UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS
INSTITUTO DE QUÍMICA DE SÃO CARLOS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

AMÓS MAGALHÃES DE SOUZA

Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas orientadas (OSB) de
Pinus sp com inclusão de telas metálicas

São Carlos
2012

AMÓS MAGALHÃES DE SOUZA

Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas orientadas (OSB) de
Pinus sp com inclusão de telas metálicas

Versão Corrigida

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, da Universidade de São Paulo, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Área de Concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais.

Orientador: Francisco Antonio Rocco Lahr

São Carlos
2012

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Atendimentos ao Usuário do Serviço de Biblioteca – EESC/USP.

S729p Souza, Amós Magalhães de
Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas orientadas (OSB) de Pinus sp com inclusão de telas metálicas. / Amós Magalhães de Souza; orientador Francisco Antonio Rocco Lahr. São Carlos, 2012.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciências e Engenharia de Materiais e Área de Concentração em Desenvolvimento Caracterização e Aplicação de Materiais -- Escola de Engenharia de São Carlos; Instituto de Física de São Carlos; Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo, 2012.

1. Derivado da madeira. 2. Painel de partículas. 3. OSB. 4. Compensado. I. Título.

Ao meu Deus, que nunca me desamparou.
Aos meus pais Manoel e Marli, pelo amor, carinho e apoio.
As minhas irmãs Arlene e Aurenice.
Ao meu sobrinho Victor.
Aos meus parentes e amigos.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e pelas oportunidades concedidas.

Ao Prof. Francisco Antonio Rocco Lahr que, nos anos de convivência, muito me ensinou, contribuindo para meu crescimento científico e intelectual; pela amizade e incentivo.

Ao Prof. Fabrício Moura Dias, pela amizade e pelo incentivo para ingresso na carreira acadêmica.

À pesquisadora Maria Fátima (Fati), pela amizade, carinho, atenção, apoio.

Ao Prof. André Luís Christoforo, pela companheirismo, paciência e grande ajuda.

Aos amigos do LaMEM – Laboratório de Madeiras e de Estrutura de Madeiras: Aparecido (Cidão), Roberto, Silvio e Samuel, que sempre estiveram presentes me aconselhando e incentivando com carinho e dedicação; aos alunos de pós-graduação Felipe, Fabiane (Bia) e Luciano (Zé), pela amizade e companheirismo.

Aos grandes amigos, familiares, e a todos que colaboraram direta ou indiretamente com a execução deste trabalho; em especial para Thalita, pelo grande apoio, carinho e ajuda.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de mestrado e pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

EPÍGRAFE

"Retém a instrução e não a largues: guarda-a, porque ela é a tua vida."

Provérbios 4:13

RESUMO

SOUZA, A. M. (2012). **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas orientadas (OSB) de *Pinus sp* com inclusão de telas metálicas**. 116f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos e Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

O OSB é um produto derivado da madeira desenvolvido nos Estados Unidos em 1970. É definido como um painel de partículas orientadas, as quais são distribuídas em camadas múltiplas de uma forma predeterminada. À época, o OSB foi criado para substituir o painel de madeira compensada. Todavia, geralmente suas propriedades na flexão estática são inferiores. A proposta principal deste trabalho foi produzir e analisar o desempenho de painéis OSB de *Pinus sp* e resina poliuretana à base de óleo mamona com inclusão de telas metálicas, objetivando acréscimo nas propriedades de resistência e de rigidez na flexão estática. A produção seguiu o processo laboratorial, consistindo em gerar as partículas, distribuir o adesivo, confeccionar o colchão e prensar à temperatura de 100°C por 10 minutos. O teor de resina adotado foi de 12% tendo como base a massa seca das partículas. Os painéis foram confeccionados com três camadas, as externas tendo direção paralela ao comprimento da chapa e a interna com distribuição randômica. A proporção face/miolo/face foi na faixa de 20:60:20. Com base nas recomendações de documentos normativos brasileiros e europeus foram realizados ensaios de flexão estática, de onde foram determinados os módulos de ruptura (MOR), e módulo de elasticidade (MOE), ensaios de arrancamento de parafusos, adesão interna, teor de umidade, absorção de água, inchamento em espessura e determinação da densidade aparente. Os resultados apontam a eficiência dos painéis OSB produzidos quando comparadas suas propriedades com os valores mínimos exigidos pelas normas e valores encontrados na literatura para painéis desta natureza. A utilização da tela metálica se mostrou não necessária, dada a pouco relevante diferença de MOE e MOR entre os painéis com e sem a tela.

Palavras-chave: derivado da madeira, painel de partículas, OSB, compensado.

ABSTRACT

SOUZA, A. M. (2012). **Production and performance evaluation of *Pinus sp* oriented strandboard (OSB) with metallic gauze inclusion**. 116f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos e Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

OSB is a wood based product developed in the United States, since 1954. It's defined as oriented particles panels, which are distributed in multiple layers of a predetermined shape. At the time, the OSB was created to replace the plywood panel, but usually its bending properties are inferior. The main purpose of this study was to produce and analyze the performance of OSB from *Pinus sp* and castor oil based polyurethane resin with inclusion of metallic gauzes, aiming to increase strength and stiffness properties in static bending. Panel production followed laboratory process, consisting of particles generation, adhesive distribution, mattress making and a pressing in 100°C temperature for 10 minutes. The resin content was set at 12% based on particles dry weight. Panels were produced with three layers: the outers with strands in direction parallel to the panel length; internal in randomized distribution. Face/core/face particle proportion was in range of 20:60:20. Based on Brazilian and European codes recommendations, several tests were performed to determine: modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE), in static bending; screw pullout; internal adhesion; moisture content; water absorption; thickness swelling and density. Results showed efficiency of OSB produced comparing their properties with basic codes requirements the standards and literature values for such panels. The use of metallic gauze has been shown not necessary, because of small relevant difference between MOE and MOR for panels with and without gauze inclusion.

Keywords: derived from wood, particle board, OSB, plywood.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Exemplos de produtos derivados de madeira. a) Compensado, b) Medium Density Particleboard (MDP), c) OSB e d) Medium Density Fiberboard (MDF).....	26
Figura 2 -	Esquema ilustrativo de montagem de compensado de cinco lâminas.....	26
Figura 3 -	Orientação das camadas do painel OSB.....	28
Figura 4 -	Processo industrial de produção de OSB.....	31
Figura 5 -	Orientador de partículas.....	33
Figura 6 -	Exemplos de utilização do OSB. a) Tapumes, b) Pisos, c) e d) estruturas de sofá.....	39
Figura 7 -	Exemplos de telas metálicas. a) e b) Rolos de tecidos metálico c) filtros e d) tela.....	45
Figura 8 -	Exemplos de aplicação de telas em solo. a), b) e d) Reforços principais de aterros estruturais, c) estrutura de solo reforçado.....	45
Figura 9 -	Exemplos de reforços de telas metálicas. a) Amarração entre alvenaria, b) argamassa armada.....	46
Figura 10 -	a) Gerador de partículas, b) betoneira adaptada como encoladeira.....	50
Figura 11 -	Prensa hidráulica.....	51
Figura 12 -	Orientador de partículas de madeira para fabricação de OSB.....	51
Figura 13 -	Peças de madeira utilizadas para fabricação de partículas.....	53
Figura 14 -	Processo de obtenção das partículas de madeira através do picador de disco.....	53
Figura 15 -	Partículas de madeira (strands).....	53
Figura 16 -	Poliol B1640 e Pré-polímero A249.....	54
Figura 17 -	a) Aplicação da resina e b) Retirada das partículas da encoladeira.....	55
Figura 18 -	a) orientação das partículas, b) camada externa, c) camada interna e d) colchão.....	55
Figura 19 -	a) Pré- prensagem, b) prensagem a quente.....	56
Figura 20 -	Painel depois de retirado da prensa.....	56
Figura 21 -	Distribuição e dimensões dos corpos-de-prova retirados em cada painel.....	57
Figura 22 -	Amostra utilizada nos ensaio físico.....	58

Figura 23 - Ensaio de absorção e inchamento em espessura, a) Duas horas após a imersão, b) Vinte quatro horas após a imersão.....	60
Figura 24 - Máquina universal de ensaios.....	61
Figura 25 - Ensaio de flexão estática.....	62
Figura 26 - Ensaio de adesão interna.....	62
Figura 27 - a) Ensaio de arrancamento face, b) ensaio de arrancamento topo.....	64
Figura 28 - a) Painel com a tela na superfície, b) painel com a tela parcialmente na superfície.....	65
Figura 29 - Painel com a tela entre a camada externa e interna.....	65
Figura 30 - Corpos-de-prova utilizados nos ensaios de flexão estática na segunda fase preliminar.....	74

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Aplicação doméstica dos painéis OSB.....	39
Gráfico 2 -	Consumo Norte Americano de painéis estruturais, 2007-2011.....	41
Gráfico 3 -	Valores médios comparativos de MOR paralelo e perpendicular dos painéis compensados e OSB.....	42
Gráfico 4 -	Valores médios comparativos de MOE paralelo e perpendicular aos painéis compensados e OSB.....	43
Gráfico 5 -	Valores médios de MOE, painéis produzidos na primeira etapa dos testes preliminares.....	69
Gráfico 6 -	Valores médios de MOR dos painéis produzidos na primeira etapa dos testes preliminares.....	70
Gráfico 7 -	Valores residuais para as variáveis respostas MOE.....	71
Gráfico 8 -	Valores residuais para as variáveis respostas MOR.....	71
Gráfico 9 -	Efeitos dos níveis experimentais sobre o módulo de elasticidade..	72
Gráfico 10 -	Efeitos dos níveis experimentais sobre o módulo de ruptura.....	73
Gráfico 11 -	Valores médios dos módulos de elasticidade (MOE) dos painéis da segunda etapa dos testes preliminares.....	74
Gráfico 12 -	Valores médios dos módulos de ruptura (MOR) dos painéis da segunda etapa dos testes preliminares.....	75
Gráfico 13 -	Valores residuais para as variáveis respostas MOE.....	76
Gráfico 14 -	Valores residuais para as variáveis respostas MOR.....	76
Gráfico 15 -	Efeito do tamanho da malha da tela.....	77
Gráfico 16 -	Efeito posição de prensagem da tela no colchão.....	77
Gráfico 17 -	Efeitos e interações dos fatores experimentais sobre o MOE.....	77
Gráfico 18 -	Efeito do tamanho da malha da tela.....	78
Gráfico 19 -	Efeito posição de prensagem da tela no colchão.....	78
Gráfico 20 -	Efeitos e interações dos fatores experimentais sobre o MOR.....	78
Gráfico 21 -	Valores médios dos ensaios de arrancamento face e topo.....	81
Gráfico 22 -	Valores médios dos ensaios de adesão interna.....	81
Gráfico 23 -	Valores médios do MOE dos painéis produzidos ensaios principais..	82
Gráfico 24 -	Valores médios do MOR dos painéis produzidos nos ensaios principais	83
Gráfico 25 -	Gráficos residuais para as variáveis respostas do MOE.....	84

Gráfico 26 - Gráficos residuais para as variáveis respostas do MOR.....	84
Gráfico 27 - Efeitos dos níveis experimentais sobre o módulo de elasticidade..	84
Gráfico 28 - Efeitos dos níveis experimentais sobre o módulo de ruptura.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Painéis para usos gerais e componentes para utilização em ambiente seco – Requisitos para as propriedades mecânicas e de inchamento.....	46
Tabela 2 -	Painéis para uso estrutural em ambiente seco – Requisitos para as propriedades mecânicas e de inchamento.....	47
Tabela 3 -	Painéis para uso estrutural em ambiente úmido – Requisitos para as propriedades mecânicas e de inchamento.....	47
Tabela 4 -	Painéis para uso estrutural especiais em ambiente úmido – Requisitos para as propriedades mecânicas e de inchamento.....	47
Tabela 5 -	Especificações das telas utilizadas na confecção dos painéis.....	49
Tabela 6 -	Ensaio realizados, as normas utilizadas e a quantidade de corpos-de-prova retirada em cada painel.....	57
Tabela 7 -	Quantidade e composição dos painéis.....	65
Tabela 8 -	Tipos de malhas usadas e os numeros de painéis produzidos em cada posições de prensagem da tela na segunda fase dos testes preliminares.....	66
Tabela 9 -	Posição de prensagem da tela e a quantidade de painéis produzidos para os ensaios principais.....	67
Tabela 10 -	Resultados da análise de Variância.....	71
Tabela 11 -	Teste de Tukey para o desdobramento dos quatro níveis da posição da tela sobre o módulo de elasticidade.....	72
Tabela 12 -	Teste de Tukey para o desdobramento dos quatro níveis da posição da tela sobre o módulo de ruptura.....	73
Tabela 13 -	Fatores e níveis do planejamento experimental.....	76
Tabela 14 -	Resultados da análise de variância.....	76
Tabela 15 -	Valores médios das razões de compactação e dos ensaios de densidade aparente e teor de umidade.....	79
Tabela 16 -	Valores médios dos ensaios de inchamento em espessura e absorção de água.....	79
Tabela 17 -	Níveis experimentais para o fator Posição da Tela.....	83
Tabela 18 -	Resultado da análise de Variância.....	83

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
1.1 Generalidades.....	23
1.2 Objetivos.....	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1 Introdução aos produtos derivados da madeira.....	25
2.2 O OSB.....	27
2.2.1 Generalidades.....	27
2.2.2 Conceito.....	28
2.3 Aspectos gerais sobre produção e utilização dos painéis OSB.....	28
2.3.1 Tipos de Resinas.....	28
2.3.2 Processo de fabricação industrial.....	30
2.3.3 Processo de fabricação laboratorial.....	31
2.3.4 Fatores ligados ao processo de fabricação que afetam as propriedades dos painéis OSB.....	33
2.3.4.1 Tipo de resina e proporção.....	33
2.3.4.2 Teor de umidade das partículas.....	34
2.3.4.3 Geometria e orientação das partículas.....	35
2.3.4.4 Tempo e temperatura de prensagem e Pressão específica.....	35
2.3.4.5 Densidade	37
2.3.4.6 Composição dos painéis.....	37
2.3.5 Tipos de painéis OSB.....	38
2.3.6 Aplicações.....	38
2.4 OSB e Compensado.....	40
2.5 Reforços em painéis de madeira.....	43
2.6 Reforços com telas metálicas.....	44
2.7 Propriedades dos painéis OSB.....	46
2.8 Considerações finais relevantes à revisão bibliográfica.....	48
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	49
3.1 Local do experimento e matérias primas utilizadas.....	49

3.2	Equipamentos utilizados.....	50
3.3	Determinação da densidade aparente da madeira.....	51
3.4	Manufatura dos painéis.....	51
3.4.1	Obtenção das partículas.....	51
3.4.2	Aplicação da resina.....	54
3.4.3	Orientação das partículas e formação do colchão.....	55
3.4.4	Prensagem dos painéis.....	56
3.5	Obtenção dos corpos de prova.....	67
3.6	Determinação das propriedades dos painéis.....	58
3.6.1	Propriedades físicas.....	58
3.6.2	Propriedades mecânicas.....	59
3.7	Ensaio preliminar	64
3.8	Ensaio principal.....	66
3.9	Análise estatística.....	67
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	69
4.1	Densidade aparente da madeira.....	69
4.2	Ensaio preliminar.....	69
4.2.1	Primeira fase.....	69
4.2.2	Segunda fase.....	74
4.3	Ensaio principal	78
4.3.1	Ensaio físico	78
4.3.2	Ensaio mecânico.....	80
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	87
	REFERÊNCIAS.....	89
APÊNDICE A.-	Valores dos ensaios densidade aparente e razão de compactação.....	97
APÊNDICE B -	Valores do MOE e MOR obtidos nos ensaios preliminares (primeira fase).....	98
APÊNDICE C -	Valores do MOE e MOR obtidos nos ensaios preliminares (segunda fase).....	99
APÊNDICE D -	Resultados dos testes mecânicos dos ensaios principais.....	102
APÊNDICE E –	Resultados dos testes físicos dos ensaios principais.....	109

1 INTRODUÇÃO

1.1 GENERALIDADES

A madeira é um material versátil, resistente e renovável, entretanto possui variações nas suas composições químicas, físicas e anatômicas, que podem ocorrer entre espécies e dentro da mesma espécie, por isso algumas aplicações da madeira podem ser limitadas pelas dimensões, anisotropia e defeitos da árvore.

Para minimizar estas limitações, surgiram os produtos derivados da madeira, cujas propriedades são diferentes da madeira sólida. Entre estes estão os painéis, que demonstram uma excelente alternativa à madeira serrada para diversas aplicações.

Desenvolvido nos Estados Unidos da América do Norte (EUA) a partir dos anos 1970, as chapas OSB (Oriented Strand Board) correspondem ao Painel de Tiras de Madeira Orientadas. Trata-se de um produto de grande resistência mecânica, versatilidade e qualidade mais uniforme que, por suas características, é tratado como um painel estrutural.

Suas partículas apresentam dimensões médias de 25 mm de largura, 90 a 150 de comprimento e 0,50 a 0,75 mm de espessura, orientadas geralmente em três camadas perpendiculares. Essas partículas são unidas com resinas e prensadas sob alta temperatura (IWAKIRI, 2005).

O processo produtivo do painel OSB permite obter, a custo mais baixo, resultados similares ao compensado para características importantes, tais como menor heterogeneidade, ausência de nós, resistência à delaminação, à deformação e à ruptura. Além disto, e não menos importante, é seu reduzido impacto sobre os recursos florestais, já que utiliza madeira de reflorestamento como matéria prima e, durante o processo de produção, possibilita aproveitamento aproximado de 96% das toras de madeira contra 56% do compensado (LPBRASIL, 2011a). Porém, suas

propriedades na flexão estática são, em geral, inferiores em comparação com as do painel compensado, seu concorrente direto em uso estrutural.

Desde a sua invenção, o aumento de resistência mecânica vem sido buscado apenas pela produção de resinas mais eficientes. Até o momento não se observou qualquer tentativa de inserção de outros materiais ou produtos para incrementar esta propriedade.

A proposta deste trabalho é avaliar a influência da inserção de telas metálicas nas chapas de OSB, objetivando acréscimo nas suas propriedades de resistência (MOR) e de rigidez (MOE). A pesquisa se embasa no fato de que a utilização de telas em diversos produtos normalmente proporciona considerável aumento em suas propriedades mecânicas.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é avaliar possíveis ganhos nas propriedades de resistência e rigidez (particularmente na flexão) de painéis OSB de *Pinus sp* com inclusão de telas metálicas.

Como complemento, consideram-se os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar o desempenho do OSB variando-se a posição da tela metálica;
- Avaliar o desempenho do OSB variando-se as dimensões das malhas das telas metálicas e a sua posição de prensagem em relação ao colchão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. INTRODUÇÃO AOS PRODUTOS DERIVADOS DA MADEIRA

A madeira é um material resistente, maleável e possui beleza incontestável. Contudo, por questões práticas como escassez de toras de grande diâmetro e de maior custo de orçamento, a madeira maciça é cada vez mais substituída pelos seus derivados, os quais são hoje de capital importância para o setor da construção civil, etc.

A expressão “derivados da madeira” abrange diferentes produtos que surgem da desintegração da madeira e sua posterior agregação, geralmente sob pressão e adição de substâncias como: resinas sintéticas, aglutinantes minerais e aditivos semelhantes. As vantagens dos derivados da madeira em relação à madeira maciça residem nas possibilidades de produzir peças mais homogêneas e com maiores dimensões, obtendo melhor aproveitamento da matéria-prima (KLINGSPOR, 2011).

Os produtos derivados da madeira vêm se constituindo em interessante alternativa para a substituição da madeira maciça em diversas aplicações, dos elementos estruturais e dos componentes da edificação até a indústria do mobiliário e das embalagens, como assinalado por Rocco Lahr (2008).

A utilização dos produtos derivados de madeira, em especial os painéis, tem se expandido devido à sua versatilidade e ao custo competitivo em relação à madeira maciça. Tais produtos apresentam qualidades análogas às da madeira, reduzem suas limitações e podem ser aplicados em situações antes restritas a outros tipos de materiais (REMADE, 2004).

De acordo com Wisconsin (1999), os painéis de madeira são classificados com base na configuração física usada em sua confecção. São divididos em painéis laminados, painéis de fibras e painéis de partículas aglomeradas. A Figura 1 mostra alguns destes produtos.

Os laminados incluem compensado multilaminado (Figura 2), compensado sarrafeado, painéis de lâminas paralelas, etc. São manufacturados com lâminas sobrepostas, em número ímpar, unidas sob pressão e temperatura por um agente de ligação (resinas). Geralmente as lâminas são paralelas entre si e apresentam perpendicularidade entre as direções das fibras que as compõem (FEIC, 2011).

Figura 1 – Exemplos de produtos derivados de madeira. a) Compensado, b) Medium Density Particleboard (MDP), c) OSB e d) Medium Density Fiberboard (MDF).

Fonte: Wpif, (2011)

Figura 2 - Esquema ilustrativo de montagem de compensado de cinco lâminas.

Fonte: Prata, (2011)

Os painéis aglomerados são constituídos de partículas de madeira, de várias dimensões, unidas por uma resina sintética ou ligante, sob calor e pressão. A geometria das partículas, os níveis de resina, a densidade e os processos de fabricação podem ser modificados visando atender aos requisitos de aplicações específicas. Durante a confecção, aditivos podem ser incorporados para conferir melhorias de desempenho, como maior estabilidade dimensional, retardo na propagação das chamas e resistência à umidade (CPA, 2012).

Os painéis de fibras são fabricados de maneira semelhante aos painéis de partículas. As fibras de madeira são aglutinadas e compactadas entre si com resina sintética por intermédio da ação conjunta de pressão e calor em prensa contínua.

2.2. O OSB

2.2.1. Generalidades

Segundo Iwakiri (2005), os painéis aglomerados surgiram na Alemanha, no início dos anos 1940, como forma de viabilizar a utilização de resíduos de madeira, face à dificuldade de obtenção de árvores com diâmetros e qualidades suficientes para a produção de painéis compensados, dado ao isolamento da Alemanha durante a 2ª Guerra Mundial.

Após a guerra, em 1946, o desenvolvimento de painéis aglomerados foi retomado nos Estados Unidos da América do Norte (EUA), aperfeiçoaram equipamentos e processos produtivos. A partir dos anos 1960, houve grande expansão em termos de instalações industriais e avanços tecnológicos. Nos anos de 1970, iniciaram o desenvolvimento de painéis estruturais “Waferboard” e “Oriented Strand Board - OSB” (IWAKIRI, 2005).

Com o aumento da demanda, a partir dos anos de 1996 e 1997 surgiram indústrias de painéis OSB na Europa, Ásia e Chile (REMADE, 2003).

Em 2000, a primeira e fábrica nacional, a Masisa do Brasil, começou a ser instalada em Ponta Grossa (PR). Finalizada em dezembro de 2001, a produção nacional iniciou-se em janeiro de 2002, com capacidade produtiva de 350 mil metros cúbicos anuais. Atualmente toda planta da Masisa Brasil pertence à empresa Louisiana-Pacific Corporation (LP BRASIL, 2011b).

2.2.2. Conceito

De acordo com a norma europeia EN 300 (2006), o OSB é definido como um painel de camadas múltiplas feitas a partir de “strands”, tiras de madeira de uma forma predeterminada, com um comprimento maior que 50 mm e uma espessura menor que 2 mm, unidas por um adesivo. Os strands nas camadas externas tendem a se alinhar paralelamente ao comprimento do painel (Figura 3). Na camada ou camadas de centro, podem ser distribuídos aleatoriamente, ou alinhados, geralmente em direção perpendicular às das camadas externas.

Figura 3 – Orientação das camadas do painel OSB.

Fonte: EPF, (2011a)

Segundo a Structural Board Association (SBA), os painéis OSB geralmente são compostos de três a cinco camadas, o arranjo longitudinal dos strands nas camadas de superfície aumenta a resistência e a rigidez do painel na direção do alinhamento, no entanto, ocorre uma redução no sentido perpendicular ao comprimento do painel.

2.3. ASPECTOS GERAIS SOBRE A PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DOS PAINÉIS OSB

2.3.1. Tipos de Resinas

Os principais adesivos utilizados na produção de OSB são Fenol-Formaldeído (FF), Isocianatos (PMDI) e Melamina-Ureia-Formaldeído (MUF). Todas estas resinas conferem uma medida de resistência à umidade do composto (WPIF, 2011).

As resinas utilizadas na produção dos painéis OSB são geralmente de dois tipos: para aplicação externa e interna. As externas são curadas durante o processo de alta pressão e temperatura, são insolúveis e à prova d'água. As resinas solúveis em água são principalmente utilizadas em painéis de uso interior (paredes, armários e outros móveis) (EPF, 2011a).

Na Europa, é comum o uso de uma combinação de ligantes: PMDI no núcleo e MUF nas camadas externas para reduzir os ciclos de prensa e, ao mesmo tempo, proporcionar um aspecto brilhante à superfície do painel (EPF, 2011b).

Iwakiri (2005) cita algumas características das resinas usuais na produção de OSB:

- Ureia-formaldeído (UF): desenvolvida nos anos 1930, apresenta baixo custo em relação a outras resinas. Porém, é susceptível à degradação hidrolítica na presença de umidade e/ou ácidos, especialmente em temperaturas moderadas e elevadas;
- Melamina-Formaldeído (MF): classificada como de uso intermediário entre uréia formaldeído e fenol-formaldeído, apresenta maior resistência à umidade em relação à UF. Desta forma, a resina MF pode ser utilizada como “fortificante”, em mistura com a UF, na proporção de até 40:60 (M/U). Tais misturas estão disponíveis no mercado com a denominação de melamina-uréia-formaldeído (MUF);
- Isocianatos: empregada pela primeira vez nos anos 1940, esta resina não emite formaldeído livre, entretanto, pode aderir às superfícies metálicas durante a prensagem;
- Fenol-formaldeído (FF): introduzida comercialmente nos anos 1930, apresenta como característica principal alta resistência à umidade, sendo classificado como de uso exterior.

De acordo com Jesus (2000), foi desenvolvido no Departamento de Química e Física Molecular, atual Instituto de Química de São Carlos, uma resina poliuretana à base de óleo de mamona, com excelentes propriedades: manipulação em temperatura

ambiente, grande resistência à ação da água e de raios ultravioleta, alta resistência mecânica, além de ser oriunda de um recurso natural renovável.

Conforme registro de Dias (2005), a resina poliuretana à base de mamona é adesivo do tipo bi-componente, com teor de sólidos de 100%, composto pelo poliol B1640 e pelo pré-polímero A249. É um adesivo de cura a frio, que pode ser acelerada com temperatura até de 90°C.

Dias (2005) realizou estudo sobre a utilização da resina poliuretana à base de mamona na manufatura de painéis compensados e de painéis aglomerados. Os compensados foram produzidos com lâminas da espécie *Eucalyptus saligna* e os aglomerados com uma composição de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophilla* e *Pinus elliottii*. Os resultados mostraram que painéis confeccionados com esta resina apresentam boas propriedades físico-mecânicas.

2.3.2. Processo de fabricação industrial

Embora as chapas OSB venham sendo utilizadas há várias décadas, somente a partir dos anos de 1990 o setor industrial passou a competir em larga escala com as indústrias produtoras de painéis de madeira compensada (EINSFELT et al., 1998).

Segundo LP Brasil (2011c), o processo industrial de produção de painéis OSB (Figura 4) apresenta basicamente cinco etapas:

- As toras são descascadas e cortadas em tiras ao longo de suas fibras.
- Estas tiras são secas, classificadas por granulometria e misturadas com uma composição de resinas à prova d' água, emulsão parafínica e anti-cupim.

- Esta composição segue para as formadoras onde são produzidas as camadas orientadas, formando o colchão.
- O colchão entra na prensa contínua de alta temperatura e pressão, onde é formado o master panel.
- Na saída os painéis são cortados em seu tamanho comercial.

Figura 4 – Processo industrial de produção de OSB.
Fonte: Mendes (2001)

2.3.3. Processo de fabricação laboratorial

Mendes (2001), em sua tese de doutorado, realizou um estudo pioneiro no Brasil no que diz respeito à produção de painel OSB em escala laboratorial. Sua tese contém informações detalhadas de todas as etapas do processo. Sucintamente, a produção de Mendes (2001) pode ser descrita em quatro partes:

- Primeiramente as peças foram seccionadas em 85 mm de largura e 20 e 15 mm de espessura, que definiu o comprimento e largura dos strands, respectivamente. As partículas foram geradas com espessuras em torno de 0,60 mm em um picador de disco. O material foi secado até atingir umidade de 3-4% base peso seco.
- Aplicação da resina e da parafina nas partículas utilizando duas pistolas na operação. Aplicou-se a resina, em seguida foi feita a troca da pistola para aplicação da parafina. A resina utilizada foi a fenol-formaldeído (FF), com teor de sólidos de 49%, pH = 12 e viscosidade de 500 cp. Foram aplicados 6% de resina tendo como referência o peso seco das partículas.
- Para produção dos painéis OSB foi projetado e construído um orientador de partículas (Figura 5) utilizando-se tábuas de madeira, com dimensões de 480 mm de comprimento e largura e 200 mm de altura, subdivididas em doze partes iguais de 40 mm, utilizando-se lâminas de aço.
- O colchão de partículas foi pré-prensado numa prensa manual, com o objetivo de dar uma melhor conformação ao colchão. Em seguida o colchão foi levado a uma prensa mecânica, onde foi feita a prensagem. A temperatura de prensagem foi de 180° C, o tempo de prensagem de 8 minutos e a pressão específica de 40 kgf/cm².

Os experimentos revelaram três informações muito pertinentes a respeito da fabricação de OSB em escala laboratorial: 1) a variação da largura das partículas de 25, 20 e 15 mm não afetou a qualidade dos painéis; 2) As diferenças entre os painéis de camada única (homogêneos) e de três camadas (heterogêneos), bem como as diferenças de MOR e MOE entre os sentidos perpendiculares e paralelos, indicaram a eficiência do orientador de partículas (Figura 5) construído para manufatura de painéis OSB em laboratório; 3) Os painéis OSB apresentam melhores qualidades quando manufaturados com densidade de 0,80 g/cm³, relação face/miolo de 1:3:1 e teor de resina de 6%.

Figura 5 – Orientador de partículas.
Fonte: Mendes (2001)

Nascimento (2003) baseou-se no estudo de Mendes (2001), para produzir OSB em escala laboratorial a partir de madeiras de alta densidade e com o emprego da resina PU à base de óleo de mamona. Este trabalho foi pioneiro no Brasil, na ocasião a autora confeccionou painéis utilizando madeiras de alta densidade da caatinga do nordeste brasileiro. Segundo a autora, é possível produzir, em laboratório, OSB com valores médios e variabilidade de propriedades equivalentes às chapas fabricadas em escala industrial.

2.3.4. Fatores ligados ao processo de fabricação que afetam as propriedades dos painéis OSB

Mendes (2001) avaliou diversos parâmetros que envolvem o processo de fabricação de OSB em escala laboratorial. Os mais relevantes são brevemente descritos a seguir.

2.3.4.1. Tipo de resina e proporção

A escolha de um determinado tipo de resina na produção de painéis de partículas de madeira está condicionada ao uso do produto e aos custos. Por ser o um dos componentes de maior custo, torna-se muito importante à definição do tipo e quantidade de adesivo a ser utilizado, no sentido de se buscar uma otimização na relação custo-benefício (MENDES et al., 2010).

Iwakiri et al. (2002) estudaram a influência do teor de resina no comportamento das propriedades dos painéis OSB de *Eucalyptus grandis*. A proporção de resina FF variou entre 3 e 6%, com adição de emulsão de parafina entre 0,5 e 1,0% (a parafina é empregada para reduzir a absorção de água dos painéis), ambas com base no peso seco das partículas. Os resultados obtidos mostraram que as chapas com 4,5 e 6,0% de resina superaram as exigências mínimas de propriedades mecânicas referendadas pela norma canadense CSA 0437-0 (1993).

José e Beraldo (s. d.) produziram chapas de partículas homogêneas de bambu, aglomeradas com resina poliuretana à base de óleo de mamona. As proporções foram 5%, 10% e 15% de resina em relação à massa de partículas de bambu. Os resultados obtidos nas propriedades mecânicas indicaram que o teor de 10% de resina não diferiu estatisticamente do teor 15%, sendo ambos superiores ao teor 5%.

Dias (2005) manufaturou painéis aglomerados usando resina poliuretana à base de óleo de mamona como adesivo e adição de 10% do peso das partículas. Os resultados mostraram que as propriedades mecânicas foram superiores às das chapas produzidas com resina à base de Ureia-Formaldeído.

2.3.4.2. Teor de umidade das partículas

Segundo MATOS (1988), o teor de umidade elevado faz com que o tempo para atingir uma espessura desejada diminua. A umidade e a temperatura em conjunto proporcionam uma maior plasticização da madeira que oferecerá menor resistência à compactação. Também é facilitada a transferência de calor desde a superfície até o miolo do painel com maiores teores de umidade do material. Há um deslocamento mais rápido de vapor para as camadas internas, facilitando o aquecimento e a cura da resina. Porém, elevados teores de umidade requerem tempos mais longos de prensagem até que uma quantidade suficiente de vapor seja liberada e permita a adesão entre partículas de camadas interiores.

2.3.4.3. Geometria e orientação das partículas

A geometria das partículas “strand” é uma das variáveis mais importantes na manufatura de painéis OSB (CLOUTIER, 1998). Maloney (1977) afirma que a relação entre o comprimento e largura destas partículas deve ser de no mínimo três vezes, para proporcionar uma boa orientação na formação da chapa.

Mendes (2001) produziu OSB a partir de resina FF e partículas de madeira com larguras variando entre 25, 20 e 15 mm. Os resultados indicaram que esta variação não influencia nos módulos de elasticidade e de ruptura em flexão estática na direção perpendicular e paralela à orientação dos strands.

Saldanha (2004) produziu OSB variando a espessura das partículas em 0,4; 0,7 e 1,0 mm e os resultados mostraram que a variação da espessura não influenciou significativamente as propriedades de MOE e MOR nos sentidos perpendicular e paralelo a orientação dos strands durante a flexão.

MacNatt, Bach e Wellwood (1992) investigaram a influência da orientação das partículas dos painéis OSB sobre as propriedades Físicas-mecânicas. Os resultados mostraram que a orientação das partículas nas camadas externas melhora sensivelmente as propriedades de flexão estática e rigidez no sentido paralelo à orientação. No entanto, ocorre uma redução no sentido perpendicular. Por outro lado, a orientação não afeta as propriedades de Ligação Interna (LI), Inchamento em Espessura (IE) e Inchamento Linear (IL).

2.3.4.4. Tempo e temperatura de prensagem e pressão específica

O tempo e a temperatura de prensagem são parâmetros correlatos, controlados para assegurar que a temperatura do miolo atinja o nível requerido para cura da resina. O tempo de prensagem também deve ser suficiente para permitir a migração do vapor d'água para as bordas da chapa e sua liberação até o final da prensagem (IWAKIRI, 1989).

A principal função da temperatura da prensa na produção de painéis de partículas consiste em reduzir a resistência à compressão e facilitar a densificação do painel (MATOS, 1988). Iwakiri (1989) encontrou evidências de que quanto maior a temperatura de prensagem maior será o fluxo de calor, permitindo melhor densificação das camadas mais internas dos painéis, resultando em maior resistência das ligações internas e incremento da resistência na flexão estática. Dias (2008) produziu chapas a partir de resíduos de *Pinus*, de *Eucalyptus* e resina poliuretana à base de mamona, os resultados atenderam aos requisitos do documento normativo EN 314-2 (1993) para prensagem à temperatura entre 60 e 90°C.

Paes et al. (2011) produziram chapas de partículas coladas com resina poliuretana à base de mamona e avaliaram o efeito da combinação da pressão e temperatura na qualidade das chapas. Os painéis foram subdivididos em quatro tratamentos em função da pressão (2,0; 3,0; 3,5; e 3,5 MPa) e temperatura (90; 90; 50; e 60 °C). As chapas prensadas com pressão de 3,0 MPa e temperatura de 90°C e aquelas com pressão de 3,5 MPa e temperatura de 60°C apresentaram os melhores resultados. A temperatura de prensagem foi a variável preponderante na qualidade das chapas produzidas.

Nascimento, Rocco Lahr e Christoforo (2011) confeccionaram chapas OSB aglutinadas com resina poliuretana à base de óleo de mamona, usando pressão de 4 MPa, temperatura de 90°C e tempo de prensagem de 8 minutos. Os resultados obtidos para as propriedades físicas e mecânicas mostraram o potencial de tal espécie e do adesivo alternativo empregado na produção dos painéis, uma vez que os valores obtidos para as propriedades estudadas superaram os correspondentes aos produtos comercializados no Brasil.

Bertolini (2011) produziu painéis de partículas aglomeradas a partir de resina poliuretana à base de óleo de mamona, usando pressão 4,7 MPa, temperatura 100°C e tempo de 10 minutos. Os resultados foram 20 a 35% superiores para MOE e de aproximadamente 45% superiores para MOR, em relação ao especificado pela NBR 14810:2 (ABNT, 2006).

2.3.4.5. Densidade

A relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira utilizada, denominada de razão de compactação, exerce acentuada influência nas propriedades dos painéis particulados de madeira (MOSLEMI, 1974).

Mendes et al. (2008) aumentaram a densidade nominal do painel de 0,70 para 0,90 g/cm³ e isso resultou em maiores valores de MOE, MOR e ligação interna, promovidos pelo aumento do material lenhoso e pela razão de compactação. Não houve influência da densidade dos painéis sobre a absorção de água e inchamento em espessura.

A densidade influencia significativamente o MOR, o MOE, a ligação interna e a resistência ao arrancamento de parafusos. A relação entre a densidade dos painéis com estas propriedades não é linear. A faixa ideal de densidade dos painéis para manufatura de OSB está entre 0,65 e 0,70g/cm³ (ZHOW, 1989, 1990).

Nascimento et al. (2011) fabricaram chapas de partículas de OSB com matéria-prima proveniente de espécies de madeira da caatinga do Nordeste do Brasil. Os resultados de MOR e MOE se mostraram superiores aos requisitos mínimos da norma EN 300/2002. Observou-se que as chapas de densidades entre 0,7 g/cm³ e 0,9g/cm³ apresentaram melhores coeficientes de variação.

Segundo a empresa LP Brasil (2011d), a densidade do OSB produzido por ela no Brasil está entre 600 e 650 kg/m³.

2.3.4.6. Composição dos painéis

Geralmente os painéis OSB são constituídos de três camadas e as proporções de cada camada afetam significativamente as propriedades mecânicas. Cloutier (1998) afirmou que a proporção ideal (face/miolo) é na faixa de 40:60 a 60:40, com base na

percentagem de massa seca de partículas encoladas. Estas proporções são as mais utilizadas pelas Indústrias Canadenses e Americanas de OSB.

Iwakiri, Mendes e Saldanha (2002) demonstraram que a composição das chapas, com a relação 20-60-20, apresenta melhor balanço das propriedades de flexão estática entre os sentidos de ensaios paralelos e perpendiculares ao plano de fabricação da chapa.

2.3.5. Tipos de painéis OSB

Segundo a EN 300 (2006), os painéis OSB são classificados de acordo com o modo de aplicação:

- OSB / 1: Painéis para uso estrutural e interior em condições secas;
- OSB / 2: Painéis estruturais para uso em condições secas;
- OSB / 3: Painéis estruturais para uso em condições de ambiente úmido;
- OSB / 4: Painéis estruturais de alta especificação para ambiente úmido.

2.3.6. Aplicações

O OSB é incrivelmente adaptável, o seu leque de aplicações cresce à medida que mais indústrias desvendam seu potencial. Algumas das utilizações mais usuais são:

- Pavimentos; Estruturas de paredes; Forros de telhado; Estruturas de madeira de edifícios; Construção de stands; Decoração de lojas; Construção de sobrelojas/pavimentos sobre-elevados; Embalagens, contentores e paletes; Muros, tabiques,

barreiras e vedações; Estruturas interiores de veículos; Divisórias interiores de anexos e edifícios agrícolas; Mobiliário decorativo; Estruturas de sofás; Vigas e traves; formas de concreto e revestimentos antiderrapantes (LP BRASIL, 2011e). A Figura 6 mostra algumas dessas aplicações.

Figura 6 – Exemplos de utilização do OSB. a) Tapumes, b) Pisos, c) e d) estruturas de sofá.
Fonte: LPbrasil (2011e)

Em geral, a indústria da construção civil já está familiarizada com este material, sua designação e aspecto inconfundível. No entanto, estudos de mercado revelam que subsiste ainda um desconhecimento significativo das potencialidades do OSB, não sendo, por isso, devidamente aproveitado como um dos produtos de construção dos mais versáteis e econômicos dos tempos contemporâneos modernos (EPF, 2011b). O Gráfico 1 mostra algumas aplicações domésticas do OSB.

Gráfico 1 - Aplicação doméstica dos painéis OSB.
Fonte: Abipa (2011)

2.4. OSB e COMPENSADO

O compensado foi o primeiro painel produzido industrialmente, surgiu após o desenvolvimento de um sistema capaz de laminar, ou folhear, as toras de madeira. Atualmente, é considerado um produto maduro, com restrições de natureza ambiental. Para sua produção são necessário toras de com grandes diâmetros e com qualidade para laminação, cada vez mais raras nos dias atuais. Os altos custos de produção tendem a reduzir a oferta dos compensados em todo o mundo (REMADE, 2011a).

Lyons (1997), em seu estudo, afirmou que a capacidade da madeira compensada competir com os painéis alternativos estava se reduzindo, devido ao aumento constante dos custos de extração, com distâncias cada vez maiores entre áreas florestais e indústrias madeireiras e redução das áreas florestais intactas.

Em 2010, a Ásia produziu 56% da madeira compensada do mundo. Isso deve diminuir ao longo dos próximos cinco anos, pois as plantações de sequoias utilizadas para esta produção precisarão de tempo para se recuperar e crescer a um nível suficiente (IFI, 2011).

A previsão de consumo global nos próximos cinco anos para madeira compensada crescerá a uma taxa média anual de 5% e o OSB de 11%. A taxa de crescimento projetada para o consumo de madeira compensada é maior do que as previsões de produção, enquanto a taxa de crescimento para o consumo de OSB é menor do que as previsões de produção. Isto sugere que pode haver suboferta de madeira compensada e excesso de oferta de OSB, o que incentivaria a substituição dos compensados (IFI, 2011).

Isso já se observa no mercado da América do Norte, um dos grandes consumidores de painéis estruturais. O Gráfico 2 mostra o consumo deste continente no período de 2007 a 2011. A partir de 2010, o consumo de OSB ultrapassou o de compensado.

Gráfico 2 - Consumo Norte Americano de painéis estruturais, 2007-2011.

Fonte: Forest Products, 2011

De acordo com a empresa LP Brasil (2012), o avanço da produção do OSB deve-se principalmente a cinco fatores:

- Melhor aproveitamento das toras de madeira (OSB utiliza 96% e o compensado 56%), otimizando o custo e proporcionando um produto ecologicamente mais eficiente;
- Possibilidade de utilização de toras de menor diâmetro (6 anos para o OSB contra 14 anos para o compensado) e de menor valor comercial;
- Maior produtividade devido ao processo de fabricação totalmente automatizado e de grande escala. A fábrica existente no Brasil utiliza 24 pessoas em 3 turnos para operar linha de produção de 350.000 m³/ano. Uma fábrica de compensado necessita de mais de 200 pessoas para produzir em torno 80.000 m³/ano;
- As características do produto, propriedades próximas a do compensado, mas com custo menor permitem ampla variedade de usos e aplicações;

- A largura do painel de OSB é determinada pela tecnologia de produção e não pelo comprimento das toras, como é o caso dos compensados.

De acordo com as tendências mundiais, a plena substituição dos painéis compensados pelo OSB será uma questão tempo. Mas, segundo Bortoletto Jr e Garcia (2004), embora esses painéis possam apresentar propriedades físicas similares, as propriedades mecânicas podem se diferenciar, indicando que a substituição deve ser precedida de estudos aprofundados que considerem a magnitude das propriedades requeridas pelos produtos em uso. De acordo com os autores, houve diferenças significativas entre os compensados e OSB de mesma espessura, no MOR paralelo e perpendicular (Gráfico 3) e MOE perpendicular (Gráfico 4).

Gráfico 3 - Valores médios comparativos de MOR paralelo e perpendicular dos painéis compensados e OSB.

Fonte: Bortoletto Jr e Garcia (2004)

Os valores médios do MOR paralelo nos compensados de 15, 18 e 30 mm foram 26, 20 e 49% superiores aos valores obtidos nos painéis de OSB. Os valores médios do MOR perpendicular dos compensados de 15, 18 e 30 mm foram 50, 53 e 43% superiores aos valores obtidos nos painéis OSB (BORTOLETTO JR e GARCIA, 2004).

Gráfico 4 - Valores médios comparativos de MOE paralelo e perpendicular aos painéis compensados e OSB.

Fonte: Bortoletto Jr e Garcia (2004)

Os valores médios do MOE perpendicular, compensados de 15, 18 e 30 mm, encontrados por Bortoletto Jr e Garcia (2004), foram 51, 30 e 50% superiores aos obtidos para painéis OSB. Os valores médios do MOE paralelo do compensado e do OSB de 15 mm foram estatisticamente equivalentes, o mesmo se verificou no compensado e no OSB de 18 mm. Para compensado e OSB de 30 mm, os valores médios foram significativamente diferentes, sendo inferiores no OSB.

Uma possível solução para se nivelar ou superar a resistência dos compensados poderá ser a inserção de algum material que desenvolva a função de reforço. Tal suposição baseia-se em trabalhos relacionados com produtos derivados da madeira que alcançaram acréscimos nas propriedades mecânicas com esta prática. Nos painéis OSB, desde a sua invenção, o aumento na resistência tem sido obtida com o desenvolvimento de melhores resinas.

2.5. REFORÇOS EM PAINÉIS DE MADEIRA

Fonseca, C. B.; Costa, G. F.; Dias, F. M (2011), em sua pesquisa objetivando melhoras nas propriedades mecânicas dos compensados, adicionou uma camada de tecido de fibra de vidro laminada com resina epóxi em uma das lâminas externas do painéis. Os resultados mostraram que a resina utilizada atendeu às expectativas,

apresentando ótima colagem. Notou-se também a eficiência do reforço na melhora das propriedades mecânicas, além de diminuir a absorção de água e umidade.

Ediane (2011) estudou as características físico-mecânicas de painéis de lâminas paralelas (LVL) reforçados com uma e duas camadas de fibra de vidro. Os painéis foram confeccionados com lâminas de *Pinus elliottii*, espessura 1,5 mm, unidas com resina à base de fenol-formaldeído. O reforço foi impregnado com resinas epóxi ou poliéster isoftálica com NPG. Os resultados mostraram que, na flexão estática perpendicular, o reforço com uma camada influenciou o MOE, e o de duas camadas o MOR. Constatou-se que a aplicação de camada de reforço com resina epóxi na posição de tração seria o suficiente para melhorar as qualidades mecânicas dos painéis LVL.

Cassidy (2002) observou o comportamento mecânico do OSB após furacões ou terremotos, constatando que ocorriam falhas na conexão pregada dos painéis. Em sua pesquisa, projetou um OSB com polímeros reforçados com fibra de vidro (PRFV) nas áreas mais afetadas. Os testes mostraram que a resistência mecânica aumentou cerca de 39% e a capacidade de dissipação energia mais do que quadruplicou.

Ostapiv (2011) produziu painéis sarrafeados de *Eucalyptus* com reforço de lâmina de bambu. Obteve elevado aumento na resistência mecânica à flexão estática no painel laminado.

2.6. USO DE TELAS METÁLICAS COMO REFORÇO

O conceito de melhorar as características mecânicas dos materiais por intermédio da inserção de elementos resistentes à tração não é recente. As telas metálicas (Figura 7) há anos são consideradas excelentes produtos de reforço, isso devido às propriedades mecânicas dos metais que as compõem.

As telas são confeccionadas com diversos tipos de metais e ligas, os mais comuns são: aço galvanizado, inoxidável, latão, cobre, bronze, alumínio, etc. (TELMETAL, 2011).

A escolha do metal usado na fabricação da tela é determinada de acordo com a aplicação final do produto.

Figura 7 - Exemplos de telas metálicas. a) e b) Rolos de tecidos metálico c) filtros e d) tela.

Fonte: Telmetal (2011)

Segundo Maccaferri (2011), no início da segunda metade do século XX usava-se tira de aço interagindo com solos em obras de contenção para aumentar a resistência. Atualmente, além de tiras de aço, são também utilizadas para o reforço de solos telas metálicas em malha hexagonal de dupla torção e vários tipos de geossintéticos (Figura 8). Seus usos vão das clássicas estruturas de contenção à estabilização de aterros sobre solos moles, passando por reforços de taludes, fundações e bases de pavimentos.

Figura 8 - Exemplos de aplicação de telas em solo. a), b) e d) Reforços principais de aterros estruturais, c) estrutura de solo reforçado.

Fonte: Maccaferri (2011)

Outro exemplo de reforço é o uso de telas metálicas na alvenaria (Figura 9). As principais características seriam: aumentar a produtividade e a qualidade dos serviços, evitar fissuras, aplicação em revestimentos com superfícies curvas, reforço da argamassa de regularização com espessura superior a 6 cm (BELGO, 2011).

Figura 9 - Exemplos de reforços de telas metálicas. a) Amarração entre alvenaria, b) argamassa armada.

Fonte: Belgo (2011)

2.7. PROPRIEDADES DOS PAINÉIS OSB

Os requisitos em termos de valores limites para as propriedades mecânicas dos quatro tipos de OSB definidos na EN 300 (2006) são mostrados nas Tabelas 1 a 4, onde MOR, MOE, AI e G_t representam, respectivamente, os módulos de ruptura, módulos de elasticidade na flexão estática, resistência à adesão interna às fases e inchamento em espessura. Caracterizam-se por teor de umidade no painel correspondente a uma umidade relativa de 65% e a uma temperatura de 20°C.

Tabela 1 – Painéis para usos gerais e componentes para utilização em ambiente seco – Requisitos para as propriedades mecânicas e de inchamento.

Painel tipo OSB/1			Requisitos		
Propriedade	Métodos de Ensino	Unidade	Espessura do painel (nominal, mm)		
			6 a 10	>10 e < 18	18 a 25
MOR Longitudinal	EN 310	N/mm ²	20	18	16
MOR transversal	EN 310	N/mm ²	10	9	8
MOE Longitudinal	EN 310	N/mm ²	2500	2500	2500
MOE Transversal	EN 310	N/mm ²	1200	1200	1200
AI	EN 319	N/mm ²	0,30	0,28	0,26
G_t (24h)	EN 317	%	25	25	25

Fonte: EN 300, 2006

Tabela 2 – Painéis para uso estrutural em ambiente seco – Requisitos para as propriedades mecânicas e de inchamento.

Painel tipo OSB/2			Requisitos				
Propriedade	Métodos de Ensino	Unidade	Espessura do painel (nominal, mm)				
			6 a 10	>10 e < 18	18 a 25	>25 a 32	>32 a 40
MOR Longitudinal	EN 310	N/mm ²	22	20	18	16	14
MOR transversal	EN 310	N/mm ²	11	10	9	8	7
MOE Longitudinal	EN 310	N/mm ²	3500	3500	3500	3500	3500
MOE Transversal	EN 310	N/mm ²	1400	1400	1400	1400	1400
AI	EN 319	N/mm ²	0,34	0,32	0,30	0,29	0,26
G _t (24h)	EN 317	%	20	20	20	20	20

Fonte: EN 300, 2006

Tabela 3 – Painéis para uso estrutural em ambiente úmido – Requisitos para as propriedades mecânicas e de inchamento.

Painel tipo OSB/3			Requisitos				
Propriedade	Métodos de Ensino	Unidade	Espessura do painel (nominal, mm)				
			6 a 10	>10 e < 18	18 a 25	>25 a 32	>32 a 40
MOR Longitudinal	EN 310	N/mm ²	22	20	18	16	14
MOR transversal	EN 310	N/mm ²	11	10	9	8	7
MOE Longitudinal	EN 310	N/mm ²	3500	3500	3500	3500	3500
MOE Transversal	EN 310	N/mm ²	1400	1400	1400	1400	1400
AI	EN 319	N/mm ²	0,34	0,32	0,30	0,29	0,26
G _t (24h)	EN 317	%	15	15	15	15	15

Fonte: EN 300, 2006

Tabela 4 – Painéis para uso estrutural especiais em ambiente úmido – Requisitos para as propriedades mecânicas e de inchamento.

Painel tipo OSB/4			Requisitos				
Propriedade	Métodos de Ensino	Unidade	Espessura do painel (nominal, mm)				
			6 a 10	>10 e < 18	18 a 25	>25 a 32	>32 a 40
MOR Longitudinal	EN 310	N/mm ²	22	20	18	16	14
MOR transversal	EN 310	N/mm ²	11	10	9	8	7
MOE Longitudinal	EN 310	N/mm ²	4800	4800	4800	4800	4800
MOE Transversal	EN 310	N/mm ²	1900	1900	1900	1900	1900
AI	EN 319	N/mm ²	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
G _t (24h)	EN 317	%	12	12	12	12	12

Fonte: EN 300, 2006

2.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS RELEVANTES A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Por meio do exposto na Revisão Bibliográfica, observou-se que há altíssima probabilidade da substituição dos painéis compensados pelo OSB a curto/médio prazo e que isto deverá ocorrer de maneira gradativa. Entretanto, apesar de ser um produto com boas propriedades, painéis OSB produzidos com os parâmetros de processo e com os insumos até aqui empregados vem apresentando propriedades mecânicas inferiores quando comparados ao compensado.

Neste sentido, fica evidenciada a relevância do desenvolvimento do presente trabalho, que focaliza a possibilidade de produzir painéis OSB com propriedades superiores aos valores mínimos exigidos pelos documentos normativos referentes aos compensados. Para isso, consideraram-se as chapas com inserção de telas metálicas e o uso da resina poliuretana à base de óleo de mamona que, tendo como referência trabalhos até aqui desenvolvidos, o desempenho deste tipo de adesivo vem se mostrando como potencialmente superior aos demais já avaliados.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Local do experimento e matérias primas utilizadas

O trabalho foi desenvolvida no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras (LaMEM), Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP).

Para produção das chapas utilizou-se madeira da espécie *Pinus sp*, resina poliuretana à base de mamona fornecida pela Indústria Plural Química Ltda. Adotou-se a resina em questão devido ao excelente desempenho em pesquisas anteriores, no âmbito de painéis, como Dias (2008), Nascimento (2006), entre outros.

Utilizou-se telas de arame galvanizado de cinco medidas diferentes (Tabela 5). A adoção da tela metálica baseou-se em outros segmentos que usam a tela metálica como reforço (construção civil, solos), visto que na área de painéis de madeira até aqui não foi encontrado nenhum tipo de pesquisa deste gênero.

Tabela 5 - Especificações das telas utilizadas na confecção dos painéis.

Malha (mesh)	Diâmetro do fio (mm)	Abertura da tela (mm)	%Área aberta	Peso (Kg/m ²)	Resistência (kgf/mm ²)
2	1,65	11,02	75,00	2,58	40-60
6	0,89	3,34	62,00	2,40	
12	0,56	1,56	54,10	1,82	
16	0,36	1,23	59,80	1,06	
20	0,30	0,97	60,00	0,93	

Fonte: Belgo, 2012

3.2 Equipamentos utilizados

- Gerador de Partículas - É estruturado por um disco porta-faca de 500mm de diâmetro, acionado por um motor elétrico de 3,5HP. A Figura 10a mostra detalhes do equipamento.
- Encoladeira e ou encoladora – Adaptou-se uma betoneira de 30 litros (Figura 10b), para desenvolver a função de misturar as partículas ao adesivo durante a encolagem.

Figura 10 - a) Gerador de partículas, b) betoneira adaptada como encoladeira.

- Prensa hidráulica - A prensa modelo MA 098/50 (Figura 11) é constituída de: três placas de aço; 02 (duas) placas de aço quadradas com 4000 watts cada; 02 (dois) cilindros de aço; 01 (um) motor trifásico de 220 volts; disjuntores; Resistência de 80A Motor 30A trifásico; capacidade de 80 toneladas e temperatura máxima de 200° C.
- Separador de Partículas - o separador de partículas (Figura 12) foi confeccionado com material de aço revestido com teflon. As dimensões da caixa que compõe o

equipamento são de 380 X 380 X 130mm. Esta contém 8 lâminas separadoras e direcionadoras das partículas, com dimensões de 378 X 300 X1 (mm).

Figura 11 - Prensa hidráulica.

Figura 12 – Orientador de partículas de madeira para fabricação de OSB.

- Estufa - A estufa Modelo – MA 037 / MA 035 com circulação e renovação de ar; controlador de temperatura digital, com sensor tipo J; Moto-ventilador para circulação de ar; termostato de segurança; alimentação de 127 V ou 220 V; dois disjuntores de 25A e temperatura de 0° C à 300° C.
- Balança - A balança é eletrônica com sensibilidade 0,001g.
- Serra circular - Serra circular móvel (220V) com motor de 2HP.
- Lixa - Lixadeira de fita com disco de comprimento 7000 mm e largura de 150 mm, motor de 4HP.
- Maquina universal de ensaio - AMSLER com capacidade de 250 kN.
- Compressor de ar - Joagar com capacidade de 200 lbf/pol².
- Pistolas - MOD 12 da empresa Arplex.

3.3 Determinação da densidade aparente da madeira

Para determinação da densidade aparente da madeira seguiu-se a norma NBR 7190 (1997), os corpos-de-prova prismáticos com seção transversal retangular de 2,0 cm x 3,0 cm e comprimento ao longo das fibras de 5,0 cm forneceram o volume, e através da equação (1) chegou-se à densidade aparente.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (1)$$

Onde:

m_{12} = massa (kg) da amostra de madeira à 12% de umidade;

V_{12} = volume (m^3) da amostra de madeira à 12% de umidade.

3.4 Produção dos painéis

3.4.1 Obtenção das partículas

Inicialmente as vigas de madeira foram levadas a marcenaria, onde foram seccionadas em peças de 90mm de largura e 45mm de espessura, que definiu o comprimento e a largura das partículas, respectivamente (Figura 13). As partículas foram geradas em um picador de disco (Figura 14), onde as facas foram ajustadas para gerarem partículas com espessuras entre 0,50 e 0,90 mm (Figura 15).

Figura 13 - Peças de madeira utilizadas para fabricação de partículas.

Figura 14 - Processo de obtenção das partículas de madeira através do picador de disco.

Figura 15 - Partículas de madeira (strands).

A quantidade de partículas usadas na produção de cada painel foi definida pela reorganização da equação (2), uma vez que o volume e a densidade do painel foram mantidos constantes.

$$D = M/V \quad (2)$$

Onde,

D = densidade aparente da chapa a 12% de umidade (g/cm^3);

M = massa de partículas a 12% de umidade (g);

V = volume da chapa = $E \times L \times C$ (cm^3);

E = espessura da chapa (cm); L = largura da chapa (cm) e C = comprimento da chapa (cm).

Da expressão anterior tem-se:

$$M = D \times V \quad (3)$$

3.4.2 Aplicação da resina

As partículas foram contidas na encoladeira adaptada (Figura 17). A distribuição do adesivo foi feita por pulverização e, para isso, foi utilizado um compressor de ar e duas pistolas. Primeiramente aplicou-se o polioli e em seguida o pré-polímero (Figura 16). Com base no trabalho de Bertolini (2011), adotou-se a proporção em peso entre polioli e pré-polímero de 1:1, assim foi possível estabelecer um gel time da resina suficiente para preparação do colchão. Baseando-se nos estudos de Nascimento (2006) e Dias (2008), os teores de resinas para todos os painéis foram de 12% tendo como base peso seco das partículas.

Figura 16 - Polioli B1640 e Pré-polímero A249.

Figura 17 - a) Aplicação da resina e b) Retirada das partículas da encoladeira.

3.4.3 Orientação das partículas e formação do colchão

Após a distribuição do adesivo, as partículas foram colocadas no separador para realizar a orientação. Em relação à direção das partículas nas superfícies e no centro, optou-se por um painel de três camadas, tendo as camadas externas tiras de madeira com a mesma direção e a camada interna com distribuição randômica. Baseando-se nos trabalhos de Cloutier (1998) e Iwakiri et al. (2002) foi escolhida uma proporção (face/miolo/face) na faixa de 20:60:20, com base na porcentagem de peso seco de partículas encoladas. A Figura 18 mostra as etapas de formação do colchão.

Figura 18 - a) orientação das partículas, b) camada externa, c) camada interna e d) colchão.

3.4.4 Prensagem dos painéis

Inicialmente foi feita uma pré-prensagem em prensa hidráulica manual (Figura 19a), com o objetivo de dar uma melhor conformação ao colchão e evitar perda de partículas. Em seguida, o colchão foi levado à prensa hidráulica motorizada, munida de controle de temperatura e pressão (Figura 19b). Adotou-se a temperatura de prensagem de 100°C durante 10 minutos, baseando-se no trabalho de Bertoline (2011), que também utilizou resina poliuretana à base de óleo de mamona na produção de painéis de madeira aglomerada. A pressão específica utilizada foi de 4,5 MPa, valor aproximado ao adotado por Mendes (2001) e Nascimento (2011), que foi 4 MPa.

Figura 19 - a) Pré- prensagem, b) prensagem a quente.

Após a confecção das chapas, as mesmas permaneceram por 48 horas no processo de cura (Figura 20). Estas condições são exigidas pelas normas de ensaios para garantir a efetiva cura do adesivo.

Figura 20 - Painel depois de retirado da prensa.

3.5 Obtenção dos corpos-de-prova (CPs)

Com o auxílio de uma serra circular esquadrejadeira, retiraram-se cerca de 25mm de cada extremidade dos painéis. As dimensões nominais de todas as chapas foram 350x350x10mm. A Tabela 6 mostra os ensaios realizados, as devidas normas seguidas e as quantidades de corpos-de-prova retirados em cada painel. A Figura 21 apresenta a distribuição dos CPs e suas dimensões.

Tabela 6 - Ensaios realizados, as normas utilizadas e a quantidade de corpos-de-prova retirada em cada painel.

Ensaios	Nº de CPs
Flexão estática: EN 310, 2006.	6
Adesão Interna (AI): EN 319, 1993.	6
Arrancamento de Parafusos face (AP_f): NBR 14810-3, 2006.	2
Arrancamento de Parafusos topo (AP_t): NBR 14810-3, 2006.	2
Densidade Aparente (DA): EN 323, 1993.	6
Absorção de Água (AA): EN 317, 1993.	6
Inchamento em espessura (G_{t24h}): EN 317, 1993.	6
Teor de Umidade (TU): NBR 14810-3, 2006.	6

Figura 21 - Distribuição e dimensões dos corpos-de-prova retirados em cada painel.

3.6 Determinação das propriedades dos painéis

Para os ensaios físicos seguiu-se uma sequência que possibilitou a utilização do mesmo CP para todos os ensaios, respeitando todos os documentos normativos citados na Tabela 6. A Figura 22 ilustra uma das amostras utilizadas.

Figura 22- Amostra utilizada nos ensaio físico.

3.6.1 Propriedades físicas

Densidade Aparente

Os valores de densidade aparente das amostras foram obtidos usando a equação 1, analogamente à determinação da densidade da madeira. Com um paquímetro digital (0,01 mm) mediu-se o volume e utilizando uma balança analítica (0,01g) pesou-se a massa das amostras.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (1)$$

Razão de compactação das chapas

A razão entre a densidade da chapa e da madeira foi determinada utilizando a equação 7:

$$RC = \frac{d_{chapa}}{d_{madeira}} \quad (7)$$

Onde:

RC = razão de compactação;

d_{chapa} = densidade da chapa (g/cm^3);

$d_{madeira}$ = densidade da madeira (g/cm^3).

Teor de umidade

De acordo com documento normativo NBR 14810-3 (2006), as amostras foram inicialmente pesadas em uma balança analítica com sensibilidade de 0,01g para obtenção do peso úmido, e depois levadas a estufa com circulação de ar a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ até se obter o peso seco. Este deve ser considerado constante quando, passadas 4h na estufa, a massa não variar mais que 0,1%. O cálculo do teor de umidade foi realizado usando a equação 8.

$$TU = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

TU = teor de umidade;

P_u = peso úmido;

P_s = peso seco.

Inchamento em Espessura e Absorção de Água

Para determinar estas propriedades, foram medidos a espessura e pesado a massa das amostras, antes e após imersão em água a 20°C , por períodos de 2 e 24 horas. Para isso utilizou-se um paquímetro digital (0,01mm) e uma balança analítica (0,01g). A Figura 23 mostra um dos corpos-de-prova 2 e 24 horas após a imersão. O

inchamento em espessura, dado em porcentagem, foi calculado por meio da equação 9. A absorção de água foi determinada pela equação 10.

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} * 100 \quad (9)$$

Onde:

G_t = inchamento (%);

T_1 = espessura inicial (mm);

T_2 = espessura final (mm).

$$A_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100 \quad (10)$$

Onde:

A_m = absorção (%);

m_1 = massa inicial (g);

m_2 = massa final (g).

Figura 23 - Ensaio de absorção e inchamento em espessura, a) Duas horas após a imersão, b) Vinte quatro horas após a imersão.

3.6.2 Propriedades mecânicas

A caracterização mecânica dos painéis foi realizada em máquina universal de ensaios AMSLER, com capacidade de 250 kN (Figura 24).

Figura 24 - Máquina universal de ensaios.

Flexão estática

Neste ensaio os corpos-de-prova (CP) são apoiados em suportes com distância entre si de 20 vezes a espessura nominal do CP e a força é aplicada no ponto médio. O módulo de elasticidade (MOE), que segundo Iwakiri (1989) é um parâmetro que indica a rigidez de um material submetido a um determinado esforço, foi calculado utilizando-se a região linear da curva de leituras de força x deslocamento, usando a equação 4. A Figura 25 mostra o CP na posição de ensaio.

$$MOE = \frac{I_1^3 * (F_2 - F_1)}{4 * b * t^3 * (a_2 - a_1)} \quad (4)$$

Onde:

MOE = módulo de elasticidade;

a_1 e a_2 = deflexão na metade do vão (mm);

l_1 = distância entre os suportes (mm);

b = largura do corpo de prova (mm);

$F_2 - F_1$ = incremento de carga ($F_2 \pm 40\%$ da carga máxima) (N).

De acordo com Iwakiri (1989), o MOR é uma propriedade muito importante, que determina a aplicabilidade dos painéis de partículas de madeira para uso estrutural. Para determinar os valores de MOR, assim como no cálculo do MOE, utilizou-se o ensaio de flexão estática. No entanto, foi considerada a força máxima. Os cálculos foram realizados através da equação 5.

$$MOR = \frac{3 * F_{max} * l_1}{2 * b * t^2} \quad (5)$$

Onde:

MOR = módulo de ruptura (Pa);

l_1 = distância entre os suportes (mm);

b = largura do corpo de prova (mm);

t = espessura do corpo de prova (mm);

F_{max} = força na ruptura (N).

Figura 25 - Ensaio de flexão estática.

Adesão Interna (AI)

Os ensaios para a determinação da tração perpendicular à face ou adesão interna do painel (Figura 26) foram realizados conforme o documento normativo EN 319-1993, que prescreve o uso de corpos-de-prova quadrados, com 50 ± 1 mm de aresta. As faces dos corpos-de-prova são coladas em suportes de metal, tracionados posteriormente em sentido oposto para se alcançar a ruptura. Para o cálculo utilizou-se a equação 6.

$$AI = \frac{F_{\max}}{a * b} \quad (6)$$

Onde:

AI = adesão interna (Pa);

$F_{\max}$ = carga máxima (N);

a = comprimento do corpo de prova (mm);

b = largura do corpo de prova (mm).

Figura 26 - Ensaio de adesão interna.

Arrancamento de Parafusos

Este ensaio trata da resistência do painel à retirada de parafusos da face e do topo, quando submetido a uma força de tração. A Figura 27 mostra detalhes dos ensaios na face e no topo do corpo de prova.

Figura 27 - a) Ensaio de arrancamento face, b) ensaio de arrancamento topo.

3.7 Ensaios preliminares

Para estabelecer uma configuração ideal para os painéis OSB com inclusão de tela metálica necessitou-se de testes preliminares. Os mesmos consistiram apenas de ensaios de flexão estática (sempre com a tela na superfície oposta a aplicação da força), porque estes fornecem os MOE e MOR, propriedades as quais o presente trabalho objetiva melhorar. Foram realizados em duas etapas, descritas a seguir:

1. Analisando as possíveis combinações, notou-se que a tela poderia assumir três posições no painel; parcialmente e na superfície (Figura 28) e entre as camadas (Figuras 29). Para os ensaios confeccionaram-se 12 chapas, sendo duas de cada posição citadas e duas sem tela (Padrão). Foi escolhida a tela com malha 12 (Tabela 5), por possuir especificação mediana.

Nesta etapa foram ensaiados quarenta e oito CPs. A Tabela 7 mostra a quantidade de painéis produzidos e as devidas posições das telas.

Figura 28 - a) Painel com a tela na superfície, b) painel com a tela parcialmente na superfície.

Figura 29 - Painel com a tela entre a camada externa e interna.

Tabela 7 - Apresenta a quantidade e composição dos painéis.

Malha (mesh)	Nº de Cps	Posição da tela
12	12	Sem tela (Padrão)
12	12	Entre as camadas externa e interna
12	12	Parcialmente na superfície
12	12	Na superfície

2. A segunda etapa teve dois objetivos, o primeiro foi determinar o tamanho de malha que apresentaria melhor resultado nos ensaios. Para isso foram confeccionados quatro painéis de cada tipo de malha, usando a tela na posição

que apresentou melhor resultado na fase anterior. Ao final totalizaram-se cento e vinte CPs.

O segundo foi analisar possíveis variações nas propriedades mecânicas mudando-se a posição de prensagem da tela. Isso porque durante o processo de prensagem, o prato superior (Figura 17b) desloca-se para baixo exercendo a pressão, com isso o painel poderia ser prensado tendo a tela na parte superior ou inferior do colchão. A Tabela 8 mostra os tipos de tela, a quantidade de painéis produzidos e as posições da tela durante a prensagem.

Tabela 8 - Tipos de malhas usadas e os numeros de painéis produzidos em cada posição de prensagem da tela na segunda fase dos testes preliminares.

Grupos	Malha (mesh)	N° de painéis	
		Prensados com tela na superfície superior do colchão	Prensados com tela na superfície inferior do colchão
A	2	2	2
B	6	2	2
C	12	2	2
D	16	2	2
E	20	2	2

3.8 Ensaios principais

Baseando-se nas informações obtidas nos ensaios preliminares, confeccionaram-se painéis sem e com tela de malha de 16 mesh, sendo prensada tanto acima quanto abaixo do colchão. Foram produzidos doze chapas, que se dividiram em três grupos. A Tabela 9 mostra a posição de prensagem da tela e a quantidade de painéis.

Nesta parte do trabalho, somaram-se 72 corpos-de-prova para cada ensaio físico/mecânico, exceto para os testes de AP_T e AP_f , que foram 24 CPs.

Tabela 9 - Posição de prensagem da tela e a quantidade de painéis produzidos para os ensaios principais.

Posição de prensagem da tela	Nº de painéis
Parte superior do colchão	4
Parte inferior do colchão	4
Painéis padrão (sem adição de tela)	4

Todos os painéis foram caracterizados conforme os ensaios mecânicos e físicos citados no item 3.6. No entanto, nos ensaios físicos e de adesão interna optou-se pela retirada da tela, devido ao fato da mesma não exercer nenhum tipo de interferência nas propriedades analisadas nestes ensaios.

3.9 Análise estatística

Após a caracterização dos painéis, os dados obtidos nos ensaios de flexão estática nas fases preliminar e nos teste principais foram tratados estatisticamente através da análise de variância (ANOVA). Nestas análises o MOE e MOR foram as variáveis resposta.

Na primeira análise comparou-se as possíveis posições da tela nos painéis, na segunda averigou-se o tamanho da malha da tela e posição de prensagem (acima e abaixo do colchão), e na terceira referiu-se aos ensaios principais, onde três níveis experimentais do fator posição de prensagem da tela foram avaliados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Densidade aparente da madeira

A densidade aparente para a madeira de *Pinus sp* utilizada nestes trabalho foi determinada de acordo com o que preconiza a NBR 7190 (1997), em seu Anexo B. O valor médio obtido para seis corpos-de-prova foi 0,49 g/cm³, coerente com o que está registrado no Anexo B do citado documento normativo.

Valores equivalentes constam no trabalho de Bortoletto Jr (1993), que obteve densidade aparente entre 0,45 e 0,60 g/cm³ para os *Pinus sp* crescidos no estado de São Paulo.

4.2 Ensaio preliminares

4.2.1 Primeira fase

- Módulo de elasticidade (MOE)

Os resultados desta fase são referentes aos ensaios de flexão estática dos corpos-de-prova retirados dos painéis citados na Tabela 7 do item 3.7. No Gráfico 5, observam-se os valores médios dos módulos de elasticidade (MOE).

Gráfico 5 - Valores médios do MOE, painéis produzidos na primeira etapa dos testes preliminares.

Em análise rápida, os painéis confeccionados com a tela na superfície (Gráfico 5) apresentaram resultados de MOE 22 e 17% superiores aos painéis com a tela entre as camadas e parcialmente na superfície, respectivamente. Comparados aos painéis sem inserção de tela, a diferença foi de 5%. Todavia, todos excederam 4800MPa referente aos painéis para uso estrutural especiais em ambiente úmido (OSB/4), estabelecidos no documento normativo EN 310 (2006).

Durante o ensaio ocorre maior solicitação de força de tração na superfície oposta à aplicação da força, onde a tela foi posicionada por possuir melhor propriedade de tração. Isso explica o melhor resultado dos painéis com a tela na superfície.

- Módulo de Ruptura (MOR)

O Gráfico 6 apresenta os valores médios dos módulos de ruptura (MOR).

Gráfico 6 - Valores médios do MOR dos painéis produzidos na primeira etapa dos testes preliminares.

Em análise rápida os painéis sem adição de tela apresentaram melhor resultado para MOR: 24 e 21% superiores aos dos painéis com tela entre as camadas e parcialmente na superfície, respectivamente. Quando comparados aos painéis com a tela na superfície a diferença foi de 8% superior. Ambos ultrapassaram 22 MPa referente aos painéis OSB/4 (EN 310/ 2006). Destaca-se que os painéis sem e com tela na superfície excederam ao valor citado na norma em 49% e 44%, respectivamente.

- Análise de variância

A Tabela 10 exibe os resultados da ANOVA para as médias das variáveis respostas MOE e MOR, encontrando-se sublinhados os P-valores menores ou iguais a 0,05 (5%), considerados significativos a um nível de confiabilidade de 95% (MONTGOMERY, 2005).

Tabela 10 - Resultados da análise de Variância.

P-Valor		
Fator Experimental	MOE	MOR
Posição da Tela	<u>0,003</u>	<u>0,009</u>

Para análise de variância fazem-se os pressupostos que ambas as amostras são extraídas a partir de populações independentes, que podem ser descritas por uma distribuição normal (MONTGOMERY, 2005). Os Gráfico 7 e 8 exibem os valores residuais para as respostas investigadas, a fim de verificar se as amostras estão em conformidade com os pressupostos da ANOVA. Os pontos distribuídos uniformemente ao longo da reta atendem às condições de normalidade e homogeneidade exigidas (WERKEMA e AGUIAR, 1996).

Gráfico 7 Valores residuais para as variáveis respostas MOE

Gráfico 8 Valores residuais para as variáveis respostas MOR

Os valores experimentais do módulo de elasticidade (MOE) variaram de 2587 MPa a 10364 MPa. O P-valor 0,003 (Tabela 10) revela que a variável posição da tela foi significativa para o módulo de elasticidade. A Tabela 11 apresenta o desdobramento, por meio do teste de Tukey, dos quatro níveis da variável posição da tela sobre o módulo de elasticidade, realizado com auxílio do software Sisvar, objetivando-se verificar a melhor dentre as condições investigadas.

Tabela 11 - Teste de Tukey para o desdobramento dos quatro níveis da posição da tela sobre o módulo de elasticidade.

Módulo de Elasticidade		
Níveis Experimentais	Médias	Resultados do teste*
OSB com Tela parcialmente na Superfície	5487	a
OSB com Tela entre as camadas	5858	a
OSB sem Tela	6667	b
OSB com Tela na Superfície	7017	b

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

Por intermédio do teste Tukey foi revelado que as diferenças entre os níveis da posição da tela são significantes no módulo de elasticidade. A posição na superfície levou ao maior MOE. O Gráfico 9 apresenta os efeitos da posição da tela na variável resposta MOE.

Gráfico 9 - Efeitos dos níveis experimentais sobre o módulo de elasticidade.

Em análise dos efeitos com o teste de Tukey, verifica-se que a melhor condição para o módulo de elasticidade é a da tela posicionada na superfície. Do Gráfico 9, há uma redução de 6,33% do MOE para as posições da tela entre camadas e parcialmente na superfície; um aumento de 27,88% entre as posições parcialmente na superfície e na superfície; e uma redução de 4,98% entre as posições na superfície e sem tela.

Os valores experimentais do módulo de ruptura (MOR) variaram entre 25,6 MPa a 51,7 MPa. A posição da tela foi significativa sobre o módulo de ruptura. A Tabela 12 apresenta o desdobramento, por meio do teste de Tukey, dos quatro níveis da variável posição da tela sobre o MOR.

Tabela 12 - Teste de Tukey para o desdobramento dos quatro níveis da posição da tela sobre o módulo de ruptura.

MOR		
Níveis Experimentais	Médias	Resultados do teste
OSB com Tela entre as camadas	32,90	a
OSB com Tela parcialmente na Superfície	34,13	a
OSB com Tela na Superfície	39,48	a b
OSB sem Tela	43,06	b

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

Observa-se, pelo desdobramento do teste de Tukey, que as diferenças entre os níveis da posição da tela no módulo de ruptura (MOR) têm significância, sendo que os painéis com tela entre as camadas, parcialmente e na superfície são estaticamente equivalentes. Percebe-se que o menor módulo de ruptura ocorreu com a tela entre as camadas dos painéis. O Gráfico 10 exibe os efeitos das posições da tela sobre o MOR dos painéis OSB.

Gráfico 10 - Efeitos dos níveis experimentais sobre o módulo de ruptura.

Em análise dos efeitos pelo teste de Tukey, com relação à inserção de tela, observa-se que a posicionada na superfície se apresenta como a melhor solução para o MOR. No Gráfico 10, para as posições das telas entre camadas e parcialmente na superfície há um aumento de 3,74% no módulo de ruptura; de 15,68% entre as posições parcialmente e na superfície; e de 9,09% entre a posicionada na superfície e sem tela.

4.2.2 Segunda fase

Nesta fase, os painéis foram confeccionados prensando a tela que melhor resultado apresentou na primeira fase de estudos. Os resultados são referentes aos ensaios de flexão estática dos grupos de painéis da Tabela 8 (item 3.7). A Figura 30 mostra cinco corpos de prova, cada um de um tipo de tela, na ordem decrescente de abertura da malha.

Figura 30 - Corpos-de-prova utilizados nos ensaios de flexão estática na segunda fase preliminar.

- Módulo de elasticidade (MOE)

O Gráfico 11 mostra valores médios dos módulos de elasticidade (MOE) dos grupos de painéis prensados com a tela na parte superior e inferior do colchão.

Gráfico 11 - Valores médios dos módulos de elasticidade (MOE) dos painéis da segunda etapa dos testes preliminares.

Apenas os valores do MOE dos painéis confeccionados com tela de 2 e 6 mesh (tela prensada na parte superior do colchão) não atingiram 4800 MPa referente aos painéis OSB/4 (EN 300, 2006). No entanto, foram superiores aos valores mínimos dos demais painéis especificados na referida norma.

Observou-se que o aumento da malha de 2 para a malha de 16 (mesh) foi capaz de dobrar o valor do módulo de elasticidade. Houve redução de 13,17% ao aumentar a malha de 16 para 20 (mesh). O uso da malha na posição inferior reduziu em 7,2% o módulo de elasticidade quando comparado com a posição acima.

- Módulo de ruptura (MOR)

O Gráfico 12 mostra os valores médios dos módulos de ruptura (MOR) dos grupos de painéis prensados com a tela na parte superior e inferior do colchão.

Gráfico 12 - Valores médios dos módulos de ruptura (MOR) dos painéis da segunda etapa dos testes preliminares.

Os valores médios de MOR para todos os painéis desta fase superaram 22 MPa estipulados para os painéis OSB/4 do documento normativo EN 300 (2006).

- Análise de variância

A Tabela 13 explicita os fatores e níveis experimentais para o planejamento fatorial completo, dando origem a dez condições experimentais.

Tabela 13 - Fatores e níveis do planejamento experimental.

Fatores Experimentais	Níveis experimentais				
Malha da tela (mesh)	20	16	12	6	2
Posição da tela	Em cima		Em baixo		

A Tabela 14 exibe os resultados da análise de Variância (ANOVA) para as médias das variáveis resposta MOE e MOR, encontrando-se sublinhados os P-valores menores ou iguais a 0,05 (5%).

Tabela14 - Resultados da análise de variância.

Fator Experimental	P-Valor	
	MOE	MOR
Malha da Tela (mesh)	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>
Posição da Tela	0,658	0,519
Malha*Posição	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>

Os Gráficos 13 e 14 exibem os valores residuais para as respostas investigadas. Os pontos distribuídos uniformemente ao longo da reta evidenciam o atendimento às condições de normalidade e homogeneidade exigidas.

Gráfico 13 - Valores residuais para as variáveis respostas MOE.

Gráfico 14 - Valores residuais para as variáveis respostas MOR.

Os valores experimentais do módulo de elasticidade (MOE) variaram 1985 MPa a 9712 MPa. Os P-valores 0,000 e 0,658 (Tabela 14) revelam que a malha da tela e a interação malha e posição foram significativas na obtenção do módulo de elasticidade. Os Gráficos 15 e 16 ilustram respectivamente os efeitos do tamanho da malha e da posição de prensagem da tela sobre o MOE. A redução da abertura da malha metálica proporcionou um aumento significativo no MOE dos painéis com tela na faixa de 2 a 16 mesh, e uma pequena redução na faixa de 16 a 20 mesh.

Observa-se que a posição da tela prensada acima do colchão levou a um valor maior de MOE. O Gráfico 17 exibe as interação dos fatores experimentais com o MOE.

Gráfico 15 - Efeito do tamanho da malha da tela.

Gráfico 16 - Efeito posição de prensagem da tela no colchão.

Gráfico 17 - Efeitos e interações dos fatores experimentais sobre o MOE.

Os valores experimentais do módulo de ruptura (MOR) variaram entre 16,8 MPa a 61,6 MPa. O tamanho da malha metálica foi significativo no MOR, exibindo P-valor inferior a 0,005. A redução da abertura da malha de 6 para 16 mesh proporcionou um aumento significativo no MOR. Ao contrário, ocorreu redução do MOR quando se passou das malhas 2 para 6 mesh, e das malhas 16 para 20 mesh (Gráfico 18). A posição de prensagem da tela não foi significativa, exibindo P-valor superior a 0,05. Observa-se que posição de prensagem abaixo do colchão levou a um valor maior de MOR (Gráfico 19).

A interação entre malha metálica e posição de prensagem foi influente sobre o MOR, exibindo P-valor inferior a 0,05. Em análise das interações (Gráfico 20), percebe-se

que o painel com a tela de malha 12 mesh prensada abaixo do colchão levou a maior valor de MOR.

Gráfico 18 - Efeito do tamanho da malha da tela.

Gráfico 19 - Efeito posição de prensagem da tela no colchão.

Gráfico 20 - Efeitos e interações dos fatores experimentais sobre o MOR.

4.3 Ensaios principais

4.3.1 Ensaios físicos

As propriedades físicas independem da adição da tela. Assim, para facilitar o processo de realização dos ensaios retirou-se a tela da superfície dos painéis. A Tabela 15 mostra os valores médios das razões de compactação, das densidades aparentes e teor de umidade, bem como os respectivos coeficientes de variação.

Tabela 15 - Valores médios das razões de compactação e dos ensaios de densidade aparente e teor de umidade.

	Densidade Aparente (g/cm ³)		Razão de Compactação		Teor de Umidade (%)	
	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%
A	0,80	4,3	1,63	3,81	9,0	3,4
B	0,77	6,7	1,55	3,87	8,2	8,6
C	0,70	7,3	1,41	3,71	10,3	22,3

A - Tela prensada na superfície superior do colchão; B - Tela prensada na superfície inferior do colchão; C - Sem adição de tela (Padrão); CV – coeficiente de variação.

Observa-se que as densidades dos painéis apresentaram valores entre 0,7 e 0,8 g/cm³. De acordo com Mendes (2000), os painéis OSB apresentam melhores propriedades quando manufaturados com densidade de 0,8 g/cm³. Nascimento et al. (2011) observaram que chapas com densidades entre 0,7 e 0,9 g/cm³ apresentaram coeficientes de variação mais baixos. Os resultados encontram-se numa faixa considerada ideal para OSB, de acordo com estudos anteriores.

Os painéis apresentaram razão de compactação entre 1,41 e 1,63, consideradas satisfatórias. A faixa ideal para que ocorra adequada densificação e consolidação do painel à espessura final desejada é de 1,3 a 1,6 (KELLY, 1977; MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993; TSOUMIS, 1991; *apud* MENDES. R, 2010). O teor de umidade variou entre 8,2 e 10,3%, resultado considerado compatível com o obtido por Nascimento et al. (2011).

A Tabela 16 mostra os valores médios dos ensaios de inchamento em espessura e absorção de água, e seus respectivos coeficientes de variação.

Tabela 16 - Valores médios dos ensaios de inchamento em espessura e absorção de água.

	Inchamento em Espessura (%)				Absorção de Água (%)			
	Média 2h	CV%	Média 24h	CV%	Média 2h	CV%	Média 24h	CV%
A	12,4	31,1	24,2	17,9	29,4	18,3	48,2	14,6
B	13,7	24,8	24,7	14,4	36,7	25,2	53,5	15,7
C	15,2	17,7	24,7	24,1	38,7	21,2	56,6	13,3

A - Tela prensada na superfície superior do colchão; B - Tela prensada na superfície inferior do colchão; C - Sem adição de tela (Padrão); CV – coeficiente de variação.

Nota-se que os painéis de maior densidade apresentaram menor inchamento em espessura, após 2 horas de imersão em água. De acordo com Mendes (2001), este fato acontece porque, com o aumento da densidade e da razão de compactação, ocorre uma maior liberação das tensões de compressão. A tensão liberada é maior porque painéis mais densos possuem uma quantidade maior de material lenhoso.

Os valores médios de absorção de água, tanto para 2 como para 24 horas de imersão em água foram menores nos painéis de maior densidade. Mendes (2001) relata que esta redução em absorção de água pode ser explicada pelo fato de que o acesso da água em painéis mais densos é menor em função da maior quantidade de massa lenhosa compactada para uma mesma espessura, produzindo uma barreira física impedindo a absorção de água capilar.

Mendes (2001) confeccionou painéis utilizando 6% de resina fenol-formaldeído (FF) e 1% de adição de parafina. Os painéis foram produzidos com densidade de $0,80\text{g/cm}^3$. Os valores de inchamento em espessura encontrados pelo autor foram de 24,36% em 2hs e 38,34% em 24h. Como visto na Tabela 16, estes valores são superiores aos do presente trabalho. No entanto, os valores de absorção de água dos painéis de Mendes foram ligeiramente inferiores.

Os resultados de absorção dos painéis OSB são adequados para aplicação em ambiente seco (EN 300, 2006).

4.3.2 Ensaio mecânicos

- Arrancamento de Parafusos face e topo

O Gráfico 21 mostra os valores médios dos ensaios de arrancamento de parafusos, face e topo.

Gráfico 21 - Valores médios dos ensaios de arrancamento face e topo.

A resistência média ao arrancamento de parafuso face apresentaram valores semelhantes aos obtidos por Nascimento (2006), que obteve resultados entre 775 a 1715N (arrancamento face), e Cabral et. Al. (2006); que encontrou valor médio de 1535N. Os valores obtidos foram comparados com este artigo por ausência de informações nos documentos normativos e no boletim da indústria produtora de OSB no Brasil.

- Ligação interna

O Gráfico 22 mostra os valores médios dos ensaios de adesão realizados nos ensaios principais.

Gráfico 22- Valores médios dos ensaios de adesão interna.

Observa-se que os valores médios de todos os painéis apresentaram resultados no mínimo três vezes superiores aos painéis para uso estrutural especiais em ambiente úmido do documento normativo EN 300(2006).

- Flexão estática

Os valores médios dos módulos de elasticidade (MOE) dos painéis confeccionados no presente trabalho e dos painéis para uso estrutural especiais em ambiente úmido do documento normativo EN 300(2006) são mostrados no Gráfico 23.

Gráfico 23 - Valores médios do MOE dos painéis produzidos ensaios principais.

Nota-se que a variação dos valores do MOE entre os painéis sem e com tela foram no máximo 2%. Os valores de CV variaram entre 4,6 a 16,7%, em conformidade com os obtidos por NASCIMENTO (2003) e MORALES (2006).

Este resultado pode ser explicado pelo fato de que houve rompimento das partículas primeiro, e toda força de tração foi transferida para tela, ocasionando consequentemente sua ruptura.

O Gráfico 24 mostra os valores do MOR dos painéis e compara com os da norma EN 300 (2006).

Gráfico 24 - Valores médios do MOR dos painéis produzidos nos ensaios principais.

Aparentemente as variações dos resultados médios do MOR entre os painéis foram de no máximo 7% (diferença entre o painel maior e menor resultado), e os CV apresentaram variação entre 8,3 a 22,6%.

- Análise de variância

A Tabela 17 explicita os três níveis experimentais do fator Posição da Tela avaliados pela análise de variância (ANOVA).

Tabela 17 - Níveis experimentais para o fator Posição da Tela.

Níveis Experimentais
Tela posicionada acima do colchão
Tela posicionada abaixo do colchão
Sem inserção de tela (Padrão)

A Tabela 18 exhibe os resultados da análise de Variância (ANOVA) para as médias das variáveis respostas MOE, MOR.

Tabela 18 - Resultado da análise de Variância.

Fator Experimental	Módulo de Elasticidade (MPa)	Módulo de Ruptura (MPa)
Posição da Tela	0,838	0,304

Os gráficos 25 e 26 mostram os valores residuais para as respostas investigadas, a fim de verificar se as amostras estão em conformidade com os pressupostos da Análise de variância. Os pontos distribuídos uniformemente ao longo da reta atendem as condições de normalidade e homogeneidade exigidas para validação do modelo da ANOVA.

Gráfico 25 - Gráficos residuais para as variáveis respostas do MOE.

Gráfico 26 - Gráficos residuais para as variáveis respostas do MOR.

Na análise de variância os valores experimentais de MOE variaram entre 5846 MPa e 11819 MPa. O P-valor 0,838 revelou que a posição da tela não foi significativa para o MOE. O Gráfico 27 apresenta os efeitos da posição da tela sobre o MOE, verifica-se que a tela prensada acima do colchão levou a um maior valor de MOE.

Gráfico 27- Efeitos dos níveis experimentais sobre o módulo de elasticidade.

Em comparação com os documentos normativos referentes aos OSB/4 (EN 300, 2006) e compensados destinados às formas de concreto armado (DIN 68792, 1979),

observa-se que os MOE dos painéis do presente trabalho foram no mínimo 40 e 39% superiores, respectivamente.

Os valores experimentais de MOR variaram entre 32,3 MPa e 74,7 MPa. O P-valor 0,304 revelou que a posição prensagem da tela não foi influente sobre o MOR. O Gráfico 28 exibe os efeitos das posições de prensagem da tela sobre o MOR. Nota-se que adição da tela metálica proporcionou uma redução no módulo de ruptura.

Gráfico 28 - Efeitos dos níveis experimentais sobre o módulo de ruptura.

Os valores de MOR quando comparados com os documentos normativos referentes a OSB/4 (EN 300, 2006), compensados destinados à construção civil (DIN 68705-3, 1981) e compensados de cinco camadas (DIN 68792, 1979) apresentam resultados no mínimo 58%, 24% e 14% superiores.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Baseando-se na metodologia aplicada e nos resultados obtidos para os painéis OSB com inclusão de telas metálicas, no que diz respeito aos ensaios preliminares, conclui-se que:

- Em relação a primeira etapa dos ensaios, os resultados demonstraram que os painéis tendo a tela na superfície apresentaram melhores valores de MOE e MOR.
- De acordo com os resultados da segunda etapa, conclui-se que a variação do tamanho da malha da tela influenciou de forma significativa os valores de MOR e MOE. Entretanto, a posição de prensagem (acima/abaixo do colchão) não interferiu de maneira expressiva nesses resultados. Quanto à interação entre tamanho da malha e posição, observou-se influência significativa somente para MOE. De modo geral, os painéis fabricados com as telas de 16 mesh prensadas acima do colchão, apresentaram melhores resultados dentre as condições investigadas.

Por meio dos ensaios principais realizados pode-se chegar as seguintes conclusões:

- Nos ensaios de flexão estática, observou-se que a diferença entre os módulos de elasticidade e ruptura dos painéis com e sem tela foram mínimas, e a análise estatística revelou que a posição prensagem da tela não foi influente sobre o MOE e MOR. Entretanto, os valores dos mesmos foram superiores aos documentos normativos referentes aos painéis OSB e Compensados, certificando a eficiência da resistência mecânica das chapas produzidas neste trabalho.
- Os valores dos ensaios de adesão interna foram três vezes superiores ao documento normativo EN 300 (2006), destacando a eficiência da resina utilizada. Nestes resultados não se observou quaisquer analogia com a densidade dos painéis.

- Os valores de arrancamento de parafusos foram considerados satisfatórios quando comparados com os trabalhos científicos citados.
- Os valores inchamento em espessura atenderam apenas os requisitos dos painéis para usos gerais e componentes para utilização em ambiente seco do documento normativo EN 300 (2006). O uso em local externo poderá ser realizado após a aplicação de substâncias impermeabilizante. Os resultados de absorção de água foram ligeiramente maiores que o trabalho científico usado como base. Nestes ensaios os valores decresceram com o aumento densidades dos painéis.
- A respeito das propriedades físicas, notou-se que houve variação significativa da densidade dos painéis, sendo que os de valores maiores apresentaram maiores razão de compactação e menores teores de umidade.

Diante destes argumentos, conclui-se que é viável a produção de painéis OSB a partir de *Pinus sp* e resina à base de óleo de mamona. Entretanto, a utilização da tela metálica se faz desnecessária, pois os acréscimos de MOE e MOR foram irrelevantes.

Com base nas conclusões obtidas as seguintes recomendações podem ser apresentadas:

- Reduzir o nível de resina em função da qualidade exigida para determinado uso final dos painéis, pois a mesma é uma das variáveis que mais contribui para o aumento do custo final dos painéis.
- Estudar o efeito da variação da densidade nas propriedades físico/mecânicas.
- Realizar aplicação de alguma substância impermeabilizante, afim de melhorar as propriedades de inchamento em espessura e absorção de água.

REFERÊNCIAS

ABIPA (2011). **OSB - Oriented Strandboard**. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/produtosOSB.php>>. Acesso em: 17 de set.2011.

ARTERINOX. (2011). Disponível em: <http://www.arterinox.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=77&Itemid=240>. Acesso em: 17 de set.2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2006). **NBR 14810**: Chapas de madeira aglomerada. Rio de Janeiro.

_____. (1997). **NBR 7190**: Projetos de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro. Em revisão.

BELGO (2011). **Catalogo Técnico Belgo**. Disponível em: < <http://pt.scribd.com/doc/51383009/catalogo-tecnico-belgo> >. Acesso em: 17 de set. 2011.

BELGO (2012). **Arame galvanizado comercial**. Disponível em: < <http://www.belgobekaert.com.br/Produtos/Documents/Galvanizado-comercial.pdf> >. Acesso em: 17 de set. 2011.

BERTOLINI, M. S. (2011). **Emprego de resíduos de *Pinus sp* tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona**. 129f. Dissertação (Mestrado) – Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. (1993). **Indicações para utilização da madeira de seis espécies e variedades de *Pinus sp* aplicada na construção civil**. 1993. 119f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARCIA, J. N. (2004). **Propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de painéis osb e compensados**. Materials Research = Scielo, Viçosa, v.28, n.4, p.563-570, Ago. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v28n4/22605.pdf>>. Acesso em: 17 de set. 2011.

CASSIDY, E. D. (2002). **Development and structural testing of frp reinforced osb panels for disaster resistant construction**. 215f. Dissertação (Mestrado) - Civil Engineering, The University of Maine, Maine, 2002.

CLOUTIER, A. (1998). Oriented strandboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1., **Anais**. Belo Horizonte, SIF, 1998, p. 173-185.

CPA. (2012). COMPOSITE PANEL ASSOCIATION. **PARTICLEBOARD**. Disponível em: <<http://www.pbmdf.com/Particleboard>>. Acesso em: 20 de set. 2011.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (1979). **DIN 68792**: Large area shuttering panels of veneer plywood for concrete and reinforced concrete. Berlin.

_____. (1981). **DIN 68705-3**: Plywood: building-veneer plywood. Berlin.

DIAS, F. M. (2005). **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. 151f. Tese (Doutorado) – Interunidade em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

DIAS, N. A. B. et al. **Aproveitamento de resíduos de *Pinus sp* para a produção de chapas de partículas utilizando resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona**. São Carlos: LaMEM, SET, EESC, USP, 2008.12p.

EDIANE, A. B. (2011). **Características físico-mecânicas de painéis de lâminas paralelas reforçados com fibra de vidro**. 98f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

EINSFELD, R. A. et al. (1998). MANUFATURA E CARACTERISTICAS DAS CHAPAS OSB. In: VI Encontro brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira, 3., 1998, Florianópolis. **Anais...** Santa Catarina: UFSC. P.387A.

EPF. (2011a). **O painel derivado de madeira mais versátil dos nossos dias**. Disponível em: <<http://www.osb-info.org/index.php?lang=nl>>. Acesso em: 16 de set. 2011.

_____. (2011b). **Informação técnica**. Disponível em: <http://www.osb-info.org/Assets/file/PO/OSB_Technical_Information_.pdf>. Acesso em: 16 de set. 2011.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. (1993). **EN 310**: Wood-based panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Bruxelas.

_____. (1993). **EN 317:** Particleboards and fibreboards - Determination of swelling in thickness after immersion in water. Bruxelas.

_____. (1993). **EN 323:** Wood-based – Determination of density. Bruxelas.

_____. (1993). **EN 319:** Particleboards and fibreboards - Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. Bruxelas.

_____. (2006). **EN 300:** Oriented Strand Boards (OSB) - Definitions, classification and specifications. Portugal.

FEIC. (2012). Fédération Européene de l'Industrie Du Contreplaqué. Plywood. Disponível em: <<http://europlywood.satelithost.be/index.php?page=what-is-plywood>>. Acesso em: 17 de set. 2011.

FONSECA, C. B.; COSTA, G. F.; DIAS, F. M. (2011). **Reforço com Fibras de Vidro em Painéis Compensados uma Alternativa Ecológica**. Disponível em: <<http://www.aedb.br/seget/artigos11/45214727.pdf>>. Acesso em: 20 de jan. 2012.

FOREST PRODUCTS. (2011). **Forest products annual market review 2010-2011**. Disponível em: < http://www.unece.org/fileadmin/DAM/publications/timber/FPAMR_2010-2011_HQ.pdf>. Acesso em: 17 de fev. 2012.

IFI. (2011). INTERNATIONAL FOREST INDUSTRIES - **Global demand for plywood and OSB increasing**. Disponível em: < <http://www.internationalforestindustries.com/2011/04/27/global-demand-for-plywood-and-osb-increasing/>>. Acesso em: 17 de fev. 2012.

IWAKIRI, S. (1989). **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de *Pinus***. 1989. 130 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

_____. (2005). **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF. Cap. 4, p.123-160.

IWAKIRI, S. MENDES, L. M. SALDANHA, L. K. (2002). 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.

JANSSENS, D. P. (1998). **The increasing recognition of Oriented Strand Board (OSB) as a preferred structural panel**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA – ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIA DA MADEIRA DE EUCALIPTO, I. 1998, Viçosa. Anais. Viçosa: UFV, 1998, p. 169 – 172.

JESUS, J. M. H. (2000). **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC)**. São Carlos. 106f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, 2000.

JOSÉ, F. J.; BERALDO, A. B. (s. d.). **CHAPAS PRENSADAS DE PARTÍCULAS DE BAMBU E ADESIVO POLIURETANA À BASE DE ÓLEO DE MAMONA**. Disponível em: <http://www.apuama.org/admin/arquivos/pdfs/chapa_de_mamona_bambu.pdf>. Acesso em: 20 de set. 2011.

KELLY, M.W. **A critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards**. U.S. For. Prod. Lab. General Technical Report FPL-10, Madison, 1977, 66p.

KLINGSPOR. (2011). **Abrasive Technology**. Disponível em: <http://www.klingspor.ca/html/index.php?site=3_19_66&lng=por>. Acesso em: 15 de set. 2011.

LPBRASIL. (2011a). **Meio ambiente**. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/osb/meio-ambiente.asp>>. 16 de set. 2011.

_____. (2011b). **LP Brasil**. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/institucional/lpbrasil.asp>>. 16 de set. 2011.

_____. (2011c). **Processo de fabricação**. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/osb/processo-de-fabricacao.asp>>. Acesso em: 15 de set. 2011.

_____. (2011d). **Produtos**. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/produtos/lp-indu-plac.html>>. Acesso em: 15 de set. 2011.

_____. (2011e). **Aplicações**. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/aplicacoes/Index.asp>>. Acesso em: 15 de set. 2011.

_____. (2012). Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/osb/osb-e-os-outros-paineis-de-madeira.asp>>. 16 de set. 2012.

LYONS, M. J. (1997). **ASIA-PACIFIC FORESTRY SECTOR OUTLOOK STUDY** MACCAFERRI. (2011). Disponível em: <http://www.maccaferri.com.br/download/cat_reforco.pdf>. Acesso em: 17 de set. 2011.

MAcNATT, J. D.; BACH, L.; WELLWOOD, R. W. (1992). **Contribution of flake alignment to performance of strandboard**. Forest Products Journal, Madison, v. 42, n. 3, p. 45-50.

MALONEY, T. M. (1977). **Modern Particleboard & Dry Process Fiberboard manufacturing**. San Francisco: M Freeman, 672p.

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

MATOS, J. L. M. (1988). **Ciclo de prensa em chapas de partículas estruturais “Waferboards”**. 163f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

MENDES, L. M. (2001). **Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. Curitiba. 67f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, 2001.

MENDES, L. M. et al. (2008) Influência da densidade do painel e da composição em camadas nas propriedades físico-mecânicas de painéis OSB de clones de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 379-385, out./dez.

MENDES, R. F. (2010). **Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB**. 116f. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010b.

MENDES, R. F. et al. (2010). Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 285-295, jun.

MONTGOMERY, D. C. (2005). **Design and analysis of experiments**. 6^a edition, Arizona, John Wiley & Sons Inc., 2005.

MOSLEMI, A. A. (1974). Particleboard. **Materials**. London: Southern Illinois University Press, 244p.

NASCIMENTO, M. F. (2003). **CPH – chapas de partículas homogêneas**: madeira do nordeste do Brasil. 117f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

_____. (2011). Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1511&subject=Pain%E9isOSB&title=Chapas%20de%20OSB%20com%20uso%20de%20madeiras%20nativas>. Acesso em: 16 de set. 2011.

NASCIMENTO, M. F.; ROCCO LAHR, F. A.; CHRISTOFORO, A. L. (2011). Painéis tipo OSB fabricados com madeiras brasileiras: produção e avaliação de desempenho. IN: CIMAD 11 – Congresso Ibero-LatinoAmericano da Madeira na Construção, 7., 2011, Coimbra. **Proceedings...** Portugal, Universidade de Coimbra. USB – pen.

NASCIMENTO, M. F. et al. (2011). **Chapas de OSB com uso de madeiras nativas. REVISTA DA MADEIRA**. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1511&subject=Pain%E9isOSB&title=Chapas%20de%20OSB%20com%20uso%20de%20madeiras%20nativas>. Acesso em: 16 de fev. 2011.

OSTAPIV, F. (2011). **Resistência mecânica do material compósito: madeira de eucalipto-lâmina de bambu**. 148 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

PAES, J. B. et al. (2011). Qualidade de chapas de partículas de *Pinus elliottii* coladas com resina poliuretana sob diferentes combinações de pressão e temperatura. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p.551-558, jul./set.

PRATA, J. G. (2006). **Desempenho de um sistema de qualidade em uma fábrica de painéis compensados**. 118f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

REMADE (2003). **OSB - opção no mercado. Revista da Madeira**, n71 maio. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=333&subject=OSB&title=OSB%20-%20op%C3%A7%C3%A3o%20no%20mercado>. Acesso em: 02 out 2011.

_____. (2004). **Painéis produzidos com pinus**. Revista da Madeira, n 83, ago. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=614&subject=Pain%C3%A9is&title=Pain%C3%A9is%20produzidos%20com%20pinus>. Acesso em: 02 out 2011.

_____. (2011). **MADEIRAS – PAINÉIS Compensado** Disponível em : http://www.remade.com.br/br/madeira_paineis.php?num=6&title=Compensado. Acesso em: 16 de set. 2011.

ROCCO LAHR, F, A. (2008). **Apresentação**. In:_____.(Org.). Produtos derivados da Madeira. São Carlos: EESC-USP.

SALDANHA, L. K. (2004). **Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas “OSB”**. 83f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SBS. (2008). **Fatos e Números do Brasil Florestal..** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/FatoseNumerosdoBrasilFlorestal.pdf>>. Acesso em: 18 de set. 2011.

STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION. (2011). **ORIENTED STRAND BOARD AND WAFERBOARD. TECHNICAL BULLETIN**. Disponível em: <<http://osbguide.tecotested.com/pdfs/en/tb103.pdf>>. Acesso em: 18 de set. 2011.

TELMETAL. (2011). **Tecidos Metálicos ou Tela de Peneiração**. Disponível em:<<http://www.temetal.com.br/tecidos.html>>. Acesso em: 17 set. 2011.

WERKEMA, M. C. C.; AGUIAR, S. (1996). **Planejamento e análise de experimentos: como identificar e avaliar as principais variáveis influentes em um processo**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1996.

WISCONSIN, M. (1999). Wood as an Engineering Material. YOUNGQUIST, J. A. **Wood - based Composites and Panel Products**. Washington: USDA Forest Service. Cap 10, p. 201-230.

WPIF. (2011). **Wood Panel Industries Federation**. Disponível em: <http://www.wpif.org.uk/uploads/PanelGuide/03_%20Section%201%20TRADA%20V3%2021_04.pdf>. Acesso em: 16 de set. 2011.

ZHOW, D. A. (1990). Estudy of oriented structural board made from hybrid poplar. Phisical and mechanical properties of OSB. **Holz Als Roh Und Werkstoff**, Berlin, v. 48, n. 7-8, p.293-296.

_____. (1989). Estudy of oriented structural board made from hybrid poplar.

Effects of some factors of mechanical forming installation for orientation effectiveness. **Holz Als Roh Und Werkstoff**, Berlin, v. 47, n. 10, p. 405-407.

APÊNDICE A – Valores dos ensaios densidade aparente e razão de compactação

Densidade Aparente [kg/m ³]		Razão de Compactação
	474,94	1,48
	512,68	
	510,41	
	490,13	
Valor Médio	497,04	
Desvio padrão	17,88	
CV	3,60	

APÊNDICE B – Valores do MOE e MOR obtidos nos ensaios preliminares (primeira fase).

	OSB sem tela		OSB com tela entre as camadas		OSB com tela na superfície	
	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
	6160	38,5	7031	36,5	8531	38,2
	4143	39,7	2587	32,2	5647	37,0
	6479	49,0	5084	30,1	10364	39,2
	8327	41,6	6121	38,5	4400	39,5
	6693	37,9	5812	27,7	7474	36,9
	8205	51,7	6289	39,8	5686	46,1
Valor médio	6668	43,1	5487	34,1	7017	39,5

APÊNDICE C – Valores do MOE e MOR obtidos nos ensaios preliminares (Segunda fase).

OSB com inclusão de tela de 20 mesh prensada acima do colchão					OSB com inclusão de tela de 20 mesh prensada abaixo do colchão			
	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
	9114	60,8	7271	37,2	5535	42,2	5716	31,9
	8806	53,8	8285	47,6	4531	34,8	3984	21,1
	9020	50,7	9534	51,8	4077	29,8	5787	33,3
	9712	51,0	9352	55,7	5955	45,6	6815	37,4
	5387	34,5	9582	58,5	5547	43,9	8549	44,2
	7194	41,1	6688	33,5	5341	37,6	7503	40,6
Valor médio	8205	48,7	8452	47,4	5164	39,0	6392	34,8

OSB com inclusão de tela de 16 mesh prensada acima do colchão					OSB com inclusão de tela de 16 mesh prensada abaixo do colchão			
	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
	8345	54,2	8332	52,9	6738	40,4	7573	36,7
	7839	47,8	10359	73,2	6008	37,5	7934	48,2
	7177	41,1	9627	64,4	6626	38,2	9058	56,2
	7973	53,6	9854	58,5	6746	48,2	9231	52,8
	6405	37,2	9420	57,0	8082	45,9	7555	48,1
	8780	55,2	10789	73,0	8847	44,4	5656	31,7
Valor médio	7753	48,2	9730	63,1	7174	42,4	7835	45,6

OSB com inclusão de tela de 12 mesh prensada acima do colchão					OSB com inclusão de tela de 12 mesh prensada abaixo do colchão			
	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
	5559	29,7	5387	37,1	5575	40,4	5377	32,5
	8997	44,7	7579	35,2	8047	56,7	8401	52,0
	7137	41,2	6836	47,8	5937	41,7	7500	42,9
	5951	34,7	6279	41,1	9018	61,6	6918	46,2
	3758	28,5	4324	60,2	7332	49,2	5643	56,5
	4804	30,4	5325	45,6	6934	51,5	5918	61,1
Valor médio	6035	34,9	5955	44,5	7140	50,2	6626	48,5

OSB com inclusão de tela de 6 mesh prensada acima do colchão					OSB com inclusão de tela de 6 mesh prensada abaixo do colchão			
	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
	1985	16,8	5137	43,0	4745	36,8		
	3666	24,1	5137	36,0	3676	26,4		
	4230	27,8	5057	27,9	4721	29,9		
	4318	32,6	5002	40,2	4905	34,7		
	4372	36,3	5210	40,4	6051	36,9		
	3070	18,6	3762	33,5	5141	33,7		
Valor médio	3607	26,0	4884	36,8	4873	33,1		

OSB com inclusão de tela de 2 mesh prensada acima do colchão					OSB com inclusão de tela de 2 mesh prensada abaixo do colchão			
	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
	4533	33,6	3590	49,0	3744	23,0	3799	28,9
	3781	33,7	3591	31,1	3852	31,2	3762	34,8
	2768	38,4	3717	27,5	5551	39,9	3628	33,8
	4270	33,8	4861	34,8	5121	36,2	3348	26,2
	3627	36,8	4922	52,8	4954	37,9	4075	26,7
	3246	26,5	4471	34,8	2522	26,8	3280	48,3
Valor médio	3704	33,8	4192	38,3	4291	32,5	3649	33,1

APÊNDICE D – Resultados dos testes mecânicos dos ensaios principais.

Flexão estática (MPa) - OSB com inclusão de tela 16 mesh prensada acima do colchão											
CP	MOE	MOR	CP	MOE	MOR	CP	MOE	MOR	CP	MOE	MOR
1A	6504	58,6	2A	10362	61,2	3A	8076	55,1	4A	6719	33,3
1A	7309	47,7	2A	10600	74,7	3A	8136	52,3	4A	8556	46,2
1A	8121	68,2	2A	10066	64,0	3A	7560	49,2	4A	8791	45,3
1A	7187	56,5	2A	9362	64,2	3A	9899	72,4	4A	9731	56,9
1A	6007	34,6	2A	8049	54,2	3A	9310	66,6	4A	9602	48,2
1A	7537	55,3	2A	8227	50,4	3A	7449	57,7	4A	6540	55,8
média	7111	53,5		9444	61,4		8405	58,9		8323	47,6
DP	753,0	11,3		1095,5	8,6		986	8,9		1389	8,6
CV (%)	10,6	21,2		11,6	13,9		11,7	15,1		16,7	18,0

Flexão estática (MPa) - OSB com inclusão de tela 16 mesh prensada abaixo do colchão											
CP	MOE	MOR	CP	MOE	MOR	CP	MOE	MOR	CP	MOE	MOR
1B	8227	47,5	2B	9096	54,9	3B	5846	32,3	4B	6941	52,3
1B	7996	58,1	2B	7905	52,9	3B	8948	54,4	4B	5957	35,9
1B	8296	51,5	2B	9529	53,8	3B	9736	51,8	4B	8081	59,9
1B	7476	41,9	2B	7663	38,2	3B	9923	60,5	4B	8406	65,9
1B	9139	58,9	2B	8278	48,8	3B	11819	67,9	4B	7492	56,8
1B	8549	59,1	2B	7734	55,1	3B	8568	51,0	4B	6783	49,6
média	8281	52,8		8367	50,6		9140	53,0		7277	53,4
DP	555,0	7,1		774,5	6,5		1967,7	12,0		901,9	10,3
CV (%)	6,7	13,5		9,3	12,8		21,5	22,6		12,4	19,3

Flexão estática (MPa) - OSB sem inclusão de tela											
CP	MOE	MOR	CP	MOE	MOR	CP	MOE	MOR	CP	MOE	MOR
1C	8428	58,5	2C	7771	54,3	3C	8307	53,6	4C	7471	54,3
1C	8063	55,9	2C	7612	43,2	3C	8778	57,8	4C	8352	69,7
1C	9100	50,8	2C	8492	58,8	3C	9095	57,9	4C	8291	61,7
1C	9814	74,6	2C	9130	62,6	3C	6800	46,4	4C	8529	70,0
1C	8642	67,5	2C	7844	47,2	3C	7681	54,6	4C	7977	51,8
1C	8026	53,4	2C	5904	38,7	3C	6862	50,5	4C	8053	61,9
média	8679	60,1	Valor médio	7792	50,8	Valor médio	7921	53,5	Valor médio	8112	61,6
DP	683,6	9,1	DP	1084,6	9,3	DP	969,2	4,5	DP	373,2	7,5
CV (%)	7,9	15,2	CV (%)	13,9	18,3	CV (%)	12,2	8,3	CV (%)	4,6	12,3

Arrancamento de parafuso face - OSB com inclusão de tela 16 mesh prensada acima do colchão							
Cp	Força (N)	Cp	Força (N)	Cp	Força (N)	Cp	Força (N)
1A	2009,0	2A	1078,0	3A	2156,0	4A	1519,0
	1274,0		1323,0		1470,0		1960,0
Valor médio	1641,5	Valor médio	1200,5	Valor médio	1813,0	Valor médio	1739,5
DP	519,7	DP	173,2	DP	485,1	DP	311,8
CV (%)	31,7	CV (%)	14,4	CV (%)	26,8	CV (%)	17,9

 Arrancamento de parafuso face - OSB com inclusão de tela 16 mesh prensada abaixo do colchão

Cp	Força (N)	Cp	Força (N)	Cp	Força (N)	Cp	Força (N)
1B	1127,0	2B	1323,0	3B	1176,0	4B	1519,0
	1666,0		1225,0		1470,0		1470,0
Valor médio	1396,5	Valor médio	1274,0	Valor médio	1323,0	Valor médio	1494,5
DP	381,1	DP	69,3	DP	207,9	DP	34,6
CV (%)	27,3	CV (%)	5,4	CV (%)	15,7	CV (%)	2,3

 Arrancamento de parafuso topo - OSB sem inclusão de tela

Cp	Força (N)	Cp	Força (N)	Cp	Força (N)	Cp	Força (N)
1C	1274,0	2C	1764,00	3C	1666,0	4C	1274,0
	882,0		2058,00		1519,0		1519,0
Valor médio	1078,0	Valor médio	1911,00	Valor médio	1592,5	Valor médio	1396,5
DP	277,2	DP	207,8893937	DP	103,9	DP	173,2
CV (%)	25,7	CV (%)	10,87856586	CV (%)	6,5	CV (%)	12,4

 Arrancamento de parafuso topo - OSB com inclusão de tela 16 mesh prensada acima do colchão

Cp	Força (N)	Cp	Força (N)	Cp	Força (N)	Cp	Força (N)
1A	1372,00	2A	1372,00	3A	2352,00	4A	1568,00
	1764,00		2646,00		2058,00		2058,00
Valor médio	1568,00	Valor médio	2009,00	Valor médio	2205,00	Valor médio	1813,00
DP	277,19	DP	900,85	DP	207,89	DP	346,48
CV (%)	17,68	CV (%)	44,84	CV (%)	9,43	CV (%)	19,11

Arrancamento de parafuso topo - OSB com inclusão de tela 16 mesh prensada abaixo do colchão							
Cp	Força (N)	Cp	Força (N)	Cp	Força (N)	Cp	Força (N)
1B	686,00	2B	980,00	3B	1764,00	4B	2450,00
	2450,00		784,00		1764,00		1911,00
Valor médio	1568,00	Valor médio	882,00	Valor médio	1764,00	Valor médio	2180,50
DP	1247,34	DP	138,59	DP	0	DP	381,13
CV (%)	79,55	CV (%)	15,71	CV (%)	0	CV (%)	17,48

Arrancamento de parafuso topo - OSB sem inclusão de tela							
Cp	Força (N)	Cp	Força (N)	Cp	Força (N)	Cp	Força (N)
1C	784,00	2C	1372,00	3C	1666,00	4C	1470,00
	784,00		1078,00		1715,00		2058,00
Valor médio	784,00	Valor médio	1225,00	Valor médio	1690,50	Valor médio	1764,00
DP	0	DP	207,89	DP	34,65	DP	415,78
CV (%)	0	CV (%)	16,97	CV (%)	2,05	CV (%)	23,57

Adesão interna (MPa) - OSB com inclusão de tela 16 mesh prensada acima do colchão							
CP	Adesão interna	CP	Adesão interna	CP	Adesão interna	CP	Adesão interna
1A	1,94	2A	2,08	3A	1,81	4A	0,83
1A	2,00	2A	1,93	3A	1,35	4A	1,03
1A	1,57	2A	2,01	3A	1,64	4A	1,29
1A	1,95	2A	1,68	3A	1,41	4A	0,92
1A	1,54	2A	1,61	3A	1,17	4A	0,49
1A	1,74	2A	1,87	3A	1,60	4A	0,92
Média	1,79	Média	1,86	Média	1,50	Média	0,91
DP	0,20	DP	0,18	DP	0,23	DP	0,26
CV (%)	11,43	CV (%)	9,79	CV (%)	15,42	CV (%)	28,40

Adesão interna (MPa) - OSB com inclusão de tela 16 mesh prensada abaixo do colchão							
CP	Adesão interna	CP	Adesão interna	CP	Adesão interna	CP	Adesão interna
1B	1,48	2B	1,01	3B	1,22	4B	2,32
1B	1,99	2B	1,79	3B	1,02	4B	2,33
1B	1,46	2B	1,56	3B	0,67	4B	2,57
1B	1,58	2B	1,44	3B	1,90	4B	2,35
1B	1,83	2B	1,41	3B	1,08	4B	2,21
1B	2,08	2B	0,89	3B	1,38	4B	2,22
Média	1,74	Média	1,35	Média	1,21	Média	2,33
DP	0,27	DP	0,34	DP	0,41	DP	0,13
CV (%)	15,39	CV (%)	25,27	CV (%)	33,97	CV (%)	5,50

Adesão interna (MPa) - OSB sem inclusão de tela							
CP	Adesão interna	CP	Adesão interna	CP	Adesão interna	CP	Adesão interna
1C	1,42	2C	1,42	3C	0,74	4C	1,31
1C	1,74	2C	1,28	3C	1,27	4C	1,81
1C	1,92	2C	1,57	3C	1,35	4C	1,81
1C	2,40	2C	1,81	3C	1,32	4C	1,69
1C	1,80	2C	1,46	3C	0,68	4C	1,39
1C	1,87	2C	1,70	3C	1,35	4C	2,26
Média	1,86	Média	1,54	Média	1,12	Média	1,71
DP	0,32	DP	0,19	DP	0,32	DP	0,34
CV (%)	17,15	CV (%)	12,58	CV (%)	28,33	CV (%)	19,91

Densidade aparente (kg/m ³) - OSB com inclusão de tela 16 mesh prensada acima do colchão							
CP	Densidade	CP	Densidade	CP	Densidade	CP	Densidade
1A	814,5	2A	826,55	3A	795,0	4A	766,1
1A	889,1	2A	900,53	3A	781,1	4A	733,0
1A	797,8	2A	850,88	3A	832,4	4A	821,1
1A	835,0	2A	852,33	3A	782,7	4A	787,9
1A	727,2	2A	815,81	3A	818,7	4A	755,8
1A	736,6	2A	832,65	3A	802,7	4A	787,1
Média	800,0	Média	846,5	Média	802,1	Média	775,2
DP	61,1	DP	30,0	DP	20,3	DP	30,5
CV (%)	7,6	CV (%)	3,5	CV (%)	2,5	CV (%)	3,9

Densidade aparente (kg/m³) - OSB com inclusão de tela 16 mesh prensada abaixo do colchão

CP	Densidade	CP	Densidade	CP	Densidade	CP	Densidade
1B	759,0	2B	757,7	3B	578,5	4B	720,8
1B	835,7	2B	775,8	3B	752,3	4B	810,7
1B	754,6	2B	794,1	3B	869,6	4B	770,1
1B	783,6	2B	801,8	3B	861,9	4B	803,4
1B	741,1	2B	750,5	3B	754,1	4B	818,5
1B	800,5	2B	816,9	3B	695,7	4B	772,0
Média	779,1	Média	782,8	Média	752,0	Média	782,6
DP	35,0	DP	26,0	DP	108,8	DP	36,3
CV (%)	4,5	CV (%)	3,3	CV (%)	14,5	CV (%)	4,6

Densidade aparente (kg/m³) - OSB sem inclusão de tela

CP	Densidade	CP	Densidade	CP	Densidade	CP	Densidade
1C	683,1	2C	626,8	3C	667,6	4C	778,0
1C	731,2	2C	643,4	3C	668,6	4C	691,7
1C	743,8	2C	654,6	3C	674,9	4C	805,3
1C	737,5	2C	651,9	3C	772,2	4C	836,4
1C	863,1	2C	703,4	3C	774,2	4C	722,8
1C	694,0	2C	714,7	3C	762,1	4C	704,8
Média	742,1	Média	665,8	Média	719,9	Média	756,5
DP	64,1	DP	35,0	DP	54,5	DP	58,7
CV (%)	8,6	CV (%)	5,3	CV (%)	7,6	CV (%)	7,8

APÊNDICE E – Resultados dos testes físicos dos ensaios principais.

Inchamento em espessura (%) - OSB com inclusão de tela 16 mesh prensada acima do colchão					
CP	% inchamento - 2h	% inchamento - 24h	CP	% inchamento - 2h	% inchamento - 24h
1A	6,24	23,98	2A	10,98	34,63
1A	5,77	17,65	2A	6,50	18,14
1A	6,67	18,44	2A	18,58	34,74
1A	5,94	14,73	2A	13,96	30,86
1A	11,23	22,14	2A	13,57	21,01
1A	4,31	17,35	2A	8,94	22,19
Média	6,69	19,05	Média	12,09	26,93
DP	2,36	3,40	DP	4,25	7,36
CV (%)	35,29	17,84	CV (%)	35,14	27,32

Inchamento em espessura (%) - OSB com inclusão de tela 16 mesh prensada acima do colchão					
CP	% inchamento - 2h	% inchamento - 24h	CP	% inchamento - 2h	% inchamento - 24h
3A	11,34	23,49	4A	18,27	23,14
3A	14,42	22,64	4A	28,71	31,61
3A	5,48	20,86	4A	16,11	25,53
3A	12,26	20,86	4A	19,02	34,90
3A	9,83	24,00	4A	22,35	28,51
3A	12,06	25,88	4A	14,27	21,88
Média	10,90	22,96	Média	19,79	27,59
DP	3,04	1,94	DP	5,16	5,04
CV (%)	27,92	8,45	CV (%)	26,07	18,27

Inchamento em espessura (%) - OSB com inclusão de tela 16 mesh prensada abaixo do colchão					
CP	% inchamento - 2h	% inchamento - 24h	CP	% inchamento - 2h	% inchamento - 24h
1B	17,03	26,92	2B	24,97	29,79
1B	13,38	24,67	2B	16,70	26,99
1B	18,12	31,41	2B	22,43	35,67
1B	18,29	27,65	2B	15,05	23,79
1B	16,72	22,92	2B	21,38	28,92
1B	15,61	24,47	2B	15,83	29,72
Média	16,53	26,34	Média	19,40	29,15
DP	1,83	3,02	DP	4,08	3,92
CV (%)	11,06	11,48	CV (%)	21,01	13,43

Inchamento em espessura (%) - OSB com inclusão de tela 16 mesh prensada abaixo do colchão					
CP	% inchamento - 2h	% inchamento - 24h	CP	% inchamento - 2h	% inchamento - 24h
3B	15,12	20,30	4B	7,55	18,029
3B	15,33	25,38	4B	4,39	18,077
3B	14,60	34,78	4B	6,15	17,708
3B	14,50	31,06	4B	4,55	15,584
3B	5,44	26,08	4B	3,30	15,213
3B	18,72	25,87	4B	3,13	12,188
Média	13,95	27,24	Média	4,84	16,133
DP	4,45	5,03	DP	1,71	2,305
CV (%)	31,92	18,45	CV (%)	35,35	14,289

Inchamento em espessura (%) - OSB sem inclusão de tela					
CP	% inchamento - 2h	% inchamento - 24h	CP	% inchamento - 2h	% inchamento - 24h
1C	16,37	20,80	2C	22,19	23,00
1C	11,38	29,25	2C	23,44	32,45
1C	7,52	19,36	2C	21,49	22,75
1C	11,10	20,82	2C	23,28	25,65
1C	4,30	12,13	2C	22,83	51,14
1C	8,05	20,71	2C	23,52	25,24
Média	9,79	20,51	Média	22,79	30,04
DP	4,14	5,44	DP	0,81	10,92
CV (%)	42,35	26,55	CV (%)	3,54	36,35

Inchamento em espessura (%) - OSB sem inclusão de tela					
CP	% inchamento - 2h	% inchamento - 24h	CP	% inchamento - 2h	% inchamento - 24h
3C	18,83	23,85	4C	11,28	23,99
3C	22,51	24,29	4C	8,29	20,17
3C	18,19	31,71	4C	9,27	16,93
3C	18,30	39,07	4C	8,69	20,13
3C	15,89	24,81	4C	11,12	17,69
3C	17,49	28,23	4C	9,46	18,71
Média	18,53	28,66	Média	9,68	19,60
DP	2,20	5,92	DP	1,25	2,51
CV (%)	11,87	20,64	CV (%)	12,89	12,78

Absorção de água (%) - OSB com inclusão de tela 16 mesh prensada acima do colchão					
CP	% absorção - 2h	% absorção - 24h	CP	% absorção - 2h	% absorção - 24h
1A	18,96	35,71	2A	28,84	61,90
1A	15,62	29,18	2A	23,92	31,33
1A	21,20	39,43	2A	26,16	46,99
1A	16,35	33,35	2A	29,21	50,42
1A	27,52	47,40	2A	32,59	50,93
1A	21,17	41,06	2A	23,47	45,21
Média	20,14	37,69	Média	27,37	47,80
DP	4,31	6,39	DP	3,50	9,94
CV (%)	21,39	16,95	CV (%)	12,80	20,80

Absorção de água (%) - OSB com inclusão de tela 16 mesh prensada acima do colchão					
CP	% absorção - 2h	% absorção - 24h	CP	% absorção - 2h	% absorção - 24h
3A	28,111	51,04	4A	41,20	59,20
3A	33,198	52,99	4A	59,70	71,10
3A	19,716	39,71	4A	37,12	54,76
3A	26,084	46,85	4A	40,21	58,70
3A	23,094	42,71	4A	37,40	58,33
3A	32,049	50,67	4A	41,88	56,75
Média	27,042	47,33	Média	42,92	59,81
DP	5,182	5,23	DP	8,45	5,76
CV (%)	19,164	11,04	CV (%)	19,69	9,64

Absorção de água (%) - OSB com inclusão de tela 16 mesh prensada abaixo do colchão					
CP	% absorção - 2h	% absorção - 24h	CP	% absorção - 2h	% absorção - 24h
1B	43,68	59,032	2B	49,51	65,25
1B	30,22	50,751	2B	40,36	57,12
1B	40,87	59,375	2B	44,76	60,86
1B	44,75	58,105	2B	36,69	47,82
1B	50,91	64,272	2B	52,22	65,32
1B	34,77	54,443	2B	35,10	54,59
Média	40,87	57,663	Média	43,11	58,49
DP	7,41	4,622	DP	6,92	6,77
CV (%)	18,13	8,016	CV (%)	16,06	11,57

Absorção de água (%) - OSB com inclusão de tela 16 mesh prensada abaixo do colchão					
CP	% absorção - 2h	% absorção - 24h	CP	% absorção - 2h	% absorção - 24h
3B	67,14	83,41	4B	31,05	50,67
3B	42,40	62,09	4B	16,88	31,81
3B	27,72	51,43	4B	23,67	40,82
3B	28,37	48,67	4B	16,93	31,98
3B	37,73	55,45	4B	13,84	27,78
3B	52,74	67,01	4B	18,73	36,81
Média	42,68	61,35	Média	20,18	36,65
DP	15,18	12,75	DP	6,23	8,22
CV (%)	35,57	20,79	CV (%)	30,87	22,44

Absorção de água (%) - OSB sem inclusão de tela					
CP	% absorção - 2h	% absorção - 24h	CP	% absorção - 2h	% absorção - 24h
1C	39,44	59,97	2C	56,33	68,07
1C	32,75	54,86	2C	61,68	73,36
1C	29,44	59,08	2C	66,57	76,88
1C	26,35	48,91	2C	53,22	69,48
1C	15,93	34,45	2C	47,76	66,22
1C	29,97	56,27	2C	61,17	74,12
Média	28,98	52,26	Média	57,79	71,35
DP	7,77	9,56	DP	6,74	4,07
CV (%)	26,82	18,30	CV (%)	11,67	5,71

Absorção de água (%) - OSB sem inclusão de tela					
CP	% absorção - 2h	% absorção - 24h	CP	% absorção - 2h	% absorção - 24h
3C	53,30	69,09	4C	22,27	41,80
3C	58,09	70,47	4C	31,24	50,56
3C	49,14	65,13	4C	18,84	34,85
3C	34,77	55,39	4C	17,37	32,88
3C	33,18	50,52	4C	27,67	44,32
3C	37,12	55,80	4C	25,12	44,93
Média	44,27	61,07	Média	23,75	41,56
DP	10,59	8,25	DP	5,30	6,64
CV (%)	23,92	13,51	CV (%)	22,30	15,97

Teor umidade (%) - OSB com inclusão de tela 16 mesh prensada acima do colchão							
CP	Teor de umidade	CP	Teor de umidade	CP	Teor de umidade	CP	Teor de umidade
1A	9,38	2A	8,90	3A	8,86	4A	9,08
1A	9,40	2A	9,22	3A	9,51	4A	8,71
1A	9,29	2A	9,18	3A	9,13	4A	8,59
1A	9,12	2A	9,89	3A	8,52	4A	8,83
1A	9,22	2A	9,21	3A	8,70	4A	8,58
1A	9,00	2A	9,87	3A	8,65	4A	8,14
Média	9,23	Média	9,38	Média	8,89	Média	8,66
DP	0,16	DP	0,41	DP	0,37	DP	0,31
CV (%)	1,68	CV (%)	4,32	CV (%)	4,12	CV (%)	3,61

Teor umidade (%) - OSB com inclusão de tela 16 mesh prensada abaixo do colchão							
CP	Teor de umidade	CP	Teor de umidade	CP	Teor de umidade	CP	Teor de umidade
1B	9,16	2B	9,42	3B	8,38	4B	8,61
1B	8,41	2B	9,64	3B	8,54	4B	8,63
1B	8,56	2B	9,33	3B	8,64	4B	8,79
1B	8,99	2B	8,99	3B	8,94	4B	8,35
1B	9,22	2B	9,01	3B	8,52	4B	3,99
1B	9,10	2B	8,78	3B	8,16	4B	8,48
Média	8,91	Média	9,20	Média	8,53	Média	7,81
DP	0,34	DP	0,32	DP	0,26	DP	1,87
CV (%)	3,78	CV (%)	3,50	CV (%)	3,06	CV (%)	24,01

Teor umidade (%) - OSB sem inclusão de tela							
CP	Teor de umidade	CP	Teor de umidade	CP	Teor de umidade	CP	Teor de umidade
1C	11,19	2C	2,21	3C	10,20	4C	10,46
1C	11,07	2C	10,63	3C	10,31	4C	10,48
1C	11,27	2C	15,92	3C	10,06	4C	10,39
1C	10,58	2C	5,35	3C	10,68	4C	10,57
1C	10,12	2C	3,83	3C	10,27	4C	9,68
1C	10,78	2C	22,43	3C	10,30	4C	9,40
Média	10,83	Média	10,06	Média	10,30	Média	10,16
DP	0,44	DP	7,88	DP	0,21	DP	0,49
CV (%)	4,03	CV (%)	78,28	CV (%)	2,02	CV (%)	4,85