

P/M- painéis/mistura; DM- densidade média;
MD- módulo de variação da densidade; CV- coeficiente de variação

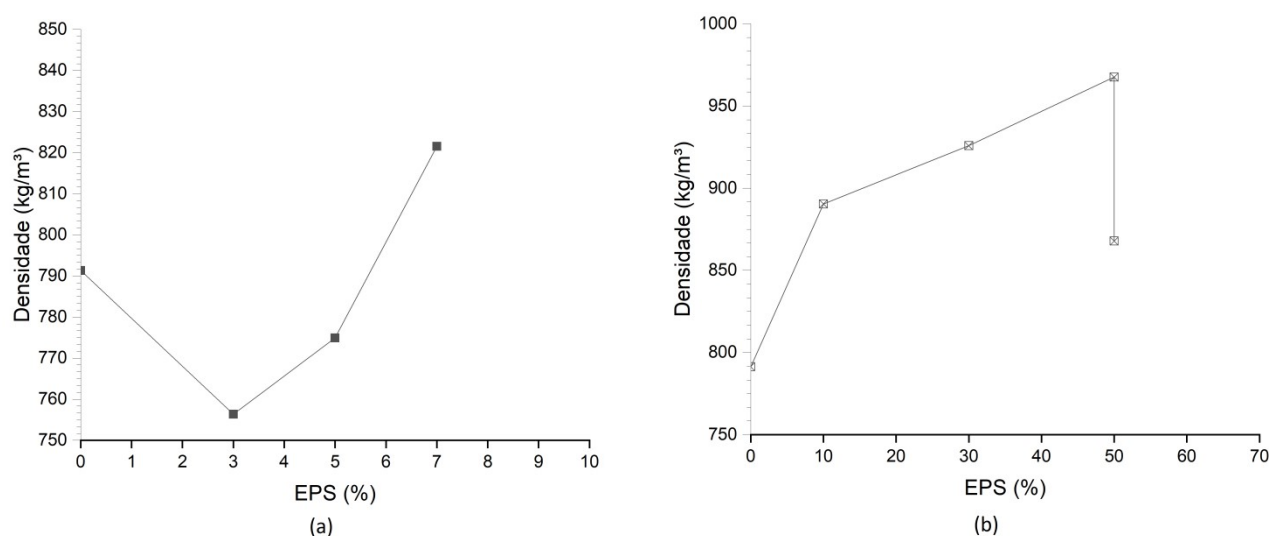
Fonte: Elaborado pelo Autor

De acordo com a norma brasileira NBR14810-2 (ABNT, 2018), painéis aglomerados de madeira devem atingir densidades médias entre 551 a 750 Kg/m³, estando acima desse valor máximo é considerado painel de alta densidade. Os valores de densidade obtidos nesse estudo ficaram acima de 750kg/m³, provavelmente pelo acréscimo de EPS a mistura se observarmos a Tabela 9, dessa forma o material ficou totalmente diferente aos padrões testados pela normativa, com isso utilizaremos da

literatura como referência de resultados (Masriet *et al.*, 2018; Lacombe, 2015; Kaseemet *et al.*, 2017; Oliveira *et al.* 2021; Sommerhuber, Wang e Krause, 2016).

É possível observar através da Figura 21 a relação entre as proporções acrescidas de EPS conforme cada mistura e seus respectivos valores de densidade.

Figura 21 – Gráfico de densidade em relação à porcentagem de EPS à mistura, (a) M1, M2, M3 e M4; (b) M1, M5, M6, M7 e M8



Fonte: Elaborado pelo Autor

Um importante aspecto observado com relação aos valores da densidade obtidos dos painéis está relacionado com a quantidade de EPS acrescentado às misturas (M4, M5, M6, M7 e M8), ou seja, quanto maior foi a quantidade de resíduo de EPS introduzido no painel maior foi a densidade dos mesmos.

Com exceção de M8, que diminui o tamanho dos grãos de EPS, esta mistura obteve uma diminuição de densidade, chegando a um valor inferior ao obtido pela média da mistura M5, porém ainda se mantendo acima da densidade das misturas de substituição de EPS por PUR (M2, M3 e M4) e da mistura de referência (M1).

Em estudos realizados por Masriet *et al.* (2018), a utilização de EPS dissolvido em gasolina para produção de painéis compósitos estabeleceu teor de densidade de 542 a 824 kg/m³ sendo o menor valor obtido da amostra LPC-C2 e o maior valor da amostra LPC-A3, ambos retirados de amostras com maior proporção de EPS na matriz, com a diferença que as amostras “A” possuem os grãos da folha de tamareira menor que os grãos das amostras “C”. Esses valores de densidade estão próximos aos valores

determinados nesse trabalho, sendo que, a mistura M5 ao M8 esteve acima dos valores de Masriet *et al.* (2018).

Em outro estudo, conduzido por Lacombe (2015), segundo o autor os painéis produzidos com misturas de pinus e EPS dissolvidos com thinner e gasolina apresentaram média das densidades de 505 e 508 kg/cm³, respectivamente. Já para os painéis produzidos com maravalhas de eucalipto e EPS dissolvidos com thinner e gasolina, os valores determinados da média das densidades foram de 698 kg/m³ e 643 kg/m³, respectivamente, ou seja, nos dois estudos realizados por Lacombe, os valores de densidades determinados são inferiores aos determinados neste trabalho.

Esse aumento considerável da densidade tem sua parcela, em primeiro lugar, a densidade do EPS que como observamos na Tabela 9 possui 1,133 g/cm³, sendo que as madeiras estiveram entorno de 0,635 – 0,9328 g/cm³. Uma segunda situação é com o uso da termodinâmica ouve uma interação do EPS com a resina PUR.

No estudo desenvolvido por Sommerhuber, Wang e Krause (2016) os resultados de densidade mais expressivos encontrados pelos autores foram nas misturas que possuía matriz com Abs, sendo assim, a mistura Abs/Pb60 (1.251 kg/cm³), Abs/W60 (1.257 kg/cm³). No caso de EPS as misturas mais expressivas foram, PS/Pb60 (1.242 kg/cm³) e PS/W60 (1.247 kg/cm³). Todas as misturas citadas possuíram resultados próximos aos seus pares que utilizaram agente de acoplamento, porem mesmo assim os valores foram expressivos. Uma das possibilidades é o uso da termodinâmica em nível de fusão do plástico.

Oliveira *et al.* (2021) obteve valores de densidade para as misturas T1, T2 e T3 conforme os valores 952,07, 857,61 e 924,37 kg/m³, respectivamente. Essa variação inicial se da por conta do eucalipto ser uma madeira de densidade alta, ao acrescentar couro à mistura tem-se uma perca inicial da densidade que depois vem a ter um leve aumento, essa característica deve-se muito pelo uso da PUR. Assim como nesse trabalho a PUR e o EPS que fazem uma interação e acrescentam positivamente os resultados finais.

4.2.2 Determinação do Teor de Umidade

Os valores obtidos com o ensaio do teor de umidade foram comparados com trabalhos da literatura. Na Tabela 10 estão dispostas as médias de cada mistura desse ensaio.

Tabela 10 – Resultado do Ensaio da Determinação do Teor de Umidade

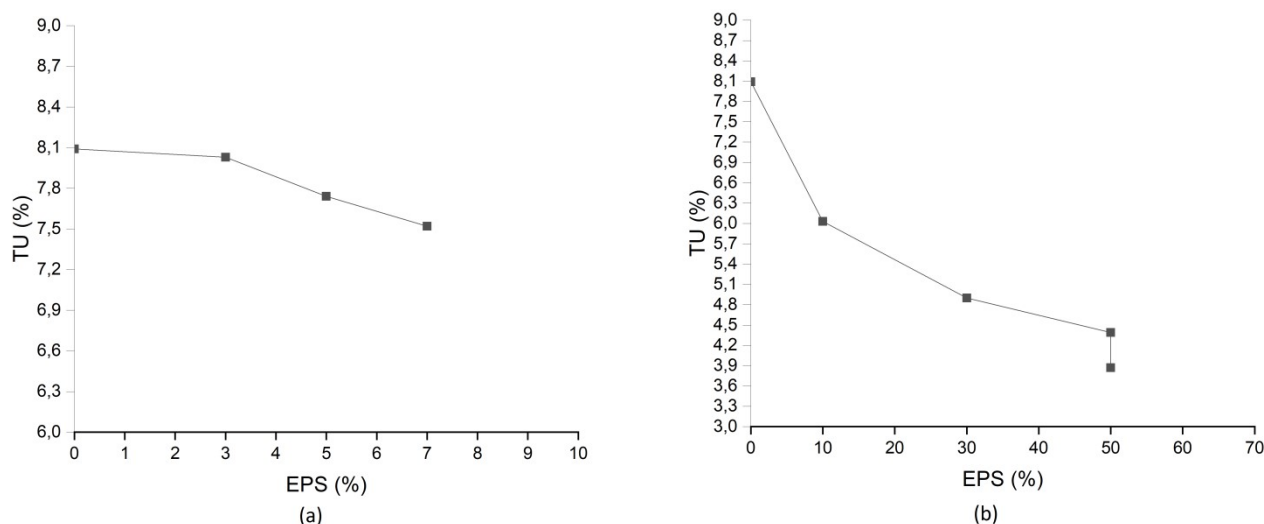
Painéis das Misturas	TU%	CV%
P/M1	8,08	5,81
P/M2	8,03	1,87
P/M3	7,74	1,85
P/M4	7,52	2,46
P/M5	6,03	1,46
P/M6	4,90	2,31
P/M7	4,39	2,37
P/M8	3,87	11,66

TU – teor de umidade; CV – coeficiente de variação

Fonte: Elaborado pelo Autor

É possível observar através da Figura 22 a relação entre as proporções acrescidas de EPS conforme cada mistura e seus respectivos valores de teor de umidade.

Figura 22 – Gráfico de teor de umidade em relação à porcentagem de EPS à mistura,
(a) M1, M2, M3 e M4; (b) M1, M5, M6, M7 e M8



Fonte: Elaborado pelo Autor

Os valores obtidos dos teores de umidade para os painéis estão em conformidade com Lacombe (2015) e Oliveira *et al.* (2021). É importante ressaltar que os painéis das misturas M5, M6, M7 e M8, com os maiores incrementos de resíduos de EPS foram os que obtiveram os menores teores de umidade. Esse comportamento é

um indicativo que o EPS e o PUR tiveram uma boa interação e posteriormente contribuíram para uma melhora na resistência à umidade dos painéis.

Comportamento semelhante foi observado por Lacombe (2015), no qual obteve teores de umidade para os painéis produzidos com misturas de pinus e EPS (dissolvido em gasolina e thinner) valores de 7,6% e 5,5%, respectivamente. Em misturas para produção de painéis utilizando-se madeira eucalipto e EPS (dissolvido com gasolina e thinner) obteve teores de teor de umidade de 7,0% e 4,9%, respectivamente. O thinner possibilitou valores menores de teor de umidade.

Em Oliveira *et al.* (2021), os valores de teor de umidade ficaram para as misturas T1, T2 e T3 nos valores de 10,46, 8,43 e 7,95%, respectivamente. Apartir do momento que diminuiu a proporção de madeira a mistura diminuiu o teor de umidade, ainda mais com o acréscimo dos resíduos de couro, que é um material que se mostrou eficiente com contato com líquidos.

Os valores de M1 e M2 se situam no intervalo dos valores obtidos por Oliveira *et al.* (2021), as demais misturas (M3, M4, M5, M6) se encontram similares ao que foi obtido por Lacombe (2015), a mistura M7 e M8 que mostrou um teor de umidade inferior aos demais, todos esses valores demonstram a interação do EPS com a PUR e a resistência a umidade, e quanto mais foi crescendo EPS a mistura melhor foi essa resistência.

4.2.3 Determinação do Inchamento em Espessura por 24h

O ensaio de inchamento em espessura tem por finalidade realizar uma análise da variação da espessura do painel quando submetido à imersão em água por 24h. Os resultados foram comparados conforme a literatura de referência. A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos com os ensaios para determinação do Inchamento em espessura após 24h dos painéis.

Tabela 11 - Resultado do Ensaio de Inchamento em Espessura após 24 horas

Painéis das Misturas	I 24h %	CV %
P/M1	27,95	9,11
P/M2	32,74	10,75
P/M3	38,06	8,34
P/M4	53,36	6,76
P/M5	21,54	15,07
P/M6	16,43	16,73
P/M7	9,65	31,61
P/M8	10,87	18,86

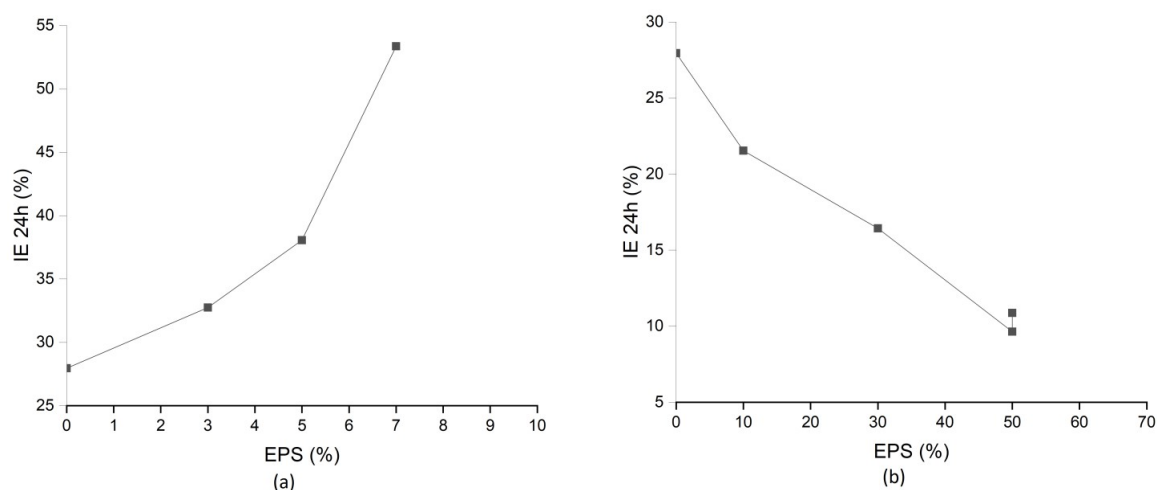
I 24h= inchamento por 24h; CV= coeficiente de variação

Fonte: Elaborado pelo Autor

Ao analisar a Tabela 11 fica visível que a partir do momento que se retira a resina PUR e substitui por EPS nas misturas (M2, M3 e M4) obtém-se um aumento da espessura com inchamento após 24h de imersão em água, mas se verificarmos as misturas (M5, M6, M7 e M8) ao manter a proporção de PUR e variar a adição de EPS, fica visível a diminuição da espessura, conforme aumenta a proporção de EPS.

É possível observar através da Figura 23 a relação entre as proporções acrescidas de EPS conforme cada mistura e seus respectivos valores de inchamento em espessura após 24h.

Figura 23 – Gráfico de inchamento em espessura após 24h em relação à porcentagem de EPS à mistura, (a) M1, M2, M3 e M4; (b) M1, M5, M6, M7 e M8



Fonte: Elaborado pelo Autor

A pesquisa desenvolvida por Lacombe (2015) ao desenvolver o ensaio de inchamento em espessura após 24 horas obteve resultados para a espécie pinus com EPS diluído em thinner o valor de 1,27%, e EPS diluído em gasolina de 2,71%, já com a espécie eucalipto e o EPS diluído em thinner chegou ao resultado de 0,89%, com a mesma espécie eucalipto e utilizando gasolina para diluir o EPS o resultado foi de 1,67%.

No estudo realizado por Macedo *et al.* (2016) ao realizar o ensaio de inchamento em espessura após 24 horas obtiveram resultados no valor de (2,97, 3,18, 3,35, 3,32, 6,22 e 6,31%) sendo os tratamentos (1, 2, 3, 4, 5 e 6), respectivamente.

No estudo realizado por Oliveira *et al.* (2021) encontrou resultados de inchamento em espessura após 24 horas valores médios de (6,98, 20,15 e 26,79%) com os tratamentos (T1, T2 e T3), respectivamente.

As matrizes poliméricas nos compósitos em estudos como os executados por Lacombe 2015, os polímeros, no caso EPS, forma uma matriz que ira criar um invólucro protetor das fibras ou partículas derivados de resíduos agro industriais, que contém o inchamento dessas fibras. Oliveira *et al.* (2021) utilizou da resina PUR, que teve uma boa resistência ao inchamento em relação a outras resinas mais comerciais.

No caso de Macedo *et al.* (2016), os resultados foram menores aos obtidos pela média da mistura M7 e M8, porém esteve próximo e o método de tratamento e de desenvolvimento da pesquisa foi equivalente, mudando apenas o polímero utilizado. Reforçando o que foi dito anteriormente, que a interação resina PUR e EPS melhora a qualidade hídrica do material.

Se compararmos as misturas M7 e M8 é possível ver que a proporção de material manteve uma média que variou pouco o inchamento das misturas, sendo o M8 encontrando-se um pouco acima do valor de M7.

Sendo as misturas M7 e M8 os menores valores de teor de umidade, e no caso de M8 os grãos de menor dimensionamento proporcionaram o menor teor de umidade referente a todas as misturas, quanto menor o grão maior a necessidade de resina para recobrir a superfície dos grãos, logo muita resina foi dispersado para recobrir a superfície do EPS, no momento que o EPS atingiu a temperatura de transição vítrea e posteriormente ao resfriamento se solidificou ouve uma interação do EPS com a PUR.

4.2.4 Determinação da Absorção de Água

A absorção de água dos painéis é um parâmetro importante a ser observado, pois, possibilita entender melhor a eficiência do envelopamento adesivo e a aglutinação entre as maravalhas no interior do painel.

A Tabela 12 apresenta os resultados dos ensaios de absorção realizados nos painéis das misturas propostas após 24h de imersão em água.

Tabela 12 - Resultado do ensaio para determinação da absorção após 24h

Painel das Misturas	A24h %	CV %
P/M1	63,15	5,09
P/M2	77,66	10,19
P/M3	75,89	3,38
P/M4	86,26	4,86
P/M5	45,62	9,51
P/M6	30,35	19,21
P/M7	24,04	21,00
P/M8	31,16	20,88

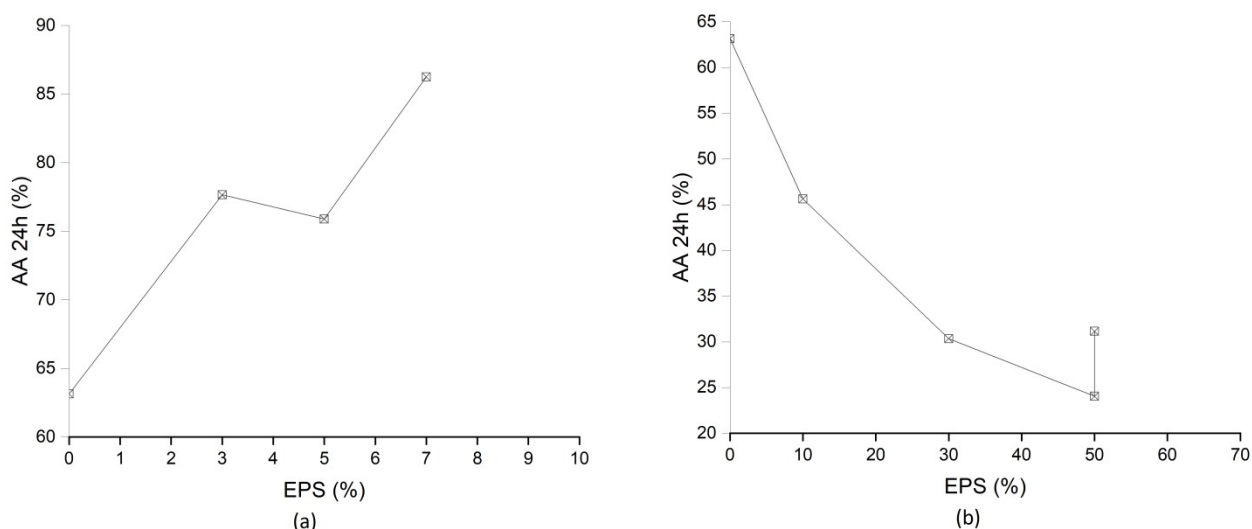
A24h= absorção após 24h; CV= coeficiente de variação

Fonte: Elaborado pelo Autor

Na Tabela 12 observa-se que os melhores valores de resistência à absorção de água após 24h de imersão ocorreram nos painéis das misturas M5, M6, M7 e M8, o que corrobora com os dados relacionados à resistência ao inchamento em espessura.

É possível observar através da Figura 24 a relação entre as proporções acrescidas de EPS conforme cada mistura e seus respectivos valores de absorção de água após 24h.

Figura 24 – Gráfico de absorção de água após 24h em relação à porcentagem de EPS à mistura, (a) M1, M2, M3 e M4; (b) M1, M5, M6, M7 e M8



Fonte: Elaborado pelo Autor

No caso de Oliveira *et al.* (2021) a absorção após 24 horas esteve com valores médio de 10,43, 35 e 34,86% para o tratamento T1, T2 e T3, respectivamente.

Em relação ao estudo elaborado por Macedo *et al.* (2016) os valores de absorção após 24 horas foram (6,93, 7,61, 7,01, 11,47, 11,45 e 13,37%) sendo que os tratamentos foram (1, 2, 3, 4, 5 e 6), respectivamente.

Os compósitos de matriz polimérica criam um excelente reforço em ensaios hídricos por criar um invólucro nas fibras ou partículas de resíduos agro industriais, como é o caso de (Masriet *al.*, 2018; Lacombe, 2015; Kaseemet *al.*, 2017; Sommerhuber, Wang e Krause, 2016; Ratanawilai e Taneerat, 2018; Abdel-Hakimet *al.*, 2021), no caso de painéis aglomerados, como em Macedo *et al.* (2016) e Oliveira *et al.* (2021) é importante aderir a uma resina que tenha alta resistência a impermeabilidade, nos dois casos é usado PUR, sendo que Macedo *et al.* (2016) além de PUR acrescentou resíduos de PP a mistura, assim como efetuado nesse estudo foi acrescentado um polímero plástico, porém nesse caso foi utilizado EPS na mistura, por esse motivo ao aumentar a quantidade de EPS e manter a proporção de PUR diminuindo a absorção de água do material. Essa análise reforça o que foi dito anteriormente que a resina PUR e o EPS obtêm uma interação que melhora os resultados do aglomerado.

Ao analisarmos a mistura M8 que obteve um valor médio acima do valor médio da mistura M6 e M7. A temperatura utilizada na prensagem não foi suficiente para a

temperatura de fusão do EPS, logo a região de atuação das partículas se limitou ao espaço próximo de onde se encontravam, estando em grãos pequenos, não recobriu o suficiente para diminuir a absorção de água em relação a M7.

4.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS MECÂNICO

4.3.1 Resistência a Flexão Estática - MOR

A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos para o MOR dos painéis produzidos de acordo com as misturas propostas.

Tabela 13 - Resultado do ensaio de Resistência a Flexão Estática

Painel das Misturas	MOR N/mm²	CV %
P/M1	12,69	9,03
P/M2	9,28	21,80
P/M3	9,25	6,37
P/M4	9,01	13,46
P/M5	20,29	14,48
P/M6	23,27	6,69
P/M7	24,40	9,27
P/M8	17,51	13,74

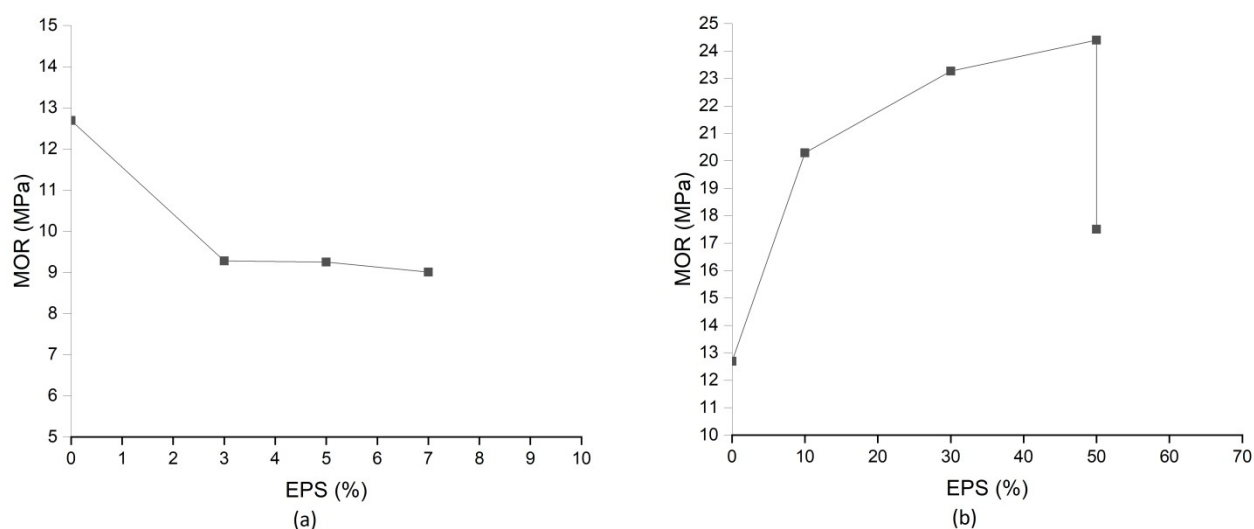
MOR-módulo de ruptura; CV- coeficiente de variação

Fonte: Elaborado pelo Autor

Na Tabela 13, verifica-se que os melhores resultados de MOR obtidos foram determinados para os painéis das misturas M5, M6, M7 e M8, que correspondem a 20,29; 23,27, 24,40 e 17,51N/mm², respectivamente.

É possível observar através da Figura 25 a relação entre as proporções acrescidas de EPS conforme cada mistura e seus respectivos valores de MOR.

Figura 25 – Gráfico de MOR em relação à porcentagem de EPS à mistura, (a) M1, M2, M3 e M4; (b) M1, M5, M6, M7 e M8



Fonte: Elaborado pelo Autor

Conforme o estudo de Oliveira *et al.* (2021) os resultados de MOR esteve com valores médio de 17,98, 9,30 e 11,03 MPa para o tratamento T1, T2 e T3, respectivamente. Valores esses que estiveram equivalentes a M1 até M5.

Masriet *al.* (2018) obtiveram valores de módulo de resistência à flexão estática conforme os resultados obtidos ficaram em três amostras e suas respectivas dimensões dos grãos da folha de tamareira (A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2 e C3) com os valores de MOR sendo (0,85, 1,67, 2,96, 1,04, 1,35, 2,44, 0,43, 0,89 e 1,25 MPa), respectivamente.

Já Lacombe (2015) determinou a resistência à flexão estática para a espécie de madeira pinus com EPS diluído em thinner com valor de 2,41 MPa, a mesma espécie de madeira porém com o solvente utilizado para diluição do EPS sendo a gasolina chegou ao resultado médio de 2,80 MPa, para a espécie de madeira eucalipto com solvente thinner para diluir o EPS o valor médio foi de 5,94 MPa, quando o solvente utilizado para diluir o EPS é a gasolina na mistura com a espécie de madeira eucalipto o valor médio é 7,77 MPa.

Em ambos os estudos os resultados obtidos em MOR foram inferiores se compararmos até ao menor valor obtido nesse estudo (M4). É provável que o método de desenvolvimento dos painéis tenha interferido no resultado final.

Em estudo realizado por Kaseemet *al.* (2017) os resultados obtidos dos ensaios demonstraram que os valores de MOR torna-se maior a medida que quantidade de

EPS foi aumentando, cujos valores ficaram entorno de 18 MPa (Puro PS) a 61,64 MPa e 67,50 MPa (PS70/W2 e PS70/W1), respectivamente.

Nesse caso, houve uma diferença entre o PS puro e as demais composições, se compararmos aos valores encontrados nesse trabalho, o PS puro encontra-se entre o M8 e o M5, enquanto os demais (PS70/W2 e PS70/W1) estão bem aquém dos valores encontrados nesse estudo.

No estudo desenvolvido por Abdel-Hakimet *et al.* (2021) os resultados obtidos referente ao MOR foram entorno de 30,0 MPa a 47,0 MPa sendo o tratamento menos expressivo SP80 e o mais expressivo SP20, respectivamente.

Na pesquisa desenvolvida por Ratanawilai e Taneerat (2018) os valores obtidos no ensaio de MOR com o uso de EPS foram para as amostras (40PS55,8RWF, 50PS45,8RWF, 60PS35,8RWF, 100PS) obtendo-se os seguintes valores (27,55, 30,03, 28,43 e 43,52 MPa), respectivamente.

O estudo desenvolvido por Sommerhuber, Wang e Krause (2016) obteve resultados de MOR com maior destaque nas proporções (PS-A, PS/W30-C, PS/Pb30-F, PS/W60-E) para EPS sendo seus valores (39,8, 44,2, 47,5, 58,3 MPa) e (Abs-B, Abs/W30-I, Abs/Pb30-L, Abs/W60-K) para Abs sendo seus valores (65,5, 69,4, 64,4, 85,7 MPa), respectivamente.

Ao observar esses ultimos (Abdel-Hakimet *et al.*, 2021; Ratanawilai e Taneerat, 2018; Sommerhuber, Wang e Krause, 2016), percebe-se uma certa similaridade nos resultados, em alguns casos resultados até próximos da mistura M7. Foram realizados métodos de produção similares entre eles, e demonstraram a eficiência de se atingir a temperatura de fusão do EPS.

De acordo com a literatura e comparando aos dados coletados nesse estudo, a adição de EPS a mistura mostrou-se mais eficiente do que a substituição do referido polímero por PUR, essa situação se dá pela adesão dos dois polímeros e a camada de reforço que se cria entorno das maravalhas de madeira, e ao retirar parcelas de PUR perde-se a resistência do material, mesmo que supra essa porcentagem com EPS, que é um material menos rígido que PUR.

A média da mistura M8 em comparação com as médias da misturas de adição (M5, M6 e M7) foi o menor valor de MOR, dessa forma, os grãos menores de EPS mostraram ser menos eficiente para aderir a PUR e produzir a matriz polimérica, dessa forma não recobre completamente as maravalhas de madeira.

4.3.2 Resultado do Módulo de Elasticidade - MOE

Na Tabela 14 são apresentados os resultados de MOE obtidos por meio das avaliações dos painéis em ensaios de resistência à flexão estática.

Tabela 14 - Resultado do módulo de elasticidade

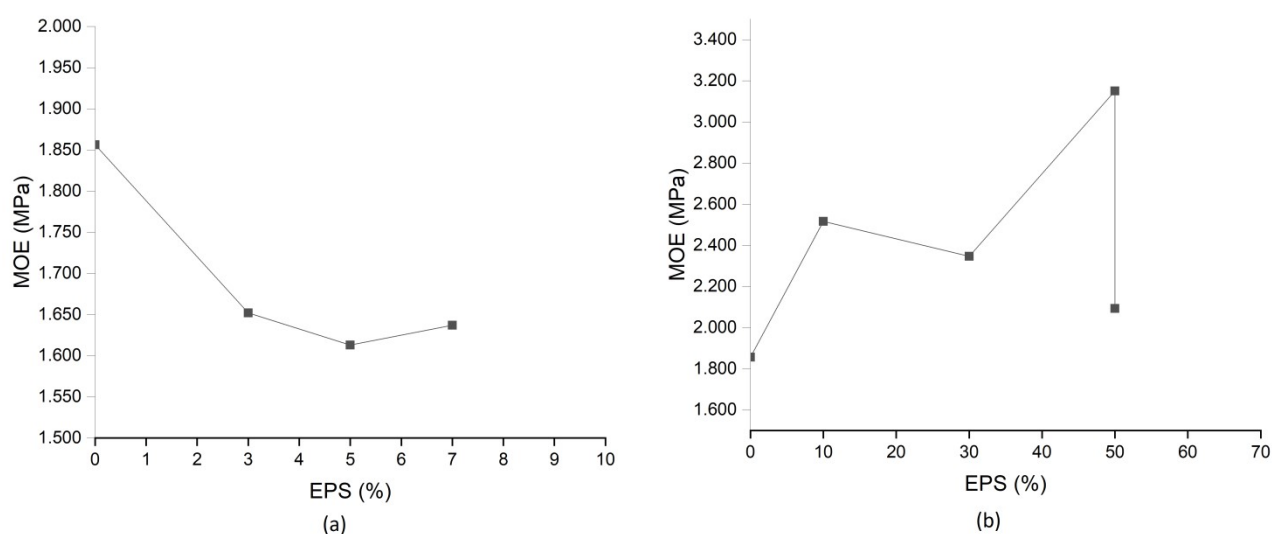
Painéis das Misturas	MOE N/mm ²	CV %
P/M1	1.856,39	7,83
P/M2	1.652,09	12,48
P/M3	1.613,03	8,40
P/M4	1.637,12	19,99
P/M5	2.517,25	12,18
P/M6	2.346,65	10,21
P/M7	3.150,01	13,80
P/M8	2.092,97	8,09

MOE-módulo de elasticidade; CV- coeficiente de variação

Fonte: Elaborado pelo Autor

É possível observar através da Figura 26 a relação entre as proporções acrescidas de EPS conforme cada mistura e seus respectivos valores de MOE.

Figura 26 – Gráfico de MOE em relação à porcentagem de EPS à mistura, (a) M1, M2, M3 e M4; (b) M1, M5, M6, M7 e M8



Fonte: Elaborado pelo Autor

Os valores para o MOE dos painéis produzidos com as misturas de M1 a M8 variam num intervalo de 1800 a 3000 N/mm². Ao se analisar os painéis das misturas M1(sem adição de poliestireno) e os painéis das misturas M5, M6 e M7 com variação de adição de EPS e com 10% em massa de PUR, verificou-se que para esses painéis o MOE está sofrendo uma variação crescente dos valores. Desse modo, pode-se ressaltar que os incrementos de EPS e 10% de PUR, conferiram bons valores de MOE.

Contudo, para os painéis das misturas M2, M3 e M4, para os quais foi proposta a substituição de EPS em relação ao teor de PUR mostrou-se inferior, ao mesmo tempo que os valores obtiveram uma variação próxima se compararmos uma mistura e a outra. Em M2, M3 e M4 o EPS manteve um MOR quase invariável, o acréscimo de PUR aumentou a resistência entre ambos.

Conforme o estudo de Oliveira *et al.* (2021) os resultados de MOE esteve com valores médio de 2.649,025, 1.714,50 e 1.910,57% para o tratamento T1, T2 e T3, respectivamente.

Ao retirar eucalipto e substituir por couro o material perde elasticidade, o tratamento T1 obteve resultados entre as misturas M5 e M7, os demais tratamentos (T2 e T3) estiveram entorno da mistura M1 e acima das misturas M2, M3 e M4.

Em estudos desenvolvidos por Masriet *al.* (2018) e Lacombe (2015) utilizando poliestireno diluído, foram propostas substituições de adesivo por poliestireno e os resultados de MOE foram de 120 (LPC C2) a 760 (LPC B3) MPa e 317 (pinus/EPS/thinner) a 766,26 (eucalipto/EPS/gasolina) MPa, respectivamente por meio de uma análise comparativa entre os painéis obtido no presente trabalho e as amostras obtidas por Masriet *al.* (2018) e Lacombe (2015), pode-se constatar que os valores de MOE aferidos nesse estudo foram superiores aos trabalhos dos autores citados.

Com todas as misturas obtendo características positivas de MOE, isso se dá pelo uso de EPS as misturas que é um material com características de elasticidade, mesmo nas amostras de substituição (M2, M3 e M4), onde que com a diminuição de PUR a mistura enfraquece a matriz, mas com o aumento de EPS aumenta o MOE.

No estudo desenvolvido por Abdel-Hakimet *al.* (2021) os valores obtidos no MOE forem no intervalo de 2.200 à 2.750 MPa sendo seus respectivos tratamentos SP0 e SP60.

Na pesquisa desenvolvida por Ratanawilai e Taneerat (2018) os valores obtidos no ensaio de MOE com o uso de EPS foram para as amostras (40PS55,8RWF,

50PS45,8RWF, 60PS35,8RWF, 100PS) obtendo-se os seguintes valores (3.388,03, 3.514,45, 2.765,43, 2.908,76 MPa), respectivamente.

Ambos os estudos (Abdel-Hakimet *et al.*, 2021; Ratanawilai e Taneerat, 2018) obtiveram resultados semelhantes de MOE ao que foi obtido nesse estudo, com algumas exceções no segundo, que obteve algumas amostras com valores acima da mistura M7. Esses resultados demonstram a eficácia do MOE do EPS.

O estudo desenvolvido por Sommerhuber, Wang e Krause (2016) obteve resultados de MOE com menor destaque sendo o tratamento (PS-A) para EPS e o resultado é referente à (2.100 MPa) o menor valor com uso de Abs foi (Abs-B) e o valor foi (2.400 MPa). Os valores de maior relevância de MOR foram obtidos dos tratamentos (PS/W60-D e PS/Pb60-G) referente a EPS, que obtiveram os valores de (7.700 e 7.300 MPa) já para o uso de Abs os melhores resultados foram os tratamentos (Abs/W60-J e Abs/Pb60-M) sendo seus respectivos valores (8.300 e 7.900 MPa).

No caso de Sommerhuber, Wang e Krause (2016) apenas o material puro PS ou puro Abs esteve em equivalência aos valores desse estudo, os demais tratamentos dobraram-se os valores. Isso se dá por conta da diferença de materiais usados nas pesquisas e o processo de produção de ambos os materiais ser distinto um do outro (compósito e painel aglomerado).

A mistura M8 mostrou um resultado médio de MOE inferior aos valores médio de adição (M5, M6 e M7), como as partículas de EPS foram reduzidas em comparação com as outras misturas, e a temperatura de prensagem não atingiu um valor suficiente para fusão desse polímero, os grãos de EPS em temperatura de transição vítrea apenas recobriram a região próxima e insuficiente para suprir uma elasticidade ao material.

4.3.3 Resultados de Resistência à Tração Perpendicular

Na Tabela 15 é apresentada a média dos valores de ensaios de resistência à tração perpendicular.

Tabela 15 - Resultado do Ensaio de Resistência a Tração Perpendicular

Painéis das Misturas	TP N/mm ²	CV %
P/M1	0,81	22,31
P/M2	0,62	12,54
P/M3	0,65	16,03
P/M4	0,31	19,12
P/M5	1,50	12,89
P/M6	1,27	23,48
P/M7	1,13	16,64
P/M8	1,35	24,41

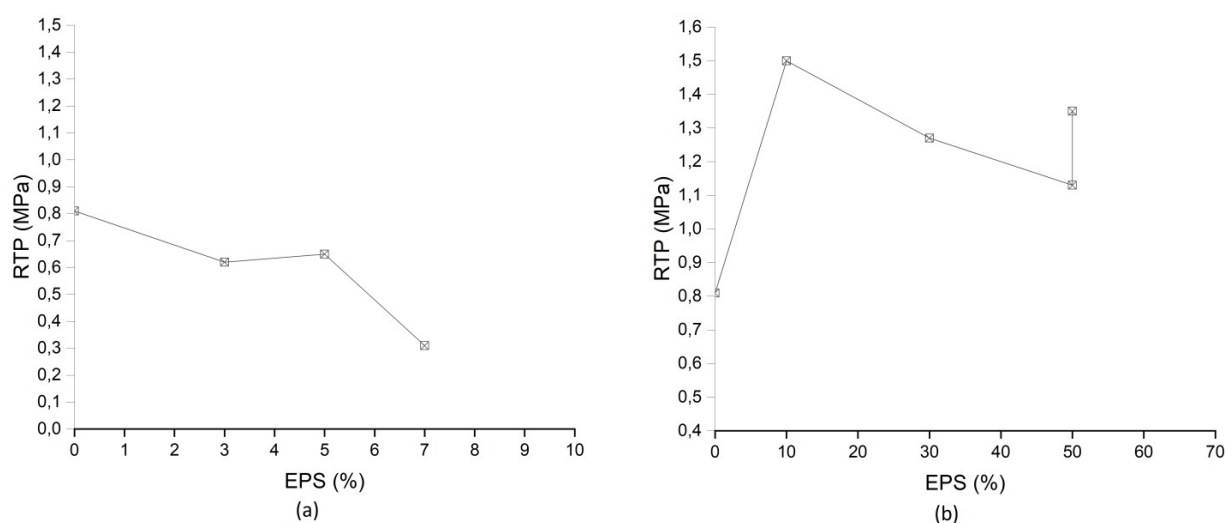
RTP – resistência à tração perpendicular; CV – coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pelo Autor

Verifica-se na Tabela 15 que os valores médios de RTP para os painéis das misturas M5, M6, M7 e M8 foram de 1,50, 1,27, 1,13 e 1,35 N/mm², respectivamente. Esse aumento da resistência se deu a partir do momento que se aumentou a proporção de EPS a mistura, dessa forma, a matriz polimérica que se criou da interação do EPS com o PUR que confirmou esse aumento gradual de RTP.

É possível observar através da Figura 27 a relação entre as proporções acrescidas de EPS conforme cada mistura e seus respectivos valores de RTP.

Figura 27 – Gráfico de RTP em relação à porcentagem de EPS à mistura, (a) M1, M2, M3 e M4; (b) M1, M5, M6, M7 e M8



Fonte: Elaborado pelo Autor

Abdel-Hakimet *et al.* (2021) em seu estudo os autores obtiveram valores de RTP de 11,10 (SP80) a 19,58 (SP20) MPa.

Ratanawilai e Taneerat (2018) obtiveram valores de RTP para os WPC's (compósitos poliméricos reforçados com resíduo de madeira) conforme os seguintes tratamentos de EPS (40PS55,8RWF, 50PS45,8RWF, 60PS35,8RWF, 100PS) obtendo-se os seguintes valores (14,17, 17,81, 23,12 e 35,69 MPa), respectivamente.

Conforme os estudos de Sommerhuber, Wang e Krause (2016) determinaram-se os valores de RTP para a matriz de EPS (PS/100-A, PS/W60-D, PS/W60/S-E, PS/Pb60-G, PS/Pb60/S-H) sendo o valor de (18,2, 24,4, 29,4, 21,4, 24,8 MPa) e matriz de Abs (Abs/100-B, Abs/W60-J, Abs/W60/S-K, Abs/Pb60-M, Abs/Pb60/S-N) sendo o valor de (35,5, 43,8, 48,9, 37,0, 43,5, MPa), respectivamente.

A variação da resistência entre M5 até M7 se dá muito por conta do aumento da quantidade de material e pela quantidade de adesivo para recobrir esse espaço a mais, o EPS chegou à transição vítrea e propiciou determinada resistência, mas não o suficiente se tivesse alcançado a temperatura de fusão, ou se tivesse a quantidade de adesivo suficiente para recobrir todo o material de reforço, é possível essa influência da temperatura na resistência do EPS nos estudos de (Abdel-Hakimet *et al.*, 2021; Sommerhuber, Wang e Krause, 2016; Ratanawilai e Taneerat, 2018).

No caso da mistura M8 os grãos de EPS por estarem menores propiciaram a adesão interna, este que resultou em bons resultados da média de RTP, suprimindo o déficit de PUR em uma quantidade excessiva de material, como é constatado por Sommerhuber, Wang e Krause (2016) e Ratanawilai e Taneerat (2018) quanto maior o volume de material na matriz maior a tendência de se obter um material resistente.

Nos estudos desenvolvidos por Lacombe (2015), utilizando poliestireno diluído com gasolina e thinner e misturado a partículas de madeira, foram determinados valores de RTP de 0,27 (pinus/EPS/gasolina) MPa a 0,48 (eucalipto/EPS/thinner) MPa.

Conforme a literatura de referência, para os resultados de RTP os resultados obtidos ficaram acima apenas dos resultados de Lacombe, 2015. Os demais por serem compósitos é todo um método de produção distinto, por isso os resultados são distantes.

A mistura M1 faz referência às demais, esta que possuía 10% de PUR obteve um valor médio de RTP considerável, as misturas de substituição do PUR por EPS (M2, M3 e M4) demonstraram a fraqueza ao se retirar PUR da mistura mesmo que substitua por EPS, esse sendo um polímero mais frágil.

Nas misturas de adição de EPS os valores médios de RTP ficaram acima dos demais valores obtidos nesse estudo, com a mistura M5 sendo a maior média. M8 se encontra como o segundo maior valor das médias das misturas, como foi realizado um tratamento de diminuição do tamanho dos grãos de EPS, esses grãos obtiveram uma boa adesão interna.

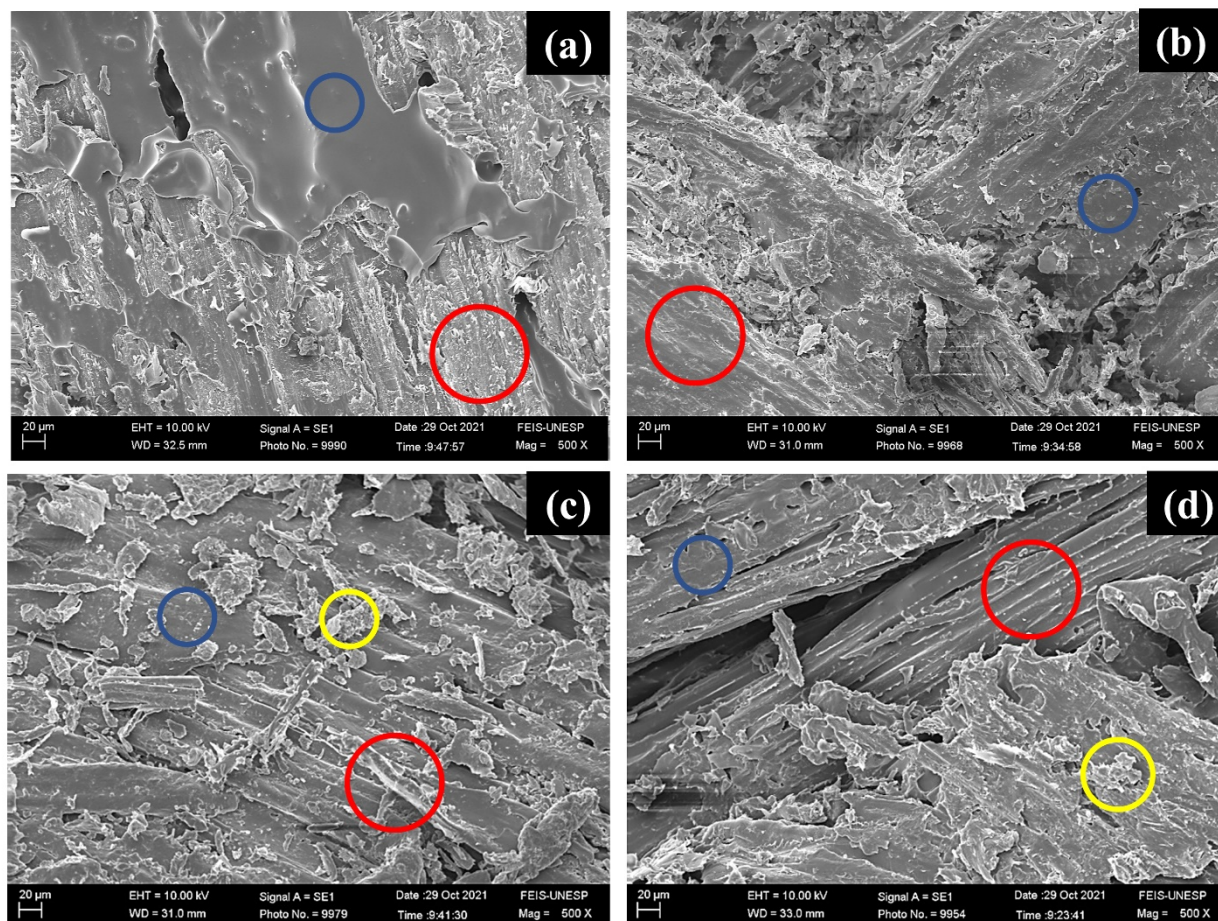
4.4 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA - MEV

Com o intuito de realizar uma avaliação morfológica dos painéis compósitos e avaliar a interação das fases constituintes análises de MEV foram realizadas. Nesse sentido foi possível avaliar a interação das diferentes maravalhas de madeira, bem como se o envelopamento ocorreu ao adicionar tanto o PUR quanto o resíduo de EPS.

A interação das maravalhas de madeira homogeneizado com o PUR e o EPS pode ser observado na Figura 28 e Figura 29 para as amostras do painel compósito de M1 a M8.

É possível observar na Figura 28(a) a morfologia da amostra M1, com 10% de PUR e sem adição de resíduo de EPS e com fração mássica de Pinus/Eucalipto de 50/50. É verificado que a resina PUR formou uma película sobre as maravalhas de madeira com aparência lisa (destacado com círculo na cor azul) e contraste diferente da região a base de madeira (destacado com círculo na cor vermelha). Comportamento semelhante foi observado por Gilio, (2020) no estudo de painéis homogêneos de madeira de *havea brasiliensis* e *tectonagrandis*, aglutinadas com adesivo PUR.

Figura 28 – Análise de MEV da morfologia das amostras dos painéis compósitos: (a) amostra M1 (sem EPS); (b) M2 com 7% de PUR e 3% de EPS; (c) M3 com 5% de PUR e 5% de EPS e (d) M4 com 3% de PUR e 7% de EPS. Em todas as amostras as concentrações mássicas de Pinus e Eucalipto foram iguais a 50%.



Fonte: Acervo do Autor

A Figura 28(b) apresenta a morfologia da amostra M2, na proporção de 7% de PUR e 3% de EPS em relação à mistura de maravalhas (Pinus/Eucalipto 50/50), a substituição de EPS por PUR na mistura reduziu as regiões observáveis de PUR, no entanto ainda é possível verificar essas regiões destacada na cor azul, além disso é possível verificar uma boa interação das maravalhas de madeira com o PUR, criando um envelopamento e reforçando o material. Comportamento semelhante foi constatado por Ratanawilai e Taneerat (2018) em seu estudo. Devido a baixa concentração de EPS, ainda não foi possível observar essas regiões na amostra M2.

Já nas Figuras 28(c) e (d) são ilustradas as morfologias das amostras M3 (5% de PUR e 5% de EPS) e M4 (3% de PUR e 7% de EPS), com concentrações fixa de Pinus e Eucalipto (50/50). Pode ser observada na Figura 28(c) e (d) as regiões com

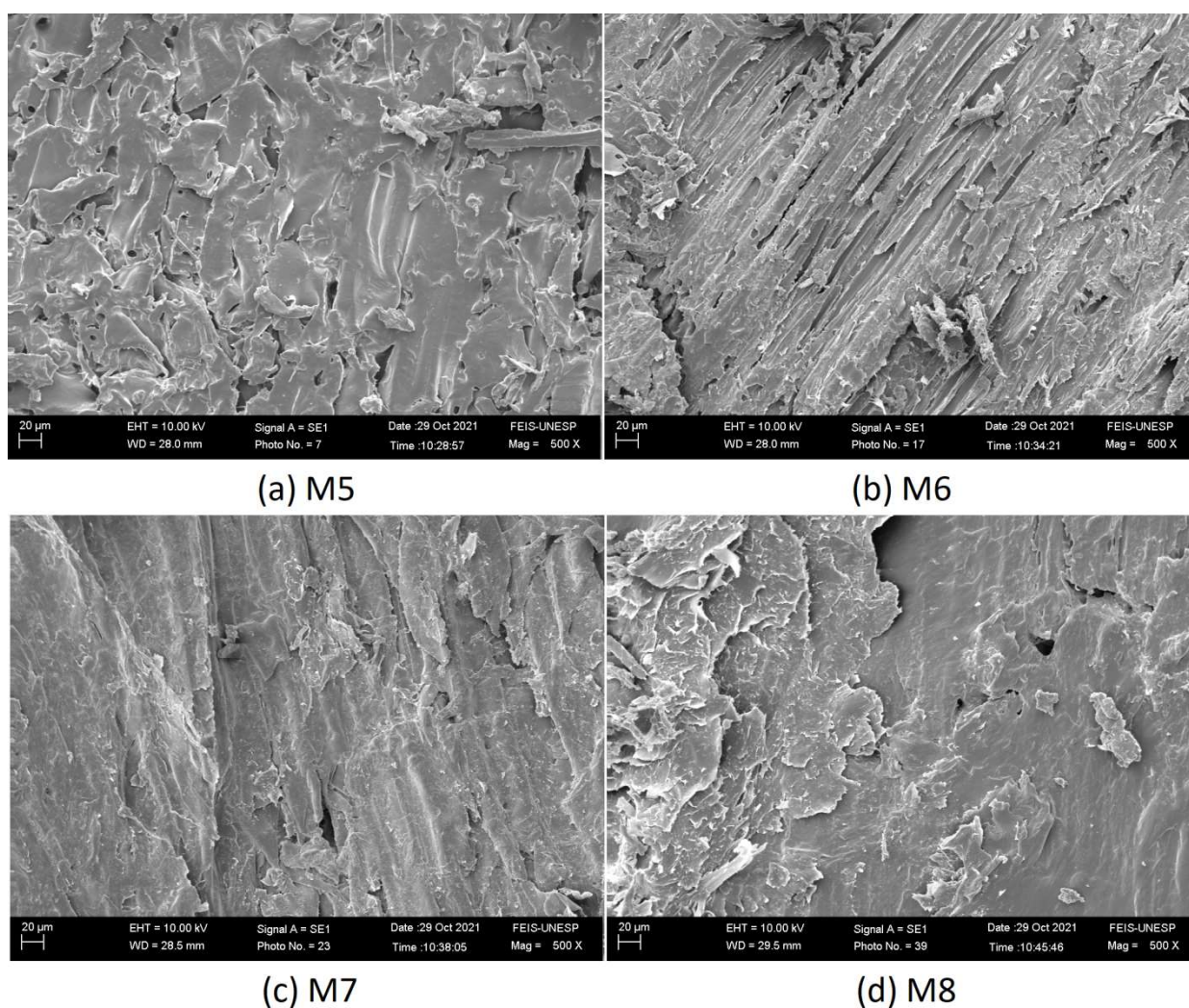
resíduo de EPS dispersas no painel compósito se tornam maiores e, esses resíduos tem aparência de pequenas folhas irregulares como destacado pelos círculos amarelos. As fases formadas pelas maravalhas de madeira e de PUR também são visíveis na amostra M3, porém na M4 as regiões de PUR se tornaram menos aparentes. Devido à baixa quantidade de PUR e resíduo de EPS pode ser observado que não houve a formação de um filme sobre as maravalhas. Em estudos conduzidos por Masriet *al.* (2018), os autores observaram características semelhantes, ou seja, quando a concentração de resíduo de poliestireno introduzida no painel a base de folha de palmeira de tâmara é baixa não ocorre a formação de um filme polimérico sobre as maravalhas, podendo ocasionar redução nas propriedades mecânicas finais do Painel. O mesmo comportamento tem sido observado no estudo de Sommerhuber, Wang e Krause (2016). Outro ponto importante observado nas amostras M3, e M4 tem sido maiores números de buracos e frestas na microestrutura dos painéis compósitos, isso pode ser indicativo da baixa interação entre as maravalhas e dois polímeros utilizados e, isso pode estar relacionado a baixa concentração de ambas as fases poliméricas.

Na Figura 29 são apresentadas as amostras do painel compósito no qual as concentrações de Pinus, Eucalipto e PUR foram mantidos fixos nas concentrações mássicas de 50%, 50% e 10%, respectivamente, enquanto as concentrações de resíduo EPS foi em 10% (M5), 30% (M⁶) e 50% (M7 e M8 – as duas amostras possuem granulometria média diferentes). Pode ser observado das Figura 29(a) até 29(d) que a medida de concentração de EPS é aumentada no interior do painel compósito é formado um filme regular e de aparência lisa sobre as maravalhas de madeira. Devido os polímeros apresentarem aparência lisa, para as quantidades acima de 10% de EPS torna-se impossível indentificar as fases poliméricas. Dois pontos importantes nas Figuras 29, primeiro é a redução de buracos e frestas entre as maravalhas e isso é um indicativo da boa interação entre as fases madeira-polímero. Segundo, pode ser notado os que à medida que concentração mássica de EPS é aumentada o recobrimento das maravalhas se tornam mais eficiente e por sua vez melhora a interação entre as fases. Devido à boa interação entre as fases madeira-polímero isso é um indicativo que as propriedades mecânicas e físicas finais das amostras M5 a M8 deveram ser melhores do que amostras do conjunto M1 a M4. Tal fato é corroborado com as análises mecânica apresentados em subtópicos anteriores desse trabalho.

Fenômeno semelhante tem sido observado por Sommerhuber, Wang e Krause (2016), que estudaram compósitos de madeira-plástico reutilizando de plásticos

reciclados de resíduos eletrônicos e aglomerado de partículas madeira recicladas, segundo os autores os painéis compósitos com menores quantidade de buracos apresentaram melhores propriedades mecânicas. Já Ratanawilai e Taneerat (2018) que desenvolveram compósitos plático/madeira com farinha de madeira e cinco plásticos distintos (PEAD, PEBD, PP, PVC e PS), onde a menor proporção de plástico nos compósitos proporcionou um encapsulamento incompleto e má distribuição da farinha de madeira na matriz plástica.

Figura 29 – Análise de MEV da morfologia das amostras dos painéis compósitos: (a) amostra M5 com 10% de PUR e 10% de EPS; (b) M6 com 10% de PUR e 30% de EPS; (c) M7 com 10% de PUR e 50% de EPS e (d) M8 com 10% de PUR e 50% de EPS. Em todas as amostras as concentrações mássicas de Pinus e Eucalipto foram iguais a 50%.



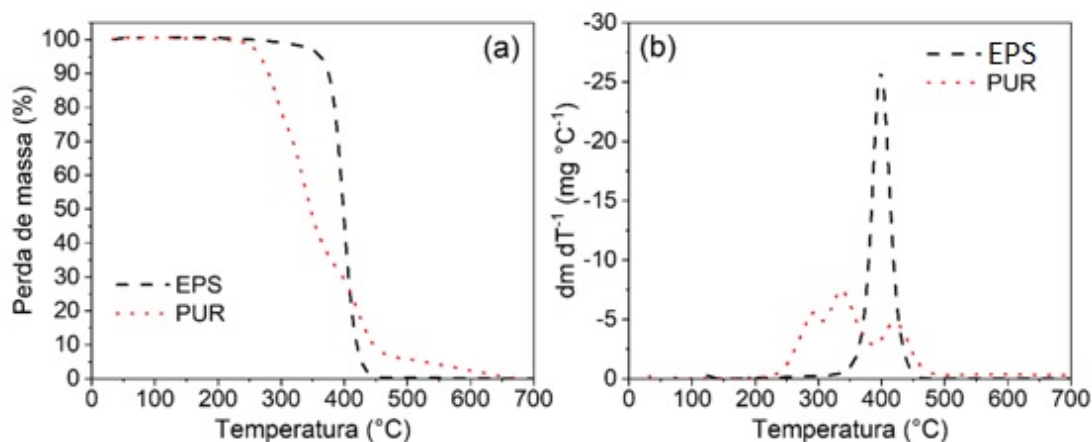
Fonte: Acervo do Autor

Devido ao recobrimento ou envelopamento das maravalhas de madeira pela fase polimérica como observado nas microimagens de MEV da Figura 29, isso também estar relacionado com os bons resultados obtidos para essas amostras para os ensaios de inchamento em espessura, absorção de água, flexão estática e tração perpendicular. Segundo Bertolini *et al.*, (2019) quanto maior concentração de adesivo ou fase polimérica introduzido no painel a tendência é que ocorra uma melhora nas condições e propriedades dos painéis aglomerados.

4.5 TERMOGRAVIMETRIA - TG

Nas Figuras 30a e 30b são apresentadas análises termogravimétricas (TG) e sua derivada (DTG) do PUR e EPS puro. Pode ser observado que EPS apresenta um único processo de perda de massa entre 350°C a 450°C com aproximadamente de 98% de perda. No gráfico da DTG observa-se um pico intenso em 399°C que corresponde à degradação do EPS decorrente à quebra das ligações dos carbonos saturados e insaturados (BOTAN, NOGUEIRA e LONA, 2014). Por outro lado, o comportamento térmico do PUR apresentou três eventos de perda principais, como pode ser observado nas Figuras 30a e 30b. O primeiro evento ocorre entre 232-307°C com perda de massa de aproximadamente 24,3%. Já o segundo evento ocorreu entre 307-387°C com perda de massa de 42,6% em massa. Ambos os eventos estão relacionados com rompimento dos segmentos rígidos do pré-polímero e estão, principalmente, relacionados a decomposição dos ácidos graxos insaturados; bem como, a dissociação do poliuretano em isocianatos e álcool, a quebra das ligações de biureto, alofanato, éster e uretano e a formação de componentes de transição, como por exemplo, aminas e dióxido de carbono (Zhang *et al.*, 2014; Alves *et al.*, 2010; Moura *et al.*, 2019). O terceiro evento com perda de massa de 26,5% foi devido à decomposição das ligações ésteres presentes no poliole ocorreu entre 387-487°C (Zhang *et al.*, 2014; Alves *et al.*, 2010; Moura *et al.*, 2019). Em relação a estabilidade térmica pode ser observado que EPS apresenta maior estabilidade térmica do que PUR, uma vez que o EPS tem início de decomposição em aproximadamente 340°C, enquanto que no PUR o início de decomposição ocorre em 240°C. Por fim, o resíduo final de ambos polímeros é 0% em 700°C.

Figura 30 - Análises termogravimétricas das amostras de PUR puro e resíduo de EPS:
(a) TG e (b) DTG.

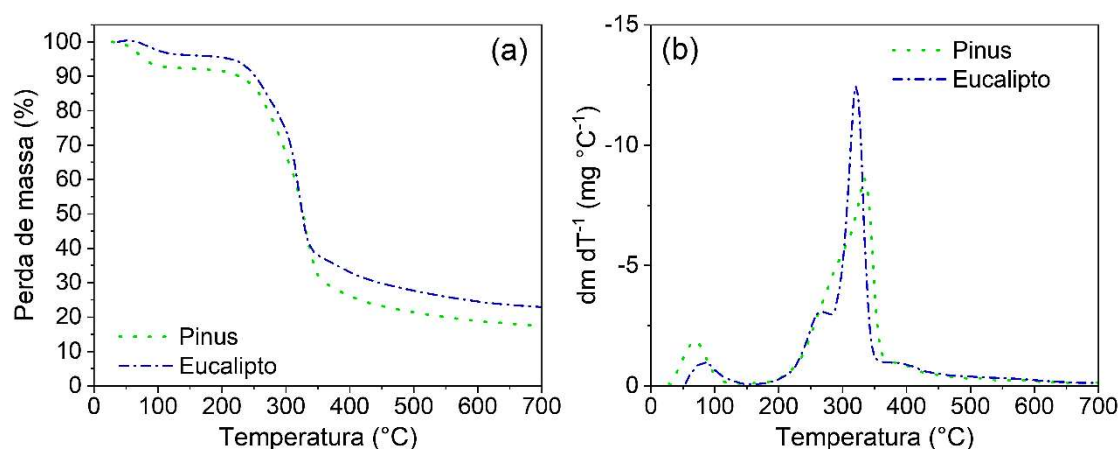


Fonte: Elaborada pelo Autor

As análises de TG e DTG também foram realizadas nas amostras de Pinus e Eucaliptos e são apresentadas nas Figuras 31a e 31b, respectivamente. A perda de massa observada abaixo da temperatura de 150°C ocorre devido à evaporação de água. Como pode ser observado ambas as amostras apresentam um único evento principal de degradação e perda de massa entre 200-350°C e está relacionado com a decomposição da hemicelulose e da celulose que são convertidos em voláteis (Liodakis *et al.*, 2013; Mishra *et al.*, 2019; Shen *et al.*, 2019). Acima de 350°C as demais perdas estão relacionadas principalmente à decomposição da lignina devido a um ritmo mais lento de decomposição decorrente da sua estabilidade térmica ser maior (LIODAKIS *et al.*, 2013; MISHRA *et al.*, 2019; SHEN *et al.*, 2019).

O resíduo final do Pinus e Eucaliptos foram em torno de 18% e 24% da massa inicial, respectivamente, e pode ser constituído de materiais orgânicos conhecidos como *char* (carvão), que podem ser processados posteriormente para diferentes aplicações, carvão ativado, combustíveis sólidos, bioadsorventes, etc (MISHRA *et al.*, 2019; KUMAR *et al.*, 2019).

Figura 31 - Análises termogravimétricas das amostras de Pinus e Eucaliptos: (a) TG e (b) DTG.



Fonte: Elaborada pelo Autor

Nas Figuras 32a e 32b são apresentadas análises gravimétricas TG e DTG das amostras dos painéis compósitos para valores fixo de Pinus, Eucalipto e PUR nas proporções 50%, 50% e 10% em massa, respectivamente, enquanto que as concentrações mássicas de EPS foram variadas em 10, 30 e 50% em massa. Pode ser observado na Figura 32a que as amostras do painel compósito Pinus/Eucalipto/PUR-EPS com maiores concentrações mássica de EPS apresentaram maiores valores estabilidade térmica, demonstrando que adição de EPS impacta positivamente nas propriedades térmicas finais dos painéis compósitos. Em comparação as maravalhas de Pinus e Eucaliptos puro também é observado uma melhora na estabilidade térmica dos painéis compósitos com 30 e 50% de EPS.

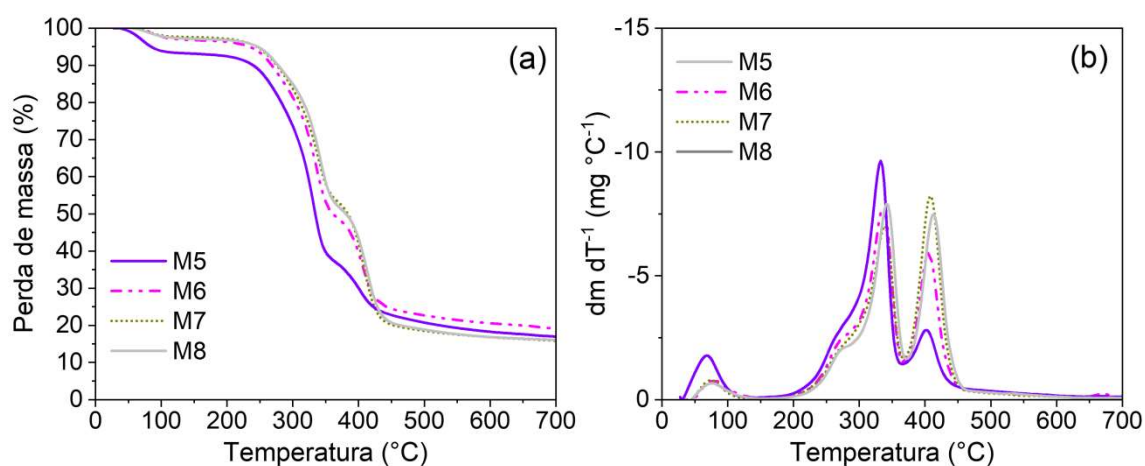
Em termos dos eventos de decomposição dos painéis compósitos é possível observar quatro eventos principais de decomposição que estão relacionadas às fases presentes nos painéis. O primeiro evento abaixo de 150°C está relacionado com evaporação de água com perda de massa entre 3-7%. Já o segundo evento com perda de massa entre 12-20%, que aparece como um ombro em todas as curvas de DTG (Figura 32b); ocorreu entre 200-300°C pode estar relacionado com decomposição rompimento dos segmentos rígidos do PUR, bem como, a dissociação do poliuretano em isocianatos e álcool, a quebra das ligações de biureto etc. O terceiro evento, destacado como pico mais intenso entre 300-370°C, corresponde a taxa de decomposição máxima da hemicelulose e da celulose presentes nas maravalhas de madeira que formam os painéis e, com perda de massa entre 31-34%. Além disso, em comparação a Figura 31b, pode ser observado que os picos do terceiro evento de

decomposição dos painéis se deslocaram para maiores temperaturas quando comparado as maravalhas de Pinus e Eucalipto; esse comportamento é um indicativo que o resíduo de EPS quando adicionado nos painéis, pode ter encapsulado as maravalhas formando uma barreira térmica absorvendo energia e evitando a sua decomposição.

Já o quarto evento ocorre entre 370-460°C, com o segundo pico mais intenso na Figura 32b, e está relacionado com a decomposição do EPS (quebra das ligações dos carbonos saturados e insaturados). Pode ser observado que à medida que quantidade de EPS é aumentada nas amostras do painel compósito, maior se torna o pico da taxa de decomposição. A perda de massa correspondente a evento de decomposição para todas as curvas ficou entre 15-31%.

O resíduo final de todas as amostras do painel compósito Pinus/Eucaliptos/PUR-EPS ficaram entre 16 à 20% em massa.

Figura 32 - Análises termogravimétricas das amostras do painel compósito Pinus/Eucaliptos/PUR-EPS, foram mantidas fixas as concentrações mássicas de Pinus, Eucaliptos e PUR em 50%, 50% e 10%, respectivamente e variadas às concentrações de EPS em 10, 30 e 50%: (a) TG e (b) DTG.



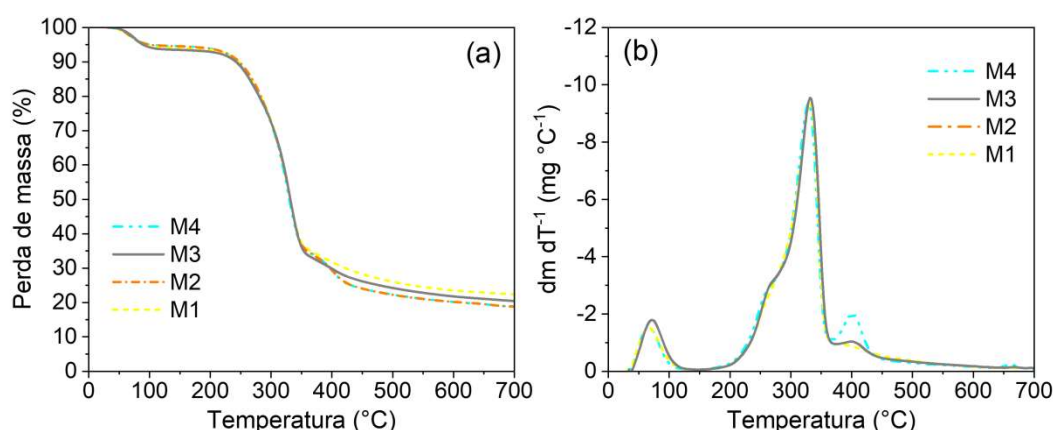
Fonte: Elaborada pelo Autor

Por fim foi realizado um estudo das propriedades térmicas das amostras do painel compósito, no qual foram variadas as proporções mássicas de PUR em relação ao EPS, enquanto que as concentrações de Pinus e Eucaliptos foram mantidas fixas. Nas Figuras 33a e 33b são apresentadas as análises termogravimétricas e sua derivada para as amostras dos painéis. Pode ser observado que a variação da concentração de PUR não alterou significativamente a estabilidade térmica dos painéis

em relação asmaravalhas de Pinus e Eucalipto puros, isso é forte indicativo que EPS atua melhor como efeito de barreira térmica em relação ao PUR. Além disso o EPS possui maior estabilidade térmica quando comparado ao PUR, no entanto, devido a baixa concentrações de EPS nos painéis da Figura 39 esse efeito não pode ser evidência, diferente do que ocorre na Figura 32.

Em relação aos eventos de decomposição dos painéis estudados na Figura 33a e 33b, também pode ser observados todos os quatros eventos térmicos evidenciados na Figura 33, ou seja, característicos da decomposição do PUR, das maravalhas e do EPS. Já o resíduo final foi de 18-20% para as amostras do painel compósito.

Figura 33 - Análises termogravimétricas das amostras do painel compósito Pinus/Eucaliptos/PUR-EPS, foram mantidas fixas as concentrações mássicas de Pinus e Eucaliptos 50% e 50% e variadas as concentrações de EPS em relação ao PUR entre 3 a 7%: (a) TG e (b) DTG.



Fonte: Elaborada pelo Autor

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Conforme a Tabela 16 é possível verificar os valores médios (Méd.), os valores de coeficientes de variação (CV) assim como os intervalos de confiança (95% de confiabilidade) das médias das propriedades físicas dos painéis.

Tabela 16 – Relação de resultados das propriedades físicas dos painéis

Composição	Estat.	D (kg/m ³)	TU (%)	I24h (%)	A24h (%)
M1	Méd.	791,35	8,09	27,95	63,15
	CV (%)	2,99	5,81	9,11	5,09
	IC (95%)	(753,73; 825,43)	(7,48; 8,58)	(24,13; 32,81)	(58,05; 69,81)
M5	Méd.	890,45	6,03	21,54	45,63
	CV (%)	2,80	1,46	15,08	9,51
	IC (95%)	(844,92; 934,78)	(5,89; 6,14)	(18,11; 27,40)	(34,60; 51,85)
M6	Méd.	925,85	4,90	16,43	30,35
	CV (%)	2,42	2,31	16,73	19,21
	IC (95%)	(872,25; 945,90)	(4,72; 5,05)	(10,69; 20,72)	(24,48; 42,61)
M7	Méd.	967,61	4,39	9,65	24,05
	CV (%)	1,74	2,37	31,61	20,99
	IC (95%)	(922,88; 989,94)	(4,25; 4,58)	(4,48; 14,38)	(19,88; 36,70)

D – densidade aparente do painel; TU – teor de umidade; I24h – inchamento após 24h; A24h – absorção após 24h;

Fonte: Elaborado pelo Autor

Na Tabela 17 observam-se os referidos coeficientes (Méd., CV e IC), porém, para as médias das propriedades mecânicas dos painéis, ambos de acordo com as misturas M1, M5, M6 e M7.

Tabela 17 – Relação de resultados das propriedades mecânicas dos painéis

Composição	Estat.	RTP (MPa)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)
M1	Méd.	0,81	12,69	1.856,39
	CV (%)	22,33	9,03	7,83
	IC (95%)	(0,55; 1,08)	(10,20; 14,56)	(1.584,04; 2.112,13)
M5	Méd.	1,50	20,29	2.517,25
	CV (%)	12,90	14,48	12,18
	IC (95%)	(1,21; 1,84)	(16,90; 25,54)	(2.009,00; 3.030,48)
M6	Méd.	1,27	23,27	2.346,65
	CV (%)	23,48	6,69	10,21
	IC (95%)	(0,60; 1,57)	(20,69; 26,67)	(1.969,75; 2.784,25)
M7	Méd.	1,13	24,40	3.150,01
	CV (%)	16,64	9,27	13,80
	IC (95%)	(0,93; 1,54)	(20,53; 28,58)	(2.426,95; 3.606,94)

MOR – módulo de resistência à flexão; MOE – módulo de elasticidade na flexão; RTP – resistência à tração perpendicular

Fonte: Elaborado pelo Autor

Os resultados do teste de Tukey, calculados conforme o sistema de Comparações Múltiplas, determinando os valores-p desse teste. Por meio do teste de Tukey foi possível avaliar o desempenho do EPS nas misturas com os melhores resultados nos ensaios físicos e mecânicos, e também a comparação em relação à mistura de referência (M1), produzida com PUR. Ressalta-se que o nível de significância foi 5%, ($0,6674 \leq \text{valor-p} \leq 0$).

A Tabela 18 evidencia os contrastes entre as diferenças nas médias do teste de Tukey, pois, considerou-se que A representa o grupo de maior valor médio da propriedade investigada, B o grupo com o segundo maior valor médio e assim

sucessivamente, para letras iguais, em casos de tratamentos distintos, as médias são consideradas estatisticamente equivalentes.

Tabela 18 - Resultados do teste de contraste de médias de Tukey para os painéis avaliados das três composições

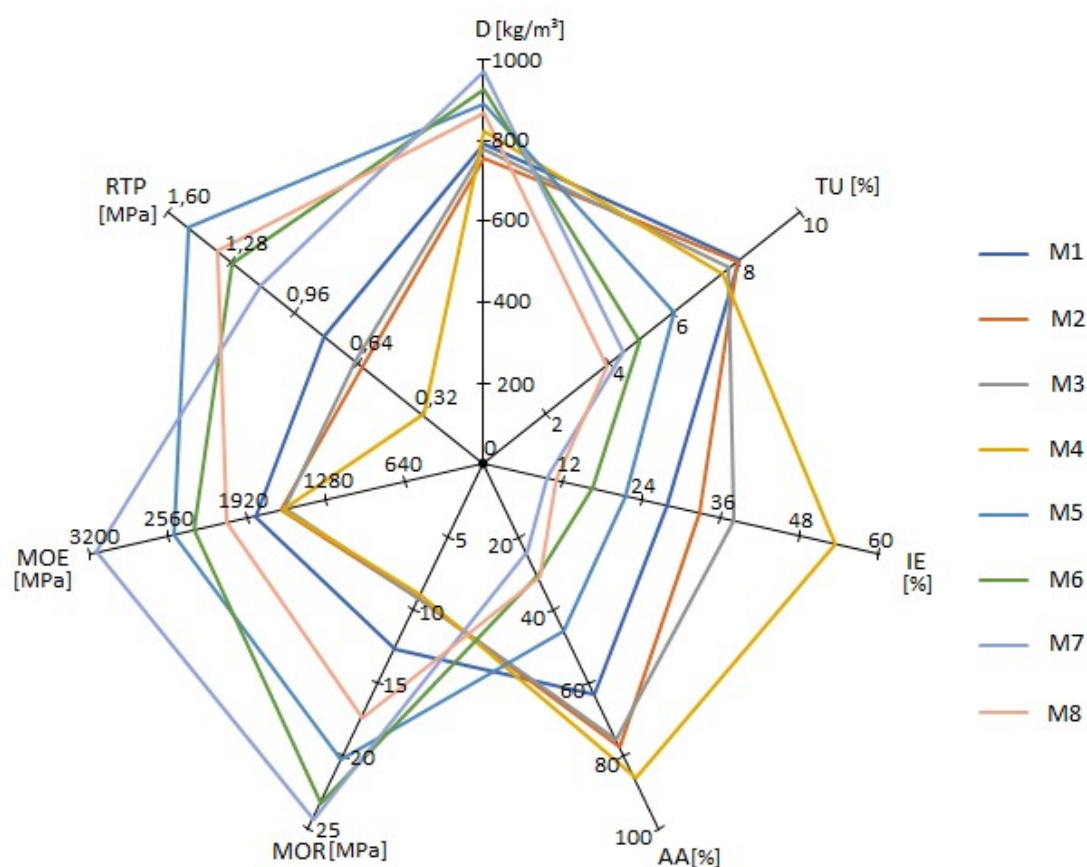
Composições	D	TU	I24h	A24h	MOR	MOE	RTP
M1	C	A	A	A	C	B	C
M5	B	B	A	B	B	A	A
M6	B	C	B	B	A	A	B
M7	A	C	B	C	A	A	B

D – densidade aparente do painel; TU – teor de umidade; I24h – inchamento após 24h; A24h – absorção após 24h; MOR – módulo de resistência à flexão; MOE – módulo de elasticidade na flexão; RTP – resistência à tração perpendicular

Fonte: Elaborado pelo Autor

Para concluir a análise dos resultados de ensaios físicos e mecânicos dos painéis das misturas (M1 a M8); na Figura 34 observam-se o desempenho dos resultados com relação à eficiência de uma mistura comparando-se com os resultados das demais, desta forma é possível observar o desempenho dos painéis.

Figura 34 – Gráfico para análise dos resultados obtidos nos ensaios físicos e mecânicos dos painéis



Fonte: Elaborado pelo Autor

A Tabela 19 apresenta os valores médios dos ensaios físicos dos painéis produzidos nessa pesquisa de todas as misturas (M1 a M8), ao final um resumo desses valores médios é relacionado com ênfase ao menor valor e o maior valor conforme determinado ensaio.

Tabela 19 – Comparação de resultados obtidos dos ensaios físicos dos painéis

Mistura	D (kg/m³)	TU (%)	I24h (%)	A24h (%)
P/M1	791,35	8,09	27,95	63,15
P/M2	756,34	8,03	32,74	77,66
P/M3	774,94	7,74	38,06	75,89
P/M4	821,55	7,52	53,36	86,26
P/M5	890,45	6,03	21,54	45,63
P/M6	925,85	4,90	16,43	30,35
P/M7	967,61	4,39	9,65	24,05
P/M8	867,89	3,87	10,87	31,16
M1 – M8	756,34 - 967,61	3,87 – 8,09	9,65 – 53,36	24,05 – 86,26

D – densidade média aparente do painel; TU – teor de umidade; I24h – inchamento após 24h; A24h – absorção após 24h; MOR – módulo de resistência à flexão; MOE – módulo de elasticidade na flexão; RTP – resistência à tração perpendicular

Fonte: Elaborado pelo Autor

A Tabela 20 apresenta os valores médios dos ensaios mecânicos dos painéis produzidos nessa pesquisa de todas as misturas (M1 a M8), ao final um resumo desses valores médios é relacionado com ênfase ao menor valor e o maior valor conforme determinado ensaio.

Tabela 20 – Comparação de resultados obtidos dos ensaios mecânicos dos painéis

Mistura	MOR (MPa)	MOE (MPa)	RTP (MPa)
P/M1	12,69	1.856,39	0,81
P/M2	9,28	1.652,09	0,62
P/M3	9,25	1.613,03	0,65
P/M4	9,01	1.637,12	0,31
P/M5	20,29	2.517,25	1,50
P/M6	23,27	2.346,65	1,27
P/M7	24,40	3.150,01	1,13
P/M8	17,51	2.092,97	1,35
M1 – M8	9,01 - 24,40	1.613,03 - 3.150,01	0,31 – 1,50

MOR – módulo de resistência à flexão; MOE – módulo de elasticidade na flexão; RTP – resistência à tração perpendicular

Fonte: Elaborado pelo Autor

Conforme o documento normativo brasileiro ABNT NBR 14810-1 e 2: 2018, os painéis das misturas M5, M6, M7 e M8 possuem condições de atuar como painéis estruturais em condições severas de carga, em ambientes úmidos ou secos, essa condição varia conforme as propriedades de cada mistura.

De acordo com Iwakiriet *al.*, 2005, os valores de densidade estão correlacionados com os valores de resistência mecânica, ou seja, um painel mais denso apresenta maior homogeneidade, distribuição e compactação das maravalhas, consequentemente o painel tenderá possuir maior resistência à flexão e à tração.

Ao se analisar as Tabelas (Tabela 19 e Tabela 20) são possíveis verificar que os painéis das misturas (M2, M3 e M4) que foram substituídos os teores de PUR por teores de poliestireno, apresentaram menores resistências com relação aos painéis das misturas (M5, M6 e M7) que foi mantido os teores de PUR em 10% e variando-se os teores de poliestireno, pois, de acordo com Ebnesajjad e Landrock (2015) as resinas poliuretanas utilizadas com adesivo em matrizes de madeira, tendem a propiciar maiores resistências a flexão e a tração, com relação a algumas resinas mais tradicionais usadas na indústria de painéis aglomerados.

Devido ao fato do PS ser um polímero termoplástico, com características dúcteis e elásticas, quando introduzido em uma matriz de base de madeira, essas características melhoram a flexibilidade e plasticidade do compósito, ao mesmo tempo em que melhora a resistência do mesmo. Essa característica pode explicar os resultados obtidos para as propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos com as misturas M2, M3, M4, M5, M6 e M7. Isso demonstra que o comportamento do PS junto ao PUR propiciou efeito positivo às propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

5 CONCLUSÃO

O estudo desenvolvido possibilitou avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis homogêneos produzidos com misturas de maravalhas de madeira de pinus, eucalipto, partículas recicladas de poliestireno e aglutinados com PUR.

Considerando-se o processo de fabricação dos painéis realizado por meio de compactação com controle de temperatura e pressão, foi possível avaliar a influência positiva das partículas recicladas de poliestireno misturadas com maravalhas de madeira formando uma matriz randômica e aglutinadas com PUR.

A partir dos resultados obtidos com os ensaios para caracterização dos painéis, verificou-se que o poliestireno associado ao PUR contribuiu significativamente para melhorar a qualidade das propriedades dos painéis, pois, ao se aumentar o teor de poliestireno verificou-se a influência do mesmo na melhoria das propriedades físicas e mecânicas.

De acordo com a NBR 14810-2:2018 foi possível classificar os painéis aglomerados conforme os resultados obtidos em ensaios (físicos e mecânicos), sendo assim, a mistura M5 pode ser classificado em painéis do tipo P2 Painéis não estruturais para uso interno em condições secas. Já M6 pode ser classificada em painéis do tipo P5 Painéis estruturais para uso em condições secas. Já a mistura M7 pode ser classificado em painéis do tipo P6 Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes secos.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-HAKIM, A.; EL-BASHEER, T. M.; EL-AZIZ, A. M. A.; AFIFI, M. Acoustic, ultrasonic, mechanical properties and biodegradability of sawdust/ recycled expanded polystyrene eco-friendly composites. **PolymerTesting**, London, v. 99, n. 107215, p. 1-9, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA DO PLÁSTICO - ABIPLAST .**Relatório Anual**. São Paulo, 2020. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/publicacoes/>. Acesso em: 26 out. 2021.
- ALBUQUERQUE, C. E. C. Da madeira dos sarcófagos à moderna indústria. **Revistada Madeira**, Curitiba, v. 8, n. 45, p. 26-28, 1996.
- ALI, S.S.; ELSAMAHY, T.; KOUTRA, E.; KORNAROS, N.; EL-SHEEKH, M.; ABDELKARIM, E. A.; ZHU, D.; SUN, J. Dgradation of conventional plastic wastes in the environment. A review on current status of knowledgeand future perspectives of disposal.**Science of the Total Environment**, Amsterdam,v. 771,n. 144719,2021.DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144719>.
- ALVES, E. G. L.; REZENDE, C. M. F.; OLIVEIRA, H. P.; BORGES, N. F.; MANTOVANI, P. F.; LARA, J. S. Avaliação mecânica da placa de compósito de poli-hidroxibutirato e hidroxiapatita em modelos ósseos de gato. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte,v. 62, n. 6, p. 1367-1374, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352010000600011>
- AMOBONYE, A.; BHAGWAT, P.; SINGH, S.; PILLAI, S. Plastic biodegradation: Frontline microbes and their enzymes.**Science of The Total Environment**, Amsterdam,v. 759, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143536>.
- ANDRADY, A. L. The plastic in microplastics: A review. **Marine Pollution Bulletin**, London,v. 119, n. 1, p. 12 – 22, 2017.DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082>.
- ANTUNES, A.; PEREIRA, J.; PAIVA, N.; FERRA, J.; MARTINS, J.; CARVALHO, L.; TIMMONS, A. B.; MAGALHÃES, F. D. Effects of resin content on mechanical properties of cork-based panels bound with melamine-urea-formaldehyde and polyurethane binders. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, London, v. 101, n. 102632, p. 1-7, 2020.
- ARAÚJO, M. S.; SILVA JUNIOR, E. F.; LIMA, V. N.; LIMA, R. F.; TROMBONI, F.; AMORIM, C. L.; THOMAS, S. A.; MOULTONA, T. P.; ZANDONÀ, E. Effects of riparian deforestation on benthic invertebrate community and leaf processing in Atlantic forest streams. **Perspectives in EcologyandConservation**, Barcelona,v. 18, n. 4, p. 277 – 282, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14810-1**: Painéis de maravalhas de média densidade: parte 1: terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14810-2:** Painéis de maravalhas de média densidade: parte 2: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 248:** Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6457:** Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6458:** Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9939:** Agregados: determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado gráudo. Rio de Janeiro, 1987.

BALDWIN, R .F. **Plywood Manufacturing Practices**. Miller freeman, San Francisco.1981.

BISPO, R. A. **Produção e avaliação de painéis de partículas de fibra de coco, pinus e eucalipto, aglutinadas com adesivo poliuritenao derivado de óleo de mamona**.2021. 124 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2021.

BOTAN, R., NOGUEIRA, T. R., LONA, L. M. F. Síntese e caracterização de nanocompósitos de poliestireno/hidroxissal lamelar.**Polímeros: Ciência e Tecnologia**, [s. l.], v. 37, n. 01, pp. 18-21, 2014.

BRAZEL, C. S.; ROSEN, S. L. **Fundamental Principles of Polymeric Materials**, Hoboken: Wiley, 2012.

BULIAN, F.; GRAYSTONE, J. A. **Wood coatings: theory and practice**, Oxford: Elsevier Science, 2009.

CALLISTER JUNIOR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**.Rio de Janeiro: LTC, 2020.

CHAMAS, A.; MOON, H.; ZHENG, J.; QIU, Y.; TABASSUM, T.; JANG, J. H.; ABU-OMAR, M.; SCOTT, S. L.; SUH, S. Degradation Rates of Plastics in the Environment.**ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, Washington, v. 8, p. 3494 – 3511, 2020.

CHEN, W. H.; ENG, C. F.; LIN, Y. Y.; BACH, Q. V.; ASHOKKUMAR, V.; SHOW, P. L. Two-step thermodegradation kinetics of cellulose, hemicelluloses, and lignin under isothermal torrefaction analyzed by particle swarm optimization.**Energy Conversion and Management**, London, v. 238, n. 114116, p. 1-14, 2021.

CHEREMISINOFF, N. P. **Handboock of engineering polymeric materials**. New York: Marcel Dekker, 1997.

COGNARD P. **Handbook of adhesives and sealants**: general knowledge, application of adhesives, new curing techniques. London: Elsevier, 2006.

CZIGANY, T. Disposable or single-use plastics? Neither! Recyclable or reusable plastics! **Express Polymer Letters**, Budapest, v. 14, n. 1, p. 1-2, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2020.1.1-1>.

DALBERG ADVISORS. **Solucionar a poluição plástica**: transparência e responsabilização, 2019. Disponível em: Acesso em: 17 abr. 2021.

DAZMIRI, M. K.; KIAMAHALLEH, M. V.; DORIEH, A.; PIZZI, A. Effect of the initial F/U molar ratio in urea-formaldehyde resins synthesis and its influence on the performance of medium density fiberboard bonded with them. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, London, v. 95, n. 102440, p. 1-9, 2019.

EBNESAJJAD, S. **Handboock of adhesives and surface preparation**: technology, applications and manufacturing. [S. l.]: William Andrew, 2011.

EBNESAJJAD, S.; LANDROCK, A. H. **Adhesivestechology handbook**. [S. l.]: William Andrew, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Florestas. Sistema de Produção. Cultivo de Pinus. **Espécies de pínus mais plantadas no Brasil**. Brasília, DF, 2014. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_76293187_sistemaProducaoId=3715&p_r_p_-996514994_topicId=3229. Acesso em: 16 abr. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Florestas. Sistema de Produção. Cultivo de Eucalipto. **Apresentação**. Brasília, DF, 2014. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_76293187_sistemaProducaoId=7811&p_r_p_-996514994_topicId=8509. Acesso em: 16 abr. 2021.

ESTEVES, B.; VIDEIRA, R.; PEREIRA, H. Chemistry and ecotoxicity of heat-treated pine wood extractives. **Wood Science Technol**, Heidelberg, v. 45, p. 661 – 676, 2011.

FAKIROV, S. **Oriented polymer materials**. Weinheim: Wiley-VCH, 2002.

FAO. World Food and Agriculture, Statistical Yearbook. [S. l.], 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/3/cb1329en/CB1329EN.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.4060/cb1329en>.

FERREIRA, K. B.; FERREIRA, J. C.; ANDRADE, C. R.; TEIXEIRA, D. E.; GARCIA, L. F. A.; GUIMARÃES, I. L.; SILVA, T. E.; MACHADO, D. K. F. Impacto da adição de poliestireno na composição de painéis de bagaço de cana-de-açúcar.

ScientiaForestalis, Piracicaba, v. 48, n. 126, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.18671/scifor.v48n126.20>

FIORELLI, J.; BUENO, S. B.; CABRAL, M. R. Assessment of multilayer particleboards produced with green coconut and sugarcane bagasse fibers.

ConstructionandBuildingMaterials, Amsterdam, v. 205, p. 1 – 9, 2019.

FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; SOUZA, V. C.; STAPE, S. J. L. **Eucalyptus no**

Brasil: Zoneamento Climático e Guia para Identificação. Piracicaba: IPEF, 2016.

FRIHART, C. R. **Forest Products Journal**. [S. l.]: Forest Products Society, 2015.

FRIHART, C. R. Introduction to special issue: wood adhesives: past, present, and future.

Forest Products Journal, Peachtree Corners, v. 65, n.1/2, p. 1 – 8, Mar. 2015.

GEYER, R.; JAMBECK, J.R.; LAW, K.L. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, Washington, v. 3, n. 7, 2017.

GILIO, C. G. **Avaliação de painéis de maravalhas homogêneas empregando se madeira de hevea brasiliensis e tectona grandis, aglutinadas com adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona**. 2020. 139 f. Dissertação (mestrado) –

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2020.

GOOCH, J. W. **Analysis and deformation of polymeric materials**: paints, plastics, adhesives, and inks topics in applied chemistry. Heidelberg: Springer Science and Business Media, 1997.

HENDERS, S.; PERSSON, U. M.; KASTNER, T. Trading forests: land-use change and carbon emissions embodied in production and exports of forest-risk

commodities. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 10, n. 12, 2015.

HERNANDEZ M.; GONZALEZ I.; RAMIREZ M.; TALAVERA F.; GUZMAN J.;

GALLEGOS M.;

ENRIQUEZ S. Physical and mechanical properties of wood plastic composites polystyrene white oak wood flour. **Journal of Composite Materials**, London, v. 48, p. 209–217, 2014.

HILLIG, E. Qualidade **das Chapas Aglomeradas Estruturais Fabricadas com**

Madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia Negra, puras ou misturadas coladas com

Tanino-Formaldeído. 2000. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, 112p. Rio Grande do Sul, 2000.

INDRUSTRIA BRASILEIRA DE ARVORES. **Relatório Anual**. [S. l.], 2020. Disponível

em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2021.

IWAKIRI, S.; KEINERT JUNIOR, S.; MENDES, L. M.; CAMARGO DE ALBUQUERQUE, C. E.; LATORRACA, J. V. F. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005.

JAMBECK, J. R.; GEYER, r.; WILCOX, C.; SIEGLER, T. R.; PERRYMAN, M.; ANDRADY, A.; NARAYAN, R.; LAW, K.L. Plastic waste inputs from land into the ocean. **Science**, v. 347, n. 6223, p. 768 – 771, 2015. DOI: 10.1126/science.1260352.

KASEEM M.; HAMAD K.; DERI F.; GUN KO Y. Effect of Wood Fibers on the Rheological and Mechanical Properties of Polystyrene/Wood Composites. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, Washington, v.37, n.4, p. 251-260, Feb. 2017.

KOLLMANN, F. P.; KUENZI, E.W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology**. Wood based materials. Properties of Particleboard. Nail-Holding and Screw-Holding Ability. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1975.

KUMAR, P.; SUBBARAO, P. M. V.; KALA, L. D.; VIJAY, V. K. Thermogravimetry and associated characteristics of pearl millet cob and eucalyptus biomass using differential thermal gravimetric analysis for thermochemical gasification. **Thermal Science and Engineering Progress**, Amsterdam, v. 26, p. 101104, 021.

LAMBIN, E. F.; GIBBS, H. K.; HEILMAYR, R.; CARLSON, K. M.; FLECK, L. C.; GARRETT, R. D.; LE POLAIN DE WAROUX, Y.; MCDERMOTT, C. L.; MCLAUGHLIN, D.; NEWTON, P.; NOLTE, C.; PACHECO, P.; RAUSCH, L. L.; STRECK, C.; THORLAKSON, T.; WALKER, N. F. The role of supply-chain initiatives in reducing deforestation. **Nature Climate Change**, v. 8, n. 2, p. 109 – 116, 2018.

LACOMBE, J. E. de A. **Painéis de madeira aglomerada produzidos com resíduos de serragem e poliestireno expandido para aplicações na construção civil**. Tese (Doutorado) – Instituto de arquitetura e urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

LI, M.; CHANG, S.; LI, D.; WANG, S.; HUANG, A.; SUN, S. Structural characterization of steam-heat treated *Tectonagrandis* wood analyzed by FT-IR and 2D-IR correlation spectroscopy. **Chinese Chemical Letters**, London, v. 26, p. 221 – 225, 2015.

LIODAKIS, S., TSAPARA, V., AGIOVLASITIS, I. P., & VORISIS, D. Thermal analysis of *Pinussylvestris* L. wood samples treated with a new gel–mineral mixture of short-and long-term fire retardants. **Thermochimica Acta**, Amsterdam, v. 568, p. 156-160, 2013.

LUCAS, E. F.; SOARES, B. G.; MONTEIRO, E. E. **Caracterização de Polímeros: Determinação de Peso Molecular e Análise Térmica**, E-papers, 2001.

MACEDO L. B. de; FERRO F. S.; VARANDA L. D.; CAVALHEIRO R. S.; CHRISTOFORO A. L.; LAHR F. A. R. Propriedades físicas de painéis aglomerados de madeira produzidos com adição de película de polipropileno biorientado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.7, p. 674-679, 2016.

MALONEY, T. M. **Modern Particleboard & Dry-Process Fiberboard Manufacturing**. San Francisco, 1993.

MASRI T.; OUNIS H.; SEDIRA L.; KACI A.; BENCHABANE A. Characterization of new composite material based on date palm leaflets and expanded polystyrene wastes. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v.164, p. 410-418, 2018.

MATYJASZEWSKI, K.; MOLLER, M. **Polymer science: a comprehensive reference**. London: Elsevier, 2012.

MESQUITA, A. L.; BARRERO, N. G.; FIORELLI, J.; CHRISTOFORO, A. L.; de Faria, L. J. G.; LAHR, F. A. R. Eco-particleboard manufactured from chemically treated fibrous vascular tissue of acai (*Euterpe oleracea* Mart.) Fruit: A new alternative for the particleboard industry with its potential application in civil construction and furniture. **Industrial Crops & Products**, Amsterdam, v. 112, p. 644 – 651, 2018.

MIRSKI, R.; BORUSZEWSKI, P.; TROCIŃSKI, A.; DZIURKA, D. The Possibility to Use Long Fibres from Fast Growing Hemp (*Cannabis sativa* L.) for the Production of Boards for the Building and Furniture Industry. **BioResources**, Raleigh, v. 12, n. 2, p. 3521 – 3529, 2017.

MIRSKI, R.; DZIURKA, D.; BANASZAK A. Properties of Particleboards Produced from Various Lignocellulosic Particles. **BioResources**, Raleigh, v. 13, n. 4, p. 7758 – 7765, 2018.

MISHRA, R. K.; MOHANTY, K. Thermal and catalytic pyrolysis of pine sawdust (*Pinus ponderosa*) and Gulmohar seed (*Delonix regia*) towards production of fuel and chemicals. **Materials Science for Energy Technologies**, Beijing, v. 2, n. 2, p. 139-149, 2019.

MOSLEMI, A.A. **Particleboard: materials**. London, 1974. v. 1.

MOSLEMI, A.A. **Particleboard: technology**. Amsterdam, 1974. v. 2.

MOURA, F. N. D.; FIALHO, A. C. V.; MOURA, W. L. D.; ROSA, A. G. F.; MATOS, J. M. E. D.; REIS, F. D. S.; SALES, E. S. D. Castor polyurethane used as osteosynthesis plates: microstructural and thermal analysis. **Polímeros**, [s. l.], v. 29, 2019.

MUZEL, S. D. **Estudo da usinagem dos compósitos plástico madeira e madeira plástica**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Guaratinguetá, 2017.

NASCIMENTO M. F.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. **Painéis de maravalhas de media densidade MDP: fabricação e caracterização**. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2015.

MARINHO, N. P.; NASCIMENTO, E. M.; NISGOSKI, S.; MAGALHÃES, W. L. E.; NETO, S. C.; AZEVEDO, E. C. Caracterização física e térmica de compósito de poliuretano derivado de óleo de mamona associado com partículas de bambu. **Polímeros**, [s. l.], v. 23, n. 2, p. 201-205, 2013.

NAVI, P.; SANDBERG, D. **Thermo-hydro-mechanical wood processing**. Boca Raton: CRC Press, 2012.

OLIVEIRA, J. T. S.; FREITAS, A. R. Painéis à Base de Madeira. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**. Departamento de Construção Civil. São Paulo, 1995.p. 19-25.

OLIVEIRA, R. C. de; BISPO, R. A.; TREVISAN, M. F.; GILIO, C. G.; RODRIGUES, F. R.; SILVA, S. A. M. da. Influence of leather fiber on modulus of elasticity in bending test and of bend strength of particleboards. **Materials Research**, São Carlos, v. 24, v. suppl. 2, 2021.

OLMOS, M. A. C. **Equipamento e Processo de Fabricação de Chapas de Madeira Aglomeradas a partir de Resíduos de Madeira**. 1992. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia de Estruturas, Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992. 110 p.

PENDRILL, F.; PERSSON, U. M.; GODAR, J.; KASTNER, T.; MORAN, D. Agricultural and forestry trade drives large share of tropical deforestation Emissions. **Global Environmental Change**, Oxford, v. 56, p. 1 – 10, 2019.

PETRIE, E. M. **Handboock of Adhesives and Sealants**. San Diego: McGraw Hill Professional, 2020.

PLASTICS EUROPE. **The Facts 2020**. Belgium, 2020. Disponível em: <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/4312-plastics-facts-2020>. Acesso em: 04 abr. 2021.

POPESCU, M. C.; FROIDEVAUX, J.; NAVI, P. POPESCU, C. M. Structural modifications of Tiliacordata wood during heat treatment investigated by FT-IR and 2D IR correlation spectroscopy. **Journal of Molecular Structure**, Amsterdam, v. 1033, p. 176-186, 2013.

RATANAWILAI, T.; TANEERAT, K. Alternative polymeric matrices for wood-plastic composites: Effects on mechanical properties and resistance to natural weathering. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 172, p. 349-357, Abr. 2018.

RONKAY, F.; MOLNAR, B.; GERE, D.; CZIGANY, T. Plastic waste from marine environment: Demonstration of possible routes for recycling by different manufacturing technologies. **Waste Management**, Oxford, v. 119, p. 101-110, 2020

SCHLUTER, A. D.; HAWKER, C. J.; SAKAMOTO, J. **Synthesis of polymers: new structures and methods**. [S. /]: Wiley-VCH, Weinheim, 2012.

SEYBOTH, K.; ADLER, A.; BAUM, I.; BRUNNER, S.; EICKEMEIER, P.; KRIEMANN, B.; SAVOLAINEN, J.; SCHLÖMER, S.; STECHOW, C. V.; ZWICKEL, T.; MINX, J.C. (org.) **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on**

Climate Change. United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, Cambridge, 2014. p. 811 – 922.

SHEN, Y.; GAO, Z.; HOU, X.; CHEN, Z.; JIANG, J.; SUN, J. Spectral and thermal analysis of Eucalyptus wood drying at different temperature and methods. **Drying Technology**, v. 38, n. 3, p. 313-320, 2019.

SHIELDS, J. **Adhesives Handbook.** London: Butterworths, 1984.

SILVA, M. J. da, **Preparação e caracterização Elétrica do Compósito de Poliuretano/Negro de Fumo.** 2009. 103 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2009.

SILVA, L. F. M.; OCHSNER, A.; ADAMS, R. D. **Handboock of Adhesion Technology**, Springer, Verlag Berlin Heidelberg, 2011.

SILVA, D. A. L. **Avaliação do Ciclo de Vida da Produção do Painel de Madeira MDP no Brasil.** 2012. 207 f. Departamento de Interunidades – Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SILVA, V. U.; NASCIMENTO, M. F.; OLIVEIRA, P. R.; PANZERA, T. H.; REZENDE, M. O.; SILVA, D. A. L.; AQUINO, V. B. de M.; LAHR, F. A. R.; CHRISTOFORO, A. L. Circular vs. linear economy of building materials: A case study for particleboards made of recycled wood and biopolymer vs. conventional particleboards. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 285, 2021.

SMITH, P.; BUSTAMANTE, M.; AHAMMAD, H.; CLARK, H.; DONG, H.; ELSIDDIG, E. A.; HABERL, H.; HARPER, R.; HOUSE, J.; JAFARI, M.; MASERA, O.; MBOW, C.; RAVINDRANATH, N. H.; RICE, C. W.; ABAD, C. R.; ROMANOVSKAYA, A.; SPERLING, F.; TUBIELLO, F. N., Agriculture, forestry and other land use (afolu). In.: EDENHOFER, O.; PICHS-MADRUGA, R.; SOKONA, Y.; FARAHANI, E.; KADNER, S.; SOLT, P.; KONNERTH, J.; ALTIMUTTER, W. G.; MOSER, W. K. J.; MITTER, R.; VAN-HERWIJNEN, H. W. G. Technological performance of formaldehyde-free adhesive alternatives for particleboard industry. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, London, v. 94, p. 99 – 131, 2019.

SOMMERHUBER, P. F.; WANG, T.; KRAUSE, A. Woodeplastic composites as potential applications of recycled plastic of electronic waste and recycled particleboard. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 121, p. 176–185, Fev. 2016.

SPERLING, L. H. **Introduction to Physical Polymer Science.** [S.l.]: Wiley, 2005.

SRINIVASAN, A.; BANDYOPADHYAY, S. **Advances in Polymer Materials and Technology.** Boca Raton: CRC Press, 2017.

STRIBECK, N.; SMARSLY, B. **Scattering methods and the properties of polymer materials:** volume 130 of progress in colloid and polymer science. Heidelberg: Springer Science and Business Media, 2005.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do Potencial de Espécies Florestais Alternativas, de Rápido Crescimento para Produção de Madeira Aglomerada**. 2010. 262 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

VILAR, W. **Química e tecnologia dos poliuretanos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Vilar Consultoria, 2004. 400p. Disponível em: <https://poliuretanos.com.br/>. Acesso em: 08 set. 2021.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **United in Science**. [S. /], 2020. Disponível em: https://public.wmo.int/en/resources/united_in_science. Acesso em: 04 abr. 2021.

WWF-BRASIL, FUNDO MUNDIAL PARA A NATUREZA. **Relatório Anual**. 2019. Disponível em: Relatório Anual | WWF Brasil. Acesso em: 17 abr. 2021.

ZHANG, L.; ZHANG, M.; HU, L.; ZHOU, Y. Synthesis of rigid polyurethane foams with castor oil-based flame retardant polyols. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 52, n. 1, p. 380-388, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.10.043>.