



Avaliação de propriedades de tração e flexão de compósitos de abs reciclado reforçados com tecidos de fibras de Juta.

Evaluation of tensile and flexure properties of recycled abs composites reinforced with Jute fiber fabrics.

DOI: <https://doi.org/10.24979/ambiente.v1i1.942>

Jane M. F. Paiva - Universidade Federal de São Carlos /UFSCar <https://orcid.org/0000-0001-8924-6194>
Meire N. Hosokawa - Universidade Federal de São Carlos /UFSCar <https://orcid.org/0000-0003-2730-367X>

RESUMO: Os compósitos utilizando materiais reciclados desempenham um papel importante no desenvolvimento da tecnologia, pois possibilitam a reinserção destes materiais na cadeia produtiva. Neste trabalho, foi realizado um estudo comparativo das propriedades mecânicas de compósitos de ABS reciclado reforçados com três tipos comerciais de tecidos bidirecionais: juta trama simples (Tecido 1); juta trama dupla (Tecido 2); e trama juta/algodão (Tecido 3). O método de moldagem foi via compressão a quente e a partir dos moldados foram confeccionados os corpos de prova e, em seguida, submetidos a ensaios mecânicos de tração e flexão. O compósito contendo uma camada do Tecido 3 foi o que apresentou maior resistência à tração ($39,41 \pm 2,14$ MPa), um aumento de 21% em comparação com a matriz, a qual apresentou o valor de $32,56 \pm 1,14$ MPa. Em relação ao ensaio de flexão, o compósito contendo uma camada do Tecido 2 e o compósito contendo uma camada do Tecido 3 foram os que apresentaram os melhores resultados de resistência à flexão ($76,90 \pm 3,66$ MPa e $76,02 \pm 1,63$ MPa, respectivamente) em comparação com a matriz reciclada ($64,80 \pm 3,75$ MPa).

Palavras-chave: Polímero reciclado. Compósitos. Fibras naturais. Juta.

ABSTRACT: Fiber-reinforced polymer composites using recycled materials contribute to technology development, ensuring its insertion into the production chain. In this work, we carried out a study on the mechanical properties of recycled ABS composites reinforced with three commercial types of bidirectional fabrics: simple weft jute (Tecido 1); double weft jute (Tecido 2), and weft jute/cotton (Tecido 3). The composites were processed by hot compression molding and then specimens obtained were subjected to the tensile and flexural tests. The composite containing a layer of Tecido 3 showed the highest tensile strength (39.41 ± 2.14 MPa), an increase of 21% compared to recycled ABS matrix (32.56 ± 1.14 MPa). Regarding flexural properties, the composite containing a layer of Tecido 2 and the composite containing a layer of Tecido 3 showed the best results in flexural strength (76.90 ± 3.66 MPa and 76.02 ± 1.63 MPa, respectively) compared to the recycled matrix (64.80 ± 3.75 MPa).

Keywords: Recycled Polymer. Composites. Natural fibers. Jute.

INTRODUÇÃO

Os níveis crescentes de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) e descartes de formas inadequadas têm causado enorme preocupação, pois representam riscos significativos ao meio ambiente e à saúde humana. Devido à considerável quantidade de materiais poliméricos presentes nos REEE, pesquisas relacionadas a reciclagem desse tipo de material têm sido vistas como uma alternativa para atender as demandas da sociedade e de legislações. Além disso, quando o material é reprocessado há menor consumo de energia para sua produção, menor quantidade de matéria-prima virgem é extraída, e menores consumos de recursos naturais e emissão de gás carbônico para o ambiente (Campolina et al., 2017; Longo et al., 2019).

Entretanto, durante o reprocessamento dos materiais poliméricos, podem ocorrer reações de degradação do polímero que podem afetar as propriedades finais em serviço, como a diminuição na resistência mecânica (Scaffaro; Botta; Di Benedetto, 2012). Neste caso, uma alternativa para tentar mitigar esse problema é combinar o polímero reciclado com um material de reforço, como as fibras por exemplo.

Uma possibilidade viável é adicionar fibras de origem vegetal ou lignocelulósicas como reforços em polímeros reciclados, já que além da redução dos resíduos plásticos, há também o aproveitamento das propriedades das fibras vegetais em substituição às fibras sintéticas, como as fibras de vidro e fibras de carbono, pois as fibras vegetais causam menor desgaste em ferramentas, apresentam menor custo, baixa densidade e maior resistência específica. Fibras lignocelulósicas como sisal, juta, coco, bagaço de cana-de-açúcar, bambu, curauá, entre outras, têm atraído a atenção de pesquisadores de vários países em função da facilidade de obtenção e por possibilitarem acréscimos em valores de propriedades mecânicas de vários polímeros termorrígidos

e termoplásticos (Al-Maadeed; Labidi, 2014; Margoto et al., 2020).

Desta forma, os materiais poliméricos reciclados podem ser utilizados como fonte de matéria prima para a fabricação de novos produtos no mesmo ou em outros segmentos da indústria, reinserindo estes materiais na cadeia produtiva e promovendo, assim, a economia circular, modelo de produção onde os recursos podem ser utilizados de forma mais eficiente (Maia et al. 2019; Bressanelli et al., 2020). Recentemente, pesquisas tem focado em avaliar as propriedades mecânicas e térmicas de materiais poliméricos reciclados e, também, no desenvolvimento de novos materiais compósitos. No estudo de Kumar et al., (2017), foi avaliada a influência da incorporação de resíduos automotivos e de equipamentos eletroeletrônicos nas propriedades mecânicas e térmicas do polipropileno (PP). Os resultados revelaram que houve uma diminuição na resistência a tração, porém um aumento na resistência ao impacto. Barrios et al. (2019) investigaram a influência da incorporação de resíduos da indústria calçadista nas propriedades de mecânicas de blendas de polietileno/polipropileno proveniente de REEE, onde os resultados propuseram a aplicação em setores da construção civil como pisos e paredes e setor automotivo.

Nesse contexto, o objetivo principal deste trabalho foi realizar a moldagem e avaliação de propriedades mecânicas de tração e flexão de compósitos de ABS reciclado reforçados com três tipos de tecidos bidirecionais de fibras de juta, comparando os resultados dos compósitos moldados com a matriz poliméricarecyclada.

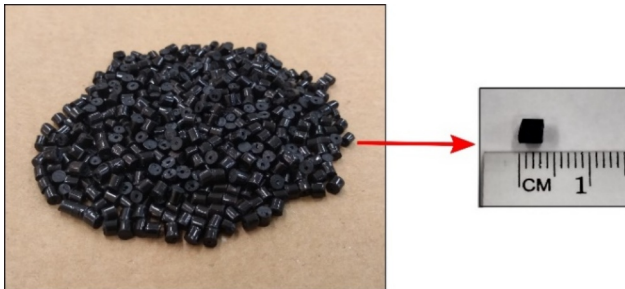
MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Para a moldagem foi utilizada como matriz o copolímero reciclado ABS (acrilonitrila – butadieno – estireno), fornecido por uma

empresa situada na cidade de Sorocaba/SP, a qual coleta as peças descartadas dos equipamentos eletrônicos e realiza um pré-processamento para transformar o copolímero em pellets (grânulos) (Figura1).

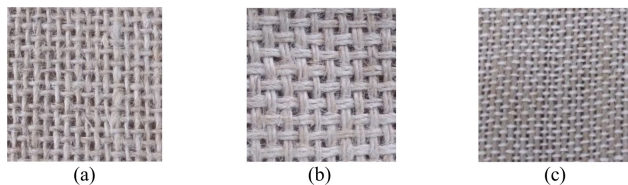
Figura 1: Polímero reciclado de ABS reciclado.



Fonte: próprio autor.

Os tecidos de fibras de juta (Figura 2) foram adquiridos no comércio brasileiro, na forma de tecido bidirecional (plainweave). Utilizou-se três tipos de tecidos: Tecido 1 (Juta, gramatura 365 g.m⁻², 4,5 cordões.cm⁻¹); Tecido 2 (Juta, gramatura 445 g.m⁻², 6,0 cordões.cm⁻¹); e Tecido 3 (Juta/Algodão, gramatura 360 g.m⁻², 7,0 cordões.cm⁻¹ de juta orientados a 0° e 7,5 cordões.cm⁻¹ de algodão orientados a 90°).

Figura 2: tecidos de fibras de juta: (a) Tecido 1; (b) Tecido 2; (c) Tecido 3.



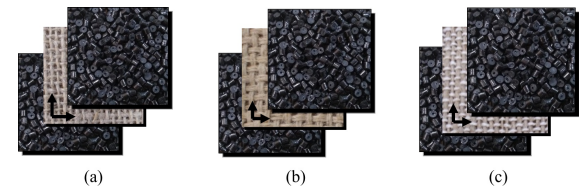
Fonte: próprio autor

Moldagem dos materiais

Os tecidos foram cortados nas dimensões dos moldes para tração (127 mm x 248 mm) e flexão (160 mm x 180 mm). O ABS reciclado foi pesado em uma balança analítica; metade da quantidade pesada foi inserida no molde e depois foi acomodado o tecido de juta, completando o molde com o restante da matriz, formando uma estrutura do tipo “sanduíche”, conforme esquematizado na Figura 3. Os compósitos foram moldados pelo método de compressão a quente, utilizando

uma prensa hidráulica com aquecimento a 200 °C, por 30 minutos com força de moldagem de 6 toneladas. Na sequência, os moldados foram deixados resfriar até atingir a temperatura ambiente, quando as placas foram desmoldadas. As espessuras das placas moldadas foram de 3 mm para o ensaio de tração e 5 mm para o ensaio de flexão.

Figura 3: Esquemas de preparação dos compósitos de ABS reciclado reforçado com: (a) Tecido 1; (b) Tecido 2; (c) Tecido 3.



Fonte: próprio autor.

Ensaio mecânicos

Para os ensaios de tração (ASTM D3039) foram cortados corpos de prova nas dimensões de 250 mm x 25 mm, e testados em máquina universal de ensaios mecânicos com célula de carga de 2000 kgf e velocidade de 2,0 mm.min⁻¹.

Para os ensaios de flexão de três pontos (ASTM D790) foram utilizados corpos de prova nas dimensões de 127 mm x 12,7 mm, célula de carga de 500kgf, distância entre os apoios de 83,2 mm e velocidade de 2,2 mm.min⁻¹. O valor da velocidade foi calculada pela equação 1 (ASTM 790, American Society for Testing & Materials. 2017. Método de teste D790-17), onde R é a velocidade de ensaio (mm / min); L é a distância entre os apoios (mm); d é a espessura média dos corpos de prova (mm) e Z é a constante 0,01 (mm / mm / min).

$$R = ZL^2/6d$$

Após os ensaios mecânicos, os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey para avaliar a influência da presença e do tipo de tecido de fibras de juta nas propriedades de tração e flexão dos compósitos. As médias seguidas

neste teste e que apresentam letras iguais não diferem entre si no nível de significância de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 representa a variação das propriedades de tração e flexão dos compósitos de ABS reciclado em função dos diferentes tipos de tecidos de fibras de juta. A Tabela 1 apresenta os valores médios das propriedades correspondentes a 10 corpos de prova de cada compósito ensaiado através do ensaio mecânico de tração.

De acordo com a Figura 4a-b é possível observar que a resistência à tração do compósito contendo o Tecido 1 (juta, trama simples) foi similar à do ABS reciclado cujos valores foram $31,00 \pm 2,99$ MPa e $32,56 \pm 1,14$ MPa, respectivamente, ambos pertencendo ao grupo "c" na análise variância (Tabela 1). Já para os compósitos contendo os Tecido 2 (juta, trama dupla) e Tecido 3 (trama, juta/algodão), os valores de resistência a tração foram: $35,65 \pm 2,14$ MPa e $39,41 \pm 2,14$ MPa, respectivamente. Esses resultados foram superiores aos encontrados por Margoto et al. (2020), que avaliaram a resistência a tração de compósitos de PP/anidrido maleico-PP reforçados com tecidos de fibras de juta (gramatura de 230g/m²) no qual obtiveram resistência a tração de $19,87 \pm 2,84$ MPa para uma camada e $26,91 \pm 4,00$ MPa. No trabalho de Hosokawa e Paiva (2015), foi avaliada a resistência a tração de compósitos de ABS reciclado contendo tecido de fibras de juta (gramatura de 270g/m²). Os resultados mostraram que a resistência a tração dos compósitos contendo uma ou duas camadas de tecidos de fibras de juta

foram similares à resistência a tração do ABS sem as fibras, devido à baixa adesão entre as fibras e a matriz. Neste trabalho não foi utilizado qualquer tipo de compatibilizante, porém a resistência a tração dos compósitos contendo o Tecido 2 e os compósitos contendo o Tecido 3 foi superior à do ABS sem as fibras, indicando que a resistência a tração aumentou devido a maior quantidade de cordões por centímetro que auxiliaram durante o esforço longitudinal.

Os valores de deformação máxima dos compósitos diminuíram em relação à matriz ($5,04 \pm 0,18$ mm), ou seja, ocorreram decréscimos de 23,2% ($3,87 \pm 0,27$ mm) para o compósito contendo o Tecido 1 (juta trama simples), 28,0% ($3,61 \pm 0,31$ mm) para o compósito contendo o Tecido 2 (juta trama dupla) e 19,8% ($4,04 \pm 0,20$ mm) para o compósito contendo o Tecido 3 (trama juta/algodão), indicando que os compósitos apresentam menor capacidade de deformação. Houve aumento de até 87,2% no módulo de elasticidade em tração dos compósitos em relação ao ABS reciclado, o qual é influenciado pelo alto módulo de elasticidade das fibras vegetais (Luz; Gonçalves; Del'arco Jr, 2006).

Figura 4: Gráficos demonstrando a variação da (a) resistência a tração, (b) módulo de elasticidade em tração, (c) resistência a flexão e (d) módulo de elasticidade em flexão dos compósitos de ABS reciclado em função do tipo de tecido de fibras de juta.

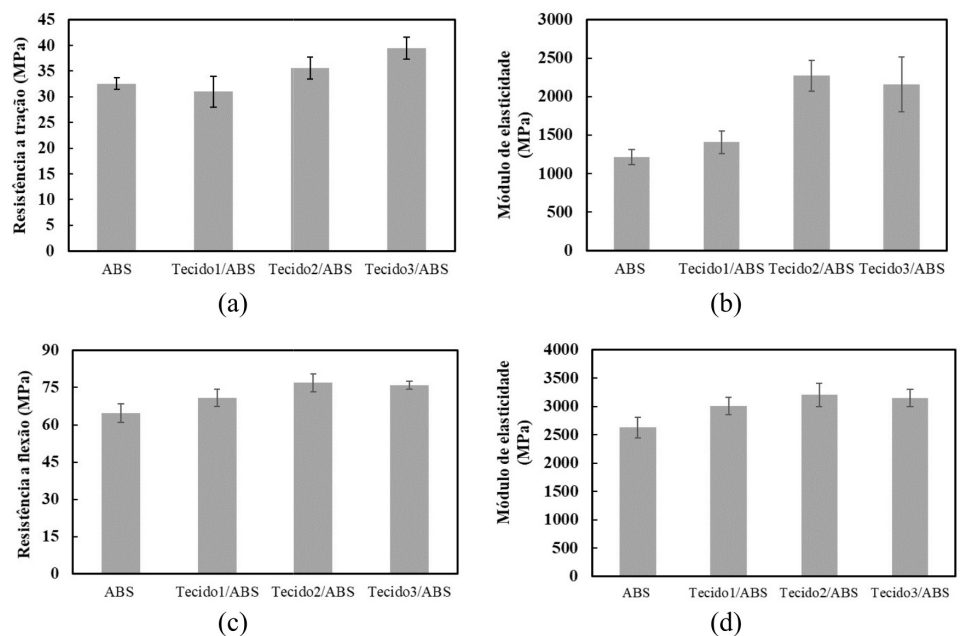


Tabela 1: Valores médios dos resultados do ensaio de tração da matriz de ABS reciclado e dos compósitos contendo tecidos de fibras de juta.

Material	Resistencia à tração (MPa)	Deformação máxima (mm)	Módulo de elasticidade (MPa)
ABS	32,56±1,14 ^{c*}	5,04±0,18 ^a	1213,15±95,12 ^b
ABS/Tecido 1	31,00±2,99 ^c	3,87±0,27 ^{bc}	1407,60±149,07 ^b
ABS/Tecido 2	35,65±2,14 ^b	3,61±0,31 ^c	2271,04±198,00 ^a
ABS/ Tecido 3	39,41±2,14 ^a	4,04±0,20 ^b	2161,59±355,15 ^a

*Médias que não compartilham a mesma letra são significativamente diferentes (Teste de Tukey com p-valor < 0,05).

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios das propriedades correspondentes a 10 corpos de prova de cada compósito ensaiado através do ensaio mecânico de flexão.

Tabela 2: Valores médios dos resultados do ensaio de flexão da matriz de ABS reciclado e dos compósitos contendo tecidos de fibras de juta.

Material	Resistência a flexão (MPa)	Deformação máxima (mm)	Módulo de elasticidade (MPa)
ABS	64,80±3,75 ^{c*}	8,50±1,24 ^a	2628,01±180,76 ^a
ABS/Tecido 1	70,82±3,48 ^b	8,27±1,38 ^a	3008,73±156,70 ^a
ABS/Tecido 2	76,90±3,66 ^a	8,43±0,97 ^a	3205,60±202,79 ^a
ABS/Tecido 3	76,02±1,63 ^a	8,77±0,95 ^a	3151,88±150,41 ^b

*Médias que não compartilham a mesma letra são significativamente diferentes (Teste de Tukey com p-valor < 0,05).

O ABS é considerado um polímero de engenharia e suas propriedades mecânicas, como por exemplo, a resistência a flexão pode ser superior à de outros polímeros utilizados na indústria de equipamentos eletroeletrônicos. No trabalho de Barrios (2019) a resistência à flexão do PP reciclado proveniente de REEE foi de 16,58 ± 0,09 enquanto que, neste trabalho, o ABS apresentou resistência à flexão de 64,80 ± 3,75 MPa.

Em relação aos compósitos, de acordo com os valores da Tabela 2, houve aumento na resistência à flexão de todos os compósitos em relação ao ABS reciclado. Os valores foram: 70,82 ± 3,48 MPa para o compósito contendo o Tecido 1, 76,90 ± 3,66 MPa para o compósito contendo o Tecido 2 e 76,02 ± 1,63 MPa para o

compósito contendo o Tecido 3. Esses resultados foram superiores ao encontrado em trabalho realizado anteriormente (Hosokawa, 2017), no qual a resistência a flexão de ABS reciclado reforçado com tecido de fibras de juta com gramatura de 270g/m² foi de 57,40 ± 2,20 MPa para uma camada e 61,14 ± 4,23 MPa para duas camadas de tecidos de fibras de juta, sugerindo que a quantidade de fibras no tecido, ou seja, tecidos de gramaturas mais altas favorecem para maior resistência a flexão. Já a deformação máxima em flexão se manteve praticamente a mesma tanto para a matriz de ABS reciclado quanto para os respectivos compósitos.

CONCLUSÃO

Todos os compósitos moldados com os diversos tecidos de fibras vegetais (Tecidos 1, 2 e 3) apresentaram propriedades de resistências mecânicas superiores às da matriz de ABS reciclado. O compósito de matriz de ABS reciclado com uma camada do Tecido 3, que contém algodão, além de fibras de juta, apresentou melhor desempenho em relação às propriedades de tração e flexão, pois esse tipo de tecido possui maior quantidade de cordões por centímetro. Adicionalmente, o algodão atuou como um elemento de reforço adicional, auxiliando no alinhamento dos cordões de fibras de juta. Todos os materiais moldados neste trabalho apresentaram propriedades mecânicas e potencial para fabricação de novas peças,

possibilitando a reinserção do ABS reciclado na cadeia produtiva da indústria de equipamentos eletroeletrônicos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES - Código de Financiamento 001) e do Sinctronics (Sorocaba-SP).

REFERÊNCIAS

AL-MAADEED, M. A.; LABIDI, S. Recycled polymers in natural fibre-reinforced polymer composites. In: Natural Fibre Composites. [s.l.] Elsevier, 2014. p. 103–114.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING & MATERIALS. 2017. Test method D3039/D3039M⁻¹⁷: Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials. West Conshohocken, Pennsylvania, USA: ASTM International.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING & MATERIALS. 2017. Test method D790⁻¹⁷: Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. West Conshohocken, Pennsylvania, USA: ASTM International.

BARRIOS, Christian Cuello. Utilização de resíduos da indústria calçadista em blendas de polietileno e polipropileno reciclados provenientes de equipamentos eletroeletrônicos (REEE). 2019. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba, 2019.

BRAZIL MRS MEETING, 15, 2016, Campinas. Tensile strength of recycled ABS composite reinforced with jute fiber fabric. Rio de Janeiro: SBPMAT, 2016. HOSOKAWA, M.N.; PAIVA, J.M.F.

BRESSANELLI, G. Circular Economy in the WEEE industry: a systematic literature review and a research agenda. Sustainable Production and Consumption, p. 15, 2020.

CAMPOLINA, J. M. et al. A study on the environmental aspects of WEEE plastic recycling in a Brazilian company. The International Journal of

Life Cycle Assessment, v. 22, n. 12, p. 1957–1968, 1 dez. 2017.

ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP), 39, 2019, Santos. Material circularity indicator applied to recycled hips and clay composites. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2019. MAIA, A.A.D.; CONSUL, T.B.; PAIVA, J.M.F.

ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP), 39, 2019, Santos. Utilização de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) e da indústria calçadista na moldagem de novos materiais: ruma à economia circular. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2019. BARRIOS, C.; PAIVA, J.M.F.; MORIS, V.A.S.

HOSOKAWA, Meire Noriko. Aproveitamento do copolímero ABS reciclado na moldagem de compósitos com fibras de juta e avaliação de propriedades. 2017. 84f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba, 2017.

KUMAR, A., CHOUDHARY, V., KHANNA, R. et al. Recycling polymeric waste from electronic and automotive sectors into value added products. Frontiers of Environmental Science & Engineering, v.11, n.4, p. 1⁻¹⁰, 11 set. 2017.

LONGO, G. et al. Comparison of Greenhouse Gas Emissions in a Cooperative of Recycling of Materials. Revista Virtual de Química, v. 11, p. 190–209, 1 jan. 2019.

LUZ, S. M. DA; GONÇALVES, A. R.; DEL'ARCO JR, A. P. Microstructure and mechanical properties of polypropylene composites reinforced with cellulose from sugarcane bagasse and straw. Matéria (Rio de Janeiro), v. 11, n. 2, p. 101–110, 2006.

MARGOTO, O. H. et al. Mechanical and Thermal Characterization of Jute Fabric-Reinforced Polypropylene Composites: Effect of Maleic Anhydride. Journal of Natural Fibers, p. 1–13, 27 ago. 2020.

SCAFFARO, R.; BOTTA, L.; DI BENEDETTO, G. Physical properties of virgin-recycled ABS blends: Effect of post-consumer content and of reprocessing cycles. European Polymer Journal, v. 48, n. 3, p. 637–648, 1 mar. 2012.