



Estudo comparativo da resistência à flexão da Madeira Plástica, Fibra de Madeira de Densidade Média, Pinus e Polipropileno submetidos aos condicionamentos de secagem, saturação de umidade e radiação UV

L. S. Rossino*^{1,2}, R. C. de Oliveira¹, R. Ferreira¹,
J. A. Moreto³, M. D. Manfrinato¹, J. M. F. de Paiva²

1-Faculdade de Tecnologia José Crespo Gonzales – CEETEPS/FATEC So/LabTES – CEP: 18013-280, Sorocaba-SP

2-Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba – PPGCM So/UFSCar So – CEP: 18052-780, Sorocaba-SP

3-Instituto de Ciências Naturais, Exatas e da Terra, Departamento de Física, Universidade Federal do Triângulo Mineiro – ICENE/UFTM – CEP: 38064-200, Uberaba-MG

(Recebido em 01-06-2018; aceito em 14-02-2019)

luciana.rossino@fatec.sp.gov.br

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo:

A madeira plástica (MP) pode ser constituída de resíduos de polímeros com fibras vegetais, viabilizando a reciclagem de materiais. O objetivo deste trabalho foi determinar a resistência à flexão da MP a fim de comparar seu comportamento com outros materiais utilizados no setor moveleiro, como Fibra de Madeira de Densidade Média (MDF) e Pinus. Ensaios de flexão em 3 pontos foram realizados em corpos de prova de MP, MDF, Pinus e polipropileno (PP). Os materiais passaram por três tipos de condicionamento: secagem, saturação de umidade e radiação UV. Observou-se que a MP apresentou comportamento superior ao MDF e uma grande resistência à presença de umidade, diferente dos materiais de origem vegetal. Por outro lado, a MP mostrou-se mais sensível à radiação UV, o que não foi observado nos materiais de origem vegetal. O condicionamento de secagem causou um leve aumento na resistência à flexão dos materiais de origem vegetal. Conclui-se neste trabalho que a MP apresenta características mecânicas adequadas para a utilização em fabricação de móveis, podendo substituir materiais como MDF utilizado para este fim.

Palavras-chave: Pó de madeira; compósito de madeira plástica, ensaio de flexão; fotodegradação; umidade saturada

Abstract:

The plastic wood (PW) can be constituted of residues of polymers with vegetal fibers, making possible the recycling of materials. The aim of this work was to determine the flexural strength of PW in order to compare its behavior with other materials used in the furniture sector, such as Medium Density Fiberboard (MDF) and Pinus. The 3-point bending tests were performed on specimens of PW, MDF, Pinus and polypropylene (PP). The materials underwent three types of conditioning: drying, saturation of moisture and UV radiation. It was observed that the PW presented a superior behavior to the MDF and a great resistance to the presence of moisture, different from the materials of vegetal origin. On the other hand, PW was more sensitive to UV radiation, which was not observed in materials of vegetal origin. The drying conditioning caused a slight increase in the flexural strength of materials of vegetal origin. It is concluded in this work that the PW presents mechanical characteristics suitable for the use in furniture manufacturing, being able to substitute materials such as MDF used for this purpose.

Keywords: Wood flour; wood plastic composites; bending test; photodegradation; saturated humidity

Introdução

O aumento da população mundial gera uma enorme quantidade de resíduos sólidos, além de utilizar uma grande quantidade de recursos naturais, não permitindo que o meio ambiente consiga se recompor ou que consiga absorver adequadamente todo o volume de material descartado [1, 2]. No ano de 2015, os resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados no Brasil totalizaram 72,5 milhões de toneladas de lixo. Do total de lixo gerado

no país em 2015, 90,8% foi coletado e o restante teve destino impróprio, ou seja, contribuiu para a poluição de rios, riachos e terrenos baldios, contaminando as águas e o solo [1].

Um material que tem se mostrado bastante promissor para auxiliar tanto na redução do consumo de recursos naturais quanto na diminuição de resíduos gerados é a madeira plástica (MP). É constituída, principalmente, de resíduos de polímeros (polipropileno

- PP, polietileno - PE ou policloreto de vinila - PVC) com fibras vegetais, como a farinha de madeira. As fibras da madeira proporcionam uma superfície não escorregadia, e ainda os compósitos podem ser pintados com tinta óleo ou a base de água. As fibras da madeira são também um estabilizador natural contra raios UV [3].

As aplicações da MP podem viabilizar a substituição de diversos materiais que alimentam diversos setores da indústria e por ser um material 100% reciclado contribuirá para a redução do consumo de recursos e na diminuição da geração de resíduos sólidos urbanos [3].

No final da década de 80 a MP começou a ser utilizada na utilização de decks, mas o maior crescimento na utilização deste material vem ocorrendo a partir da última década [4,5]. Uma das causas que impediram o desenvolvimento de compósitos plástico-madeira de forma mais progressiva foi a distância existente entre a indústria madeireira e o setor de plásticos. Outra dificuldade verificada foi que os fabricantes de plástico que tentaram usar a madeira como carga, frequentemente, não tinham conhecimento suficiente sobre madeira. Isso fez com que as tentativas fracassassem e a combinação plástico-madeira ficasse desacreditada [4].

Todavia, o uso dos compósitos plástico-madeira tem despertado interesse nos últimos anos. Isso se deve às vantagens desse produto em relação a madeira, como não trincar, não empenar, exigir pouca ou nenhuma manutenção e ser facilmente moldado em formas complexas [6].

Um dos principais setores onde a MP vem sendo empregada é na indústria moveleira, podendo substituir materiais como a Fibra de Madeira de Densidade Média (MDF) e o compensado de madeira, que são materiais que dependem da extração de recursos naturais para serem produzidos. A MP apresenta diversas vantagens se comparada à madeira comumente utilizada na indústria e, se deve ao fato, de a madeira plástica não ser tão suscetível às condições climáticas. Outra vantagem apresentada pela MP frente a madeira vegetal é sua resistência a fungos e pragas como o cupim, que frequentemente estão presentes nos materiais de origem natural [7].

Além do aspecto técnico e econômico, o uso dos resíduos na produção de compósito plástico-madeira tem um reflexo importante no aspecto ecológico [3].

O objetivo deste trabalho é determinar as características da MP a fim de avaliar sua eficácia na resistência deste material para aplicação no setor moveleiro, e assim comparar seu comportamento frente a outros materiais utilizados nesta área, como madeira Pinus e MDF.

Materiais e Métodos

Para a realização deste trabalho foram estudados 4 materiais diferentes: a MP, a madeira vegetal de Pinus (PINUS), o Fibra de Madeira de Densidade Média (MDF) e o polímero Polipropileno (PP). A madeira de Pinus e o MDF são comumente utilizados na

indústria do setor moveleira. A MP, utilizada no desenvolvimento deste estudo, é composta por uma mistura de pó de madeira em 30% e PP. Os materiais foram obtidos em forma de placas por uma empresa moveleira da região de Sorocaba-SP e os corpos de prova foram fabricados por corte em serra nas dimensões específicas como mostra a Figura 1 para a realização dos ensaios de flexão. Os corpos de prova foram, após fabricação, submetidos a condicionamento e ensaios de flexão.

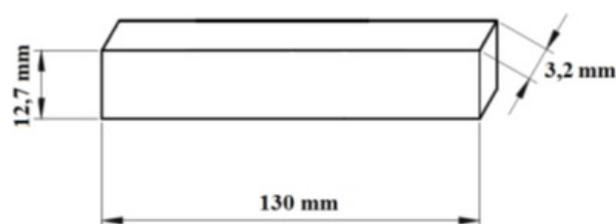


Figura 1: Dimensão do corpo de prova utilizado nos ensaios de flexão de acordo com a norma ASTM D790-10 [8].

O condicionamento foi realizado com o objetivo de simular situações reais do uso do material. Foram realizados três tipos de condicionamento: secagem, saturação de umidade e radiação UV. A secagem consiste em retirar toda a umidade presente no material. Para isso, as massas de todas as amostras foram aferidas e os materiais foram, então, colocados em um dessecador com sílica. Medições semanais foram realizadas em todas as amostras para acompanhar a perda de massa das mesmas. A secagem das amostras foi concluída quando não houve variação significativa na massa dos corpos de prova em três aferições consecutivas. Comparando a massa final das amostras no final do processo de secagem com a massa inicial foi possível calcular a porcentagem de variação de massa e, portanto, a porcentagem de água presente no material. Este condicionamento foi realizado por um período de 8 semanas, sendo a estabilidade de massa alcançada na quarta semana de medição.

O processo de condicionamento de saturação de umidade seguiu o mesmo princípio do processo de secagem, porém agora com ganho de massa. As amostras tiveram suas massas aferidas e foram expostas a um ambiente úmido com temperatura controlada numa estufa de umidade saturada. Medições semanais foram feitas nas amostras para acompanhar a variação de massa das mesmas. Os corpos de prova atingem a máxima concentração de umidade quando a variação de massa não apresentou variações significativas por um período de três semanas consecutivas. O condicionamento na câmara de umidade foi realizado no Laboratório de Processos Industriais da Universidade de São Carlos, Campus Sorocaba, UFSCar-Sorocaba. Para isso utilizou-se uma câmara de umidade saturada da marca EQUILAM equipada com um reservatório de água à temperatura de 45°C. O condicionamento ocorreu durante o período de 8 semanas, sendo a estabilidade alcançada na quarta semana de aferição. O procedimento foi realizado seguindo orientações da norma ASTM D5229 / D5229M-14 [9].

O condicionamento por radiação UV foi realizado seguindo orientações da norma ASTM G154-14 [10], que determina que os corpos de prova estejam expostos à radiação UV gerada por lâmpadas artificiais e que os materiais não estejam submetidos a nenhum tipo de esforço mecânico. De acordo com a norma os corpos de prova devem receber a radiação UV de maneira uniforme. Os corpos de prova ficaram expostos a três lâmpadas fluorescentes (marca Luxor, modelo T8 de 15W) emissoras de radiação UVC com pico de comprimento de onda de 253,7nm por um período de 4 semanas, seguindo o período de estabilidade dos dois condicionamentos anteriores. O condicionamento por UV foi feito em uma câmara de madeira equipada com uma ventoinha para garantir a extração de gases liberados pelas lâmpadas e para evitar alguma variação de temperatura no interior da câmara, fatores que poderiam influenciar no processo de degradação dos materiais.

Os ensaios de flexão foram realizados em temperatura e umidade ambiente. Para os materiais condicionados, os ensaios foram realizados imediatamente após o procedimento de condicionamento específico.

Os ensaios de flexão em três pontos foram realizados utilizando-se uma máquina de ensaios universal EMIC de 100KN alocada no Laboratório de Ensaios e Caracterização Mecânica da Universidade Federal de São Carlos, UFSCar – Campus Sorocaba. Os ensaios de flexão foram realizados em todos os materiais (com e sem condicionamento) a uma velocidade de travessão de 1mm/min. Os ensaios foram finalizados assim que houve ruptura na face oposta a aplicação da carga ou quando se atingiu um limite de deformação máximo de 5%, conforme determina a norma ASTM D790-10 [8]. É importante salientar que a relação de 16:1 entre a distância entre apoios e espessura dos corpos de prova foi considerado.

A tensão de flexão dos materiais estudados foi calculada de acordo com a equação 1:

$$\sigma = \frac{3FL}{2WH^2} \quad (1)$$

onde L = Distância entre os apoios (mm), F = Carga aplicada (N), W = Largura do corpo de prova (mm), H = Espessura do corpo de prova (mm) e σ = Tensão (MPa).

Resultados e Discussões

A Figura 2 apresenta os dados de resistência à flexão dos materiais como recebido. Observa-se que a MP apresenta um desempenho 38% superior se comparada com o MDF, que é um dos principais materiais que abastecem o setor moveleiro. Porém apresenta um desempenho inferior se comparada à madeira vegetal de Pinus. Através destes resultados também é possível determinar a influência da carga utilizada como reforço na propriedade mecânica de resistência a flexão, como observado, a madeira utilizada

como reforço prejudicou o desempenho mecânico do PP. É importante considerar o fato de que os materiais termoplásticos poliolefinicos são apolares enquanto a celulose apresenta caráter polar. Este comportamento distinto faz com que o PP forme um compósito imiscível com o pó de madeira, necessitando então de um aditivo ou agente de acoplamento para aumentar a adesão interfacial a fim de compatibilizar estes dois elementos na produção do compósito [11]. Este fato faz com que a MP apresente resistência mecânica inferior aos materiais que compõem o compósito. Entretanto, os valores de resistência à flexão obtido estão desejáveis, uma vez que apresenta resistência superior ao MDF e próximo ao PP sem carga.

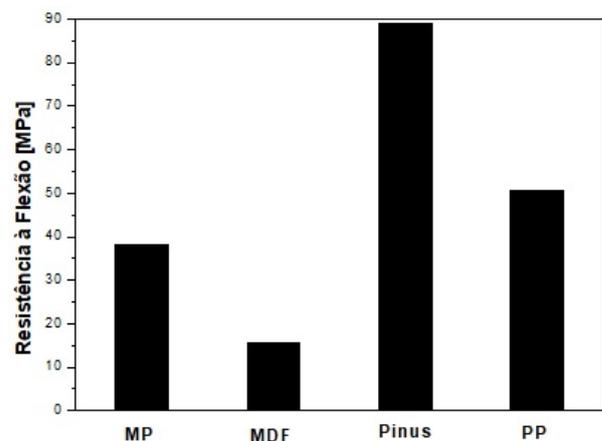


Figura 2: Dados de resistência à flexão dos materiais estudados nas condições como recebido.

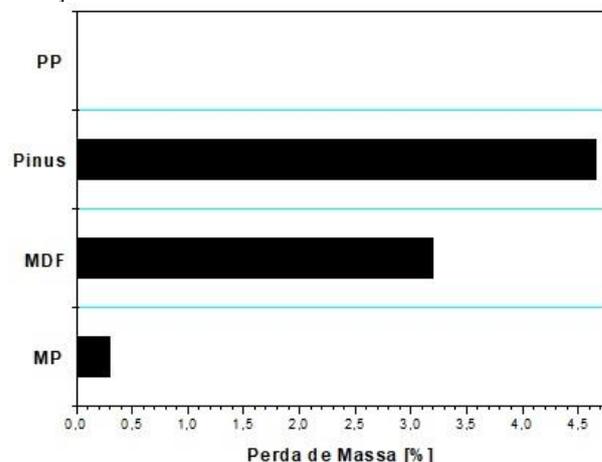


Figura 3: Perda de Massa em porcentagem dos materiais estudados após condicionamento de secagem.

Este resultado corrobora com as discussões apresentadas por Correa et al [7] no estudo sobre compósitos termoplásticos com madeira. Resultados semelhante foram obtidos por Milagres et al. [12] ao estudar o efeito do tipo e quantidade de polímero adicionado ao compósito madeira plástica. Observou-se que a madeira natural apresentou maior módulo de resistência à flexão estática comparada ao compósito produzido, independente da composição e tipo do polímero de PP (25% e 50%), PEAD (Polietileno de Alta Densidade, 25% e 50%) ou PEBD (Polietileno de Baixa

Densidade, 25% e 50%) adicionado para produzir o compósito.

Com relação ao condicionamento de secagem, observou-se que o PP (0,005%) foi o material que apresentou a menor variação em porcentagem de massa, seguido da MP (0,232%), MDF (3,189%) e da madeira de Pinus (4,66%), conforme ilustra a Figura 3.

A explicação para esse fenômeno pode ser justificada pela natureza dos materiais. O PP é um polímero que apresenta característica hidrofóbica, ou seja, tem difícil molhabilidade, impedindo grande absorção de umidade, com isso, apresentando a menor variação de massa. Esse fenômeno também é apresentado nas amostras de MP, que tiveram a segunda menor variação de massa, isso devido à matriz de PP, que impede que as fibras de madeira absorvam grandes quantidades de umidade. Já os demais materiais tiveram valores maiores de umidade devido a sua origem vegetal, constituindo-se de um material de característica hidrofílica, uma vez que a água é um dos principais condutores de nutrientes para o desenvolvimento das árvores de onde esses materiais são extraídos.

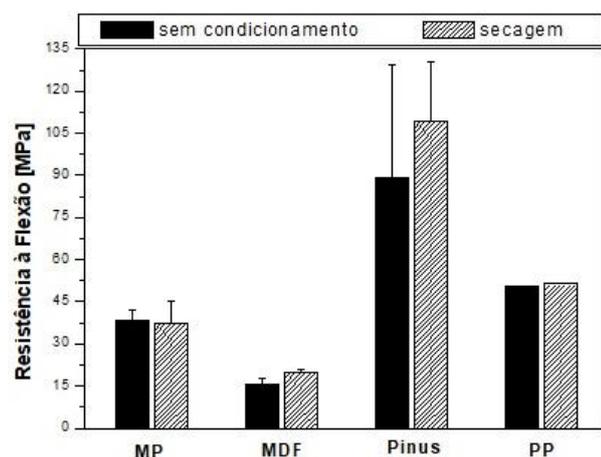


Figura 4: Resistência à flexão dos materiais estudados após condicionamento de secagem.

Estes resultados refletem diretamente na resistência à flexão dos materiais estudados. Observa-se, através da Figura 4, que a MP e o PP não apresentam grande variação em seus valores de resistência a flexão comparado ao material como recebido, uma vez que os mesmos não tinham grande presença de umidade devido à característica hidrofóbica do polímero. Porém, o Pinus e o MDF apresentaram um desempenho pouco superior se comparado às amostras que não passaram por nenhum condicionamento. Portanto observa-se que a presença de umidade, no material de origem vegetal, faz com que o desempenho do mesmo fique comprometido quando submetido a esforços mecânicos. Observa-se também que a MP é mais resistente que o MDF, mas ainda menos resistente que o Pinus e PP.

No que diz respeito ao condicionamento de saturação de umidade, observou-se que o PP foi o material que apresentou a menor variação em porcentagem de massa (0,266%), seguido da MP (4,961%), da madeira de Pinus (107,518%) e do material

MDF (435,036%), como é mostrado na Figura 5. Na MP, a presença do PP melhora a resistência à umidade e ao ataque de insetos e fungos. Esta característica torna este material atrativo em aplicações de produtos inovadores [13]. Milagres et al. [12] também estudaram, além da resistência mecânica, a absorção de água da madeira plástica com tipos e composições diferentes de polímeros utilizado para produzir o compósito: PP (25% e 50%), PEAD (25% e 50%) e PEBD (25% e 50%). Observou-se que a madeira absorveu maior porcentagem de água, e o compósito com maior proporção de polímero absorveu menor porcentagem de água, independentemente do tipo de polímero utilizado.

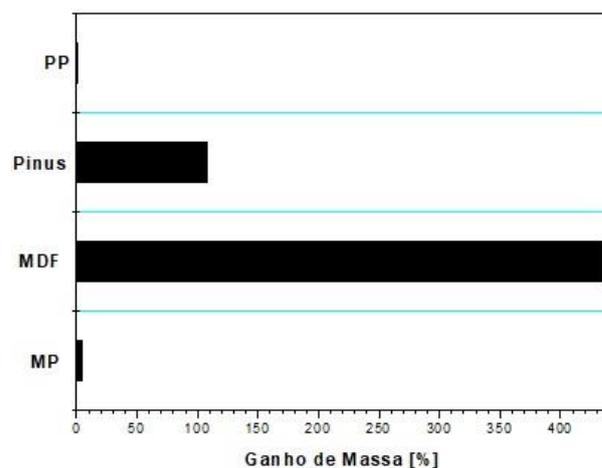


Figura 5: Ganho de Massa em porcentagem para os materiais estudados após condicionamento de secagem.

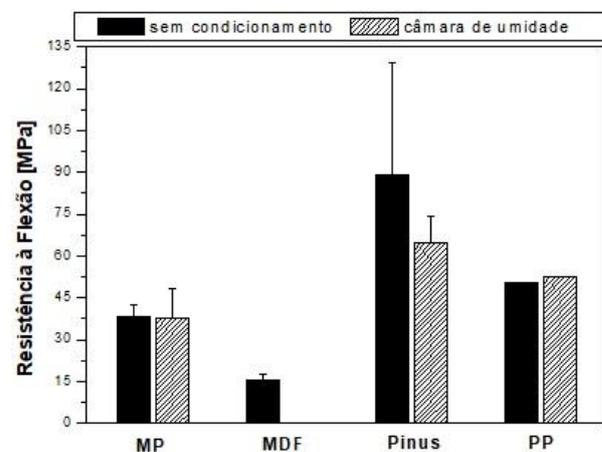


Figura 6: Resistência à flexão dos materiais estudados após condicionamento de saturação de umidade.

Deve-se enfatizar que, após a segunda semana de condicionamento de saturação de umidade foi constatada a presença de mofo nos corpos de prova de MDF, os quais ficaram esponjosos e com grande ganho de volume, impossibilitando a realização dos ensaios de flexão. Este condicionamento foi, então, interrompido para este material. De fato, a característica hidrofílica da farinha e fibra de madeira influencia o comportamento dos materiais a base deste elemento quando exposto à umidade, uma vez que a celulose e hemicelulose contidas nestes materiais absorvem água e causam o inchaço dos

compósitos que apresentam madeira ou farinha de madeira em sua composição [14]. Dentre os materiais de origem vegetal, a madeira de Pinus foi a que obteve o melhor desempenho no condicionamento de umidade, apresentando a menor variação da porcentagem de massa, não foi atacado por fungos e não apresentou nenhuma deformação, fazendo com que o condicionamento decorresse sem problemas.

Com relação à resistência a flexão dos materiais submetidos a condicionamento de saturação de umidade, conforme apresentado na Figura 6, observa-se que os materiais MP e PP não apresentaram grande variação nos valores de resistência. Já a madeira de Pinus apresentou um desempenho bastante prejudicado depois do condicionamento na câmara de umidade, apresentando valores de resistência a flexão bastante inferiores se comparado aos valores encontrados nos corpos de prova condicionados sob outros processos, mostrando que a umidade, dos fatores estudados, foi o fator mais agressivo aos materiais de origem vegetal. Porém, a madeira Pinus ainda se apresenta mais resistente mecanicamente que a MP e o PP. Deve-se salientar que a água degrada a lignina hidrofóbica da madeira além de reduzir o efeito de repelência do extrativo, prejudicando seu comportamento quando este material é exposto à umidade [15].

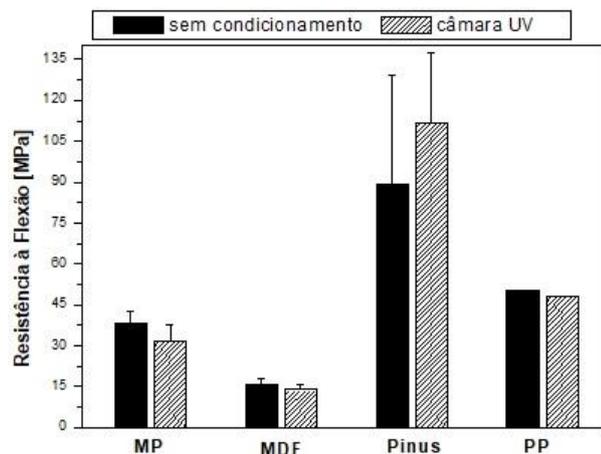


Figura 7: Resistência à flexão dos materiais estudados após condicionamento na câmara UV.

A Figura 7 ilustra a resistência à flexão dos materiais expostos à radiação UV. Observou-se que, com relação aos fatores estudados (secagem, umidade e radiação UV), o condicionamento na câmara UV foi o mais agressivo para os materiais MP e PP. A radiação UV acelera a degradação do polímero, resultando em um desempenho mecânico inferior se comparado às amostras condicionadas sob outros processos. Esse fenômeno já não é observado para as amostras de madeira, que não mostraram variação significativa dos valores de resistência a flexão se comparado as amostras sem condicionamento ou que passaram pelo condicionamento no dessecador.

A Figura 8 apresenta a mudança de aspecto visual dos materiais antes e depois do processo de condicionamento na câmara UV. Observou-se que todas

as amostras apresentaram uma mudança em seu aspecto visual. O PP e a MP se tornaram esbranquiçados, reflexo do processo de degradação do PP. Já os materiais a base de madeira vegetal apresentaram um comportamento diferente (escurecimento). Segundo Davidson [16], esse fenômeno é atribuído às ligninas, que são os primeiros componentes a terem suas ligações rompidas pois possuem tendências maiores a absorver a luz UV e a oxidação. O grupo cromóforo da lignina absorve radiação UV formando grupos radicais livres, causando mudança de coloração e formação de produtos solúveis em água [14].

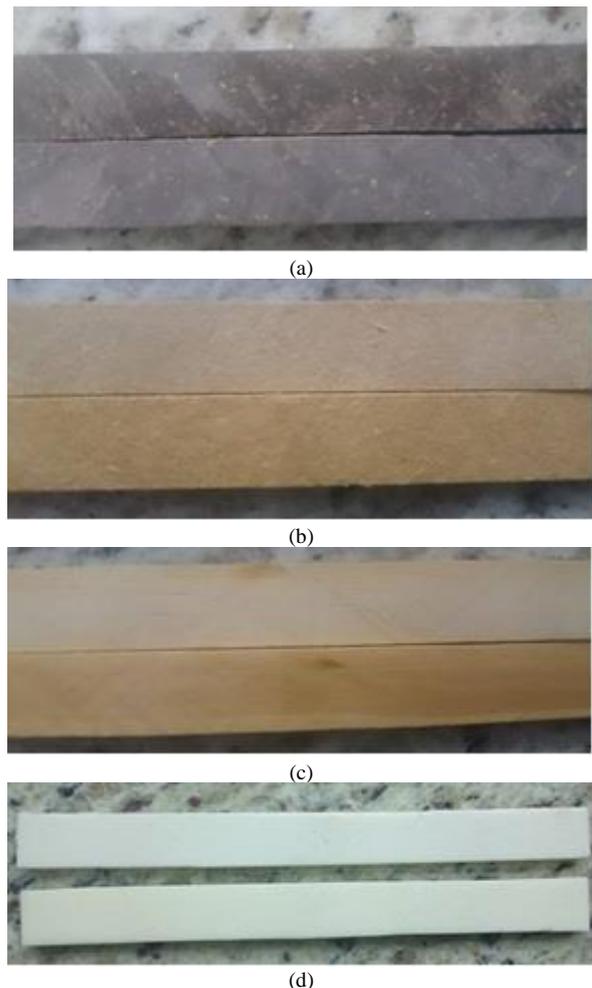


Figura 8: Comparativo, antes (acima) e depois (abaixo) do condicionamento na câmara de UV dos materiais (a) MP, (b) MDF, (c) pinus e (d) PP.

A radiação ultravioleta é um dos fatores mais efetivos para a degradação de materiais orgânicos através da foto oxidação. Os materiais poliméricos, quando expostos à radiação UV, são sujeitos a processos de degradação que envolvem reações químicas, podendo acarretar cisões moleculares, reticulações, mudança de cor e fissuramento. A degradação pode ser superficial (altera o aspecto visual do material) ou estrutural (altera as propriedades mecânicas, térmicas e elétricas dos materiais, comprometendo seu desempenho) [17,18]. Observa-se que, neste trabalho, a degradação superficial

foi mais intensa que a degradação estrutural para os materiais estudados.

Tabela 1: Resistência a flexão em cada condicionamento realizado para todos os materiais estudados.

	Sem condicionamento	Secagem	Câmara Umidade	Câmara UV
	σ_{rr} (MPa)	σ_{rr} (MPa)	σ_{rr} (MPa)	σ_{rr} (MPa)
MP	38,2 ±4,2	37,2 ±8	37,9 ±10,4	31,6 ±6,1
MDF	15,6 ±2,3	20 ±0,8	-	13,8 ±1,9
Pinus	89 ±40,2	109,1 ±21,1	64,6 ±9,5	111,9 ±26,7
PP	50,5	51,3	52,5	47,9

A Tabela 1 apresenta todos os valores de resistência à flexão média em cada condicionamento a qual os materiais estudados foram submetidos e o desvio padrão apresentado por cada material nos diversos condicionamentos.

A MP apresentou um desempenho superior se comparado ao MDF em todos os condicionamentos que foram submetidos, porém inferior se comparada ao Pinus. Todavia, mostrou-se como o material mais estável entre eles, não apresentando grandes variações de seus valores de resistência a flexão, ainda mais nos condicionamentos envolvendo umidade, dando indícios de que a umidade não seja um fator agressivo para o material, que nem mesmo fizeram com que o material tivesse uma grande variação de massa.

Contudo, a MP apresentou o pior desempenho das amostras condicionadas na câmara UV. As amostras de MP apresentaram um rendimento 17,3% inferior se comparada às amostras do mesmo material que não passaram por nenhum condicionamento.

O pior desempenho apresentado pela MP das amostras submetidas à radiação UV se deve ao PP presente na formulação do material. A natureza de sua estrutura e peculiaridades da cristalização do PP resulta em várias heterogeneidades em termos de fotodegradação. A cisão de moléculas atadoras e emaranhados é a principal causa da redução das propriedades mecânicas do PP durante exposição à radiação UV. Outro fenômeno que tem influência direta na propriedade mecânica do PP exposto a radiações UV é o aumento no grau de cristalinidade do polímero como resultado da cisão dos segmentos moleculares nas regiões amorfas, que permitem que estes segmentos se reorganizem em novas estruturas cristalinas, fazendo com que a cristalinidade aumente até atingir um valor constante após 18-24 semanas. A principal consequência deste fenômeno é a formação de fissuras superficiais na amostra, diminuindo a propriedade mecânica do material e permitindo uma maior difusão de oxigênio para o interior do produto, fazendo com que a camada degradada se estenda a posições mais profundas do material. Um terceiro efeito é a diferença de permeabilidade do oxigênio nas regiões amorfas e cristalinas do PP. Embora as regiões amorfas sofram preferencialmente reações de oxidação, normalmente as camadas superficiais são mais oxidadas do que o interior

do corpo de prova, uma vez que para amostras espessas, o fenômeno de fotodegradação do PP é controlado por difusão. Outra importante fonte de heterogeneidade consiste em variações estruturais resultante do processamento do material [19].

O trabalho realizado por Fehine et al [20] corrobora com os resultados obtidos por Rabello et al [19], em que observou-se que a reação de cisão de cadeia do PP é predominante no processo de degradação deste polímero, enquanto que para o polietileno de baixa densidade (PEBD) ocorrem também reticulações. Este fato evidencia que o processo de degradação causada pela radiação UV em polímeros depende do tipo de material exposto ao meio agressivo. Britzki et al. [21] estudaram o efeito da fotodegradação nas propriedades mecânicas do compósito de PP com fibra de vidro. Observaram que ambos os materiais apresentaram queda acentuada na resistência mecânica após exposição a radiações UV, porém o compósito apresentou maior resistência mecânica comparado ao PP puro devido a presença de fibra de vidro presente no compósito. A queda na resistência mecânica para os materiais estudados foi maior quanto maior foi o tempo de exposição ao agente agressivo.

É possível analisar também a influência da carga vegetal no polímero PP, uma vez que, o material com carga (MP) apresentou valores de resistência a flexão 24% menores se comparados com o polipropileno sem cargas (PP), sendo consequência da grande diferença da natureza desses materiais.

Observa-se que em condições normais a madeira de Pinus apresenta uma resistência a flexão muito superior se comparada aos demais materiais, porém é o material que apresenta a maior variação nos valores de resistência quando submetido a condicionamento, fazendo com que seja mais difícil prever o comportamento do mesmo. Ainda, referente à madeira de Pinus, pode-se observar que o fator mais agressivo para esse material é a presença de umidade; quando exposto a essa condição a madeira de Pinus apresenta um ganho de massa considerável, chegando até mesmo a dobrar a sua massa inicial. Por isso, devido à grande quantidade de umidade absorvida pela madeira, o Pinus apresenta um desempenho muito inferior quando submetido à flexão, pois a resistência do material teve um rendimento 41% inferior se comparado ao mesmo material condicionado no dessecador com sílica, fazendo com que sua utilização não seja indicada para esses ambientes.

Já o PP, que é o polímero que foi utilizado como matriz para a confecção da MP, assim como no compósito, não apresentou alterações em suas propriedades mecânicas quando submetido aos condicionamentos envolvendo umidade. Foi notado um decréscimo de desempenho somente nos corpos de prova submetidos ao condicionamento na câmara UV, quando o PP teve um desempenho 9% abaixo do observado em outras amostras. Isso mais uma vez explicado pelo fato de que os raios UV são um dos fatores que mais contribuem para a degradação de materiais poliméricos.

Também foi avaliado o desempenho da resistência à flexão do MDF, que apresentou valores relativamente baixos, dando a entender de que seja um material de baixa qualidade para algumas aplicações quando exposto a condições diversas de serviço. O condicionamento na câmara de umidade foi o parâmetro que mais influenciou o comportamento deste material, pois essas amostras nem ao menos puderam ser ensaiadas. Durante um período de sete dias expostas no condicionamento na câmara de umidade, os corpos de prova de MDF apresentaram um ganho de massa de 435% e um grande ganho de volume. Além disso, esse material foi atacado por fungos, fazendo do MDF um material extremamente inapropriado para ambientes com presença de umidade, podendo facilmente ser substituído pela MP, uma vez que essa apresenta melhores valores de resistência à flexão, é invulnerável ao ataque de fungos e parasitas como o cupim e não sofre influência de umidade.

É importante ressaltar a importância de resinas e vernizes nos materiais de madeira como o MDF, visando minimizar os efeitos da umidade e outros fatores externos sobre os mesmos, ou até mesmo sendo necessária para processos simples, como a pintura por exemplo. Nesse quesito a MP apresenta outra vantagem, já que para sua aplicação não se faz necessária a utilização desses produtos.

Conclusões

Com a realização desse estudo observou-se o desempenho dos materiais Madeira Plástica, MDF, Pinus e Polipropileno quando estes são submetidos a esforços de flexão. Também foi possível avaliar a influência de diversos fatores aos quais os materiais estaria submetidos na prática sobre as características dos materiais estudados.

Observou-se que a MP apresentou desempenho mecânico superior se comparada ao MDF, que é um material utilizado como matéria-prima da maior parcela de móveis fabricados no Brasil. Além disso, a MP também apresentou grande resistência a presença de umidade, não apresentando variação significativa em sua resistência à flexão quando exposto a esse fator, diferente dos materiais de origem vegetal, que apresentaram grande redução de suas propriedades quando expostos a umidade, como é o caso da madeira de Pinus, ou até mesmo se tornando impossível a realização dos ensaios de flexão, como no caso dos materiais de madeira reconstituída MDF.

Por outro lado, a MP mostrou-se mais sensível ao condicionamento na câmara UV, apresentando pequena diminuição em sua propriedade mecânica. Esse fenômeno não foi observado nos materiais de origem vegetal, que mantiveram suas propriedades sem grandes variações. Importante ressaltar que todos os materiais expostos no condicionamento de câmara UV apresentaram mudança de aspecto visual.

Com a realização desse estudo é possível concluir que o compósito MP apresenta boas características e pode sim ser um substituto para os

materiais atualmente utilizados no setor de móveis, contribuindo assim para a redução do extrativismo de recursos naturais, além de ser uma opção promissora para as empresas que cada vez mais buscam desenvolver seus produtos da forma mais ambientalmente correta possível, para atender a demanda de um mercado consumidor cada vez mais conscientizado. Por fim, deve-se salientar que a MP é constituída exclusivamente por polímero reciclado e pó de madeira, resíduo das empresas que trabalham com madeira.

Agradecimento

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq pela bolsa de iniciação científica concedida para o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- [1] Abrelpe. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013. São Paulo; 2013.
- [2] Ferreira, R., Madeira Plástica [trabalho de conclusão de curso]. Sorocaba: Faculdade de Tecnologia José Creso Gonzales, Fatec Sorocaba, Tecnologia em Polímeros; 2013.
- [3] Yamaji, F. M., Bonduelle, A. Utilização da serragem na produção de compósitos plástico-madeira. Revista Floresta, 34 (1), 59-66. 2004.
- [4] Clemons, C., Wood-plastic composites in the United States. Forest Products Journal, 52(6), 10-18. 2002.
- [5] Koenig, K. M., Sypkens, C. W., Wood-plastic composites for market share. Wood and Wood Products, 107(5), 49-58. 2002.
- [6] Brandt, C. W., FRIDLEY, K. J. Effect of load rate on flexural properties of wood-plastic composites. Wood and Fiber Science, 35(1), 136-147. 2003.
- [7] Correa, C. A., Fonseca, C. N. P., Neves, S.; Razzino, C. A., Hage, E., Compósitos termoplásticos com madeira. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 13(3), 154-165. 2003.
- [8] American Society for Testing and Materials. ASTM D790-10. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. ASTM. West Conshohocken; 2010.
- [9] American Society for testing and Materials. ASTM D5229 / D5229M-14. Standard Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials. ASTM. West Conshohocken; 2014.
- [10] American Society for Testing and Materials. ASTM G154. Standart practice for operating fluorescent ultraviolet (UV) lamp apparatus for exposure of nonmetallic materials. ASTM. West Conshohocken; 2014.
- [11] Zoch, V. P., Produção e propriedades de compósitos madeira-plástico utilizando resíduos minimamente processados [trabalho de conclusão de curso]. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, Engenharia Florestal; 2013.
- [12] Milagres, E. G., Vital, B. R., Della Lucia, R. M., Pimenta, A. S., Compósitos de partículas de madeira de

Eucalyptus grandis, polipropileno e polietileno de alta e baixa densidades. *Árvore*, 30(3), 463-470. 2006.

[13] Battistelle, R., Viola, N., Bezerra, B., Valarelli, I., Caracterização física e mecânica de um compósito de polipropileno reciclado e farinha de madeira sem aditivos. *Revista Matéria*, 19(1), 7-15. 2014.

[14] Badji, C., Soccalingame, L., Bergeret, A., Bénézet, J. C., Influence of weathering on visual and surface aspect of wood plastic composites: Correlation approach with mechanical properties and microstructure. *Polymer Degradation and Stability*, 137, 162-172. 2017.

[15] Kalnins, M. A., Feist, W. C., Increase in wettability of wood with weathering. *Forest Products Journal*, 43(2), 54-67. 1993.

[16] Davidson, R. S., The photodegradation of some naturally occurring polymers. *J. Photochem. Photobiol. B: Biology*, 33(1), 3-25. 1996.

[17] Allen, N.S., Sunlight induced degradation of polymers. *Engineering Plastics*, 8(1), 247-286. 1995.

[18] Rabek, J. F., *Polymer Photodegradation*, London: Chapman & Hall; 1995.

[19] Rabello, M. S., White, J. R., Fotodegradação do polipropileno: um processo essencialmente heterogêneo. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 7(2), 47-57. 1997.

[20] Fechine, G. J. M., Santos, J. A. B., Rabello, M. S., Avaliação da fotodegradação de poliolefinas através de exposição natural e artificial. *Química Nova*, 29(4), 674-680. 2006.

[21] Britzki, L. G. P., Britzki, M. P., Silveira, L. H., Miranda, L. F., Fechine, G. J. M., Estudo da fotodegradação do compósito polipropileno/fibra de vidro longa: propriedades mecânicas. 10o Congresso Brasileiro de Polímeros; 2009 13-17 Out; Foz do Iguaçu: Associação Brasileira de Polímeros; 2009.