

MOLDAGEM DE COMPÓSITOS DE PEAD RECICLADO COM TECIDO DE FIBRAS DE JUTA E AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES DE FLEXÃO

Cristiane C. Maciel¹, Natália Murakami², Jane M. Faulstich de Paiva^{1,2*}

1) Pós-graduação em Ciência dos Materiais–PPGCM–UFSCar–Universidade Federal de São Carlos/Campus Sorocaba, Rodovia João Leme dos Santos, km 110, SP–264, Bairro do Itinga, CEP 18052–780, Sorocaba–SP, Brasil.

2) Departamento de Engenharia de Produção–UFSCar–Universidade Federal de São Carlos/Campus Sorocaba, Rodovia João Leme dos Santos, km 110, SP–264, Bairro do Itinga, CEP 18052–780, Sorocaba–SP, Brasil. Correio electrónico: jane@ufscar.br ou jane.mfpaiava@gmail.com

Recibido: Julio de 2018; Aceptado: Septiembre de 2018

RESUMO

Um dos polímeros mais importantes é o polietileno de alta densidade (PEAD) devido à sua diversidade de aplicações, como em embalagens, peças para automóveis, brinquedos, utensílios domésticos, entre outros. Como o PEAD é um polímero muito utilizado no mundo, diversas pesquisas têm sido realizadas no sentido de propor o reuso para o PEAD descartado e assim minimizar os impactos ambientais que este pode causar. No caso, uma alternativa é a utilização do PEAD reciclado para moldar compósitos com fibras naturais. Neste contexto, o presente trabalho utilizou PEAD reciclado com diferentes porcentagens (10, 20 e, 30% m/m) de PEAD graftizado para moldar compósitos com tecido de fibras de juta, e avaliar suas propriedades mecânicas em flexão. A moldagem dos compósitos foi realizada em uma prensa hidráulica por processo de compressão a quente, com utilização de um molde metálico. Após as moldagens foram cortados 12 corpos de prova de cada tipo de moldado, de acordo com a norma ASTM D790. Na sequência, foram realizados ensaios de flexão e análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV). A partir dos resultados, pode-se salientar que o PEAD graftizado foi importante para a interação dos materiais e que a utilização de 10% de PEAD graftizado foi suficiente para ocorrer adequada adesão interfacial fibras/matriz, resultando em resistência à flexão apropriada.

Palavras-Chave: PEAD reciclado, agente de acoplamento, fibras de juta, compósitos.

ABSTRACT

One of the most important polymers is high density polyethylene (HDPE) due to its diversity of applications, such as packaging, automotive parts, toys, household appliances, among others. As HDPE is a widely used polymer in the world, several researches have been carried out to propose the reuse for discarded HDPE and thus minimize the environmental impacts. In the case, an alternative is the use of recycled HDPE to mould composites with natural fibers. In this context, the present work used recycled HDPE with different percentages (10, 20 and, 30% w/w) of grafted HDPE to shape composites with jute fiber fabric and to evaluate its mechanical properties in flexural tests. The molding of the composites was carried out in a hydraulic press by means of a hot pressing process, using a metal mold. After molding, 12 specimens of each type of molding were cut according to ASTM D790. Then flexural tests and scanning electron microscopy (SEM) were performed. From the results, it can be emphasized that the grafted HDPE was important for the interaction of the materials and that the use of 10% of grafted HDPE was enough to produce adequate interfacial fibers / matrix adhesion, resulting in adequate flexural strength.

Keywords: recycled HDPE, coupling agent, jute fibers, composites.

INTRODUÇÃO

Atualmente, os materiais poliméricos fazem parte do cotidiano de pessoas do mundo todo, ocasionando também a geração de grande quantidade de resíduos plásticos. A conscientização para alternativas que buscam diminuir os impactos ambientais que esses materiais causam vem crescendo constantemente [1,2]. Medidas como a reciclagem de polímeros e reintrodução desses materiais têm ganhado espaço nas pesquisas científicas e nas indústrias [3,4]. A viabilidade técnica e econômica da reciclagem desses materiais é de grande

importância para amenizar tais problemas, que podem ser tratados de várias formas, inclusive sua utilização para obter um material compósito que, por definição, significa material formado por duas ou mais partes com propriedades físico-químicas distintas. Essa combinação de diferentes materiais pode resultar em um compósito com propriedades superiores às de seus constituintes [5]

Um compósito é constituído por uma matriz e um reforço, no caso, a matriz pode ser um polímero e o reforço pode ser algum tipo de fibra (vegetal, animal ou sintética). Geralmente, o reforço proporciona resistência mecânica e rigidez ao compósito; assim, uma quantidade adequada de reforço pode trazer melhorias de propriedades mecânicas ao material [6,7].

O Polietileno (PE) é um termoplástico abundante, apresenta comportamento dúctil, resistências química e elétrica, alta resistência a umidade e é de fácil processamento [8]. Existe uma larga faixa de variedades de PEs, que se diferem por suas densidades, massa molar, entre outras. Cada tipo apresenta características específicas, em relação à propriedades como flexibilidade, morfologia, transparência e resistência ao impacto. Nesse contexto podemos destacar o polietileno de alta densidade (PEAD) [8,9].

O PEAD virgem possui determinadas propriedades mecânicas, como resistência à tração, impacto, flexão, que após a reciclagem tendem a diminuir. No entanto, essa deficiência pode ser suprida por meio da adição de reforços e cargas. Dessa maneira, pode haver aumento da rigidez, da resistência à flexão e tração, por exemplo, permitindo que o PEAD possa ser utilizado em maior diversidade de aplicações e até comparado com os materiais de engenharia [9,10].

A inclusão de reforços é de grande interesse, pois podem aumentar as propriedades mecânicas do polímero e possibilitar o uso de menores porcentagens de matriz polimérica no compósito [11,12]. Como possibilidade de reforço existe uma variedade de fibras vegetais, e dentre elas pode-se citar a juta, uma fibra cultivada no *Brasil* e que pode ser utilizada, por exemplo, em peças de acabamento interno de veículos, devido às suas propriedades mecânicas, térmicas e acústicas [13].

Os tecidos de fibras de juta são materiais renováveis, de fácil obtenção e com custo baixo. As fibras naturais não são abrasivas, são biodegradáveis e, ainda, geram fonte de renda para a população rural, principalmente, nas regiões *Norte e Nordeste do Brasil* [14,15].

Dentro deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo moldar compósitos com tecido de fibras de juta, avaliar a incorporação de diferentes concentrações de PEAD graftizado em matriz de PEAD reciclado, e realizar a comparação de propriedades de flexão dos materiais moldados.

PARTE EXPERIMENTAL

MATERIAIS

Para a moldagem dos materiais foram utilizados *pellets* de PEAD reciclado, obtidos na cooperativa de reciclagem *Coreso* (*Sorocaba/SP, Brasil*) e PEAD graftizado com anidrido maleico (marca *Chemtura*), ambos com densidade média de 1,0 g/cm³.

A moldagem dos materiais foi realizada por compressão a quente, em um molde de liga de alumínio (dimensões internas úteis de 250 mm·13 mm·4 mm), no qual foi aplicado um desmoldante contendo uma mistura de cera de carnaúba com solventes derivados de petróleo para facilitar, posteriormente, a desmoldagem dos materiais.

Este tipo de molde foi acoplado a uma prensa hidráulica (marca *Marconi*, modelo MA098 A/E), com força de moldagem de 6 toneladas, em temperatura de 190°C, durante 30 minutos. No caso da moldagem dos compósitos, foi utilizado um tipo tecido de fibras de juta, com arranjo *plain weave* e gramatura de 382 g/m², desenvolvido pela empresa *Castanhal/Brasil*.

A Tabela 1 apresenta as proporções dos dois tipos de PEAD com e sem tecido de fibras de juta.

Tabela 1: Proporção utilizada para a moldagem dos materiais em massa (% m/m) de PEAD reciclado e graftizado com e sem tecido de fibras de juta.

Materiais moldados (Códigos)	Componentes		
	PEAD reciclado (%)	PEAD graftizado (%)	Tecidos de fibras de Juta
PEAD90R10G	90	10	-
PEAD90R10G /TJ			1
PEAD80R20G	80	20	-
PEAD80R20G /TJ			1
PEAD70R20G	70	30	-
PEAD70R20G /TJ			1

MÉTODOS

Ensaio de flexão. Os ensaios de flexão nos materiais moldados foram realizados conforme os parâmetros estabelecidos pela norma ASTM D790 [16]. A partir de cada placa de material moldado foram cortados 12 corpos de prova nas dimensões de 127,0·12,7·3,0 mm (Figura 1) e ensaiados em flexão, utilizando uma máquina de ensaios universal *Emic DL-10000*, com capacidade de 100 kN, e velocidade de ensaio de 2,56 mm/min.

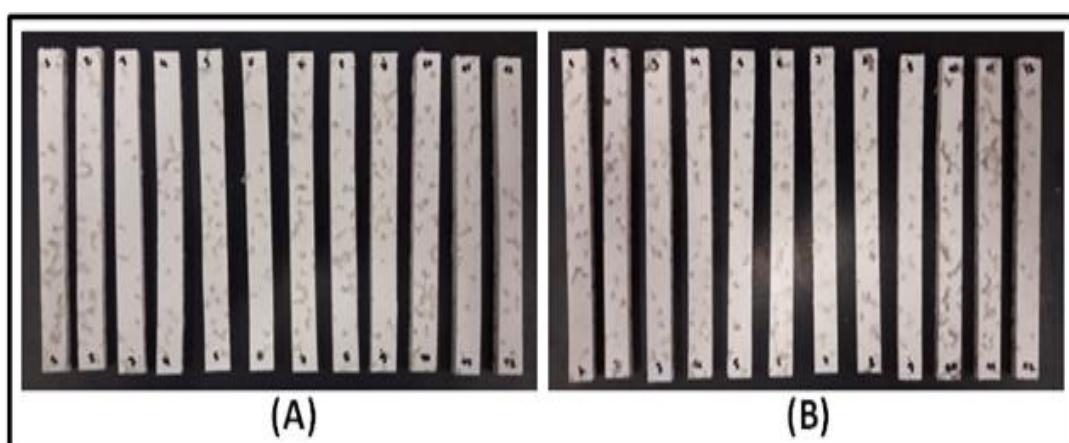


Figura 1. Fotografias de alguns conjuntos de corpos de prova cortados para os ensaios de flexão: (A) PEAD reciclado com 20% de PEAD graftizado (PEAD 80R20G); (B) PEAD reciclado com 20% de PEAD graftizado com 1 camada de tecido de fibras de juta (PEAD 80R20G/TJ).

Microscopia eletrônica de varredura (MEV). Antes da realização deste tipo de análise, as amostras foram cortadas (Figura 2) e colocadas em estufa em temperatura de 100°C, durante 3 horas para retirada de umidade. As imagens foram obtidas por um microscópio eletrônico de varredura da marca *Hitachi*, modelo TM3000, operando em voltagem de 15 kV.

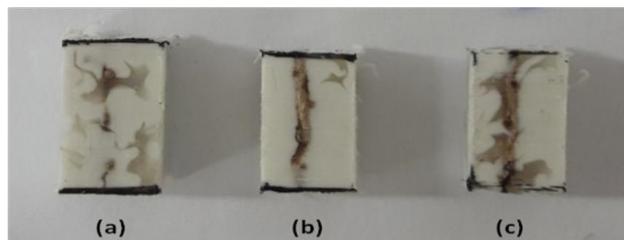


Figura 2. Amostras cortadas, para análise de MEV, de compósitos de PEAD reciclado reforçados com uma camada de tecido de fibras de juta, com suas respectivas porcentagens de: (a) 10%, (b) 20% e, (c) 30% em massa de PEAD graftizado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, verificou-se que o processo de moldagem foi adequado, pois as placas moldadas não apresentaram superfícies com bolhas ou vazios; e houve boa dispersão do PEAD graftizado na matriz de PEAD reciclado com e sem o tecido de fibras de juta.

Após os ensaios de flexão foi possível observar que nenhum corpo de prova (Figura 3) apresentou fratura total após o ensaio de flexão.

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados das médias das propriedades dos ensaios de flexão dos 12 corpos de prova de cada conjunto (Figura 3, Tabela 1). Conforme os resultados apresentados na Tabela 2 pode-se observar que ao considerar o desvio padrão dos compósitos,

os valores das propriedades são próximos, ou seja, a diferença entre os valores de cada propriedade é praticamente desprezível. Pode-se considerar que ocorreram resultados similares nas propriedades mecânicas com a utilização de menor porcentagem de PEAD graftizado.

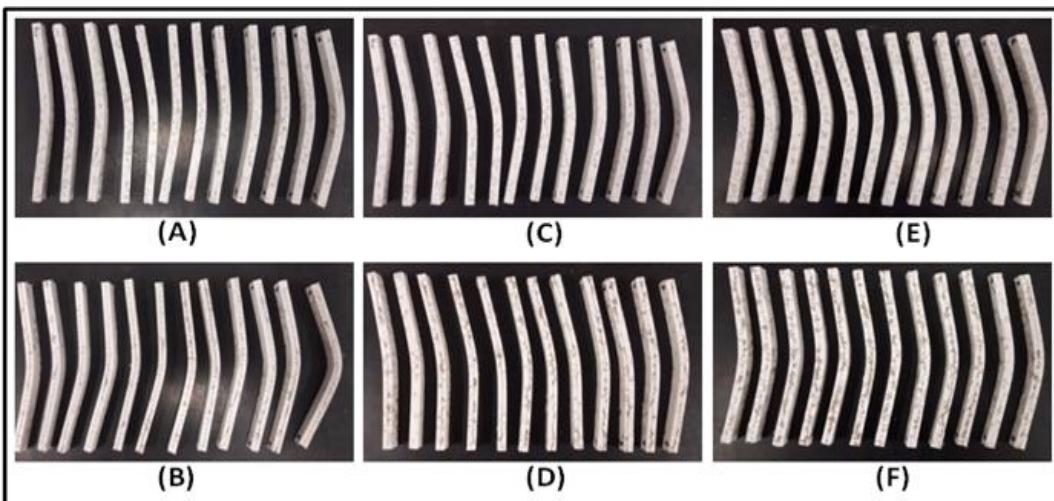


Figura 3. Corpos de prova após ensaio de flexão: (A) PEAD90R10G, (B) PEAD90R10G/TJ, (C) PEAD80R20G, (D) PEAD80R20G/TJ, (E) PEAD70R20G e (F) PEAD70R20G/TJ.

Tabela 2. Resultados dos ensaios de flexão dos moldados de PEAD reciclado com PEAD graftizado: com e sem tecido de fibra de juta.

<i>Materiais moldados Códigos</i>	<i>Resistência máxima (MPa)</i>	<i>Deformação Máxima (mm)</i>	<i>Módulo de elasticidade (MPa)</i>
PEAD90R10G	$34,05 \pm 5,73$	$15,82 \pm 0,94$	$1.145,0 \pm 275,90$
PEAD90R10G/TJ	$31,74 \pm 1,70$	$14,83 \pm 0,59$	$840,80 \pm 113,40$
PEAD80R20G	$21,31 \pm 1,20$	$17,12 \pm 0,73$	$737,50 \pm 46,3$
PEAD80R20G /TJ	$21,31 \pm 1,10$	$16,56 \pm 1,12$	$624,60 \pm 56,09$
PEAD70R20G	$19,98 \pm 1,68$	$17,40 \pm 0,61$	$535,80 \pm 65,82$
PEAD70R20G/TJ	$20,40 \pm 1,40$	$16,98 \pm 0,75$	$525,30 \pm 58,72$

Na Figura 4 estão apresentadas as imagens, obtidas por MEV, das amostras de compósitos contendo PEAD reciclado com uma camada de tecido de fibras de juta, nas quais foram variadas somente as porcentagens (10, 20 e 30% em massa) de PEAD graftizado.

De acordo com as observações realizadas por MEV notou-se que é indispensável o uso do PEAD graftizado para estabelecer interações na interface fibras/matriz, pois é um fator importante para o resultado final do compósito, uma vez que as fibras vegetais são hidrofílicas e o PEAD sem modificação é hidrofóbico. Desta forma, torna-se essencial o uso de algum tipo de agente de acoplamento para aumentar a adesão interfacial entre as fibras vegetais e a matriz

polimérica. No caso, o PEAD graftizado utilizado, possui em sua composição o anidrido maleico, estabelecendo em uma extremidade a ligação com a matriz polimérica de PEAD e na outra extremidade, a ligação com as fibras vegetais. Isto ocorre devido a seus grupos polares formarem ligações químicas com os grupos hidroxilas presentes nas fibras de juta, permitindo o aumento na interação da interface fibra/matriz.

A Figura 4 revela que independente da porcentagem do PEAD graftizado ocorreu boa interação na interface fibras e matriz polimérica de PEAD, sem a presença de vazios ou bolhas. *Panaitescu et al.* [12] também observou boa aderência na interface de matriz polimérica de PP, contendo agente de acoplamento, com fibras vegetais, sem ocorrência de buracos e interstícios, e permitindo que ocorresse a transferência de carga da matriz para o reforço. Outro fato observado é a orientação das fibras em algumas direções (Figura 4) devido ao tipo de tecido utilizado. Os pequenos pontos brancos observados nas imagens são provavelmente impurezas decorrentes do PEAD reciclado.

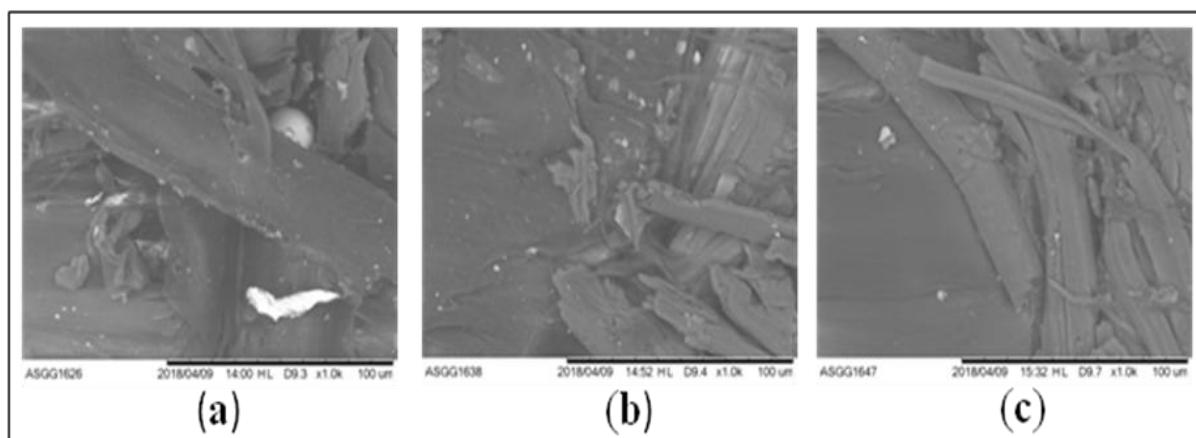


Figura 4. Imagem de MEV com ampliação de 100X do corte lateral das amostras de compósitos contendo PEAD reciclado com tecido de juta com as seguintes porcentagens de PEAD graftizado: (a) 10%, (b) 20% e (c) 30%.

A influência do agente de acoplamento (PEAD graftizado) permitiu adequada interação do tecido de fibra de juta com a matriz polimérica, e deste modo os resultados das imagens corroboram com os resultados de flexão, onde a partir das imagens pode ser verificada boa adesão na interface fibras/matriz com a utilização de apenas 10% de PEAD graftizado.

Ressalta-se que o PEAD graftizado pode custar aproximadamente dez vezes mais que o valor do PEAD reciclado. Ainda, pode ser verificado (Tabela 2) que o aumento da porcentagem de PEAD graftizado, não ocasionou aumento nas propriedades testadas em flexão. Pelo contrário, com o aumento da porcentagem para 20 e 30% de PEAD graftizado ocorreram decréscimos na resistência à flexão e módulo de elasticidade, porém houve aumento pouco significativo da deformação máxima.

Os resultados revelaram que não é necessária a utilização de porcentagem maior que 10% de PEAD graftizado para que ocorram interações e, consequentemente, adesão interfacial entre fibras de juta e matriz de PEAD reciclado. Visto que, ocorreu compatibilidade da fibra na matriz, com a menor porcentagem de PEAD graftizado (10%) testada, revelando, também, que a incorporação de maiores porcentagens (20 e 30%) podem gerar decréscimos na resistência à flexão e respectivos módulos dos materiais moldados.

CONCLUSÕES

A utilização do PEAD reciclado é significativamente importante para a sociedade no sentido de propor aplicações para este tipo de material bastante descartado no mundo.

No caso, o PEAD reciclado utilizado com PEAD graftizado proporcionou a moldagem adequada de compósitos com fibras naturais de juta. Neste contexto, podemos verificar também que a inserção de juta na forma de tecido facilitou a moldagem dos compósitos ((HDPE90R10G/TJ) e não ocasionou decréscimo significativo na resistência à flexão do material quando comparado ao material (PEAD reciclado) sem o tecido. Outro fator importante observado, a partir da análise de MEV, foi a ocorrência de adesão na interface fibras/matriz no compósito, permitindo a transferência de esforço mecânico de flexão da matriz para o reforço.

Vale ressaltar que o aumento de mais de 10% do PEAD graftizado ocasionou redução no valor da resistência à flexão. Assim, a utilização de 10% de PEAD graftizado é a mais adequada, visto que é um polímero de maior preço, e a menor porcentagem utilizada já possibilitou a interação da matriz polimérica com as fibras vegetais utilizadas na moldagem dos compósitos.

Agradecimentos. Os autores agradecem a CAPES e a FAPESP (06/60885-2).

REFERÊNCIAS

- [1] Achilias DS, Roupakias C, Megalokonomos P, Lappas AA, Antonakou V, Chemical recycling of plastic wastes made from polyethylene (LDPE and HDPE) and polypropylene (PP)", *J. Hazardous Materials*, **149(3)**, 536 (2007). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.06.076>
- [2] Leng Z, Padhan RK, Sreeram A "Production of a sustainable paving material through chemical recycling of waste PET into crumb rubber modified asphalt", *J. Cleaner Production*, **180**, 682 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.171>
- [3] Mendes Campolina J, São Leandro Sigrist C, Faulstich de Paiva JM, Oliveira Nunes A, da Silva Moris VA A study on the environmental aspects of WEEE plastic recycling in a Brazilian company, *Inter. J. Life Cycle Assessment*, **22(12)**, 1957 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1282-2>
- [4] Ma C, Yu J, Wang B, Song Z, Xiang J, Hu S, Sun L, "Chemical recycling of brominated flame retarded plastics from e-waste for clean fuels production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **61**, 433 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.020>
- [5] Hu D, Xing Y, Chen M, Gu B, Sun B, Li Q "Ultrastrong and excellent dynamic mechanical properties of carbon nanotube composites", *Composites Science and Technology*, **141**, 137 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2017.01.019>
- [6] Turku I, Keskisaari A, Kärki T, Puurtinen A, Marttila P "Characterization of wood plastic composites manufactured from recycled plastic blends", *Composite Structures*, **161**, 469 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.11.073>
- [7] Zhai Z, Gröschel C, Drummer D "Tensile behavior of quasi-unidirectional glass fiber/polypropylene composites at room and elevated temperatures", *Polymer Testing*, **54**, 126 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2016.07.003>

- [8] Reano AF, Guinault A, Richaud E, Fayolle B. "Polyethylene loss of ductility during oxidation: Effect of initial molar mass distribution", *Polymer Degradation and Stability*, **149**, 78 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2018.01.021>
- [9] Sogancioglu M, Yel E, Ahmetli G "Pyrolysis of waste high density polyethylene (HDPE) and low density polyethylene (LDPE) plastics and production of epoxy composites with their pyrolysis chars", *J. Cleaner Production*, **165**, 369 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.157>
- [10] Peacock AJ "Handbook of Polyethylene: Structures, Properties and Applications", Marcel Dekker, New York, 2000
- [11] Hosokawa MN, Darros AB, Moris VA da S, Paiva JMF de "Polyhydroxybutyrate Composites with Random Mats of Sisal and Coconut Fibers", *Materials Research*, **20(1)**, 279 (2017). <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2016-0254>
- [12] Panaiteescu DM, Nicolae CA, Vuluga Z, Vitelaru C, Sanporean CG, Zaharia C, Vasilievici G "Influence of hemp fibers with modified surface on polypropylene composites", *J. Industrial and Engineering Chemistry*, **37**, 137 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.03.018>
- [13] Sanjay MR, Arpitha GR, Naik LL, Gopalakrishna K, Yogesha B "Applications of Natural Fibers and Its Composites: An Overview", *Natural Resources*, **7(3)**, 108 (2016). <https://doi.org/10.4236/nr.2016.73011>
- [14] Razmi A, Mirsayar MM "On the mixed mode I/II fracture properties of jute fiber-reinforced concrete", *Construction and Building Materials*, **148**, 512(2017). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.034>
- [15] Mondal IH, Khan MR, Islam M, Islam S "Characterization of grafted jute fiber using acrylate monomers pretreated with alkali", *Fashion and Textiles*, (2016). <https://doi.org/10.1186/s40691-016-0060-2>
- [16] ASTM D 790; Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials; Copyright © ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428–2959, United States, 2007