

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

ANA BEATRIZ PERES PEGORETTI DE ANDRADE

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE LAMINAÇÃO DA
MADEIRA PARA A PRODUÇÃO DE PAINEL ESTRUTURAL**

Itapeva - SP
2012

ANA BEATRIZ PERES PEGORETTI DE ANDRADE

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE LAMINAÇÃO DA
MADEIRA PARA A PRODUÇÃO DE PAINEL ESTRUTURAL**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira.

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

Itapeva - SP
2012

FICHA CATALOGRÁFICA

A553a Andrade, Ana Beatriz Peres Pegoretti de.
Aproveitamento de resíduos de laminação da madeira para a
produção de painel estrutural / Ana Beatriz Peres Pegoretti de Andrade.
– – Itapeva, SP, 2012
56 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Industrial Madeireira)
- Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Itapeva,
2012
Orientador: Prof.^a Dr.^a Cristiane Inácio de Campos
Banca examinadora: Prof.^a Dr.^a Cristiane Inácio de Campos; Prof.
Dr. Natal Nerímio Regone; Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves
Inclui bibliografia

1. Painéis de madeira. 2. Resíduos de madeira – Exploração 3.
Madeira – Produtos. Título. II. Itapeva - Curso de Engenharia Industrial
Madeireira.

CDD 674.84

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE LAMINAÇÃO DA MADEIRA PARA A PRODUÇÃO DE PAINEL ESTRUTURAL

ANA BEATRIZ PERES PEGORETTI DE ANDRADE

Este trabalho de graduação foi julgado adequado como parte
requisito para a obtenção do diploma de **graduado em engenharia
industrial madeireira**

Aprovado em sua forma final pelo conselho de curso de graduação
em engenharia industrial madeireira

Prof. Dr. José Cláudio Caraschi
Coordenador de Curso

BANCA EXAMINADORA:

Prof^ª. Dr^ª. Cristiane Inácio de Campos
Orientador – Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr. Natal Nerímio Regone
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Esse trabalho é dedicado ao meu pai Eng.º
Cláudio Silvio de Andrade que sempre me
incentivou aos estudos. Pai, apenas tentei
copiar você...

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, por me dar saúde e oportunidades na vida.

Agradeço aos meus pais Claudio e Heloisa de Andrade. Sem os seus esforços nunca teria suporte para chegar aonde cheguei.

Agradeço aos meus irmãos Marco, César e Sylvia de Andrade por me apoiarem em todas as minhas decisões e pelo simples fato de existirem.

Agradeço aos meus professores, em especial, a minha orientadora e amiga Cristiane de Campos. Durante estes cinco anos, me esforcei ao máximo para absorver o mínimo da sabedoria de vocês. Sempre serão lembrados com muito carinho.

Agradeço aos meus amigos, que fizeram da cidade de Itapeva-SP muito mais interessante do que qualquer cidade grande cheia de atrativos. Época que fiz amigos de verdade e que deixarão saudades.

Agradeço especialmente a minhas amigas irmãs, Fabiane Ferro e Laura Fonseca. São inexplicáveis os bons momentos de nossa convivência.

Agradeço ao meu amor Dinarte Pinheiro Neto. Com todos os seus conselhos e carinho, consegui concluir meu curso com serenidade.

A vocês, muito obrigada.

“A experiência humana não seria tão rica e gratificante se não existissem obstáculos a superar.” - **Helen Keller**

RESUMO

Os produtos derivados de madeira ou produtos engenheirados estão tornando alternativas interessantes para a substituição da madeira maciça em diversas aplicações, desde elementos estruturais até a indústria do mobiliário e das embalagens. Dentre esses produtos, existem os painéis de lâminas, de partículas e de fibras, tendo cada um deles suas especificidades e potencial uso particular. A partir dos diferentes tipos de painéis produzidos, a geração de resíduos é parte do processo e, por mais tecnológico que seja, não deixa de gerar perdas de matéria-prima. Com base na necessidade do uso racional da matéria-prima e no aproveitamento quase que integral da madeira processada industrialmente é que surge a proposta do presente trabalho, o qual busca utilizar resíduos da laminação, como pedaços de lâminas, lâminas quebradas, lâminas rugosas e lâminas fendilhadas para a produção de painéis estruturais com características do painel OSL (*Oriented Strand Lumber*), LSL (*Laminated Strand Lumber*) e OSB (*Oriented Strand Lumber*). Além do aproveitamento de resíduos, o trabalho busca uma alternativa quanto ao uso do adesivo, pois a indústria utiliza adesivos à base de formaldeído, que ao longo da prensagem, acabam emitindo grande quantidade de formaldeído, o que é muito agressivo ao homem e ao meio ambiente. Os painéis produzidos com resina poliuretana à base de óleo de mamona e prensados a quente foram caracterizados através de ensaios físicos e mecânicos segundo especificações da Norma Européia (EN). Elevados valores de tensão de ruptura, módulo de elasticidade e densidade foram encontrados nos resultados dos testes. Somando a valores estáveis de inchamento e teor de umidade, a chapa estudada agrega características atraentes para o mercado de painéis especialmente para uso estrutural na construção civil.

Palavras-chave: OSL, LSL, OSB, painel engenheirado, resíduos de laminação.

ABSTRACT

Products derived from wood or engineered products are becoming interesting alternatives to the replacement of solid wood in various applications, from structural components to the furniture industry and packaging. Among these products, there are panels built by strands, particles and fibers, each one having their particular characteristics and potential of use. Since the different types of panels are produced, waste generation is part of the process, and that more technological it is, it still generates losses of raw materials. Based on the need for rational use of raw materials and using almost full of industrially processed wood, It arises the proposal of this work, which seeks to use waste from the lamination, like pieces of strands, broken strands, strands rough, cracked strands to produce panels with structural characteristics of the OSL panel (Oriented Strand Lumber), LSL (Laminated Strand Lumber) and OSB (Oriented Strand Lumber). Besides the use of waste, this paper seeks an alternative to the use of the adhesive, because the industry uses formaldehyde-based adhesives, which over the press, they emit large amounts of formaldehyde, which is very aggressive to humans and environment. The panels made with polyurethane resin based on castor oil and hot-pressed were characterized by physical and mechanical tests according to specifications of European Standard (EN). High values of tensile strength, elastic modulus and density were found in the results of tests. Adding to stable values of swelling and moisture content, the panel studied adds attractive features to the panel market, especially in the civil construction.

Keywords: OSL, LSL, OSB, engineered panel, lamination waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação dos produtos à base de madeira.	17
Figura 2: Painel OSB.....	19
Figura 3: Painel LSL.....	20
Figura 4: Painel OSL	22
Figura 5: Custo de produção de alguns painéis.	26
Figura 6: Sistema composto por tela metálica para facilitar a orientação das partículas de madeira. Fonte: Iwakiri (2005).	30
Figura 7: Foto da caixa formadora do colchão	30
Figura 8: (a) Prensagem a quente do painel. (b) Painel LSL após prensagem.....	31
Figura 9: Esquema de corte para ensaios físicos.....	32
Figura 10: Ilustração do corpo-de-prova de flexão.	33
Figura 11: Esquema de dispositivo para ensaio de flexão.	34
Figura 12: Realização do ensaio de flexão estática.	36
Figura 13: Corpos-de-prova após 24h em imersão.....	37
Figura 14: Corpos-de-prova em estufa para determinação do teor de umidade.	38
Figura 15: Comparativo dos valores médios de tensão de ruptura do presente estudo e do valor encontrado na literatura de Ferraz et al. (2009)	41
Figura 16: Comparativo dos valores médios de Módulo de Elasticidade estudado e do valor encontrado na literatura de Ferraz et al. (2009)	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Adesivos utilizados no setor madeireiro, suas vantagens, desvantagens e aplicações.	25
Tabela 2: E_m e f_m dos corpos-de-prova de OSL e LSL paralelo e perpendicular.	40
Tabela 3: Comparativo de valores de E_m e f_m de compostos estruturais encontrados na literatura nacional e internacional.....	43
Tabela 4: Grau de inchamento (%) do LSL.	44
Tabela 5: Grau de inchamento (%) do OSL.	44
Tabela 6: Teor de umidade (%) dos corpos-de-prova de LSL.....	45
Tabela 7: Teor de umidade (%) dos corpos-de-prova de OSL.	45
Tabela 8: Valores das densidades dos corpos-de-prova de LSL.	46
Tabela 9: Valores das densidades dos corpos-de-prova de OSL.	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 Painéis a base de madeira	17
3.2 OSB (<i>Oriented Strand Board</i>)	19
3.3 LSL (<i>Laminated Strand Lumber</i>)	20
3.4 OSL (<i>Oriented Strand Lumber</i>)	21
3.5 Adesivos	23
3.6 Considerações a respeito da bibliografia consultada	27
4 MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1 Materiais	28
4.2 Métodos	29
4.2.1 Produção dos painéis	29
4.2.2 Caracterização dos painéis	31
4.2.2.1 Ensaio de flexão para determinação do módulo de ruptura (f_m) e elasticidade (E_m) – EN 310-2000	33
.....	1
4.2.2.2 Ensaio para determinação do índice de inchamento em 24h – EN 317- 1993	36
4.2.2.3 Ensaio para determinação do teor de umidade – EN 322-2000	37
4.2.2.4 Ensaio para determinação da densidade do painel – EN 323-2000	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1 Flexão	40
5.2 Inchamento em 24h	43
5.3 Determinação do teor de umidade	44
5.4 Determinação da densidade da chapa	45
6 CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	48
APÊNDICE A	53

1 INTRODUÇÃO

Os produtos engenheirados de madeira estão apresentando crescente desenvolvimento, principalmente no final do século XX. Acompanhando o desenvolvimento destacado, e a crescente demanda por tais produtos, a indústria madeireira vem cada vez mais desenvolvendo tecnologias para o uso mais eficiente da madeira a partir de árvores de menores dimensões. O Brasil dispõe de condições especiais para se tornar um importante produtor mundial de painéis à base de madeira, uma vez que é detentor de tecnologia e de terras e pode transformá-las em extensas plantações de florestas de rápido crescimento. Essa característica, associada a materiais e produtos alternativos, acrescenta ao país a possibilidade de se tornar um dos principais fabricantes desses produtos.

A indústria madeireira em alguns segmentos caracteriza-se por gerar grande quantidade de resíduos, e embora estudos foquem no objetivo de reduzir essa geração, muitas vezes isso não é possível, devido as próprias características do processo. O processamento mecânico da madeira, em serrarias por exemplo, embora com alta tecnologia, gera no mínimo 40% de resíduo a partir do volume da tora.

Muitas empresas da região Sudoeste do Estado de São Paulo tem um período de vida curto, iniciam e terminam suas atividades em poucos anos, e geram um grande ônus do ponto de vista social através do subemprego e do ponto de vista ambiental pela geração de resíduos.

Os resíduos gerados no processamento da madeira, quando não utilizados, tornam-se um problema econômico e ambiental. Problema econômico devido a subutilização da madeira, levando a curta duração do estabelecimento das empresas e o baixo valor agregado aos produtos fabricados. E problema ambiental, oriundo do grande volume de resíduos, acarretando situações preocupantes como a queima e a disposição indevida do material no solo e cursos d'água.

A partir do exposto, constata-se que a valoração da matéria-prima, em decorrência do uso indiscriminado, contrapondo-se a falta de políticas de reposição florestal e as restrições de mercados mais exigentes, vem tornando inviável economicamente a atividade madeireira.

Desta forma, abrindo espaço para pesquisas na busca por soluções tecnológicas de novos produtos e também para soluções quanto ao problema de utilização, destinação, valorização e minimização da geração de resíduos, este trabalho vem sugerir a produção de um novo tipo de painel estrutural que agrega valor a estes subprodutos do processamento da madeira.

A proposta de um novo tipo de painel associará as características de forma e dimensão das lascas do LSL e do OSB e as características de formação do colchão em camadas cruzadas do OSB.

2 OBJETIVOS

O objetivo central do trabalho é produzir e caracterizar painéis constituídos a partir da orientação em camadas das lascas (“*strands*”) de madeira provenientes de laminação de toras, aproveitando assim, uma matéria-prima disponível e abundante, porém, descartada por não apresentar um uso potencial além da queima.

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- * Produção de painéis a partir de lascas de madeira, ou seja, matéria-prima disponível em abundância em laminadoras de toras;
- * Análise de viabilidade técnica no uso de adesivo alternativo à base de óleo de mamona para a produção dos painéis de madeira;
- * Realização de ensaios de caracterização física e mecânica a partir de documentos normativos, segundo especificações da Norma Europeia.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A madeira é um material biológico altamente instável. Sua estrutura anatômica, bem como suas propriedades físicas, químicas e mecânicas variam entre espécies, e até mesmo em uma mesma árvore.

Por ser um material sólido, a estrutura heterogênea da madeira é um fator limitante para uma série de utilizações, principalmente quanto a dimensões, anisotropia e defeitos naturais. O primeiro deve-se ao fato de as dimensões estarem limitadas ao diâmetro e altura das árvores. O segundo, devido a variação das propriedades ao longo das direções longitudinal, radial e tangencial. E por fim, defeitos como nós, inclinação de grãos, entre outros, são fatores que irão afetar diretamente o uso da madeira (MADEIRA TOTAL, 2009).

Já os produtos reconstituídos de madeira possuem algumas características desejáveis, como: produção em grandes e pequenas dimensões, superfícies lisas, uniformidade nas propriedades e no controle dos defeitos. Alguns painéis conferem vantagem técnica significativa em relação a madeira sólida.

O Brasil apresenta potenciais características para se tornar um importante produtor mundial de painéis derivados da madeira, uma vez que é detentor de tecnologia e de terras onde pode torná-las extensas plantações de florestas de rápido crescimento. Essa característica, associada a materiais e produtos alternativos, acrescenta ao país a possibilidade de ser um dos principais fabricantes desses produtos.

Os produtos derivados de madeira são propostas interessantes na ampliação dos materiais a serem empregados na indústria da construção civil, moveleira e outras.

3.1 Painéis a base de madeira

Segundo GONÇALVES (2000), a classificação dos produtos a base de madeira pode ser feita em função do material lenhoso utilizado na fabricação dos painéis e peças. Os tipos de matérias-primas mais comuns são lâminas, partículas e fibras de madeira, como estão apresentados na Figura 1.

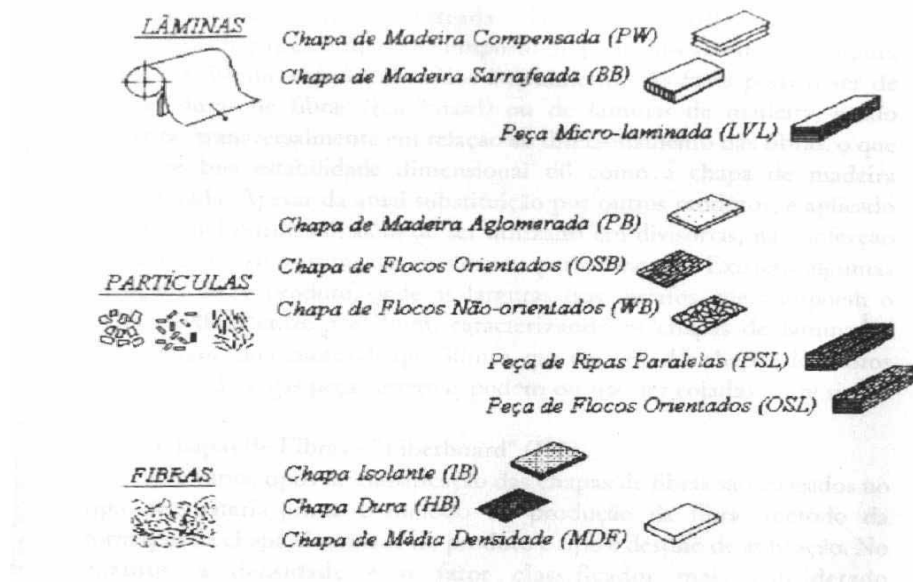


Figura 1: Classificação dos produtos à base de madeira.
Fonte: GONÇALVES (2000).

Os produtos reconstituídos de madeira (painéis de partículas e fibras) podem ser feitos a partir do aproveitamento de resíduos de processamento industrial (serraria, laminação, etc.) com baixo valor comercial. São considerados produtos ecologicamente corretos, pois utilizam materiais descartados economicamente e, portanto, contribuem para a diminuição do impacto da produção de bens de consumo nos recursos naturais. O processo de manufatura associado à madeira consome menos energia em comparação com outros materiais derivados de recursos não renováveis (RAZERA, 2006).

O aproveitamento da matéria-prima tem sido a grande preocupação das indústrias de processamento mecânico da madeira. Nos países onde estas indústrias estão bem desenvolvidas, a utilização dos resíduos gerados durante o

processamento é intensa, principalmente para a produção de celulose, chapas de partículas aglomeradas e energia (NOLASCO, 2000).

Em serrarias, estima-se que cerca de 50% da tora de madeira acaba sendo descartada no final da produção sob a forma de resíduos, os quais acabam se acumulando e causando redução na eficiência da empresa. Isso porque ocupam os locais que poderiam estocar toras de madeira, e elevam o risco de incêndios e acidentes de trabalhos (NOLASCO, 2000).

Os painéis a base de madeira tem um grande leque de utilização desde o uso interno – como as chapas de fibra de média densidade MDF (*Medium Density Fiberboard*) e as chapas particuladas de média densidade MDP (*Medium Density Particleboard*) que são muito usadas para móveis – até o uso externo. Chapas de uso externo são chamadas de painéis de madeira para uso estrutural.

Para a APA - *The Engineered Wood Association* (2002, apud Pedrosa 2005), os painéis a base de madeira para uso estrutural podem ser divididos em quatro classes principais:

- a) O primeiro grupo é composto por painéis estruturais com grande estabilidade dimensional devido a defasagem das camadas. Nesse grupo se incluem o painel de madeira compensada e o painel de tiras orientadas, conhecido como OSB (*Oriented Strand Board*);
- b) No segundo grupo se encontra a madeira laminada colada, também conhecida por MLC que apresenta características de painel estrutural e processo produtivo bastante particular;
- c) O terceiro grupo composto por painéis estruturais utilizados em substituição a madeira maciça, como por exemplo, painel de lâminas paralelas LVL (*Laminated Vanner Lumber*), o painel de lascas paralelas PSL (*Parellel Strand Lumber*), o painel de tiras laminado LSL (*Laminated Strand Lumber*) e o laminado com tiras orientadas OSL (*Oriented Strand Lumber*);
- d) E, o quarto grupo composto por perfis “I”.

Estes painéis estruturais podem ser produzidos em várias espessuras e larguras e utilizados nas mesmas aplicações estruturais da madeira serrada, como os elementos estruturais de coberturas, vigas e pilares.

3.2 OSB (*Oriented Strand Board*)

Oriented Strand Board (OSB) – Figura 2 – é um painel reconstituído de partículas de madeira, parcialmente orientadas, com a incorporação de adesivo a prova d'água – fenol-formaldeído e/ou isocianato (MDI) – e consolidados por meio de prensagem a quente (RAZERA, 2006).



Figura 2: Painel OSB

Fonte: http://www.supply-plywood.com/products_info/OSB-Board-103376.html

As dimensões das lascas podem variar de 25 mm de largura por 80 a 150 mm de comprimento, e 0,50 a 0,75 mm de espessura podendo estar dispostos na camada interna, perpendicularmente, as camadas externas, ou de forma aleatória (CABRAL et al., 2006).

Segundo Cloutier (1998), as características do painel com três camadas e a orientação disposta em 0°-90°-0° conferem as chapas maior resistência mecânica (flexão estática) e melhor estabilidade dimensional.

No processo produtivo, as variáveis mais importantes são: geometria das partículas "*strand*", teor de umidade das partículas, quantidade de resina e parafina, proporção relativa entre as camadas externas e internas e ciclo de prensagem.

Para a fabricação do OSB é possível utilizar madeiras de qualidade inferior e até resíduos florestais, desde que estes apresentem dimensões que permitam a confecção dos flocos, por exemplo, costaneiras. Comparando o custo de produção e preço final no mercado de produtos de madeira reconstituída, percebe-se que, atualmente, o OSB é mais econômico do que o compensado, por isso está substituindo o mesmo em muitas aplicações (CLOUTIER, 1998).

As chapas de OSB são produtos utilizados para construção civil, como suportes de piso e forro, componentes de vigas, embalagens, pallets e em menor escala para estrutura de móveis e decoração de interiores, competindo com o compensado.

3.3 LSL (*Laminated Strand Lumber*)

O LSL (Figura 3) é um composto estrutural produzido com partículas de madeira, orientadas paralelamente, somadas a adesivo e prensadas a quente. Os adesivos utilizados na produção de LSL são especialmente indicados para uso exterior, ou seja, adesivos que apresentam resistência à umidade. No processo produtivo os adesivos são pulverizados nas partículas e curados ao longo da prensagem a quente.



Figura 3: Painel LSL

Fonte: <http://www.forresidentialpros.com/company/10185946/louisiana-pacific>

As lascas possuem espessura variando de 0,6 a 1,3 mm, com comprimento de 300 mm e com larguras variáveis. Diferentemente do LVL e do PSL, a matéria-prima do LSL não é limitada a toras de espécies utilizadas comercialmente: pequenas toras de espécies variadas subutilizadas e de rápido crescimento também são aceitas no processo de produção, além da possibilidade de uso de resíduos de laminação. O LSL, de todos os painéis destinados a usos

estruturais, é o que apresenta maior rendimento na utilização da tora, em torno de 72% (NELSON, 1997, apud FERRAZ et al., 2009).

Uma característica do processo de produção do LSL está na maior intensidade de pressão aplicada se comparada a pressão aplicada na produção do OSB.

O LSL pode ser produzido com características específicas a partir do controle das variáveis do processo, tais como as resinas, o ciclo de prensagem e as dimensões das lascas. As propriedades de rigidez e resistência do LSL são dependentes da densidade do painel, das espécies utilizadas e da orientação das lascas (MOSES et al., 2003).

Esse tipo de produto é bastante utilizado na produção de vigas, pilares, caibros para telhados, vergas para janelas, batentes de portas e também para a produção de móveis (TANKUT et al., 2004).

3.4 OSL (*Oriented Strand Lumber*)

O OSL (Figura 4) é um tipo de LSL cujas partículas, com comprimento de 150 mm, são aglutinadas com adesivo também resistente a umidade, ou seja, adesivo para uso estrutural e no processo de formação do colchão, as partículas são orientadas paralelamente (BAO, 2002). Uma das características importantes dos painéis OSL é que estes painéis são produzidos com tecnologias de processo similares a do OSB, porém com partículas maiores que as empregadas na produção de OSB.



Figura 4: Painel OSL

Fonte: <http://www.forresidencialpros.com/company/10190008/ainsworth>

Enquanto o OSB é mais usado para aplicações de forros e paredes o OSL é mais utilizado na produção de vigas e colunas.

Estudos realizados por Chrasatitsin et al. (2005), indicam que o aumento no comprimento da partícula tem resultado no aumento da flexão estática do painel. A geometria das partículas é um dos fatores básicos a afetar as propriedades importantes do painel e seu processo de produção, juntamente com a espécie de madeira, o tipo e a quantidade de adesivo, os aditivos, a estrutura do painel formado pela orientação das partículas, a disposição das camadas e as condições de prensagem do colchão. Tais afirmações são confirmadas quando compara-se os resultados dos painéis OSL e dos painéis OSB, onde um pequeno aumento no comprimento das partículas utilizadas proporcionam consideráveis melhoras nos painéis produzidos.

O OSL é um painel muito novo e o mercado ainda está em desenvolvimento. Dados da produção de OSL são muito difíceis de encontrar, pois são comumente agregados ao volume de produção do OSB ou de outro compósito estrutural (LVL, PSL, MLC, etc.). Embora o volume de produção anual do OSL seja muito menor que do OSB, por eles terem matéria-prima e processo de manufatura semelhantes, tendências do mercado do OSB são também indicadores razoáveis das tendências de produção do OSL (ZHANG, 2009).

3.5 Adesivos

Outro aspecto de grande relevância na produção de painéis a base de madeira refere-se ao adesivo utilizado.

Adesivo é um termo genérico que denomina uma categoria de produtos cuja finalidade é unir, ligar ou juntar dois materiais iguais ou diferentes. Dentro deste termo está incluída a denominação cola e resinas. Do ponto de vista técnico, o termo adesivo é usado para os produtos com propriedades de unir materiais através de substâncias químicas à base de polímeros. Adesivos tem origem sintética, extraídos de matérias-primas onde houve reação química.

Colas são "gomos" extraídas de origem animal (gorduras, sebos) ou vegetal (resinas). Apesar da palavra adesivo ser genérica, servindo tanto para colas como resinas, o mercado madeireiro se acostumou a chamar de adesivo especialmente os produtos utilizados na união de materiais. Exemplo disto é o adesivo de PVA (polivinil), conhecido como cola branca. Já na obtenção de produtos, como MDF, compensado entre outros, são utilizadas as resinas (REVISTA REFERÊNCIA. 2006).

O adesivo determina a aplicação do painel, ou seja, se o mesmo é indicado para uso em contato com água ou indicado apenas para aplicações em ambientes internos.

Segundo a Norma Europeia EN 204-2001 existe uma classificação dos adesivos, de acordo com o trabalho de colagem e a finalidade da peça:

- D1: Peças que não ficarão expostas à umidade, ou seja, são apenas para interiores. Exemplo: móveis para quarto, estantes etc.;
- D2: Peças para interiores em locais que, ocasionalmente, ficam expostas à umidade. Exemplo: móveis de cozinha;
- D3: Peças que não ficam expostas em ambientes externos, mas que frequentemente entram em contato com umidade. É importante lembrar que este contato não é de longa duração.

Exemplo: gabinetes de banheiro, armários em área de serviço, etc.;

- D4: Peças de interiores ou exteriores, em locais que frequentemente ficam expostos à umidade durante um longo período de tempo. Exemplo: piso ao redor de piscina, móveis de jardim, saunas, etc.

Os adesivos que comumente são aplicados na indústria madeireira são: uréia-formaldeído para uso interno, fenol-formaldeído e resorcinol para uso externo, e, melamina-formaldeído para uso intermediário. Esses adesivos são sintéticos, tem grande resistência à água e, auxilia na contenção de microrganismos.

Segundo dados de Iwakiri (2005) e Oliveira et al. (2008), além desses adesivos mais utilizados, outros tipos de adesivos fazem parte do mercado. Segue, na Tabela 1, os adesivos, suas vantagens, desvantagens e aplicações.

Tabela 1: Adesivos utilizados no setor madeireiro, suas vantagens, desvantagens e aplicações.

Adesivos	Vantagens	Desvantagens	Aplicações
Acetatode polivinila (PVAc)	Facilidade e segurança no manuseio, inodoro, não inflamável, baixo custo, secagem rápida sob condições adequadas, fácil limpeza, estabilidade a estocagem.	Devido a sua baixa resistência a umidade é restrito ao uso interior	Utilizados na manufatura de painéis colados lateralmente, “finger-joint”, móveis, colagem de lâminas e junções dos componentes em serviços de marcenaria e carpintaria em geral.
Hot – melt	Proporciona colagem rápida e forte, resina isenta de solventes e poluentes, sua adesão não envolve reação química, baixo custo.	Necessita de alta temperatura e máquinas especiais para ser aplicado	Em papel e embalagens, artes gráficas (lombadas de livros e revistas), calçados e couros (fabricação dos calçados), madeireiro e moveleiro (colagem de bordas), construção civil (colagem de carpetes), descartáveis (fabricação de fraldas e absorventes).
Uréia – formaldeído (UF)	Barato e de fácil manuseio, o mais utilizado no mundo, não inflamável, solubilidade inicial em água, tempo de reação na prensa quente mais rápido.	Utilizado apenas em uso interno devido a sua baixa resistência a umidade e a liberação do formaldeído	São responsáveis por mais de 90% dos adesivos utilizados para a fabricação de chapas de MDP, OSB e MDF.
Melamina – formaldeído	Maior resistência a umidade em relação a resina UF, cura mais rápida em relação a resina FF, resistência alta em relação a umidade	Custo de 3 a 4 vezes maior que a UF, e de 2 a 2,5 vezes maior que a FF	Uso exterior e semi- exterior. Adesivo usado na fabricação dos laminados decorativos (fórmicas) e revestimento BP (baixa pressão).
Fenol – formaldeído (FF)	Resistente a água fria e a água quente, boa resistência a alta temperatura	O custo relativamente alto, sendo em torno de 2,5 vezes que a resina UF, pouco tempo de armazenamento, tempo de cura alto, pode alterar a cor da chapa resultante.	Segundo mais utilizado na produção de chapa de partículas. Compensado, laminação, barcos, estruturas de madeira, produtos esportivos, etc.
Resorcinol-formaldeído	Resistente a solventes exceto soda- cáustica Cura a temperatura ambiente	Alto custo (5 x FF)	Utilizado na produção de vigas laminadas MLC em construções navais, compensado naval, aviação e produtos estruturais, casas pré-fabricadas, carrocerias de caminhões.
Tanino – formaldeído	Comercializada na forma de pó, e a sua vida útil é relativamente longa, excelente propriedades de resistência mecânica. Produzidas de fontes renováveis.	Baixa resistência coesiva e a umidade, que podem ser minimizadas com a adição de pequenas quantidades de outras resinas como resorcinol, fenol sintético e UF	São empregados na manufatura de painéis de madeiras
Licor sulfito	Baixo custo e possui resistência mecânica moderada	Maior tempo de prensagem sobre uma temperatura de 180°C para a polimerização parcial e posterior a autoclavagem à temperatura de 200°C a 10 Pa.	Destinada a produção de painéis
EPI (Emulsão Polimerizada Com Isocianato)	Ausência de emissão de formaldeído livre, utilização da matéria prima com alto teor de umidade com tempo de prensagem relativamente curto, possibilita a utilização de resíduos de lignina de processo de polpação, reduzindo seu custo de produção.	Aderem-se facilmente às superfícies metálicas durante a prensagem, alto custo de produção.	Produção de chapas de partículas, fibras e pisos engenheirados.

Como pôde ser visto, a maior parte dos painéis de madeira utilizam formaldeído na sua produção. Em razão da toxicidade desses adesivos devido à emissão do formol em contato com a alta temperatura, materiais artificiais vêm sendo desenvolvidos e testados para diversas aplicações.

Devido a facilidade de se obter poliuretanas com as mais variadas propriedades, como polímeros flexíveis, semi-rígidos e outras, o uso da poliuretana como biomaterial vem aumentando. A obtenção das poliuretanas vegetais com base em óleo de mamona *Rcinus communis* faz parte de uma linha de pesquisa desenvolvida no laboratório de Química Analítica e Tecnológica de Polímeros - IQSC - USP, São Carlos, desde 1984. Essas resinas são produtos alternativos de polióis e pré-polímeros sintetizados a partir de moléculas derivadas de ácidos graxos vegetais (ROSALINDO et al., 1997).

As principais vantagens dessa resina são: ter menor toxicidade que o formoldeído, apresentar estabilidade química ou biológica, densidade e peso adequados, resistência mecânica e elasticidade adequadas, além do custo viável.

Na produção de chapas de partículas o adesivo representa o maior custo envolvido no processo, devendo otimizar a quantidade de aplicação do mesmo em função das propriedades requeridas e da finalidade que a chapa se destinará (IWAKIRI, 2005). Segundo Mendes (2000), no processo produtivo de algumas chapas, o custo com matéria-prima e adesivos pode vir a superar 50% de todo custo envolvido no processo, como mostrado na Figura 5.

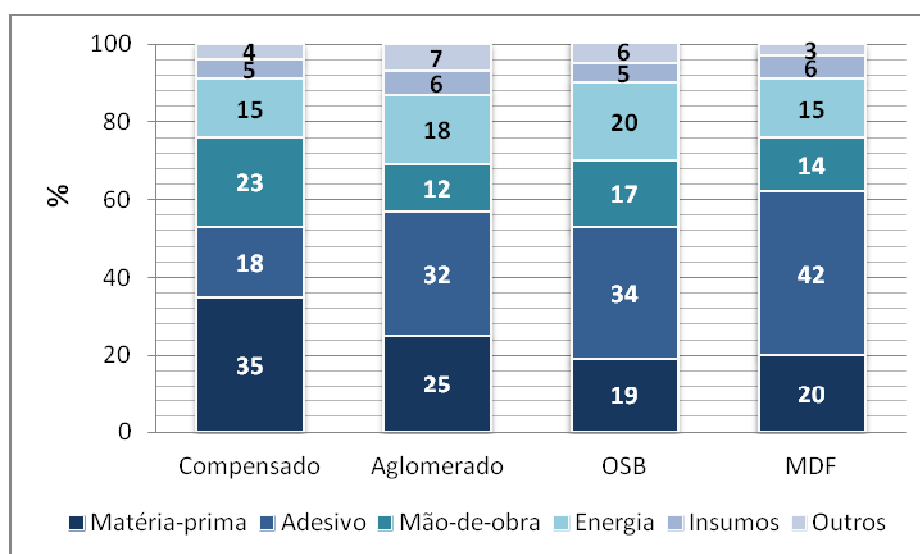


Figura 5: Custo de produção de alguns painéis.
Fonte: MENDES, 2000.

A quantidade de adesivo a ser utilizada na fabricação de um painel é determinada em função da quantidade de sólido resinoso e com base no peso seco das partículas, podendo variar de 5 a 10% (IWAKIRI, 2005).

3.6 Considerações a respeito da bibliografia consultada

Do exposto anteriormente, destaca-se que este projeto tem por finalidade, a utilização de resíduos provenientes do processo de laminação da madeira – abundante na região de Itapeva, sudoeste do estado de São Paulo, onde se desenvolveu o trabalho – e o estudo da produção desses painéis para uso estrutural, empregando adesivos alternativos menos agressivos ao homem e ao meio ambiente.

Destaca-se que a produção dos painéis propostos neste trabalho já são produzidos nos EUA e na Europa, entretanto, no Brasil há poucos estudos relativos aos painéis OSL e LSL, e nenhuma produção industrial de tais painéis. Os painéis objeto desse estudo tem grande aplicação na construção civil, sendo empregados no uso de elementos estruturais como vigas, elementos de tesouras, montantes para pilares, entre outras aplicações.

A eficiência do aproveitamento dos resíduos gerados no processo de laminação da tora para a fabricação dos painéis será avaliada através de ensaios de caracterização física e mecânica, a serem realizados em conformidade com as recomendações apresentadas em documentos normativos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os resíduos utilizados para a fabricação das chapas de partículas de madeira foram obtidos basicamente a partir de espécies de reflorestamento junto a empresas da região. As lascas utilizadas no desenvolvimento do trabalho para a fabricação dos painéis foram provenientes da empresa Miraluz, produtora de compensado situada na cidade de Sengés - PR. As etapas envolvidas no processo de fabricação dos painéis foram: identificação de empresa da região geradora dos resíduos a serem utilizados na produção dos painéis; processamento dos resíduos nas dimensões específicas para cada painel a ser produzido; classificação das partículas; preparação do adesivo; formação do colchão de partículas; pré-prensagem do colchão; prensagem a quente; acondicionamento e acabamento.

Aqui, apesar dos painéis produzidos terem características tanto do LSL e OSB quanto do OSB, durante todo o trabalho exposto, os painéis estudados serão chamados de LSL e OSB.

4.1 Materiais

Os materiais, utilizados no estudo foram resíduos de lâminas de *Pinus taeda* provenientes do processo de laminação. Tais resíduos foram gerados ao longo do processo, seja no início do processo de laminação onde a tora ainda não apresenta regularidade em sua conicidade ou mesmo ao longo do transporte e processamento das lâminas. A região onde o presente estudo se desenvolveu apresenta diversas indústrias que realizam a laminação das toras, e não apresentam um uso adequado para os resíduos provenientes do processamento destas. Além dos resíduos de laminação o estudo propôs o uso de adesivo alternativo, utilizando resina poliuretana à base de óleo de mamona.

4.2 Métodos

Inicialmente, as lascas, que vieram com 2 mm de espessura, precisaram ser lixadas (em lixadeira de cinta) para ficar com aproximadamente 1 mm de espessura e atender as especificações dos painéis.

Então, as lascas de madeira com 10 a 12% de umidade foram processadas mecanicamente (com estilete na direção longitudinal as fibras e serra-fita vertical na direção perpendicular as fibras) onde obteve-se lascas com dimensões de 300 mm x 15 mm x 1 mm para o painel LSL e de 150 mm x 15 mm x 1 mm para o painel OSL.

Essas etapas do processo foram realizadas na Serraria da UNESP – Itapeva.

4.2.1 Produção dos painéis

A confecção dos painéis foi realizada no Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira (LAMEM) – EESC / USP – São Carlos.

Foram produzidos painéis de OSL e de LSL nas dimensões de 500 mm x 500 mm e espessura (t) de 15 mm. Foram utilizados 12% de resina poliuretana a base de óleo de mamona aplicado com o auxílio de um pincel largo. O maior teor de adesivo utilizado (12%) foi superior ao indicado por Iwakiri (2005) que é 10%. Isto é justificado pelo desconhecimento do comportamento da resina para a produção deste tipo de painel e, também, destaca-se que o processo industrial aplica o adesivo através de pulverização, onde não há perda de adesivo e neste trabalho a aplicação foi por pincelamento onde existe perda, pois parte do adesivo fica impregnada no pincel.

Os painéis produzidos foram compostos por três camadas, sendo as duas camadas externas com as partículas orientadas paralelamente em um dos eixos e a terceira, a camada interna do colchão, com as partículas dispostas perpendicularmente a esse eixo. Cada colchão foi produzido com 1600g de lascas e

240g de resina no total (misturados 120g de poliol e 120g de pré-polímero) e nas camadas foram divididas as quantidades de partículas e de resina em cerca de 1/3 do total. As partículas foram dispostas em camadas no colchão a partir de um sistema de telas metálicas para facilitar a orientação, como é ilustrado nas Figuras 6 e 7.

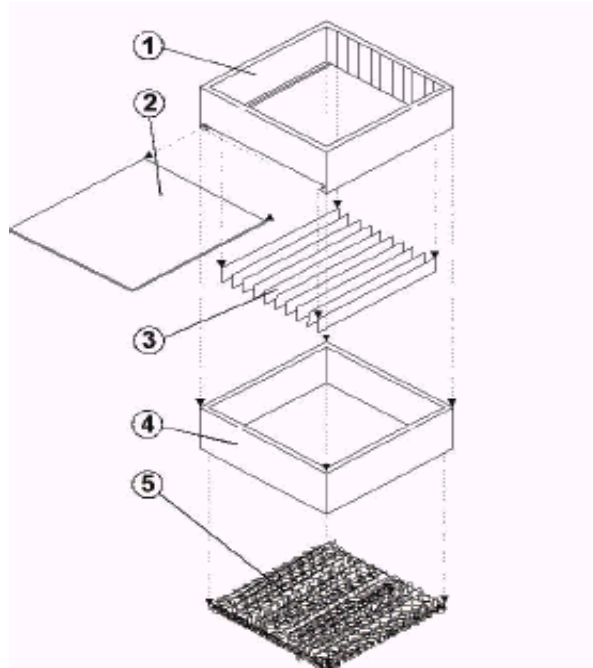


Figura 6: Sistema composto por tela metálica para facilitar a orientação das partículas de madeira.
Fonte: Iwakiri (2005).

O sistema utilizado é composto por uma caixa formadora (1 e 4), base metálica para auxiliar na formação do colchão (2), tela metálica para orientação das partículas (3) e colchão já formado e desmoldado (5). (Figura 6).



Figura 7: Foto da caixa formadora do colchão

Após a formação do colchão, o mesmo foi pré-prensado a frio por aproximadamente 120 segundos com leitura de pressão constante de

aproximadamente 100 kgf/cm². Em seguida, foi realizada a prensagem a quente do painel por um período determinado preliminarmente de 10 minutos, com temperatura de 100°C (determinada pelo fabricante do adesivo), e leitura de pressão específica constante de aproximadamente 34 kgf/cm². O equipamento de pré-prensagem e prensagem utilizado é uma prensa hidráulica termomecânica da marca Marconi com capacidade de carga de 50 toneladas.

Na Figura 8 (a) está ilustrada a prensagem a quente de um painel e a Figura 8 (b) o painel logo após a prensagem.

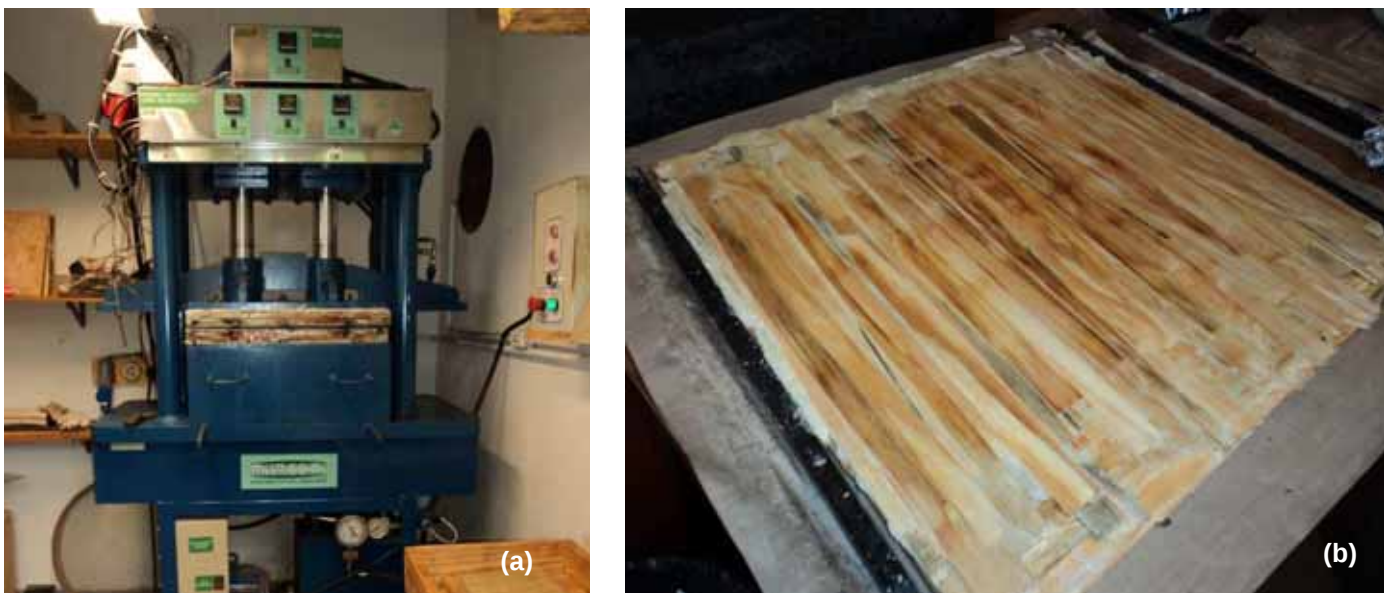


Figura 8: (a) Prensagem a quente do painel. (b) Painel LSL após prensagem.

Após a prensagem, os painéis foram acondicionados até obter peso constante e esquadrejados.

4.2.2 Caracterização dos painéis

Concluída a etapa de produção dos painéis, foram realizados ensaios de caracterização física e mecânica dos corpos-de-prova retirados das chapas de OSL e das chapas de LSL. Os ensaios ocorreram novamente na UNESP de Itapeva, no Laboratório de Propriedades Mecânicas.

Os painéis, após acondicionamento, foram processados para a retirada dos corpos-de-prova de cada ensaio estabelecido (Figura 9). Os corpos-de-prova denominados de CP1 a CP12 foram utilizados para ensaios de flexão; os quadrados Q1 a Q6 foram utilizados para ensaios de densidade, inchamento e teor de umidade.

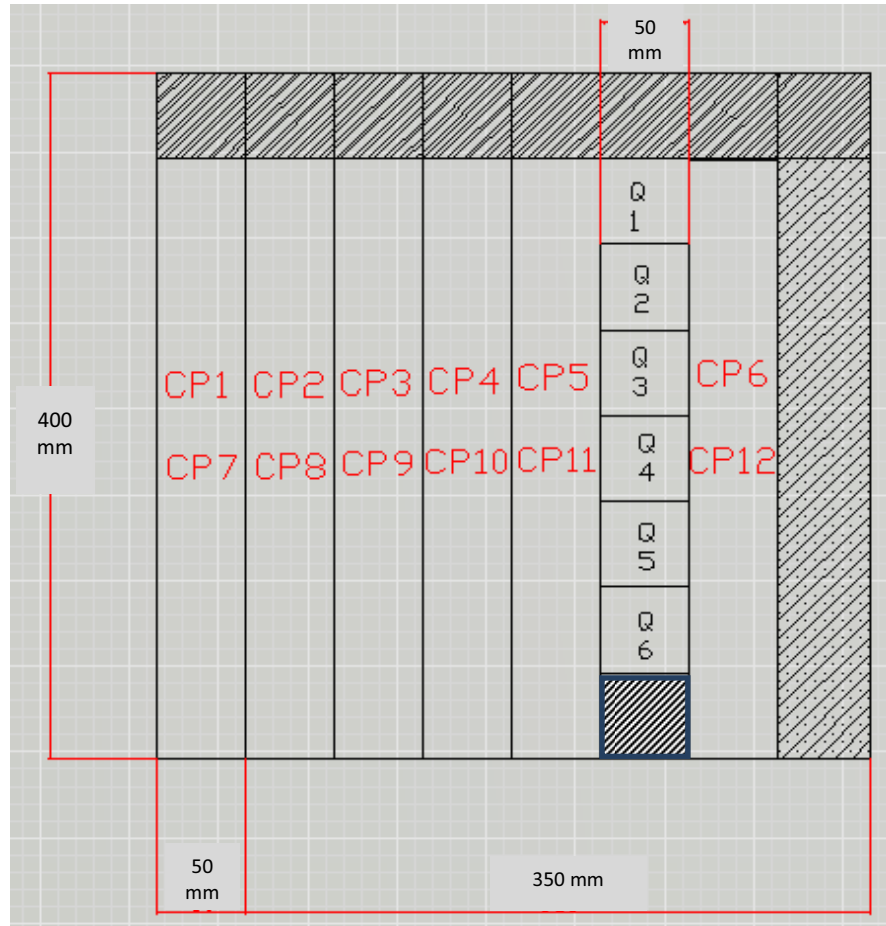


Figura 9: Esquema de corte para ensaios físicos.

Como indicado na literatura, optou-se por não retirar os corpos-de-prova quadrados para os ensaios físicos das bordas da chapa devido ao fato de que nas bordas o painel pode sofrer menor densificação.

A caracterização e avaliação dos painéis foram estabelecidas conforme as normas europeias para caracterização de painéis a base de madeira, a *European Committee for Standardization* (EN 310-2000 – Ensaios de flexão para determinação do módulo de ruptura e elasticidade; EN 317-1993 – Ensaio para do índice de inchamento em 24h; EN 322-2000 – Ensaio para determinação do teor de umidade; EN 323-2000 – Ensaio para determinação da densidade do painel).

4.2.2.1 Ensaio de flexão para determinação do módulo de ruptura (f_m) e elasticidade (E_m) – EN 310-2000

O ensaio de flexão estática seguiu a norma europeia EN 310-2000. Foram ensaiados seis corpos-de-prova para cada uma das seguintes condições: ensaios de LSL perpendicular; OSL paralelo e OSL perpendicular. O ensaio de LSL paralelo, entretanto, continha onze corpos-de-prova devido a maior disponibilidade de material. Para o teste de flexão paralela, as lâminas das camadas externas (inferior e superior) são paralelas ao comprimento, e, para o teste flexão perpendicular, as lâminas das camadas externas são perpendiculares ao comprimento.

As dimensões do corpo-de-prova para ensaio de flexão atenderam as especificações da norma (Figura 10).

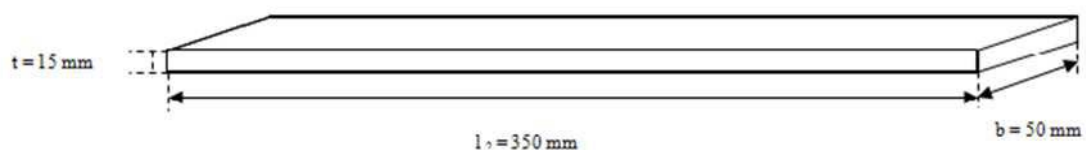


Figura 10: Ilustração do corpo-de-prova de flexão.

As amostras utilizadas apresentaram largura (b) de 50 mm e espessura nominal (t) equivalente a 15 mm. O comprimento (l_2) foi determinado através da Equação 1, de acordo com a especificação da norma EN 310-2000.

$$l_2 = 20 \cdot t + 50 \quad (1)$$

Onde:

l_2 = comprimento do corpo-de-prova (mm);

t = espessura do corpo-de-prova (mm).

Então, seguindo a Equação 1, o comprimento foi de 350 mm.

Antes da realização do ensaio, as espessuras dos corpos-de-prova foram medidas conforme a EN 325-2001 com o auxílio de um paquímetro digital com

precisão de 0,01mm, de modo que o local de medição foi o ponto de intersecção das diagonais e da largura do meio comprimento e, também, foi feita a marcação em cada amostra do local aonde iria se posicionar os dois apoios e o cutelo de carregamento.

Os ensaios foram realizados na máquina universal de ensaios EMIC com capacidade de carga de 30 toneladas, no Laboratório de Propriedade dos Materiais - UNESP Campus de Itapeva. A norma européia seguida exige que o cutelo de carregamento seja de um mesmo comprimento que os apoios e de um diâmetro de $(30 \pm 0,5 \text{ mm})$ e os apoios cilíndricos paralelos de rolamentos com um comprimento superior a largura do provete e um diâmetro $(15 \pm 0,5 \text{ mm})$ disposto paralelamente aos apoios, em posição eqüidistante. O vão entre apoios (l_1) para a realização do teste de flexão foi de 20 vezes a espessura da amostra ($t = 15 \text{ mm}$), ou seja, igual a 300 mm, e os 50 mm restantes do comprimento do corpo-de-prova, se divide em duas partes de 25 mm cada, além dos apoios. O arranjo esquemático da máquina de ensaios segue na Figura 11.

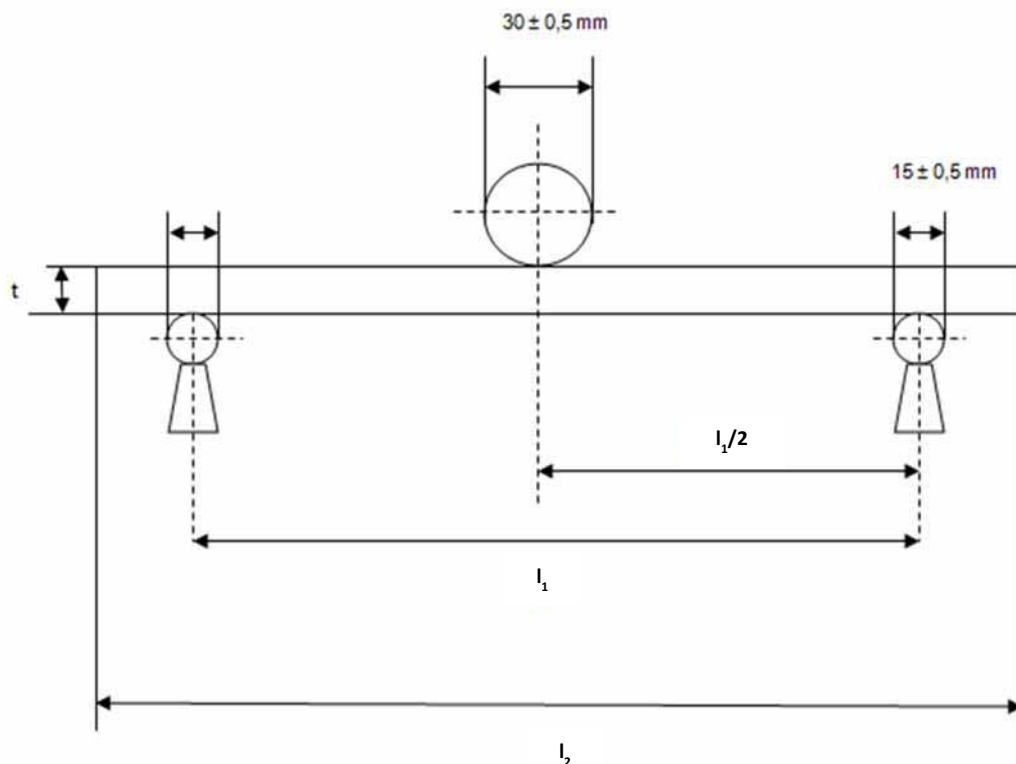


Figura 11: Esquema de dispositivo para ensaio de flexão.

O equipamento de realização de ensaio EMIC lê a deformação e gera automaticamente o módulo de elasticidade E_m e resistência a flexão f_m não sendo necessário calculá-los. Entretanto a máquina segue as Equações 2 e 3 para o cálculo dos módulos.

$$E_m = \frac{l_1^3(F_2 - F_1)}{4bt^3(a_2 - a_1)} \quad (2)$$

Onde:

E_m = Módulo de elasticidade (N/mm²);

l_1 = distância entre centros de apoio (mm);

$F_2 - F_1$ = incremento de força (N) na seção reta da curva força – deformação. F_1 deve ser aproximadamente de 10% e F_2 aproximadamente 40% da carga de ruptura;

$a_2 - a_1$ = incremento da flecha a meio-comprimento do corpo-de-prova (correspondente a $F_2 - F_1$).

$$f_m = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot l_1}{2 \cdot b \cdot t^3} \quad (3)$$

Onde:

f_m = resistência a flexão (N/mm²);

F_{max} = carga de ruptura (N);

l_1 = distância entre vãos (mm);

b = largura do corpo-de-prova (mm);

t = espessura nominal do corpo-de-prova (mm).

Na Figura 12 a seguir estão ilustrados os corpos-de-prova de flexão sendo ensaiados no laboratório.



Figura 12: Realização do ensaio de flexão estática.

4.2.2.2 Ensaio para determinação do índice de inchamento em 24h – EN 317-1993

O ensaio de inchamento em espessura seguiu a norma EN 317-1993. Os corpos-de-prova para a realização desse ensaio são de formato quadrado com (50 ± 1) mm de aresta. Seis corpos-de-prova de cada tipo de painel (LSL / OSL) foram imersos em água destilada por 24h. Mediu-se as espessuras dos corpos-de-prova na intersecção das diagonais antes e após a sua imersão em água limpa, com pH 7 ± 1 e temperatura de 20 ± 1 °C e estes permaneceram cobertos por 25 ± 5 mm de água durante 24 h. O inchamento em espessura é calculado através da Equação 4:

$$G = \frac{(t_2 - t_1)}{t_1} \cdot 100 \quad (4)$$

Onde:

G = inchamento em espessura em 24 h (%);

t_1 = espessura inicial (mm);

t_2 = espessura final (mm).

Na Figura 13 seguinte estão ilustradas as amostras para o teste de inchamento após 24 h de imersão em água.



Figura 13: Corpos-de-prova após 24h em imersão.

4.2.2.3 Ensaio para determinação do teor de umidade – EN 322-2000

O ensaio para a determinação do teor de umidade seguiu a EN 322-2000. Assim, foram retirados corpos-de-prova da chapa com um peso mínimo de 20 g. Segundo a norma, os corpos-de-prova não tinham que ter dimensões e formatos pré-definidos, mas foram utilizados seis quadrados de (50 x 50) mm de cada tipo de painel (LSL/OSL) sem partículas livres.

Inicialmente os corpos-de-prova foram pesados e colocados em estufa a uma temperatura de $(103 \pm 2) ^\circ\text{C}$ até atingirem uma massa constante, ou seja, quando duas pesagens sucessivas efetuadas com pelo menos 6 horas de intervalo,

não diferem mais de 0,1 % em relação a massa do corpo-de-prova. Depois que os corpos-de-prova foram arrefecidos aproximadamente a temperatura ambiente, eles foram pesados novamente e o teor de umidade foi calculado a partir da Equação 5:

$$H = \frac{m_H - m_0}{m_0} . 100 \quad (5)$$

Onde:

H = umidade (%);

m_H = massa inicial (úmida) do corpo-de-prova (g);

m_0 = massa final (seca) do corpo-de-prova após a estufa (g).

Na Figura 14 os corpos-de-prova se encontram na estufa de secagem para a determinação do teor de umidade das amostras.



Figura 14: Corpos-de-prova em estufa para determinação do teor de umidade.

4.2.2.4 Ensaio para determinação da densidade do painel – EN 323-2000

Para a determinação da densidade das chapas foram retirados das mesmas, seis corpos-de-prova de formato quadrado de cada tipo de painel (LSL/OSL), com os lados medindo 50 mm nominais.

Os corpos-de-prova foram condicionados até obter massa constante a uma umidade relativa de $(65 \pm 5)\%$ e a uma temperatura de $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Considera-se massa constante quando os resultados de duas pesagens sucessivas, efetuadas com pelo menos 24 h de intervalo, não diferem mais de 0,1 % em relação à massa do corpo-de-prova.

Os corpos-de-prova foram inicialmente pesados e tiveram sua espessura (t) medida no ponto de encontro de suas diagonais. Mediu-se b_1 e b_2 em dois pontos, paralelamente as bordas do corpo-de-prova, ao longo das linhas que passam pelo centro das bordas. A densidade foi calculada através da Equação 6:

$$\rho = \frac{m}{b_1 \times b_2 \times t} \cdot 10^6 \quad (6)$$

Onde:

ρ = densidade do corpo-de-prova (kg/m^3);

m = massa do corpo-de-prova (g);

b_1 e b_2 = dimensão das bordas (mm);

t = espessura (mm).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios físicos e mecânicos estão apresentados nas Tabelas 2 a 7 e nas Figuras 12 e 13. Como não existem normas técnicas para testes em LSL/OSL, os resultados foram comparados com a literatura e com as normas referentes à classificação e especificação do OSB para uso estrutural.

5.1 Flexão

Os valores obtidos no teste de flexão foram comparados aos estudos de Ferraz et al. (2009). Na Tabela 2 estão os valores médios das Tensões de Ruptura (f_m) e dos Módulos de Elasticidade (E_m) nas direções paralelas e perpendiculares para as chapas de LSL e OSL. O comportamento e os valores de deformação de cada corpo-de-prova, assim como suas tensões de ruptura e módulos de elasticidade se encontram no Apêndice A.

Tabela 2: E_m e f_m dos corpos-de-prova de OSL e LSL paralelo e perpendicular.

<i>Painel</i>	<i>Direção</i>	<i>Flexão f_m (MPa)</i>	<i>Flexão E_m (MPa)</i>
LSL	<i>Paralela</i>	<i>113,10 ± 12,95</i>	<i>46.950,00 ± 9816,00</i>
	<i>Perpendic.</i>	<i>30,34 ± 11,82</i>	<i>18.710,00 ± 17940,00</i>
OSL	<i>Paralela</i>	<i>85,18 ± 7,62</i>	<i>39.220,00 ± 13140,00</i>
	<i>Perpendic.</i>	<i>23,26 ± 3,94</i>	<i>11.910,00 ± 6806,00</i>

Ferraz et al. (2009) produziu painéis OSL e LSL de lascas de madeira *Chrysophyllum* sp. porém, as lascas não foram orientadas em camadas cruzadas e a comparação detalhada dos resultados está apresentada nas Figuras 12 e 13 e na Tabela 3.

- **Tensão de Ruptura (f_m)**

O valor médio da tensão de ruptura obtida para o LSL estudado foi de 113,1 MPa, 52,43% maior em relação a literatura.

Já o valor médio da tensão de ruptura do OSL estudado foi de 85,18 MPa, apenas 0,37% menor que o valor descrito na literatura.

Na Figura 15 está a comparação dos valores de uma forma visual de fácil compreensão.

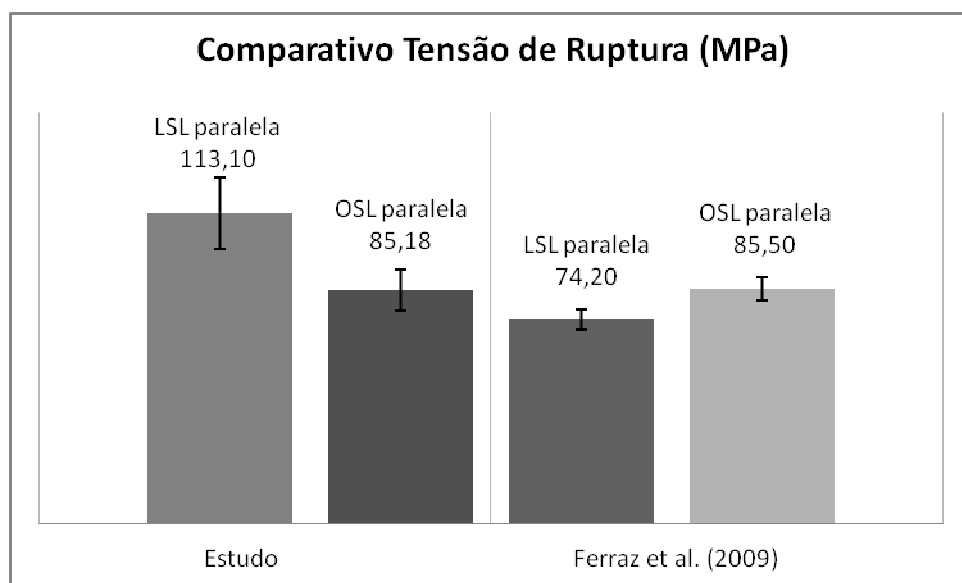


Figura 15: Comparativo dos valores médios de tensão de ruptura do presente estudo e do valor encontrado na literatura de Ferraz et al. (2009)

- **Módulo de Elasticidade (E_m)**

Os valores médios para os módulos de elasticidade foram bastantes distintos aos encontrados na literatura. Nos dois casos, esses valores foram muito maiores. O módulo de elasticidade do LSL estudado, 46950 MPa, apresentou-se 263,61% maior que o valor da literatura.

Não diferente, o valor médio do módulo de elasticidade do OSL estudado foi de 39220 MPa, sendo 217,69% maior em relação a literatura.

O comparativo visual segue na Figura 16.

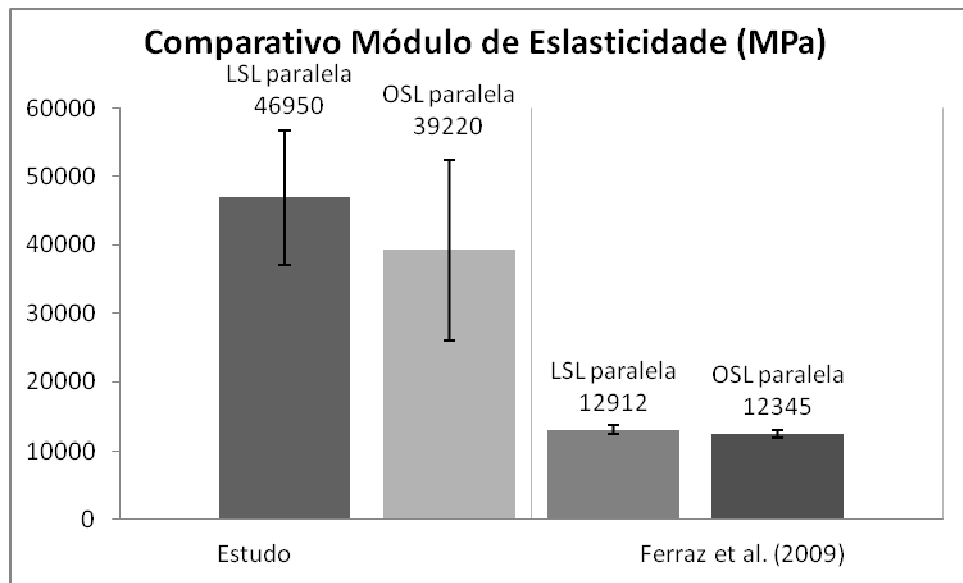


Figura 16: Comparativo dos valores médios de Módulo de Elasticidade estudado e do valor encontrado na literatura de Ferraz et al. (2009)

Analisando os resultados, apenas o valor de módulo de ruptura para a chapa de OSL está compatível com a literatura, os outros são substancialmente maiores, fator este que pode ser justificado pela disposição em camadas cruzadas e do maior teor de resina, tornando as chapas mais resistentes.

Também é possível observar, na Tabela 3, uma comparação entre os resultados observados para as propriedades mecânicas (E_m e f_m paralelos) dos painéis LSL/OSL produzidos e alguns produtos engenheirados de referências nacionais e internacionais.

Nota-se que os LSL/OSL produzidos nessa pesquisa são produtos com boas propriedades mecânicas, apresentando valores muito superiores aos painéis LSL/OSL da literatura. O painel LSL em estudo apresenta E_m e f_m superiores a qualquer chapa da literatura. Já o OSL em estudo apresentou valor de E_m muito superior a qualquer painel da literatura e f_m semelhante ao de Ferraz et al. (2009).

Tabela 3: Comparativo de valores de E_m e f_m de compostos estruturais encontrados na literatura nacional e internacional.

Tipo de painel	Espécie	Densidade (g/cm³)	Adesivo	E_m (MPa)	f_m (MPa)	Fon te
LSL	<i>Pinus elliottii</i>	1,16	PU	46950	113,1 0	1
OSL	<i>Pinus elliottii</i>	0,90	PU	39220	85,18	1
PSL	<i>Pinus/Liriodendron tulipifera</i>	n.i	FF	13898	n.i	2
LSL	<i>Chrysophyllum</i> sp.	0,74	FF	12912	74,2	3
OSL	<i>Chrysophyllum</i> sp.	0,76	FF	12345	85,5	3
LSL	n.i	0,69	MDI	11851	47,8	5
Compensa do	<i>Pinus taeda</i>	n.i	FF	11591	76,8	4
LSL	<i>Populus tremuloides</i>	n.i	MDI	10426	n.i	2
OSL	<i>Hevea brasiliensis</i>	0,72	MDI	9420	99,2	7
LSL	<i>Populus tremuloides</i>	n.i	MDI	9030	n.i	2
OSB	<i>Eucalyptus grandis</i>	0,70	FF	5592	40,6	6
OSB	<i>Pinus taeda</i>	0,70	FF	5563	40,9	6

Nota: n.i: Não informado; PU: resina poliuretana a base de óleo de mamona; FF: fenol-formaldeído; MDI: Isocianato.

Fonte: 1: Pesquisa atual; 2: Lam & Prion (2003); 3: Ferraz et al. (2009); 4: Iwakiri et al. (2002); 5: Tankut et al. (2004); 6: Iwakiri et al. (2004); 7: Chirasatitsin et al. (2005).

Os painéis LSL possuem propriedades mais resistentes que os OSL por apresentarem tanto módulo de ruptura quanto de elasticidade maiores para as posições paralelas e perpendiculares. Tais resultados comprovam que o maior comprimento das lascas foi favorável para o melhor desempenho estrutural dos painéis. Portanto, a pesquisa confirma os estudos realizados por Chrasatitsin et al. (2005), que indicam que o aumento no comprimento da partícula tem resultado no aumento da flexão estática do painel.

5.2 Inchamento em 24h

Para a norma EN 300-2002, o inchamento em espessura máximo após 24h para o OSB/2 – para fins estruturais utilizado em ambiente seco – é de 20%, e, para o OSB/3 – para fins estruturais utilizadas em ambiente úmido – é de 15%. Portanto, tanto as chapas de LSL (15,66% de inchamento), quanto as chapas de

OSL (17,54% de inchamento) estão entre os valores permitidos para o OSB de uso estrutural.

Pode-se dizer que, pelo fato do LSL em estudo apresentar um menor grau de inchamento em espessura que o OSL, esse se demonstra ligeiramente mais estável que o OSL.

As Tabelas 4 e 5 indicam o grau de inchamento após 24h de imersão em água dos corpos-de-prova do LSL e do OSL.

Tabela 4: Grau de inchamento (%) do LSL.

LSL			
C.P.	t inicial (mm)	t final (mm)- 24h em H2O	G (%)
L.1.3	14,22	16,48	15,89311
L.1.5	14,18	16,62	17,20733
L.2.2	14,13	16,84	19,17905
L.2.6	14,24	15,45	8,497191
L.3.3	15,1	16,99	12,51656
L.3.5	15,15	18,28	20,66007
MÉDIA			15,66
DESVIO PADRÃO			4,49

Tabela 5: Grau de inchamento (%) do OSL.

OSL			
C.P.	t inicial (mm)	t final (mm)- 24h em H2O	G (%)
O.2.1	14,1	16,33	15,8156
O.2.2	14,69	16,99	15,65691
O.2.3	15,46	18,67	20,76326
O.2.5	14,82	18,24	23,07692
O.2.6	13,65	16,15	18,31502
O.2.7	12,65	14,12	11,62055
MÉDIA			17,54
DESVIO PADRÃO			4,08

5.3 Determinação do teor de umidade

Comparando os valores obtidos no ensaio de teor de umidade com a norma EN 300-2002, a qual especifica que as chapas estruturais de OSB devem ter umidade mínima de 5% e máxima de 12%, observa-se nas Tabelas 6 e 7 que os

valores médios do teor de umidade do LSL (9,90%) e do OSL (9,74%) se enquadram no intervalo da norma.

Tabela 6: Teor de umidade (%) dos corpos-de-prova de LSL.

LSL						
C.P.	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	m4 (g)	m5 (g)	% umidade
L.1.3	37,45	34,91	34,08	34,03	34,03	10,06
L.1.5	37,31	34,73	33,96	33,91	33,91	10,02
L.2.2	29,17	26,94	26,52	26,50	26,50	10,09
L.2.6	32,82	30,55	29,93	29,89	29,89	9,79
L.3.3	35,25	32,73	32,14	32,10	32,10	9,81
L.3.5	39,77	37,25	36,35	36,29	36,28	9,63
MÉDIA						9,90
DESVIO PADRÃO						0,18

Tabela 7: Teor de umidade (%) dos corpos-de-prova de OSL.

OSL						
C.P.	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	m4 (g)	m5 (g)	% umidade
O.2.1	27,44	25,31	25,00	25,00	24,99	9,80
O.2.2	32,64	30,34	29,81	29,78	29,78	9,63
O.2.3	40,96	38,25	37,31	37,25	37,25	9,97
O.2.5	38,92	36,38	35,51	35,45	35,45	9,81
O.2.6	29,76	27,55	27,13	27,12	27,12	9,74
O.2.7	24,11	22,24	22,02	22,02	22,02	9,49
MÉDIA						9,74
DESVIO PADRÃO						0,16

5.4 Determinação da densidade da chapa

Ferraz et al. (2009) produziu e caracterizou chapas de LSL e OSL. As densidades de suas chapas atingiram em média 760 kg/m³ utilizando 8% de fenol formaldeído. Comparando, as densidades dos painéis do presente estudo se mostraram superiores ao número da literatura, porém é necessário levar em consideração o teor e o tipo de resina utilizado - 12% de resina poliuretana a base de óleo de mamona.

As Tabelas 8 e 9 indicam os valores dos parâmetros utilizados para o cálculo das densidades, e as densidades em si das amostras de LSL e OSL.

Tabela 8: Valores das densidades dos corpos-de-prova de LSL.

LSL					
C.P.	m1 (g)	t inicial (mm)	b1 (mm)	b2 (mm)	ρ (kg/m³)
L.1.3	37,45	14,22	50,32	50,49	1036,61
L.1.5	37,31	14,18	50,21	50,45	1038,66
L.2.2	29,17	14,13	20,33	50,55	2009,02
L.2.6	32,82	14,24	50,00	50,54	912,01
L.3.3	35,25	15,10	50,55	50,41	916,20
L.3.5	39,77	15,15	50,47	50,26	1035,00
MÉDIA					1157,92
DESVIO PADRÃO					421,26

Tabela 9: Valores das densidades dos corpos-de-prova de OSL.

OSL					
C.P.	m1 (g)	t inicial (mm)	b1 (mm)	b2 (mm)	ρ (kg/m³)
O.2.1	27,44	14,10	50,24	50,27	770,55
O.2.2	32,64	14,69	50,23	50,06	883,76
O.2.3	40,96	15,46	50,27	50,15	1050,88
O.2.5	38,92	14,82	50,22	50,15	1042,84
O.2.6	29,76	13,65	50,25	50,24	863,46
O.2.7	24,11	12,65	50,22	49,95	759,69
MÉDIA					895,20
DESVIO PADRÃO					127,33

Os painéis produzidos por Ferraz et al. (2009) são definidos como painéis de média densidade. Já os painéis produzidos neste estudo enquadram nos grupos de painéis de alta densidade, pois encontram valores superiores a 800 kg/m³. Tais valores superiores de densidade podem ser justificados pela maior quantidade de adesivo utilizada (12%) o que proporcionou painéis mais densos e também mais resistentes como descrito anteriormente.

6 CONCLUSÃO

A partir da caracterização física e mecânica e dos resultados obtidos, observa-se que os painéis da pesquisa possuem propriedades elevadas de resistência à flexão, alta densidade, teor de umidade conforme a norma e inchamentos em espessura após 24h coerentes com painéis OSB estruturais de uso interno e externo.

Além das ótimas propriedades obtidas nos testes de caracterização dos painéis LSL e OSL produzidos a partir do aproveitamento de resíduos e com adesivo alternativo, a produção desse tipo de painel permite agregar maior valor aos resíduos de madeira, e ainda ser uma prática alternativa e sustentável.

Observou-se também que, comparando os dois painéis produzidos entre si, a chapa de LSL obteve melhores resultados, o que a torna interessante para uso estrutural, como por exemplo, vigas, elementos de tesouras, entre outros. O comprimento das lascas teve influência direta no resultado final para caracterização física e mecânica dos painéis.

Em suma, os produtos finais obtidos atendem aos objetivos propostos e a forma de produção de LSL/OSL em camadas cruzadas, ao invés da camada única, demonstrou aumento significativo de resistência, assim, o estudo inicial soma pontos para uma futura pesquisa de aprofundamento.

Novos estudos devem ser realizados para a confirmação dos resultados obtidos no presente estudo. Recomenda-se que sejam avaliados painéis com lascas orientadas na mesma direção e em orientação cruzada de forma e confirmar os resultados conseguidos para os painéis estudados nesta pesquisa.

Destaca-se que o uso de adesivos alternativos tem apresentado resultados muito satisfatórios em várias pesquisas realizadas nos últimos 10 anos o que indica que no futuro, novos adesivos e resinas poderão ser utilizados pela indústria de painéis.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1037**: Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. Philadelphia, 1996.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1544**: Standard definitions of terms relating to wood-base fiber and particle panel materials. Philadelphia, 1986.

BAO, Z. Structural composite lumber. In: APA. **Engineered wood handbook**. New York: Mc Graw-Hill, 2002. chap. 6, p.6.1-6.49.

CABRAL, C. P. T. et al. Propriedades de chapas tipo OSB, fabricadas com partículas acetiladas de madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cloeziana* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, p.659-667, Ago. 2006. Mensal. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622006000400020&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 03 fev. 2012.

CASTRO, E. M.; GONÇALVES, M.T.T.. O processo produtivo do MDF (medium density fiberboards). In CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, n. 13º, 1998, Curitiba.

CHIRASATITSIN, S.; PRASERTSAN, S.; WISUTMETHANGOON, W.; KYOKONG, B. Mechanical properties of rubberwood oriented strand lumber. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, v. 27, n. 5, p. 1047-1055, 2005.

CHOW, P.; ZHAO, L.. Medium density fibreboard made from phenolic resin and wood residues of mixed species. **Forest Products Journal**, [s.i.], p. 65-67. Out. 1992.

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

ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. Engineered Wood Systems. Understanding Engineered Wood Products. Disponível em <[http://www.apawood.org/woodu/secure/101/unit one/1unit1 sotry.cfm](http://www.apawood.org/woodu/secure/101/unit%20one/1unit1%20stry.cfm)>. Acesso em: 25 abr. 2012.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 204:** Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications. Bruxelas, 2001.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 300:** Oriented Strand Boards (OSB) – Definitions, classification and specifications. Bruxelas, 2002.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 310:** Particleboards and Fiberboards – Determination of modulus of elasticity in bending and bending strength. Bruxelas, 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 317:** Particleboards and Fiberboards – Determination of swelling in thickness after immersion in water. Bruxelas, 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 322:** Wood-based panels – Determination of moisture content. Bruxelas, 2000.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 323:** Particleboards and Fiberboards – Determination of density. Bruxelas, 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 325:** Wood-based panels - Determination of dimensions of test pieces. Bruxelas, 2001.

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

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook:** wood as a engineering product. 72. ed. Washington, DC, US: Dept. Of Agriculture, 1987. 466 p. Disponível em: <<http://naldc.nal.usda.gov/download/CAT10324726/PDF>>. Acesso em: 04 dez. 2011.

GONÇALVES, M. T. T. **Processamento da madeira**. Bauru: M. T. T. Gonçalves, 2000.

GUSS, L.M. Engineered wood products: The future is bright. **Forest Products Journal**, Madison, v.45, n. 7/8, p.17-24, 1995.

IWAKIRI, S.; MENEZZI, C. S.; LAROCA, C.; VENSON, I.; MATOSKI, S. S. Produção de compensados de *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa* com resina fenol-formaldeído. **Revista Cerne**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 92-97, 2002.

IWARIKI, S.; MENDES, L. M.; SALDANHA, L. K. Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas OSB. **Revista Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 46-52, 2004.

IWAKIRI, S. (Ed.) **Painéis de Madeira Reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247p.

IWAKIRI, S. et al. Influência da espessura de partículas e reforço laminar nas Propriedades dos painéis de partículas orientadas - OSB de *Pinus taeda* L. **Revista Cerne**, Lavras, v. 15, n. 1, p. 116-122, 2009.

JOTA (Ed.). Especial adesivos. **Revista Referência**, Curitiba, v. 40, paginação irregular. 2006. Disponível em: <http://www.revistareferencia.com.br/index2.php?principal=ver_conteudo.php&uid=435&edicao2=40>. Acesso em: 14 maio 2012.

KOLLMANN, F.F.P.; KUENZI, E.W.; STAMM, A.J. **Princípios de ciência e tecnologia da madeira**. Berlin: Springer-Verlag, 1975. v.2, p. 154-283, 1975.

LAM, F.; PRION, H. Engineered wood products for structural purposes. In: THELANDERSSON, S.; LARSEN, H. J. **Timber engineering**. [S.l.: s.n.], 2003. p. 81-102.

LOUISIANA PACIFIC. **For residencial pros**. Disponível em:<<http://www.forresidentialpros.com/company/10185946/louisiana-pacific>>. Acesso em: 27 jun. 2012.

LP BUILDIND PRODUCTS. **LP Solidstart Rim Board**. Disponível em:<http://lpcorp.com/multifamily/floors/floors_rimboard.html>. Acesso em 27 jun. 2012.

MADEIRA TOTAL. **Estruturas físico-químicas da madeira**. Matérias técnicas, 2009. Disponível em: <<http://www.madeiratotal.com.br/materia.php?id=39&voltar=materias.php>>. Acesso em: 24 fev. 2012.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Updated Edition, 1993. Miller Freeman Inc..

MANTILLA CARRASCO, E.V. (1984) Ligações estruturais de madeira por adesivos. São Carlos. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

MENDES, L.M.; ABUQUERQUE, C.E.C.; IWAKIRI, S. Perspectivas do processo de produção de painéis OSB. In: EBRAMEM, 7, 2000, São Carlos. **Anais...**. São Carlos: [s.n.], 2000.

MOSES, D. et al. Composite Behavior of Laminated Strand Lumber. **Wood Sci Technol**, Vancouver, v. 37, p. 59-77, 2003.

NELSON, S. Structural composite lumber. In: _____. **Engineered wood products: a guide for specifiers, designers and users**. Madison: PFS Research Foundation, 1997. chap. 6, p. 6/147-6/172.

NOLASCO, A. M. **Resíduos da colheita e beneficiamento da caixeta – *Tabebuia cassinoídes* (Lam.) DC.:** caracterização e perspectivas. 2000. 171p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

OLIVEIRA, J. T.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Ed.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro III**. Jerônimo Monteiro, ES: Suprema, 2008.

OLIVEIRA, J. T.; FREITAS, A. R. **Painéis à base de madeira**. Boletim técnico BT/PCC/149 São Paulo: Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1995. 44 p. EPUSP.

OSB BOARD. **Shouguand Ghihe Economic and Trade Co., Ltd**. Disponível em:< http://www.supply-plywood.com/products_info/OSB-Board-103376.html>. Acesso em: 27 jun. 2012.

PEDROSA, A. L.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. Produção de vigas estruturais em perfil I compainéis demadeira reconstituída de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 3, 2005. Disponível em:<<http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=produ%C3%A7%C3%A3o%20devigas%20estruturais%20emperfil%20i%20compain%C3%A9is%20demadeira%20reconstitu%C3%ADda&source=web&cd=1&ved=0CFQQFjAA&url=http%3A%2F%2Ffojs.c3sl.ufpr.br%2Ffojs%2Findex.php%2Ffloresta%2Farticle%2Fdownload%2F5189%2F>>

3903&ei=2ojKT7rbBlm88ATu693zDg&usg=AFQjCNECvNNzrPA_FFp2s3RCJFIHQ9skGA>. Acesso em: 25 abr. 2012.

RAZERA, D. **Estudo sobre as interações entre as variáveis do Processo de produção de painéis aglomerados e Produtos moldados de madeira**. 2006. 157 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais - Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ROSALINDO, N. et al. Biocompatibilidade da resina poliuretana vegetal e germes dentários in vitro. **Revista Odontológica da UNESP**, São Paulo, 1997, v. 26, p. 265-274.

SKEIST, I. **Handbook of adhesives**. New York: Pub Reinhold, 1962. 683 p.

SUBRAMANIAN, R. V.. Chemical of adhesion. In: ROWELL, Roger (Comp.). **The Chemistry of Solid Wood**. 207. ed. Washington, DC, US: American Chemical Society, 1984. Cap. 9, p. 323-348.

TANKUT, N. D.; SMITH, L. A.; SMITH, W. A. Physical and mechanical properties of laminated strand lumber treated with fire retardant. **Forest Products Journal**, Madison, 2004, v. 54, n. 6, p. 63-70.

VALLE, A. Utilização de madeiras de reflorestamento na construção civil. **Revista da Madeira**, ABMP – Associação Brasileira de Produtores de Madeira, Curitiba, Ano 8, 1999, n.43, p.20-22.

WATAI, L. T. Painéis derivados da madeira. São Paulo. **ABPM (Associação Brasileira de Painéis de Madeira)**. n.52, 1987, 16 p.

YOUNGQUIST, J. A. Wood-based composites: The panel and building components of the future. In: IUFRO, 5, 1988, Honey Harbour. **Proceedings...** . Honey Harbour, Canada: Forest Products Subject Group 5.03: Wood Protection, 1988. p. 5 - 22.

ZHANG, Chao. In-plane permeability of oriented strand lumber, Part I: the effects of mat density and flow direction. **Wood And Fiber Science**, Vancouver, Canadá, v. 42, n. 1, p.99-106, 1 jan. 2010. Mensal. Department of Wood Science University of British Columbia.

Força (N)