

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

**Fabricação e qualificação de placas compostas de serragem e plástico
reciclável**

Rogério Quinhones

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Recursos Florestais. Área de concentração:
Tecnologia de Produtos Florestais**

**Piracicaba
2007**

Rogério Quinhones
Engenheiro Florestal

**Fabricação e qualificação de placas compostas de serragem e plástico
reciclável**

ORIENTADOR:

Prof. Dr. JOSÉ NIVALDO GARCIA

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Recursos Florestais. Área de concentração:
Tecnologia de Produtos Florestais**

Piracicaba
2007

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DI VI SÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/ USP**

Quinhones, Rogério

Fabricação e qualificação de placas compostas de serragem e plástico reciclável /
Rogério Quinhones. - - Piracicaba, 2007
47 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Ensaio de propriedades mecânicas 2. Madeira (Propriedades físicas; propriedades
mecânicas) 3. Materiais compósitos 4. Polímeros (Materiais) 5. Resíduos 6. Serragem
I. Título

CDD 674.13

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

DEDICATÓRIA
Dedico a minha família

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Nivaldo Garcia pela oportunidade oferecida e pelos conselhos e orientações dados ao longo do trabalho.

Ao Prof. Dr. Geraldo Bortoletto Jr. pelo apoio, e auxílio na realização dos experimentos e ensaios.

Aos técnicos Luís Eduardo e Bruno pelo desempenho de suas funções com eficiência e presteza.

A toda a equipe técnica e administrativa do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ.

Aos demais professores do Departamento de Ciências Florestais.

A minha esposa Geni pela paciência e compreensão.

Aos amigos e colegas do Programa de Pós-graduação em Recursos Florestais da ESALQ.

Ao aluno de graduação Ricardo Sixel, pelo apoio na execução dos experimentos.

"Entrai pela porta estreita; porque larga é a porta, e espaçoso o caminho que conduz à perdição, e muitos são os que entram por ela; e porque estreita é a porta, e apertado o caminho que conduz à vida, e poucos são os que a encontram"

Mateus 7: 13,14

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3 MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 Matéria-prima	18
3.2 Etapas do processo de produção das placas	20
3.3 Propriedades físico-mecânicas das placas	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5 CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS	45

RESUMO

Fabricação e qualificação de placas compostas de serragem e plástico reciclável

A utilização de polímeros ligno-celulósicos combinados com polímeros artificiais na forma de materiais compostos é fruto do desenvolvimento de uma linha de pesquisa que tinha como objetivo inicial a utilização dos primeiros como enchimento de uma matriz termofixa ou termoplástica aglutinante. Com o advento da necessidade do reaproveitamento de resíduos de processos industriais, as pesquisas e a utilização de resíduos fibrosos e partículas de madeira cresceram em importância e passaram a contribuir ainda mais decisivamente no desenvolvimento de novas técnicas, processos, equipamentos e insumos que possibilitam ampla gama de aplicações dos produtos obtidos. O presente trabalho objetivou a fabricação de placas compostas de serragem de duas espécies amplamente utilizadas em serrarias combinada com polietileno de baixa densidade reciclável (PEBD). Serragem e farinha de madeira de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis*, provenientes de lenho e de casca, foram separadas, beneficiadas e misturadas com partículas de PEBD também classificadas por tamanho, na proporção de 40% de madeira e 60% de plástico. A mistura foi prensada a 150 ° C por 30 minutos à pressão de 3 MPa. Foram fabricadas 44 placas de 6 mm de espessura nominal e 40 x 50 cm de lados, em 4 repetições de 11 tratamentos. Foram produzidos corpos-de-prova de todas as placas para os ensaios físico-mecânicos segundo a norma ASTM D-1037, determinando-se a massa específica, o teor de umidade, a variação da massa e da espessura ocorridas em 2 e 24 horas de imersão em água, o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura na flexão estática, a resistência à compressão e a força máxima de arrancamento de prego e de parafuso de fenda. O lenho de *Pinus* de granulometria fina combinado com PEBD fino apresentou as melhores propriedades físico-mecânicas. Os tratamentos com lenho de *Eucalyptus* obtiveram o melhor desempenho geral e naqueles em que se utilizou a casca de *Pinus* os resultados não foram satisfatórios. Dentre os tratamentos que utilizaram cascas, a de *Eucalyptus* de granulometria grossa foi superior. O lenho de *Pinus*, principalmente em granulometrias mais finas e homogêneas revelaram-se promissores na utilização externa e as placas obtidas de casca de *Pinus* revelaram um grande potencial de utilização em usos internos não estruturais, como material alternativo.

Palavras-chave: Composto madeira-plástico, resíduos de madeira, propriedades físico-mecânicas, serragem, plástico reciclável; polietileno, PEBD

ABSTRACT

Manufacture and qualification of sawdust and recyclable plastic based panel

Using ligno-celullose polymers combined with artificial polymers in form of composite material is result of a developing research line which had as initial objective the use of the firsts as just filling material in an agglutinant thermoplastic matrix. Due to the necessity of reusing industrial processing residues, the research and utilization of fiber and woody particles had grown in importance and started to contribute on the development of new techniques, processes, equipment and materials that make possible creating a huge variety of products and applications. The present work had the objective of manufacturing composite boards using sawdust from two different species widely used in sawmill combined with recyclable low density polyethylene. *Pinus elliotii* and *Eucalyptus grandis* sawdust and wood flour, produced from lumber and bark had been separated, treated and mixed with PEBD particles also classified by size, in the proportion of 40% wood and 60% plastic. The mixture was pressed at 150 °C during 30 minutes under 3 MPa pressure. It were manufactured 44 boards 6 mm nominal thickness and 40 x 50 cm sides in 4 replications of 11 treatments. Samples were obtained from all boards for physic-mechanical tests according to ASTM D – 1037 standard, determining specific gravity, moisture content, mass and thickness variation occurred in 2 and 24 hours in water, modulus of elasticity and modulus of rupture in the static bending, compression strength and the withdrawal load of nail and screw. The *Pinus* wood of thin granulosity combined with thin LDPE had presented better physic-mechanical properties. The treatments in which was used *Eucalyptus* wood had shown better general performance and those in which was utilized *Pinus* bark had not presented satisfactory performance. Amongst the treatments in which bark was used, the *Eucalyptus* of thick granulosity had showed better performance. Boards made of *Pinus* wood specially in thinner and homogeneous granulosities seems to be excellent for exterior application and those in which was used *Pinus* bark had shown great potential as an alternative material for non structural purposes for interior applications.

Key words: Wood-plastic composite; Woody residues; Physic-mechanical properties; Sawdust; Recyclable plastic; Polyethylene; LDPE

1 INTRODUÇÃO

A importância das fibras vegetais para uso construtivo sempre acompanhou a espécie humana. Nas primeiras habitações construídas foram utilizados materiais de origem vegetal (JOHNSON, 1996), mas devido às características intrínsecas desses materiais, sempre houve uma preocupação permanente: a necessidade de uma constante manutenção do material empregado devido à rápida deterioração por parte dos agentes naturais físicos ou biológicos.

Vários trabalhos foram realizados para se testar diferentes materiais com a finalidade de se aumentar a durabilidade das peças empregadas externamente, sujeitas ao efeito da água, do vento, dos raios solares e de organismos decompositores (WEDDING, 1956). Além disso, novas espécies de alta resistência às intempéries foram sendo descobertas e exploradas intensamente dependendo da cultura local (SOUZA, 1998). A madeira, fibras de palmeiras ou cipós, entre outras, eram utilizadas intensivamente em coberturas, pisos e paredes de construções, bem como na construção de outros equipamentos (SAVASTANO JUNIOR e DEVITO, 2000).

Com o surgimento dos produtos engenheirados provocado pelo desenvolvimento da indústria madeireira, surgiram inúmeras possibilidades de utilização de produtos para construção obtidos de madeira. Isso ocorreu principalmente nos países de temperatura mais amena, onde o uso de construções em madeira possui maior tradição (KLUBER, 1980).

Apesar do sucesso em se aplicar materiais celulósicos em processos termoplásticos ter sido comprovado em trabalhos científicos, existe no Brasil falta de informações técnicas sobre materiais e processos, quanto ao fornecimento de matéria-prima certificada, equipamentos adequados e questões mercadológicas; ocasionando um desinteresse por parte dos fabricantes de termoplásticos em empregar a nova tecnologia (CORREA et al, 2003).

O presente trabalho consistiu em se produzir material construtivo que resista razoavelmente bem à aplicação como telha; para isso foram feitos painéis engenheirados através de moldagem por compressão, a partir de resíduos de madeira e plástico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Existem no Brasil inúmeros trabalhos relativos à aplicação de madeira em estruturas de coberturas (IPT, 1988; Barros Júnior, 1992; Pinheiro e Lahr, 1998), mas quanto ao uso da madeira propriamente dita como cobertura existe uma grande lacuna.

Quanto ao uso de madeira engenheirada, existem estudos com o fibrocimento vegetal, ou compósitos de madeira e cimento; em substituição ao amianto das atuais telhas de cimento-amianto, que atualmente possuem restrições legais devido aos problemas de insalubridade causados aos operários (Savastano Júnior, 2002).

Nakamura e Calixto (1989) realizaram um estudo de padronização de telhas de madeira utilizadas em habitações populares no estado do Acre. Nesse estudo também foi avaliado o desempenho da cobertura quanto ao conforto térmico, peso, durabilidade e custo, comparando-se com telhas de fibrocimento e barro. A telha de madeira se mostrou mais leve, mais barata e ofereceu um maior conforto térmico.

Sobre a durabilidade natural, Cuevas D. (1988) elaborou algumas recomendações gerais para o uso de madeiras em construções, bem como das suas restrições. No entanto, Lopes (1993) considerou diversos materiais construtivos, inclusive a madeira, na cidade de Belém.

O telhado é o elemento mais complexo na construção de uma casa, por exigir mão-de-obra experiente, segurança e durabilidade.

Entre as características desejáveis de uma boa telha, de maneira geral estão: poder ser industrializado, ou seja, as telhas podem fazer parte de um processo produtivo em série; poder ser padronizado, isso significa que haverá uma garantia de qualidade do material produzido; poder ser comercializado (atender as necessidades do consumidor), ou seja, ter valor como produto e ser viável comercialmente; ser compatível com as técnicas construtivas, e apresentar um custo aceitável em relação a outros métodos de construção (Crowley et al, 1993).

A água na madeira degrada a lignina hidrofóbica e, além disso, reduz o efeito de repelência dos extrativos. A celulose fica mais abundante na superfície, atraindo os organismos deterioradores (Kalnins e Feist, 1993).

Em se tratando de painéis, a resistência à água é definida através de normas, com termos semelhantes para diferentes graus de integridade (interior e exterior). Para compensados utilizados na construção, a norma ASTM subdivide a durabilidade em 3 níveis, sendo que o nível

3 é do tipo "exterior type". Para "hardboard", a norma é a ASTM D 1554 – Medium Density Hardboard (Kubler, 1980).

Em relação ao ataque de organismos deterioradores, a durabilidade da madeira depende principalmente de suas dimensões, pois os invasores precisam de tempo para penetrar. Em alguns casos a deficiência de oxigênio retarda a penetração. As principais degradações são devidas aos fungos e condições climáticas, seguidas por insetos e, por último, organismos marinhos. A durabilidade é definida pelos tecnólogos e construtores como a integridade física aliada à resistência (Kubler, 1980).

Nas espécies que possuem resina em quantidades significativas, a presença desta dificulta a penetração de organismos funcionando como barreira física; além de retardar a penetração da água (Kubler, 1980).

A casca é muito mais complexa estruturalmente do que a madeira, no entanto, podem ser aplicados tratamentos que conferem à chapa de casca "barkboard" propriedades semelhantes às da chapa de fibra "fiberboard"; um dos tratamentos é a polimerização, que oferece boa resistência mecânica e durabilidade à água. Essa característica é obtida aquecendo-se a chapa entre 250 e 300 °C por aproximadamente 5 min apresentando pequena degradação. Obtém-se um material 4 a 5 vezes mais resistente que a chapa de partículas (13 Kgf/cm²), com módulo de ruptura em 120 Kgf/cm². Quanto à durabilidade, a chapa de casca polimerizada é similar à da chapa de casca tratada, com 4 a 5% de resina fenólica ou 5 a 7% de uréia (Chow et al, 1976). Abaixo de 180°C, a transformação é mais física do que química, e acima de 180°C ocorre a desidratação, despolimerização e formação de levoglucosana na casca. Pode-se tratá-la também aplicando ozônio com a chapa úmida, ou ainda oxidada. Entretanto, esses dois tratamentos provocam perda de resistência e estabilidade dimensional. Como alternativa pode-se utilizar a "plastificação" ("plasticizing") ou aplicação de amônia anidra (NH₃).

A casca possui comprovadamente maior teor de extrativos do que a madeira, além de fração holocelulose superior. Uma outra característica que a difere da madeira comercial é o teor de celulose e hemicelulose muito menor (Chow et al, 1976). Essas composições já indicam a maior resistência ao ataque de organismos de maneira geral e a durabilidade de algumas espécies em relação ao intemperismo. Uma outra característica da casca é a grande fração de polímeros fenólicos (flavonóides e lignina). A semelhança entre os flavonóides e os fenóis possibilita a utilização da casca em adesivos do tipo fenol-formaldeído no caso dos compensados.

Wiedman (2002) pesquisou o uso de fibra de coco misturada a resinas de origem vegetal para uso em construções. Essa mistura se revelou excelente na substituição de materiais como aglomerados e compensados de madeira. Kluber (1980) destaca que o uso de compensados como material construtivo depende essencialmente da escolha do adesivo mais adequado para a construção do painel.

A substituição da madeira convencional por compósitos termoplásticos, utilizando resíduos de fibras celulósicas ou farinha de madeira (WWF - Wood Waste Flour) como carga e reforço, se revelaram, nos Estados Unidos e Comunidade Econômica Européia ser uma alternativa viável ao reaproveitamento desses resíduos. Entre as vantagens, estão: a resistência à umidade e deterioração ambiental (maior durabilidade), resistência fungos e insetos, possibilidade de obtenção de inúmeros perfis, melhor estabilidade dimensional e boa resistência ao empenamento e trincas se comparado à madeira maciça; menor custo de manutenção, bom aspecto estético, dispensando tratamento superficial, além da possibilidade do reaproveitamento. O uso de resíduos de madeira no Brasil pode ser relacionado a inúmeras aplicações (ZANIN et al, 2002). Nos EUA e CEE, restrições quanto à queima de resíduos lignocelulósicos e a escassez de madeira também influenciaram no desenvolvimento de pesquisas sobre o uso em painéis.

Entre as aplicações dos "Wood-plastic Composites - WPC" ou Compósitos madeira-plástico, pode-se citar o uso em perfis para a construção civil, e em componentes automobilísticos; entre as características dos WPC, pode-se citar sua leveza, versatilidade e baixo custo quando comparados com a madeira ou outros compósitos poliméricos reforçados com cargas minerais.

Houve um crescimento vertiginoso de mercado de WPC na última década de 90 no segmento de construção civil; e a aplicação desses compósitos em peças para uso em residências cresceu 15% ao ano nesse período, o que foi verificado pelo aumento na demanda de matérias-primas e patentes depositadas na América do Norte (ZANIN et al, 2002).

Os painéis compósitos foram produzidos para imitar e substituir a madeira sólida em diferentes aplicações; o formato da madeira podia ser em fibras, partículas, cavacos ou serragem que eram agregados com resinas termicamente moldadas (termoestáveis ou termofixas). Recentemente, a nova classe de materiais composta por madeira e resinas termoplásticas está apresentando um elevado crescimento comercial. Na década de 90, a produção desses materiais aumentou em 300% e, atualmente um crescimento anual médio de 60% atualmente. Na produção

de painéis para "deck", foram iniciadas dez novas linhas de produção no ano 2000, sendo que a cada ano desde 1996 a produção vinha dobrando. O item que mais contribui para o custo são as resinas (plásticos ou matriz).

Compósitos de madeira sempre dominaram o mercado de produtos construtivos estruturais e não-estruturais; com os avanços na produção florestal a tecnologia deve avançar em amplitude e profundidade.

A introdução comercial dos WPC foi direcionada para aplicações duráveis tradicionalmente onde eram empregadas tecnologias sintéticas; os compósitos usam combinações de materiais para controlar as propriedades e o processamento de ambos os produtos. A extrusão e a moldagem por injeção maximizam o desempenho e minimizam o consumo de material. Em aplicações na construção civil, essa tecnologia foi utilizada primeiramente em portas, janelas e embarcações, onde a durabilidade ou resistência à umidade são requisitos principais. Muitas das peças são obtidas em complexos moldes estruturais para facilitar o desempenho mecânico, minimizando o consumo de material. Para a viabilidade econômica desses moldes é necessária a estabilidade térmica na fabricação e quantidades de madeira superiores a 50 por cento (WOLCOTT & ENGLUND, 1999).

Na construção civil, as principais aplicações dos WPC são em perfis para pisos e assoalhos, batentes de janelas e portas e revestimentos, feitos a partir de resíduo de madeira extrusado com Polietileno (PE), Polipropileno (PP) e Cloreto de Polivinil (PVC).

O termo WPC significa qualquer compósito que contenha madeira, em qualquer formato, como componente ligno-celulósico (polímero natural), e polímero artificial termoplástico ou termofixo. Os termofixos podem ser as resinas epóxi, fenólicas e os termoplásticos usualmente usados são do grupo das poliolefinas. O WPC pode ser termoformado usando moldagem por pressão de produtos laminares, extrusão ou moldagem por injeção. A capacidade de termoformação facilita a capacidade de reciclagem do produto. Um composto termofixo comercial feito a partir do fenol-formaldeído e farinha de madeira é o produto conhecido como Bakelite. Uma das primeiras companhias norte-americanas a produzir WPC a partir de termoplásticos foi uma empresa fabricante de janelas, que possuía experiência tanto com madeira quanto com plásticos. A indústria do plástico tem usado tradicionalmente talco, carbonato de cálcio, mica e fibra de vidro ou carbono para modificar o desempenho do material. Cerca de 2,5 bilhões de kg desses enchimentos são usados anualmente nos EUA (CLEMONS, 2002).

Para a seleção do método apropriado de se produzir compósitos ou peças híbridas, os elementos chave são: a seleção da matéria-prima, a(s) tecnologia(s) de processamento, o design e o mercado (oferta e procura).

A distribuição da madeira por todo o termoplástico fundido é a etapa mais importante do processo, que influencia a qualidade do produto final; a temperatura de processamento, tipo de enchimento "filler" e porcentagem, tempo de mistura, e velocidade de rotação, são parâmetros importantes que definem o resultado final. A farinha de madeira (WWF) é mais fácil de ser dispersa em uma matriz polimérica, mas fibras e partículas maiores requerem tempo de residência maior e uma maior intensidade de mistura; extrusoras de rosca-dupla permitem a mistura simultânea, com extrusão seguida de moldagem por injeção normalmente usadas em conjunto para misturas secas. Misturadores de corte intensivos podem auxiliar no pré-processamento tanto na extrusão quanto na injeção.

Os recentes avanços em WPC extrusados abriram na América do Norte oportunidades para que pequenas empresas participassem em investimentos nessa atividade, agregando valor à madeira. No período de 1996 a 2000, mais de 75% das novas iniciativas na área foram de serrarias de tamanho médio conduzidas por famílias e limitadas por materiais residuais. O produto surgiu como uma tecnologia viável, possibilitando diferentes escalas de investimento e atingindo mercados de alto valor. Os resíduos para esses produtos são derivados de serragem e maravalhas, e a progressividade dessa tecnologia permite uma boa aplicabilidade para a indústria de produtos florestais (CLEMONS, 2002).

Para a fabricação dos perfis deve haver um controle rígido da umidade, que deve ser o mais baixa possível, e da granulometria durante o processamento para evitarem-se os defeitos tipo bolhas ou manchas superficiais causadas por processos termo-oxidativos (STARK & SCHENEIDER, 1996; MASSON, 1998).

Portanto, o principal requisito no processamento do resíduo de madeira é a pré-secagem, e durante o processo devem ocorrer à remoção da umidade residual em zonas de degasagem. A temperatura de degradação da celulose, situada entre 200 e 220 °C é um fator limitante do processo, exceto quando o tempo de residência é reduzido; acima dessa temperatura ocorre à liberação de compostos voláteis, descoloração, aparecimento de odor e fragilização do compósito, o que restringe a aplicação de poliolefinas, plásticos estirênicos e PVC. O desempenho é fortemente dependente do processo de manufatura. Para a preparação do

concentrado ou "masterbatches", usa-se um misturador intensivo do tipo K-mixer para a produção em bateladas, ou então uma extrusora que pode ser de dupla-rosca, por exemplo, para a produção contínua; em ambos os casos, o WPC obtido pode ser granulado e processado em uma extrusora de rosca única para a obtenção de perfis e chapas.

O processo de fabricação pode ser de quatro tipos:

Madeira pré-seca, mistura pré-homogeneizada - "pre-dry; pre-mix": Pré-secagem da fibra de madeira a menos de 1%; alimentação em extrusora de rosca dupla contra rotacional, juntamente com o polímero em pó; mistura polímero-madeira-aditivos preparada em misturadores intensivos do tipo Henschel (K-mixer).

Madeira pré-seca, alimentação do polímero independente da madeira - "pre-dry; split feed": Pré-secagem e alimentação lateral da fibra com o polímero fundido em extrusoras de rosca-dupla de grande capacidade; melhor controle do tempo de residência da carga celulósica em zonas de mistura distributiva e boa degaseificação da umidade residual.

Madeira não-seca, polímero fundido - "wood first; melt feed": Inserção da madeira úmida com alimentação do polímero fundido; utilização de duas extrusoras simultaneamente, uma primária para a secagem da farinha e uma secundária para a plastificação dos polímeros e aditivos.

Madeira não-seca, polímero em separado – "wood first; split feed": Inserção da farinha de madeira ainda úmida na zona de alimentação, com o polímero sendo introduzido posteriormente em separado no equipamento.

O aumento da temperatura diminui a viscosidade do polímero, facilitando a combinação dos polímeros, mas a decomposição térmica de lignocelulósicos pode tornar-se significativa na faixa de processamento do polipropileno (180~200 °C), porém a efetividade da ligação pode ser obtida em temperaturas intermediárias.

A dispersão do enchimento na matriz termoplástica pode depender da duração e velocidade de mistura (tempo de residência); entretanto, o tempo ótimo e a taxa de rotação do fuso na mistura são controlados pelo tipo de polímero, propriedades do enchimento, e equipamento misturador. As propriedades da mistura tais como viscosidade, elasticidade quando fundido e comprimento das fibras são todos influenciados pelos processos de mistura utilizados.

Compósitos termoplásticos de madeira comerciais já estão sendo produzidos com 60 a 70% de madeira e a extrusão de materiais não-duráveis é possível com mais de 80% de madeira. A maneira mais comum de se fabricar peças de compósitos termoplásticos é a moldagem por injeção ou "injection molding (IM)".

Entre os plásticos utilizados em produtos comerciais nos Estados Unidos da América, o polietileno de alta densidade, o polietileno de baixa densidade, o cloreto de polivinil e o polipropileno se destacam, tanto na forma virgem como na forma reciclada e também em ambas as formas combinadas (WINANDY et al, 2004).

Em relação às propriedades mecânicas, a rigidez dos compósitos feitos utilizando-se a farinha de madeira é inferior à da madeira serrada; no entanto, comparando-se compósitos feitos com a madeira nessa forma, com compósitos não modificados, obtém-se uma melhor rigidez com maior temperatura de uso e baixo peso específico (CORREA et al, 2003).

Yamaji e Bonduelle (2004), utilizando resíduos sem tratamento prévio, não conseguiram produzir formulações superiores a 20% em massa de madeira. Notaram também a liberação de gases e de um odor característico.

Para compósitos que utilizam resina termofixa, a moldagem por compressão é provavelmente o melhor método devido ao fato da mistura possuir fluidez muito baixa mesmo em temperaturas elevadas (HSU, 1988).

O uso de farinha ou fibra de madeira como carga em termoplásticos é conhecido desde a década de 70 pela indústria automobilística, que utiliza a farinha com o polipropileno para fabricar um produto conhecido comercialmente como "Woodstock". Na década de 90, trabalhos acadêmicos relatando o uso de resíduos de papel e madeira em termoplásticos gerou inúmeras patentes por parte de empresas dos setores de construção civil e de automóveis (ECKERT, 2000), (STARK; SCHENEIDER, 1996), (FROLLINI; LEÃO; MATTOSO, 2000).

Segundo Clemons (2002), na América do Norte 50% dos compósitos plástico-madeira disponíveis consistiam de decks, 22% eram portas e janelas, 14% consistiam em equipamentos automotivos, 3% pallets, 3% telhas e 8% outros.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia consistiu basicamente na obtenção e beneficiamento das matérias-primas, fabricação das placas, e avaliação tecnológica do produto obtido.

3.1 Matéria-prima

A matéria-prima, tanto ligno-celulósica quanto termoplástica, foi proveniente de resíduos do processamento mecânico da madeira e de plásticos usados e coletados para reciclagem.

3.1.1 Serragem de *Eucalyptus grandis*

A serragem de *Eucalyptus grandis* da casca e do lenho foi obtida separadamente para cada caso, peneirada, classificada e armazenada para posterior fabricação das placas.

3.1.1.1 Do lenho

O material lenhoso de eucalipto utilizado foi obtido na serraria da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo – ESALQ/USP; foram tomadas 6 pranchas de 5 x 20 x 250 cm, da espécie *Eucalyptus grandis* de 10 anos de idade que estavam disponíveis para o aproveitamento.

As pranchas foram serradas através de cortes longitudinais sucessivos, na espessura e na largura, em uma serra circular simples, até serem praticamente convertidas em serragem. A máquina foi previamente limpa com ar comprimido, para evitar a mistura do material com outros tipos de resíduos. O resíduo foi então coletado, sendo acondicionado em saco plástico e armazenado no Laboratório Máquinas e Engenharia da Madeira – LEM. Na etapa seguinte a serragem foi peneirada em peneira comum, com 2 furos por cm^2 para a retirada do material mais grosseiro. O material obtido do peneiramento, descartando-se aquele que ficou retido na peneira, foi devidamente identificado como serragem de lenho de eucalipto. Uma outra parte do material foi peneirada em peneira com 16 furos por cm^2 e identificado como serragem fina.

3.1.1.2 Da casca

A casca de eucalipto utilizada foi também de *Eucalyptus grandis*, retirada de toras oriundas de árvores de 32 anos de idade.

As cascas de eucalipto também foram processadas em serra circular, sendo que o corte foi feito perpendicularmente à direção das fibras e a serragem obtida foi acondicionada em saco plástico e armazenada no LEM, de forma protegida da umidade. O material foi então peneirado em peneira fina (16 furos/ cm^2) e peneira grossa (2 furos/ cm^2), dando origem a dois tipos distintos

de material: o primeiro foi denominado de resíduo fino de casca, e o outro foi identificado como serragem de casca. O resíduo mais grosseiro retido na peneira foi descartado.

3.1.2 Serragem de *Pinus elliottii*

A serragem de *Pinus elliottii*, foi preparada de maneira similar à do eucalipto, com algumas diferenças apresentadas a seguir.

3.1.2.1 Do lenho

A madeira de pinus empregada estava disponível na serraria da ESALQ, estocada para experimento de construção de vigas de madeira laminada pregada. Foram tomadas 10 tábuas de aproximadamente 2 x 10 x 250 cm, que continham porções de casca e por isso eram consideradas peças de descarte.

A obtenção da serragem de *Pinus elliottii*, foi feita de forma similar àquela do eucalipto, tendo-se entretanto o cuidado de retirar toda a casca presente nas tábuas. A serragem obtida, acondicionada em saco plástico e armazenada para depois ser peneirada em peneira fina e em peneira grossa para obterem-se os dois tipos de serragem, grossa e fina.

3.1.2.2 Da casca

A casca de pinus utilizada foi retirada de 100 tábuas do tipo costaneiras, de um lote de *Pinus elliottii*.

As cascas foram retiradas das tábuas com o auxílio de uma espátula, trituradas em um triturador de resíduos orgânicos e moídas em moinho de facas. O material obtido foi peneirado e armazenado como serragem de casca e resíduo fino de casca.

3.1.3 Resíduo plástico

O resíduo plástico foi o polietileno de baixa densidade (PEBD), na forma de aglutinado adquirido de uma empresa especializada na reciclagem de plástico, mediante a troca de aparas recicláveis de PEBD, polipropileno – PP, poliestireno – PS, garrafas plásticas obtidas do projeto USP - Recicla.

O PEBD aglutinado foi ensacado logo após a picagem/moagem na empresa e homogeneizado. Em seguida o material foi peneirado com a peneira de 2 furos/cm²; sendo que a porção mais grosseira que ficou retida foi armazenada. A porção que passou através da peneira foi identificada como aglutinado + pó de plástico, e em seguida foi armazenada. Uma parcela desse material foi passada na peneira mais fina, de 16 furos/cm², tendo como produto as partículas mais finas, que foram identificadas como farinha de plástico.

3.2 Etapas do processo de produção das placas

A produção das placas basicamente consistiu da secagem da serragem, pesagem da serragem e do PEBD, mistura e homogeneização, pré-acomodação no molde e prensagem a quente.

Para a preparação do colchão, a serragem foi seca em estufa à temperatura de 70°C. Foram utilizadas 4 bandejas de alumínio, uma para cada repetição, onde foram depositados cerca de 600g do resíduo previamente peneirado. Após 1 dia em estufa, pesou-se 480 g de cada bandeja misturando-se em seguida com 720 g do PEBD. Ambos os materiais foram depositados no interior de um saco plástico sendo que a temperatura medida na mistura foi de cerca de 30 °C. O conteúdo foi então homogeneizado manualmente. Imediatamente após a homogeneização, essa mistura foi depositada sobre uma lâmina de aço com 1 mm de espessura e sobre uma camada de papel filme de celofane no interior de um gabarito de madeira com as dimensões de 40 x 50 cm, mostrado na figura 1. A transferência do material do saco para o molde foi feita bem lentamente para se evitar que o material mais fino se deslocasse para o fundo do colchão. Em seguida corrigiu-se a superfície, espalhando-se as partículas de modo a conferir uma espessura uniforme do mesmo.

3.2.1 Pré-prensagem

O passo seguinte foi efetuar uma pré-prensagem manual com o auxílio de um painel de compensado (ver figura 1). O gabarito foi então retirado e colocou-se cuidadosamente sobre o colchão uma camada de papel filme e outra lâmina de aço de 1 mm. Esse procedimento foi feito novamente para outra mistura, de modo a se obter 2 colchões para serem prensados, de forma otimizada, num mesmo ciclo de prensagem. Essa montagem pode ser observada na Figura 2.

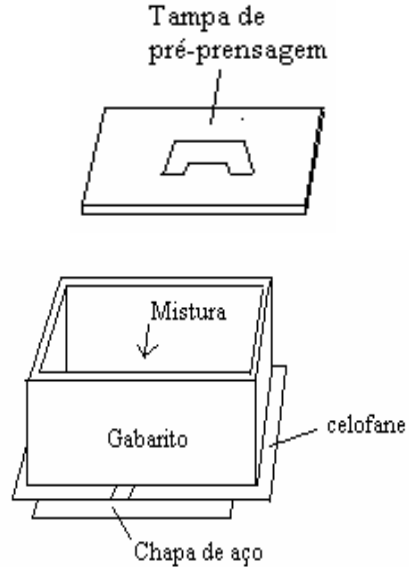


Figura 1 – Molde de madeira idealizado para pré-prensagem da mistura de serragem e plástico

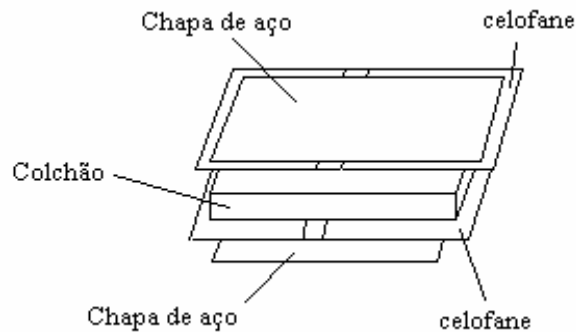


Figura 2 – Colchão preparado para prensagem

Simultaneamente, a prensa do Laboratório foi aquecida até à temperatura de 150°C, sendo necessárias cerca de 3 horas para que seus pratos atingissem essa temperatura. Em seguida os dois colchões foram colocados lado a lado, mantendo-se entre eles um espaçamento de aproximadamente 5 cm.

Para se evitar o empenamento dos pratos da prensa, foram colocados calços feitos com lâminas de madeira sendo, 1 calço de 1 x 5 x 126 cm em cada lado dos pratos da prensa que

possui as dimensões de 96 x 126 cm. A colocação dos calços foi feita também para se garantir a espessura desejada da placa.

3.2.2 Prensagem

Os colchões foram prensados e mantidos à temperatura de 150 °C, por 30 minutos a 3 MPa.

O tempo de prensagem foi definido após testes preliminares com colchões de lenho e casca de eucalipto de granulometria fina, média, e grossa; misturados com PEBD picado (saco de fertilizante), na proporção de 60% de plástico para 40% de madeira e diferentes massas de mistura. A temperatura foi definida em função da temperatura de fusão do polietileno e após testes preliminares de prensagem.

3.2.4 Produto final

Foram obtidas 44 chapas distribuídas em 11 tratamentos, sendo 4 repetições em cada um. exemplo de placa obtida é mostrado na figura 3.

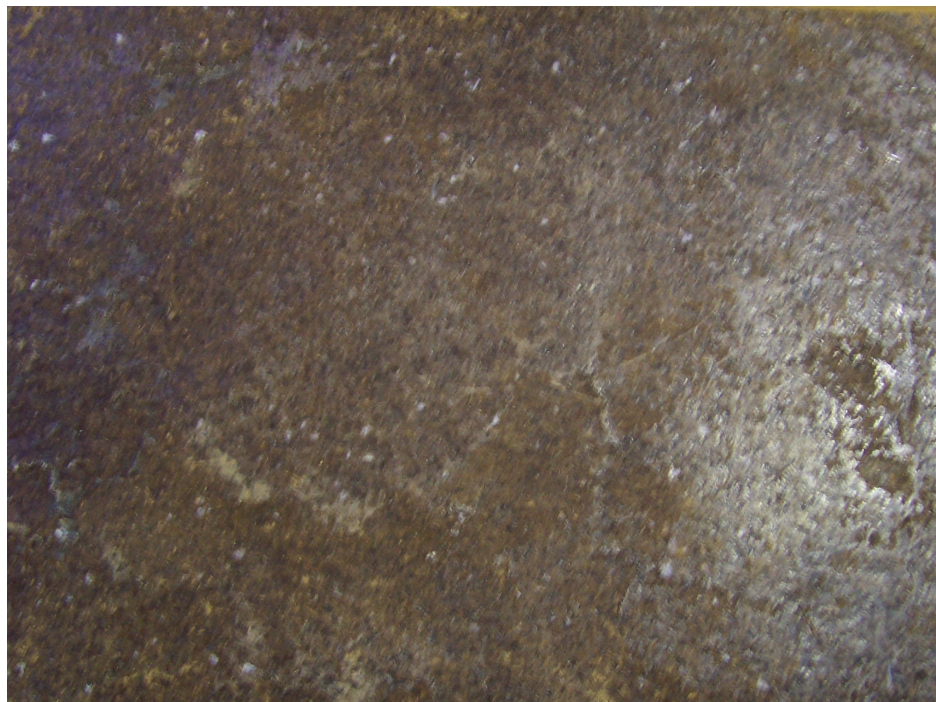


Figura 3 - Placa composta e serragem de casca de *E. grandis* e plástico reciclável

Os 11 tratamentos adotados para o presente estudo foram definidos em função da disponibilidade de matéria prima e estão detalhados no quadro 1:

Tratamento	Sigla	Origem da partícula de madeira (granulometria)	Resíduo plástico (granulometria)
1	LPPF	Lenho pinus (fina)	PEBD (fina)
2	LPFG	Lenho pinus (fina)	PEBD (grossa)
3	LPGG	Lenho pinus (grossa)	PEBD (grossa)
4	CPFF	Casca pinus (fina)	PEBD (fina)
5	CPGF	Casca pinus (grossa)	PEBD (fina)
6	CPGG	Casca pinus (grossa)	PEBD (grossa)
7	LEFG	Lenho eucalipto (fina)	PEBD (grossa)
8	LEGG	Lenho eucalipto (grossa)	PEBD (grossa)
9	LEGM	Lenho eucalipto (grossa)	PEBD (fina+grossa)
10	CEFF	Casca eucalipto (fina)	PEBD (fina)
11	CEGG	Casca eucalipto (grossa)	PEBD (grossa)

Quadro 1 - Tratamentos utilizados para produção de chapa composta de serragem e plástico reciclável

3.3 Propriedades físico-mecânicas das placas

Para a realização dos ensaios físico-mecânicos, utilizou-se a norma ASTM D-1037. As chapas produzidas foram cortadas segundo o esquema mostrado na figura 5.

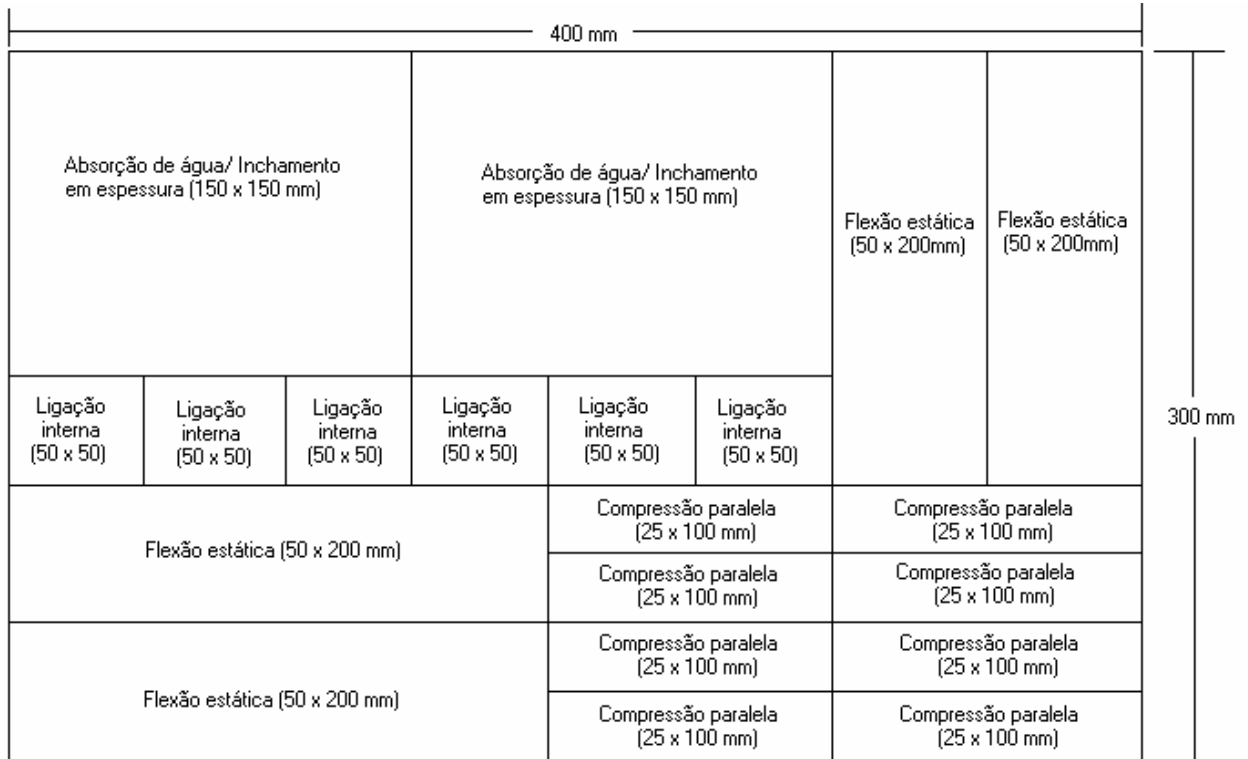


Figura 5 - Esquema de corte dos corpos de prova

3.3.1 Densidade básica da partícula

As densidades da casca de eucalipto e de pinus foram determinadas experimentalmente segundo a norma ABNT NBR 11941, utilizando-se o método do máximo teor de umidade para cavacos. As cascas de pinus e de eucalipto foram retiradas do mesmo lote de onde foram retiradas as unidades que foram transformadas em serragem utilizadas para a confecção das placas. Foram feitos cavacos dessas cascas e em seguida esses cavacos foram saturados em água sendo que no caso do pinus foi necessária a utilização de vácuo seguido de pressão em uma autoclave. Após a saturação em água os cavacos foram colocados em bandejas (de peso conhecido) e as mesmas foram pesadas e colocadas na estufa para secagem dos cavacos à temperatura de $105 \pm 2^\circ\text{C}$. Foram feitas 3 repetições para cada espécie. Após 24 horas em estufa as bandejas foram sendo pesadas

até verificar-se a estabilização da massa, que foi novamente tomada e denominada de massa seca. A densidade básica da partícula foi calculada pela equação 1.

$$Db = \frac{1}{\left(\frac{m_1}{m_2}\right) - 0,346} \quad (1)$$

Onde: Db = densidade básica, em g/cm^3 ;
 m_1 = massa úmida da amostra, em g;
 m_2 = massa seca em estufa a $105 \pm 2^\circ\text{C}$, em g.

3.3.2 Ensaio de absorção de água e inchamento em espessura

Para os ensaios de absorção de água e inchamento foram obtidos dois corpos de prova por chapa e em cada um deles marcaram-se quatro pontos sendo 1 na metade de cada lado e a 1 polegada de distância da respectiva aresta da peça, medida perpendicularmente a essa aresta.

Os corpos-de-prova foram imersos em água e após 2 horas de imersão foram tomadas novas medidas de espessura nos mesmos pontos das medidas anteriores e feita uma nova pesagem. As amostras foram novamente imersas por mais 22 horas e ao final desse período de imersão que representa o tempo total de 24 horas repetiram-se as medições de espessuras e pesos.

3.3.3 Umidade de equilíbrio ao ambiente

Para a determinação da umidade, os corpos de prova utilizados no ensaio de absorção de água e inchamento em espessura foram secos em estufa para obtenção das massas secas e a umidade de cada amostra foi determinada de acordo com a norma ASTM D 1037.

3.3.4 Massa específica

A massa específica foi obtida pela razão entre a massa seca e o volume calculado de cada corpo de prova, através da multiplicação dos dois lados pela espessura média dos 4 valores obtidos no ensaio de inchamento.

3.3.5 Módulo de ruptura e módulo de elasticidade na flexão estática

No ensaio de flexão estática os corpos de prova foram cortados com 50×200 mm, sendo 4 corpos de prova por chapa. As peças foram identificadas e ensaiadas em máquina universal de ensaios adotando-se o vão de 144 mm que foi calculado em função da espessura nominal. A

velocidade de aplicação da carga foi determinada de acordo com a espessura real da peça de tal forma a produzir um deslocamento de 2,35 mm/min no ponto central da placa. Nesse ensaio foram determinados o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR).

3.3.6 Tensão no limite de resistência à compressão

No ensaio de compressão foram utilizados corpos de prova laminados colados de 25x25 mm de seção transversal e 100mm de comprimento, compostos de 5 lâminas coladas entre si, de acordo com a norma ASTM D-1037.

3.3.7 Resistência ao arrancamento de parafuso de fenda

O ensaio de arrancamento de parafuso de fenda também foi realizado de acordo com a norma ASTM D-1037. Foram utilizados corpos-de-prova de 76 x 152 mm, sendo que para cada ensaio foram unidas 4 peças (espessura nominal de 6 mm por peça) e parafuso número 10 (4,8 x 25,4 mm). Para cada tratamento foram feitas 4 repetições. Cada parafuso foi inserido em 2/3 de seu comprimento (17mm) no cruzamento dos eixos de simetria da face do corpo de prova. Antes da inserção do parafuso o corpo de prova foi furado com broca de 2,8 mm perpendicularmente à face. A velocidade de tração foi de 1,5 mm/min.

3.3.8 Resistência ao arrancamento de prego

Foram utilizados pregos 16 X 18 (diâmetro de 2,8 mm) introduzidos 12 mm em relação à face superior do corpo de prova e perpendicularmente a esta. A espessura atravessada pelo prego foi de apenas 1 chapa, ou seja, 6mm. Foram tomadas 4 repetições por tratamento e a extração do prego se deu à velocidade de 1,5 mm/min.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados e discutidos os resultados obtidos em cada um dos ensaios realizados, utilizando-se dos dados, da experiência de trabalho na pesquisa e das análises estatísticas realizadas.

No quadro 2 estão apresentados os resultados de densidade básica dos materiais ligno-celulósicos empregados.

Repetição	Casca eucalipto	Casca pinus
1	0,322	0,445
2	0,313	0,472
3	0,325	0,519
4	0,326	0,468
Média	0,322	0,476

Quadro 2 – Densidade básica (g/cm^3) de materiais ligno-celulósicos utilizados na fabricação de placa composta de serragem e plástico reciclável.

A densidade das partículas de casca de *Pinus* ficou em torno de 0,32 e das partículas de casca de *Eucalyptus* em $0,47 \text{ g/cm}^3$. A densidade do Polietileno de baixa densidade foi considerada como sendo de $0,91 \text{ g/cm}^3$.

No quadro 3 pode-se observar os dados obtidos nos ensaios de absorção de água e inchamento em espessura.

Tratamento	% Absorção 2h	% Absorção 24h	% Inchamento 2h	% Inchamento 24h	Umidade (%)	Massa específica (g/cm ³)
LPFF	1,0	2,4	1,7	2,4	0,3	0,76
	0,8	2,3	1,1	1,7	0,3	0,98
	1,7	6,1	1,2	1,8	0,3	0,85
	3,6	7,2	1,0	1,8	0,3	1,04
LPFG	6,5	15,3	6,1	7,7	1,5	1,04
	9,6	18,8	2,5	6,4	2,2	0,95
	10,5	22,4	3,6	8,3	2,9	1,12
	5,4	13,5	4,3	5,2	1,3	1,07
LPGG	6,1	11,2	2,6	3,8	1,4	1,00
	5,8	12,2	2,0	3,1	1,3	1,09
	4,9	14,2	1,8	4,8	1,9	0,97
	14,6	21,0	3,9	5,1	2,4	0,81
CPFF	5,0	10,2	4,2	6,0	1,5	0,73
	6,9	14,8	0,3	0,1	2,5	0,83
	8,3	14,5	1,2	3,8	1,3	1,00
	6,4	13,7	1,6	1,9	1,5	0,65
CPGF	3,4	8,6	2,4	3,1	2,5	0,89
	3,6	10,1	3,5	2,3	2,9	0,99
	5,6	15,5	9,6	11,9	3,1	0,95
	5,7	13,3	16,5	22,2	2,7	0,74
CPGG	8,1	21,5	5,9	10,4	4,3	0,61
	7,6	20,0	1,7	5,9	4,1	0,62
	6,5	16,5	3,8	10,6	3,0	0,91
	3,9	13,4	2,8	5,6	2,9	0,67
LEFG	3,5	8,1	3,1	4,5	1,5	1,08
	2,1	4,6	1,1	2,6	1,6	0,84
	4,3	10,8	2,6	9,6	2,0	0,92
	3,0	7,3	1,6	2,3	1,8	0,95
LEGG	3,0	6,7	3,8	5,5	1,6	0,86
	3,6	6,4	1,8	3,1	1,6	0,94
	3,5	8,3	3,2	5,9	1,5	0,77
	2,7	6,1	5,6	7,8	1,2	0,98
LEGM	1,8	4,0	4,0	4,9	1,1	0,87
	5,9	10,6	2,0	6,0	2,1	0,88
	6,1	9,8	1,6	5,6	2,0	0,80
	2,0	4,9	2,0	4,4	1,5	0,74
CEFF	4,5	15,8	1,9	11,9	1,6	1,04
	7,2	16,1	2,2	4,5	1,0	1,00
	4,4	8,5	2,3	4,2	1,5	0,94
	6,0	10,3	2,5	3,9	3,0	0,86
CEGG	10,4	14,9	2,7	4,3	3,1	0,78
	6,2	11,0	1,5	2,5	3,0	0,89
	7,5	12,7	1,9	6,1	3,1	0,92
	6,9	16,1	6,8	9,0	2,8	1,00

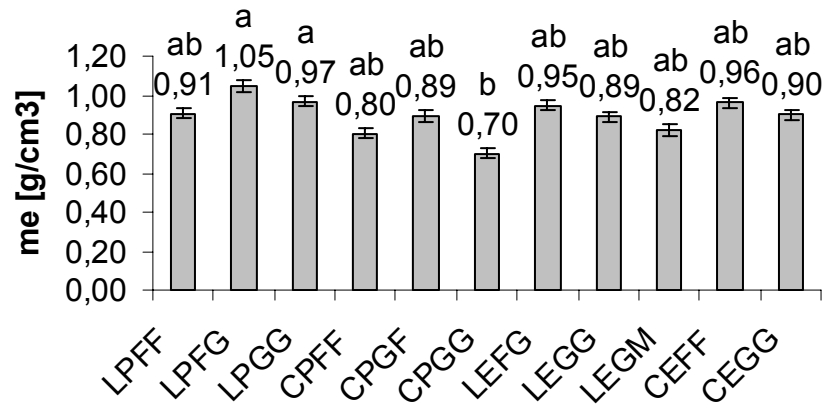
Quadro 3 - Resultados obtidos nos ensaios de absorção de água e inchamento em espessura

A tabela 1 resume a análise de variância efetuada para a massa específica das placas produzidas em 11 tratamentos distintos. Observa-se que existe pelo menos uma diferença significativa entre médias de tratamentos.

Tabela 1 - Análise de variância para a massa específica da chapa

C.V.	g.l.	S.Q.	Q.M.	F
tratamento	10	0,3	0,03	3 **
Resíduo	33	0,4	0,01	
Total	43	0,7		

Na figura 6 observam-se as médias dos tratamentos com seus respectivos erros padrão e os resultados do teste de Tukey.



LPFF: lenho de *Pinus* fino e PEBD fino, LPFG: lenho de *Pinus* fino e PEBD grosso, LPGG: lenho de *Pinus* grosso e PEBD grosso, CPFF: casca de *Pinus* fina e PEBD fino, CPGF: casca de *Pinus* grossa e PEBD fino, CPGG: casca de *Pinus* grossa e PEBD grosso, LEFG: lenho de *Eucalyptus* fino e PEBD grosso, LEGG: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD grosso, LEGM: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD misturado, CEFF: casca de *Eucalyptus* fina e PEBD fino, CEGG: casca de *Eucalyptus* grossa e PEBD grosso

Figura 6 - Massa específica (me) das placas fabricadas com serragem e plástico reciclável

A média da massa específica para os 11 tratamentos testados ficou em torno de $0,895\text{g/cm}^3$. Na análise de variância o valor F foi altamente significativo e no teste de Tukey foram observados dois grupos distintos sendo que os dois tratamentos com lenho de *Pinus* e plástico de granulometria grossa se destacaram como os mais densos (Figura 6). A casca de *Pinus* e o lenho de *Eucalyptus* não contribuíram para diminuir a massa específica na maioria dos

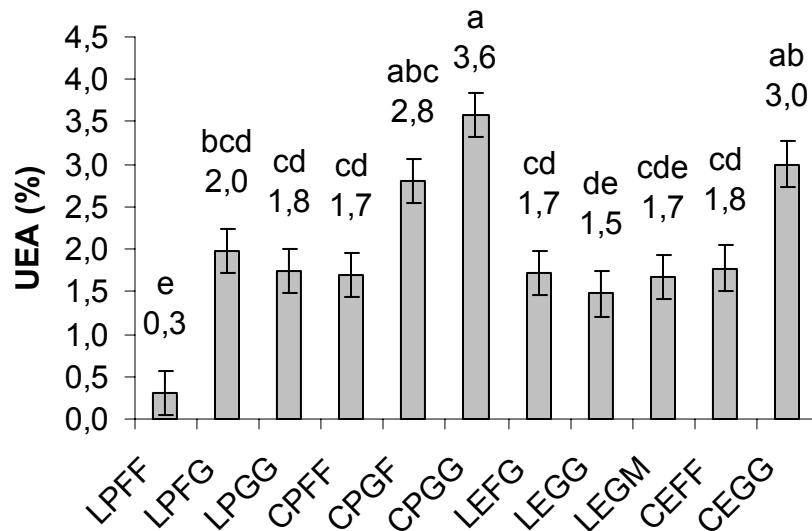
tratamentos testados. A chapa produzida com casca de *Eucalyptus* fina associada ao PEBD de granulometria fina forneceu a terceira maior massa específica. Quando o mesmo material lignocelulósico foi combinado com o plástico de granulometria grossa o resultado foi significativamente inferior.

A tabela 2 resume a análise de variância para a umidade de equilíbrio ao ambiente determinada para os 11 tratamentos estudados.

Tabela 2 - Análise de variância para a umidade de equilíbrio ambiente da chapa

C.V.	g.l.	S.Q.	Q.M.	F
tratamento	10	31	3	12,3 **
resíduo	33	8	0,2	
Total	43	39		

A figura 7 exhibe as médias, os resultados do teste de Tukey e os respectivos erros padrão da média para os 11 tratamentos.



LPFF: lenho de *Pinus* fino e PEBD fino, LPFG: lenho de *Pinus* fino e PEBD grosso, LPGG: lenho de *Pinus* grosso e PEBD grosso, CPFF: casca de *Pinus* fina e PEBD fino, CPGF: casca de *Pinus* grossa e PEBD fino, CPGG: casca de *Pinus* grossa e PEBD grosso, LEFG: lenho de *Eucalyptus* fino e PEBD grosso, LEGG: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD grosso, LEGM: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD misturado, CEFF: casca de *Eucalyptus* fina e PEBD fino, CEGG: casca de *Eucalyptus* grossa e PEBD grosso

Figura 7 - Teor de umidade de equilíbrio ao ambiente (UEA) das placas fabricadas com serragem e plástico reciclável

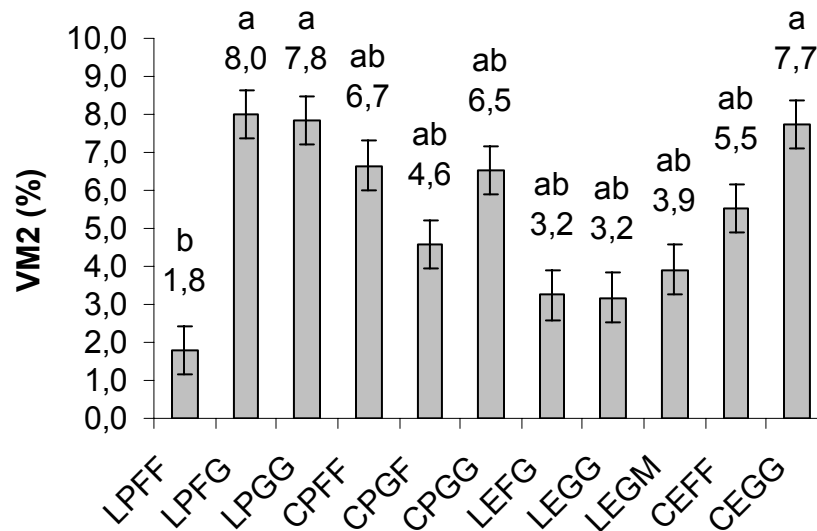
O tratamento que apresentou o melhor desempenho foi o tratamento LPFF, que apresentou apenas 0,3 % de umidade total. A maioria dos tratamentos apresentaram umidade em torno de 1,74% e os tratamentos que contêm casca de granulometria grossa, das duas espécies utilizadas apresentaram umidade em torno de 3%.

A tabela 3 resume a análise de variância para a variação da massa ocorrida após 2 horas de imersão em água, calculada para os 11 tratamentos estudados.

Tabela 3 - Análise de variância para a variação de massa depois de imersão da placa em água

C.V.	g.l.	S.Q.	Q.M.	F
tratamento	10	186	19	4,4 **
resíduo	33	140	4	
Total	43	326		

A figura 8 exibe as médias, os resultados do teste de Tukey e os respectivos erros padrão da média, para os 11 tratamentos estudados.



LPFF: lenho de *Pinus* fino e PEBD fino, LPFG: lenho de *Pinus* fino e PEBD grosso, LPGG: lenho de *Pinus* grosso e PEBD grosso, CPFF: casca de *Pinus* fina e PEBD fino, CPGF: casca de *Pinus* grossa e PEBD fino, CPGG: casca de *Pinus* grossa e PEBD grosso, LEFG: lenho de *Eucalyptus* fino e PEBD grosso, LEGG: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD grosso, LEGM: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD misturado, CEFF: casca de *Eucalyptus* fina e PEBD fino, CEGG: casca de *Eucalyptus* grossa e PEBD grosso

Figura 8 – Variação de massa (VM2) da placa ocorrida em 2 horas de imersão em água

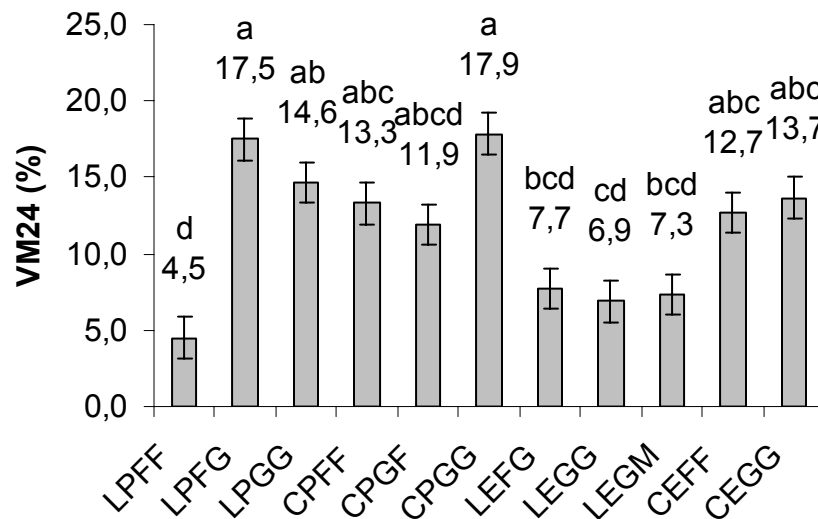
Observou-se que para os tratamentos em que se empregou o lenho de *Pinus*, que a granulometria mais fina do PEBD pode proporcionar uma menor absorção de umidade num curto espaço de tempo. Isso se deve provavelmente a uma melhor combinação entre as partículas finas dos dois materiais na conformação da placa, proporcionando um painel mais coeso sob o aspecto físico. Os 3 tratamentos que empregaram o lenho de *Eucalyptus* também absorveram menores quantidades de água se comparados às outras combinações.

A tabela 4 resume a análise de variância efetuada para a variação da massa sofrida pela placa após 24 horas de imersão em água.

Tabela 4 - Análise de variância para a variação da massa da placa após 24 horas de imersão em água

C.V.	g.l.	S.Q.	Q.M.	F
tratamento	10	791	79	7,9 **
resíduo	33	322	10	
total	43	1113		

A figura 9 exibe o gráfico contendo as médias, os resultados do teste de Tukey, e os respectivos erros padrão da média, para os 11 tratamentos estudados.



LPFF: lenho de *Pinus* fino e PEBD fino, LPFG: lenho de *Pinus* fino e PEBD grosso, LPGG: lenho de *Pinus* grosso e PEBD grosso, CPFF: casca de *Pinus* fina e PEBD fino, CPGF: casca de *Pinus* grossa e PEBD fino, CPGG: casca de *Pinus* grossa e PEBD grosso, LEFG: lenho de *Eucalyptus* fino e PEBD grosso, LEGG: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD grosso, LEGM: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD misturado, CEFF: casca de *Eucalyptus* fina e PEBD fino, CEGG: casca de *Eucalyptus* grossa e PEBD grosso

Figura 9 - Variação de massa (VM24) sofrida pela placa em 24 horas de imersão em água

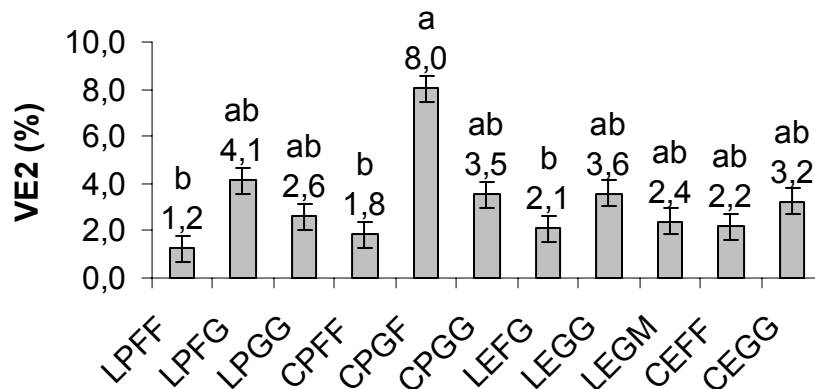
As placas fabricadas com lenho de *Eucalyptus* foram as que menos água absorveram no período de 24 horas, no entanto, o melhor tratamento foi o que empregou o LPFF. Os outros dois tratamentos com lenho de *Pinus* (LPFG e LPGG) apresentaram resultados insatisfatórios, apresentando 17,5 e 14,65 % de aumento de massa após 24 horas de imersão em água.

A tabela 5 resume a análise de variância para a variação da espessura da placa ocorrida após 2 horas de imersão em água.

Tabela 5 - Análise de variância para o inchamento da placa ocorrido em 2 horas de imersão em água

C.V.	g.l.	S.Q.	Q.M.	F
tratamento	10	133	13	2,4 *
resíduo	33	185	6	
Total	43	318		

A figura 10 exibe o gráfico contendo as médias, os resultados do teste de Tukey e os respectivos erros padrão da média, para os 11 tratamentos estudados.



LPFF: lenho de *Pinus* fino e PEBD fino, LPFG: lenho de *Pinus* fino e PEBD grosso, LPGG: lenho de *Pinus* grosso e PEBD grosso, CPFF: casca de *Pinus* fina e PEBD fino, CPGF: casca de *Pinus* grossa e PEBD fino, CPGG: casca de *Pinus* grossa e PEBD grosso, LEFG: lenho de *Eucalyptus* fino e PEBD grosso, LEGG: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD grosso, LEGM: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD misturado, CEFF: casca de *Eucalyptus* fina e PEBD fino, CEGG: casca de *Eucalyptus* grossa e PEBD grosso

Figura 10 - Variação da espessura (VE2) ocorrida na placa composta de serragem e plástico reciclável em 2 horas de imersão em água

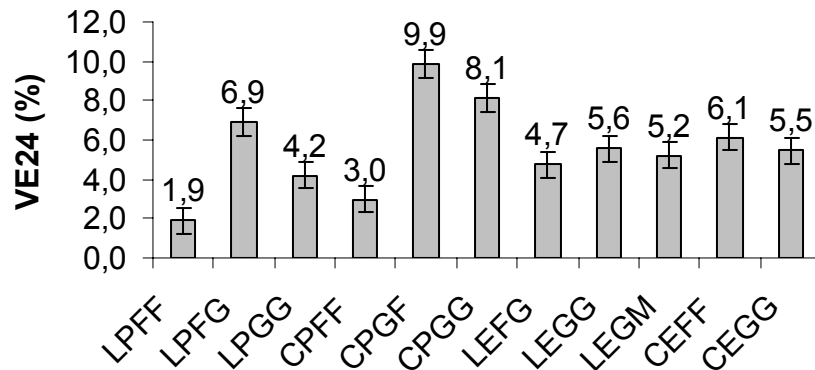
O tratamento LPFF foi o que apresentou o menor inchamento no período de 2 horas de imersão em água, diferenciando-se novamente dos demais tratamentos. As demais combinações ofereceram resultados variáveis, podendo-se destacar a estabilidade dimensional da casca de *Pinus* fina associada ao PEBD fino, que comparada aos outros dois tratamentos similares ficou em um patamar muito baixo, o que é desejável neste caso.

A tabela 6 resume a análise de variância para a determinação da variação da espessura ocorrida em 24 horas de imersão em água, realizada para os 11 tratamentos estudados.

Tabela 6 - Análise de variância para o inchamento ocorrido em 24h de imersão da placa em água

C.V.	g.l.	S.Q.	Q.M.	F
tratamento	10	200	20	1,6
resíduo	33	425	13	
Total	43	624		

A figura 11 exibe o gráfico contendo as médias e os respectivos erros padrão da média, para os 11 tratamentos estudados.



LPFF: lenho de *Pinus* fino e PEBD fino, LPFG: lenho de *Pinus* fino e PEBD grosso, LPGG: lenho de *Pinus* grosso e PEBD grosso, CPFF: casca de *Pinus* fina e PEBD fino, CPGF: casca de *Pinus* grossa e PEBD fino, CPGG: casca de *Pinus* grossa e PEBD grosso, LEFG: lenho de *Eucalyptus* fino e PEBD grosso, LEGG: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD grosso, LEGM: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD misturado, CEFF: casca de *Eucalyptus* fina e PEBD fino, CEGG: casca de *Eucalyptus* grossa e PEBD grosso

Figura 11 - Variação da espessura (VE24) da placa composta de serragem e plástico reciclável após 24 horas de imersão em água

Novamente o tratamento LPFF foi o que apresentou o melhor desempenho entre os 11 tratamentos estudados, com 1,9 % de aumento em espessura durante as 24 horas de imersão em água. Os tratamentos que incharam mais foram os que utilizaram a casca de *Pinus* com granulometria maior (CPGF e CPGG). A análise de variância permitiu verificar que não houve diferenças significativas entre as médias dos tratamentos para este ensaio.

O quadro 4 apresenta os valores das propriedades mecânicas obtidas nos ensaios de compressão paralela e flexão estática.

TRATAMENTO	REPETIÇÃO	Compressão paralela		Flexão estática	
		CARGA MÁXIMA	MOR	MOE	MOR
CEF+PF	1	646	52	544,3	75,9
	2	527	57,5	491,6	75,5
	3	515	53	358,0	67,9
	4	562,7	54,2	303,0	60,0
CEG+PG	1	833	80,6	211,4	33,5
	2	500	54,7	300,8	41,6
	3	637	67,3	268,6	49,4
	4	656,7	67,5	288,3	39,4
CPF+PF	1	453	47,3	306,3	63,1
	2	358	43,9	366,7	72,6
	3	441	40,3	406,9	67,9
	4	417,3	43,8	331,8	78,9
CPG+PF	1	409	41,2	475,7	63,7
	2	375	39,5	294,3	39,1
	3	384	34,6	414,7	51,2
	4	389,3	38,4	511,2	65,9
CPG+PG	1	356	37,5	235,3	43,1
	2	295	34,1	425,2	68,2
	3	318	34,3	433,7	80,2
	4	323,0	35,3	274,3	59,0
LEF+PG	1	761	81,3	303,6	36,9
	2	629	65	302,8	59,4
	3	516	59,1	333,3	52,0
	4	635,3	68,5	314,1	44,0
LEG+PG	1	458	49,9	194,2	25,5
	2	386	40,5	221,8	30,3
	3	520	58,7	216,8	28,9
	4	454,7	49,7	281,8	25,9
LEG+PM	1	268	32,4	249,7	41,1
	2	894	93,3	256,2	42,2
	3	925	100,6	256,8	48,8
	4	695,7	75,4	190,2	34,2
LPF+PF	1	806	73,3	388,1	79,8
	2	431	46,3	426,9	73,1
	3	552	71,3	379,2	80,3
	4	596,3	63,6	343,6	66,6
LPF+PG	1	371	40,8	223,7	51,5
	2	442	47,4	279,8	54,8
	3	542	61,9	201,8	38,2
	4	451,7	50,0	271,9	50,6
LPG+PG	1	460	47,8	348,9	51,6
	2	380	47,2	213,1	58,2
	3	253	29,7	182,4	43,5
	4	364,3	41,6	223,6	37,2

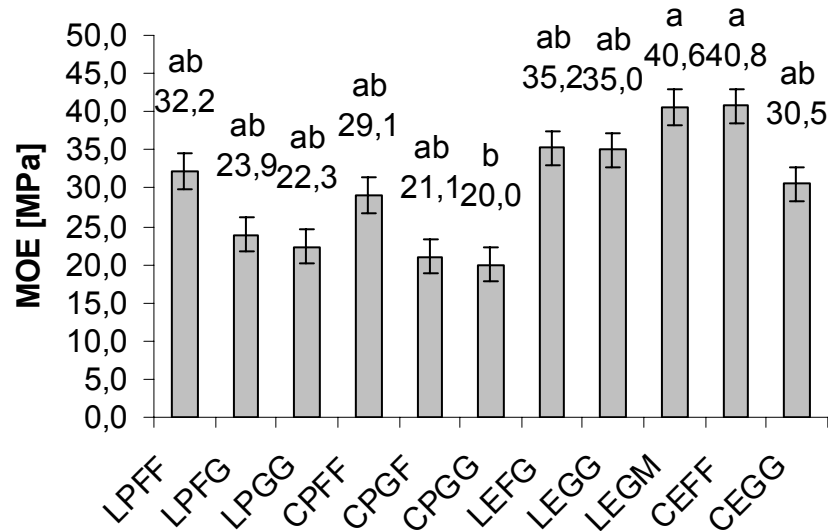
Quadro 4 - Dados obtidos nos ensaios de compressão e flexão estática da placa fabricada com serragem e plástico reciclável

A tabela 7 resume a análise de variância para o módulo de elasticidade na flexão estática (MOE).

Tabela 7 - Análise de variância para o MOE na flexão estática

C.V.	g.l.	S.Q.	Q.M.	F
tratamento	10	233934	23393	3,4 **
Resíduo	33	229190	6945	
Total	43	463124		

A figura 12 exibe o gráfico contendo as médias, os resultados do teste de Tukey e os respectivos erros padrão da média, para os 11 tratamentos estudados.



LPFF: lenho de *Pinus* fino e PEBD fino, LPFG: lenho de *Pinus* fino e PEBD grosso, LPGG: lenho de *Pinus* grosso e PEBD grosso, CPFF: casca de *Pinus* fina e PEBD fino, CPGF: casca de *Pinus* grossa e PEBD fino, CPGG: casca de *Pinus* grossa e PEBD grosso, LEFG: lenho de *Eucalyptus* fino e PEBD grosso, LEGG: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD grosso, LEGM: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD misturado, CEFF: casca de *Eucalyptus* fina e PEBD fino, CEGG: casca de *Eucalyptus* grossa e PEBD grosso

Figura 12 – Módulo de elasticidade na flexão estática (MOE) da placa composta de serragem e plástico reciclável

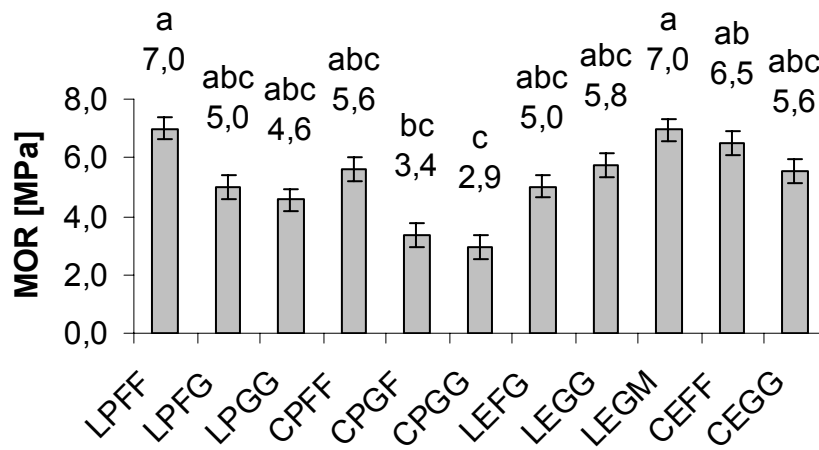
O módulo de elasticidade na flexão estática foi em geral superior para as placas que continham serragem de *Eucalyptus*. Isso pode ser facilmente visualizado na figura 12. Houve diferença entre tratamentos e o melhor desempenho do primeiro tipo de material ligno-celulósico foi confirmado no teste de Tukey. Os resíduos finos, de casca de *Eucalyptus* e de PEBD apresentaram bom desempenho durante o ensaio.

A tabela 8 resume a análise de variância para o módulo de ruptura (MOR) obtido no ensaio de flexão estática.

Tabela 8 - Análise de variância para o MOR na flexão estática

C.V.	g.l.	S.Q.	Q.M.	F
tratamento	10	7254	725	3,9 **
Resíduo	33	6207	188	
Total	43	13461		

A figura 13 exibe o gráfico contendo as médias, os resultados do teste de Tukey e os respectivos erros padrão da média, para os 11 tratamentos estudados.



LPFF: lenho de *Pinus* fino e PEBD fino, LPFG: lenho de *Pinus* fino e PEBD grosso, LPGG: lenho de *Pinus* grosso e PEBD grosso, CPFF: casca de *Pinus* fina e PEBD fino, CPGF: casca de *Pinus* grossa e PEBD fino, CPGG: casca de *Pinus* grossa e PEBD grosso, LEFG: lenho de *Eucalyptus* fino e PEBD grosso, LEGG: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD grosso, LEGM: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD misturado, CEFF: casca de *Eucalyptus* fina e PEBD fino, CEGG: casca de *Eucalyptus* grossa e PEBD grosso

Figura 13 - Tensão no limite de resistência à flexão estática (MOR) da placa composta de serragem e plástico reciclável

Na ruptura, os dois tratamentos em que se empregou a casca de *Pinus*, foram os que romperam mais facilmente. Nesse ensaio o tratamento que empregou lenho de *Eucalyptus* de granulometria maior e PEBD de granulometria mista se destacou, bem como o tratamento LPFF, que contém partículas finas tanto de plástico reciclável como de lenho de *Pinus*. Pelo teste de

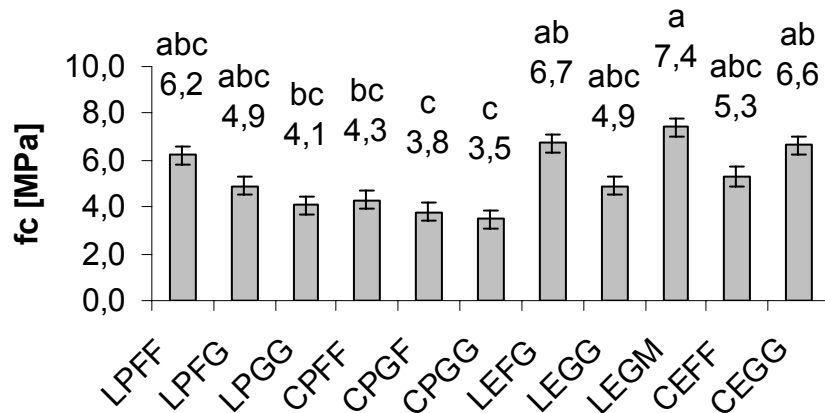
Tukey pode-se observar a influência da granulometria fina, tanto para o lenho de *Pinus*, quanto para a casca de *Pinus*.

A tabela 9 resume a análise de variância efetuada para a resistência à compressão, realizada para os 11 tratamentos.

Tabela 9 - Análise de variância para a tensão no limite de resistência (f_c) à compressão paralela

C.V.	g.l.	S.Q.	Q.M.	F	
Tratamento	10	7303	730	5,3	**
Resíduo	33	4540	138		
Total	43	11842			

A figura 14 exhibe o gráfico contendo as médias, os resultados do teste de Tukey e os respectivos erros padrão da média, para os 11 tratamentos estudados.



LPFF: lenho de *Pinus* fino e PEBD fino, LPFG: lenho de *Pinus* fino e PEBD grosso, LPGG: lenho de *Pinus* grosso e PEBD grosso, CPFF: casca de *Pinus* fina e PEBD fino, CPGF: casca de *Pinus* grossa e PEBD fino, CPGG: casca de *Pinus* grossa e PEBD grosso, LEFG: lenho de *Eucalyptus* fino e PEBD grosso, LEGG: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD grosso, LEGM: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD misturado, CEFF: casca de *Eucalyptus* fina e PEBD fino, CEGG: casca de *Eucalyptus* grossa e PEBD grosso

Figura 14 - Tensão no limite de resistência à compressão (f_c) da placa composta de serragem e plástico reciclável

No ensaio de compressão novamente os três tratamentos com partículas de casca de *Pinus* obtiveram uma baixa resistência mecânica (Figura 14). Dois dos três tratamentos com lenho de *Eucalyptus* foram os mais resistentes à compressão e os tratamentos com casca dessa espécie

combinada a PEBD de granulometria grossa, e lenho de *Pinus* fino combinado com o resíduo desse plástico de granulometria fina, foram os que apresentaram melhor resistência à compressão.

No quadro 5 pode-se observar os resultados obtidos nos ensaios de arrancamento de prego e de parafuso de fenda.

Tratamento	Repetição	Carga Máxima (N)	
		Arrancamento de Prego	Arrancamento de parafuso de fenda
CEF+PF	1	7,6	88
	2	1,9	59
	3	2	64
	4	1,3	70
CEG+PG	1	3,8	89
	2	8	85
	3	4,9	85
	4	5,6	86
CPF+PF	1	6,2	43
	2	4,2	44
	3	5	47
	4	2,7	45
CPG+PF	1	4,5	40
	2	2,3	48
	3	4,3	52
	4	3,4	47
CPG+PG	1	1,1	40
	2	3,4	41
	3	0,4	39
	4	3,5	40
LEF+PG	1	3,3	79
	2	4	92
	3	7,2	79
	4	2,8	83
LEG+PG	1	2,4	73
	2	4,9	83
	3	3,3	82
	4	2,2	79
LEG+PM	1	4,6	84
	2	5,6	86
	3	3	95
	4	7,7	88
LPF+PF	1	4,8	68
	2	2,5	79
	3	8,2	75
	4	6,6	74
LPF+PG	1	4	51
	2	3,2	37
	3	4,2	58
	4	3	49
LPG+PG	1	3,4	65
	2	3,7	71
	3	4,7	79
	4	4	72

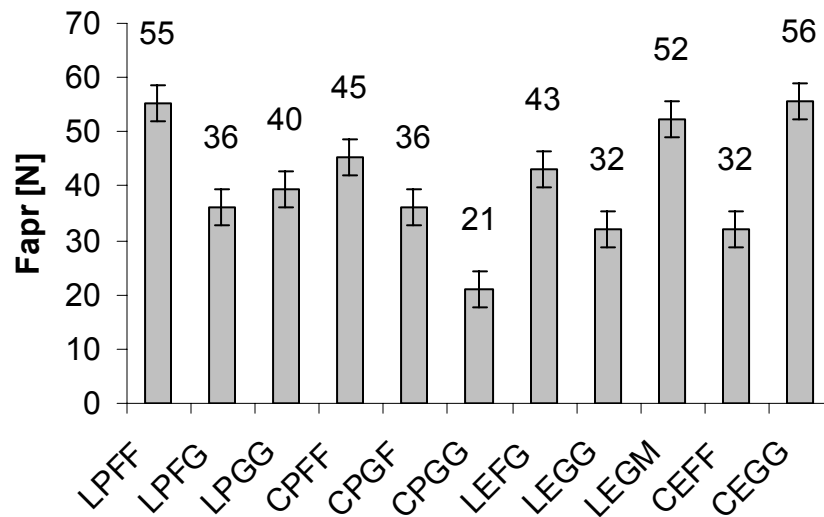
Quadro 5 - Resultados obtidos nos ensaios de arrancamento de elementos metálicos da placa fabricada com serragem e plástico reciclável

A tabela 10 resume a análise de variância para a carga máxima de extração de prego para os 11 tratamentos estudados.

Tabela 10 - Análise de variância para a carga máxima no ensaio de arranque de prego

C.V.	g.l.	S.Q.	Q.M.	F
tratamento	10	48	5	1,6
resíduo	33	100	3	
total	43	148		

A figura 15 exibe o gráfico contendo as médias, os resultados do teste de Tukey e os respectivos erros padrão da média.



LPFF: lenho de *Pinus* fino e PEBD fino, LPFG: lenho de *Pinus* fino e PEBD grosso, LPGG: lenho de *Pinus* grosso e PEBD grosso, CPFF: casca de *Pinus* fina e PEBD fino, CPGF: casca de *Pinus* grossa e PEBD fino, CPGG: casca de *Pinus* grossa e PEBD grosso, LEFG: lenho de *Eucalyptus* fino e PEBD grosso, LEGG: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD grosso, LEGM: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD misturado, CEFF: casca de *Eucalyptus* fina e PEBD fino, CEGG: casca de *Eucalyptus* grossa e PEBD grosso

Figura 15 - Força de arrancamento do prego 16x18 (Faprr) da placa composta de serragem e plástico reciclável

O valor F da análise de variância para a carga de arrancamento de prego não foi significativo para os tratamentos testados, mas observando-se o gráfico da figura 15 pode-se notar que entre os tratamentos em que se empregou o resíduo de *Pinus* como material lignocelulósico, aqueles combinados com PEBD fino ofereceram uma pequena vantagem na resistência ao arrancamento de prego, tanto para as partículas obtidas da casca como aquelas obtidas do lenho. Nos tratamentos com casca e lenho de *Eucalyptus* em que se empregou resíduo

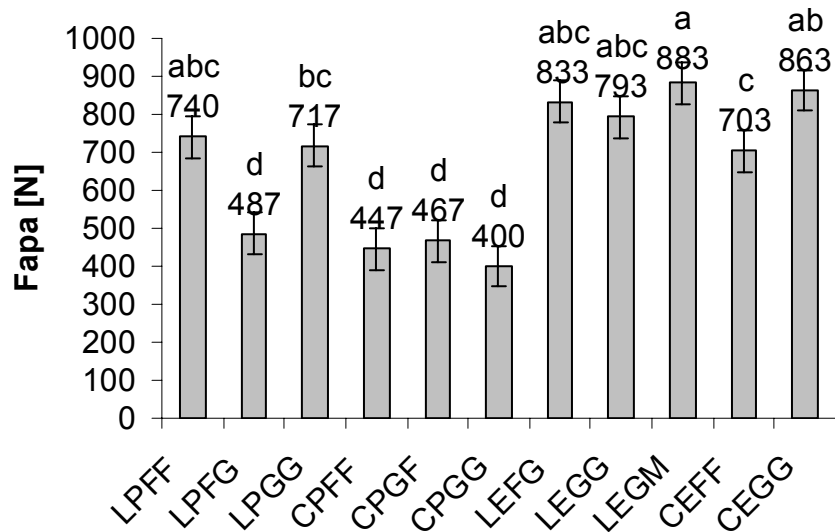
madeireiro com o predomínio de partículas grossas apresentaram desempenho ligeiramente melhor.

A tabela 11 resume a análise de variância para a carga máxima de arrancamento de parafuso de fenda realizada para os 11 tratamentos.

Tabela 11 - Análise de variância para a carga máxima no arrancamento de parafuso de fenda

C.V.	g.l.	S.Q.	Q.M.	F	
tratamento	10	13223	1322	36,1	**
residuo	33	1208	36,6		
Total	43	14431			

A figura 16 exibe o gráfico contendo as médias, os resultados do teste de Tukey e os respectivos erros padrão da média, para os 11 tratamentos estudados.



LPFF: lenho de *Pinus* fino e PEBD fino, LPFG: lenho de *Pinus* fino e PEBD grosso, LPGG: lenho de *Pinus* grosso e PEBD grosso, CPFF: casca de *Pinus* fina e PEBD fino, CPGF: casca de *Pinus* grossa e PEBD fino, CPGG: casca de *Pinus* grossa e PEBD grosso, LEFG: lenho de *Eucalyptus* fino e PEBD grosso, LEGG: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD grosso, LEGM: lenho de *Eucalyptus* grosso e PEBD misturado, CEFF: casca de *Eucalyptus* fina e PEBD fino, CEGG: casca de *Eucalyptus* grossa e PEBD grosso

Figura 16 - Força de arrancamento de parafuso de fenda 4,8 x 1” (Fapa) da placa composta de serragem e plástico reciclável

O valor F calculado para o ensaio de arrancamento de parafusos foi o maior registrado de todos os ensaios físico-mecânicos realizados para este trabalho (Tabela 11). Dentre os grupos de

tratamentos analisados, os três tratamentos com casca de *Eucalyptus* foram os que resistiram menos ao esforço de extração do parafuso, e aqueles tratamentos em que se empregou o lenho de *Eucalyptus* e a casca de *Eucalyptus* grossa com partículas maiores de PEBD foram os mais resistentes à retirada dos parafusos, seguidos pelos dois tratamentos com lenho de *Pinus* de granulometrias semelhantes (Figura 16), o que pode indicar neste último caso que granulometrias parecidas tornam o material mais coeso mecanicamente.

5 CONCLUSÕES

O tratamento que apresentou as melhores propriedades físico-mecânicas foi aquele em que se utilizou lenho de *Pinus* de granulometria fina e plástico também de granulometria fina, apresentando a menor absorção de água, menor inchamento em espessura, boa resistência à compressão, e melhor módulo de ruptura na flexão estática.

Dentre os tratamentos que utilizaram casca de *Eucalyptus*, aquele em que se utilizou granulometria grossa tanto para a serragem quanto para o plástico, apresentou as melhores propriedades físicas, com exceção da variação em espessura ocorrida em 24 horas de imersão em água. As propriedades mecânicas das placas produzidas com casca de *Eucalyptus* foram superiores naqueles em que se utilizou granulometria fina para os dois materiais.

Estratificando-se os tratamentos em 4 grupos (lenho de *Pinus*, casca de *Pinus*, lenho de *Eucalyptus* e casca de *Eucalyptus*), observa-se que o grupo que apresentou o melhor desempenho geral nos ensaios realizados foram os 3 tratamentos com lenho de *Eucalyptus*. E que o piores resultados foram dos 3 tratamentos em que se empregou casca de *Pinus*.

O tratamento com casca de *Pinus* foram os que romperam mais facilmente na flexão estática, mas isso não pode ser considerado apenas como desvantagem, pois nesse caso as placas foram mais flexíveis e podem ser aproveitadas em situações não estruturais.

O tratamento de pior desempenho nos ensaios mecânicos foi aquele em que se utilizou casca de *Pinus* e plástico reciclável ambos de granulometria grossa, embora tenha apresentado boas propriedades físicas.

REFERÊNCIAS

- BARROS JÚNIOR, O. Considerações sobre a utilização de madeira na construção de estruturas de cobertura para conjuntos habitacionais. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 4., 1992. São Carlos, **Anais...** São Carlos: LAMEM/EESC-USP, 1992, v.5, p.79-83.
- CHOW, S.; CORDER, S.E.; KENNEDY, R.W.; PORTER, L.J.; WAHLGREN, H.E. Properties and uses of Bark. IUFRO WORLD CONGRESS 5., 1976, Oslo. **Proceedings...** Oslo: IUFRO, 1976. p.125-135.
- CLEMONS, C. Wood plastic composites in the United States: The interfacing of two industries. **Forest Products Journal**, Madison, v.52, n.6, p.10-18, 2002.
- CORREA, C.A.; FONSECA, C.N.P.; NEVES, S.; RAZZINO, C.A.; HAGE JR, E. Compósitos termoplásticos com madeira. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Paulo, v.13, n.3, p.154-165, 2003.
- CROWLEY, J.; DENTZ, J.; MORSE-FORTIER, L.; PARENT, M. Reinventing wood frame construction: Development of an innovative roof component system. **Forest Products Journal**, Madison, v.43, n.7/8, p. 78-96, 1993.
- CUEVAS D., H.R. Un Critério de selección y consideraciones de uso de la madera en construcción. **Bosque**, Santiago, v.9, n.2, p.71-76, 1988.
- ECKERT, C.H. Market opportunities for natural fibers in plastic composites. In: WOOD-PLASTIC CONFERENCE, 2000, Baltimore. Forest Products Society. **Proceedings...** Baltimore: Forest Products Society, 2000. p.87-106.
- FROLLINI, E.; LEÃO, A.L.; MATTOSO, L.H.C. (Ed.). Natural polymer and agrofiber based composites. **EMBRAPA Instrumentação Agropecuária**, São Carlos, 2000, p.104-112.
- HSU, W.E. Advanced wood-fiber composites. In: WORKSHOP ON WOOD-PLASTIC COMPOSITES, Alberta, 1988. **Proceedings...** Canadá: Alberta, 1988, p.43-52.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO **Cobertura com telhas cerâmicas**: manual de execução, São Paulo: IPT, 1988. 59p.
- JOHNSON, H. **La Madera**. Barcelona: Blume, 1996. 296p.
- KALNINS, M.A. FEIST, W.C. Increase in wettability of wood with weathering, **Forest Products Journal**, Madison, v.43, n.2, p. 54-67, 1993.
- KLUBER, H. **Wood as building and hobby material** , Madison: John Wiley, 1980. 256p.

LOPES, E.M.L. **Avaliação do Desempenho Térmico de Paredes e Coberturas em Belém - PA**. 1993. 112p. Dissertação (Mestrado na área de Engenharia civil) - Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

MACHADO, A.; STUART, K. A comparison of process configuration for compounding wood-plastics composites In: WOOD-PLASTIC CONFERENCE, 2000, Baltimore. **Proceedings...** Baltimore, 2000, p.73-85.

MARCOVICH, N.E.; ARANGUREN, M.I.; REBOREDO, M.M. Some aspects related to the processing of natural fiber-polymer composites In: NATURAL POLYMERS AND COMPOSITES 4., 2002, São Pedro. **Proceedings...** São Pedro, 2002, p.416-421.

MARRA, A. A. High Value products from low value wood **Forest Products Journal**, Madison, v.53, n.2, p.44-47, 2003.

MASSON, T.J. **Desenvolvimento e reciclagem do polipropileno modificado pela presença de cargas híbridas**. 1998. Tese (Doutorado na área de Engenharia de Materiais) - Universidade Mackenzie, São Paulo, 1998.

NAKAMURA, S.Y.; CALIXTO, F.L. Telhas de Madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA 3., 1989, São Carlos, **Anais...** São Carlos: EESC, 1989 v.4, p.27.

PINHEIRO, R.V.; LAHR, F.A.R. Racionalização e Avaliação do Consumo de Madeira em estruturas de cobertura, quanto ao nível tecnológico. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: IBRAMEM/UFSC, 1998, v. 2, p.145-155.

SAVASTANO JÚNIOR, H. Material alternativo: Uma cobertura em fibrocimento vegetal. **Revista Habitare**, 2002, www.habitare.org.br, acesso em 22 fev. 2006.

SAVASTANO JÚNIOR, H.; DEVITO, R.A. **Sistema de cobertura para construções de baixo uso de fibras vegetais e outros resíduos agro-industriais**. São Carlos: UFSCAR, 2000. 56p.

SOUZA, H.R. Wood Shingle: Manufacture and application at the Amazonian region. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING 5., 1998, Lausanne. **Anais...** Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1998, v. 2, p.690-691.

STARK, N; SCHENEIDER, J.P. Waste-wood derived fillers for plastic., USDA Forest Service, Forest Product Laboratory, Madison, 1996. p.282-291, (General technical report FPL-GTR-91).

WEDDING, P.A. **Wood roof decks**, Washington: National Lumber Manufacturers, 1956. 25p.

WIEDMAN, G. A. **Fibra de Coco e Resinas de Origem Vegetal para Produção de Componentes de Mobiliário e da Construção Civil**. 2002. 118p. Tese (Doutorado na área de Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2002.

WINANDY, J.E.; STARK, N.M.; CLEMONS, C.M. Considerations in recycling of wood-plastic composites. In: GLOBAL WOOD AND NATURAL FIBRE COMPOSITES SYMPOSIUM, 5., 2004, Kassel. **Proceedings...** Kassel, 2004. p.A6/1-A6/9.

WOLCOTT, M.P.; ENGLUND, K. A technology review for wood-plastic composites In: INTERNATIONAL PARTICLEBOARD COMPOSITE MATERIALS SYMPOSIUM, 33, 1999, Pullman. **Proceedings...** Pullman: Washington State University, 1999, p.307-319.

YAMAJI, F.M.; BONDUELLE, A. Utilização da serragem na produção de compósitos plástico-madeira **Revista Floresta**, Curitiba, v.34, n.1, p.59-66, 2004.

ZANIN, M.; DISIDERÁ, C.; LOGAREZZI, A.; CORREA, C.A. Sistematização da extensão do uso de resíduos de serraria e potencialidade de aplicação. ENTAC 2002 – ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2002, p.71-84.