



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus Experimental de Itapeva

MARIA BEATRIZ MACEDO SIMON SOLA

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PAINÉIS OSB
PRODUZIDOS COM LASCAS DE MADEIRA TRATADAS COM CCA

Itapeva - SP
2017

MARIA BEATRIZ MACEDO SIMON SOLA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PAINÉIS OSB
PRODUZIDOS COM LASCAS DE MADEIRA TRATADAS COM CCA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado na Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de
Itapeva, como requisito para a conclusão do
curso de Engenharia Industrial Madeireira.

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

Itapeva - SP
2017

S684c Sola, Maria Beatriz Macedo Simon
Caracterização físico-mecânica de painéis OSB produzidos com lascas de madeira tratadas com CCA / Maria Beatriz Macedo Simon
Sola. -- Itapeva, SP, 2017
54 f.: il.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Câmpus Experimental de Itapeva, 2017

Orientadora: Cristiane Inácio de Campos

1. Painéis de madeira. 2. Pinus taeda. 3. Madeira - Preservativos.
I. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Câmpus Experimental de Itapeva. II. Título.

CDD 674.835

MARIA BEATRIZ MACEDO SIMON SOLA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PAINÉIS OSB
PRODUZIDOS COM LASCAS DE MADEIRA TRATADAS COM CCA**

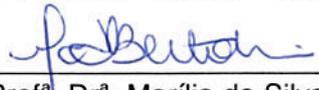
Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Industrial Madeireira, da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

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. MSc. Bruno Santos Ferreira
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

Itapeva, 13 de junho de 2017.

RESUMO

O crescente uso de painéis à base de madeira na construção civil cria a necessidade de aumentar a vida útil dos mesmos sem comprometimento nas propriedades físicas e mecânicas. Sendo assim, para que não ocorra deterioração destes painéis existem disponíveis alguns métodos preservantes que buscam aumentar a resistência contra organismos xilófagos. Dentre os tratamentos o mais utilizado no Brasil e no mundo são os preservantes químicos hidrossolúveis aplicados utilizando o método célula cheia, que visa impregnar o maior número de células com a solução preservante. O CCA (Arseniato de Cobre Cromatado), apresenta como principais características alta eficiência e fixação fazendo com que este seja o preservativo mais disseminado entre as empresas de tratamento. Este preservante é aplicado sobre o produto através da exposição da madeira em câmaras de autoclave. O presente trabalho teve por objetivo produzir chapas OSB com madeira de *Pinus taeda* utilizando resina fenol-formaldeído, realizando o procedimento de tratamento preservativo no painel já conformado bem como o tratamento das lascas e, posteriormente, produção do painel. O estudo previu avaliar a ocorrência de mudança nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis, utilizando como referência para análise dos resultados chapas produzidas sem o tratamento químico e valores comerciais e normativos para o OSB. Neste estudo foi realizada a caracterização físico-mecânica atendendo as especificações dos documentos normativos EN 322/2000, EN 323/2000, EN 317/2000, EN 310/2000, EN 319/2000. A partir dos testes realizados foi possível concluir que o tratamento dos painéis assim como o tratamento das lascas resultou em mudanças nas propriedades físico-mecânica. Porém o tratamento das lascas (T3), mesmo não atendendo todos os aspectos de desempenhos normativos, obteve resultados mais próximos à testemunha o que indica que com ajustes se torna viável seu uso no processo produtivo.

Palavras-chave: Painéis OSB; *Pinus taeda*, Arseniato de Cobre Cromatado.

ABSTRACT

The increasing use of wood based panels in construction creates the need to extend their useful life without compromising the physical and mechanical properties. In order not occur so that there is deterioration are available some methods and preservatives that seek to increase the resistance against wood decay organisms. Among which the most widely used in Brazil and in the world are the water-soluble chemical preservatives using the full cell method, which aims to impregnate the largest number of cells with the preservative solution. The CCA (Chromated Copper Arsenide) has as main features high efficiency and fixation making this the most widespread preservative among companies of treatment. It is applied on the product through the timber exposure in an autoclave chambers. The purpose of this study is to produce OSB with *Pinus taeda* wood using phenol formaldehyde resin, performing the treatment procedure to the panel already formed and to the strands and subsequently production. The study includes evaluating the changes in the physical and mechanical properties of the panels, using as reference plates for analysis of the results panels produced without chemical treatment, standard and commercial values for OSB. the physical-mechanical characterization was carried out meeting the specifications of the normative documents EN 322/2000, 323/2000 EN, EN 317/2000, 310/2000 EN, EN 319/2000. From the tests performed it was possible to conclude that the treatment of the panels as well as the treatment of the strands resulted in changes in the physical-mechanical properties improving or worsening them. However, the treatment of strands (T3), even though it did not meet all aspects of normative performance, obtained results closer to the control, indicating that with adjustments, its use in the productive process becomes viable.

Keywords: OSB, *Pinus taeda*, Chromated Copper Arsenide.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Áreas de plantios florestais das espécies de Eucalyptus e Pinus, por segmento industrial.	18
Figura 2– Classificação dos compostos de madeira	19
Figura 3– Formação de painéis OSB, com partículas internas dispostas de forma orientada.	21
Figura 4– Detalhes do processo de produção do OSB.	23
Figura 5– Detalhes do processo de tratamento pelo método célula cheia.	29
Figura 6– a) Tábuas armazenadas após recebimento, b) Picador de discos e c) Lascas após serem produzidas.	33
Figura 7– a) Pesagem das lascas e b) Processo de aplicação do adesivo com uso de encoladeira.	34
Figura 8– a) Caixa formadora para orientação das lascas, b) Processo de pré-prensagem e c) Colchão após a pré-prensagem.	35
Figura 9– Painéis já conformados e esquadrejados.	35
Figura 10– a) Sistema de peneiras e b) Disposição das lascas para serem encaminhadas para autoclave.	36
Figura 11– a) Disposição do material antes do tratamento e b) Material já tratado. .	37
Figura 12– Lascas e painéis depois do processo de preservação.	37
Figura 13– Painéis produzidos com as lascas tratadas.	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais fatores relacionados ao processo de fabricação de painéis OSB.....	21
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variações na composição do preservante CCA.	31
Tabela 2 – Valores de densidade aparente obtidos nos ensaios realizados.	42
Tabela 3 – Valores de teor de umidade obtidos nos ensaios realizados.	43
Tabela 4 – Valores de inchamentos em espessura obtidos nos ensaios realizados.	44
Tabela 5 – Valores de MOE paralelo obtidos nos ensaios realizados.	46
Tabela 6 – Valores de MOE perpendicular obtidos nos ensaios realizados.	46
Tabela 7 – Valores de MOR paralelo obtidos nos ensaios realizados.	46
Tabela 8 – Valores de MOR perpendicular obtidos nos ensaios realizados.	46
Tabela 9 – Valores de tração perpendicular obtidos nos ensaios realizados.	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	16
1.1.1 Objetivos Gerais	16
1.1.2 Objetivos Específicos.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 Painéis de madeira.....	17
2.2 <i>Oriented Strand Board</i>	20
2.3 Produção dos painéis <i>Oriented Strand Board</i>	22
2.4 Tratamento preservativo da madeira.....	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1 Materiais.....	32
3.2 Método	32
3.1.1 Seccionamento das tábuas e geração das lascas	33
3.1.2 Secagem do material	33
3.1.3 Produção dos painéis	34
3.1.5 Tratamento preservativo	36
3.1.5 Caracterização dos painéis.....	38
3.1.5.1 Densidade aparente	38
3.1.5.2 Teor de umidade.....	39
3.1.5.3 Inchamento	39
3.1.5.4 Flexão estática.....	40
3.1.5.5 Tração perpendicular.....	41
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
4 CONCLUSÃO	50
5 REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

Com a diminuição da disponibilidade de madeiras nativas e seu encarecimento, houve a necessidade de se obter métodos alternativos que garantissem propriedades físicas e mecânicas semelhantes. Assim os painéis de madeira reconstituída foram inseridos ao mercado visando além de diminuir os custos e o desperdício, apresentar características físicas e mecânicas, fatores estes dependentes do tamanho e geometria das partículas bem como o tipo de resina utilizada, que possibilita diversos usos, até mesmo estrutural (FERRAZ et al., 2009).

Um dos painéis que apresenta demanda ascendente no país é o *Oriented Strand Board* (OSB). Refere-se a um painel de lascas orientadas, onde a camada central é defazado em 90° das camadas externas. Por apresentar desempenho mecânico satisfatório é um painel que nos últimos anos vem ocupando uma faixa do mercado antes ocupada somente por painéis de madeira compensada. É um painel que atende diversos nichos de mercado indo desde a construção civil a indústria moveleira.

Um dos problemas recorrentes quando se trata do uso da madeira e seus derivados está na durabilidade quando expostos as adversidades climáticas e a ação de agentes xilófagos. Para que a durabilidade seja maior se faz necessário o uso de métodos de preservação e, os mais eficientes e de maior aplicação no Brasil são os preservantes químicos hidrossolúveis, dentre os quais se destacam o Arseniato de Cobre Cromatado (CCA) e Borato de Cobre Cromatado (CCB). Estes são normalmente aplicados sobre a madeira utilizando o método de célula, que consiste na aplicação de vácuo e pressão com o objetivo de preencher, com o preservativo, o maior número de células possíveis (ARAÚJO; MAGALHÃES; OLIVEIRA, 2012).

O preservativo CCA é o mais utilizado em todo o mundo pois confere alta fixação e seus componentes garantem ação fungicida (cobre) e inseticida (arsênio). A realização da preservação da madeira com CCA permite que esta seja utilizada em ambientes internos e externos, com ou sem contato com o solo e umidade, por exemplo, postes, estacas, mourões, componentes de construção civil, *decks*, pergolados, dentre outros.

Como se trata de procedimento químico, a madeira quando exposta a tal

situação tem suas características alteradas, tais como a composição química, propriedades físicas e mecânicas e coloração, isso ocorre devido a fixação do CCA nos elementos químicos pertencentes a parede celular da madeira, isto é, carboidratos, lignina e extrativos. Assim existe a necessidade de desenvolver um método otimizado para o tratamento das lascas de madeira e do painel, verificando se as mudanças nas propriedades físico-mecânica são relevantes a ponto de inviabilizar o uso do painel em estruturas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos Gerais

O objetivo deste trabalho é avaliar as propriedades físicas e mecânicas de painéis OSB produzidos com madeira de *Pinus taeda* e resina fenol-formaldeído a partir de lascas tratadas com CCA (Arseniato de Cobre Cromatado), bem como, o tratamento dos painéis já conformados.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- a) Produção de painéis e posterior tratamento com CCA em autoclave com duração de 135 minutos;
- b) Produção de painéis a partir de lascas de madeira tratadas em autoclave com solução preservativa por um período de 135min;
- c) Realização dos ensaios de caracterização física e mecânica a parte da Norma Europeias EN 326-1 (1994), EN 323 (2000), EN 322 (1993), EN 317 (2000), EN 310 (2000) e EN 319 (2000);

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir é apresentada revisão da literatura que serviu de embasamento teórico para o desenvolvimento do presente estudo.

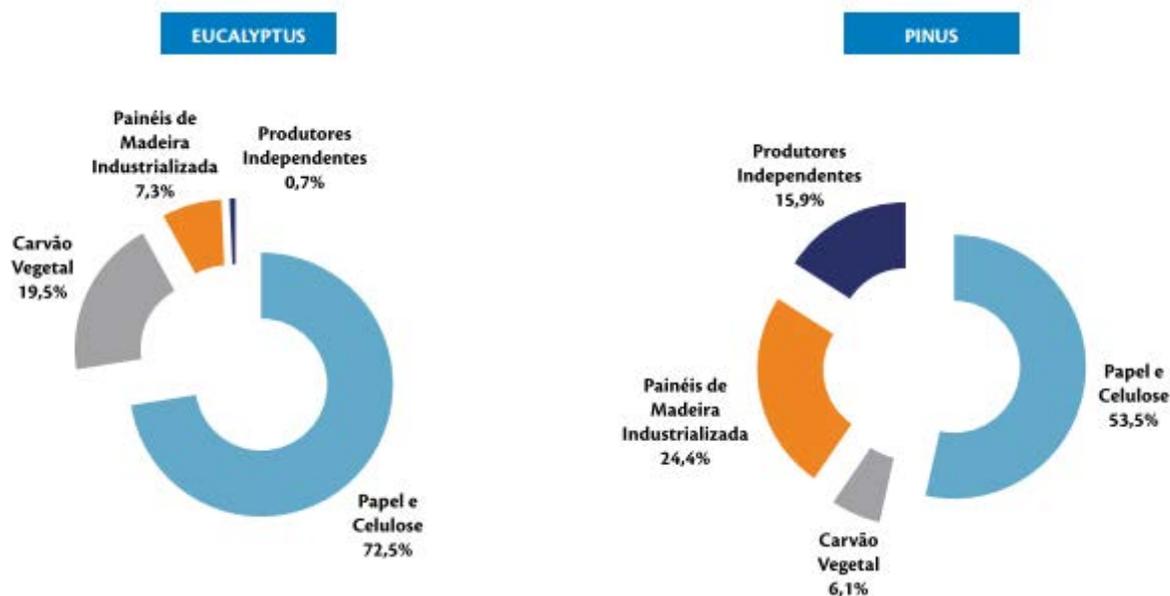
2.1 Painéis de madeira

Um dos primeiros materiais a ser utilizado pelo ser humano, no começo da sua história é a madeira, sendo empregada desde a construção de moradias até a fabricação de equipamento de defesa e transporte. No entanto, a madeira foi sendo e ainda é substituída, em muitas aplicações, pelo aço, alumínio e suas ligas, plásticos dentre outros materiais. Contudo a madeira continuará sendo um material com vasta aplicação, principalmente, com auxílio do desenvolvimento tecnológico (PONCE, 2010).

A madeira apresenta várias propriedades que fazem com que ela se destaque quando comparada a outros materiais, como por exemplo, possui baixo consumo de energia para seu processamento, alta resistência específica e boa característica quando se trata de isolamento, tanto térmico quanto acústico. É um material que apresenta fácil trabalhabilidade, além de possibilitar que a produção seja sustentada por florestas reflorestadas para fins específicos, onde a qualidade da matéria-prima pode ser ajustada (ZENID, 2011).

No Brasil, a cadeia produtiva no setor florestal apresenta grande diversidade, desde a produção e colheita até a fabricação de produtos finais que permeiam áreas industriais de papel e celulose, carvão vegetal, biomassa, painéis de madeira industrializada, madeira processada mecanicamente, entre outros. Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2013) através do anuário estatístico referente ao ano de 2012, destaca-se as principais aplicações das áreas plantas de *Eucalyptus* e *Pinus*, conforme demonstrado na Figura 1. Assim esse estudo destacou que os principais destinos destas madeiras são: celulose e papel e carvão vegetal, para *Eucalyptus* e celulose e papel e painéis de madeira industrializada, para *Pinus*.

Figura 1– Áreas de plantios florestais das espécies de Eucalyptus e Pinus, por segmento industrial.



Fonte: Associados Individuais da ABRAF (2013).

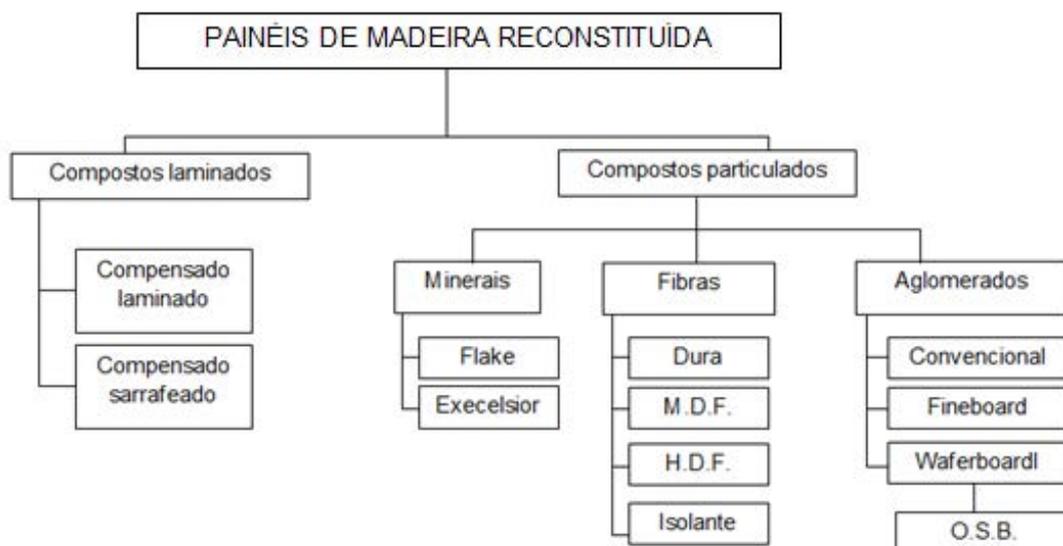
No último estudo setorial realizado pela ABIMCI em 2012 revelou que há ativas 81,2 mil empresas de base florestal no país, onde destas, 58,2 mil são empresas de processamento mecânico. Outro fator importante, que demonstra a consolidação do setor florestal no país, é o crescimento no número de empregos diretos, indo de 706 mil para 735 mil, no ano de 2012.

O uso crescente de painéis à base de madeira vem sendo uma resposta positiva ao grande desenvolvimento tecnológico que surgiu no século XX, que visava além de possibilitar o uso mais eficiente da madeira e reduzir a geração de resíduos, utilizar árvores com menores dimensões para assim diminuir o tempo de espera de seu crescimento. Outro fator importante que impulsionou seu desenvolvimento foi a busca por propriedades mais homogêneas para a madeira, buscando assim reduzir a heterogeneidade, anisotropia, instabilidade dimensional em suas direções preferenciais, além de melhorar as propriedades térmicas, e acústicas (FERRAZ et al., 2009).

Segundo Iwakiri (2005) os painéis de madeira reconstituída são estruturas que podem ser fabricados com a madeira na forma de lâminas ou em diferentes estágios de fragmentação das fibras, onde sua consolidação ocorre através da

aplicação de pressão e temperatura bem como da utilização de uma resina adequada. A Figura 2 apresenta de forma simplificada os principais tipos de painéis.

Figura 2– Classificação dos compostos de madeira



Fonte: Adaptado de Iwakiri (2005).

De acordo com a Iwakiri, Mendes e Saldanha (2003) o desenvolvimento tecnológico possibilitou a criação desta grande variedade de painéis, que diferem em suas propriedades físicas e mecânicas, bem como em tolerância ao contato com a água, variando suas indicações para uso interno e externo, fixação de parafusos e aplicações mais específicas como para construção civil e a indústria moveleira. É válido destacar que esta constante procura por produtos com melhor relação custo/benefício impulsiona a criação cada vez mais de novas tecnologias que buscam atender a uma demanda cada vez mais exigente e especializada.

A ABRAF constatou ainda que no ano de 2012 a produção de painéis de madeira industrializadas obteve valor bruto de R\$ 6,5 bilhões, enquanto, a madeira processada mecanicamente atingiu 5,8 bilhões. Estes números são apenas um indicativo de que o setor de painéis vem crescendo, não só em sua produção como também em seu consumo. Esse aumento, segundo a Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira (ABIPA, 2012) foi devido ao maior consumo doméstico

e ao aumento de investimentos realizados neste setor, aos quais foram responsáveis por dobrar a capacidade nominal instalada nos últimos dez anos.

Segundo os relatórios anuais do Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES, 2008), que também analisaram o crescimento do setor florestal na economia nacional, constatou-se que os principais motivadores deste crescimento foram: instalação de novas unidades produtoras, busca de novas tecnologias de produção e modernização do parque industrial.

As indústrias de madeira processada mecanicamente bem como a de painéis de madeira industrializada apresentam uma parcela socioeconômica muito importante no país, conforme constatado através do estudo setorial realizado pela Associação Brasileira de Indústrias de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI, 2009) seja na geração de renda, seja no seu papel vital na sustentabilidade dos recursos florestais bem como na permanência do homem no campo.

2.2 Oriented Strand Board

Dentre o grupo de painéis particulados, destaca-se o *Oriented Strand Board* (OSB), sua produção industrial teve início na década de 1970, nos EUA. Entende-se por OSB como sendo um painel de tiras, lascas finas e longas, orientadas que possui como principal característica boa resistência mecânica em suas duas principais direções, sendo desenvolvido para aplicações estruturais na construção civil, como por exemplo, usado para paredes e foros, divisórias, decks, almas de estruturas "I", dentre outras aplicações (IWAKIRI, 2005).

A composição deste tipo de painel é bastante similar à do compensado, uma vez que apresenta defasagem entre as camadas. No caso do OSB são divididos, usualmente, em apenas três camadas. Nas camadas externas as lascas são orientadas com a maior direção das lascas paralela a direção de formação do painel, enquanto que a interna apresenta orientação perpendicular em relação as faces do painel, conforme indicado na Figura 3.

Segundo César (2011), essa composição análoga ao compensado, faz com que o OSB apresente desempenho semelhante no que diz respeito a resistência e rigidez à flexão estática bem como a sua estabilidade dimensional.

Figura 3– Formação de painéis OSB, com partículas internas dispostas de forma orientada.



Fonte: *Structural Board Association* – SBA (2005).

O processo produtivo de painéis OSB, de acordo com Souza (2012), possibilita diminuir os custos de produção, sem deixar de atingir bons resultados físico-mecânico, e de proporciona o aproveitamento de 96% das toras de madeira. Além de possibilitar o uso de madeira oriunda de desbastes de troncos finos e *tortuosos*, assim como de espécies de menor valor comercial, diferindo da qualidade da madeira necessária para produção de compensados, que apresentam custos relativamente superiores.

A produção de OSB no Brasil ainda é muito recente, a primeira fábrica foi instalada em 2002, onde a maior parte desta produção era destinada ao mercado interno, empregadas especialmente pela indústria de móveis, embalagens, construção a seco, dentre outros. Atualmente, a empresa pertencente a Louisiana-Pacific Corporation uma empresa norte-americana. Segundo estudos realizados pelo BNDES (2014) mostraram que o consumo de OSB no Brasil oscilou entre 120.000 m³ e 300.000 m³, até o ano de 2014, revelando o quanto a indústria brasileira ainda está em fase de introdução e aceitação deste painel quando comparada a crescimento do consumo do mesmo produto na América do Norte e Europa.

De acordo com Maloney (1993) existem vários fatores que influenciam a qualidade final dos painéis OSB, dentre os quais os que apresentam maior interferência são aquelas variáveis inerentes à madeira e ao processo, conforme

apresentado na Quadro 1. Estas podem vir influenciar diretamente nas propriedades físicas e mecânicas do produto final.

Quadro 1 - Principais fatores relacionados ao processo de fabricação de painéis OSB.

Inerentes à madeira	Inerentes ao processo
Espécie	Massa específica dos painéis
Massa específica da madeira	Razão de compactação
pH	Composição dos painéis
Teor de umidade	Adesivo
Extrativos	Dimensões e orientação das partículas
Locas de crescimento	Tempo de fechamento da prensa e de prensagem
Idade cambial	Temperatura de prensagem
Elementos estranhos	Pressão específica

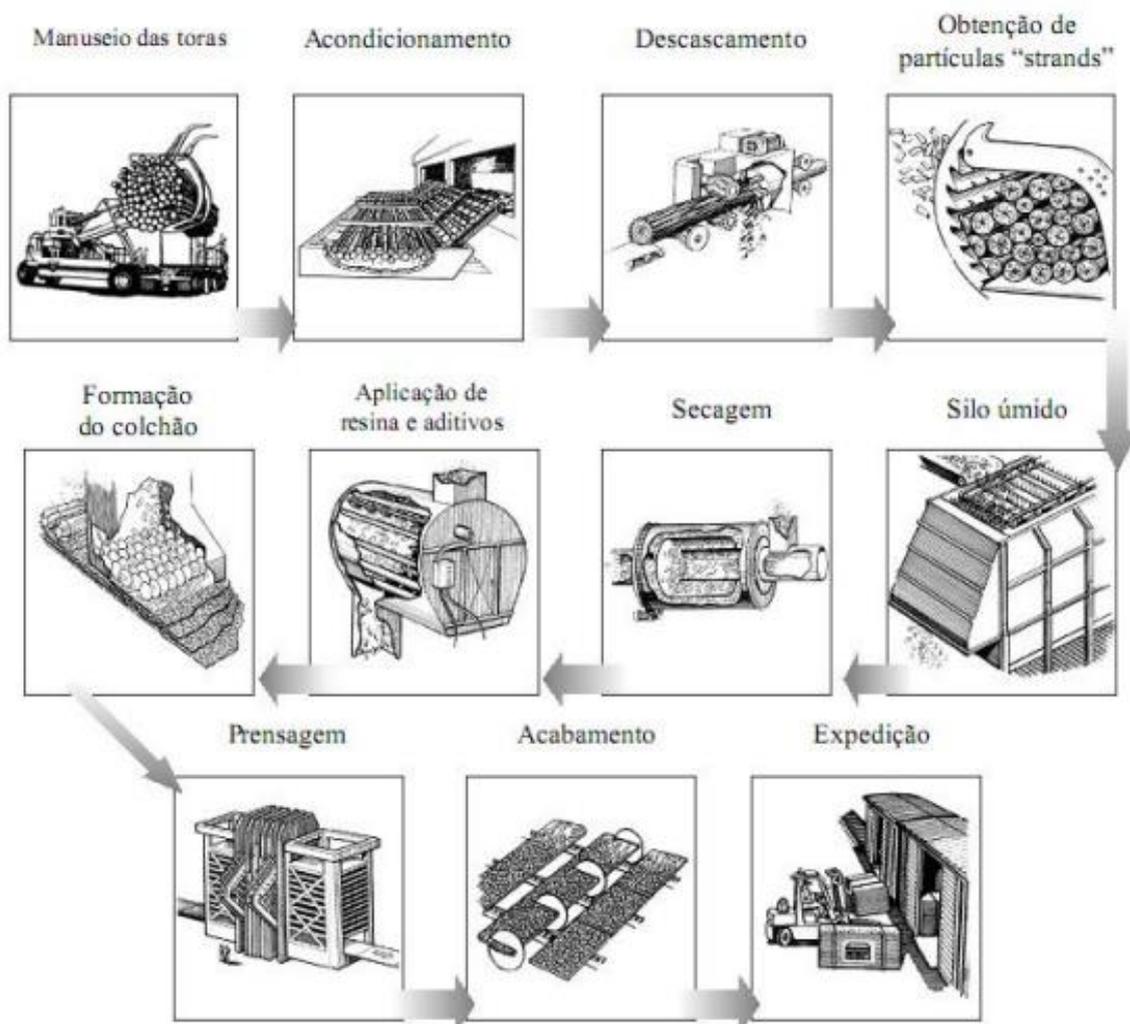
Fonte: Maloney, 1993

Assim algumas etapas no processo de produção de painéis OSB são indispensáveis para garantia de obtenção de produtos de alta qualidade.

2.3 Produção dos painéis *Oriented Strand Board*

A produção de painéis OSB pode realizar-se de diversas maneiras, no entanto, existe um modelo de produção padrão, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4– Detalhes do processo de produção do OSB.



Fonte: Mendes (2001)

A produção do painel OSB é realizado através das seguintes etapas:

-Armazenamento das toras (pátio de toras)

Primeira etapa do processo de produção ocorre com o recebimento das toras de madeira. Nesta fase inicial são realizadas as operações de identificação, mensuração, classificação da matéria-prima recebida, bem como seu armazenamento. É importante destacar que este controle mais rigoroso sobre o material que entra no processo garante que a rotatividade seja mantida, ou seja, as matérias-primas que chegam primeiro no pátio de armazenamento são as primeiras a

serem usadas nas próximas etapas assim as madeiras não ficam velhas (KALATAI; BRUM, 2014).

O local de armazenamento pode ser tanto no solo quanto em água, a escolha irá depender das condições ambientais disponíveis. Independentemente do local, o tempo de armazenamento deve ser o mais breve possível para evitar a perda da qualidade da madeira e o aparecimento de problemas como fendilhamento de topo, ataques de agentes biodeterioradores, ocorrência de macha azul, dentre outros (IWAKIRI, 2005).

- Descascamento das toras

O processo de descascamento da madeira normalmente é realizado através de um descascador do tipo tambor ou anel, uma vez que estes apresentam maior produtividade. Algumas empresas têm utilizado os resíduos gerados nesta etapa do processo como combustível para geração de energia, contribuindo assim para a preservação do meio ambiente (KALATAI; BRUM, 2014).

- Geração das partículas

De acordo com Iwakiri (2005), a etapa mais importante no processo de produção de painéis OSB é geração de partículas, visto que está relacionada diretamente com a geometria da partícula. As dimensões médias das partículas usadas na maior parte dos processos industriais deste painel são: 25 mm de largura, 90 a 150 mm de comprimento e 0,50 a 0,75 mm de espessura. Para assegurar a qualidade destas partículas, usualmente, as empresas utilizam picadores do tipo cilindro ou disco. Estes devem ter suas facas trocadas em intervalos de 8 horas, isto porque a duração das ferramentas depende de fatores externos como espécie e época do ano.

Esta etapa de geração de partículas é o que difere este tipo de painel quando comparado a outros tipos de painéis particulados, uma vez que o controle das dimensões das partículas para o OSB é um aspecto importante tanto para suas propriedades mecânicas quanto físicas (MENDES et al., 2002a).

- Armazenamento das partículas úmidas

O principal objetivo para se armazenar partículas úmidas é evitar que não haja falta de material na linha de produção visto que as indústrias, em sua maioria, possuem processo de produção contínuo. É válido destacar que o tempo que cada partícula permanece no silo de armazenamento é o mesmo, já que estas são utilizados por ordem de chegada (IWAKIRI, 2005).

-Secagem das partículas

Nos últimos anos, devido ao maior rigor quanto as questões ambientais, tem-se utilizado resíduos gerados em todas as etapas do processo, principalmente, provenientes do descascamento, como combustível no processo de secagem das partículas (SURDI, 2012).

O processo de secagem é responsável por fazer com que as lascas atinjam a umidade ideal para a etapa de colagem que varia conforme a resina utilizada. O tipo de secador mais utilizado para o processo de produção é o de três passagens, possibilitando maiores temperaturas o que reduz o tempo de secagem. O controle das passagens das lascas é realizado pela presença de traves, cujo objetivo é direcionar o fluxo de material e é responsável pela permanência das partículas no secador até que se atinja o teor de unidade desejado (KALATAI; BRUM, 2014).

-Classificação das partículas

Após a secagem, as lascas passam por um sistema de peneiras cujo objetivo é remover as partículas muito finas antes da etapa de aplicação de adesivo. Essa separação é de suma importância para garantir que as partículas maiores sejam depositadas nas camadas externas afim de aumentar a resposta as solicitações à flexão estática (KALATAI; BRUM, 2014).

-Aplicação do adesivo

Dentre as etapas do processo de produção de painéis OSB o adesivo é o componente que apresenta maior custo. Assim, a quantidade e aplicação, além de serem suficientes para se atingir as propriedades físicas e mecânicas requeridas em função do uso a qual se destina o painel, devem ser otimizadas para evitar gastos excessivos com os custos da resina (SURDI, 2012).

Segundo Iwakiri (2005), nas indústrias de painéis os adesivos mais empregados na produção de OSB são fenol-formaldeído (FF) e isocianato (MDI). Em ambos os casos são adicionados uma proporção de 0,5 a 1,0% de emulsão de parafina, afim de que se tenha um ganho na estabilidade dimensional e uma redução da higroscopicidade dos painéis acabados.

O uso de FF ou MDI varia com os aspectos iniciais de formação do colchão bem como a aplicação final do produto. Por exemplo, o adesivo MDI permite que o teor de umidade do colchão esteja mais alto comparado com que se é permitido quando se faz uso de FF, além de apresentar cura mais rápida. Entretanto, o isocianato apresenta maior custo (MENDES, 2011).

- Formação do colchão

Esta etapa consiste em uma das fases de maior relevância para formação do OSB, uma vez que a orientação das lascas nas camadas internas e externas são aspectos de suma importância para garantir estabilidade dimensional adequada bem como resistência à flexão estática apropriada. O processo de formação do colchão se dá através de três fases, cada uma destinada a composição de uma camada. Nas camadas externas as lascas são orientadas com a maior dimensão das lascas paralela a direção de formação do colchão, enquanto que a camada interna possui direção de orientação defasada em 90° em relação as camadas externas. É válido destacar que o grau de orientação das partículas é um aspecto dependente da altura que as partículas serão dispostas e da largura das mesmas (IWAKIRI, 2005).

- Pré-Prensagem

O processo de pré-prensagem tem por objetivo o aumento da qualidade de colagem, uma vez que gera a redução dos espaços vazios e aumenta a interação entre lascas. Melhora também a produtividade, visto que assegura o alinhamento entre os diversos elementos e facilita o processo de prensagem a quente, e evita a pré-cura do adesivo (OLANDOSKI, 2001). A pré-prensagem é realizada em prensas mecânicas ou hidráulicas, à temperatura ambiente, por um período de tempo entre e 3 a 5 minutos (IWAKIRI,2005).

-Prensagem dos painéis

Segundo Surdi (2012), esta também é uma etapa crítica de todo o processo de produção de painéis OSB, visto que é nesta fase que as propriedades finais do painel são definidas; assim, aspectos como teor de umidade do colchão, tempo e temperatura da prensa são condições que afetam diretamente o resultado final do painel. A temperatura de prensagem e a umidade das partículas, em conjunto, possibilitam uma maior plasticidade da madeira, fazendo com que o material possua menor resistência a compactação, o que acaba por facilitar o ciclo de prensagem dos painéis.

É válido destacar que o tempo com a qual os painéis serão prensados deverá ser o suficiente para que o todo o painel atinja a temperatura de cura do adesivo utilizado, ou seja, tanto as bordas quanto o miolo devem atingir a temperatura para garantir a consolidação do painel (BEDNARCZUK, 2015).

Conforme Iwakiri (2005) “As funções básicas de prensagem a quente, consistem em:

1. Consolidar o colchão de partículas “strand” num painel de densidade e espessura desejada;
2. Polimerização e cura da resina a fim de unir as partículas; e
3. Estabilização do painel, através do calor, para manter a espessura e a densidade alcançada.” (IWAKIRI; 2005,)

- Acabamento

A última etapa de produção dos painéis de lascas orientadas, é o esquadrejamento, e tem por finalidade o ajuste do comprimento e largura dos produtos nas dimensões comerciais ou nas medidas pré-determinadas pelo cliente (IWAKIRI, 2005).

2.4 Tratamento preservativo da madeira

Sendo o OSB um produto de base florestal, principalmente, produzido a partir de madeira de reflorestamento que apresenta durabilidade natural menor que uma madeira nativa, os painéis podem vir a sofrer algum tipo de deterioração quando expostos a condições desfavoráveis, como por exemplo, umidade elevada, ventilação ineficiente, contato direto com o solo, dentre outros. Assim se faz necessário, para que o produto tenha uma vida útil aumentada, a aplicação de algum tratamento preservativo, seja ele através da inserção de fungicidas e inseticidas na composição do adesivo, seja aplicado por meio de vácuo-pressão (MENDES et al., 2013b).

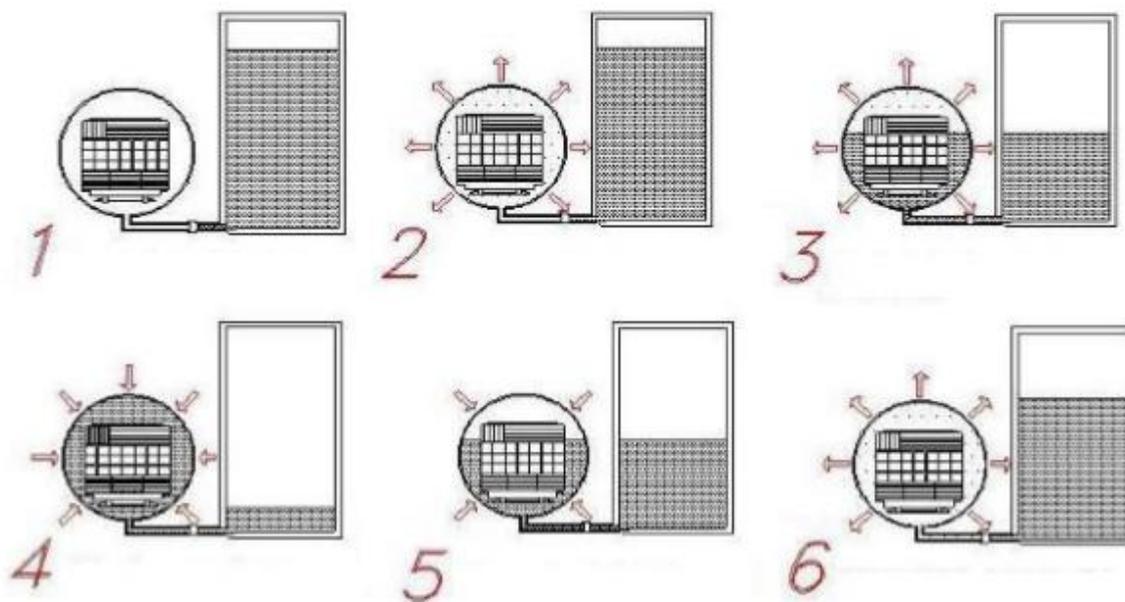
Segundo Cavalcante (1983) citado por Barillari (2002), a preservação da madeira pode ser entendida como sendo um conjunto de produtos, técnicas, métodos e pesquisas propostos a alterar a durabilidade da madeira.

Dentre os métodos de preservação disponíveis hoje no mercado, o mais antigo, e ainda o mais empregado mundialmente, é a preservação química. Este tipo de tratamento consiste na introdução de produtos químicos na estrutura da madeira afim de torná-la tóxica aos organismos xilófagos (BARILLARI, 2002).

Os métodos de tratamento industriais existentes são basicamente classificados em processos de célula cheia e de célula vazia, entretanto, o mais utilizado tanto no Brasil como o mundo é método célula cheia, que consiste na aplicação de vácuo e pressão com o objetivo de preencher com o preservativo o maior número de células possíveis (ARAÚJO; MAGALHÃES; OLIVEIRA, 2012).

De acordo com Lepage et al. (1986) e Sales-Campos et al. (2003) citados por Araújo, Magalhães, Oliveira (2012), a preservação pelo método célula cheia se dá através de uma sequência de etapas (Figura 5), sendo elas apresentadas a seguir.

Figura 5– Detalhes do processo de tratamento pelo método célula cheia.



Fonte: UFSC, 2002 citado por Bertolini, 2011.

1. Posicionamento da carga de madeira;
2. Aplicação de vácuo inicial, normalmente essa etapa ocorre por um período de tempo equivalente a 45 minutos;
3. Injeção da solução preservativa;
4. Liberação do vácuo e aplicação de pressão, por um período médio de 3 horas;
5. Liberação da pressão e aplicação do vácuo final, também é realizado por aproximadamente 45 minutos;
6. Descarga da madeira.

Além da solução preservante garantir proteção à madeira, é necessário que esta possua outras características que são tão importantes quanto, por exemplo, devem possuir baixa toxidez, elevada permanência, afim que de que não ocorra alterações em suas propriedades sob ações das intempéries, não ser corrosiva, não

apresentar impacto ambiental e social, além de não alterar as propriedades físicas e mecânicas da madeira (CALIL JR, 2002).

Segundo Lelis et al. (2001) citado por Ferro (2013) e Moreschi (2011), os preservantes de madeira se agrupam em três categorias:

- A. Preservativos Oleosos – apresenta natureza oleosa, são normalmente representados pelos derivados do alcatrão. São exemplos desta classe o creosoto e o naftenatos.
- B. Preservativos Oleossolúveis – são produtos que necessitam ser dissolvidos em algum solvente orgânico ou organometálico. Um exemplo mais comum deste preservante é o pentaclorofenol.
- C. Preservativos Hidrossolúveis – são produtos que utiliza como solvente a água. Os representantes mais comuns desta categoria são o Arseniato de Cobre Cromatado (CCA) e o Borato de Cobre Cromatado (CCB).

É importante ressaltar que a durabilidade alcançada para a madeira depende não só da eficiência do tratamento e do preservativo, mas também das propriedades do material, como características anatômicas, pela presença de substâncias recalcitrantes, como a lignina, por exemplo, bem como pelas condições ambientais pelas quais a madeira será exposta (ARAÚJO; MAGALHÃES; OLIVEIRA, 2012).

Dentre os preservantes citados anteriormente, o produto mais utilizado para o tratamento de madeiras em nível mundial, é o Arseniato de Cobre Cromatado (CCA), uma vez que possui alta eficiência, grande fixação, além de que sua composição garante ação fungicida e inseticida (MENDES et al., 2013).

O CCA é encontrado no mercado em três composições diferentes, em que há variação nas proporções de arsênio e cromo, sendo alteradas conforme a necessidade do tratamento. A Tabela 1 identifica os três tipos de preservantes conforme sua composição, sendo que atualmente o tipo C é o mais utilizado no mercado, devido a maior eficácia e melhor resistência a lixiviação quando comparado com os outros dois tipos (MORESCHI, 2011).

Tabela 1 – Variações na composição do preservante CCA.

Componente	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Cromo como CrO₃	65,5	35,3	47,5
Cobre como CuO	18,1	19,6	18,5
Arsênio como As₂O₅	16,4	45,1	34,0

Fonte: Moreschi, 2011

Segundo Bertolini (2011), a fixação do CCA na madeira se dá através da penetração dos elementos químicos e seu estabelecimento nas paredes celulares para que estes reajam com os carboidratos, lignina e extrativos, de forma a se tornar insolúvel. Cada componente apresenta uma função em particular. O cromo tem por objetivo promover a fixação no cobre e do arsênio nos elementos celulares, enquanto que o cobre desempenha papel fungicida e o arsênio inseticida. Ao final do tratamento a madeira obtém coloração esverdeada e confere proteção contra fungos, insetos e brocas marinhas.

Normalmente as empresas de preservantes garantem durabilidade de até 15 anos, mas o tempo de vida útil do produto está relacionado diretamente com a qualidade do tratamento preservante. O controle de qualidade se dá através da análise de aspectos como retenção, penetração e distribuição da solução na madeira, esses aspectos são influenciados pelas características próprias da madeira bem como ao processo de tratamento (BARILLARI, 2002).

A realização da preservação da madeira com CCA permite que esta seja utilizada em ambientes internos e externos, com ou sem contato com o solo e umidade, por exemplo, postes, estacas, mourões, componentes de construção civil, *decks*, pergolados, dentre outros (ARAÚJO; MAGALHÃES; OLIVEIRA, 2012).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Serão apresentados a seguir os materiais e equipamentos utilizados na produção dos painéis OSB, assim como as etapas de produção e caracterização e, por fim, a análise dos resultados obtidos nos experimentos.

3.1 Materiais

Os materiais utilizados para a produção de painéis OSB foram:

- Peças de madeira da espécie *Pinus taeda* doadas pela Sguario Madeiras;
- Adesivo fenol-formaldeído.

Para realização do processamento e fabricação dos painéis foram utilizados os equipamentos a seguir, todos estes se encontram nos Laboratórios de Painéis e Secagem da Madeira e de Propriedades dos Materiais pertencentes a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita filho” – Campus de Itapeva.

- Picador de disco laboratorial, MARCONI;
- Estufa de secagem, MARCONI 035;
- Encoladeira, MARCONI;
- Prensa hidráulica termo-aquecida, Hidral-Mac PHH 80T;
- Peneira por análise granulométrica, Bertel;
- Autoclave Industrial – Laboratório de preservação;
- Máquina Universal de Ensaio, EMIC DL3000N;
- Paquímetro digital com precisão de 0,01mm, Digmess;
- Micrômetro digital com precisão de 0,01mm, Digmess;
- Balança semi-analítica com precisão de 0,01g, Ohaus.

3.2 Método

O presente estudo foi realizado com três tratamentos distintos, sendo eles:

- Painéis testemunha sem tratamento (T1);
- Painéis tratados com CCA (T2);
- Painéis produzidos com lascas tratadas com CCA (T3).

O processo de fabricação, tratamento preservativo e, posteriormente, a caracterização foram realizados conforme as etapas a seguir.

3.1.1 Seccionamento das tábuas e geração das lascas

A matéria-prima, recebida através de doação da empresa Sguario Madeiras, chegou na forma de tábuas conforme apresentada no Figura 6. Estas, com auxílio de uma seccionadora, foram transformadas em peças de dimensões menores para que fossem acomodadas corretamente no picador de disco. Para que o processo de formação das lascas ocorresse mais facilmente além de diminuir o desgaste da ferramenta e evitar o encurvamento das lascas, as peças foram imersas em água por um período de 24 horas. Assim depois de umedecidas as lascas foram geradas.

Figura 6 a) Tábuas armazenadas após recebimento, b) Picador de discos e c) Lascas após serem produzidas.



Fonte: Autoria própria.

3.1.2 Secagem do material

Depois de produzidas as lascas foram acomodadas em ambiente com livre circulação de ar, mas protegida contra chuva e umidade, para que houvesse secagem

natural prévia. Posteriormente, as lascas foram levadas para secagem em estufa por um período de 24 horas a $103\pm$ °C.

3.1.3 Produção dos painéis

A produção dos painéis propriamente se iniciou com a pesagem, em balança semi-analítica, das lascas, ao total foram utilizados 1800g. Em seguida, preparou-se o adesivo através da mistura de fenol-formaldeído e água, respeitando a proporção de 10:1, onde o peso total do adesivo corresponde a 10% do peso seco das lascas. Assim foram pesados 180g de fenol-formaldeído e 18g de água para a composição de cada painel. A aplicação do adesivo por aspensão se deu pelo uso de uma encoladeira do tipo tambor rotativo, para garantir assim maior homogeneidade de distribuição das partículas de adesivo. Estes processos estão demonstrados na Figura 7.

Figura 7– a) Pesagem das lascas e b) Processo de aplicação do adesivo com uso de encoladeira.



Fonte: Autoria própria.

Após a retirada das lascas da encoladeira iniciou-se o processo de montagem do colchão. Para isso utilizou-se uma caixa formadora que tem por objetivo auxiliar a orientação preferencial das camadas. As três camadas foram formadas

respeitando a proporção 20:60:20, ou seja, 20% do peso do material foi depositado nas camadas externas, enquanto, que 60% constituiu o miolo do colchão.

Em seguida, o colchão foi submetido ao processo de pré-prensagem a frio, ou seja, a temperatura ambiente. Foi aplicada pressão de 2,0kgf/cm² por um período de 10 minutos, como apresentado na Figura 8.

Figura 8– a) Caixa formadora para orientação das lascas, b) Processo de pré-prensagem e c) Colchão após a pré-prensagem.



Fonte: Autoria própria.

A última etapa de produção consistiu em submeter o colchão a prensagem a quente em prensa hidráulica termo-mecânica. Esse processo, assim como a pré-prensagem ocorreu, por um período de 10 minutos subdivididos em três ciclos com alívio de pressão de 30 segundos entre cada novo ciclo. A pressão aplicada foi de 40 kgf/cm² com uma temperatura de 180°C. Após a fabricação os painéis foram armazenados para a cura final do adesivo e, logo após, os painéis foram esquadrejados, Figura 9.

Figura 9– Painéis já conformados e esquadrejados.



Fonte: Autoria própria.

3.1.5 Tratamento preservativo

Depois de produzidos os painéis, passou-se então para o processo de tratamento preservativo. Este foi realizado em autoclave industrial, com diâmetro de 0,80 metros e comprimento de 3 metros. Foi utilizado como preservativo Arseniato de Cobre Cromatado (CCA), tipo C, com 2% de ingredientes ativos.

Para o tratamento das lascas foi necessário primeiramente submeter as partículas por sistema de peneiramento através de uma peneira granulométrica com abertura de 5 mesh. Depois de peneirada as lascas foram acomodadas em sacos plásticos para que estes pudessem ser inseridos na autoclave sem que houvesse perda de material nem contaminação da solução preservante, conforme demonstrado na Figura 10.

Figura 10– a) Sistema de peneiras e b) Disposição das lascas para serem encaminhadas para autoclave.



Fonte: Autoria própria.

O processo de tratamento se iniciou com a acomodação das cargas. Em seguida, foi aplicado um vácuo inicial a 560 mmHg por um período de 30 minutos, e, em seguida, foi inserida a solução preservante e aplicada pressão de 12kgf/cm² por 90 minutos. Novamente, foi aplicado vácuo também a 560 mmHg, por 15 minutos, sendo esta a etapa final do tratamento. Após a realização destas etapas a autoclave se manteve fechada por 5 dias para impregnação completa e total eliminação do excesso de solução. A Figura 11 ilustra o processo em autoclave.

Figura 21– a) Disposição do material antes do tratamento e b) Material já tratado.



Fonte: Autoria própria.

Em seguida, tanto os painéis já conformados quanto as lascas foram acomodados em ambiente com livre circulação do ar para que houvesse a redução do teor de umidade (FIGURA 12). Depois deste período as lascas passaram por todas as etapas descritas a cima para a produção dos painéis (FIGURA 13). Assim ambos os tratamentos passaram pela etapa final de caracterização.

Figura 32– Lascas e painéis depois do processo de preservação.



Fonte: Autoria própria

Figura 43– Painéis produzidos com as lascas tratadas.



Fonte: Autoria própria.

3.1.5 Caracterização dos painéis

Os painéis produzidos passaram por testes físicos e mecânicos para a sua caracterização. Os testes físicos realizados foram teor de umidade, densidade, inchamento. Os testes mecânicos realizados foram resistência à flexão estática paralela e perpendicular, e tração perpendicular. Como não há normas brasileiras para caracterização optou-se pelo uso da Norma Europeia como referência.

3.1.5.1 Densidade aparente

Para determinação da densidade aparente dos painéis OSB foi utilizado a norma europeia EN 323 (1993). Para isso foi necessário determinar as dimensões da amostra bem como realizar sua pesagem. O cálculo da densidade se deu através das Equações 1 e 2:

$$M/V * 10^6 = D \quad (1)$$

Sendo:

$$b1 * b2 * e = V \quad (2)$$

Onde:

D: densidade da amostra (kg/m³);

M: massa do corpo-de-prova (g);

V: volume do corpo-de-prova (mm³);

b1 e b2: dimensões do corpo-de-prova (mm);

e: espessura do corpo-de-prova (mm).

3.1.5.2 Teor de umidade

Para determinação do teor de umidade dos painéis OSB foi utilizado a norma europeia EN 323 (1993), para isso foi necessário determinar a relação entre a massa de água contida nos painéis e sua massa depois da secagem em estufa. A secagem ocorreu por um período de tempo necessário para que o corpo-de-prova atingisse uma massa constante. O teor de umidade foi determinado a partir da Equação 3.

$$(M_u - M_s) / M_s = U \quad (3)$$

Onde:

U: umidade residual do corpo-de-prova (%);

M_u: massa úmida do corpo-de-prova (g);

M_s: massa seca do corpo-de-prova (g).

3.1.5.3 Inchamento

Para determinação do inchamento em espessura dos painéis OSB foi utilizado a norma europeia EN 317 (1993), para isso foi necessário submeter as amostras a imersão em água destilada por um período de tempo de 24 horas. Foi

realizado medições da espessura do corpo-de-prova antes e depois da imersão, assim o cálculo se deu através da Equação 4.

$$[(t_2 - t_1) / t_1] * 100 = I \quad (4)$$

Onde:

I: valor de inchamento (%);

t₁: espessura antes da imersão (mm);

t₂: espessura depois da imersão (mm).

3.1.5.4 Flexão estática

Foi utilizada a norma europeia EN 310 (1993) para realizar o ensaio de flexão estática, este por sua vez tem por propósito determinar o Módulo de Elasticidade (MOE) e o Módulo de Ruptura (MOR) nas direções paralela e perpendicular. Este ensaio foi realizado em uma Máquina Universal de Ensaio (EMIC) e para isso foi necessário determinar as dimensões da seção transversal do corpo-de-prova, e acomodá-lo corretamente no equipamento, uma vez que a amostra deve se encontrar bi apoiado tendo um vão livre equivalente a 20 vezes a espessura da amostra. O cálculo se deu através das Equações 5 e 6, é válido ressaltar que estes equacionamentos são inseridos no *software* presente na EMIC, assim os resultados dos ensaios são calculados diretamente.

$$[(1,5 * P * D) / (B * E)] = MOR \quad (5)$$

Onde:

MOR: módulo de ruptura (MPa);

P: carga de ruptura lida no indicador de cargas (N);

D: distância entre apoios do aparelho (mm);

B: largura do corpo-de-prova (mm);

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

$$\{[(F_2 - F_1) * D^3] / [4*(a_2 - a_1) * B * E^3]\} = MOE \quad (5)$$

Onde:

MOE: modulo de elasticidade (MPa);

$F_2 - F_1$: incremento de carga no limite proporcional lida no indicador de cargas (N);

D: distância entre apoios do aparelho (mm);

$a_2 - a_1$: deflexão correspondente a carga $F_2 - F_1$ (mm);

B: largura do corpo-de-prova (mm);

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

3.1.5.5 Tração perpendicular

Foi utilizada a norma europeia EN 319 (1993) para realizar o ensaio de tração perpendicular. Este ensaio foi realizado em uma Máquina Universal de Ensaios (EMIC) e para isso foi necessário determinar as dimensões da seção transversal do corpo-de-prova, em seguida a amostra foi posicionada entre dois suportes para que assim iniciassem os ensaios. O cálculo se deu através da Equação 7, é valido ressaltar que este equacionamento é inserido no *software* presenta na EMIC, assim os resultados dos ensaios são calculados diretamente.

$$F_{max} / (a * b) = f_t \quad (7)$$

Onde:

f_t : tensão a tração perpendicular (MPa);

F_{max} : Carga de ruptura do corpo-de-prova (N);

a e b: dimensões de largura e comprimento da amostra (mm).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir estão apresentados os resultados obtidos nos ensaios de caracterização físico-mecânicos para todas as chapas produzidas, os valores alcançados foram comparados à literatura e com a norma vigente.

3.1 Densidade aparente

A Tabela 2 apresenta os valores médios de densidade aparente juntamente com a análise de variância pelo teste de Tukey com 95% de confiabilidade, desvio padrão, coeficiente de variação e número de amostras.

Tabela 1 – Valores de densidade aparente obtidos nos ensaios realizados.

Tratamento	Média (kg/m ³)	D.P. (kg/m ³)	C.V. (%)	n
T1	666a*	90	13,55	10
T2	656a	35	5,41	10
T3	828b	160	19,38	10

*Letras diferentes determinam médias estatisticamente diferentes entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

Através da Tabela 2 pode-se perceber que não houve diferença estatística entre a densidade aparente nos tratamentos T1 e T2, porém estes diferiram do tratamento T3. Este ganho de densidade nas amostras que receberam o preservante nas lascas antes da consolidação do painel pode ser explicado pela melhor maior retenção do produto quando comparado com o painel tratado, uma vez que há maior área superficial em contato e maior facilidade do preservante atingirem todas as lascas.

Marco, Ballarin e Palma (2016) que realizaram um estudo preliminar com compensado de *Pinus taeda* L. em que as lâminas foram tratadas com CCA observaram valores de densidade maior do que o encontrado nos painéis não tratados, passando de 622kg/m³ para 657kg/m³, o que também foi explicado pela retenção do material preservativo nas lâminas.

De acordo com Mendes *et al.* (2013) que estudaram o efeito do tratamento preservativo de painéis compensados sobre suas propriedades físico-mecânica, não

observaram diferença significativas para a massa específica entre os painéis tratados tanto com CCA quanto com CCB em relação aos painéis testemunha.

Bertolini *et al* (2014) que realizaram um estudo sobre a produção e caracterização de painéis de partículas provenientes de rejeitos de *Pinus sp.* tratado com CCA, puderam observar que o uso de madeira tratada na produção influenciou diretamente a densidade, isso porque a densidade dos painéis com madeira sem tratamento foi em média de 760kg/m³ enquanto que para os painéis tratados atingiram 880kg/m³.

3.2 Teor de Umidade

A Tabela 3 apresenta os valores médios de teor de umidade juntamente com a análise de variância pelo teste de Tukey com 95% de confiabilidade, desvio padrão, coeficiente de variação e número de amostras.

Tabela 3 – Valores de teor de umidade obtidos nos ensaios realizados.

Tratamento	Média (%)	D.P. (%)	C.V. (%)	n
T1	7,86b*	1,10	14,02	10
T2	16,47 ^a	2,20	13,37	10
T3	4,71c	1,06	22,61	10

*Letras diferentes determina médias estatisticamente diferentes entre si, pelo teste Tukey a 5% de significância.

Conforme apresentado na Tabela 3 os valores de teor de umidade diferiram estatisticamente para os três tratamentos. Segundo a Norma Europeia (EN-322, 2000) os requisitos para teor de umidade para as classes 1 e 2 podem variar de 2% a 12% enquanto que para as classes 3 e 4 variam entre 5% e 12%. Assim os tratamentos T1 e T3 atenderam estes requisitos para o uso em ambiente úmido, porém o tratamento T2 se apresentou fora da faixa de utilização por apresentar valor acima do limite normativo.

O maior teor de umidade no tratamento T2 pode ter ocorrido devido a impregnação do preservante ter sido realizada após a consolidação do painel, assim o ganho de água foi extremamente alta e como não houve etapas posteriores de secagem, a perda de água ocorreu somente pela diferença de umidade com o ambiente, diferente do que ocorreu com as lascas, visto que depois do tratamento

estas foram secas em estufa garantindo que o excesso de água gerado pela preservação fosse eliminado.

O mesmo fenômeno foi observado por Mendes *et al.* (2013) em que os valores médios de teor de umidade foram menores nos painéis sem tratamento quando comparados com os painéis com CCA. Esse comportamento não era esperado visto que os preservantes se ligam na estrutura química da madeira o que deveria diminuir os valores de umidade. Contudo, aliado ao excesso de água não eliminado no processo de preservação, possivelmente causado pela aplicação de pressão expondo maiores números de áreas higroscópicas.

Ferro *et al.* (2016) realizou um estudo sobre as propriedades físicas de painéis OSB produzidos com madeira de *Schizolobium amazonicum* (Paricá), tratadas com CCA e CCB. Neste trabalho a preservação foi realizada nas peças de madeira antes da produção das lascas, assim os teores de umidade encontrados foram satisfatórios com os encontrados na literatura, variando entre 7,49% e 8,81% sendo superiores aos valores encontrados, referente ao tratamento das lascas, neste trabalho.

3.3 Inchamento em espessura

A Tabela 4 apresenta os valores médios de inchamento juntamente com a análise de variância pelo teste de Tukey com 95% de confiabilidade, desvio padrão, coeficiente de variação e número de amostras.

Tabela 4 – Valores de inchamentos em espessura após 24 horas obtidos nos ensaios realizados.

Tratamento	Média (%)	D.P. (%)	C.V. (%)	n
T1	37,28a*	7,28	19,531	10
T2	6,20b	5,13	82,77	10
T3	38,89a	9,24	23,76	10

*Letras diferentes determina médias estatisticamente diferentes entre si, pelo teste Tukey a 5% de significância.

Analisando os dados da Tabela 4 pode-se perceber que não houve diferença estatística entre os tratamentos T1 e T3, mas houve diferença destes em relação ao

tratamento T2. Tal fato pode ser justificado pela diferença quanto ao ganho de espessura causada durante o tratamento preservativo.

O mesmo fenômeno foi encontrado por Mendes *et al* (2013) em painéis de madeira compensada, em que se verificou uma tendência de diminuição no inchamento em espessura após o tratamento dos mesmos. Esta diminuição pode estar relacionada com o método de preservação, visto que há um inchamento inicial estimulado pelo processo vácuo-pressão-vácuo e, isto fez com que as amostras apresentassem menor inchamento durante a realização dos testes.

Bertolini *et al* (2014) também verificou diminuição no inchamento em espessura em painéis de partícula aglomerada produzidos com resíduos de madeira tratada com CCA, diminuindo de 16,3% para painéis testemunha para 8,65% para os painéis com preservante. Outra possível explicação para esta tendência está associada a retenção dos constituintes do preservativo que ocupa os sítios higroscópicos presentes na madeira.

De acordo com documento normativo, Norma Europeia (EN-322, 2000), somente o tratamento T2 alcançou valor de inchamento compatível com os requisitos apresentados pela norma, podendo ser classificado, quanto a esta característica física, como classe 4 onde para espessuras entre 10 e 18 mm é indicado o limite de 12% de inchamento em espessura.

3.4 Flexão estática

As Tabelas 5 e 6 apresentam os valores médios de Módulo de Elasticidade (MOE) paralelo e perpendicular e as Tabelas 8 e 9 os valores médios de Módulo de Ruptura (MOR) paralelo e perpendicular, respectivamente juntamente com a análise de variância pelo teste de Tukey com 95% de confiabilidade, desvio padrão, coeficiente de variação e número de amostras.

Tabela 5 – Valores de MOE paralelo obtidos nos ensaios realizados.

Tratamento	Média (MPa)	D.P. (MPa)	C.V. (%)	n
T1	4960a*	410	8,26	5
T2	1524b	345	22,63	5
T3	2820b	1301	46,14	5

*Letras diferentes determina médias estatisticamente diferentes entre si, pelo teste Tukey a 5% de significância.

Tabela 6 – Valores de MOE perpendicular obtidos nos ensaios realizados.

Tratamento	Média (MPa)	D.P. (MPa)	C.V. (%)	n
T1	3295a*	293	8,89	5
T2	1473b	211	14,35	5
T3	2722a	1174	43,12	5

*Letras diferentes determina médias estatisticamente diferentes entre si, pelo teste Tukey a 5% de significância.

Tabela 7 – Valores de MOR paralelo obtidos nos ensaios realizados.

Tratamento	Média (MPa)	D.P. (MPa)	C.V. (%)	n
T1	40,07a*	3,85	9,60	5
T2	17,07c	2,20	12,88	5
T3	25,62b	6,89	26,89	5

*Letras diferentes determina médias estatisticamente diferentes entre si, pelo teste Tukey a 5% de significância.

Tabela 8 – Valores de MOR perpendicular obtidos nos ensaios realizados.

Tratamento	Média (MPa)	D.P. (MPa)	C.V. (%)	n
T1	34,91a*	6,25	17,89	5
T2	16,06b	2,25	14,00	5
T3	21,80b	4,11	18,87	5

*Letras diferentes determina médias estatisticamente diferentes entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

Para os valores de MOE e MOR obtidos tanto paralelo como perpendicularmente, observou-se que o tratamento do painel após sua consolidação prejudicou de forma mais significativa seu desempenho, quando comparada aos demais tratamentos. Isso se deve ao fato da maior presença de água nos painéis,

provenientes do tratamento preservativo, que não foram eliminadas no período de secagem ao ar livre.

De acordo com Moreschi (2012), de maneira geral as propriedades mecânicas da madeira tendem a diminuir com o aumento no teor de umidade, isto porque a medida que ocorre a entrada de moléculas de água nos espaços vazios do material este se torna inchado e plasticizado. Ou seja, pequenas deformações elásticas em um curto período de tempo se tornam deformações plásticas.

A perda de resistência á flexão estática nas duas direções também pode ter sido ocasionada em função do tratamento químico, visto que há fixação dos ingredientes ativos no interior da madeira e, estes dificultam e/ou prejudicam a qualidade da colagem dos painéis, ou seja, a impregnação dos adesivos no substrato.

O melhor desempenho na flexão estática em ambas as direções para os painéis do tratamento T3, tratamento das lascas, quando comparado com o tratamento dos painéis pode ser justificado também pela variação de densidade. Uma vez que os painéis do terceiro tratamento tiveram um aumento de densidade gerado pela maior retenção de preservante, assim como havia um menor número de espaços vazios nestes painéis, maior densidade, os mesmos obtiveram um melhor desempenho mecânico.

O estudo realizado por Mendes *et al.* (2013) observou redução nos valores de MOR e MOE para painéis compensados tratados tanto com CCA quanto com CCB. Neste estudo a redução mais drástica ocorreu no MOE paralelo, obtendo valores médios menores que a metade dos valores obtido para os painéis testemunha.

Marco, Ballarin e Palma (2016) obtiveram resultados contrários aos obtidos no presente trabalho, uma vez que o tratamento preservativo das lâminas para produção de painéis de compensados não resultaram em diferenças significativas, destes para com os painéis testemunha, tanto para MOR quanto para MOE em ambas as direções.

Bertolini *et al.* (2014) verificou, para painéis de partículas produzidas com rejeitos de *Pinus sp* tratados com CCA, que não houve diferenças estatísticas significativas entre os painéis com e sem tratamento, porém neste estudo foi observado uma melhora nestas propriedades quando se fez uso de maiores teores de adesivo. O que pode ser uma sugestão de melhoria para que se possa atingir melhores desempenos mecânicos em painéis OSB tratados com CCA.

Segundo a EN 300 (2002) para painéis OSB os valores normativos de referência para a classe 4 são: MOE paralelo 4800 MPa, MOR paralelo 28,00 MPa, MOE perpendicular 1900 MPa, MOR perpendicular 15,00 MPa. Com base nos valores apresentados anteriormente somente os painéis testemunha T1 atingiram os critérios estabelecidos para utilização estrutural especial em ambiente úmido. O tratamento T3 permite classificar os painéis como pertencentes a classe 1, indicados para uso geral e painéis para componentes interiores para uso em ambiente seco. Para esta classe os valores de referências são: MOE paralelo 2500 MPa, MOR paralelo 18,00 MPa, MOE perpendicular 1200 MPa, MOR perpendicular 9,00 MPa. Assim verificou-se que para oT2 somente o MOE paralelo não atingiu os critérios estabelecidos pela norma europeia, não podendo assim ser categorizado em nenhuma classe de uso.

3.5 Tração perpendicular

A Tabela 9 apresenta os valores médios de tração perpendicular juntamente com a análise de variância pelo teste de Tukey com 95% de confiabilidade, desvio padrão, coeficiente de variação e número de amostras.

Tabela 9 – Valores de tração perpendicular obtidos nos ensaios realizados.

Tratamento	Média (MPa)	D.P. (MPa)	C.V. (%)	N
T1	0,54a*	0,19	34,98	10
T2	0,57a	0,12	21,06	10
T3	0,36b	0,13	34,84	10

*Letras diferentes determina médias estatisticamente diferentes entre si, pelo teste Tukey a 5% de significância.

Conforme os resultados apresentados na Tabela 9 verifica-se uma redução considerável entre a adesão interna do tratamento T3 em relação aos painéis dos tratamentos T1 e T2. Esta redução pode ser explicada pela fase de preservação ter sido realizada nas lascas, ou seja, antes da consolidação do painel, o que interfere no processo de interação entre o adesivo e a madeira.

Bertolini *et al* (2014) obteve resultados, para painéis aglomerados, com a mesma tendência obtida no presente trabalho. Uma vez que o uso de resíduos de madeira tratadas com CCA resultou em uma menor resistência em relação a adesão

interna, caindo de 2,41MPa, obtidos para os painéis testemunha, para 1,59MPa para os painéis com CCA. É interessante destacar que os estudos realizados pelo autor demonstraram que o uso de um maior percentual de resina auxilia na obtenção de valores de adesão interna mais satisfatórios, se aproximando significativamente os valores referenciais.

Segundo Vick e Kuster (1992) esse comportamento se deve ao fato dos componentes do preservativo (cobre, cromo e arsênio) se ligarem quimicamente as paredes celulares do material, bloqueando parte significativa das forças moleculares que normalmente atuam entre o adesivo e a madeira.

4 CONCLUSÃO

O uso dos painéis à base de madeira na construção civil tem mostrado aplicações relevantes especialmente em sistemas construtivos leves como o *Wood Frame* e *Steel Frame*. No entanto, alguns aspectos importantes relacionados a durabilidade dos painéis para este uso se tornam importantes. Sendo assim, o uso de tratamento químico preservativo nos painéis OSB foi a proposta deste estudo visando maior durabilidade dos mesmos para tal aplicação.

Com base nos resultados obtidos para os painéis tratados assim como para as lascas tratadas verificou-se mudanças no desempenho tanto melhorando como piorando suas propriedades. No aspecto geral pode-se dizer que o tratamento T2 (tratamento do painel) apresentou melhor desempenho no teste de inchamento em espessura e, isto pode ser justificado pelo teor de umidade elevado dos painéis antes da realização dos testes o que acabou por mascarar os resultados uma vez que mesmo atingindo os valores normativos os painéis se encontravam inchados antes da realização dos testes. E no teste de tração perpendicular, sendo superior aos painéis sem nenhum tipo de tratamento preservativo. Analisando tal processo, industrialmente o mesmo não se mostra viável e interessante por apresentar uma etapa a mais no processo e requer maiores espaços para o tratamento químico do material.

O tratamento das lascas (T3) apresentou redução tanto nas propriedades físicas como mecânicas de forma geral. O tratamento T3 (tratamento das lascas) embora tenha apresentado resultados que não atenderam as normas vigentes observou-se no aspecto geral desempenho mais próximo quando comparado ao painel não submetido a tratamento químico, o que sinaliza a possibilidade de uso com ajustes realizados no processo produtivo. Destaca-se que neste estudo foi utilizado para todos os tratamentos a porcentagem de adesivo de 10%, no entanto, verificou-se que durante a aplicação do mesmo ocorreram perdas, pois o adesivo não foi totalmente aplicado nas lascas ficando impregnado no recipiente de aplicação. Após a fabricação verificou-se que a porcentagem efetiva de adesivo aplicado foi de 8%. Como mencionado no item Resultados e Discussões uma proposta para estudos futuros é o aumento da porcentagem de adesivo de modo a garantir que efetivamente sejam aplicados 10% de resina.

5 REFERÊNCIAS

ARAUJO, H. J. B. de; MAGALHÃES, W. L. E.; OLIVEIRA, L. C. de. Durabilidade de madeira de *Eucalypto citriodora* (*Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson) tratada com CCA em ambiente amazônico. **Acta Amazônia**, Acre, v. 42, n. 1, p.49-58, mar. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA (ABIPA). **Programa setorial da qualidade de painéis de partículas de madeira (MDP) e painéis de fibras de madeira (MDF)**. São Paulo, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília, 2013.

Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDS). **Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2009.

BARILLARI, C. T. **Durabilidade da madeira do gênero *Pinus* tratada com preservantes: Avaliação em campo de apodrecimento**. 2002. 79 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Tecnologia de Produtos Florestais, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2002.

BEDNARCZUK, E. **Produção de lâminas e painel compensado multilaminado com madeira de *Hovenia dulcis thunberg* (uva-do-japão)**. 2015. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste – Unicentro, Irati, 2015.

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

BERTOLINI, M. S. et al. PAINÉIS DE PARTÍCULAS PROVENIENTES DE REJEITOS DE *Pinus* sp. TRATADO COM PRESERVANTE CCA E RESINA DERIVADA DE BIOMASSA. **Revista Árvore**, Viçosa-mg, v. 38, n. 2, p.339-346, 2014a.

BRITISH STANDARDS. EN 300: Oriented Strand Boards (OSB) — Definitions, classification and specifications. Bruxelas: BSI, 2006. 24 p.

BRITISH STANDARDS. EN 310: Wood-based panels — Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Bruxelas: BSI, 2000. 14 p.

BRITISH STANDARDS. EN 317: Particleboards and fiberboards — Determination of swelling in thickness after immersion in water. Bruxelas: BSI, 2000. 12 p.

BRITISH STANDARDS. EN 319: Particleboards and fiberboards — Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. Bruxelas: BSI, 2000. 12 p.

BRITISH STANDARDS. EN 322: Wood-based panels — Determination of moisture content. Bruxelas: BSI, 1993. 5 p.

BRITISH STANDARDS. EN 323: Wood-based panels — Determination of density. Bruxelas: BSI, 2000. 12 p.

BRITISH STANDARDS. EN 326-1: Wood-based panels — Sampling, cutting and inspection — Part 1: Sampling and cutting of test pieces and expression of test results. Bruxelas: BSI, 1994. 16 p.

CALIL JÚNIOR, C. O potencial do uso de madeira de Pinus na construção civil. **Revista Técnica**, São Paulo. n. 60, p. 44-48, 2002.

CÉSAR, A. A. S. **Estudo da interação adesivo/partícula em painéis OSB (oriented strand board)**. 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

FERRAZ, J. M. et al. Propriedades de painéis de partículas laminadas paralelas utilizados como alternativa à madeira maciça. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 1, p.67-74, março,2009.

FERRO, F. S. **Painéis OSB com madeira *Schizolobium amazonicum* e resina poliuretana à base de óleo de mamona: viabilidade técnica de produção**. 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

Ferro, F.S. et al.: Physical Properties of OSB Panels Manufactured with CCA and CCB Treated *Schizolobium amazonicum* and Bonded with Castor Oil Based Polyurethane Resin. **International Journal of Materials Engineering**, 2016a.

IWAKIRI, S. (Ed.). **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Fupref, 2005. 247 p

IWAKIRI, S.; MENDES, L. M.; SALDANHA, L. K. Produção de chapas de partículas orientadas "OSB" de *Eucalyptus grandis* com diferentes teores de resina, parafina e composição em camadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p.89-94, 2003.

KALATAI, D. F.; BRUM, L. S. **Estudo de produtos à base de madeira reconstituída na construção civil: caracterização e aplicação de chapas de OSB revestidas com placas sintéticas**. 2014. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de

Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Construção Civil, Pato Branco, 2014.

LELIS, A. T. et al. São Paulo. *Biodeterioração de madeiras em edificação*, 2001. In: FERRO, F. S. *Painéis OSB com madeira Schizolobium amazonicum e resina poliuretana à base de óleo de mamona: viabilidade técnica de produção*. São Carlos: 2013. p.33.

MALONEY, T. M. *Modern particleboard e dry-process fiberboard manufacturing*. 2 ed. São Francisco: M. Freeman, 1993. 689p.

MARCO, J. T. do; BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. Lara. COMPENSADO DE *Pinus taeda* L. COM LÂMINAS TRATADAS COM CCA – ESTUDO PRELIMINAR. In: XV EBRAMEM - ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2016, Curitiba.

MENDES, L. M. **Pinus spp. na produção de painéis de partícula orientadas (OSB)**. 2001. 103p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, L. M. et al. *Pinus* spp. NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE PARTÍCULAS ORIENTADAS (OSB). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p.135-145, mar. 2002.

MENDES, R. F. et al. Efeito do tratamento preservativo de painéis compensados sobre as suas propriedades físico-mecânica. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 100, p.507-513. Dezembro, 2013.

MORESCHI, J. C. **Produtos preservantes de madeira**. 2011.

MORESCHI, J. C.; PROPRIEDADES DA MADEIRA. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, 4ª edição: novembro/2012. Curitiba, 2012a.

OLANDOSKI, D. P. **Rendimento, resíduos e considerações sobre melhorias no processo em indústria de chapas compensadas**. 2001. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Floresta, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

PONCE, R. H. **Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas**. 2010.

SOUZA, A. M. de. **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas orientadas (OSB) de Pinus sp com inclusão de telas metálicas**. 2012. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012

SURDI, G. P. **Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de um híbrido de *Pinus ellittii* X *Pinus caribaea* var *hondurensis***. 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Tecnologia de Produtos Florestais, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2012.

VICK, C. B.; KUSTER, T. A. Mechanical interlocking of adhesive bonds to cca-treated southern pine-a scanning electron microscopic study. *Wood and Fiber Science*, v.24, n.1, p.36-46, 1992.

ZENID, G. J. **Madeira na construção civil**. 2011.