UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA QUÍMICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

HEBERT ALEGRIA CESÁRIO

OBTENÇÃO DE PROPRIEDADES DE CORPOS DE PROVA CONFECCIONADOS COM RESÍDUO DE PAPEL MELAMÍNICO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA
2019

HEBERT ALEGRIA CESÁRIO

OBTENÇÃO DE PROPRIEDADES DE CORPOS DE PROVA CONFECCIONADOS COM RESÍDUO DE PAPEL MELAMÍNICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, do Departamento de Engenharia Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli

PONTA GROSSA

2019

Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Ponta Grossa
1.1.1 Curso de Engenharia Química

TERMO DE APROVAÇÃO

OBTENÇÃO DE PROPRIEDADES DE CORPOS DE PROVA CONFECCIONADOS COM RESÍDUO DE PAPEL MELAMÍNICO

por
Hebert Alegria Cesário

Monografia apresentada no dia 24 de junho de 2019 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho ____aprovado com restrições_____.

_____
Prof. Me. Johnata Henrique Rodrigues
(UTFPR)

_____
Prof. Dra. Juliana de Paula Martins
(UTFPR)

_____
Profa. Dra. Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli
(UTFPR)
Orientador

_____
Profa. Dra. Juliana de Paula Martins
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

- O termo de aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Química.

AGRADECIMENTOS

Á minha família, meus pais Leonel e Gisleine, e ao meu irmão Richard, pelo amor incondicional, sempre estiveram ao meu lado me apoiando, incentivando e me ensinando durante toda a vida, sempre se preocupando com meu bem-estar e minha formação pessoal. Aos meus tios Laurence, Ligia e Ana Paula por todos os conselhos e suporte que me deram, sem vocês com certeza essa trajetória seria mais difícil, a vocês minha eterna gratidão.

Aos meus professores, pelo ensinamento passado, os conselhos, as risadas, os puxões de orelha e pela confiança na minha capacidade, sempre tentando extrair o meu melhor. Em especial agradeço a Professora Sandra Mara pelo auxilio nos ensaios realizados nesse projeto. Agradeço de todo o coração a Professora Juliana Pietrobelli, minha orientadora de IC, de TCC e de estágio, você para mim foi uma segunda mãe, sempre confiando em mim e me auxiliando, sendo uma das mais importantes pessoas que pude conhecer até hoje, obrigado.

Aos grupos e repúblicas de amigos e a todos que tiveram um tempinho comigo, este paragrafo vai ser pequeno para agradecer com palavras, tudo o que passamos. Pra lá de Bagdá, Happy Noia, Carreata DP NÃO, Base, Casa A, Malucos da Árvore, Backyard, Caverna, Amsterdã, 40%, Rep 13 e todos os agregados que não residiam, mas sempre estavam presentes em cada bailinho, cada churrasco, cada terça insana, cada experiência trocada, cada conversa e cada aprendizado, “SÓ AGRADECE! ”.

Agradeço também a Fernanda Chiavenato pelas conversas, pelo carinho, pelo apoio e por ter me ajudado a ser uma pessoa melhor.

RESUMO

CESÁRIO, Hebert Alegria. **Obtenção de propriedades de corpos de prova confeccionados com resíduo de papel melamínico.** 2019. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

Diversos processos industriais apresentam problemas resultantes da grande quantidade de resíduos sólidos gerados. Deste modo, o objetivo deste trabalho é incorporar o resíduo de Papel Melamínico, proveniente da indústria de MDF, a confecção de painéis e afins, para o uso na decoração, acabamento e design de ambientes. Para isto foram confeccionados corpos de prova utilizando-se como matéria-prima o Papel Melamínico e posterior realização de testes físicos e mecânicos para entender melhor suas propriedades, comparando os resultados com as propriedades dos painéis de MDF e de outros compósitos. O material apresentou boa compactação, aguentando altas cargas de compressão, boa dureza e pouca afinidade com água.

Palavras-chave: Papel melamínico. Resíduo sólido. Reutilização. MDF.

ABSTRACT

CESÁRIO, Hebert Alegria. **Melamine Paper Residue Specimen Properties Acquisition.** 2019. 31 p. Work of Conclusion Course (Graduation in Chemical Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2019.

Many industrial processes presents problems derived from the great amount of solid residues generated. Thus, the objective of this paper is to incorporate the Melamine Paper residue, originated from the MDF industry, in the manufacturing of panels and panel-like objects, to be used as ornaments, workmanship and environment designs. In order to do so, proof-bodies were made using the Melamine Paper as raw-material and then put under physical and mechanical tests to better understand its properties, comparing the results with the properties of MDF panels and other composites. The material presented satisfactory compaction, enduring high compression loads, good hardness, and low water affinity.

Keywords: Melaminic paper. Solid residue. Reuse. MDF.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Processo para síntese da resina uréia-formol 14
Figura 2 – Fluxo de produção de uma indústria de MDF 15
Figura 3 – Aplicação do papel decorativo de baixa pressão 16
Figura 4 – Evolução do consumo aparente de painéis de madeira 1000 m³ 17
Figura 5 – Macro moinho de facas, tipo Willey 20
Figura 6 – Foto dos corpos de prova submersos 21
Figura 7 – Foto do ensaio de compressão 22
Figura 8 – Foto do ensaio de flexão 23
Figura 9 – Gráfico tensão x deformação do ensaio de compressão 27

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos resíduos segundo a NBR 10004:2004 18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Requisitos para painéis não estruturais para uso em condições secas 19
Tabela 2 – Peso dos corpos de prova 24
Tabela 3 – Valores de densidade média 25
Tabela 4 – Valores dos pesos úmidos 26
Tabela 5 – Resultados da compressão 26
Tabela 6 – Resultados de dureza 27
Tabela 7 – Resultados de flexão 28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 10
2 OBJETIVOS 12
2.1 OBJETIVO GERAL 12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 13
3.1 RESINA MELAMÍNICA 13
3.2 OS PAINÉIS DE MDF E HDF 14
3.3 O PAPEL MELAMÍNICO 15
3.4 NORMAS TÉCNICAS 17
3.4.1 Norma Brasileira 10004 Resíduos sólidos – Classificação 17
3.4.2 Norma Brasileira 15316-2 Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio 19
4 MATERIAIS E MÉTODOS 19
4.1 FRAGMENTAÇÃO DO PAPEL MELAMÍNICO 19
4.2 PREPARO DO CORPO DE PROVA 20
4.3 ENSAIOS 21
4.3.1 Determinação do Inchamento por 24 horas 21
4.3.2 Ensaio de Compressão 22
4.3.3 Ensaio de Dureza 22
4.3.4 Ensaio de Flexão 23
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 24
5.1 PREPARO DAS AMOSTRAS 24
5.2 ENSAIOS 25
5.2.1 Inchamento por 24 horas 25
5.2.2 Compressão 26
5.2.3 Dureza 27
5.2.4 Flexão 28
6 CONCLUSÃO 29
REFERÊNCIAS 30

2 INTRODUÇÃO

Painéis de compensado de madeira são utilizados desde a antiguidade em móveis, caixas e instrumentos musicais empregando sempre uma madeira nobre para dar o acabamento (REVISTA DA MADEIRA, 2004). A partir dos séculos XIX e XX a produção de compensados se intensificou com a utilização das chapas laminadas (VIEIRA; BRITO; GONÇALVES, 2012).

Após a Segunda Guerra Mundial o mundo começou a dar importância para as questões que envolvem o controle da qualidade, as tecnologias e o meio ambiente. Posto isto, as chapas laminadas se mostraram uma excelente escolha para substituir a madeira maciça (KATSUKAKE, 2009). A escassez de madeiras de grandes diâmetros e crescente pressão ambiental realizada pela sociedade foram algumas das razões que fizeram a reputação e a utilização crescente dos painéis de madeira (VIEIRA; BRITO; GONÇALVES, 2012).

Os painéis de fibra de madeira de média densidade *(Medium-Density Fiberboard* – MDF) e os de alta densidade (*High Density Fiberboard* – HDF) se tornaram um dos materiais compósitos mais populares dos últimos anos devido suas características uniformes, densidade, inexistência de nós e uniformidade da distribuição dos grãos (WOOD MAGAZINE, 2002). Com sua superfície lisa o MDF torna-se uma ótima base para receber acabamentos decorativos, tendo seu principal uso na indústria de móveis planejados, recebe a aplicação de um papel decorativo junto com uma resina melamínica (Papel Melamínico) que ao ser prensado à quente se fundem na madeira (MONTEIRO, 2012).

Durante o acabamento da peça, as saliências são cortadas, gerando então o material residual (resíduo de Papel Melamínico), que ao secar torna-se uma folha quebradiça, sendo este classificado como Classe II A – Resíduo não inerte, de acordo com a Norma Brasileira 10004 (2004). Apresentando propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

O Brasil vem desenvolvendo um rápido crescimento no setor de moveis planejados, devido a seu clima favorável ao plantio de madeira de reflorestamento, pinheiro e eucalipto (LESSMANN, 2008). Entretanto dentro do processo produtivo, ainda existe uma grande problemática na destinação dos resíduos de papel melamínico, uma vez que, atualmente, são destinadas cerca de 80 toneladas por mês

de resíduo de Papel Melamínico para destruição térmica, dado este fornecido por uma única indústria fornecedora de painéis de madeira para móveis e arquitetura de interiores, situada no Paraná.

No mercado dinâmico dos dias de hoje, o desenvolvimento sustentável é de suma importância para as empresas. Não só pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que incentiva a gestão dos resíduos sólidos, ou a busca por certificações internacionais, vide ISO 14001, os resíduos sólidos merecem atenção especial, pois são uma das principais fontes de poluição e também sinônimos de desperdício.

Dentro deste contexto, este trabalho teve como objetivo propor uma destinação sustentável ao resíduo industrial - Papel Melamínico. Utilizando-se como matéria-prima o Papel Melamínico foram feitos corpos de prova e realizado testes físicos e mecânicos para entender melhor suas propriedades, comparando os resultados com as propriedades dos painéis de MDF e de outros compósitos.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Obter as propriedades físicas e mecânicas de corpos de provas confeccionadas com o resíduo de Papel Melamínico proveniente do processo de fabricação de painéis de MDF e HDF.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Encontrar uma composição ideal para confecção dos corpos de prova.
- Utilizar a Norma Brasileira 15316-2 como apoio na metodologia dos ensaios.
- Obter as propriedades físicas (densidade; dureza) e mecânicas (flexão; compressão) dos corpos de prova.
- Verificar o potencial do Papel Melamínico para confecção de novos produtos.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nessa seção serão apresentadas as propriedades, as características e normas referentes a resina melamínica, sua utilização e consequência da exposição aos seres humanos. Também serão apresentados estudos disponíveis na literatura de confecção de painéis utilizando a resina melamínica com diferentes materiais.

4.1 RESINA MELAMÍNICA

Segundo Lessmann (2008) a resina de uréia-formol (UF) é utilizada em larga escala na fabricação de chapas de madeira de média densidade (MDF) painéis de aglomerado constituído de partículas de madeira aglutinadas (MDP – Medium Density Particleboard) e chapas de madeira de alta densidade (HDF), pois apresenta baixo custo, alta velocidade de cura, pouco desenvolvimento de cor e resistência à chama.

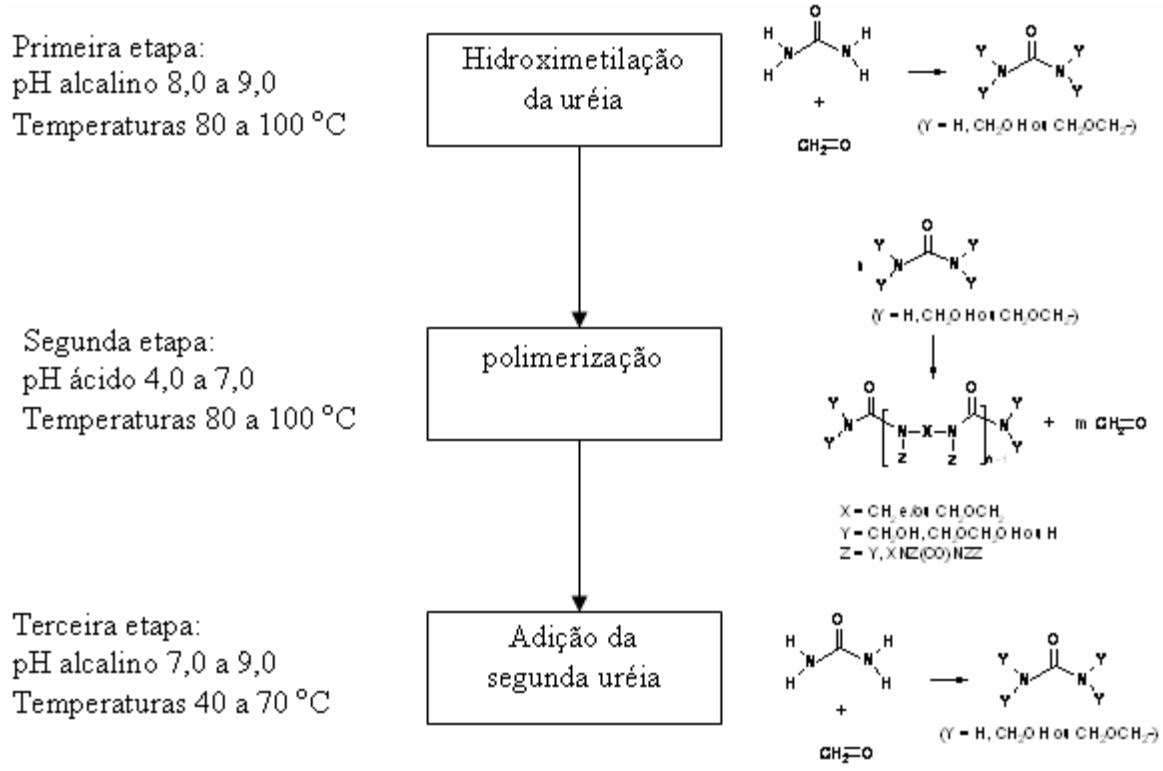
Tendo basicamente como componentes principais o formol e ureia, sendo que o primeiro apresenta as seguintes características: composto líquido, com odor irritante, de massa molar de 30,03 g/mol, densidade de 1,0 kg/m³. Já o segundo um composto orgânico cristalino, incolor, massa molar 60,07 g/mol, densidade de 1,33x10³ kg/m³, solúvel em água e álcool e levemente solúvel em éter. A resina melamínica possui muitas reações e estruturas possíveis, dessa forma sempre desafiou quem a pesquisasse.

De acordo com Lessmann (2008):

> Para indústria madeireira é utilizado um reator, no qual ocorrem três etapas: Na primeira etapa, uma porção inicial de uréia sofre hidroximetilação alcalina pelo formol; na segunda etapa, ocorre a polimerização em meio ácido das hidroximetilas formadas e na terceira etapa há uma adição de uma segunda porção de uréia, que reage com o formol livre formando novas hidroximetiluréias

A hidroximetilação pode ser catalisada por ácidos ou bases, na primeira etapa, já na etapa seguinte a polimerização somente por ácidos. O controle desses parâmetros interfere diretamente na qualidade do produto final. A Figura 1, apresenta, o processo para a síntese da resina uréia-formol (LESSMANN, 2008).

Figura 1 - Processo para síntese da resina uréia-formol.



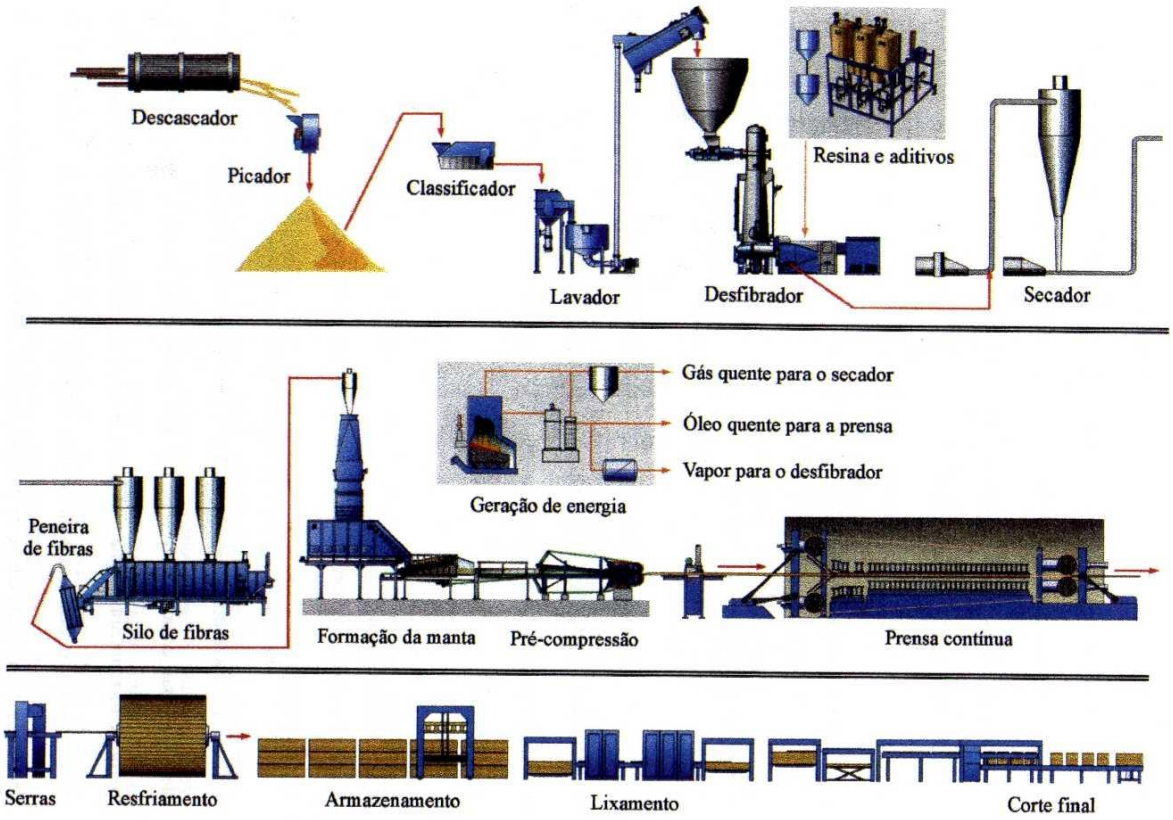
Fonte: Lesmann (2008).

4.2 OS PAINÉIS DE MDF E HDF

Os painéis de fibra de madeira de média densidade (MDF) se tornaram um dos materiais compósitos mais populares dos últimos anos devido suas características uniformes, densidade, ausência nós e padrões de grãos (WOOD MAGAZINE, 2017).

Fabricado através da aglutinação de fibras de madeira com a resina sintéticas por meio de temperatura e pressão, a Figura 2 demonstra de forma esquematizada as etapas de produção do MDF. As toras de madeira são descascadas e trituradas em pequenas lascas, denominadas de cavacos, que em seguida são lavados e cozidos com vapor, para que sejam desfibriladas. A desfibrilação reduz as lascas em fibras de 0,1 a 2 cm de comprimento e dezenas de micra de espessura (LESSMANN, 2008). É então adicionado a resina sintética na mistura de água e fibras, para que seja homogeneizado e em seguida secado e separado, formando o manto. O manto, que é composto pela fibra impregnada de resina, segue para uma pré-compressão para que seja feito o “colchão” e então prensado. A cura da resina se dá através do calor e da pressão exercida pela prensa, solidificando e formando os painéis.

Figura 2 - Fluxo de produção de uma indústria de MDF.



Fonte: Katsukake (2009).

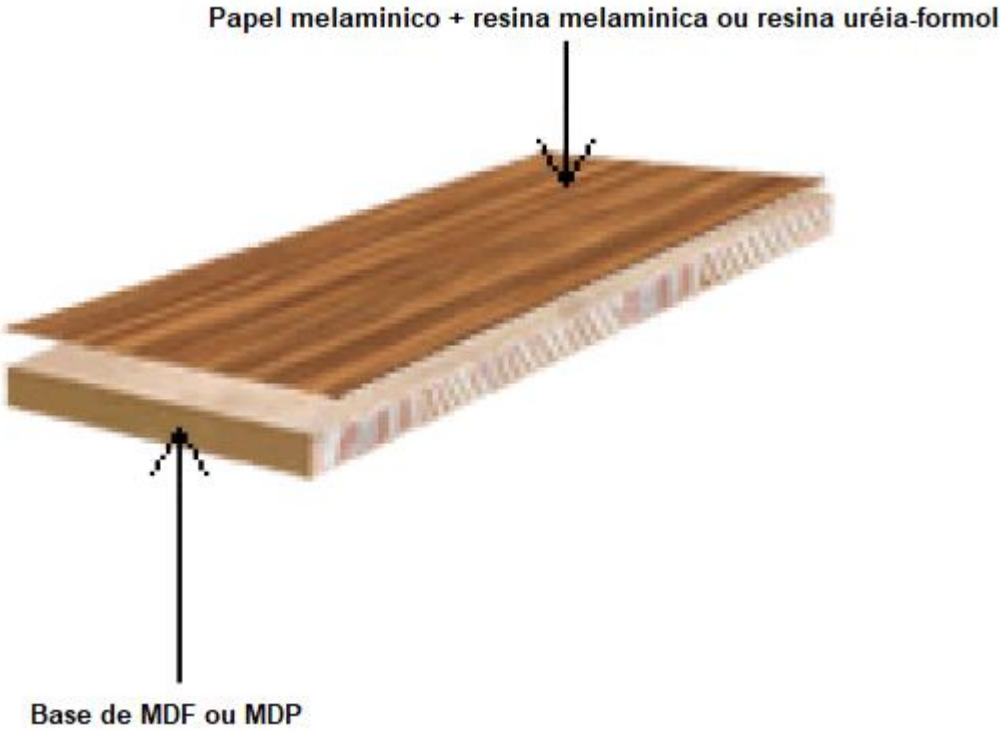
O HDF é uma chapa plana de alta densidade de fina espessura e com características similares ao MDF, fabricada em um processo similar ao MDF (SANTIAGO, 2007). Com suas resistências físico-mecânicas melhoradas, suportam pesos elevados, repetidos impactos, possuem alta resistência a flexão, excelente capacidade de corte e usinagem.

4.3 O PAPEL MELAMÍNICO

Segundo Solyon (2009) com a necessidade de enobrecer os painéis de madeira reconstituídos e pisos de madeira mostrou-se necessário a criação de uma forma de ornamentação dos mesmos. Mori (2008, apud SOYLON, 2009) relata que até pouco tempo, os móveis feitos de madeira maciça eram os mais desejados, porém devido ao alto preço, hoje o mercado é restrito.

Criou-se então o papel decorativo, fabricado por rotogravura. Esse papel é impregnado com resina melamínica e prensado sobre as chapas de MDF ou MDP sobre determinada temperatura, conforme apresentado na Figura 3. Após essa polimerização da resina com a chapa de madeira, o produto final adquire alta resistência à abrasão, alta resistência ao desgaste e alta estabilidade à cor com facilidade de limpeza e higiene (SOYLON, 2009).

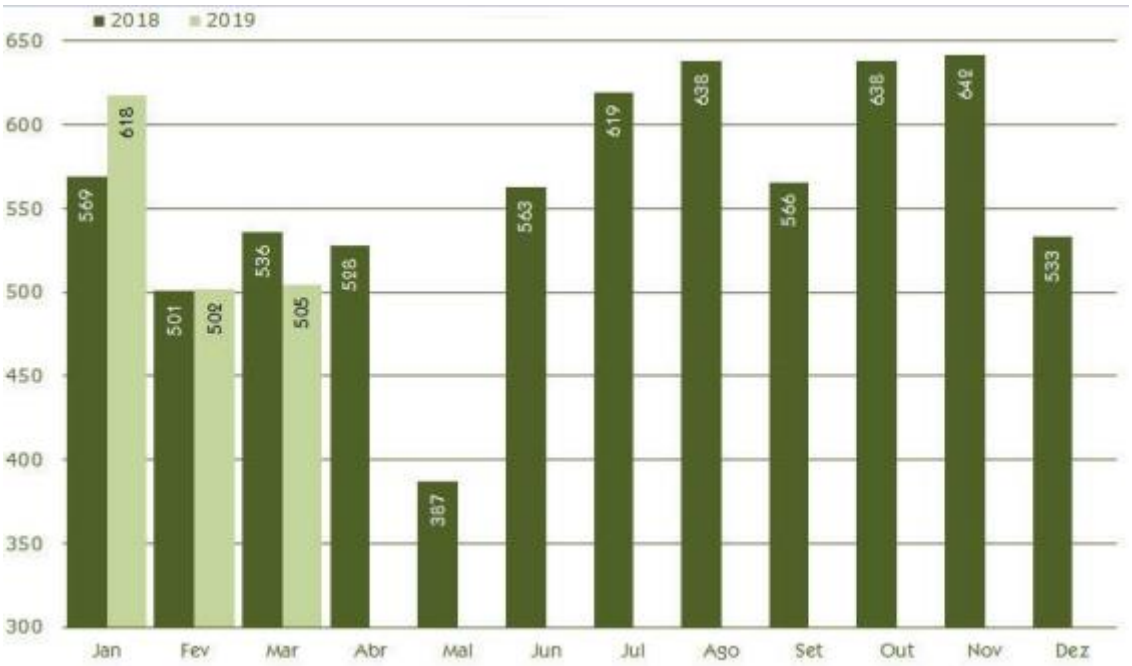
Figura 3 - Aplicação do papel decorativo de baixa pressão.



Fonte: Adaptado de MONTEIRO, 2014.

A publicação mais recente da Indústria Brasileira de Árvores (Ibá) mostra que o consumo doméstico de painéis de madeira foi de 6,6 milhões de m³ no ano de 2018, sendo esse o melhor resultado desde 2014, e já apresentando um aumento de 1,1% no primeiro trimestre desse ano, conforme Figura 4.

Figura 4 – Evolução do consumo aparente de painéis de madeira 1.000 m³.



Fonte: Adaptado de Indústria Brasileira de Árvores (2019).

Em relação ao mercado externo, as categorias de que se destacaram foram: mobiliário de madeira para dormitório, outros móveis de madeira, mobiliário de madeira para cozinha, assentos estofados com armação de madeira e partes para assentos (DE PAULA, 2019).

4.4 NORMAS TÉCNICAS

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT orienta os profissionais a respeito das normas técnicas, criadas através de consensos e estudos direcionados ao tema, estipulando-se os requisitos básicos de desempenho, qualidade e segurança, por exemplo.

4.4.1 Norma Brasileira 10004 Resíduos sólidos – Classificação

A ABNT NBR 10004 classifica os resíduos sólidos quanto as suas características, ordenando quanto aos possíveis danos ao meio ambiente e à saúde pública.

A NBR 10004 (2004) estabelece que:

> Resíduos nos Estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, e exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face a melhoria tecnológica disponível.

Em decorrência desta definição a Norma classifica os resíduos em dois grupos: Classe I – perigosos e Classe II – não perigosos. A classe II pode ainda ser subdividida em outros dois grupos: Classe II A – não inertes e Classe II B – inertes, descritos no Quadro 1 (NBR 10004:2004).

Quadro 1 - Classificação dos resíduos segundo a NBR 10004:2004.

Classe I - Perigosos
Aqueles que apresentam periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxidade ou patogenicidade.
Classe II – Não Perigosos
Classe II A – Não Inertes Podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
Classe II B – Inertes São quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa, e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor.

Fonte: Adaptado de NBR 10004:2004.

Silva (2003 apud SOYLON 2009) definem resíduos como desperdício de matéria prima durante o processo produtivo que ocasiona perdas econômicas e danos ambientais. Embora não servindo para a atividade de onde foram gerados, os resíduos podem se tornar matéria prima de outras atividades.

4.4.2 Norma Brasileira 15316-2 Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio

A NBR 15316-2 2015 determina os requisitos e métodos de ensaio para painéis de MDF. Os requisitos gerais estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Requisitos para painéis não estruturais para uso em condições secas (MDF).

Requisito	Critérios
Inchamento 24 horas (Máximo)	17%
Resistencia à Flexão (Mínimo)	23 N/mm²

Fonte: Adaptado de ABNT, 2015.

Entretanto, de acordo com a NBR 15316-2, caso atenda aos requisitos acima mas revele uma densidade maior que 800 kg/m³, a amostra será classificada como HDF.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 FRAGMENTAÇÃO DO PAPEL MELAMÍNICO

A fragmentação do resíduo de Papel Melamínico, fornecido pela indústria fabricante de chapas de MDF revestidas com papel decorativo destinado a confecção de móveis domésticos, foi realizada através de um macro moinho de facas, da marca MARCONI, modelo MA340 – Tipo Willey (ver Figura 5), com malha mesh 10 de crivo circular do Departamento Acadêmico de Alimentos – DAALM.

Figura 5 – Macro moinho de facas, tipo Willey (MA340).

Fonte: Autoria própria.

5.2 PREPARO DO CORPO DE PROVA

Amostras do papel triturado foram pesadas, em uma balança de precisão, a fim de conseguir preencher os espaços da forma de metal usada como molde, que seguiu as especificações da norma brasileira ABNT NBR 15316-2. A norma especifica a dimensão e quantifica os corpos de prova para a realização de ensaios da seguinte forma: 10 corpos de prova por ensaio de dimensões 50 milímetros de comprimento, 50 milímetros de largura e 10 milímetros de espessura por ensaio (ABNT, 2015).

Após feita a moagem do papel, foi adicionado água, afim de se produzir uma pasta moldável e homogênea, a “pasta melamínica”, para preencher a forma revestida de papel manteiga. Em seguida foi colocado um peso de metal sobre cada corpo de prova da forma, para que houvesse uma pressão sobre a massa de papel. Por fim

colocou-se a forma no forno elétrico com temperatura de aproximadamente 150 °C por uma hora.

5.3 ENSAIOS

5.3.1 Determinação do Inchamento por 24 horas

Para o ensaio foi medido a espessura de cada um dos 10 corpos de prova individualmente, com o auxílio de um paquímetro. Posteriormente a medição, os corpos de prova foram colocados em um recipiente com água ultrapura a 20 °C, de modo que ficassem submersos com cerca de 25 milímetros de água sobre sua superfície. Após 24 horas de imersão (Ver Figura 6), os corpos de prova foram retirados da água e secos com papel absorvente e efetuou-se uma nova medição de espessura (ABNT, 2015).

O cálculo do inchamento foi realizado através da Equação 1:

$$I = \left(\frac{Ef - Ei}{Ei}\right) * 100 \qquad (1)$$

Onde

I – É a porcentagem de inchamento;

Ei – É a espessura inicial, em milímetros;

Ef – É a espessura final, em milímetros.

Figura 6 – Foto dos corpos de prova submersos.

Fonte: Autoria própria.

5.3.2 Ensaio de Compressão

O ensaio de compressão foi realizado em uma máquina universal de ensaios, EMIC DL 10000 no Laboratório de Ensaios Mecânicos do Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC, a fim de analisar o comportamento do material quando pressionado. Utilizou-se um incremento de forma de 500 N/s até 9 toneladas. Este teste normalmente é indicado para concreto, cerâmicas, plásticos e compósitos. Na Figura 7 é possível ver o material sendo comprimido.

Figura 7 – Foto do ensaio de compressão.

Fonte: Autoria própria.

5.3.3 Ensaio de Dureza

A palavra dureza pode ser associada à resistência à penetração, risco, abrasão ou corte, sendo ela uma propriedade que permite ao material resistir à penetração. O ensaio de dureza consistiu na impressão de uma pequena marca feita na superfície do corpo de prova, por pressão. Para verificar a dureza do material, utilizou-se um durômetro Pantec RBS-M, instalado no Laboratório de Ensaios Mecânicos do Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC, com esfera de 1/8”, na escala H e uma força de ensaio de 60 kgf.

5.3.4 Ensaio de Flexão

Para a realização deste ensaio foi utilizada a mesma máquina de ensaio universal citada no item 4.4.2, utilizando-se do ensaio em três pontos. Empregou-se um esforço mecânico até que o corpo de prova fosse rompido, para que pudesse ser quantificado o valor da carga versus a deformação máxima. A Figura 8 mostra o material sendo flexionado.

Figura 8 – Foto do ensaio de flexão.

Fonte: Autoria própria.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos durante a realização do preparo das amostras e dos ensaios físicos e mecânicos.

6.1 PREPARO DAS AMOSTRAS

No preparo dos corpos de prova foram pesadas quarenta amostras de papel decorativo conforme a metodologia, para gerar quarenta corpos de prova com as seguintes massas apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Peso dos corpos de prova.

	Compressão	Inchamento	Dureza	Flexão
1	16,6250 g	16,6789 g	16,5240 g	15,6595 g
2	16,9804 g	16,7785 g	16,6484 g	15,5975 g
3	15,6606 g	16,7571 g	16,4378 g	15,6680 g
4	16,2117 g	16,7183 g	16,2355 g	15,5440 g
5	16,4630 g	16,7326 g	16,2600 g	15,9363 g
6	16,0768 g	16,8071 g	16,1820 g	15,7867 g
7	16,4735 g	16,4561 g	16,1403 g	15,8882 g
8	15, 9235 g	16,5541 g	16,1399 g	15,8609 g
9	16,3496 g	16,4255 g	16,0065 g	15,9267 g
10	16,6156 g	16,8611 g	16,1893 g	17,4898 g
Média	16,3380 g	16,6779 g	16,2764 g	15,9358 g

Fonte: Autoria própria.

A proporção ótima obtida para a confecção dos corpos foi de 3 para 1, 3 gramas do papel melamínico para 1 mililitro de água. Ao serem retirados do forno foi possível notar que os corpos de prova encolheram na compactação manual, apresentando aproximadamente 48 milímetros de lado e 9 milímetros de espessura. Com essas médias das massas e os valores das arestas, pode-se fazer o cálculo da densidade dos corpos de prova utilizando a Equação 2.

$$\rho = \frac{m}{b1*b2*e} * 10\text{^}6 \qquad (2)$$

Onde:

P – É a densidade em quilo grama por metro cubico (kg/m³);

m – É a massa em grama (g);

$b1$ e $b2$ – São as medidas dos lados em milímetro (mm);

e – É a espessura em milímetros (mm).

Na Tabela 3 tem-se os resultados da densidade.

Tabela 3 – Valores de densidade média.

	Compressão	Inchamento	Dureza	Flexão
Densidade média (kg/m³)	787,9050	804,2969	784,9344	768,5089

Fonte: Autoria própria.

A partir das análises dos dados de densidade e da Norma 15316-2:2015, pode-se classificar o material como MDF, pois sua densidade está entre 651 e 800 kg/m³.

6.2 ENSAIOS

6.2.1 Inchamento por 24 horas

Este ensaio foi realizado a fim de se observar a interação do material quando submerso em água, inchamento e absorção de liquido foram os pontos avaliados neste teste. Notou-se que ao colocar os corpos de prova na água bolhas de ar saíram dos mesmos, indicando possíveis microfissuras em seu interior, devido à falta de compressão na confecção, isso fez com que possivelmente mais água adentra-se nos corpos de prova.

Após 24 horas os corpos de prova foram retirados da água, com papel absorvente retirou-se o excesso de água para em seguida serem pesados. Na Tabela 4 estão os resultados obtidos.

Tabela 4 – Valores dos pesos úmidos.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso úmido em grama	21,864	21,370	21,041	20,789	20,667	20,572	20,152	19,714	19,351	20,586

Fonte: Autoria própria.

Pode-se notar uma alteração negativa e significativa no peso, das amostras conforme a sequência de corpos foram avançando, mostrando assim uma inconstância na absorção da água. Apesar do ensaio de inchamento ter demonstrado uma não alteração na espessura, não sendo possível a utilização da Equação 1 pois a espessura final era igual a espessura inicial, os corpos de prova absorveram bastante água, que conforme o passar do tempo foi sendo liberada na bancada.

6.2.2 Compressão

O ensaio de compressão foi realizado a fim de analisar seu comportamento quando pressionado, que tende a provocar um encurtamento ou ruptura do corpo submetido. Na Tabela 5 estão os resultados obtidos nesse ensaio.

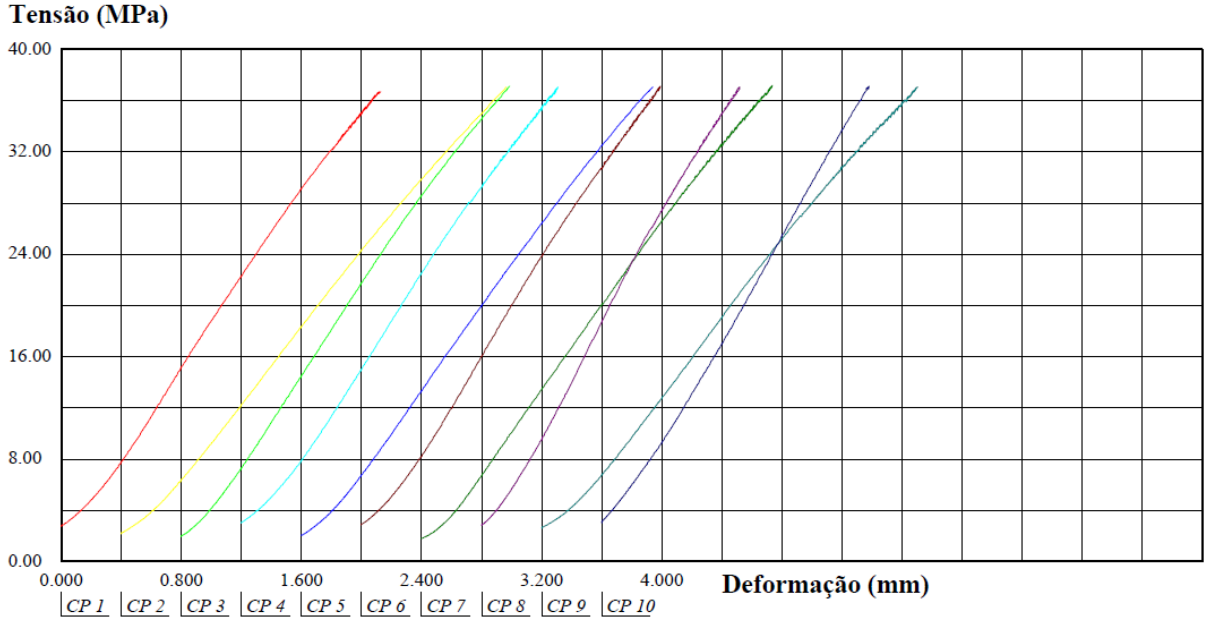
Tabela 5 – Resultados da compressão.

Número de corpos de prova	Média (N)	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
10	84050	294,9	0,3509

Fonte: Autoria própria.

O material apresentou característica não friável, mantendo sua forma enquanto a tensão era aumentada. Durante o experimento observou-se que a primeira trinca ocorreu em aproximadamente com uma tensão de 6000 N, mas o material continuou se comprimindo até o limite da máquina. A média da tensão obtida de 84050 N é equivalente a 36,48 MPa. Como visto na Figura 9 a seguir.

Figura 9 – Gráfico tensão x deformação do ensaio de compressão.



Fonte: Autoria própria.

6.2.3 Dureza

Neste teste cinco pontos aleatórios centrais foram avaliados em cada corpo de prova e tirado a média deles, apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados de dureza.

Amostra	Média
1	40
2	38,4
3	32,2
4	59,4
5	31
6	31
7	34,6
8	28,4
9	27,8
10	33,4

Fonte: Autoria própria.

Os resultados tiveram uma não similaridade devido heterogeneidade das partículas da “farinha de papel” e resina. Também levando em consideração os possíveis bolsões de ar existente devido à falta de compressão na hora do cozimento no forno.

6.2.4 Flexão

Utilizando-se de ensaio em três pontos, o esforço mecânico foi aplicado até que o corpo de prova fosse rompido. Na Tabela 7 estão os resultados obtidos.

Tabela 7 – Resultados de flexão.

Número de corpos de prova	Média (N/mm^2)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)
10	7,573	1,338	17,67

Fonte: Autoria própria.

O coeficiente de variação foi de 17,67% devido à falta de padronização dos corpos de prova, assim como o ensaio de dureza, porém é um valor relativamente baixo devido as circunstancias de fabricação.

O resultado do ensaio de flexão mostrou-se mediano pois de acordo com a Norma (Tabela 1) o mínimo aceitável para este ensaio é de 23 N/mm^2 enquanto o teste apresentou resultados de 7,573 N/mm^2.

7 CONCLUSÃO

Com a realização dos ensaios de compressão e de dureza foi possível observar uma resposta do material, resistindo a altas cargas de compressão sem perder seu formato, no primeiro e se mostrando bem rígido onde havia melhor compactação no segundo. Além da aparente pouca afinidade com água, demonstrada pela fácil perda de água no ensaio de inchamento. Enquanto que o ensaio de flexão não foi tão satisfatório, pois a força necessária para quebra-lo foi menor, comparando-se com o que a Norma pedia para o MDF.

Com base nesses dados pode-se comparar o Papel Melamínico com o MDF podendo ser reutilizado para confecção de outros produtos, tais como: Divisórias, blocos para calçamento, pastilhas de decoração interna, entre outros.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos - Classificação. 2 ed. Rio de Janeiro: [s.i.], 2004. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15316-2**: Painéis de fibras de média densidade Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. 4 ed. Rio de Janeiro, 2015. 78 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. Estudo Setorial 2004: Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. Curitiba, 2005.

BOM, R. P. **PROCESSO PRODUTIVO DE PAINÉIS**. 2008. 47 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Industrial de Madeira, Centro Universitário de União da Vitória, União da Vitória, 2008.

DE PAULA, C. Venda de painéis de madeira em 2018 crescem 2,9%. **Emobile**, 28 fev. 2019. Disponível em: < http://emobile.com.br/site/setor-moveleiro/vendas-de-paineis-de-madeira-em-2018-crescem/ Acesso em: 20 de maio de 2019.

DE PAULA, C. Brasil acumula US$ 91,5 milhões na exportação de móveis do primeiro bimestre. **Emobile**, 28 mar. 2019. Disponível em: < http://emobile.com.br/site/setor-moveleiro/exportacao-de-moveis-primeiro-bi-2019/> Acesso em: 20 de maio de 2019.

KATSUKAKE, A. **Uma revisão SOBRE resina Uréia-Formaldeído (R-UF) empregada na produção de Painéis de Madeira Reconstituída**. 2009. 61F. Monografia de Conclusão de Curso – UNESP – FC, Bauru.

LESSMANN, V. E. **ESTUDO DA REAÇÃO DE CURA DE RESINAS URÉIA-FORMOL POR ESPECTROMETRIA DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR.** 2008. 105 f. Dissertação (Pós-Graduação) - Curso de Química, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

MATTOS, R. L. G; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F.B. **Painéis de madeira no Brasil: Panorama e Perspectivas.** Produtos Florestais. 24 jan. 2019.

MONTEIRO, A. C. **Redução de perdas no processo de impregnação de papel utilizando ferramentas do Lean Manufacturing**. 2014, 40f. Monografia (Trabalho Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2014.

PAZETTO, V. M. F. **Efeito da espessura e do vão sobre deformação em flexão de painéis de madeira utilizados na produção de móveis.** Brasília: Universidade de Brasília, 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

REVISTA MADEIRA. **Origem e Evolução dos Painéis Estruturais**. São Carlos, n. 78, fev. 2004. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=488&subject=Pain%EF%BF%BDis&title=Origem%20e%20evolu%EF%BF%BD%EF%BF%BDo%20dos%20pain%EF%BF%BDis%20estruturais. Acesso em: 15 jun 2018.

ROSA, Sergio Eduardo Silveira da; CORREA, Abidack Raposo; LEMOS, Mario Luiz Freitas; BARROSO, Deise Vilela**. "O setor de móveis na atualidade: Uma análise preliminar".** BNDES Setorial, n. 25, mar. 2007.

SANTIAGO, F. L. S.. **ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA APROVEITAMENTO DE CASCAS DE EUCALYPTUS GERADOS NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA.** 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Unesp, Botucatu, 2007

SOLYON, G. J. P. **Minimização e Reaproveitamento de Resíduos de uma Industria de Tintas e Impressão de Papéis Decorativos**. Curitiba. Universidade Federal do Panamá, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Panamá, 2009.

VIEIRA, M. C.; BRITO, E. O.; GONÇALVES, F. G. Evolução econômica do painel compensado no Brasil e no mundo. **Floresta e Ambiente,** [s.l.], v. 19, n. 3, p.277-285, 2012. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.033.

WOOD MAGAZINE. **MEDIUM-DENSITY FIBERBOARD**. Online: [s.i.], 6 out. 2002. Disponível em: <http://www.woodmagazine.com/materials-guide/lumber/medium-density-fiberboard/>. Acesso em: 15 ago. 2017