

ESTUDO DAS PROPRIEDADES TERMO-MECÂNICAS DE MADEIRA PLÁSTICA COM DIFERENTES ESPÉCIES DE PÓ DE MADEIRA

Mauro R. S. Silveira^{1*}, Leonardo, Bento¹, Álvaro de Moraes¹, Ruth, M. C. Santana¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul – LAPOL – DEMAT- Porto Alegre – RS

^{1*}mauroricardo@ibest.com.br

Compósitos termosplásticos reforçados com fibras vegetais estão sendo disseminados cada vez mais em diferentes aplicações, como é o caso da madeira plástica como um novo material que substitui a madeira convencional. Neste trabalho foi produzido madeira plástica a partir de resíduo plástico urbano (RPU) e pó de madeira (PM) de diferentes espécies objetivando dar uma alternativa de solução na problemática do RPU e de PM do setor da indústria madeireira, assim como avaliar a influência da incorporação do PP-g-AM nas propriedades térmicas e mecânicas do compósito. O resíduo plástico (PEAD) foi lavado, seco e moído na forma de flakes. Os compósitos de PEAD/PM com proporção mássica (70/30) com e sem a presença de PP-g-AM como agente compatibilizante foram processadas em uma extrusora de rosca simples para obtenção de péletes. Resultados mostraram que a presença do PM influenciou numa diminuição da estabilidade térmica e resistência ao impacto do compósito, e que a presença do agente compatibilizante influenciou em um aumento nas propriedades mecânicas, bem como uma redução nas temperaturas de decomposição.

Palavras-chave: compósitos termoplásticos, PEAD, pó de madeira, compatibilizante, estabilidade térmica.

Study of thermal and mechanical properties of thermoplastic composites with different wood flour species

Thermoplastic polyolefin composites reinforced with vegetable fibers have been used in several applications, such as the plastic wood, a new material that replaces the conventional wood. In this paper was produced plastic wood from urban plastic waste (UPW) and wood flour (WF) from different species, and provide an alternative solution to the problem of post-consumer plastic waste and the residue of the (WF) in the wood's industry, and analyses the influence of the MAPP's incorporation in the thermal and mechanical properties. The waste plastic (High Density Polyethylene) was washed, dried and ground in flakes form. The composites HDPE/WF with weight rate(70/30) with and without addition of maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP) as a compatibilizing agent, were processed in a single screw extruder to obtain composite in the pellets form. The results showed that the presence of WF influenced a decrease in thermal stability and impact strength, it was noted that the addition of the MAPP cause an increase in mechanical properties and reduction in decomposition's temperatures.

Keywords: thermoplastic composites, HDPE, wood flour, compatibilizing agent, thermal stability.

Introdução

Um sério problema à sociedade e ao meio ambiente é a poluição causada pelos resíduos plásticos especialmente pelo grande volume que ocupam. O resíduo brasileiro contém de 5 a 10% de plásticos (ambientebrasil), sabe-se que estes materiais demoram muito tempo para se decompor, resultando em grandes problemas, principalmente reduzindo a vida útil dos aterros sanitários, pois prejudicam e retardam a decomposição de outros materiais, criando camadas impermeáveis que afetam as trocas de líquidos e gases gerados no processo de biodegradação da matéria orgânica.

Conforme Rolim (2000), a relação entre resíduos e a problemática ambiental torna-se mais visível quando se trata de resíduos sólidos, uma vez que seu grau de dispersão é bem menor do que o dos líquidos e gasosos, sendo que este apresenta maior proporção em volume no resíduo sólido urbano (RSU).

Entre os resíduos plásticos convencionais (polietileno tereftalato, PET; polietileno de alta densidade, PEAD; policloreto de vinila, PVC; polietileno de baixa densidade, PEBD; polipropileno, PP; poliestireno, PS) encontrados no RSU, o PEAD é o que apresenta maior proporção em volume no resíduo plástico urbano (Plastivida), pois é encontrado em forma, principalmente de embalagens para detergentes e óleos automotivos, sacolas de supermercados, xampus, tampas, iogurtes, recipientes para tintas, potes, utilidades domésticas, entre outros.

A utilização de serragem em compósitos plásticos vem se tornando cada vez mais comum, pois, além de dar uma utilidade a esses resíduos gerados pelo processamento da madeira, que chegam a ser cerca de 40 a 60% do volume total da tora, de acordo com os dados levantados por Lima e Silva (2005), esses incorporam propriedades diferenciais aos compósitos poliméricos. Segundo Yamaji & Bonduelle (2004) o uso dos compósitos (madeira plástica) está crescendo rapidamente devido às vantagens desse produto em relação à madeira convencional, como por exemplo, não trincar, não empenar e exigir pouca ou nenhuma manutenção.

O processamento de compósitos de pó de madeira (PM) em matrizes poliméricas apresenta certas restrições com as condições de processamento, especialmente a altas temperaturas exceto quando os tempos de residência são minimizados. Segundo Vianna et al., (2004) a exposição do resíduo de madeira a altas temperaturas liberam voláteis, resultando no escurecimento, aparecimento de odor e fragilização do compósito. Os compósitos de PM apresentam um aumento da rigidez, dado pela incorporação da carga, e um decréscimo na tenacidade do material decorrente da difícil homogeneização da carga vegetal com a matriz polimérica. A utilização de PM é de grande interesse para uso em compósitos termoplásticos uma vez que as propriedades, físicas, químicas e mecânicas estão fortemente relacionadas com o desempenho do produto final, isto é superior a madeira convencional. Porém o processamento do polímero carregado é dificultoso, pois depende da concentração e natureza químicas da carga e, portanto se faz necessário conhecer o comportamento reológico dos compósitos poliméricos.

Estudos sobre a incorporação de agentes compatibilizantes têm sido abordados por diversos autores, pois segundo Correa et al. (2003) a incorporação de fibras naturais em termoplásticos poliolefinicos apolares, o caráter da celulose requer a compatibilização do sistema através da incorporação de agentes de acoplamento ou de adesão interfacial. Procura-se na escolha desses agentes promover uma melhor adesão interfacial entre o reforço celulósico e a matriz polimérica poliolefínica, para

isso deve-se seguir alguns critérios básicos: inicialmente o compatibilizante ou agente de acoplamento, em contato com a superfície do reforço deve interagir fortemente com as fibras através de ligações covalentes fortes ou interações secundárias do tipo ácido-base ou pontes de hidrogênio. Isto implica que uma quantidade suficiente de grupos funcionais deve estar presente no compatibilizante que possibilite a reação com as hidroxilas da celulose. Outro aspecto considerado é o comprimento das cadeias do compatibilizante que devem ser suficientemente longas de alta massa molecular que permita a formação de emaranhamentos moleculares com a matriz polimérica na interfase através de ancoramento mecânico.

Do ponto de vista mecânico, os agentes compatibilizantes atuam no sentido de evitar o processo de delaminação da fibra na matriz polimérica, que ocorre por incompatibilidade química e acaba comprometendo o reforçamento do compósito devido à transferência ineficiente de esforços na interface fibra-matriz. A formação de ligações covalentes através de reações de esterificação e interações secundárias por pontes de hidrogênio entre o anidrido maleico do PPgAM e as hidroxilas da celulose. (Frolini et al., 2000).

Neste sentido, este trabalho desenvolveu madeira plástica com o intuito de estudar a influência dos três tipos de pó de madeira (PM) em matriz polimérica pós-consumo (PEAD) com e sem a presença de agente compatibilizante nas propriedades termomecânicas dos compósitos.

Experimental

Materiais

Os materiais plásticos utilizados neste trabalho foram polietileno de alta densidade (PEAD), e três espécies de pó de madeira (PM) como mostradas na figura 1, sendo estes: pinus (*Pinus sp.*) fornecida pela empresa São João Ltda., localizada na cidade de Porto Alegre, RS, e as espécies itaúba (*Mezilaurus itauba*) e champagne (*Dipteryx odorata*) cedidas pela madeireira Trimark Ltda. localizada na cidade de Sinop-MT. O PEAD pós-consumo foi proveniente de embalagens de produtos derivados de leite, potes de sorvete e produtos de limpeza.

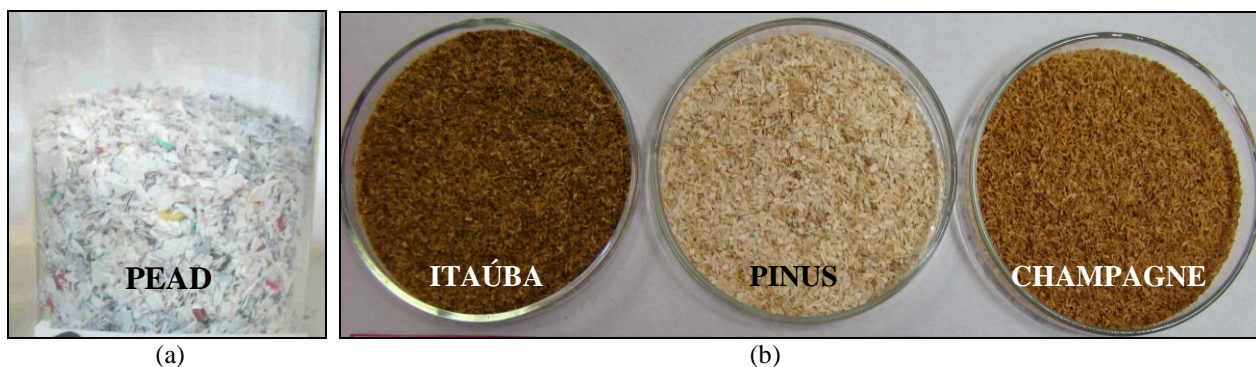


Figura 1: Resíduos sólidos usados: (a) plástico pós-consumo e (b) pó de madeira.

Processamento

Os resíduos de PEAD foram lavados, secos em uma estufa por 5 horas a temperatura de 65°C, e triturados em um moinho de facas Retsch SM 200. O PM passou por separação granulométrica em um sistema de peneiras da marca Bertel da serie Tyler 32 e 16 MESH, sendo selecionado a granulometria de >500 e <1000µm. As misturas de PEAD/PM com proporção mássica de 70/30 sem e com a presença de 2% em massa de PP-g-AM foram processadas em uma extrusora monorosca Ciola, com perfil de temperatura de 160-180-190°C, velocidade da rosca de 50 rpm e granulometria de PM entre 500 e 1000µm. Posteriormente estes compósitos extrudados na forma de péletes foram injetados na forma de corpos de prova de ensaio de impacto na mini injetora da marca Thermo Scientific Haake, sendo as condições de processamento de 250 bar de pressão de injeção durante 6s, e a pressão de recalque de 200 bar por 3s, sendo que a temperatura do molde foi 60°C e a temperatura do cilindro foi 190°C.

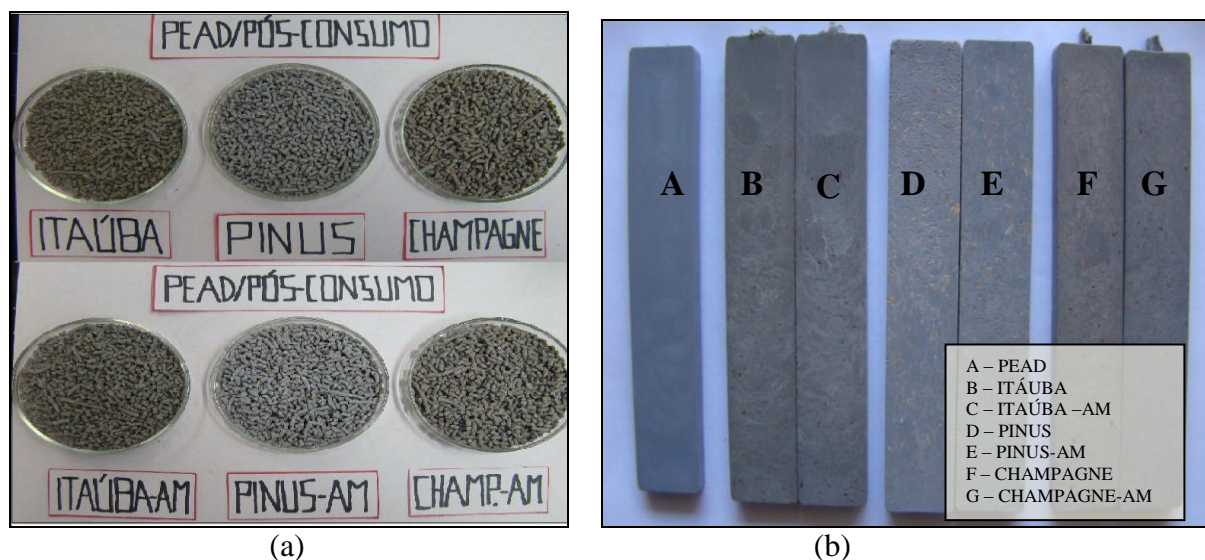


Figura 3: Compósitos de PEAD/PM (a) forma de péletes (extrudado) e (b) corpos de prova de impacto (injetados).

Caracterização

Os compósitos poliméricos PEAD/PM e seus componentes originais (PEAD pós-consumo e o PM das três espécies de madeira) foram caracterizados através de suas propriedades físicas e térmicas. As propriedades mecânicas dos compósitos foram à resistência ao impacto e dureza. A densidade do PEAD, o PM das diferentes espécies e dos compósitos extrudados na forma de péletes foram realizadas em triplicatas e determinadas com o uso do picnômetro, baseado no método B da norma ISO 1183-1:2004(E). O teor de vazios dos compósitos foi determinado baseado na norma ASTM D2734-94. As propriedades térmicas foram realizadas em um analisador termogravimétrico - TGA TA Instruments modelo 2050, de temperatura ambiente até 1000°C, com taxa de aquecimento de 20°C/min e ambiente inerte de nitrogênio. As propriedades mecânicas de impacto e dureza foram

realizadas usando o equipamento CEAST-IMPACT II, baseado na norma ASTM D256-04; e durômetro Shore D da marca Woltest segundo a norma ASTM D2240 respectivamente. Os corpos de prova para os ensaios mecânicos foram obtidos através de injeção, e foram realizadas em oito corpos de prova de cada composição.

Resultados e Discussão

Propriedades físicas

As Figuras 3, mostram os resultados da densidade do PM das três espécies avaliadas, e dos compósitos em forma de péletes. Na Figura 3-a observa-se que o PM da espécie Itaúba apresenta uma maior densidade quando comparada as outras espécies, contudo ela não afeta os compósitos como se observa na Figura 3-b. As densidades dos compósitos não apresentaram variações significativas, mas pode-se observar que a adição do agente compatibilizante (PP-g-AM) nas espécies de Champagne e Pinus influenciou numa diminuição da densidade, embora esta diferença não seja significativa.

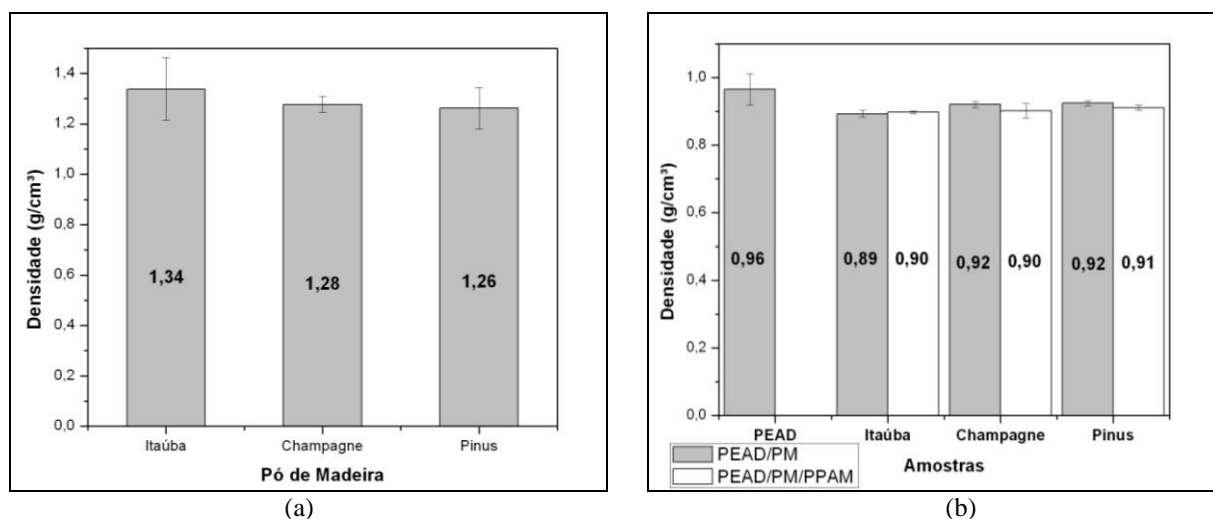


Figura 3 – Densidade das amostras (a) PM das três espécies e (b) PEAD e dos compósitos de PEAD/PM e PEAD/PM/PPgAM.

Correlacionando as densidades dos compósitos (obtidos por extrusão) da figura 3-b com os teores de vazios mostrados na Figura 4, pode-se observar que os compósitos com a presença do agente compatibilizante foram os que apresentaram menor densidade por conter maior teor de vazios indicando que estas amostras não tiveram boa dispersão da carga (PM) na matriz de PEAD durante o processamento por extrusão, assim como uma pobre interação interfacial entre o PM (hidrofílico, por estar composto de componentes polares tais como a celulose, hemicelulose e lignina entre as mais importantes) e a matriz polimérica (hidrofóbica, por estar composta de macromoléculas apolares) confirmando os resultados de Kim, et al., (2006). Esta diferença do teor de vazios foi mais evidenciada nos compósitos de Champagne e Pinus.

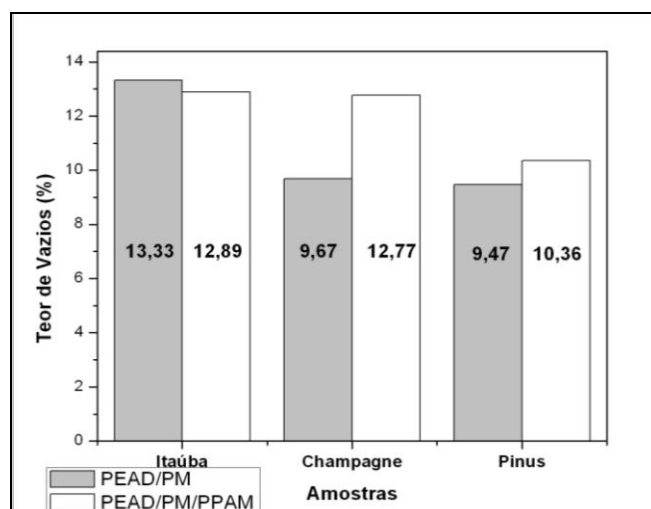


Figura 4 – Teor de Vazios dos compósitos de PEAD/PM e PEAD/PM/PPgAM.

Propriedades térmicas

Nas Figuras 5 e 6, são apresentados os resultados da análise termogravimétrica das três espécies de PM, do PEAD pós-consumo e dos compósitos de PEAD/PM e PEAD/PM/PPgAM. Na Figura 5-a observa-se que a espécie de pinus apresenta maior teor de umidade do que as outras espécies, contudo também apresentou o menor teor de resíduos (1,6%), quando comparada com a espécie Itaúba (14 %), que poderia estar indicando a presença de algum componente inorgânico de maior temperatura de decomposição. Em relação à Figura 5-b, podemos observar que a presença do PPgAM acelerou o processo de decomposição dos compósitos, podendo ser observado pelo deslocamento da curva a esquerda da decomposição do PEAD.

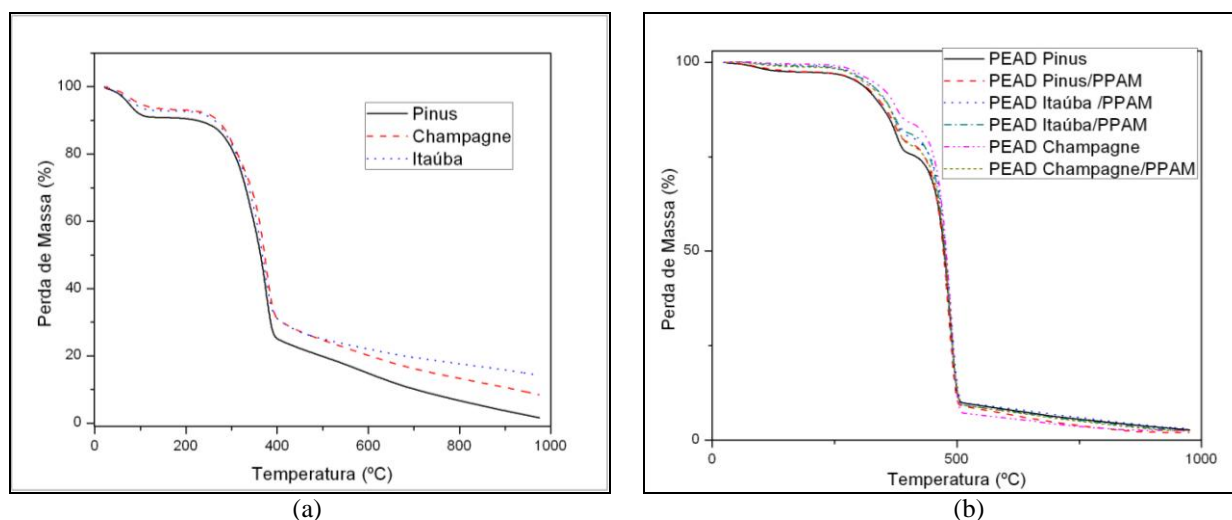


Figura 5 – Curvas termogravimétrica das amostras (a) PM das três espécies e (b) PEAD e dos compósitos de PEAD/PM e PEAD/PM/PPgAM.

Na Tabela 1 são apresentados resumidamente os resultados das propriedades térmicas de TGA e DTG das três espécies de PM, onde pode ser visualizado o maior teor de umidade do pinus e o maior teor de resíduos da Itaúba.

Tabela 1: Propriedades térmicas de TGA e DTG do PM das três espécies de pó de madeira.

PM	Estágio 1		Estágio 2		Resíduos (%)
	Tpico (°C)	Perda de massa (%)	Tpico (°C)	Perda de massa (%)	
Itaúba	76,6	7,17	370,29	78,62	14,21
Champagne	75,1	6,84	375,81	84,78	8,38
Pinus	75,38	9,23	375,71	89,15	1,62

Em relação aos compósitos na Figura 6 são apresentados os resultados da análise de DTG das três espécies de PM, do PEAD pós-consumo e dos compósitos de PEAD/PM e PEAD/PM/PPgAM. Na Figura 6-a observa-se a presença de dois picos a 75 e a 375°C correspondentes a liberação de água e decomposição da celulose respectivamente. Observou-se também a presença de um ombro de curva (300°C) próximo do segundo pico, correspondente a decomposição da hemicelulose e lignina. Em relação a Figura 6-b, nota-se que a presença do PPgAM deslocou a temperatura do pico a esquerda, sendo mais notório nos compósitos com as espécies de itaúba e pinus.

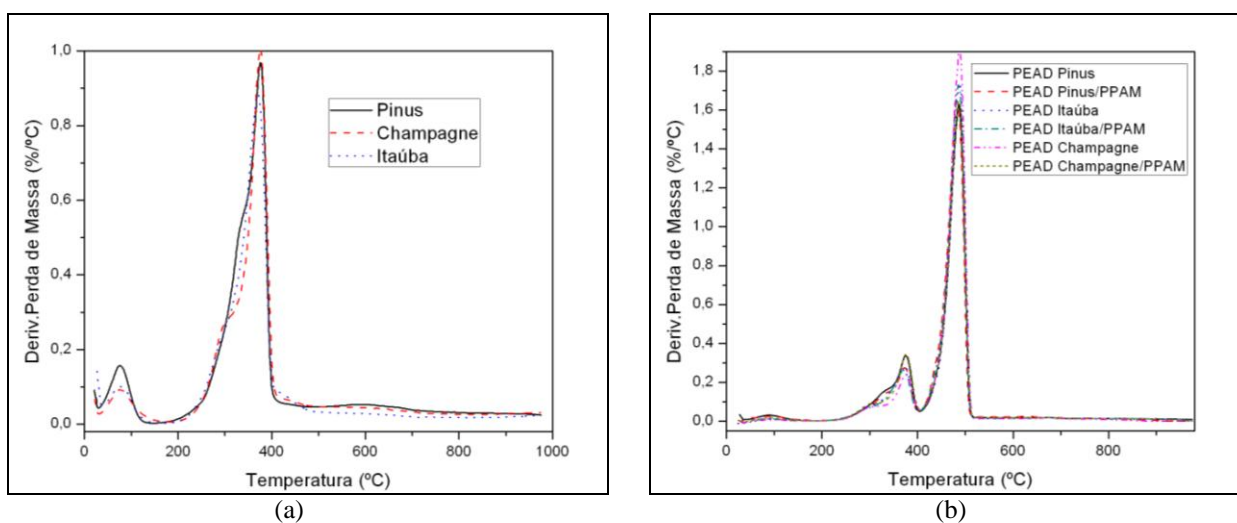


Figura 6 – Curvas de DTG das amostras (a) PM das três espécies e (b) PEAD e dos compósitos de PEAD/PM e PEAD/PM/PPgAM.

Na Tabela 2 são apresentadas o resumo dos resultados das propriedades térmicas de TGA e DTG do PEAD e dos compósitos de PEAD/PM e PEAD/PM/PPgAM. Observa-se uma diminuição da temperatura do pico do terceiro estágio e do resíduo com a presença do PPgAM, indicando que a natureza química deste produto, especialmente a presença de oxigênio neste favoreceu em acelerar o processo da decomposição assim como reduzir o teor de resíduo.

Tabela 2: Propriedades térmicas de TGA e DTG do PM das três espécies e dos compósitos de PEAD/PM e PEAD/PM/PPgAM.

Amostra	Estágio 1		Estágio 2		Estágio 3		Resíduos (%)
	Tpico (°C)	Perda de massa (%)	Tpico (°C)	Perda de massa (%)	Tpico (°C)	Perda de massa (%)	
PEAD	0	0	0	0	488,75	96,66	3,34
PEAD/Itaúba	85,04	0,87	372,23	18,85	488,7	77,19	3,09
PEAD/Itaúba/PPAM	95,19	0,99	371,6	17,74	485,94	78,75	2,52
PEAD/Champagne	95,78	0,48	374,92	15,54	487,53	81,38	2,6
PEAD/Champagne/PPAM	90,95	1,28	375,65	20,72	486,88	75,56	2,44
PEAD /Pinus	91,22	2,64	375,34	21,61	486,17	73,01	2,74
PEAD/Pinus/PPAM	92,42	2,47	373,15	18,79	482,03	76,7	2,04

O oxigênio presente no PP-g-AM como mostrado na Figura 7, poderia estar influenciando na degradação do polímero, por uma possível cisão de algumas macromoléculas (Park et al., 2006).

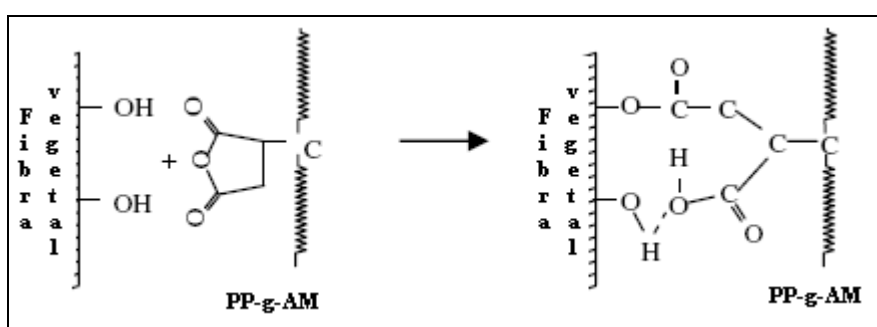


Figura 7: Esquema da influencia do PP-g-AM na adesão com a fibra vegetal.

Propriedades mecânicas

Resistência ao Impacto

Os compósitos de PEAD/PM apresentaram uma resistência ao impacto muito inferior quando comparada com a do PEAD como observado na Figura 8, sendo este resultado esperado devido às características do PEAD e a presença da carga (PM) que aumentou a rigidez do material diminuindo sua absorção de energia ao impacto.

Em relação aos compósitos podemos notar que não houve diferenças significativas, porém a espécie Champagne apresentou maior absorção de energia ao impacto quando comparada com as outras. A incorporação do agente compatibilizante resultou num aumento da resistência ao impacto, como era esperado, já que em compósitos termoplástico a resistência ao impacto depende em parte da capacidade de dissipação de energia da matriz e as características da interface, logo esse aumento ocorrido nas amostras com PP-g-AM provavelmente ocorreu pela maior dificuldade de delaminação da fibra na matriz, devido ao PP-g-AM que favoreceu uma maior interação entre fibra e matriz polimérica, constituindo um mecanismo importante de dissipação de energia confirmando assim os resultados obtidos por Correa et al., (2003).

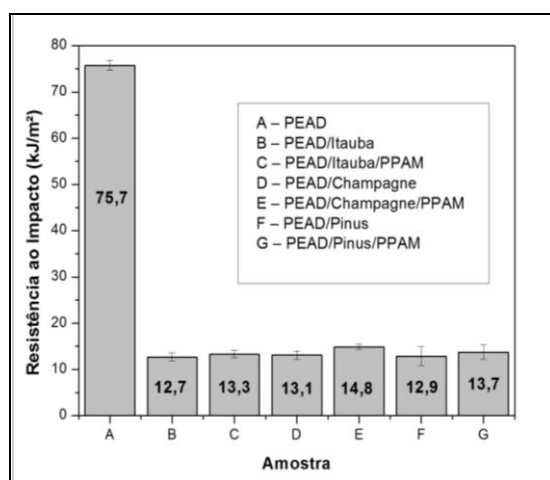


Figura 8 – Resistência ao Impacto do PEAD e dos compósitos

Dureza

Na Tabela 3 são apresentadas os resultados da dureza Shore D15 do PEAD e dos compósitos de PEAD/PM e PEAD/PM/PPgAM. Observa-se que o compósito com a espécie Itaúba apresentou a dureza superior às outras amostras, indicando que essas misturas são mais rígidas confirmando os resultados da baixa resistência ao impacto mostrados na Figura 8. Em relação ao comportamento dos compósitos com a presença do agente compatibilizante observou-se que todas as espécies apresentaram uma dureza menor quando comparadas com os compósitos sem adição do agente. A diferença foi mais acentuada na espécie Pinus, uma redução em torno de 9%. Com exceção dos compósitos de Pinus com agente compatibilizante, todos os outros compósitos apresentaram um aumento na dureza quando comparadas com o PEAD sem PM.

Tabela 3: Dureza do PEAD e dos compósitos de PEAD/PM e PEAD/PM/PPgAM.

Amostra	Dureza Shore D
PEAD	31,29 ± 2,36
PEAD Itaúba	35,14 ± 1,86
PEAD Itaúba PP-g-AM	33,71 ± 3,45
PEAD Champagne	32,86 ± 2,16
PEAD Champagne PP-g-AM	32,00 ± 2,89
PEAD Pinus	33,29 ± 1,98
PEAD Pinus PP-G-AM	30,43 ± 1,90

Conclusões

Os resultados deste trabalho mostraram que o grau de mistura da carga (PM) na matriz polimérica é fator importante e que influencia nas propriedades dos compósitos. Das três espécies de pó de madeira usadas nos compósitos termoplásticos, o PEAD/pinus sem e com a presença do PP-g-AM apresentou melhor estabilidade e uniformidade nas propriedades físicas (maior densidade e menor teor de vazios). Em relação às propriedades térmicas o agente de acoplamento PP-g-AM influenciou

na decomposição do material, sendo mais notório nos compósitos de pinus e de itaúba, e a diminuição da temperatura de decomposição dos compósitos com o agente deve-se ao da natureza química deste, especialmente pela presença de oxigênio que favoreceu acelerando o processo da decomposição assim como reduzir o teor de resíduo. Nas propriedades mecânicas, evidenciou-se que a adição de carga (PM) aumentou a rigidez do material diminuindo a absorção de energia ao impacto, as espécies não influenciaram significativamente nesta propriedade, já a presença de PP-g-AM promoveu uma melhor interação fibra-matriz que acarretou em um aumento da resistência ao impacto. E o resultado de dureza confirmou os resultados obtidos no impacto, as amostras se tornaram mais rígidas quando comparadas ao PEAD, e a espécie Itaúba foi a que apresentou uma menor resistência ao impacto, apresentando assim uma maior dureza como esperado.

Em trabalho futuro serão apresentados resultados das propriedades mecânicas de tração e flexão.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao professor Ricardo Campomanes Santana da UFMT pelo fornecimento do pó de madeira das espécies de Itaúba e Champagne, e ao professor Ricardo Oliveira do Instituto da Química da UFRGS por permitir a realização da moldagem por injeção dos corpos de prova do ensaio de impacto.

Referências Bibliográficas

1. E., Hillig; S., Iwakiri; M., Z., Andrade; A., J., Zattera. *Caracterização de compósitos produzidos com polietileno de alta densidade (HDPE) e serragem da indústria moveleira*. Revista Árvore, Vol.32. 2008
2. H. Kim; S. Kim; H. Kim; H. Yang. *Thermochimica Acta*. 2006,181, 451.
3. <http://www.plastivida.org.br>, acessado dia 19/05/09 as 18 horas.
4. <http://www.ambientebrasil.com.br>, acessado dia 19/05/09 as 19 horas e 15 min.
5. J.M. Park; S. T. Quang; B.-S. Hwang; K. L. DeVries. *Composites Science and Technology*, (2006), 66, 2686.
6. C.,A., Correa; C., N.,P. Fonseca; S., Neves. *Polímeros: Ciência e Tecnologia* (2003) Vol.13 p154-165.
7. A., M., Rolim. *Tese de Mestrado*, Universidade Presbiteriana Mackenzie, SP, 2000.
8. E., G., Lima; D., A., Silva. *Rev. Floresta*. 2005, 35,105
9. M., Yamaji; A., Bonduelle. *Rev. Floresta*. 2004, 34,59
10. W., L.,Vianna; C., A., Correa. *Rev. Polímeros*. 2004.14,5.
11. J., Wu; D., Yu; C., Chi-Ming; J., Kim; Y., May. *Journal Applied Polymers. Science*, vol. 76, p. 1000-1010 (2000).
12. M.,N.,Ichazo; C., Albano; J., González; R., Perera;M.,V.,Candal. *“Polypropylene/wood flour composites: treatments and properties”*. *Composite structures* 54, p. 207-214 (2001).
13. E., Frollini; A.,L., Leão; L.,H.,C., Mattoso. (Eds)- *“Natural Polymers and Agrofiber Based Composites”*, Embrapa Instrumentação Agropecuária, S.Carlos, SP, 2000.