

DIEGO VEIGA SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE
PAINÉIS OSB SUBMETIDOS A TRATAMENTO
TÉRMICO EM ESTUFA**

Itapeva - SP

2018

DIEGO VEIGA SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PAINÉIS
OSB SUBMETIDOS A TRATAMENTO TÉRMICO EM
ESTUFA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mes-
quita Filho” – Campus Experimental de Itapeva,
como requisito para a conclusão do curso de
Engenharia Industrial Madeireira

Orientador: Prof.^a Dr.^a Cristiane Inácio de Campos

Itapeva - SP

2018

S237c	Santos, Diego Veiga Caracterização físico-mecânica de painéis OSB submetidos a tratamento térmico em estufa / Diego Veiga Santos. -- Itapeva, 2018 50 f. : il. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Câmpus Experimental de Itapeva, Itapeva Orientadora: Cristiane Inácio de Campos 1. Painéis particulados. 2. Termorreificação. 3. Poliuretanas. 4. Pinus taeda. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Câmpus Experimental de Itapeva. Dados fornecidos pelo autor(a).

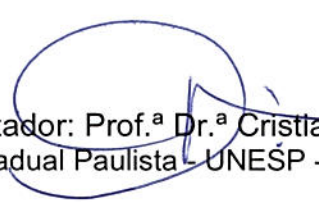
Essa ficha não pode ser modificada.

DIEGO VEIGA SANTOS

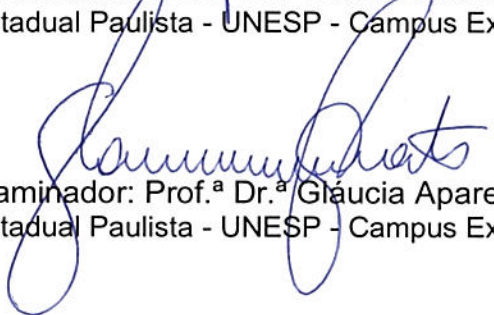
**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PAINÉIS OSB
SUBMETIDOS A TRATAMENTO TÉRMICO EM ESTUFA**

Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Industrial Madeireira, da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

BANCA EXAMINADORA


Orientador: Prof.ª Dr.ª Cristiane Inácio de Campos
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.


2º Examinador: Prof.ª Dr.ª Marília da Silva Bertolini
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.


3º Examinador: Prof.ª Dr.ª Gláucia Aparecida Prates
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

Itapeva, 23 de novembro de 2018.

*A minha mãe Marli, a minha namorada Emanuelle, todos meus familiares e em memória do meu
pai Valter e meu tio Vanderlei
Dedico*

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus.

A meus familiares pela paciência e ajuda.

A minha orientadora Prof^a. Dr. Cristiane por toda a ajuda, ensinamento, paciência, incentivos, amizade e auxílios durante todo esse período de graduação.

A minha namorada Emanuelle pela paciência, amor, companheirismo, ajuda e carinho.

Ao João Vitor pelos ensinamentos e ajuda.

Ao Juliano Brito, técnico responsável do Campus, por toda a paciência, ajuda, ensinamento.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto de Oliveira Mattos, pelos ensinamentos, ajuda.

Ao Prof. Dr. Bruno Santos Ferreira, pela ajuda e ensinamentos.

E a todos que contribuíram de alguma forma, direta ou indiretamente para a conclusão desse trabalho.

“Eu faço da dificuldade a minha motivação. A volta por cima, vem na continuação..”

Charlie Brown Jr.

Resumo

O painel de OSB é formado através de lascas dispostas em três camadas, sendo nas extremidades no sentido paralelo e no interior perpendicular à camada anterior. Utilizando *Pinus taeda* e a resina poliuretana à base de óleo de mamona foi produzido os painéis de OSB e o principal objetivo desse estudo foi comparar o efeito da termorretificação com quatro tratamentos diferentes, sendo eles, sem aplicação de termorretificação, termorretificação à 160, 180 e 200°C. Foi possível observa-se que dentre os tratamentos realizados o T3, com temperatura de termorretificação de 180°C, foi o que apresentou melhor classe de resistência para as propriedades físicas e menor redução das propriedades mecânicas frente ao tratamento T1 e mesmo com valores encontrados na literatura. Também apresentou um melhor desempenho dos painéis em contato com água, mostrando-se adequada a termorretificação.

Palavras-chave: OSB; Termorretificação; Poliuretano à base de óleo de mamona.

Abstract

The OSB panel is formed by strands arranged in three layers, with the external parallel and the interior perpendicular to the anterior layer. By using *Pinus taeda* and polyurethane resin based on castor oil, the OSB panels were produced and the main objective of this study was to compare the effect of thermal rectification with four different treatments, without the use of thermal rectification, thermal rectification 160, 180 and 200° C. It was possible to observe that among the treatments performed T3, with thermal rectification temperature of 180°C, was the one that presented the best class of resistance for the physical properties and smaller reduction of the mechanical properties against the treatment T1 and even with values found in the literature. It also presented a better performance of the panels in contact with water, proving suitable for thermal rectification.

Keywords: OSB. Thermal rectification. Polyurethane resin based on castor oil.

Lista de Figuras

Figura 1 – Consumo aparente Painéis de Madeira	20
Figura 2 – Painéis de Madeira	20
Figura 3 – Exportação brasileira Painéis de Madeira por destino	21
Figura 4 – Formação dos painéis de OSB	22
Figura 5 – Processo produtivo industrial do "OSB"	24
Figura 6 – Aplicações do OSB em construção civil	28
Figura 7 – Matéria prima utilizada	33
Figura 8 – Umidificação e geração das lascas	34
Figura 9 – Secagem do material	34
Figura 10 – Encoladeira.....	35
Figura 11 – Formação do painel	35
Figura 12 – Prensa hidráulica termo-mecânica	36
Figura 13 – Termorreificação em estufa.....	37
Figura 14 – Painéis esquadrejados.....	37

Lista de tabelas

Tabela 1 – Composição dos tipos de CCA (%).....	29
Tabela 2 – Composição CCB.....	29
Tabela 3 – Tratamentos a serem desenvolvidos	33
Tabela 4 – Resultados das propriedades físicas dos tratamentos realizados	42
Tabela 5 – Resultados das propriedades mecânicas dos tratamentos realizados.....	44

Lista de abreviaturas e siglas

MPa	Megapascal
MOR	Módulo de Ruptura
MOE	Módulo de Elasticidade
OSB	Oriented Strand Board
CCA	Arseniato de Cobre Cromatado
CCB	Borato de Cobre Cromatado
ACZA	Arsenato Amoniacal de Cobre e Zinco
ACQ	Quaternário de Cobre Amoniacal
TBTO	Óxido de tributilestanho
MDF	Medium Density Fiberboard
HDF	High Density Fiberboard
LVL	Laminated Venner Lumber
MDP	Medium Density Particleboard
MLC	Madeira Laminada Colada
OSL	Oriented Strand Lumber
MDI	Metileno difenil diisocianato
FF	Borato de Cobre Cromatado
MUF	Melamina-Ureia-Formaldeído
mm	Milímetros

Lista de símbolos

α	Letra alfa
----------	------------

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo Geral.....	18
2.2	Objetivos Específicos	18
3	REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1	Painéis à base de madeira	19
3.1.1	Classificação	19
3.1.2	Mercado	19
3.2	Oriented Strand Board (OSB).....	21
3.2.1	Definição e características do painel	21
3.2.2	Processo produtivo industrial do OSB.....	24
3.2.3	Aplicações para o OSB na construção civil em sistemas construtivos	27
3.3	Preservação da madeira	27
3.3.1	Preservação química.....	28
3.3.2	Termorretificação	30
3.4	Estudos de painéis à base de madeira submetidos a tratamentos térmicos	30
3.5	Considerações a respeito da Revisão de Literatura.....	31
4	MATERIAL E MÉTODO.....	32
4.1	Materiais.....	32
4.2	Métodos.....	32
4.2.1	Seccionamento das tábuas.....	33
4.2.2	Umidificação e geração das lascas.....	33
4.2.3	Secagem do material.....	34
4.2.4	Produção dos painéis	35
4.2.5	Termorretificação dos painéis	36
4.2.6	Confecção das amostras	37
4.2.7	Realização dos ensaios físicos e mecânicos	37
4.2.7.1	Densidade aparente - EN 323:1993	38
4.2.7.2	Teor de umidade - EN 322:1993.....	38
4.2.7.3	Inchamento por imersão em água - EN 317:1993	38
4.2.7.4	Arrancamento de Parafuso - EN 320:2011	39
4.2.7.5	Flexão Estática - EN 310:1993	39
4.2.7.6	Flexão Estática - EN 310:1993 e ASTM D 198-09.....	40

Sumário

4.2.7.7	Tração perpendicular - EN 319:1993.....	41
4.3	Análise Estatística	41
5	RESULTADOS.....	42
5.1	Ensaios Físicos.....	42
5.1.1	Densidade Aparente.....	42
5.1.2	Teor de umidade.....	43
5.1.3	Inchamento por imersão em água	43
5.2	Ensaios Mecânicos	44
5.2.1	Flexão Estática para determinação de MOE e MOR.....	44
5.2.2	Adesão interna	45
5.2.3	Arrancamento de parafuso face	45
6	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS.....	47

1 Introdução

No Brasil a fabricação de painéis de madeira reconstituída através de árvores plantadas apresenta destaque pela rapidez do crescimento e, também, pelas propriedades mais adequadas para a fabricação destes materiais. Espécies de madeira de Pinus e o Eucalipto são as mais utilizadas por possuírem propriedades adequadas para a fabricação dos painéis quando comparadas com as demais espécies, garantindo características ideais para a fabricação como a razão de compactação.

O país apresenta destaque no segmento madeireiro e, neste contexto, insere-se a indústria de painéis justamente pelo alto investimento em tecnologia e processos produtivos, além das melhores práticas e operações florestais. Além disso, o país possui condições climáticas que favorecem o rápido crescimento das árvores, podendo ser aproveitadas a partir de 7 anos, enquanto na Europa, por exemplo, levariam em torno de 30 anos.

As chapas de partículas de madeira aglomerada, surgiram na Alemanha, no início dos anos de 1940, como uma forma de utilização dos resíduos da madeira. Após a 2ª Guerra Mundial, retomou o processo de desenvolvimento com aperfeiçoamentos de equipamentos e processos produtivos em geral. A partir dos anos de 1960, houve uma grande expansão em relação a indústria e avanços tecnológicos, que assim deram início as chapas do tipo *waferboard* e, uma segunda geração que foi o OSB, isso na década de 1970, chegando ao Brasil apenas final da década de 1990.

Em paralelo a isso, observa-se que a construção civil é um segmento industrial que ainda necessita de maior industrialização, de modo a racionalizar e agilizar o processo produtivo, como acontece em outros segmentos industriais. Ressalta-se que sistemas construtivos que empregam a madeira e produtos engenheirados de madeira são bastante comuns na América do Norte, sendo que aproximadamente 90% das habitações unifamiliares utilizam a madeira como material de construção (APA, 2011). Isto pode ser justificado especialmente pela rapidez e limpeza durante a execução, elevado desempenho termo-acústico além de custo competitivo apresentado por este material.

Os sistemas construtivos mais utilizados atualmente e que se enquadram nesse perfil de industrialização são o *Wood Frame* e o *Steel Frame* que apresentam como principal característica a utilização de chapas de madeira. As chapas são utilizadas como elementos de fechamento e travamento de paredes, além do uso como elementos de pisos e coberturas. Dentre os painéis mais adequados para essa utilização destacam-se as chapas de madeira compensada, painel composto por lâminas dispostas de forma defasada em 90° e o OSB (*Oriented Strand Board*), painel composto por lascas de madeira também orientadas em camadas defasadas em 90°. Estas duas chapas apresentam elevada resistência mecânica, sendo a segunda mais adequada e compatível

com as exigências desses dois sistemas construtivos citados anteriormente.

Como destacado anteriormente os painéis à base de madeira, especialmente o compensado e o OSB, tem apresentado crescente aplicação, principalmente, na construção civil, com aplicação em sistemas construtivos leves. No entanto, para garantir durabilidade compatível com os materiais tradicionalmente utilizados é necessário que se realize um tratamento preservativo nestes painéis, para evitar a biodeterioração, provocada por fungos ou insetos, muito comuns em países tropicais como o Brasil.

O tratamento da madeira tem por objetivo proteger contra-ataques de organismos deterioradores, aumentando sua durabilidade. Usualmente, o tratamento químico é o mais utilizado, no entanto, por questões ambientais torna-se inadequado. Os tratamentos de madeira mais conhecidos mundialmente são o: CCA (arsenato de cobre cromatado) e o CCB (borato de cobre cromatado), os quais causam impacto ambiental quando descartados. Atualmente, surgem métodos alternativos de preservação da madeira onde pode-se destacar a termorreificação, que proporciona mudanças química na madeira tornando-a mais protegida em contato com água e ao ataque de agentes xilófagos. Associado a um tratamento térmico mais sustentável surgem alternativas no mercado comercial de adesivos com produtos menos agressivos ao homem e ao meio ambiente, como é o caso das resinas poliuretanas à base de óleo de mamona.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi a caracterização físico-mecânica de painéis OSB produzidos com madeira de *Pinus taeda* submetida a tratamento térmico e com uso de resina poliuretana à base de óleo de mamona.

2.2 Objetivos Específicos

- (a) Termorretificar em estufa os painéis OSB de Pinus nas temperaturas de 160, 180 e 200°C;
- (b) Caracterizar fisicamente os painéis OSB a partir de documentos normativos específicos para determinação de: densidade, teor de umidade, inchamento;
- (c) Caracterizar mecanicamente os painéis OSB a partir de documentos normativos específicos para determinação de: módulo de elasticidade e módulo de ruptura na flexão estática, tração perpendicular e arrancamento de parafuso;
- (d) Analisar os resultados com base em especificações normativas e trabalhos recentes correlatos encontrados na literatura.

3 Revisão de Literatura

3.1 Painéis à base de madeira

Os painéis à base de madeira são estruturas fabricadas através de lâminas ou em diferentes tamanhos de fragmentação sendo unidas pela ação de pressão, temperatura e da utilização de resinas (MATTOS; GONÇALVES; LACERDA, 2008). A principal vantagem desse tipo de produto é dada através da substituição da escassa madeira maciça em diversos tipos de aplicações, sendo eles: em pisos, móveis, portas e rodapés (BIAZUS; HORA; LEITE, 2010).

3.1.1 Classificação

Os painéis à base de madeira têm apresentado crescente desenvolvimento, principalmente no final do século XX. Acompanhando esse desenvolvimento, e a crescente demanda por tais produtos, a indústria madeireira vem cada vez mais desenvolvendo tecnologias para o uso mais eficiente da madeira a partir de árvores de menores dimensões (AMERICAN FOREST AND PAPER ASSOCIATION, 2006).

Os produtos derivados da madeira são formados pelos laminados (Compensado e LVL(Laminated Vanner Lumber)), as chapas de partículas, OSB(Oriented Strand Board) e MDP(Medium Density Particleboard), as chapas de fibras, MDF(Medium Density Fiberboard), a MLC(Madeira Laminada Colada) e o OSL(Oriented Strand Lumber) (FERRO, 2013).

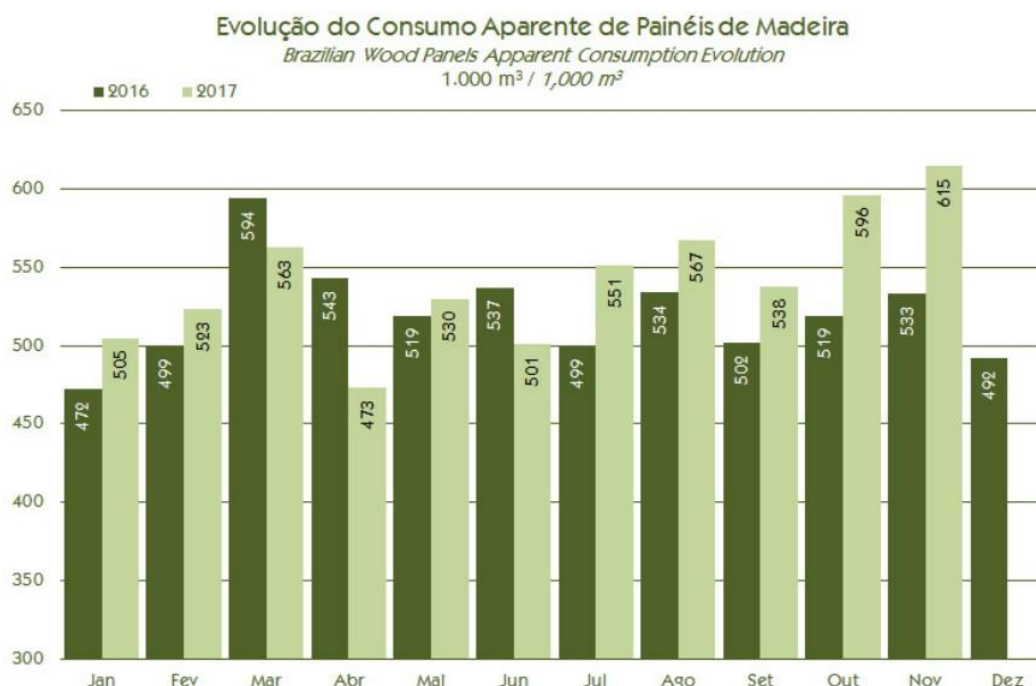
3.1.2 Mercado

A indústria de painéis tem crescido ao longo dos anos, sendo ela de grande importância para a economia brasileira, tendo em vista o dinamismo de novas tecnologias e tudo isso influencia também na geração de emprego tanto nos setores moveleiros, quanto na construção civil (VIEIRA; BRITO; GONÇALVES, 2012)

Segundo dados da Ibá (2017), demonstrados na figura 1 e 2, o consumo aparente de painéis de madeira apresentou uma evolução entre os meses de setembro, outubro e novembro. Os aumento nos números vêm desde julho e agosto, chegando a 567 mil metros cúbicos em agosto, tendo uma pequena decaída em setembro atingindo a marca de 538 mil metros cúbicos e teve um aumento de 77 mil metros cúbicos para o mês de novembro.

Já comparando o mês de novembro de 2016, o consumo aparente de painéis teve uma variação positiva (15,4%). As vendas domésticas também apresentaram uma variação positiva (15,2%). Neste período foram consumidos 533 mil metros cúbicos, enquanto no mesmo mês deste ano, foram registrados 615 mil metros cúbicos consumidos.

Figura 1 – Consumo aparente Painéis de Madeira



Fonte – (IBÁ, 2017)

Figura 2 – Painéis de Madeira

Painéis de Madeira / Wood Panels
 1.000 m³ / 1,000 m³

Painéis de Madeira / Wood Panels	Nov / Nov			Jan-Nov / Jan-Nov		
	2016	2017	Var. %	2016	2017	Var. %
Vendas Domésticas / Domestic Sales	533	614	15,2	5.746	5.958	3,7
Exportações / Export (1)	101	102	1,0	932	1.177	26,3
Importações / Import (1)	0	1	-	5	4	-20,0
Consumo Aparente / Apparent Consumption	533	615	15,4	5.751	5.962	3,7

Fonte – (IBÁ, 2017)

Observando a Figura 2 é possível concluir que a evolução do consumo aparente de painéis cresce cada vez mais, isso é a influência da tecnologia que melhora ao longo dos anos se tornando competitivo em relação a outros setores assim elevando as empresas associadas no mais elevado patamar de ciência, tecnologia e responsabilidade socioambiental, na busca por soluções inovadoras para o mercado brasileiro e global (IBÁ, 2017).

Como demonstrado na figura 3, para a presidente da Indústria Brasileira de Árvores a

América Latina passa por um grande sucesso em relação aos painéis de madeira. A produção tem crescido, as vendas domésticas têm atendido à demanda, e as exportações têm aumentado de maneira convincente e com isso vem a satisfação de observar que a indústria brasileira é competitiva no mercado internacional, atendendo os critérios exigidos e atingindo níveis tão importantes se destacando na balança comercial e engrandecendo o nome do nosso país (IBÁ, 2017).

Figura 3 – Exportação brasileira Painéis de Madeira por destino

Exportações Brasileiras de Painéis de Madeira por Destino - US\$ Milhões FOB
Brazilian Wood Panel Export by Destination - US\$ Million FOB

Destino / Destination	Jan-Nov / Jan-Nov		
	2016	2017	Var. %
América Latina / Latin America	121	139	14,9
Europa / Europe	7	5	-28,6
América do Norte / North America	59	63	6,8
África / Africa	12	13	8,3
Ásia/Oceania / Asia /Oceania	24	44	83,3
China / China	1	2	100,0
Total / Total	224	266	18,8

Fonte – (IBÁ, 2017)

3.2 Oriented Strand Board (OSB)

3.2.1 Definição e características do painel

O *Oriented Strand Board* (OSB) é formado através de tiras ou lascas de madeiras orientadas perpendicularmente entre as camadas existentes (VIDAL; HORA, 2014).

Essa ideia é reforçada segundo Carvalho et al. (2015) no qual o Oriented Strand Board (OSB) é formado por partículas do tipo "Strand" dispostas entre si através de três camadas cruzadas, no qual aumenta sua resistência na direção longitudinal e transversal, além de melhorar a estabilidade dimensional do painel.

Para Iwakiri et al. (2005) painel de partículas orientadas é um painel estrutural produzido com partículas grandes de madeira, com a adição de uma resina sintética, incorporado através de prensagem à quente.

Conforme pode ser observado na figura 4 demonstrando os dois tipos de orientação das partículas internas dos painéis de OSB.

As lascas que são produzidas possuem dimensões de aproximadamente 25mm de largura, 90 a 150mm de comprimento e 0,50 a 0,75mm de espessura. A geometria das partículas,

Figura 4 – Formação dos painéis de OSB



(a) Painel com partículas internas distribuídas aleatoriamente
(b) Painel com partículas internas de forma orientadas

Fonte – (SBA, 2005)

orientação e formação das camadas que são externo/interno/externo fazem com que o OSB possua maior resistência e estabilidade dimensional, quando comparadas, com o *waferboard* por exemplo (IWAKIRI et al., 2005).

O início do desenvolvimento dos painéis de OSB (Oriented Strand Board) se deu na década de 70 nos Estados Unidos. Dez anos depois houve um grande progresso nas indústrias de OSB nos Estados Unidos, Canadá e Europa (IWAKIRI et al., 2005). Somente no fim da década de 90 os painéis reconstituídos, principalmente os particulados tomaram conta do mercado nacional. Estes painéis por sua vez apresentaram um maior desenvolvimento, em relação a produtividade e novas tecnologias para formação de novos produtos, assim disponibilizado no mercado o MDF (Medium Density Fiberboard - Chapas de fibras de média densidade) e o OSB (Oriented Strand Board - Chapas de partículas orientadas), esses por sua vez trouxeram diversas alternativas de fabricação (MENDES et al., 2015).

Os painéis de "OSB" têm ganhado espaço em diversas aplicações, devido a fatores como por exemplo: (1) redução da necessidade de toras de alta qualidade para laminação; (2) o "OSB" pode ser produzido a partir de toras com qualidade inferior e de espécies abaixo do valor comercial; (3) o comprimento dos painéis "OSB" é definido em sua tecnologia abordada na produção e não do tamanho das toras (IWAKIRI et al., 2005).

Piva (2007) destaca que a principal aplicação do OSB é na indústria de construção civil, pois possui características físicas e mecânicas para fins estruturais, podendo ser empregados em vigas, pisos, forros, paredes, batentes de porta, estruturas de estofados, painéis decorativos e embalagens industriais.

Segundo a norma europeia EN 300 (2006) os painéis de OSB podem ser classificados em:

OSB/1: Painéis para uso geral sem capacidade de carga e painéis componentes interiores utilizados em ambientes secos.

OSB/2: Painéis para fins estruturais para uso em ambientes secos.

OSB/3: Painéis para fins estruturais para uso em ambientes úmidos.

OSB/4: Painéis especiais para fins estruturais utilizados em ambientes úmidos.

No que se diz respeito aos painéis, uma de suas importâncias para a produção, é o adesivo utilizado para tal.

Segundo Iwakiri et al. (2005) a primeira resina sintética desenvolvida foi a fenol-formaldeído em 1929, seguida da ureia-formaldeído em 1931, a melamina-formaldeído no início dos anos 1940 e a resorcina-formaldeído em 1943.

Os adesivos comumente utilizados são os à base de formaldeído, como a ureia-formaldeído, geralmente empregados para escala industrial de painéis. Segundo Silva (2012) a resina ureia-formaldeído é um insumo de fonte não renovável, e seus impactos ambientais são significativos na produção de painel, vindo a necessidade da busca de alternativas para os adesivos.

Para a WPIF (2014) os três tipos de adesivos mais utilizados para produção de OSB são: fenol-formaldeído (FF), isocianatos (MDI) e melamina-ureia-formaldeído (MUF).

A maioria das produtoras de OSB da América do Norte utilizam fenol-formaldeído (FF) como adesivo principal. Sendo utilizada também a isocianato (MDI) porém, como seu custo é superior, utiliza-se apenas em painéis que exigem melhor qualidade, como pisos e vigas I (SPELTER; MCKEEVER; ALDERMAN, 2006).

No Brasil a empresa que produz OSB, LP Brasil no mercado desde 2008 e com uma capacidade produtiva de 350 mil m³ anuais, são utilizadas apenas madeiras de reflorestamento (Pinus) com utilização de resinas de última geração (MDI) assegurando ao produto uma alta coesão e resistência (BRASIL, 2018).

Conforme destacado por Chipanski (2013) a resina do tipo ureia-formaldeído, mundialmente utilizada, é um produto tóxico e cancerígeno. Sendo elas de origem não renováveis conforme citado acima, onde ocorre a viabilidade da utilização de resinas à base natural.

Sobre as resinas sintéticas, elas são produzidas por um processo de condensação. Cerca de 90% da produção de painéis que utilizam resinas ureia-formol, sendo elas mais baratas em custo e por possuir uma rápida reação, através da prensa a quente. Não sendo produzidas com boa resistência para ambientes externos. Posto isso, as resinas fenol-formol são as mais adequadas para esta aplicação. As resinas melamina-formaldeído são superiores à ureia-formaldeído, mas não alcançam a performance das resinas fenol formaldeído para esta aplicação (CHIPANSKI, 2013).

De acordo com Dias e Lahr (2008) a resina a base de ureia-formaldeído possui dois problemas quanto a sua utilização: ela perde resistência quando atua sob umidade por um tempo curto, e na prensagem ocorre a manifestação de vapor de formaldeído, tornando sua utilização um pouco problemática, devido a critérios rigorosos de controle ambiental em alguns países. Já a resina à base de fenol-formaldeído, ela é derivada do petróleo e possui um alto custo, restringindo

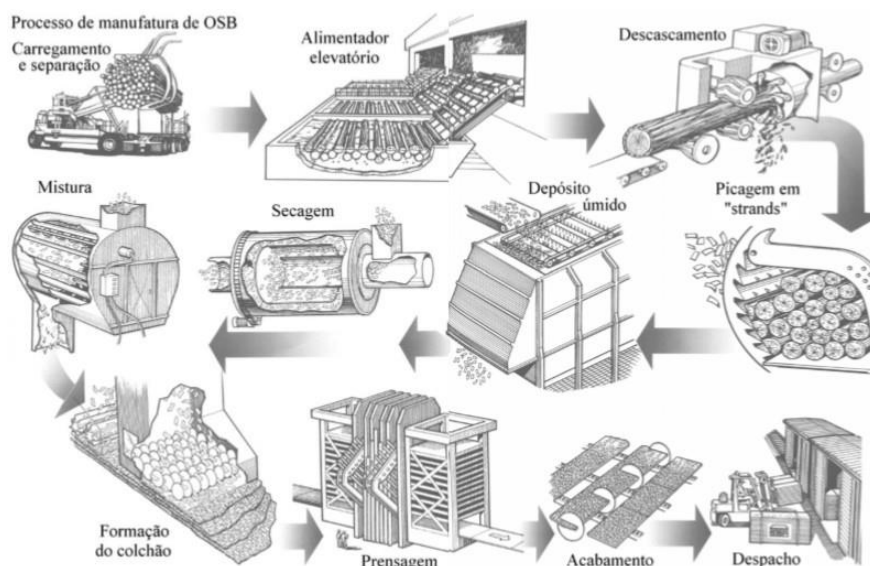
suas aplicações nos painéis com ela produzida.

Para isso viu-se a necessidade de substituição dessas resinas tradicionais, tendo com base matéria prima de fontes renováveis e que cause menos impactos ambientais. Uma resina alternativa proveniente de recurso natural e renovável, é a poliuretana à base de mamona, sendo classificada como impermeável, apresenta característica de ser menos agressiva tanto ao meio ambiente, quanto ao ser humano, sendo provinda de tecnologia brasileira. Esta resina foi desenvolvida no Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo. Seu processo de cura ocorre com temperatura ambiente, porém, ela pode ser acelerada com temperaturas de 60 a 90°C (DIAS; LAHR, 2008).

3.2.2 Processo produtivo industrial do OSB

De acordo com Iwakiri et al. (2005) o processo produtivo industrial de painéis de "OSB" é composto das seguintes etapas: conversão e condicionamento das toras; descascamento das toras; geração das partículas "strand"; armazenamento das partículas úmidas; secagem das partículas; classificação das partículas; aplicação do adesivo e de aditivos químicos; formação do colchão; pré-prensagem e prensagem a quente; acabamento dos painéis. De acordo com o apresentado na figura 5.

Figura 5 – Processo produtivo industrial do "OSB"



Fonte – (MENDES, 2001)

Conversão das toras e condicionamento: Os troncos são seccionados em toras e retidos em tanques de água quente. Esse processo dispõe-se em amolecer a madeira afim de que o consumo de energia seja o mínimo na operação dos picadores.

As condições de acondicionamento variam muito entre as indústrias e do período climático. O tempo médio para o acondicionamento pode variar de 3 a 15 horas e temperaturas de 30 a 70°C.

Descascamento: Nesse processo a casca é removida das toras para que sejam transformadas em partículas, tendo em vista a inviabilidade das cascas na produção de "OSB". Essa operação é realizada com descascadores do tipo tambor ou anel, e a casca retirada das toras é utilizada como energia térmica.

Geração de partículas: Essa etapa é considerada como uma das mais importantes do processo de produção dos painéis de "OSB" sendo relacionado com o controle da geometria de partículas, as quais são produzidas com dimensões em torno de 25mm de largura, 90 a 150mm de comprimento e 0,50 a 0,75mm de espessura.

Para que ocorra a geração de partículas são utilizados picadores que variam entre o tipo "cilindro" ou "disco", para garantir a qualidade das partículas é recomendado que ocorra a troca das facas em até 8 horas de uso do equipamento, dependendo da espécie utilizada e da estação do ano.

Como ocorre a diferenciação nas dimensões das partículas que compõe as camadas externas e internas do painel, os ajustes são necessários ou até a utilização de diferentes tipos de picadores.

Armazenagem das partículas úmidas: São utilizados silos para a armazenagem das partículas úmidas, em função do processo são necessários silos separados para camadas externas e internas permitindo uma produção contínua e controle dos secadores. Eles são mecanismos de transporte para os secadores, de forma que o tempo de retenção sejam iguais para as partículas.

Secagem das partículas: As partículas úmidas podem chegar a ter umidades acima de 100%, e esse material passa pelo processo de secagem até o teor de umidade chegar à 3%, dependendo do tipo de resina a ser utilizada. Essa parte do processo é de suma importância, principalmente na fase de prensagem dos painéis. Teores de umidade elevados, podem gerar alta pressão interna de vapor, fazendo com que ocorram a formação de bolhas no painel.

São utilizados geralmente três tipos de secadores nas indústrias de "OSB", tais como: secador de tambor rotativo de três passagens; secador de tambor rotativo de uma passagem; e secador tipo transportadores, sendo o primeiro descrito acima como o mais utilizado.

Os secadores de três passagens atingem temperatura de até 850°C, resultando em uma alta emissão de compostos orgânicos voláteis, podendo até ocorrer incêndios e degradação da madeira. No entanto, os secadores de uma passagem, opera com temperaturas menores, com baixas possibilidades de ocorrência dos riscos citados acima, sendo uma boa alternativa de utilização. As indústrias normalmente operam com secadores diferentes para as partículas da camada externa e internas, possibilitando o uso de partículas com diferentes teores de umidade.

Classificação das partículas: A classificação das partículas é realizada após a secagem, através de peneiras, com o intuito de remover as partículas finas antes da aplicação do adesivo. Esse processo é importante para as partículas maiores destinadas à camada externa, afim de melhorar as propriedades de flexão estática.

As partículas mais finas são utilizadas para a geração de energia térmica, sendo em alguns casos relativamente aplicadas na camada interna, melhorando assim as propriedades de ligação interna.

Aplicação do adesivo e dos aditivos químicos: Os adesivos utilizados para a produção do “OSB” podem ser fenol-formaldeído ou isocianato (MDI – Metileno difenil diisocianato). A emulsão de parafina é adicionada em uma quantidade de aproximadamente 1%, com o objetivo de minimizar a higroscopicidade da madeira melhorando a estabilidade dimensional dos painéis. O equipamento chamado encoladeira tem a função de movimentar as partículas e aplicar o adesivo, sendo sua entrada de partículas na parte superior e a saída delas na parte inferior.

Para a aplicação do adesivo na forma líquida, a encoladeira é composta internamente de discos atomizadores, fazendo com que ocorra uma movimentação assim as partículas e a aplicação do adesivo aconteçam simultaneamente, garantindo uma melhor homogeneidade de distribuição. Para a resina em pó, são utilizadas linhas de sopro. Já a parafina é aplicada com atomizadores a ar ou discos rotativos.

Formação do colchão: A formação do colchão é dada através da disposição das partículas sobre uma esteira móvel, o qual passa pelo processo de orientação das partículas tanto da camada externa como da camada interna, fatores que são importantes para a estabilidade dimensional e flexão do painel.

Esse processo de formação consiste na realização de três estações formadoras, sendo cada uma para a formação dos colchões. A primeira estação formadora coloca as partículas em sentido paralelo à linha de formação do colchão. As partículas são distribuídas através de discos rotativos, contendo espaços estreitos entre si, assim realizando a orientação destas partículas. A próxima camada é formada em uma orientação de 90° em relação a camada anterior. A terceira camada é formada acima da camada interna como descrito anteriormente.

A orientação das camadas externas tem uma grande influência nas propriedades de flexão estática dos painéis. Outro ponto a se destacar é a abertura entre os discos rotativos, a altura da queda livre das partículas e a largura das partículas, sendo eles fatores determinantes na orientação das partículas.

Prensagem dos painéis: A prensagem a quente consiste basicamente na: consolidação do colchão de partículas “strand” no painel com a espessura desejada; polimerização e cura do adesivo com o intuito de unir as partículas; e a estabilização do painel, através do calor, para manter a espessura e densidade já atingida. Nessa etapa existem vários fatores que são determinantes sobre as propriedades mecânicas das chapas, tais como: o tempo de fechamento

da prensa, a distribuição da umidade do colchão e a velocidade de cura da resina. Normalmente nas indústrias de painéis de “OSB” são utilizadas prensas múltiplas de 12 a 16 aberturas. A temperatura de prensagem é ajustada entre um intervalo de 200°C a 220°C. O tempo de prensagem varia de acordo com a espessura do painel e o tipo de adesivo utilizado, sendo em geral entre 3 a 6 minutos. A máxima pressão aplicada na prensagem pode atingir até 750psi (5MPa).

Acabamento dos painéis: Após a realização da prensagem, os painéis são sujeitos às operações de esquadrejamento nas dimensões desejadas, através de serras circulares em série. Por fim, são classificados, embalados e levados para o envio.

3.2.3 Aplicações para o OSB na construção civil em sistemas construtivos

As aplicações dos painéis OSB são principalmente utilizados no mercado da construção civil, devido às suas características físicas e mecânicas, mais elevadas quando comparadas às de outros painéis, que permitem seu uso para fins estruturais. Além disso, painéis OSB podem ser empregados em pisos, forros, tetos, paredes, vigas, formas de concreto, batentes de porta, decks, etc.

O painel de OSB pode substituir facilmente os tradicionais de partículas e compensados em quase todos seus usos. Incluindo as construções civil de um modo geral conforme ilustrado na figura 6.

Para Mendes (2013) as vantagens de utilização do OSB para construção civil são principalmente: o baixo impacto ambiental causado devido a autosuficiência das indústrias na produção de energia para utilização própria e serem equipadas adequadamente para controlar as especificações de poluição de ar; utilização de árvores de rápido crescimento e baixo valor comercial, comparado ao compensado e também por sua resistência não ser afetada pela umidade, sendo assim, a possibilidade de sua exposição ao ambiente.

3.3 Preservação da madeira

Brazolin et al. (2013) definem a preservação de madeira como um conjunto de medidas preventivas e curativas para controle de agentes biológicos, físicos e químicos que afetam as propriedades da madeira, fazendo com sua resistência diminua gradativamente.

A preservação da madeira teve origem aos primórdios nas civilizações egípcia e chinesa. No século X a.C. já havia uma preocupação com o tratamento da madeira, a fim de evitar a biodegradação. No começo do século XIX, ocorreu um enorme consumo de madeira para construção e reparo de barcos dos impérios coloniais, a ausência de espécies que eram duráveis, obrigou a utilização de espécies menos resistentes, assim aumentando os problemas com a biodegradação (ESTEVES, 2016).

Figura 6 – Aplicações do OSB em construção civil



Fonte – Adaptado de (BRASIL, 2018)

Com o surgimento da era moderna da preservação foram feitos vários estudos sobre o assunto, dentre eles o trabalho de Moll que, em 1836, patenteou o uso do creosoto na preservação de madeiras e de Jonh Bethell que, em 1838, desenvolveu um processo de preservantes na madeira, chamado de célula-cheia, que consiste na utilização de um sistema de pressão, método ainda utilizado nos dias de hoje (ESTEVES, 2016).

Os preservantes hidrossolúveis de maior importância são: o cromato de cobre ácido (1928), arsenato amoniacal de cobre (ACA), arsenato amoniacal de cobre e zinco (ACZA), arseniato de cobre cromatado (CCA), cloreto de zinco cromado, compostos quaternários de amônio (AAC) e boro inorgânico. Esses preservantes representavam, em 1993, cerca de 80% do mercado, acompanhado do creosoto 15% e os oleossolúveis com 6% (ESTEVES, 2016).

Segundo Bigelow et al. (2007) é destacado que o objetivo da utilização dos preservantes é principalmente a proteção da madeira ao ataque de organismos deterioradores.

3.3.1 Preservação química

Na sua grande maioria, os tratamentos preservativos são feitos com produtos químicos, divididos em dois grupos principais: os óleos-solúveis, como o creosoto, o naftenato de cobre, o

quinolinolato de cobre 8 e o óxido de tributilestanho (TBTO) e os solúveis em água, como o Arseniato de Cobre Cromatado (CCA), o Quaternário de Cobre Amoniacal (ACQ) e o Borato de Cobre Cromatado (CCB).

Os preservantes hidrossolúveis são os mais utilizados para esse fim e são compostos por uma associação de vários sais, em que as substâncias químicas existentes possuem ação inseticida e fungicida (FERRARINI et al., 2012).

Existindo três tipos de formulações diferentes para o CCA sendo eles: Tipo A,B e C, diferindo-se principalmente nos teores de cromo e arsênio, como pode ser visto na tabela 1. Sendo o do tipo C mais utilizado por apresentar melhor resistência a lixiviação e desempenho em campo (MORESCHI, 2011).

Do ponto de vista comercial, a associação de sais presentes no CCA é uma boa alternativa para a proteção da madeira, aumentando sua durabilidade. No entanto, no que diz respeito ao meio ambiente e ao homem sua utilização há uma contestação devido a seu alto índice de toxicidade apresentado, em alguns países havendo restrição em relação ao seu uso. Outro ponto a se destacar é a disposição final dos resíduos gerados após o fim de sua vida útil, isso é dado por serem considerados perigosos (FERRARINI et al., 2012).

Tabela 1 – Composição dos tipos de CCA (%)

Componentes	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Cromo como CrO_3	65,5	35,3	47,5
Cobre como CuO	18,1	19,6	18,5
Arsênio como As_2O_5	16,4	45,1	34,0

Fonte – (MORESCHI, 2011)

O CCB é um preservativo também hidrossolúvel à base de cobre, cromo e boro. Surgiu com o objetivo de substituir o CCA, que é considerado tóxico devido a presença de arsênio, sendo ele substituído pelo boro (MORESCHI, 2011). A tabela 2 descreve a quantidade e a composição do CCB.

Tabela 2 – Composição CCB

Compostos	Porcentagem
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	35,8
H_3BO_3	22,4
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	38,5
NaHSO_4	2,1

Fonte – (MORESCHI, 2011)

Além da diferença na composição do produto, com a utilização do CCB há uma considerável perda na resistência da lixiviação e na eficiência da proteção à insetos, principalmente se a madeira for utilizada por longos prazos (MORESCHI, 2011).

3.3.2 Termorreificação

A modificação das propriedades da madeira é um dos objetivos a serem alcançados por profissionais da área. Já existem muitos tratamentos de madeira conhecidos mundialmente, sendo o CCA e o CCB os mais utilizados, porém é necessário que esses tratamentos, além de eficazes sejam sustentáveis e não utilizem produtos químicos poluentes. Sendo assim, a termorreificação da madeira mostra-se como uma alternativa aos demais tratamentos anteriormente descritos, visto que apresenta uma característica mais econômica e eficiente quanto a modificação das propriedades físicas e mecânicas (SOARES; DE, 2013).

Para Menezzi (2004) o tratamento térmico é muito empregado na Europa, com o objetivo principal de melhorar a estabilidade dimensional do painel e aumentar sua resistência biológica a fim de evitar organismos xilófagos.

Em nível industrial o tratamento térmico é empregado principalmente em painéis de fibra (MDF, HDF), no entanto, nas indústrias de aglomerados de partículas, a eficiência da alteração tecnológica de produção requer um investimento maior a ser feito, fazendo com que sua relação custo-benefício não seja viável (MENEZZI, 2004).

Segundo Brito (1992) o tratamento por termorreificação tem como base a pirólise, na qual pode ser definida como o fenômeno que degrada a madeira, por meio da ação de calor, na ausência de agentes oxidantes ou de catalizadores, isto posto, sem que haja combustão. A termorreificação geralmente é efetuada em temperaturas abaixo de 280°C com o objetivo de promover alterações químicas, assim obtendo um material com características diferenciadas, comparadas à madeira em condições normais; tais como: menor higroscopicidade, maior estabilidade dimensional e resistência biológica (MODES et al., 2010).

3.4 Estudos de painéis à base de madeira submetidos a tratamentos térmicos

Existem duas formas de aplicar o tratamento térmico que alteram algumas propriedades físicas dos painéis de madeira, sendo eles: o pré-tratamento e pós-tratamento. A diferença entre esses tratamentos deve-se ao fato de que o pré-tratamento é efetuada sobre a matéria prima, no caso, as partículas. Já o pós-tratamento, é sobre o painel já consolidado (MENEZZI, 2004).

Andrade et al. (2014) em seu estudo feito termorreificação nas respectivas temperaturas: 180, 200 e 220°C. Utilizando resíduos de embalagens de *Pinus sp.* e ureia-formaldeído como adesivo. Fez-se um pré-tratamento, que é o tratamento das partículas antes mesmo da consolidação do painel, e pôde-se concluir que o pré-tratamento reduz tanto a adsorção quanto a absorção de água, melhorando assim a estabilidade dimensional dos painéis, podendo também ocorrer uma diminuição nas propriedades mecânicas do mesmo, no entanto, suas propriedades físicas e resistência à tração perpendicular foram maiores com a termorreificação acima de 200°C.

Brito (2013) utilizou bagaço de cana-de-açúcar e bambu para produção de painéis de partículas de média densidade (MDP) com resina à base de ureia-formaldeído. Observou-se que o tratamento térmico das partículas ocasionou na redução da resistência mecânica das chapas para diversas propriedades, não atendendo as especificações mínimas exigidas pela norma.

Mendes (2010) avaliou o efeito do pré-tratamento, efetuado nas partículas e o pós-tratamento efetuado sobre o painel já consolidado, com uma temperatura de 200 e 240°C para o pré-tratamento e 220°C para o pós-tratamento utilizando o adesivo fenol-formaldeído. Apresentou um resultado satisfatório com o pré-tratamento melhorando sua estabilidade dimensional. Contudo, o pós-tratamento térmico promoveu melhorias significativas nas propriedades físicas dos painéis sem afetar as propriedades mecânicas.

Santos et al. (2009) avaliaram o efeito do pós-tratamento nos painéis de OSB com a utilização do fenol-formaldeído e com temperaturas de 190 e 220°C, em três diferentes níveis de tempo (12, 16, 20 minutos). Os resultados indicaram que não houveram diferença em relação ao painel tratado e não tratado.

Ferreira, Campos e Rangel (2018) utilizando o *Pinus taeda* e fenol-formaldeído como adesivo, foi avaliado o pré-tratamento térmico aplicado nas lâminas de madeira para resistência ao cisalhamento na linha de cola, nas temperaturas de 160, 180 e 200°C. Obtendo um resultado satisfatório e atendendo os limites normativos.

3.5 Considerações a respeito da Revisão de Literatura

Conforme exposto na revisão de literatura, observam-se grandes perspectivas de mercado em relação ao OSB. Por possuir uma boa resistência físico-mecânica e boa estabilidade dimensional, ele é adotado principalmente para construção civil, especialmente em sistemas construtivos industrializados.

Também é ressaltado a importância da preservação da madeira, nesse caso, de um modo que não degrade o meio ambiente, isto posto, a utilização da termorretificação é a melhor opção, o qual, através de outros trabalhos foram relatados um bom desempenho quando empregado, atingindo aos valores mínimos exigidos pela norma. Com base nisso, se viu a necessidade de também utilizar adesivos que não degradam o meio ambiente, como é o caso do adesivo poliuretano à base de óleo de mamona para a fabricação dos painéis.

É de grande importância destacar o tema abordado, painéis de madeira submetidos a tratamento térmico com uso da resina poliuretana à base de óleo de mamona, justamente pela ausência de estudos relacionados com o assunto em questão.

4 Material e Método

A seguir serão descritos os materiais que foram utilizados no processo de fabricação dos painéis de OSB, seguido da metodologia adotada para a produção e caracterização físico-mecânica dos painéis.

4.1 Materiais

Os materiais utilizados para esse trabalho foram:

- Tábuas de madeira de *Pinus taeda* doadas pela empresa Sguario Indústria de Madeiras;
- Adesivo poliuretano à base de óleo de mamona;
- Esquadrejadeira;
- Picador de disco laboratorial (MARCONI);
- Esfufa de secagem (MARCONI);
- Encoladeira (MARCONI);
- Prensa hidráulica termoaquecida (Hidral-Mac PHH 80T);
- Sarrafos de madeira de *Pinus taeda*;
- Máquina universal de Ensaio (EMIC DL30000N);
- Paquímetro digital com precisão de 0,01 mm (Digimess);
- Micrômetro digital com precisão de 0,001 mm (Digimess);
- Balança semi-analítica com precisão de 0,01 g (Ohaus);
- Análise Estatística através do *software* R.

4.2 Métodos

Os tratamentos realizados no presente trabalho estão descritos na tabela 3.

Tabela 3 – Tratamentos a serem desenvolvidos

DESCRIÇÃO DO TRATAMENTO	TRATAMENTOS
Testemunha	T1
Termorreificação dos painéis a 160°C	T2
Termorreificação dos painéis a 180°C	T3
Termorreificação dos painéis a 200°C	T4

A seguir estão descritos as etapas do processo de fabricação dos painéis seguindo do processo de caracterização físico-mecânica com base em documentos normativos internacionais.

4.2.1 Seccionamento das tábuas

Inicialmente, foi recebida a madeira em forma de tábuas como doação da empresa Sguario Indústria de Madeiras, após isso, foram armazenadas em local onde não há ocorrência de chuva. Assim, as tábuas foram seccionadas, com corte transversal, em dimensões de 15cm de comprimento, 8cm de largura e 2,2cm de espessura, conforme demonstrados na figura 7b.

Figura 7 – Matéria prima utilizada



(a) Tábuas utilizadas no presente trabalho



(b) Tábuas seccionadas conforme as dimensões descritas acima

Fonte – Autoria própria

4.2.2 Umidificação e geração das lascas

Antes de realizar a geração das lascas, as peças seccionadas foram umidecidas conforme demonstra a figura 8a, a fim de facilitar o corte, e também para evitar que as lascas se encurvem.

As peças ficaram submersas em água durante um período de 48 horas e, em seguida, foi realizado o processamento das peças no picador de disco laboratorial demonstrado na figura 8b.

Figura 8 – Umidificação e geração das lascas



(a) Peças seccionadas sendo umidificadas



(b) Picador utilizado para geração das lascas

Fonte – Autoria própria

4.2.3 Secagem do material

A secagem das lascas foram feitas em duas etapas, a primeira, o material ficou sobre uma lona plástica dentro do laboratório ocorrendo a secagem ao ar livre, em seguida, secagem em estufa laboratorial à uma temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ por 24 horas, respectivamente demonstrados pela figura 9a e 9b.

Figura 9 – Secagem do material



(a) Secagem ao ar livre



(b) Secagem em estufa

Fonte – Autoria própria

4.2.4 Produção dos painéis

Primeiramente, foi realizada a preparação do adesivo que é composto de poliuretana à base de óleo de mamona, na proporção de 15% da massa de partículas seca. Para aplicar o adesivo nas lascas foi utilizado uma encoladeira do tipo tambor rotativo com aplicação de resina manual, a fim de garantir a homogeneização na distribuição da resina.

Figura 10 – Encoladeira



Fonte – Autoria própria

Após encolar as lascas, as mesmas foram depositadas em uma caixa formadora com dimensão de 42cm x 42cm, onde foram direcionadas com auxílio de um gradeamento seguindo a proporção de 30:40:30 em relação ao peso do material encolado, que foi de 1300 gramas.

Após formar o colchão de partículas, este foi submetido a uma pré-prensagem com aplicação de uma pressão de $1,0\text{kgf/cm}^2$, durante 10 minutos, conforme a figura 11.

Figura 11 – Formação do painel



(a) Colchão de partículas



(b) Pré-prensagem

Fonte – Autoria própria

Em seguida, o colchão foi levado à prensa já aquecida. A prensagem foi realizada na prensa hidráulica termo-mecânica com sistema automático para a realização do ciclo de prensagem. Com temperatura de prensagem de 100°C e pressão de 40 kgf/cm² em um ciclo de 10 minutos divididos em três fases de 3 minutos de prensagem e dois intervalos de 30 segundos para aliviar os vapores formados durante a formação, a fim de reproduzir o ciclo industrial. Os painéis consolidados obtiveram uma espessura média de 13mm.

Figura 12 – Prensa hidráulica termo-mecânica

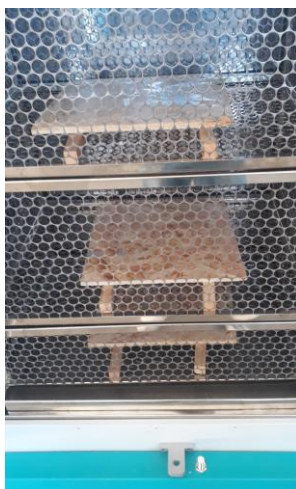


Fonte – Autoria própria

4.2.5 Termorreificação dos painéis

O tratamento térmico (termorreificação) foi realizado em estufa. Primeiramente, os painéis foram empilhados dentro da estufa com o auxílio de tabiques, com o intuito de que todas as superfícies fiquem em contato como o ar quente. Na sequência iniciou-se o processo de aquecimento até atingir a temperatura desejada do tratamento, em três diferentes temperaturas, ou seja, 160, 180 e 200°C durante um período de 30 minutos. Em seguida ocorreu a sua retirada da estufa e o armazenamento em ambiente climatizado.

Figura 13 – Termorretificação em estufa

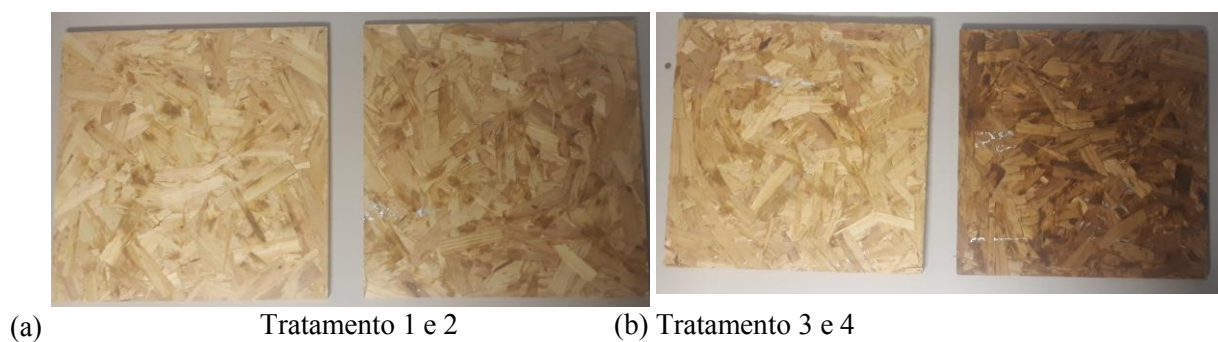


Fonte – Autoria própria

4.2.6 Confeção das amostras

Após a formação os painéis, eles foram esquadrejados conforme mostra a figura 14, e posteriormente, confeccionados corpos de prova de acordo com as dimensões baseadas na EN 326-1 (1994). Cabe ressaltar que o número de amostras que foram caracterizadas atende ao mínimo normativo.

Figura 14 – Painéis esquadrejados



(a)

Tratamento 1 e 2

(b) Tratamento 3 e 4

Fonte – Autoria própria

4.2.7 Realização dos ensaios físicos e mecânicos

A seguir está descrito os testes de caracterização físico-mecânicos que foram realizados com base nas normas normativas europeias de painéis OSB.

4.2.7.1 Densidade aparente - EN 323:1993

O teste para determinar a densidade aparente foi realizado com base na norma europeia EN 323 (1993), através da pesagem e medição das dimensões das amostras. Foi calculada através das equações 4.1 e 4.2

$$D = \frac{M}{V} * 10^6 \quad (4.1)$$

Sendo:

$$V = b1 * b2 * e \quad (4.2)$$

Onde:

D: densidade do corpo-de-prova, em quilogramas por metro cúbico;

M: massa do corpo-de-prova, em gramas;

V: volume do corpo-de-prova, em milímetros cúbicos;

b1 e b2: dimensões do corpo de prova, em milímetros;

e: espessura do corpo-de-prova, em milímetros.

4.2.7.2 Teor de umidade - EN 322:1993

O teor de umidade das amostras foi obtido com base na norma europeia EN 322 (1993), que foi calculado em função da relação entre a massa em água contida nos painéis de madeira e sua massa seca (MS) em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até que este atinja um valor constante. foi calculado através da equação 4.3, onde é apresentado o método de cálculo.

$$U = \frac{Mu - Ms}{Ms} * 100 \quad (4.3)$$

Onde:

U: umidade residual do corpo-de-prova, em porcentagem;

MU: massa úmida do corpo-de-prova, em gramas;

MS: massa seca do corpo-de-prova, em gramas.

4.2.7.3 Inchamento por imersão em água - EN 317:1993

O ensaio de inchamento por imersão em água foi realizado baseado na norma europeia EN 317 (1993), onde as amostras foram medidas em sua espessura e em seguida submersas em água destilada durante um período de 24 horas, onde foi novamente medido sua espessura. Conforme mostra a equação 4.4 apresentando o método de cálculo segundo as especificações normativas.

$$I = \frac{(t2 - t1)}{t1} * 100 \quad (4.4)$$

Onde:

I: Valor de inchamento, em porcentagem;

t1: Espessura antes da imersão, em milímetros;

t2: Espessura após a imersão, em milímetros.

4.2.7.4 Arrancamento de Parafuso - EN 320:2011

O ensaio de arrancamento de parafuso de acordo com a norma europeia EN 320 (2011) consiste na retirada dos parafusos da face e da borda e analisada a medição da força necessária para retirada do mesmo. A profundidade a qual o parafuso foi inserido, foi de 19 ± 1 mm.

Uma força axial crescente é aplicada na parte inferior da cabeça do parafuso, por sua vez, é aplicado a carga axial na parte inferior da cabeça do parafuso a uma taxa constante de movimento de (10 ± 1) mm / min até que a carga máxima seja alcançada.

4.2.7.5 Flexão Estática - EN 310:1993

O ensaio de flexão estática tem como objetivo determinar o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR) dos painéis. De acordo com a norma europeia EN 310 (1993), foram medidas as dimensões da seção transversal dos corpos de prova para posteriormente executar o ensaio em uma máquina universal de ensaios. O ensaio foi realizado com a amostra bi apoiada com um vão de vinte vezes a espessura do corpo de prova e a velocidade de carregamento para este teste será constante de forma que a carga máxima será encontrada dentro de 60 ± 30 segundos.

Os valores de MOE e MOR para o paralelo foram obtidos através das equações 4.5 e 4.6, respectivamente. A equação foi adicionada ao *software* que acompanha a Máquina Universal de Ensaios e, assim os valores foram calculados diretamente.

$$MOE = \frac{(F2 - F1) D^3}{4 * (a2 - a1) * B * E^3} \quad (4.5)$$

Onde:

MOE: módulo de elasticidade, em megapascal;

F2 – F1: incremento de carga no limite proporcional lida no indicador de cargas, em newtons;

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

a2 – a1: deflexão, em milímetros, correspondente à carga F2 – F1;

B: a largura do corpo-de-prova, em milímetros;

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

$$MOR = \frac{1,5 * P * D}{B * E^2} \quad (4.6)$$

Onde:

MOR: módulo de ruptura, em megapascal;

P: carga de ruptura lida no indicador de cargas, em newtons;

D: distância entre apoios do aparelho, em milímetros;

B: largura do corpo-de-prova, em milímetros;

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

4.2.7.6 Flexão Estática - EN 310:1993 e ASTM D 198-09

Para a realização do ensaio de flexão estática para o sentido paralelo foi necessário utilizar a norma americana ASTM D 198-09 (2009) em conjunto com a norma europeia EN 310 (1993), devido ao erro de corte para os corpos de prova. Para o cálculo das resistências foi necessário utilizar a matriz de pontos que é gerada através da EMIC e então selecionar onde ocorreu a deformação elástica através desse arquivo gerado. Em seguida foram utilizados a equação 4.7 e 4.8 para o módulo de ruptura e módulo de elasticidade, respectivamente.

$$f_m = \frac{F_{max} * l}{2 * b * t^2} \quad (4.7)$$

Onde:

f_m: resistência a flexão, em newton por milímetro quadrado;

F_{max}: carga de ruptura, em newtons;

l: distância entre vãos, em milímetros;

b: largura do corpo de prova, em milímetros;

t: espessura nominal do corpo de prova, em milímetros;

$$E = \frac{P * L^3}{10 * b * h * G * \Delta} \quad (4.8)$$

Onde:

E: módulo de elasticidade, em megapascals;

P: limite de Proporcionalidade na fase final do ensaio, em newtons;

L: distância entre os apoios do aparelho, em milímetros;

b: largura do corpo de prova, em milímetros;

h: espessura do corpo-de-prova, em milímetros;

Δ : deformação($d_{40\%}$ - $d_{10\%}$) do corpo-de-prova, em milímetros.

G : módulo de elasticidade transversal que corresponde a:

$$G = E/20 \quad (4.9)$$

4.2.7.7 Tração perpendicular - EN 319:1993

O teste de tração perpendicular foi realizado com base na norma europeia (EN 319, 1993), onde foi realizada a medição da seção transversal da amostra e, então, a mesma foi aderida a dois suportes e inserida na máquina universal de ensaios e o procedimento foi realizado de forma que a carga máxima seja atingida entre 60 ± 30 segundos. O valor será obtido através da equação 4.10.

$$f_t = \frac{F_{max}}{a * b} \quad (4.10)$$

Onde:

f_t : Tensão a tração perpendicular, em megapascals;

F_{max} : Carga de ruptura da amostra, em newtons;

a, b : dimensões de largura e comprimento da amostra, em milímetros.

4.3 Análise Estatística

A análise estatística utilizada foi a Análise de Variância com nível de significância de 5% para testar a existência de diferenças significativas entre as médias. E também foi necessário realizar o Teste de Tukey, com o intuito de identificar as diferenças entre os tratamentos. Para a análise estatística foi utilizado o software R

5 Resultados

Os resultados dos ensaios físicos-mecânicos realizados conforme citados na metodologia estão apresentados abaixo, esses resultados obtidos foram comparados com a EN 300 (2006) e também com literaturas. As tabelas 4 e 5 apresentam os valores médios das propriedades físicas e mecânicas dos painéis fabricados de acordo com os quatro tratamentos adotados no presente trabalho.

Tabela 4 – Resultados das propriedades físicas dos tratamentos realizados

Trat.	Densidade (kg/m ³)	Teor de Umidade (%)	Inchamento (%)
T1	694 (89,02) a	8,25 (0,42) a	22,87 (6,63) a
T2	684 (117,53) a	6,86 (0,86) b	21,32 (6,25) a
T3	712 (55,42) a	6,61 (0,50) b	14,92 (5,22) b
T4	618 (97,02) a	6,09 (0,45) b	14,16 (7,00) b

¹Médias seguidas pelas mesmas letras não apresentam diferença estatística (Tukey, $\alpha = 0,05$).

²Valores entre parênteses referente ao desvio padrão

5.1 Ensaios Físicos

5.1.1 Densidade Aparente

Os resultados de densidade aparente que foram apresentados na tabela 4, para os quatro tratamentos não apresentaram nenhuma diferença estatística entre si, indicando não haver diferença de densidade entre os tratamentos.

De acordo com Iwakiri et al. (2005) os painéis de OSB produzidos podem ser classificados como painéis de média densidade, aqueles que apresentam uma densidade entre 590 e 800 kg/m³.

Mendes (2010) em seu trabalho no qual foi utilizado o tratamento térmico entre 200°C e 240°C obteve uma variação de densidade aparente entre 690kg/m³ a 750kg/m³. Esses valores obtidos pelo autor estão próximos do presente estudo realizado.

Carvalho (2015) obteve valores de 720 a 790 kg/m³, no qual ocorreu um aumento significativo da densidade no tratamento de 170°C, sendo esses valores superiores comparado ao presente trabalho. No entanto, observou-se uma tendência similar no tratamento de 180°C do presente estudo.

5.1.2 Teor de umidade

Os resultados de teor de umidade apresentados na tabela 4 foram satisfatórios e mostraram que o efeito da termorretificação foi positivo, os tratamentos T2, T3 e T4 não apresentaram diferença estatística entre si, no entanto, são estatisticamente diferentes da testemunha (T1). De acordo com EN 300 (2006) o teor de umidade para painéis OSB classe 3 e 4 pode variar entre 5 a 12%. Sendo assim verifica-se que todos os tratamentos realizados atenderam a classe 4, que são painéis OSB para fins estruturais em ambiente úmido.

Mendes (2010) obteve para os painéis de OSB termorretificados com temperatura de 240°C menores valores para o teor de umidade, quando comparados com os painéis tratados com temperatura de 200°C, os valores obtidos pelo autor se aproximou do resultado do presente estudo, podendo afirmar que a com a termorretificação observa-se a redução no teor de umidade dos painéis devido as alterações sofridas pela madeira quando em contato com elevadas temperaturas.

Carvalho (2015) em estudo com lascas pré-hidrolizadas, obteve valores de teor de umidade de equilíbrio de 13,6% para o testemunho que decrescem até o valor de 9,8% para tratamento a 170°C, tendência de redução também verificada no presente estudo.

Menezzi et al. (2007), verificaram teores de umidade de equilíbrio entre 5,01 e 7,73%, sendo que valores menores foram encontrados com temperatura de termorretificação de 220°C.

5.1.3 Inchamento por imersão em água

Os resultados de inchamento em espessura após imersão por 24 horas apresentados na tabela 4 permitem observar que em relação aos tratamentos T1 e T2 não deferiram estatisticamente entre si, no entanto, diferiram estatisticamente dos tratamentos T3 e T4, nos quais, não verificou-se diferenças estatísticas. Com base no documento normativo EN 300 (2006) o valor de inchamento em espessura 24 horas para painéis OSB Classe 1 é de 25% para painéis com espessura entre 10 e 18mm, sendo assim, enquadraram-se os tratamentos T1 e T2 nessa classe. Entretanto, melhor desempenho em contato com água foi verificado para os tratamentos T3 e T4 enquadrando na classe 3, que admite valores de 15%.

Mendes et al. (2013) encontraram o valor médio de 25,4% de inchamento para a termorretificação realizada a 200°C, valor próximo ao tratamento T1(sem tratamento) e T2(160°C) realizado no presente estudo. Como ocorreu no presente estudo verificou-se a diminuição do inchamento com o aumento da temperatura do tratamento.

Okino, Teixeira e Menezzi (2007) obtiveram valores de 27,2% e 30,9% no inchamento, sem diferenciar estatisticamente, valores um pouco acima ao encontrado no presente trabalho, possivelmente pela espécie de madeira e percentagem de adesivo utilizada.

5.2 Ensaios Mecânicos

Segue abaixo a tabela 5 referente aos ensaios mecânicos para discussão dos resultados obtidos.

Tabela 5 – Resultados das propriedades mecânicas dos tratamentos realizados

Trat.	MOE par (MPa)	MOE per (MPa)	MOR par (MPa)	MOR per (MPa)	Adesão Interna (MPa)	Arrancamento de Parafuso face (N)
T1	3.116 (383,34) a	4.055 (526,52) a	24,80 (4,93) a	12,96 (1,44) a	0,51 (0,15) a	1.523 (207,56) a
T2	3.704 (1162,96) a	2.213 (427,94) c	25,40 (4,81) a	9,21 (1,05) b	0,61 (0,08) a	1.087 (267,87) a
T3	2.715 (658,41) a	2.718 (426,84) bc	18,23 (5,76) ab	8,86 (1,17) b	0,33 (0,10) b	1.098 (240,45) a
T4	2.879 (295,79) a	3.024 (701,54) b	13,77 (3,38) b	9,42 (2,05) b	0,30 (0,13) b	1.030 (253,02) a

¹Médias seguidas pelas mesmas letras não apresentam diferença estatística (Tukey, $\alpha = 0,05$).

²Valores entre parênteses referente ao desvio padrão

5.2.1 Flexão Estática para determinação de MOE e MOR

Os resultados apresentados na Tabela 5 em relação aos valores obtidos no teste de flexão estática para determinação de MOE e MOR, obteve-se valores de MOE paralelo variando de 2.715 a 3.704 MPa e MOE perpendicular variando de 2.213 a 4.055 MPa. Para o MOR os valores obtidos variaram de 13,77 a 25,40 MPa para a direção paralela e variaram entre 9,21 a 12,96 MPa para a direção perpendicular.

Analisando estatisticamente esses resultados, pode-se concluir que para o MOE paralelo não houve diferença estatística, sendo possível a classificação segundo a EN 300 (2006) nos tratamentos (T1,T3 e T4) como classe 1 e no tratamento (T2) como classe 3. Os valores referenciais normativos são, para a classe 1 de 2.500 MPa e para a classe 3 de 3.500 MPa.

Para o MOE perpendicular houve diferença estatística entre o tratamento T1, T2 e T4. O tratamento T3 é estatisticamente igual ao tratamento T2 e T4. Todos os tratamentos atenderam a classe 4 da norma europeia EN 300 (2006), que tem como referência de valor 1.900 MPa.

Analisando os resultados do MOR paralelo, os tratamentos T1 e T2 diferiram estatisticamente do T4 e o tratamento T3 é estatisticamente igual ao tratamento T1, T2 e T4. Com base em documentos normativos EN 300 (2006), o tratamento T1 e T2 são considerados classe 3, sendo o valor de referência de 20 MPa. O tratamento T3 atendeu a classe 1, com um valor de referência de 18 MPa. Somente o T4 não atendeu nenhum valor normativo.

Analisando os resultados do MOR perpendicular, o tratamento T1 diferiu estatisticamente dos tratamentos (T2, T3 e T4). Com base normativa EN 300 (2006) o T1 atendeu a classe 3 que tem como valor referencial de 10 MPa. Os demais tratamentos atenderam a classe 1 que tem como valor referencial de 9 MPa.

Carvalho (2015) obteve um aumento do MOE e MOR com o aumento temperatura de termorretificação, os valores obtidos pelo autor foram maiores em todos os testes, exceto no MOE perpendicular.

Mendes (2010) estudando a aplicação da termorretificação tanto nas lascas como no painel já consolidado verificou um valor médio de 7.217,88 MPa para o MOE paralelo e 1.800,13 MPa para o perpendicular, sendo superior ao encontrado no presente trabalho, apenas no sentido paralelo. Os valores médios do MOR paralelo e perpendicular também foram superiores, com os valores de 44,95 e 19,17 MPa, respectivamente. Tais valores superiores podem ser justificados pelo adesivo utilizado e variáveis do processo.

5.2.2 Adesão interna

Os resultados apresentados na Tabela 5 em relação aos valores obtidos de adesão interna é possível concluir que o tratamento T1 e T2 diferem estatisticamente de T3 e T4. De acordo com a norma europeia EN 300 (2006) é possível classificar o T1 e T2 como classe 4, possuindo um valor referencial de 0,45 MPa. O tratamento T3 é definido como classe 3 com valor referencial de 0,32 MPa. Por fim, o tratamento T4 é classificado como classe 1, o qual indica um valor normativo de 0,28 MPa.

Mendes et al. (2013) avaliaram o pré-tratamento das partículas, nas temperaturas de 200 e 240°C, onde os autores observaram uma intensa redução na adesão interna dos painéis, fato verificado no presente estudo onde o aumento da temperatura provocou redução da adesão interna dos painéis OSB.

Carvalho (2015) verificou em seu estudo que não houve interferência dos tratamentos hidrotérmicos na adesão interna, permaneceram estatisticamente iguais em todos os tratamentos.

5.2.3 Arrancamento de parafuso face

Os resultados apresentados na Tabela 5 em relação aos valores obtidos no arrancamento de parafuso foi possível determinar que, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos realizados. E não foi possível encontrar na literatura trabalhos correlatos que fizeram o teste de arrancamento de parafuso.

6 Conclusão

Os painéis OSB produzidos no Brasil apresentam aplicações diversas desde o uso para embalagens, produção de móveis e pequenos objetos e, especialmente, destacada aplicação na construção civil, com destaque para uso em sistemas construtivos leves e industrializados.

Visando desenvolver produtos mais duráveis e sustentáveis o presente estudo teve por objetivo avaliar o desempenho físico-mecânico de painéis OSB produzidos com madeira de Pinus e resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona submetidos a tratamento térmico em três diferentes temperaturas após produção dos painéis.

Com base nos resultados dos testes físicos obtidos para o presente estudo pode-se concluir que a termorretificação com temperaturas a partir de 180°C alterou as propriedades físicas dos painéis, tornando-os menos susceptíveis a água, onde observou-se que para o teste de inchamento os tratamentos T3 e T4 atenderam a Classe 3 de resistência segundo a EN 300 (2006) Os demais tratamentos (T1 e T2) atenderam apenas a Classe 1.

Quanto aos resultados mecânicos obtidos no teste de flexão estática tanto sentido paralelo quanto perpendicular, observou-se grande variação das classes de resistência para os tratamentos realizados. Verificou-se que sempre em alguma das direções analisadas os painéis tiveram redução de resistência, fazendo com que todos os tratamentos se enquadrassem na Classe 1 de resistência, exceto o tratamento T4 que para o MOR paralelo não atendeu nenhuma classe de resistência.

Com base no exposto observa-se que dentre os tratamentos realizados o T3 com temperatura de termorretificação de 180°C foi o que apresentou melhor classe de resistência para as propriedades físicas e menor redução das propriedades mecânicas frente ao tratamento T1 e mesmo com valores encontrados na literatura.

A partir do presente estudo destaca-se que a termorretificação mostra-se adequada quanto ao melhor desempenho dos painéis em contato com água. Destaca-se ainda que o uso da resina poliuretana à base de óleo de mamona apresentou resultados satisfatórios.

Sugere-se para estudos futuros o estudo do ataque de agentes xilófagos aos painéis termorretificados de modo a verificar a eficiência ou não da termorretificação quanto ao ataque de fungos e cupins.

Referências

- AMERICAN FOREST AND PAPER ASSOCIATION. *Engineered wood products primer awareness guide*. Washington: American Wood Council. 2006. Disponível em: <<http://www.woodaware.info/pdf/primer.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2018.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *APA – The Engineered Wood Association. 2002. Design Capabilites of APA Performance-Rated Structural-Use Panels: Standard test methods of static tests of lumber in structural sizes*. Washigton, 2009.
- ANDRADE, P. I. L. et al. Estabilidade dimensional e resistência à tração perpendicular de painéis fabricados com partículas termorretificadas oriundas de embalagens de pinus sp. *Revista Árvore*, 2014.
- APA. The engineered wood association. *Design Capabilites of APA Performance-Rated Structural-Use Panels*, 2011. Technical Note N375 B. APA Tacoma. Washington.
- BIAZUS, A.; HORA, A. B. d.; LEITE, B. G. P. Panorama de mercado: painéis de madeira. *BNDES Setorial*, n. 32, set. 2010, p. 49-89, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2010.
- BIGELOW, J. J. et al. Field evaluation of timber preservation treatments for highway applications. 2007.
- BRASIL, L. *LOUISIANA PACIFIC CORPORATION*. 2018. Disponível em: <www.lpbrasil.com.br>. Acesso em: 29 mai. 2018.
- BRAZOLIN, S. et al. Preservação de madeiras-sistem de classes de risco. *Madeira: arquitetura e engenharia*, v. 5, n. 13, 2013.
- BRITO, F. M. S. *Produção e avaliação da qualidade de painéis aglomerados constituídos por partículas de bagaço de cana-de-açúcar e bambu*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2013.
- BRITO, J. *Estudo das influências da temperatura, taxa de aquecimento e densidade da madeira de Eucalyptus maculata e Eucalyptus citriodora sobre os resíduos sólidos da pirólise*. 1992. 81 f. Tese (Doutorado) — Tese (Livre Docência)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1992.
- CARVALHO, A. *Efeito do tratamento hidrotérmico de partículas “stands” nas propriedades de painéis OSB*. 2015 73 f. Tese (Doutorado) — Tese (Doutorado em Ciência Florestal: Área de concentração em Tecnologia de produtos florestais)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.
- CARVALHO, A. G. et al. Desempenho de painéis osb com adesivos comerciais e tânico de barbatimão. *Revista Árvore*, Universidade Federal de Viçosa, v. 39, n. 6, 2015.
- CHIPANSKI, E. d. R. *Proposição para melhoria do desempenho ambiental da indústria de aglomerado no brasil*. 2013.

DIAS, F.; LAHR, F. Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira aglomerada. *Lahr, FAR Produtos derivados da madeira. São Carlos: EESC/USP*, p. 37–160, 2008.

ESTEVES, B. M. d. M. L. A indústria de preservação em Portugal. *Millenium-Journal of Education, Technologies, and Health*, n. 36, 2016.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *BS EN 310*: Wood-based panels. determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Brussels, 1993. 12 p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *BS EN 317*: Particleboards and fibreboards. determination of swelling in thickness after immersion in water. Brussels, 1993. 12 p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *BS EN 319*: Particleboards and fibreboards. determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. Brussels, 1993. 12 p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *BS EN 322*: Wood-based panels. determination of moisture content. Brussels, 1993. 12 p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *BS EN 323*: Wood-based panels. determination of density. Brussels, 1993. 12 p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *BS EN 326-1*: Wood-based panels. sampling, cutting and inspection. sampling and cutting of test pieces and expression of test results. Brussels, 1994. 16 p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *BS EN 300*: Oriented strand boards (osb) – definitions, classification and specifications. Brussels, 2006. 24 p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *BS EN 320*: Particleboards and fibreboards — determination of resistance to axial withdrawal of screws. Brussels, 2011. 14 p.

FERRARINI, S. F. et al. Classification of waste wood treated with chromated copper arsenate and boron/fluorine preservatives. *Química Nova, SciELO Brasil*, v. 35, n. 9, p. 1767–1771, 2012.

FERREIRA, B. S.; CAMPOS, C. I. de; RANGEL, E. C. Efeito da termorreificação na qualidade de colagem de lâminas de madeira para a produção de compensado. *Ciência Florestal (01039954)*, v. 28, n. 1, 2018.

FERRO, F. S. *Painéis OSB com madeira Schizolobium amazonicum e resina poliuretana à base de óleo de mamona: viabilidade técnica de produção*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2013.

IBÁ. *Indústria Brasileira de Árvores*. 2017. Disponível em: <iba.org/pt/>. Acesso em: 6 mai. 2018.

IWAKIRI, S. et al. Painéis de madeira aglomerada. *Painéis de madeira reconstituída. Curitiba: FUPEF*, p. 123–166, 2005.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; LACERDA, F. d. C. Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2008.

- MENDES, L. *Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)*. 2001. 156p. Tese (Doutorado) — Tese (Doutorado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.
- MENDES, L. M. *Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas (osb)*. 2013.
- MENDES, R. F. *Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2010.
- MENDES, R. F. et al. Effects of thermal pre-treatment and variables of production on properties of osb panels of pinus taeda. *Maderas. Ciencia y tecnología*, Universidad del Bío-Bío, v. 15, n. 2, p. 141–152, 2013.
- MENDES, S. et al. Production of osb panels of eucalyptus spp clones with alternative resins. *CERNE*, v. 13, n. 3, p. 257–263, 2015. ISSN 2317-6342. Disponível em: <<http://cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/313>>.
- MENEZZI, C. D. *Estabilização dimensional por meio do tratamento térmico e seus efeitos sobre as propriedades de painéis de partículas orientadas (OSB)*. 2004. 226f. Tese (Doutorado) — Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2004.
- MENEZZI, D. et al. Avaliação não-destrutiva de painéis osb modificados termicamente: parte 1-efeito do tratamento térmico sobre a velocidade de propagação de ondas de tensão. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2007.
- MODES, K. S. et al. Efeito da retificação térmica nas propriedades físico-mecânicas e biológica das madeiras de pinus taeda e eucalyptus grandis. Universidade Federal de Santa Maria, 2010.
- MORESCHI, J. C. Produtos preservantes de madeira. *Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós graduação em Engenharia Florestal, sem data (b)*. Curitiba. 31p, 2011.
- OKINO, E.; TEIXEIRA, D. E.; MENEZZI, C. D. Post-thermal treatment of oriented strandboard (osb) made from cypress (cupressus glauca lam.). *Maderas. Ciencia y tecnología*, Universidad del Bío-Bío, v. 9, n. 3, p. 199–210, 2007.
- PIVA, R. D. Processo de fabricação dos móveis sob medida. *Porto Alegre: SENAI/CETEMO*, 2007.
- SANTOS, A. M. d. L. et al. Efeito do tratamento térmico sobre a resistência ao cisalhamento da linha de cola em painéis osb. *Ciência Florestal*, Universidade Federal de Santa Maria, v. 19, n. 1, 2009.
- SBA. *Structural Board Association - Oriented Strand Board in Wood Frame Construction*. 2005. Disponível em: <<http://osbguide.tecotested.com/library#OSB>>. Acesso em: 09 jun. 2018.
- SILVA, D. A. L. *Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2012.
- SOARES, A. K.; DE, P. H. G. Propriedades físicas da madeira termorretificada de eucalyptus grandis. In: XXII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS. [S.l.], 2013.

SPELTER, H.; MCKEEVER, D. B.; ALDERMAN, M. *Status and trends: Profile of structural panels in the United States and Canada*. [S.l.]: US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2006.

VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B. d. Panorama de mercado: painéis de madeira. *Panorama de mercado: painéis de madeira. BNDES Setorial, Rio de Janeiro*, n. 40, p. 323–384, 2014.

VIEIRA, M. C.; BRITO, E. O.; GONÇALVES, F. G. Evolução econômica do painel compensado no brasil e no mundo. *Floresta e Ambiente*, v. 19, n. 3, p. 277–285, 2012.

WPIF. *Wood Panel Industries Federation*. 2014. Disponível em: <http://wpif.org.uk/uploads/PanelGuide/PanelGuide_2014_Annex2B.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2018.