

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL
CURSO DE TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

LUAN DE BASTOS DE LIMA

**UTILIZAÇÃO DE SERRAGEM COMO SUBSTITUTO PARCIAL DE
EXTENSOR EM ADESIVOS PARA PAINÉIS COMPENSADOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GUARAPUAVA

2020

LUAN DE BASTOS DE LIMA

**UTILIZAÇÃO DE SERRAGEM COMO SUBSTITUTO PARCIAL DE
EXTENSOR EM ADESIVOS PARA PAINÉIS COMPENSADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito para obtenção do título de Tecnólogo em Manutenção Industrial do curso de Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof. Dr. Viviane Teleginski Mazur

GUARAPUAVA

2020



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Guarapuava
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação de TMI
Tecnologia em Manutenção Industrial



TERMO DE APROVAÇÃO

**UTILIZAÇÃO DE SERRAGEM COMO SUBSTITUTO PARCIAL DE EXTENSOR EM
ADESIVOS PARA PAINÉIS COMPENSADOS**

por

LUAN DE BASTOS DE LIMA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 22 de junho de 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Manutenção Industrial. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Viviane Teleginski Mazur
Prof. Orientadora

Prof. Msc. Henrique Ajuz Holzmann
Membro titular

Prof. Msc. Marly Terezinha Quadri Simões da Silva
Membro titular

Dr. Marcelo Rafael Cosetin
Coordenador do Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho a todos que foram apoio
nos momentos de necessidade

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que de alguma forma estiveram envolvidos nesta jornada e embora nem todos estejam citados aqui sintam-se lembrados.

Gostaria de iniciar agradecendo a Universidade pelo ambiente de aprendizado e incentivo durante a graduação.

A minha professora orientadora Dra. Viviane Teleginski Mazur que me manteve focado ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Grato pela sua orientação preciosa, motivação e incentivo.

A empresa Porterit pelo amparo ao projeto e estímulo à pesquisa.

Dedico este trabalho a todos os meus amigos de curso, grandes companheiros de jornada. Em especial aos amigos Sandro Fabio Niewiadomski e Jean Siqueira pelo excepcional apoio e incentivo durante a pesquisa e ao longo desta caminhada.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

LIMA, Luan de Bastos. **Utilização de serragem como substituto parcial de extensor em adesivos para painéis compensados.** 2020. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Manutenção Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2020.

Painéis de compensado plastificados, navais e decorativos são produzidos no Brasil e são utilizados principalmente para abastecer o mercado da construção civil. Na fabricação de compensados são utilizadas lâminas de madeira unidas por um adesivo que contém catalizador, água e um elemento extensor, adicionado para reduzir os custos, controlar a viscosidade e prolongar a vida útil do adesivo. Os extensores a base de farinha de trigo são os mais utilizados e apresentam alta absorção de água, baixa resistência a umidade e ataque de microrganismos. Além disso, o consumo de trigo como alimento e o aumento de preços faz necessária a procura por materiais substitutos. Neste trabalho, avaliou-se o efeito da adição de serragem como substituto parcial do trigo em 5, 15, 25 e 50 %. Foram confeccionados corpos de prova para ensaios mecânicos de tração a seco e a úmido, com submersão em água por 24 horas. Dos corpos de prova com 25% de serragem, 33% foram avariados pela submersão em água, impossibilitando os ensaios mecânicos. Já os corpos de prova com 15% somente apresentaram discrepância de resultados. Quando ensaiados a seco, os corpos de prova com adições de 15 e 25% apresentaram resistência ao cisalhamento na linha de cola 20% maior em comparação aos painéis convencionais. Isso indica que a utilização de serragem em substituição parcial ao elemento extensor pode gerar redução de custos, uma vez que é um resíduo produzido pelo próprio processo fabril dos painéis compensados.

Palavras-chave: Painéis compensados. Adesivo. Resistência mecânica. Umidade.

ABSTRACT

LIMA, Luan de Bastos. **Effect of sawdust addition as extender on the properties of industrial plywood.** 2020. 57 p. Work of Conclusion Course (Technology in Industrial Maintenance) - Federal Technology University - Paraná. Guarapuava, 2020.

Plasticized, naval and decorative plywood panels are produced in Brazil and are used mainly to supply the civil construction market. In the manufacture of plywood, wooden sheets are used joined by an adhesive that contains catalyst, water and an extender element, added to reduce costs, control viscosity and prolong the life of the adhesive. Extenders based on wheat flour are the most used and have high water absorption, low resistance to moisture and attack by microorganisms. In addition, the consumption of wheat as food and the increase in prices make it necessary to seek substitute materials. In this work, the effect of adding sawdust as a partial substitute for wheat was evaluated at 5, 15, 25 and 50%. Specimens were made for dry and wet mechanical traction tests, with submersion in water for 24 hours. Of the specimens with 25% sawdust, 33% were damaged by submersion in water, making mechanical testing impossible. The specimens with 15% only presented a discrepancy in results. When tested dry, the specimens with additions of 15 and 25% showed shear resistance in the glue line 20% higher compared to conventional panels. This indicates that the use of sawdust in partial replacement of the extension element can generate cost savings, since it is a waste produced by the manufacturing process of the plywood panels.

Keywords: Plywood panels. Sticker. Mechanical strength. Humidity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Divisão do Setor de Base Florestal	13
Figura 2 – Obtenção da lâmina	16
Figura 3 – Tipos de distribuição granulométrica.....	23
Figura 4 – Diferença entre distribuição uniforme e não uniforme de partículas.....	24
Figura 5 – Razão de aspecto	24
Figura 6 – Divisão da lâmina	25
Figura 7 – Etapas de fabricação da placa quente	28
Figura 8 – Pontos de verificação da temperatura na chapa quente	30
Figura 9 – Acondicionamento da serragem na estufa	32
Figura 10 – Separação granulométrica das amostras de serragem como recebida .	34
Figura 11 – Microscopia: amostras de 600 µm	35
Figura 12 – Razão de aspecto em amostra de serragem	35
Figura 13 – Curva granulométrica após moagem	36
Figura 14 – Fotografia da resistência elétrica real (1) e modelagem 3D (2).....	38
Figura 15 – Placas de dissipação de calor e carga	38
Figura 16 – Apoios para distribuição de carga	39
Figura 17 – Desenho da Chapa Quente.....	39
Figura 18 – Chapa quente montada.....	40
Figura 19 – Lâminas com o adesivo aplicado nas diferentes formulações	41
Figura 20 – Chapa quente finalizada efetuando a prensagem a quente do compensado.....	42
Figura 21 – Sequência de termografias realizadas na chapa quente.....	42
Figura 22 – Amostras com sinais de sobreaquecimento	43
Figura 23 – Corpos de provas avariados pelo pré-tratamento de submersão em água	44
Figura 24 – Gráfico comparativo entre os resultados de resistência ao cisalhamento para o teste seco e o teste úmido	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Formulação das proporções de serragem	27
Tabela 2 – Teor de umidade da serragem como recebida	32
Tabela 3 – Comparação entre teor de umidade na serragem de 600 e 850 μm	33
Tabela 4 – Lista de componentes comerciais utilizados no projeto da chapa quente	37
Tabela 5 – Integridade dos CPs após 24h de submersão em água à temperatura ambiente.....	44
Tabela 6 – Resistência ao cisalhamento na linha de cola para as diferentes formulações.....	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVO GERAL	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.3 JUSTIFICATIVA.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 PAINEL COMPENSADO.....	13
2.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO COMPENSADO	15
2.3 ADESIVOS.....	18
2.4 EXTENSORES.....	21
2.5 SERRAGEM.....	22
2.5.1 Caracterização Da Serragem.....	22
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
3.1 PREPARAÇÃO DAS LÂMINAS	25
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA SERRAGEM.....	25
3.3 FORMULAÇÃO DAS RECEITAS.....	26
3.4 APLICAÇÃO DO ADESIVO	27
3.5 DESENVOLVIMENTO DA CHAPA QUENTE	27
3.5.1 Processo de Usinagem	28
3.5.2 Processo de Soldagem.....	29
3.5.3 Processo de Corte e Dobramento.....	29
3.5.4 Montagem Elétrica	29
3.6 PRENSAGEM DO COMPENSADO	30
3.7 PREPARAÇÃO DE CORPOS DE PROVA	31
3.8 CISALHAMENTO NA LINHA DE COLA.....	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA SERRAGEM.....	32
4.1.1 Teor De Umidade.....	32
4.1.2 Análise Granulométrica E Formato De Partícula	34
4.2 MOAGEM DA SERRAGEM	36
4.3 PROJETO DA CHAPA QUENTE	37
4.3.1 Componentes e Materiais Comerciais	37
4.3.2 Detalhamento dos Componentes.....	37

4.3.3 Montagem da Chapa Quente.....	39
4.4 FORMULAÇÃO DAS RECEITAS.....	40
4.5 PRENSAGEM DO COMPENSADO.....	41
4.6 PRÉ-TRATAMENTO DE SUBMERSÃO EM ÁGUA.....	43
4.7 ENSAIOS DE CISALHAMENTO NA LINHA DE COLA.....	45
5 CONCLUSÃO.....	48
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	49
REFERÊNCIAS.....	50
APÊNDICE A	53

1 INTRODUÇÃO

O painel compensado produzido em escala industrial surgiu com a necessidade de melhorar o aproveitamento das toras. Antes disso, os métodos de produção de madeira utilizavam serras para o corte, o que produzia um grande volume de serragem e, por consequência, desperdício de matéria prima.

O setor de madeira compensada é relativamente antigo no Brasil, começando seus trabalhos por volta de 1930 (ABIMCI, 2007). Dentre os fatores que impulsionaram as primeiras indústrias pode-se destacar o desenvolvimento do primeiro torno rotativo para produção de lâminas e, em um primeiro momento, a disponibilidade de matéria-prima no país. Na atualidade, são utilizadas apenas madeiras de reflorestamento na produção, pois a alta na procura levou a escassez na madeira nativa. Em paralelo, a criação de políticas e leis mais severas quanto ao desmatamento obrigaram as indústrias a se adequarem à nova realidade do país.

De acordo com Associação Paranaense das Empresas de Base Florestal - APRE (2018), a madeira compensada produzida no Brasil tem como foco principal o mercado externo. Dados mostram que entre os meses de novembro de 2018 e janeiro de 2019 foram exportadas 307,86 mil toneladas de madeira compensada, a um preço médio de 557,32 dólares por tonelada (CEPEA, 2019).

Ainda segundo APRE (2018), entre os principais tipos de compensados produzidos no Brasil destacam-se o plastificado, o naval e o decorativo, utilizados principalmente para abastecer o mercado da construção civil. A Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente - ABIMCI (2007), descreve que os compensados utilizados na construção civil possuem duas aplicações principais: o uso estrutural e não estrutural. O primeiro, é destinado à construção, sendo parte integral da obra final. O de uso não estrutural é aplicado apenas em construções temporárias como uso em formas de concreto, tapumes e andaimes.

Um dos principais fatores que influenciam na qualidade e aplicação final do material compensado é a colagem. Segundo Iwakiri (2005) e seus colaboradores, as colas utilizadas em compensados são constituídas basicamente de quatro ingredientes principais: um adesivo, que possibilita a união dos materiais, neste caso, as lâminas de madeira; um catalizador, que atua de forma a controlar o tempo da reação química da mistura dos ingredientes, possibilitando que haja tempo hábil para

união entre os materiais antes da cura do adesivo; água, tem a função de homogeneizar os ingredientes; e um extensor, que é um material com alguma ação adesiva, adicionado com a finalidade de reduzir os custos do adesivo, controlar a viscosidade para melhorar a aplicação e prolongar a vida útil do adesivo.

As farinhas de trigo, soja, milho, batata, linhaça, centeio, mandioca, sorgo e farinhas de sangue animal coagulado, entre outros, podem ser utilizadas como extensores, obtendo-se diferentes resultados, dependendo da aplicação (MOREIRA, 1985). Embora os extensores a base de farinha de trigo sejam os mais utilizados, segundo estudos realizados por Iwakiri et al. (2000), estes possuem limitações pois apresentam alta absorção de água e baixa resistência a umidade e ataque de microrganismos. Junto a isso, o consumo de trigo como alimento e o aumento crescente dos preços no decorrer dos anos, faz necessária a procura por novos extensores.

Devido aos fatores anteriormente apresentados, bem como a importância econômica do setor madeireiro para o país, neste trabalho buscou-se analisar a influência e a viabilidade da utilização de serragem como extensor alternativo, em substituição parcial da farinha de trigo, para produção de colas utilizadas em compensados.

1.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a influência da adição parcial da serragem como material extensor em colas para madeira compensada.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Confeccionar corpos de provas com serragem como material extensor, em diferentes proporções;
- Realizar ensaios de resistência de colagem a seco e a úmido;
- Comparar os resultados obtidos entre os corpos de prova desenvolvidos e os convencionais.

1.3 JUSTIFICATIVA

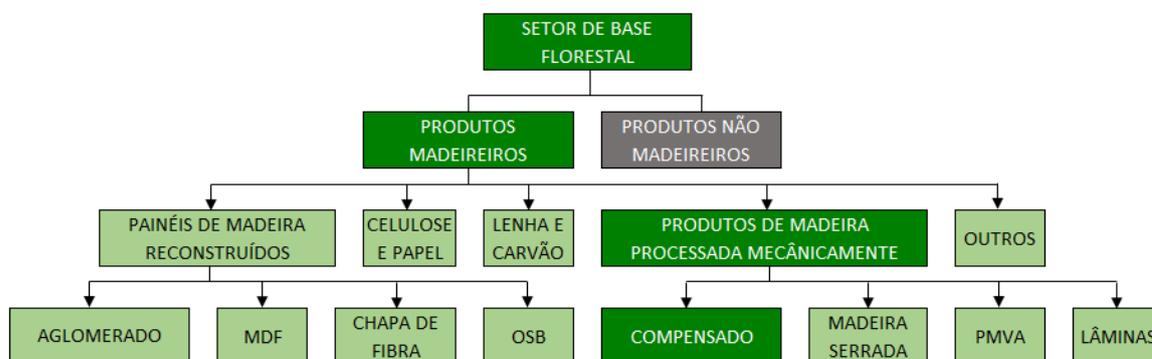
Atualmente, o material extensor mais utilizado na fabricação de colas pela indústria de compensados é o trigo. No entanto, assim como outros extensores farináceos, o trigo utilizado no compensado apresenta desvantagens quanto a elevada taxa de absorção de água e a elevada susceptibilidade ao ataque de microrganismos. O trigo ainda possui outras finalidades, sendo utilizado para o consumo humano, na fabricação de rações e em uma infinidade de produtos destinados a nutrição. Por ser oriundo de países frios, o plantio de trigo não se adaptou tão bem ao Brasil, ficando limitado, principalmente, aos estados do sul. Desta forma, a produção nacional não atende à demanda interna. Segundo dados da Abitrigo - Associação Brasileira das Indústrias do Trigo, no ano de 2018 foram importados um total de 355.378,61 toneladas de farinha de trigo a um preço médio de 334,21 dólares por tonelada para abastecer o mercado interno. O desenvolvimento de novos extensores, que reduzam ou substituam o uso de farinha de trigo, para atender a demanda da indústria de compensados aumentaria a disponibilidade do trigo destinado a nutrição, bem como reduziria os gastos de fabricação, por não depender mais das importações, produzindo um produto com menor custo. Dentre os problemas que estão associados à serragem está a necessidade de grandes volumes para armazenagem e o fato de possuírem alta combustibilidade. Além disso, o desenvolvimento deste estudo permitiu que a serragem, que normalmente é descartada por incineração nas caldeiras da própria empresa, passe a possuir maior valor agregado, transformando um resíduo em matéria-prima.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PAINEL COMPENSADO

Na Figura 1 é mostrado um fluxograma da divisão do setor de base florestal do Brasil, o qual é representado pela Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente - ABIMCI. Dentre os produtos madeireiros encontram-se os painéis reconstruídos de madeira, papel e celulose, lenha e carvão, aqueles processados mecanicamente e outros.

Figura 1 – Divisão do Setor de Base Florestal



Fonte: Adaptado de ABIMCI (2007)

O painel compensado, ou simplesmente compensado, objeto de estudo deste trabalho, fazem parte dos produtos processados mecanicamente, conforme destacado na Figura 1 em cor verde escura. O compensado é formado a partir de um número ímpar de lâminas de madeira sobrepostas, com direção das fibras perpendiculares umas às outras, unidas por meio de uma resina adesiva e ação de uma força de compressão (KOLLMANN et al., 1975; ROWELL, 2005; IWAKIRI et al., 2000).

De acordo com Albuquerque (1996) os primeiros painéis de madeira compensada que se tem notícia são datados de 3000 a.C. no antigo Egito. Estes painéis eram produzidos a partir de madeiras nobres, como cedro, marfim e ébano, usadas na fabricação de móveis e peças luxuosas.

A fabricação e comercialização de compensado em escala industrial iniciou-se nos Estados Unidos da América, a partir do século XX (IWAKIRI et al., 2000).

Segundo Baldwin (1981) o processo de desenvolvimento e criação de tecnologias que culmina na atual forma de fabricação deste produto pode ser dividido em três períodos:

- Período de 1905 – 1935, marcado pela criação e desenvolvimento de tecnologias empregadas na fabricação de compensados;
- Período de 1936 – 1955, caracterizado pela solidificação da indústria de compensados, além do desenvolvimento das tecnologias empregadas na fabricação deste produto, como resinas sintéticas e sistemas de prensagem;
- Período de 1956 – 1980, fase onde ocorreu a inovação tecnológica, com aprimoramento de materiais e sistemas de prensagem e secagem, possibilitando a viabilidade de produção em larga escala, bem como melhorar a qualidade e acabamento dos produtos.

A aplicação dos compensados abrange uma ampla gama de setores que vai da produção moveleira à aplicação na fabricação de embalagens e construção civil. A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, apresenta normas que especificam as dimensões, tolerâncias e condições a serem seguidas para classificar as chapas de compensado.

A NBR ISO 2426 especifica a natureza e traz os limites das características inerentes a madeira e defeitos de fabricação, o que possibilita a classificação dos mesmo a partir da aparência (ABNT, 2015). Além disso, o Banco Nacional do Desenvolvimento - BNDES (2008), descreve que os compensados abrangem os seguintes tipos:

- Multilaminado: constituídos por lâminas de madeira em um número ímpar, sobrepostas e unidas por ação de um adesivo;
- Sarrafeado ou *blockboard*: tem seu interior constituído por ripas e as capas, partes exteriores, são de lâminas de madeira;
- *Three-ply* ou compensado de madeira maciça: composto por três camadas perpendiculares de sarrafos colados lateralmente.

De acordo com Pedrazzi (2006), no Brasil as espécies de *Eucalyptus spp* e *Pinus spp* são as mais utilizadas na indústria madeireira devido ao rápido crescimento das espécies e pela disponibilidade de grandes áreas plantadas.

2.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO COMPENSADO

O processo para a fabricação do painel compensado é apresentado por Oliveira e Freitas (1995) e Iwakiri et al. (2000), tomados como base para a descrição apresentada a seguir.

1. Preparo da tora

O preparo das toras deve ser feito antes do processo de laminação das toras devido a algumas vantagens como a obtenção de lâminas mais lisas e uniformes, além de uma melhor maleabilidade da lâmina. Para isso é necessária a realização das etapas a seguir.

- Remoção da casca

As cascas da tora devem ser removidas devido a sua característica de isolante térmico, que interfere no aquecimento, tornando o processo mais demorado e caro. Dentre alguns métodos mais empregados para esta etapa estão o uso de ferramentas manuais como machado, aplicação de jatos sob pressão, sistema de tambor rotativo, descascador em anel e descascador tipo cabeça atritante (IWAKIRI et al., 2000).

A facilidade de remoção das cascas é influenciada pela época do ano e pelas características próprias de cada espécie de árvore. Estações mais úmidas e frias resultam num esforço maior durante a remoção.

- Conversão em toras

As toras apresentando grande comprimento são divididas em toras menores, de acordo com as dimensões de largura desejadas nas lâminas. Equipamentos como serra fita, serra circular e sistema de motosserra para seccionamento, são utilizados nesta etapa.

- Aquecimento das toras

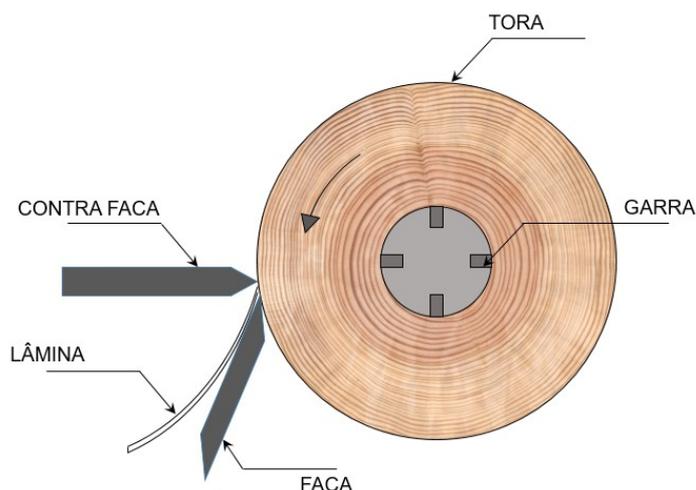
É realizado em tanques de submersão com água quente ou vapor. É necessário para que as toras se tornem amolecidas e de maior plasticidade, resultando em lâminas mais lisas e menos quebradiças (OLIVEIRA e FREITAS, 1995).

2. Obtenção das lâminas

Segundo Novaes (2011), a laminação é uma operação que consiste em obter um tapete contínuo de madeira, chamado laminado. As duas formas comumente usadas para se obter lâminas são os processos através de torno laminador ou faqueadeira. Este é utilizado exclusivamente para obtenção de lâminas decorativas.

Já no primeiro, e mais usual, a tora é fixada pelas extremidades e rotacionada contra o gume de uma faca que avança automaticamente. Neste processo a lâmina emerge entre a faca e a contra faca, como mostra a Figura 2. Após o processo de obtenção das lâminas, estas seguem por uma esteira para uma guilhotina para serem cortadas e terem suas dimensões estabelecidas.

Figura 2 – Obtenção da lâmina



Fonte: Adaptado de OLIVEIRA e FREITAS (1995)

3. Secagem das lâminas

De acordo com Oliveira e Freitas (1995), a secagem das lâminas é feita com o objetivo de reduzir o teor de umidade afim de se obter lâminas planas e flexíveis. Segundo Iwakiri (2005) entre os métodos e equipamentos empregados neste processo estão a secagem natural, secador de câmara convencional, secador de prensa, secador progressivo de placas, secador contínuo de rolos, secador contínuo de esteiras e secador a jato.

4. Junção das lâminas e colagem das bordas

A junção das lâminas é feita de modo que as mais estreitas e com maior quantidade de defeitos, como nós e furos, sejam colocadas na parte interna do compensado (OLIVEIRA E FREITAS, 1995). Estes defeitos devem ser retirados e em seu lugar deve ser feito o preenchimento com o mesmo material, de modo a evitar que a resistência do painel diminua pela falta de preenchimento. Já a capa, ou seja, a parte externa e visível do compensado, deve ser de uma única lâmina, para conferir melhor estética ao produto (IWAKIRI et al., 2000).

De acordo com Iwakiri (2005) e seus colaboradores, a junção das lâminas pode ser feita por fios de nylon, através da colagem superficial com fita adesiva ou ainda a aplicação lateral de adesivos.

5. Aplicação do adesivo

A aplicação do adesivo para colagem das lâminas pode ser feita com uso de jatos *spray*, com o auxílio de aplicadores de rolos, cortina ou extrusão (IWAKIRI et al., 2000). É importante que se faça o controle da quantidade de adesivo depositado na lâmina, a fim de se obter a melhor qualidade de colagem com o menor gasto de material. Este controle da quantidade de adesivo aplicado por 1m² (gramatura) deve ser feito através das aberturas e velocidade de alimentação da lâmina (OLIVEIRA e FREITAS, 1995).

6. Prensagem do compensado

A prensagem do compensado pode ser feita em duas etapas, com uma pré-prensagem a frio e, posteriormente, a prensagem a quente. A pré-prensagem é adotada pois aumenta a qualidade da colagem, além de reduzir os defeitos de fabricação e aumentar a produtividade (IWAKIRI et al., 2000).

A prensagem a quente é comumente feita em prensas de 20 a 30 aberturas, com aquecimento elétrico ou a vapor, podendo ser de carregamento manual ou automático (IWAKIRI et al., 2000). Neste tipo de prensagem as variáveis pressão, temperatura das chapas e tempo devem ser controladas.

O parâmetro utilizado para cada variável tem como base a escolha do adesivo aplicado na colagem e o tipo de madeira utilizada. Segundo Oliveira e Freitas (1995), o tempo de prensagem depende da temperatura das placas da prensa, que deve variar entre 100 e 160 °C, e o adesivo utilizado.

A pressão aplicada tem por finalidade assegurar o contato adequado e a transferência do adesivo entre as lâminas, reduzindo os espaços vazios na madeira e melhorando a difusão do calor entre a superfície e o centro do painel (OLIVEIRA e FREITAS, 1995). De acordo com Iwakiri et al. (2000) a alta pressão é aplicada em painéis onde a densidade da madeira é alta, a superfície da lâmina é áspera e a gramatura de cola é baixa. Já a baixa pressão é utilizada quando as características são inversas, ou seja, densidade baixa, superfície lisa e gramatura alta.

Segundo Oliveira e Freitas (1995), a temperatura de prensagem varia de acordo com a resina utilizada, o teor de umidade da lâmina e a taxa de transferência de calor através da madeira.

O tempo de prensagem é definido levando em consideração a temperatura inicial da prensa, e o tempo necessário para que a lâmina mais interna atinja a temperatura necessária para a resina curar (IWAKIRI et al., 2000).

2.3 ADESIVOS

Os adesivos são classificados em vários tipos. Segundo Jesus (2000), de acordo com sua composição química podem ser orgânicos ou inorgânicos. Ainda segundo Jesus (2000) dentre os adesivos inorgânicos, os mais comuns são a base de silicato, onde as ligações ocorrem pela desidratação do solvente dos adesivos, resultando em uma elevada resistência mecânica.

Já os adesivos orgânicos são divididos em sintéticos e naturais. Segundo Campos (2004) os adesivos orgânicos sintéticos são os mais empregados na indústria madeireira devido à sua grande resistência à água e ao ataque de microrganismos. De acordo com Iwakiri et al. (2000) os adesivos sintéticos podem ainda ser divididos em adesivos termoplásticos e adesivos termofixos.

A principal característica dos adesivos termoplásticos é a cura reversível. Quando submetidos ao aumento de temperatura tornam a amolecer, voltando a solidificar ao serem resfriados (NETO, 2011). Derivados da celulose, acetato de polivinila, álcool de polivinila, EVA, acrílicos, polietileno, polipropileno e poliamidas são exemplos deste tipo de adesivo (PINTO, 2007).

Diferente dos termoplásticos, os adesivos termofixos tem comportamento irreversível quando submetidos ao aquecimento (FORLIN, 2002). São resistentes a umidade e ao calor e os mais utilizados são de fenol-formaldeído, resorcinol-formaldeído, melamina-formaldeído, tanino-formaldeído, licor sulfito, isocianato, elastoméricas e ureia-formaldeído (PINTO, 2007; JESUS, 2000).

A resina fenol-formaldeído foi a primeira resina sintética a ser aplicada comercialmente como adesivo de madeira (IWAKIRI et al., 2000). Esta resina necessita de temperaturas de cura na faixa de 130 a 160°C e sua comercialização é feita em filmes secos, reconstituídos pela ação da água (JESUS, 2000). É altamente

resistente, podendo ser submetida a longos períodos de exposição a água, tanto fria quanto quente, variações de temperatura e umidade, ataque de microrganismos, sendo assim, é indicada para aplicações de uso exterior (KOLLMANN et al., 1975). Por possuir matéria prima derivada do petróleo, um dos pontos negativos desta resina é o custo, que, em média, é 2,5 vezes maior se comparado a resina ureia-formaldeído (IWAKIRI et al., 2000). Se as etapas de fabricação do material forem executadas obedecendo-se os procedimentos de colagem e endurecimento, as colas fabricadas com adesivo fenólico terão longa duração, podendo resistir mais tempo que a própria madeira (JESUS, 2000). Segundo Iwakiri et al. (2000) a resina fenol-formaldeído apresenta coloração marrom avermelhado, pH entre 11 e 13, e pode ser armazenada de 4 a 5 meses, numa temperatura média de 20°C, sem perder suas características.

O resorcinol-formaldeído possui as mesmas características que as colas fenólicas, exceto pelo fato de que o tempo de cura deste é menor, devido a presença do resorcinol (JESUS, 2000). Este tipo de adesivo é empregado em colagens em temperaturas ambientes ou levemente aquecidas, como na produção de vigas laminadas, construções navais e aviões (IWAKIRI et al., 2000). Ainda segundo Iwakiri (2000), por possuir custo elevado, geralmente é utilizada em proporções iguais com fenol. De acordo com Oliveira e Freitas (1995), também é utilizado um agente endurecedor na mistura, que só deve ser adicionado momentos antes da utilização, pois, após a mistura, o adesivo torna-se altamente reativo, com vida útil reduzida. De acordo com Santos e Del Menezzi (2010) a resina resorcinol-formaldeído apresenta coloração marrom, viscosidade entre 500 e 800 cP e vida útil média de um ano, desde que o armazenamento seja feito em temperatura máxima de 25 °C.

A resina melamina-formaldeído apresenta coloração branca leitosa, com cura a quente singular a ureia-formaldeído, entre 80 e 160 °C e é normalmente empregada na produção de painéis de uso estrutural (BARROS FILHO, 2009). Ainda de acordo com Barros Filho (2009), devido ao processo de produção este tipo de resina possui custo elevado se comparado as resinas ureia-formaldeído e fenol-formaldeído. Possui alta resistência a umidade e o processo de cura é relativamente rápido (IWAKIRI et al., 2000). A comercialização é normalmente feita com a resina em forma de pó, devido a vida útil da mesma ser reduzida quando em soluções aquosas (BARROS FILHO, 2009). Por possuir características adequadas e desejáveis, mas um custo elevado, a resina melamina-formaldeído é normalmente utilizada na mistura de outras resinas

como o formol-formaldeído e ureia-formaldeído, a fim de fortalecer as mesmas e reduzir os custos (PAIVA, 2010). Uma das características que diferem esta resina das outras é a possibilidade de dispensa do uso de catalizador nos processos onde a temperatura é superior a 130 °C (IWAKIRI, 2005).

O tanino-formaldeído é uma resina de origem vegetal que surgiu na década de 60 com o objetivo de diminuir a dependência das resinas a base de derivados do petróleo (IWAKIRI, 2005). Os taninos, ou polifenóis, são obtidos da casca ou da madeira de algumas espécies florestais, sendo a mais comum delas a *A. mearnsii* (PAIVA, 2010). Segundo Hillig et al. (2002), os adesivos a base desta resina apresentam boa resistência a água, além de serem mais baratos que os adesivos a base de formol e fenol.

O adesivo ureia-formaldeído possui, dentre suas vantagens, baixo custo, alta velocidade de cura, resistência à chama e pouco desenvolvimento de cor (IWAKIRI et al., 2000). Lessmann (2008) cita que em 1887 Goldschmidt lançou a primeira patente de resina ureia-formaldeído, tendo sua comercialização iniciada na década de 20 na Áustria, Alemanha e EUA, com produção liderada pela IG Farben Industrie. No entanto, foi na Segunda Guerra Mundial, devido à escassez de madeira na Alemanha, que surgiram os primeiros painéis de madeira fabricados com resina ureia-formaldeído, pois até então a resina era utilizada na fabricação de peças por moldagem. De acordo com Iwakiri et al. (2000) este adesivo é o mais utilizado na indústria de painéis de madeira. No entanto, possui sério inconveniente em relação a exalação de vapor de formaldeído da placa, que se torna um problema em países onde o controle ambiental é rigoroso (DIAS e LAHR, 2005). O adesivo ureia-formaldeído é classificado como resistente a umidade, mas perde a resistência de forma permanente se exposto a condições de umidade prolongada (OLIVEIRA e FREITAS, 1995). Iwakiri et al. (2000) menciona a baixa resistência desta resina em temperaturas altas, entrando em degradação na faixa de 40 °C, desta forma, é classificada como de uso interior. Esta resina apresenta pH entre 7 e 8, com coloração branco leitoso e teor de sólidos por volta de 65 % (DIAS e LAHR, 2005). É mais comumente encontrada na forma líquida, com validade estimada de 3 meses. É possível encontrar a resina ureia-formaldeído na forma de pó, onde o prazo de validade é estipulado em um ano (IWAKIRI et al., 2000).

2.4 EXTENSORES

De acordo com Moreira (1985) os extensores são adicionados aos adesivos com o objetivo de reduzir os custos e melhorar o manuseio do mesmo, aumentando sua viscosidade e facilitando a colagem. Geralmente são substâncias com alguma propriedade adesiva a base de amido e proteína (IWAKIRI et al., 2000). Moreira (1985), sugere que as farinhas de trigo, soja, milho, batatas, linhaça, centeio, mandioca, sorgo e farinhas de sangue animal coagulado, entre outras, podem ser utilizadas como extensores, obtendo diferentes resultados dependendo da aplicação.

No Brasil, o extensor mais utilizado pelas indústrias é a farinha de trigo, embora estudos realizados por Iwakiri et al. (2000) demonstrem limitações deste extensor em relação a absorção de água e resistência ao ataque de microrganismos. De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2003), outra desvantagem na utilização deste extensor é o fato da farinha de trigo (*Triticum* sp.) ser também utilizada na indústria de alimentos que, aliado a baixa produção nacional, resultam em dependência externa para atender a demanda.

De acordo com Iwakiri et al. (2000) o material utilizado como extensor deve atender os seguintes critérios:

- Possuir partículas finas, de modo a facilitar a aplicação do adesivo;
- Ser de fácil dispersão na resina, a fim de formar uma mistura uniforme;
- Evitar que o adesivo chegue à superfície da lâmina;
- Possuir pH neutro, para não interferir na cura da resina;
- Possuir poucos materiais abrasivos a fim de reduzir o desgaste das ferramentas de corte.

A literatura apresenta alguns trabalhos que estudaram outros tipos de extensores em substituição à farinha de trigo. Ribeiro et al. (2008) realizou estudos comparativos com relação a viabilidade do uso das farinhas de babaçu, mandioca e aveia, em substituição à farinha de trigo e observou que a farinha de babaçu era que possuía melhores resultados de resistência na linha de cola e ao cisalhamento. Da Silva Ferreira et al. (2009) realizou estudos sobre a viabilidade da aplicação da farinha de babaçu como extensor alternativo para a produção de painéis compensados e observou resultados semelhantes ou superiores de resistência no uso do extensor alternativo em substituição à farinha de trigo. Já Iwakiri et al (2000) utilizou as farinhas

de soja, arroz, milho, aveia e mandioca como substitutos à farinha de trigo, obtendo melhores resultados de resistência na utilização das farinhas de arroz e aveia como substitutos viáveis.

Até a finalização da pesquisa bibliográfica realizada para esta pesquisa não foram encontrados trabalhos na literatura utilizando a serragem gerada no próprio processo de fabricação das lâminas como extensor.

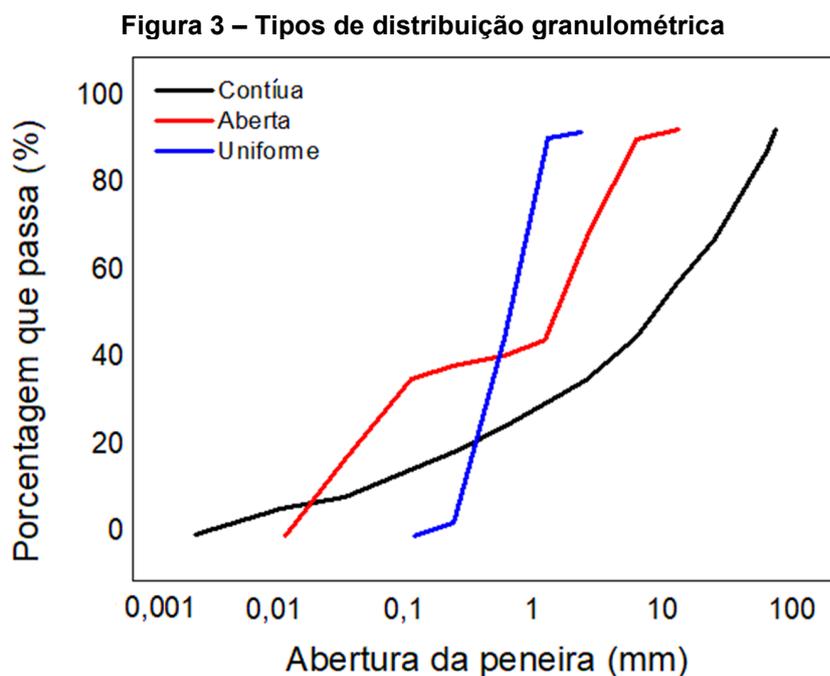
2.5 SERRAGEM

No setor madeireiro, a grande quantidade de pó de lixa e serragem causam problemas pois, devido à baixa densidade, são necessários grandes volumes para armazenagem, além de possuírem alta combustibilidade (YAMAJI e BONDUELLE, 2004). Pedrazzi et al. (2006) descreve que as serrarias são as principais produtoras de serragem no Brasil. Estudos realizados por Polzl (2002), mostraram que a geração de resíduo na fabricação do compensado varia de 15 a 12,55 % dependendo do tamanho da empresa, dos quais parte é de serragem, cascas de troncos e pó de lixa.

2.5.1 Caracterização Da Serragem

Dentre os parâmetros mais importantes de serem caracterizados em relação a serragem pode-se destacar a distribuição do tamanho de suas partículas, o seu formato, estado de agregação e umidade.

Segundo Caputo (1998), a análise granulométrica é a determinação das dimensões de partículas e a relação da proporção em que se encontram e uma curva granulométrica é a representação gráfica destes dados. Esta curva pode ser utilizada para se obter o tipo de distribuição das partículas da mesma que pode ser do tipo contínua, aberta ou uniforme. Na Figura 3 pode-se observar cada tipo de curva e sua relação com o tipo de distribuição.



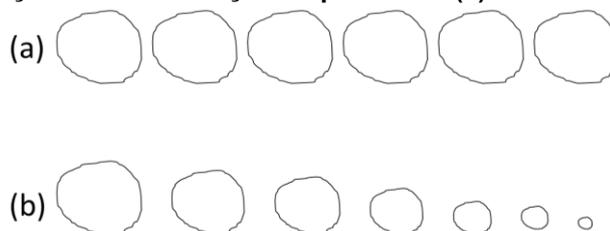
Fonte: Adaptado de MACHADO (2002)

Nos gráficos de distribuição granulométrica, no eixo das abcissas está representada a abertura da malha da peneira na qual as partículas são retidas e no eixo das ordenadas a quantidade percentual do material retido.

Além da distribuição, o formato das partículas pode ser analisado utilizando a técnica de microscopia. O microscópio amplia a imagem de um objeto e o ilumina com luz visível ou ultravioleta (DEDAVID, GOMES, MACHADO, 2007). Quando o microscópio está acoplado a um sistema de aquisição de imagens é possível efetuar a medição do tamanho das partículas, mesmo que estas sejam desuniformes.

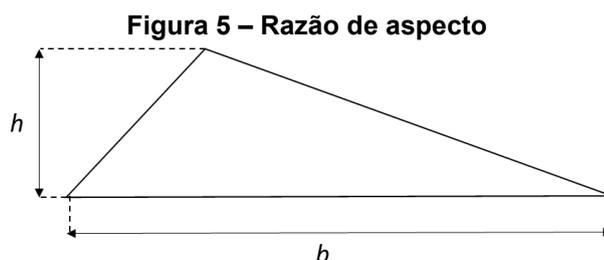
De acordo com a distribuição das partículas e a análise da curva granulométrica, é possível classificar as mesmas conforme sua distribuição, podendo ser de maneira uniforme (Figura 4(a)) ou não uniforme (Figura 4 (b)). Partículas desuniformes apresentam diferenças no tamanho de grão, já as partículas uniformes possuem tamanhos de grão similares entre si. As partículas desuniformes apresentam maior empacotamento dos grãos na amostra, deixando assim menor quantidade de espaços vazios entre uma partícula e outra.

Figura 4 – Diferença entre distribuição de partículas (a) uniforme e (b) não uniforme



Fonte: Adaptado de MACHADO (2002)

Embora a Figura 4 represente partículas de formato arredondado, é comum que as partículas de serragem apresentem formato variado. Alguns polímeros fibrosos e a madeira que também possui fibras, resultam em formatos irregulares e elevada razão de aspecto. De acordo com Cleto (2016) e como mostra a Figura 5, a razão de aspecto é a relação entre comprimento (b) e largura (h) de determinada partícula.



Fonte: Adaptado de CLETO (2016)

Quanto ao estado de agregação de partículas, quanto menor a granulometria maior a energia estática das partículas, o que faz com que ocorra sua aglomeração. A microscopia óptica é uma técnica capaz de revelar se está ocorrendo aglomeração em uma determinada amostra.

Para de determinar o teor de umidade da serragem é possível realizar a aferição de sua massa antes e depois de se realizar secagem em estufa, de acordo com a equação (1).

$$umidade \% = \frac{Massa\ inicial - Massa\ final}{Massa\ inicial} \cdot 100 \quad (1)$$

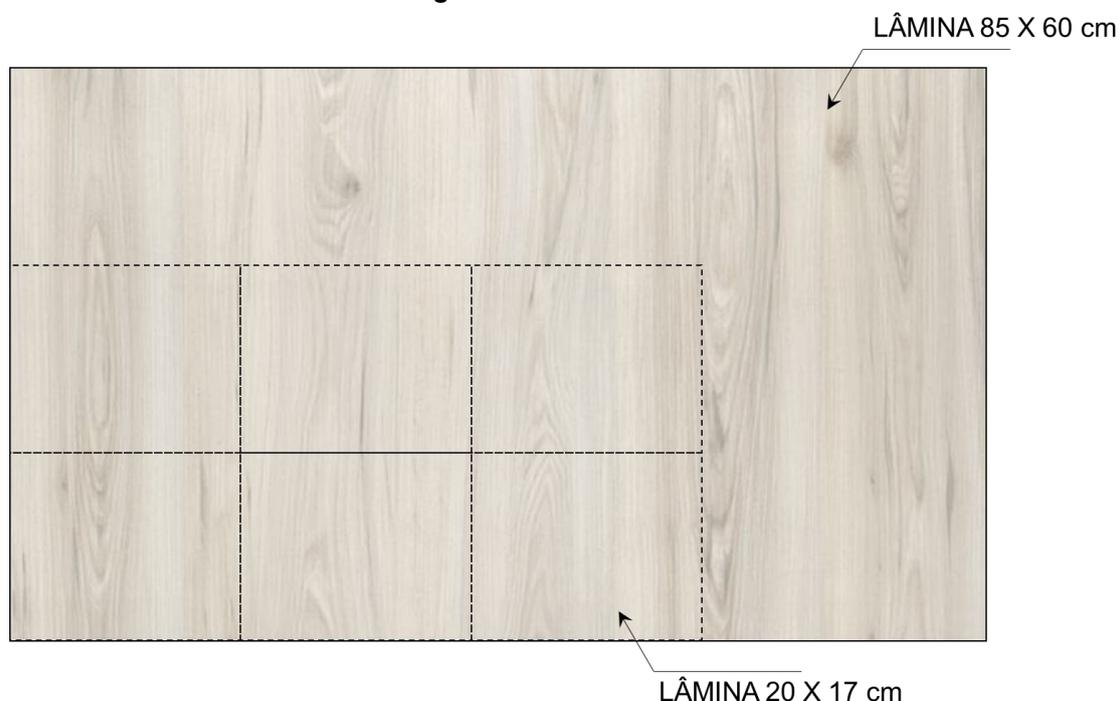
É importante destacar que cuidados na secagem devem ser tomados para evitar a combustão do material, degradação das amostras ou carbonização.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 PREPARAÇÃO DAS LÂMINAS

Para a confecção dos painéis compensados foram utilizadas lâminas de madeira da espécie *Pinus spp* obtidas através de desenrolamento em torno laminador. A empresa Porterit (Guarapuava-PR), forneceu 16 lâminas de compensado nas dimensões de 850 x 600 x 2 mm. Utilizando um estilete, as lâminas foram cortadas nas dimensões de 20 x 17 cm, de acordo com a Figura 6.

Figura 6 – Divisão da lâmina



Fonte: Autoria própria

As lâminas que apresentavam defeitos, como nós e outras imperfeições da própria madeira foram descartadas.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA SERRAGEM

A serragem adicionada ao adesivo foi coletada no setor de acabamento da empresa. A fim de verificar o teor de umidade e promover sua secagem homogênea, foram divididas 14 porções de serragem com 8 g cada ($\pm 0,005$), utilizando uma

balança de precisão, modelo KN 320/3 da marca KW WAAGEN. A secagem foi realizada em estufa, modelo RA-80 da marca RONI ALZI, em temperatura de 100 °C (± 1), por três horas. Para evitar degradação do material, bem como promover agitação nos recipientes para que a secagem ocorresse de forma mais uniforme, a cada 15 minutos as amostras foram remexidas com o auxílio de um bastão de vidro. Depois do tempo de secagem, a massa das amostras foi novamente verificada para realizar o cálculo do teor de umidade, conforme a Equação 1.

A granulometria da serragem, após a secagem, foi determinada com o auxílio de um agitador de peneiras da marca ABRONZINOX, de acordo com a norma NBR ISO 7217. Inicialmente, a serragem foi separada em tamanhos i) maiores do que 1700 μm ; ii) entre 1700 e 1180 μm ; iii) entre 1180 e 600 μm e iv) menores que 600 μm , utilizando as peneiras 1700, 1180 e 600 μm .

Após seca, a serragem passou pelo processo de moagem em moinho de bolas, utilizando 234 esferas de alumina com diâmetro de 10 mm e 13 esferas de diâmetro de 20 mm, por um período de 4 horas. As amostras foram peneiradas, de acordo com a norma NBR ISO 7217, com as peneiras de malha 850, 600, 425, 300 e 212 μm , sendo que sua massa foi aferida antes e depois da moagem.

Para verificar as dimensões reais das amostras separadas pelo processo de peneiramento, as amostras foram observadas em microscópio óptico, marca OLYMPUS, modelo BX51, com câmera digital OLYMPUS, modelo UC30, acoplada a um microcomputador para aquisição e tratamento de imagens.

3.3 FORMULAÇÃO DAS RECEITAS

O adesivo utilizado na produção das formulações foi preparado seguindo a proporção de 38 partes de resina (UF) para 31 de água e 31 de extensor, com o catalizador já presente na resina. Optou-se por esta formulação pois é a utilizada na empresa Porterit, fabricante de painéis compensados que apoiou o desenvolvimento do trabalho. O extensor foi alterado, mantendo-se a proporção em relação a resina e a água, sendo parcialmente substituído por serragem, ou seja, foi a única variável no preparo do adesivo, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Formulação das proporções de serragem

Formulação	Proporção (g)			Serragem	Serragem (%)
	Resina	Água	Trigo		
F 0	38	31	31	0	0
F 5	38	31	29,45	1,55	5
F 15	38	31	26,35	4,65	15
F 25	38	31	23,25	7,75	25
F 50	38	31	15,5	15,5	50

Fonte: Autoria própria

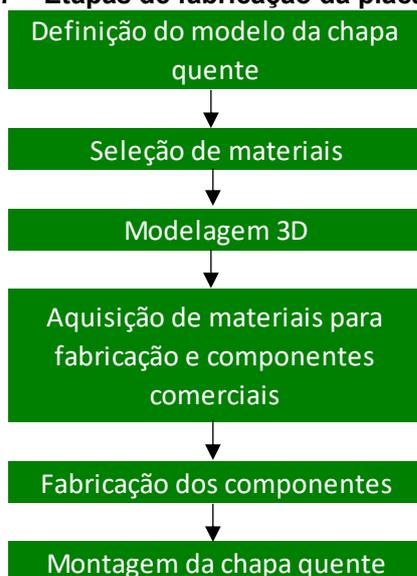
Após a preparação da serragem, com o auxílio de uma balança de precisão a quantidade de cada ingrediente necessária por formulação foi pesada e separada. Utilizando um bastão de vidro os ingredientes foram devidamente homogeneizados até não haver mais presença de grumos de trigo e adesivo.

3.4 APLICAÇÃO DO ADESIVO

A aplicação do adesivo consistiu em depositar controladamente 6,12 g de cada formulação nas lâminas internas do compensado para se obter 180 g/m² de gramatura por lâmina. Isso foi feito posicionando-se a lâmina sob a balança no momento da deposição. Com o auxílio de uma espátula metálica, o adesivo foi espalhado de maneira uniforme pelas lâminas. As lâminas foram sobrepostas de modo que a lâmina anterior e a próxima possuíssem a direção da fibra perpendicular à lâmina do centro.

3.5 DESENVOLVIMENTO DA CHAPA QUENTE

A resina ureia-formaldeído é comercialmente curada na faixa de 100 a 120 °C. Para produção dos compensados em laboratório foi necessária a fabricação de duas chapas quentes para se atingir esta temperatura na parte inferior e superior do painel de compensado. Na Figura 7 é mostrado o fluxograma do processo de fabricação da chapa quente.

Figura 7 – Etapas de fabricação da placa quente

Fonte: Autoria própria

O modelo da chapa quente para a fabricação foi definido a partir da utilização de resistência elétrica de ferro de passar roupas para gerar o aquecimento, uma vez que apresenta baixo custo e possui sistema elétrico embutido.

A seleção de materiais foi realizada conforme critérios de disponibilidade para aquisição no mercado local, baixo custo e facilidade de montagem. Para a montagem das duas chapas quente foram utilizados os seguintes materiais: uma resistência elétrica de ferro de passar, com cabo e conector, com potência de 1300 W; duas chapas de aço AISI 1020 com 2 mm de espessura; quatro apoios de aço ASTM 1020 nas extremidades e mais um apoio central, fixado com um parafuso. Este modelo de chapa foi confeccionado de modo a utilizar os apoios laterais e central para evitar o esmagamento da resistência elétrica durante o processo de compressão. As chapas superior e inferior aquecidas realizaram a compressão do compensado de maneira uniforme para a cura do adesivo. Após a seleção de materiais foi realizada a modelagem da chapa quente com o software Inventor da Autodesk®.

3.5.1 Processo de usinagem

Nesta etapa do processo de fabricação dos componentes os apoios foram usinados com torno NARDINI, modelo MS 205. Para isso, um tarugo de perfil circular de aço AISI 1020, com diâmetro de 1" foi fixado na placa do torno. Utilizou-se rotação

de 375 rpm para desbaste e 1000 rpm para o passe de acabamento, com profundidade de corte de 1 e 0,5 mm, respectivamente, para desbaste e acabamento. Os apoios laterais foram usinados com as dimensões de 24 mm de comprimento e 15 mm de diâmetro, e o apoio central com 19 mm de comprimento e diâmetro de 15 mm.

Para a fixação do apoio central com o parafuso e da capa de proteção de zinco, foi necessário o processo de furação e fabricação de rosca nos apoios. O processo de furação foi realizado utilizando a furadeira de coluna DIPLOMAT, modelo 3001, com broca 5 mm e morsa para a fixação das peças. Para a fabricação da rosca, foi utilizado um macho de 6 mm e um vira macho. Para ambos os processos, foi utilizado fluido para lubrificação.

Afim de deixar a chapa mais compacta, as pontas dos ferros de passar foram cortadas utilizando esmerilhadeira angular DWT, modelo WS24-180T e disco de corte Ouro Tech 178 x 1,6 x 22,2 mm para aço.

3.5.2 Processo de soldagem

Os quatro apoios laterais foram soldados à placa utilizando soldagem por arco elétrico MIG (*Metal Inert Gas*), com equipamento da marca SUMIG, modelo TIGER 255, utilizando arame de aço carbono ESAB 1 mm 70S6.

3.5.3 Processo de corte e dobramento

Para maior segurança na operação da chapa quente foi confeccionada uma proteção que reveste o equipamento e que foi produzida com uma chapa de zinco de 0,5 mm, cortada utilizando a guilhotina Clark Machine, modelo IG3065A, e dobradas manualmente de modo a revestir toda a placa quente.

3.5.4 Montagem elétrica

Para o funcionamento das resistências e aquecimento da chapa quente, foi necessário efetuar a ligação de um cabo de alimentação elétrica em cada resistência. Para isso, os cabos foram desencapados, enrolados nas conexões e fixados com o auxílio de um ferro de solda Western PRO, modelo G12 e arame de estanho. Foi

instalado um plug nas extremidades de cada cabo para conexão à rede elétrica de 127 V.

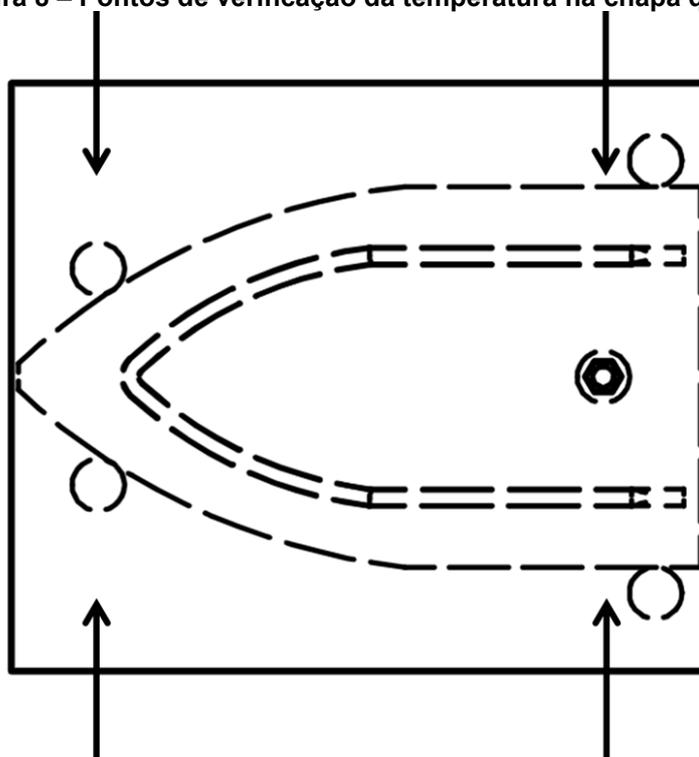
3.6 PRENSAGEM DO COMPENSADO

Para dar origem ao painel compensado, as lâminas com os adesivos aplicados em cada formulação foram submetidas à prensagem a quente com pressão de 180 Kgf/cm² (± 4), durante 9 minutos à temperatura de 100 (+20) °C.

Para controlar a pressão aplicada foi utilizada a função de compressão da máquina universal de ensaios da marca EMIC, do laboratório de materiais da UTFPR, Câmpus Guarapuava.

Para controlar a temperatura um termopar acoplado a um multímetro da marca Minipa, modelo ET-2075B foi utilizado para realizar medições de temperatura nos pontos indicados na Figura 8. Imagens da distribuição do calor na chapa quente foram realizadas com câmera térmica modelo HT7, da marca HOTTEC.

Figura 8 – Pontos de verificação da temperatura na chapa quente



Fonte: Autoria própria

3.7 PREPARAÇÃO DE CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova (CP) foram cortados com base nas normas NBR ISO 12466-1, DIN EN 314-1 e DIN EN-314-2, utilizando serra de mesa SkilSaw, modelo 3610, 1600 W e disco de corte para madeira de 2 mm, cedida para uso por Odair José Mariano e serra circular da marca Panyl, modelo 5800NB, adaptada a uma mesa de corte, cedida para uso por Julião Móveis Planejados e Serviços. Para operação da serra as informações e instruções de utilização descritas no manual do fabricante foram seguidas, bem como as recomendações de uso de equipamentos de proteção individual (SKIL, 2019).

3.8 CISALHAMENTO NA LINHA DE COLA

As normas NBR ISO 12466-1, DIN EN 314-1 e DIN EN-314-2 foram adotadas para a realização dos ensaios de cisalhamento na linha de cola à seco e à úmido devido a sua ampla utilização pelos fabricantes nacionais. Cada CP teve suas dimensões aferidas com auxílio de um paquímetro Mitutoyo de resolução 0,05 mm.

O ensaio a seco foi realizado nas amostras em condições ambientes, sem preparos adicionais. Já o ensaio a úmido foi realizado após submersão das amostras por 24 horas em água potável à temperatura ambiente ($20 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$). Para cada formulação foram confeccionadas 6 amostras para ensaio.

O ensaio de cisalhamento na linha de cola foi realizado na máquina universal de ensaios da marca EMIC, conduzido até rompimento total dos corpos de prova. A tensão de cisalhamento τ , em MPa, de cada corpo de prova foi calculada conforme a Equação (2) (ABNT, 2012).

$$\tau = \frac{F}{L.b} \quad (2)$$

onde F (N) é a força ou carga no momento da ruptura do corpo de prova, L é o comprimento da área sujeita ao cisalhamento (mm) e b a largura da área sujeita ao cisalhamento (mm).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA SERRAGEM

A serragem foi caracterizada em relação ao teor de umidade, distribuição granulométrica, formato de partícula, como mostram os tópicos subsequentes.

4.1.1 Teor de umidade

A Figura 9 é uma fotografia que demonstra os béqueres com a serragem, acondicionados no interior da estufa, para a realização das análises de teor de umidade.

Figura 9 – Acondicionamento da serragem na estufa



Fonte: Autoria própria

A Tabela 2 apresenta os dados referentes a massa de cada amostra antes e depois a secagem, bem como os resultados para o teor de umidade calculado.

Tabela 2 – Teor de umidade da serragem como recebida

Amostra	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Diferença (g)	Umidade (%)
1	8,071	6,9	1,171	14,5
2	8,072	6,951	1,121	13,9
3	8,071	6,894	1,177	14,6
4	8,071	6,888	1,183	14,7
5	8,071	6,94	1,131	14,0
6	8,077	6,898	1,179	14,6
7	8,09	6,893	1,197	14,8
8	8,071	7,173	0,898	11,1
9	8,071	7,031	1,04	12,9

Continua.

Cont. Tabela 2

Amostra	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Diferença (g)	Umidade (%)
10	8,075	7,068	1,007	12,5
11	8,08	6,791	1,289	16,0
12	8,075	6,759	1,316	16,3
13	8,071	6,93	1,141	14,1
14	8,07	6,58	1,49	18,5
Desvio padrão	0,01	0,14	0,14	1,75
Média	8,07	6,91	1,17	14,46

Fonte: Autoria própria

Observa-se que a média de umidade para a serragem foi de 14,46%, apresentando um desvio padrão de 1,75. Além disso, o desvio padrão final para cada uma das medidas não variou mais do que 0,14, indicando que a umidade estava homogeneamente distribuída na serragem, embora não houvesse preocupação com o armazenamento na empresa.

Após a formulação dos adesivos a serragem restante foi separada por peneiramento nas granulometrias 600 e 850 μm , armazenada em recipientes fechados e após 180 dias a análise de teor de umidade foi realizada novamente, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Comparação entre teor de umidade na serragem de 600 e 850 μm

Granulometria	Amostra	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Diferença (g)	Umidade (%)
600 μm	1	11	10,595	0,405	3,7
	2	11	10,636	0,364	3,3
	3	14,92	14,32	0,6	4,0
	Desvio padrão	2,26	2,14	0,13	0,36
	Média	12,31	11,85	0,46	3,67
850 μm	1	9,488	9,2	0,288	3,0
	2	9,45	9,14	0,31	3,3
	3	9,527	6,898	2,629	27,6
	Desvio padrão	0,03	0,04	0,02	0,17
	Média	9,47	9,17	0,30	3,16

Os resultados indicam que as amostras de 600 μm retêm 16% mais umidade se comparadas com as amostras com granulometria de 850 μm quando armazenadas pelo mesmo período, nas mesmas condições. No entanto, é possível observar que a diferença entre a massa inicial e final da amostra 3 foge à média dos resultados

encontrados nas outras amostras, sendo que devido a quantidade de processos de transferência entre recipientes e transporte, pode ter havido perda de material. Por este motivo, os resultados para a amostra 3 foram desconsiderados para o cálculo de média e desvio padrão.

4.1.2 Análise Granulométrica E Formato De Partícula

Após a secagem em estufa, 97,97 g de serragem foram separadas por tamanho de partícula, conforme mostra a Figura 10. O material com granulometria superior a 600 μm da totalizou 33,419 g. Separar este material de maior granulometria foi necessário pois o tamanho das partículas maiores que 800 μm não permitiu sua homogeneização no preparo do adesivo. Esse resultado confirma as afirmações de Iwakiri et al. (2000) de que o material utilizado como extensor deve possuir partículas finas, de modo a facilitar a aplicação do adesivo. Utilizou-se então as partículas com tamanho igual e inferior a 600 μm , totalizando 64,552 g. Desta forma, obteve-se um aproveitamento de aproximadamente 67% da serragem coletada na empresa.

Figura 10 – Separação granulométrica das amostras de serragem como recebida



Fonte: Autoria própria

As amostras de serragem menores que 600 μm foram analisadas por microscopia óptica e suas dimensões foram determinadas utilizando o software de captura de imagens, como mostra a Figura 11.

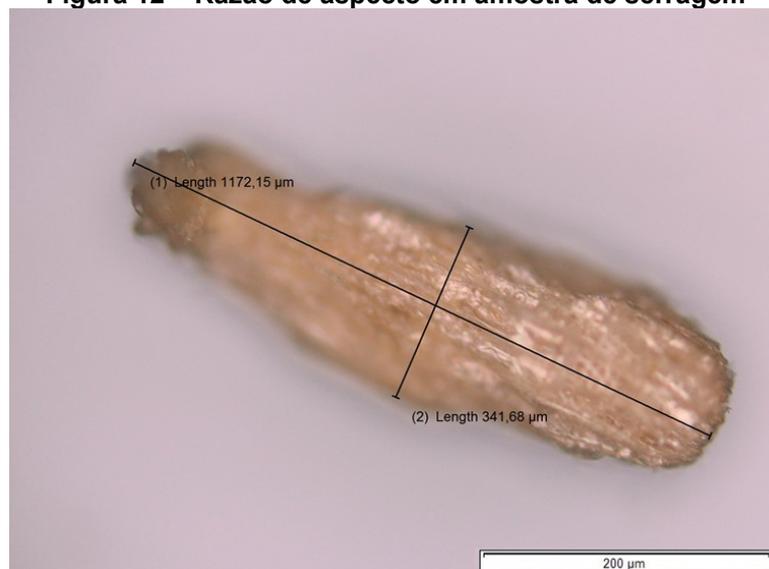
Figura 11 – Microscopia: amostras de serragem com 600 μm



Fonte: Autoria própria

É possível observar que a amostra possui partículas de diferentes tamanhos, formas e razão de aspecto. Na Figura 12 é notada a razão de aspecto de 3,43, que é a relação entre o comprimento e a largura na amostra de serragem.

Figura 12 – Razão de aspecto em amostra de serragem

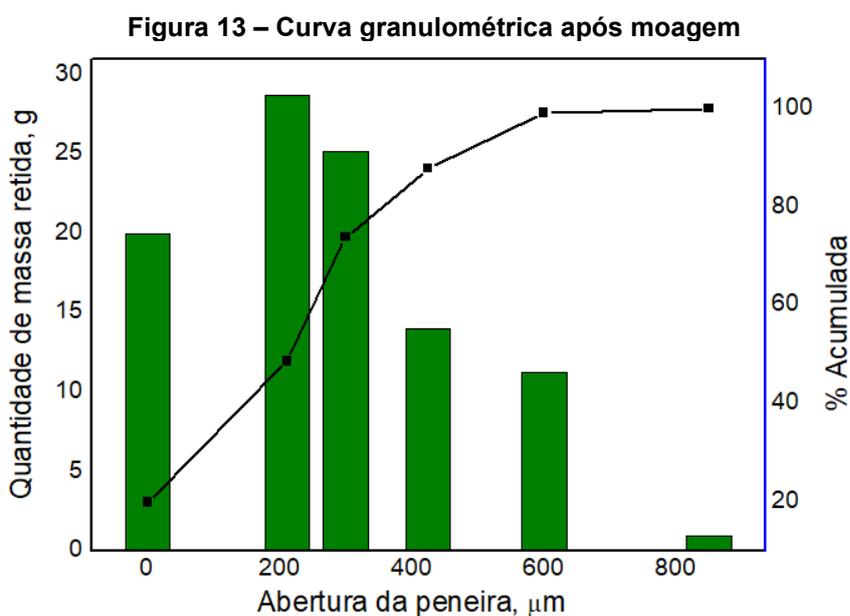


Fonte: Autoria própria

Esta elevada razão de aspecto explica a presença de amostras com diferentes tamanhos nas malhas das peneiras após o processo de peneiramento. Por exemplo, é possível que existam partículas de 850 μm nas amostras de 600 μm , por possuírem grande razão de aspecto. É possível ainda que a totalidade de partículas retidas na malha de 600 μm possuam tamanho menor que a malha. A vibração gerada no peneiramento pode permitir que as partículas passem pela malha, dependendo da posição relativa.

4.2 MOAGEM DA SERRAGEM

Como apenas 67 % da serragem coletada na empresa possui tamanho menor que 600 μm , com o intuito de aumentar o percentual de aproveitamento do material foi realizada a moagem em moinho de bolas. A Figura 13 mostra a curva de distribuição granulométrica após a moagem.



Fonte: Autoria própria

Observa-se que 99 % do material ficou com tamanho menor que 600 μm , permitindo sua utilização como extensor. Desta forma, o processo simples de moagem em moinho de bolas permite que praticamente toda a serragem gerada na empresa possa ser adequada à formulação dos adesivos estudados neste trabalho.

4.3 PROJETO DA CHAPA QUENTE

4.3.1 Componentes e Materiais Comerciais

Para a fabricação da chapa quente foram selecionados os componentes e, conforme mostra a Tabela 4, a cotação dos mesmos para o mês de maio de 2019 foi realizada.

Tabela 4 – Lista de componentes comerciais utilizados no projeto da chapa quente

Quantidade	Especificação do componente	Valor unitário (R\$)	Total (R\$)
2	Resistência elétrica de ferro de passar	28,30	56,6
4	Chapa de aço AISI 1020 2,5x170x200 mm	14,00	56
1	Barra de aço AISI 1020 1" 500 mm	21,00	21
3	Cabo PP Flexível 2x2,5 mm	3,50	10,5
2	Plug Macho 2 Pinos	1,90	3,8
10	Parafuso Sextavado M6 X 10	0,50	5
		Total	152,90

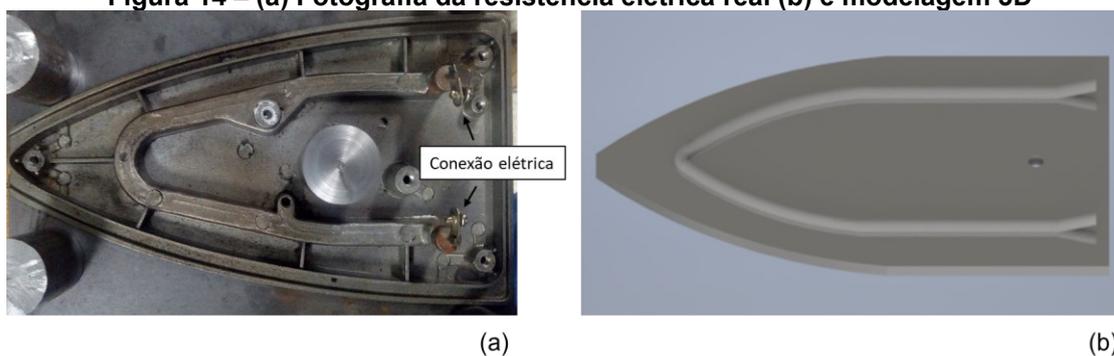
Fonte: Autoria própria

O custo total para produção das chapas quentes foi de R\$152,90. Não foi considerado para o cálculo os custos com mão de obra, nem os custos com hora máquina.

4.3.2 Detalhamento dos Componentes

Para utilização das resistências do ferro foi necessário remover toda a carcaça e componentes internos do mesmo e deixá-lo como apresentado na Figura 14 (a). A sua representação em 3D após modelagem no software é apresentada na Figura 14 (b).

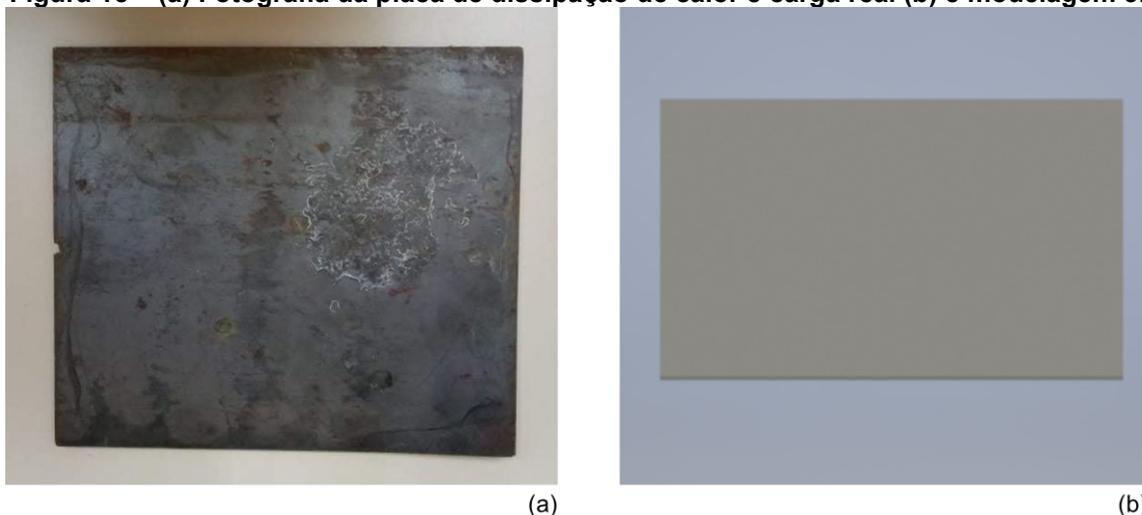
Figura 14 – (a) Fotografia da resistência elétrica real (b) e modelagem 3D



Fonte: Autoria própria

As placas utilizadas para dissipação de calor e carga podem ser observadas na Figura 15 (a), e ao lado, Figura 15 (b), a representação 3D das mesmas. Observe-se que há oxidação na superfície da chapa a qual foi removida antes da montagem por lixamento. A presença de uma camada de óxidos pode causar interferência na transferência de calor no momento da prensagem a quente, por isso é importante sua limpeza.

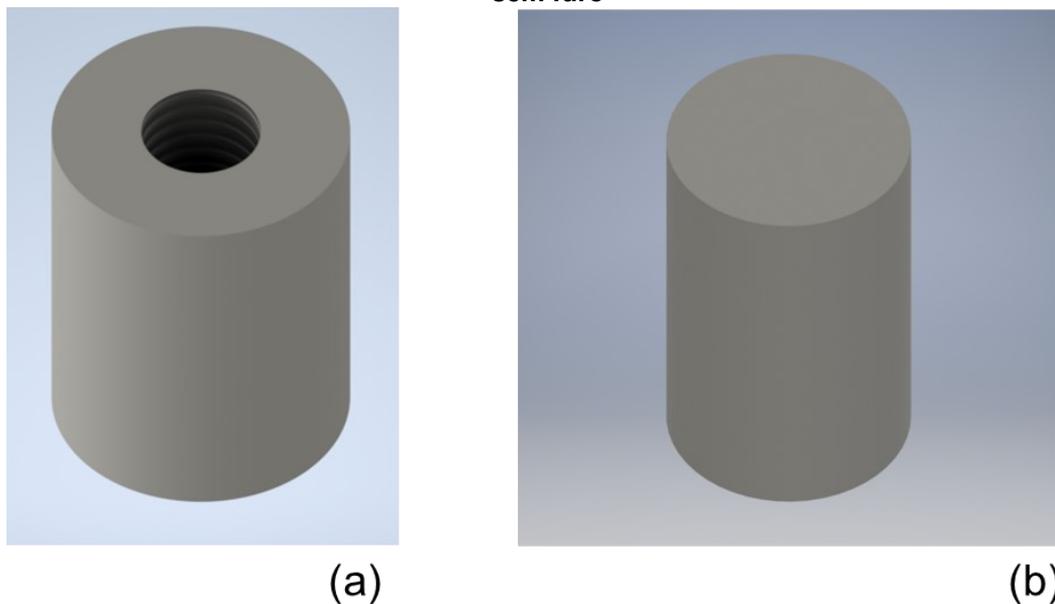
Figura 15 – (a) Fotografia da placa de dissipação de calor e carga real (b) e modelagem 3D



Fonte: Autoria própria

Na Figura 16 é possível observar os apoios usinados. A imagem da Figura 16 (a) mostra o apoio central utilizado na placa quente e os demais apoios são similares, demonstrados na Figura 16 (b) não possuindo furação com rosca, pois foram soldados diretamente na chapa de aço.

Figura 16 – Modelagem 3D dos apoios para distribuição de carga (a) com furo roscado e (b) sem furo

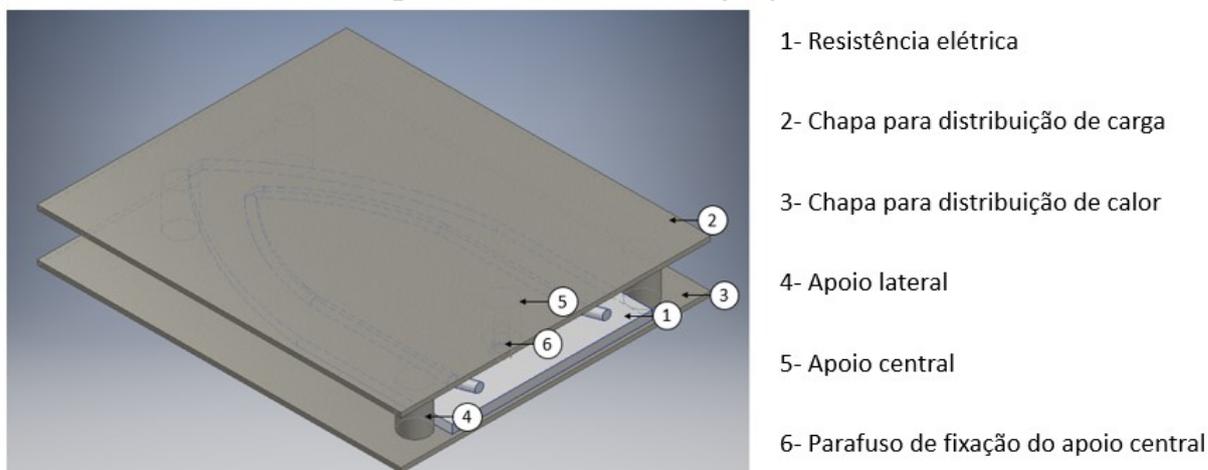


Fonte: Autoria própria

4.3.3 Montagem da Chapa Quente

Após a modelagem 3D e aquisição dos componentes comerciais fabricação dos demais, a chapa quente foi montada. Na Figura 17 é possível observar a indicação de cada um dos componentes na chapa, sendo a resistência elétrica (1), a chapas para distribuição de carga e (3) respectivamente, os apoios laterais (4) e o central (5), além do parafuso de fixação do apoio central (6).

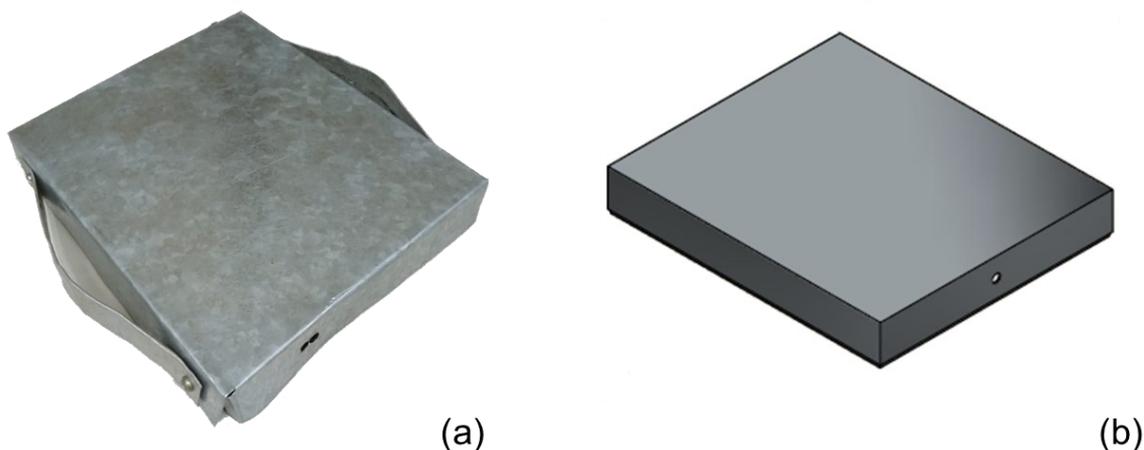
Figura 17 – Desenho da chapa quente



Fonte: Autoria própria

Após a montagem interna de todos os componentes a ligação elétrica foi feita e a chapa quente recebeu a proteção de zinco. A Figura 18 (a) mostra a imagem da chapa quente após a instalação da capa de proteção e a Figura 18 (b) é a representação 3D da mesma (sem as alças).

Figura 18 - Chapa quente montada real (a) e modelagem 3D (b)



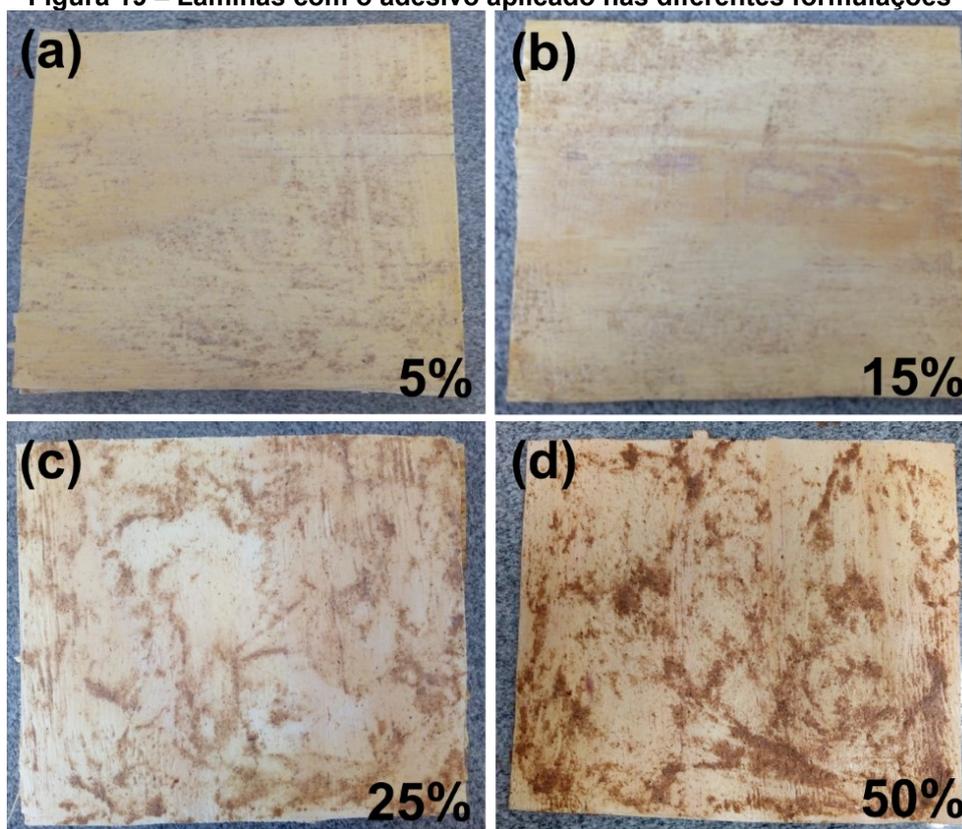
Fonte: Autoria própria

As alças foram adicionadas na placa para conferir maior segurança ao operador e ao equipamento, reduzindo os riscos queimaduras e quedas. Os desenhos técnicos completos da chapa quente estão disponíveis no APÊNDICE A -.

4.4 FORMULAÇÃO DAS RECEITAS

As formulações para substituição do extensor de trigo por serragem foram de 5, 15, 25 e 50%. A Figura 19 mostra fotografias das lâminas com o adesivo espalhado da melhor maneira possível. A serragem causou aglomeração do adesivo, formando pequenas ilhas nas lâminas, como se observa na Figura 19. Observa-se que para o painel com apenas 5% de serragem, o nível de aglomeração foi consideravelmente menor. Quanto maior a proporção de serragem em substituição ao trigo, como nos painéis com 15 e 25%, respectivamente, maior foi o nível de aglomeração observado, como mostra a Figura 19 b e c. É importante destacar que a granulometria foi mantida constante para todos os painéis fabricados, sendo utilizadas partículas inferiores a 850 μm .

Figura 19 – Lâminas com o adesivo aplicado nas diferentes formulações



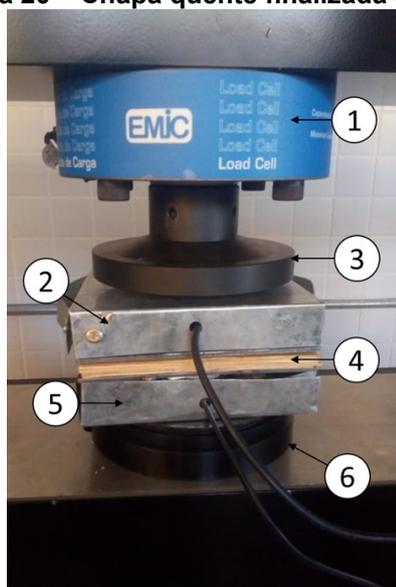
Fonte: Autoria própria

Os ensaios com 50 % demonstraram que a serragem nesta proporção tornou o adesivo excessivamente viscoso, dificultando o espalhamento com espátula sobre a lâmina, como mostra a Figura 19 d. De acordo com Moreira (1985), o objetivo de se utilizar um extensor em adesivos é reduzir os custos, mas ao mesmo tempo melhorar seu manuseio, aumentando sua viscosidade de forma a facilitar a colagem. Este resultado reforça a inviabilidade técnica de utilização em proporções maiores que 25 % para granulometria até 850 μm .

4.5 PRENSAGEM DO COMPENSADO

Após a aplicação do adesivo, os painéis foram submetidos a prensagem utilizando a chapa quente desenvolvida. A Figura 20 mostra uma fotografia da chapa posicionada na máquina universal de ensaios, com um painel de compensado em prensagem a quente.

Figura 20 – Chapa quente finalizada efetuando a prensagem a quente do compensado



1- Célula de carga

2- Chapa quente superior

3- Prato de compressão superior

4- Painel compensado

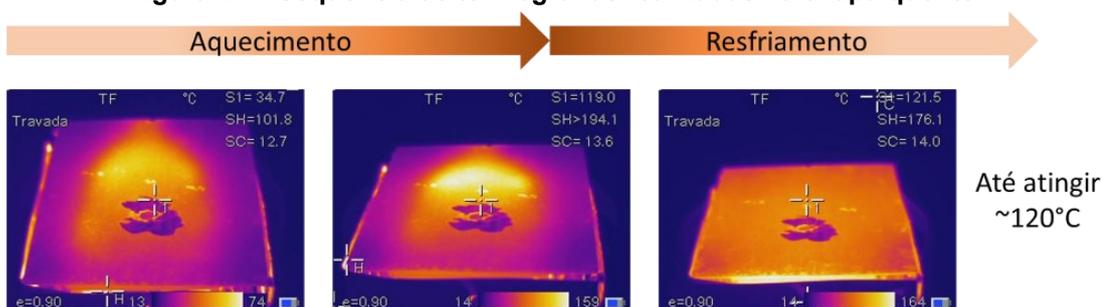
5- Chapa quente inferior

6- Prato de compressão inferior

Fonte: Autoria própria

Para demonstrar como ocorre o aquecimento da chapa quente, uma sequência de termografias foi realizada, conforme mostra a Figura 21. Observa-se que o aquecimento da chapa não ocorre de forma homogênea, pois a resistência elétrica utilizada para construção do dispositivo foi de ferro de passar, que possui formato triangular, com as arestas arredondadas. É possível observar essa diferença durante a fase de aquecimento, mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Sequência de termografias realizadas na chapa quente



Fonte: Autoria própria

Ao final do período de resfriamento a distribuição de calor na chapa quente torna-se homogênea, como mostra Figura 21, ao atingir temperaturas da ordem de 160 °C, com 3 minutos de aquecimento. Depois da homogeneização, o aquecimento é desligado e a temperatura é monitorada até atingir cerca de 120 °C que está dentro

da faixa de recomendação para prensagem a quente de compensados. Durante a prensagem, foi realizado um controle rigoroso da temperatura para mantê-la entre 120 e 100 °C, pois poderia ultrapassar os 120 °C, prejudicando a integridade do painel. Quando a temperatura atingia 119 °C, a chapa era desligada. Ao atingir temperaturas em torno de 102 °C, era novamente acionada.

Figura 22 – Amostras com sinais de sobreaquecimento



Fonte: Autoria própria

Mesmo com todos os cuidados em manter a temperatura no intervalo recomendado durante a prensagem, algumas amostras apresentaram sinais de sobreaquecimento na região central, como pode ser observado na Figura 22. Iwakiri et al. (2000) afirma que o sobreaquecimento é um problema comum nas indústrias e que comprometem a qualidade do produto final. Deste modo, o controle de temperatura deve ser rigoroso para mitigar efeitos como aquele mostrado na Figura 22.

4.6 PRÉ-TRATAMENTO DE SUBMERSÃO EM ÁGUA

Conforme descrito no item materiais e métodos para realização dos ensaios de cisalhamento à úmido os corpos de prova foram submergidos em água potável por 24 horas. Os resultados da integridade dos CPs após esse tempo de imersão são indicados na Tabela 5.

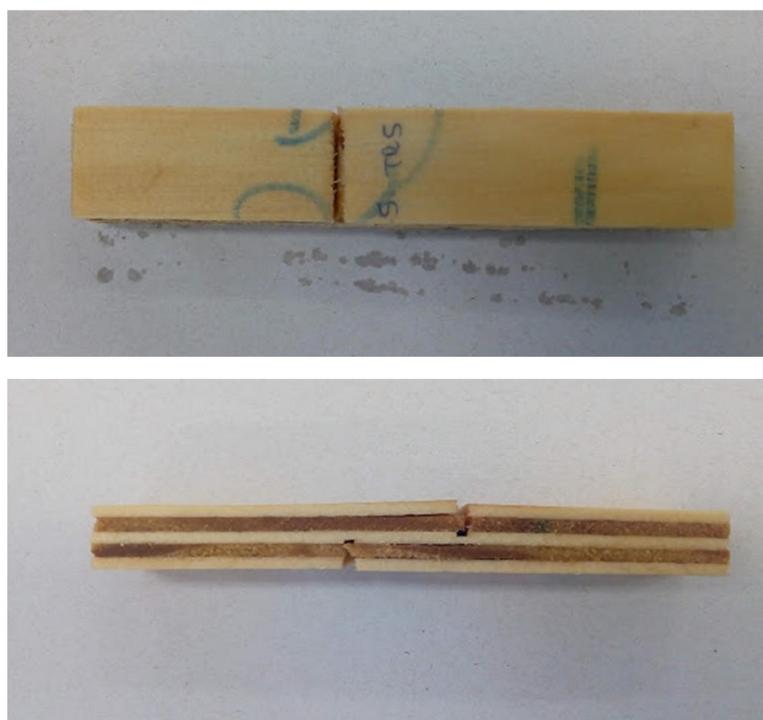
Tabela 5 - Integridade dos CPs após 24h de submersão em água à temperatura ambiente

Amostra	F 0	F 25	F 15	F 5
1	Avariada	Íntegra	Avariada	Avariada
2	Íntegra	Íntegra	Íntegra	Avariada
3	Íntegra	Íntegra	Íntegra	Avariada
4	Íntegra	Íntegra	Íntegra	Avariada
5	Íntegra	Avariada	Íntegra	Íntegra
6	Íntegra	Avariada	Íntegra	Íntegra

Fonte: Autoria própria

Observa-se que 8 corpos de prova tiveram sua integridade estrutural completamente avariada, impossibilitando a realização do ensaio de cisalhamento na linha de cola. A formulação F0 apresentou 1 CP com avarias após a submersão, a formulação F25 com 2 avarias, F15 com 1 avaria e o maior número de CPs com avarias foi a formulação F5, com 4 CPs.

A condição avariada de todos os corpos de prova tornou o ensaio mecânico de cisalhamento na linha de cola inviável, pois os CPs não resistiam nem mesmo a pré-carga da máquina de ensaios. Na Figura 23 é possível analisar os efeitos da água nos CPs.

Figura 23 – Corpos de provas avariados pelo pré-tratamento de submersão em água

Fonte: Autoria própria

É possível observar que o corpo de prova absorveu grande quantidade de água, expandindo a ponto de preencher o rasgo feito no CP para o ensaio. Não é possível apontar diretamente o porquê este efeito ocorreu, no entanto podem ser formuladas algumas hipóteses. Um dos fatores que poderiam ter influenciado no fato de uma formulação absorver mais água que outra, é que há lâminas utilizadas na fabricação dos CPs de épocas diferentes, podendo haver diferenças no teor de umidade das lâminas. Tendo em vista que o teor de umidade das lâminas não foi controlado esta pode ter sido uma variável que influenciou o resultado.

4.7 ENSAIOS DE CISALHAMENTO NA LINHA DE COLA

O ensaio de cisalhamento na linha de cola foi feito seguindo a norma NBR ISSO 12466. Embora as avarias tenham ocorrido principalmente nas amostras que foram submersas, o CP n°2 da formulação F15, que não foi submetido a qualquer pré-tratamento também perdeu sua integridade durante seu posicionamento na garra da máquina universal de ensaios. Avaliou-se a resistência ao cisalhamento na linha de cola destes CPs e os resultados obtidos são indicados na Tabela 6.

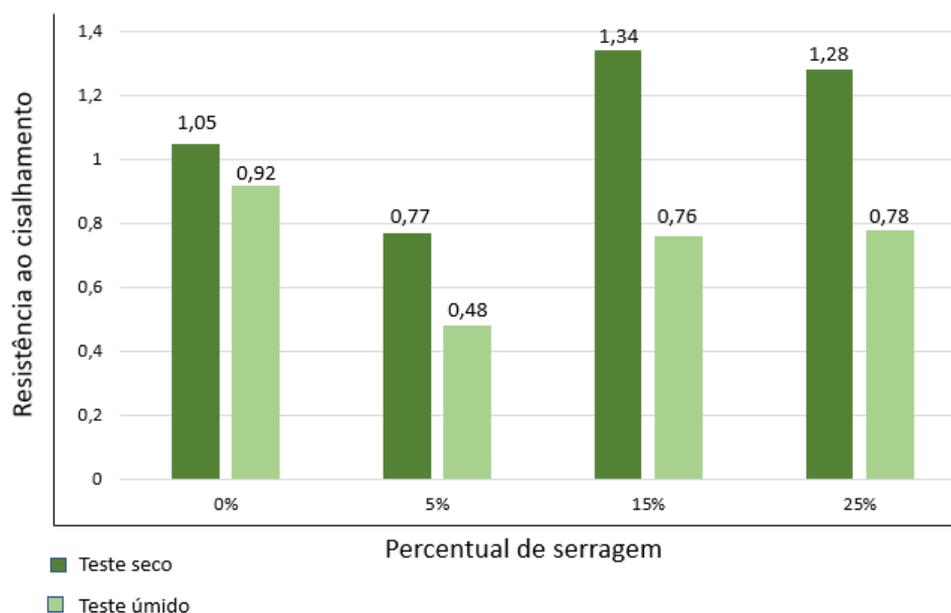
Tabela 6 - Resistência ao cisalhamento na linha de cola para as diferentes formulações

Formulação do Painei	Teste	$\tau_{m\u00e9dio}$ (MPa)	Desvio padr\u00e3o
F 0	Seco	1,05	0,26
	Úmido	0,92	0,48
F5	Seco	1,34	0,63
	Úmido	0,76	0,07
F15	Seco	0,77	0,37
	Úmido	0,48	0,28
F25	Seco	1,28	0,69
	Úmido	0,78	0,77

Fonte: Autoria pr\u00f3pria

A partir dos dados de resist\u00eancia ao cisalhamento na linha de cola foi plotado o gr\u00e1fico mostrado na Figura 24, que compara a resist\u00eancia nos ensaios a seco e a úmido em fun\u00e7\u00e3o do percentual de substitui\u00e7\u00e3o de serragem no extensor.

Figura 24 – Gráfico comparativo entre os resultados de resistência ao cisalhamento para o teste seco e o teste úmido



Fonte: Autoria própria

As amostras F15 e F25, mais notadamente F15 melhoraram em até 20 % a resistência a seco dos painéis. Já adições feitas na amostra F5 deterioraram em 27 % as propriedades adesivas da cola em condições a seco, e 48 % em condições úmidas. Comparando-se os resultados da resistência ao cisalhamento na linha de cola, todos os valores para as formulações foram inferiores no ensaio úmido em comparação com o ensaio seco. Isso ocorreu devido a deterioração das propriedades adesivas da cola utilizada.

Em relação as adições de serragem, nota-se que houve uma diferença maior do que 40%, aproximadamente, entre os resultados à seco e úmido. Isso indica que a presença da serragem deteriora as propriedades de umidade dos painéis. Comparando-se o ensaio seco com o ensaio úmido, percebe-se que a diferença de resistência para o painel sem adições de serragem é 12 % menor, ou seja, a umidade deteriora em menor grau a sua resistência.

As amostras F5 reduziram em 27 % a resistência a seco e em 48 % a resistência a úmido. Também é possível observar que a amostra F15 apresenta o maior gap entre a resistência a seco e a úmido, totalizando 43 %, e esta diferença

para a amostra F25 é de 39 %, ambas apresentando maior gap que a amostra sem adição (F0) de serragem, que é de 12 %.

Através da observação dos dados mostrados na Figura 24, é possível concluir que as amostras com adições de 25 % de serragem obtiveram o melhor resultado, pois, embora as amostras com 15 % possuam maior resistência, a diferença para as de 25 % não é significativa, e esta torna-se a melhor opção devido ao fato de que há maior quantidade de serragem adicionada na formulação, possibilitando maior aproveitamento de serragem.

5 CONCLUSÃO

Desde que seja feito um controle de temperatura rigoroso, é possível utilizar resistência elétrica de ferro de passar na construção de um dispositivo laboratorial de baixo custo para aquecimento e cura de adesivos de ureia formaldeído.

A serragem, resíduo industrial particulado gerado no processo de fabricação de painéis compensados, pode ser utilizada como substituta parcial em extensor para colas ureia-formaldeído. Granulometrias maiores do que 850 μm dificultaram a homogeneização do adesivo, resultando em problemas de aplicação. O aproveitamento da serragem para uso como extensor, quando coletada diretamente na fábrica sem armazenamento adequado, é de 67 %. Realizando-se secagem e moagem o aproveitamento passou a ser de 99 %.

Dos corpos de prova confeccionados com 25 % de serragem, 33 % foram avariados pela submersão em água, impossibilitando os ensaios mecânicos. Já os corpos de prova com 15% somente apresentaram discrepância de resultados. Quando ensaiados a seco, os corpos de prova com adições de 15 e 25 % apresentaram resistência ao cisalhamento na linha de cola 20 % maior em comparação aos painéis convencionais, demonstrando seu potencial de utilização, agregando valor ao resíduo e possivelmente reduzindo custos de fabricação.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Verificar o teor umidade nas lâminas antes da aplicação de adesivos;
- Verificar a influência do tamanho de partículas e suas combinações na resistência mecânica dos painéis;
- Quantificar o impacto econômico da utilização da serragem como substituto parcial de extensores de ureia-formaldeído;
- Realizar a aplicação das formulações em escala industrial.

REFERÊNCIAS

- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR ISO 2426: Madeira compensada - Classificação pela aparência superficial**. Rio de Janeiro, 2015.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR ISO 7217. Agregados: determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR ISO 12466. Madeira compensada - Qualidade de colagem. Parte 1: métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2006.
- ABIMCI (Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente). Painel de compensado de pinus. Catálogo Técnico. Curitiba 2007.
- ABITRIGO. **Dados brasileiros sobre a importação e exportação de trigo, farinha de trigo e derivados. Informe**. Disponível em: <<http://www.abitrigo.com.br/categoria-estatisticas/importacao-e-exportacao/?a=2018>>. Acesso em: 15 abr. 2019.
- ALBUQUERQUE, CEC de. **Laminação: da madeira dos sarcófagos à moderna indústria**. Revista da Madeira, v. 5, n. 29, p. 38-40, 1996.
- APRE (Associação Paranaense de Empresas de Base Florestal). **Estudo Setorial 2017/2018**. Curitiba 2018.
- BALDWIN, R. F. **Plywood Manufacturing Practices**. San Francisco: Miller freeman. 1981. 326p.
- BARROS FILHO, Roberto Monteiro de. **Painéis aglomerados a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas uréia formaldeído e melamina formaldeído**. 2009.
- BNDES. **Setorial: Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. Rio de Janeiro, n 27, p.121-156, mar. 2008.
- CAMPOS, Cristiane Inácio de; LAHR, Francisco Antônio Rocco. **Estudo comparativo dos resultados de ensaio de tração perpendicular para MDF produzido em laboratório com fibras de pinus e de eucalipto utilizando uréia-formaldeído**. Matéria, v. 9, n. 1, p. 32-42, 2004.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos**. vol. 1. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1998.
- CARDOSO, E. M. R.; DE AGUIAR, O. J. R. **Utilização da mandioca na indústria de compensados de madeira**. Embrapa Amazônia Oriental-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2003.
- CEPEA (Centro De Estudos Avançados Em Economia Aplicada). Informativo Setor Florestal. n206, fevereiro de 2019.

CLETO, Pedro Rogério. **Simulação de fraturamento hidráulico usando elementos finitos de elevada razão de aspecto com acoplamento hidromecânico**. 2016.

DA SILVA FERREIRA, Érika et al. **Utilização da farinha de babaçu como extensor alternativo na produção de painéis compensados**. *Ciência Florestal*, v. 19, n. 3, p. 329-333, 2009.

Deutsches Institut für **Normung**. **DIN 314-1**: Plywood - bonding quality: part 1 - Test methods. 2005.

Deutsches Institut für **Normung**. **DIN 314-2**: Plywood - bonding quality: part 2 - Requirements. 1993.

DEDAVID, Berenice Anina; GOMES, Carmem Isse; MACHADO, Giovanna. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores**. EdIPUCRS, 2007.

DIAS, Fabrício Moura; LAHR, Francisco Antonio Rocco. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. 2005.

SANTOS, Cristiane Moreira Tavares; DEL MENEZZI, Cláudio Henrique Soares. **Efeito da gramatura sobre a resistência ao cisalhamento da linha de cola de duas madeiras tropicais: seru (*Allantoma lineata*) e marupá (*Simarouba amara*)**. *Floresta*, v. 40, n. 2, 2010.

FORLIN, Flávio J. et al. **Considerações sobre a reciclagem de embalagens plásticas**. *Polímeros*, 2002.

HILLIG, Éverton; HASELEIN, Clovis Roberto; SANTINI, Elio José. **Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia-negra**. *Ciência florestal*, v. 12, n. 1, 2002.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Abril, 2005.

IWAKIRI, Setsuo et al. **Utilização de extensores alternativos na produção de compensados multilaminados**. *Ciência Florestal*, v. 10, n. 1, 2000.

JESUS, José Manoel Henriques de. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC)**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology: II., wood based material**. New York: Springer-Verlag, 1975.

LESSMANN, Valter Ernesto et al. **Estudo da reação de cura de resinas uréia-formol por espectrometria de Ressonância Magnética Nuclear**. 2008.

MACHADO, S. L. 2002 – **“Apostila de Mecânica dos Solos”** – Universidade Federal da Bahia (UFBA) – Departamento de Geotecnia da Escola Politécnica de Engenharia

MOREIRA, W. S. **Extensores alternativos para produção de compensados com resina uréia-formaldeído**. 1985.

NETO, José Alexandre Baptista Pais et al. **Estudo paramétrico de junats adesivas em material compósito**. 2011.

NOVAES, Antônio Lourenço de. **Extração e laminação da madeira do Pau de Balsa (Ochroma pyramidale)**. 2011.

OLIVEIRA J.T.S., FREITAS A.R. **Painéis à base de madeira**. Boletim técnico BT/PCC/149. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. EPUSP. 1995. 44p

PAIVA, Nádia Tatiana Neto de et al. **Desenvolvimento de uma resina ureia-formaldeído de baixa emissão de formaldeído fortificada com melamina**. 2010.

PEDRAZZI, Cristiane et al. **Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose**. Ciência Florestal, v. 16, n. 2, p. 201-212, 2006.

PINTO, Arnaldo Manuel Guedes et al. **Ligações adesivas entre materiais poliméricos com e sem alteração superficial dos substratos**. 2007.

POLZL, Willian Borelli. **Eficiência produtiva e econômica do segmento industrial da madeira compensada no Estado do Paraná**. PPGEF/UFPR, 2002.

RIBEIRO, Tharcia Silva et al. **Produção de Painéis compensados de Pinus taeda com resina ureia-formaldeído utilizando diferentes extensores**. 2008.

ROWELL, Roger M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Taylor & Francis; 2005. 411 p.

SKIL. **Instruções de Operação e Segurança**. Manual. [s.l.]. Disponível em: https://www.skil.com.br/br/pt/ocsmedia/manual_3610.pdf. Acesso em: 16 de julho de 2019

YAMAJI, Fábio Minoru; BONDUELLE, Arnaud. **Utilização da serragem na produção de compósitos plástico-madeira**. Floresta, v. 34, n. 1, 2004.

APÊNDICE A - Desenhos técnicos da chapa quente