

ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E MORFOLÓGICAS DE MISTURAS DE RASPAS DE PNEU EM MATRIZES TERMOPLÁSTICOS PÓS-CONSUMO

Larissa, S. Montagna^{1*}, Mauro R. S. Silveira², Ruth, M. C. Santana².

^{1*} Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – Porto Alegre – RS, larissambiental@yahoo.com.br

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul – LAPOL – Porto Alegre – RS

Em vista a problemática da grande quantidade de pneus pós-uso, este trabalho tem como objetivo incorporar raspas de pneu pós-uso (RP) em misturas poliméricas de polipropileno (PP) e poliestireno de alto impacto (HIPS) pós-consumo e avaliar suas propriedades mecânicas e morfológicas. Os resíduos plásticos PP e HIPS foram lavados, secos, moídos na forma de flakes. O RP foi separado granulometricamente em um sistema de peneiras da serie Tyler onde foram selecionadas a granulometria de 500 e 1000 μ m. As misturas de PP/RP, HIPS/RP e (PP/HIPS)/RP com proporção mássica (90/10) foram processadas por moldagem por injeção à temperatura de 220°C. Os resultados mostraram que a presença da raspa de pneu influenciou numa diminuição da resistência por flexão e tração em comparação ao material puro (PP e HIPS pós-consumo). Em relação aos resultados de resistência ao impacto, as misturas com a presença do HIPS apresentou uma maior influência na diminuição da energia absorvida, do que a granulometria do RP. A superfície morfológica das misturas poliméricas após ruptura ensaio de tração mostraram sítios de ruptura frágil e outras de ruptura dúctil correspondentes ao HIPS e PP respectivamente.

Palavras-chave: Misturas poliméricas, polipropileno, poliestireno de alto impacto, borracha, pneu pós-uso.

Study of mechanical and morphological properties of mixtures of tyre waste in post-consumer thermoplastic

In sight of the problem of the great amount of rubber tire waste, this work has as objective to incorporate particles of the rubber tire waste scrap (RT) in mixture waste thermoplastic of polypropylene (PP) and high impact polystyrene (HIPS) post-consumer and to evaluate the mechanical and morphological properties. The plastics materials used in this study PP and HIPS were washed, dried and ground in flakes form. The particle size of RP used is 500 and 1000 μ m, separated with a system of bolters of the series Tyler. The mixtures of PP/RT, HIPS/RT and (PP/HIPS)/RT with weight rate (90/10) were processed in an injection molding machine and the temperature used was 220°C. The results showed that the increase of RT influenced in a reduction of the tensile and flexural resistance, when compared with the pure polymers (PP and HIPS post-consumer). In relation to the results of the impact results, the mixtures with the presence of the HIPS showed more influence in the reduction of absorptive energy, compared with the particle size of RT. The morphology surface of polymer mixtures of fracture surface after tensile test showed a fragile rupture and other of ductile fracture correspondent of the PP and HIPS respectively.

Keywords: Polymer mixtures, polypropylene, high impact polystyrene, rubber, tire waste.

Introdução

Uma grande parte dos resíduos sólidos urbanos é composta por mistura polimérica, desde produtos plásticos, blendas e compósitos poliméricos. O processamento de misturas poliméricas para reciclagem foi conseguido com sucesso, mas as baixas propriedades mecânicas e o valor econômico incerto limitam seu reuso mais versátil. O polietileno (PE), o polipropileno (PP), o tereftalato de polietileno (PET), poli (cloreto de vinil) (PVC) e o poliestireno (PS) estão entre os plásticos mais, de desperdício, usados predominante na indústria alimentícia e de embalagens [1].

Outro um problema que preocupa a sociedade, é o aumento da proporção do desperdício da borracha de pneu. No Brasil de 1999 a 2004, 39% de 386 mil toneladas de pneu pós-consumo foram destinados à indústria do cimento como a fonte de energia [2]. Porém este destino produz outro problema, a poluição do meio ambiente, devido à emissão da mistura de gases.

Reciclar representa uma boa alternativa para a eliminação dos plásticos pós-consumo, e obter materiais novos com boas propriedades iguais ou melhores que as matérias-primas, utilizando métodos práticos e, sobretudo baratos [3].

A reutilização das raspas de borracha pneu (RP), dispersas em uma matriz termoplástica, oferece a oportunidade de projetar materiais que futuramente poderiam ser recicláveis, devido à matriz termoplástica apresentar elasticidade, e com isso melhor comportamento mecânico [4]. Muitos estudos foram realizados para investigar o uso da borracha pneu pós-consumo na forma granulada, como um agregado ou um aditivo ao concreto como uma solução possível ao problema da eliminação do resíduo de pneu, e para a reutilização desse recurso, pneus pós-uso, pois ao serem adicionados ao concreto podem melhorar suas propriedades iniciais, apresentando resultados satisfatórios poderia ser utilizado para várias [5, 6].

Siddique & Naik [6], reviu o assunto em detalhe. Sugeriu-se que o concreto com pneu pós-consumo, poderia ser usado no asfalto para a construção de estradas, sendo um absorvente sadio, um absorvente de onda de choque de tremores nos edifícios ou nas barreiras das estruturas para a prevenção do impacto. Acredita-se que tal concreto poderia igualmente ser usado como materiais de construção, e ajudaria na conservação do solo e de água.

Há inúmeras aplicações de resíduos de pneus, desde a utilização em misturas asfálticas, na confecção de tapetes de automóveis ou de tatames e ainda como fonte de borracha para fabricação de solados de calçados, barreiras de ruído elétrico de estrada e incluindo o uso na construção de arrecifes para criadouros de espécies marinhas [7, 8]

Os polímeros modificados passaram por diferentes etapas, levando-se em conta várias propriedades, que depende de fatores tais como a composição da mistura, condições de processamento, aditivos e a temperatura da aplicação [6].

O PP é um dos termoplásticos mais utilizados, como em embalagens e em indústrias de matéria têxtil e de automóvel devido a sua boa processabilidade. Entretanto, sua aplicação como um termoplástico de engenharia é um tanto limitado devido à baixa resistência ao impacto, especialmente na temperatura ambiente e em baixas temperaturas [6].

A legislação considera que os pneumáticos inservíveis abandonados ou dispostos inadequadamente constituem o passivo ambiental, resultando em sério risco à saúde pública, e buscam soluções para métodos econômicos e ambientais melhores como a reciclagem dos resíduos de pneus [4]. Há

pesquisas sobre a utilização de pneu pós-uso incorporado em matrizes poliméricas, mas em número limitado [9, 10, 11].

Este trabalho tem como objetivo é incorporar raspas de pneu em uma matriz polimérica pós-consumo (polipropileno, PP e poliestireno de alto impacto, HIPS) para estudar a influência do tamanho das partículas na interação interfacial entre o pneu e o termoplástico, e segundo estudos realizados por Montagna&Santana, (2008), a proporção ótima de polímero (termoplástico) e resíduo de borracha pneu foi de 90/10, com granulometrias de 500 e 1000 μ m [12].

Experimental

Materiais

Os materiais plásticos pós-uso utilizados neste trabalho foram polipropileno (PP), poliestireno de alto impacto (HIPS) e raspas de borracha pneu (RP). O PP (tampas de garrafões) e o HIPS (copos descartáveis) foram doados por uma empresa de reciclagem da cidade de Santa Cruz do Sul – RS – Brasil. As raspas de pneu foram cedidas por uma empresa de recauchutagem, situada no município de Venâncio Aires – RS. O índice de fluidez (IF) do PP e HIPS pós-consumo é de 5,9 e 7,2 g/10min respectivamente [12].

Processamento

Os resíduos de PP e HIPS foram moídos, lavados e secos em uma estufa com circulação de ar por 5 horas a temperatura de 65°C, passando seguidamente a moagem final para redução de tamanho na forma de flakes em um moinho de facas (EBERLE – Modelo: B13264). As raspas de pneu pós-uso passaram por uma separação granulométrica em um sistema de peneiras da serie Tyler (60 e 24 MESH) correspondente aos tamanhos de partícula de <500 e <1000 μ m respectivamente. As misturas de PP/RP, HIPS/RP e (PP/HIPS)/RP com proporção mássica de 90/10, onde as granulometrias de RP usadas foram de 500 e 1000 μ m, sendo processadas diretamente em uma Injetora (Himaco,LHS130-400T), na forma de corpos de prova de ensaio mecânico de tração e flexão, com pressão de injeção de 60 bar e temperatura de 220°C.

Caracterização

As misturas poliméricas foram caracterizadas quando as propriedades mecânicas e morfológicas. Os ensaios de tração e flexão das misturas foram realizados na Máquina Universal de Ensaio (EMIC), segundo a norma ASTM D638-93 e utilizando a velocidade de ensaio de 50mm/min e força de 4.000N para tração; e velocidade de ensaio de 5.1mm/min e espaçamento de 96mm para flexão. O ensaio de dureza foi realizada com o durômetro de escala Shore D segundo a norma ASTM D2240. Uma outra propriedade mecânica avaliada foi o da resistência ao impacto, na qual foi usado o equipamento CEAST-IMPACT II, baseado na norma ASTM D256-04. A morfologia das amostras

foi caracterizada através da microscopia eletrônica de varredura (MEV) com um Microscópio Eletrônico de Varredura (Philips XL 20). As amostras foram cobertas com o ouro antes de ser examinado com o microscópio em uma tensão de aceleração de 20kV.

Resultados e Discussão

Resistência a Tração

A Tabela 1 mostra os resultados das propriedades obtidas em ensaio sob tração, avaliando das misturas (PP/HIPS/RP). Observou-se que a mistura HIPS/RP apresenta um módulo de elasticidade superior ao da mistura PP/RP, indicando que essas misturas são rígidas, influenciadas pela característica do HIPS. Em relação a granulometria do RP, observa-se no geral, um decréscimo das propriedades mecânicas de tração com o aumento do tamanho da RP de 500 para 1000 μ m [11].

Tabela 1 – Ensaio de tração das misturas PP/RP, HIPS RP e PP/HIPS/RP.

Amostra	Proporção mássica	Granulometria do Pneu (μ m)	R (MPa)	ϵ (%)	E (MPa)
PP/RP	90/10	500	11,4 \pm 0,8	17,9 \pm 1,8	638 \pm 42
		1000	8,8 \pm 0,5	10,0 \pm 1,1	591 \pm 44
HIPS/RP	90/10	500	6,9 \pm 1,3	1,5 \pm 0,3	1003 \pm 180
		1000	6,4 \pm 2,9	1,4 \pm 0,5	885 \pm 229
(PP/HIPS)/RP	90/10	500	6,9 \pm 0,8	8,2 \pm 0,7	615 \pm 39
		1000	5,2 \pm 0,9	3,4 \pm 0,7	631 \pm 76

Resistência a Flexão

A Tabela 2 mostra os resultados das propriedades obtidas em ensaios sob flexão, avaliando o comportamento das misturas poliméricas (PP/RP; HIPS/RP e PP/HIPS/RP). Observou-se que as misturas contendo HIPS apresentaram maior módulo e resistência à flexão do que as misturas de PP/RP. Em relação a granulometria da RP presente nas misturas HIPS/RP observa-se que no geral teve um leve decréscimo do módulo e da resistência á flexão as misturas, já no caso da mistura de PP/RP houve um leve aumento.

Tabela 2 – Ensaio de flexão das misturas PP/RP, HIPS RP e PP/HIPS/RP.

Amostra	Proporção mássica	Granulometria do Pneu (μ m)	R (MPa)	ϵ (%)	E (MPa)
PP/RP	90/10	500	18,9 \pm 1,6	4,0 \pm 0,1	794 \pm 132
		1000	20,3 \pm 0,6	4,0 \pm 0,2	941 \pm 54
HIPS/RP	90/10	500	32,6 \pm 1,6	2,4 \pm 0,1	1974 \pm 109
		1000	31,1 \pm 7,8	3,0 \pm 0,3	1700 \pm 685
(PP/HIPS)/RP	90/10	500	23,1 \pm 1,7	3,9 \pm 0,2	1037 \pm 71
		1000	20,7 \pm 0,4	3,9 \pm 0,1	934 \pm 37

Dureza

Na Figura 1 são mostrados os resultados da dureza das misturas de PP/RP; HIPS/RP e PP/HIPS/RP, onde é observado que a mistura HIPS/RP apresenta dureza superior às demais misturas, resultado que confirma os obtidos pelos ensaios de tração e flexão; indicando que essas misturas são mais rígidas (52 – 55 Shore D) devido à presença do HIPS.

Em relação a granulometria da RP, observa-se no geral, um decréscimo da dureza com o aumento do tamanho da RP de 500 para 1000 μ m, embora para a mistura HIPS/RP com RP de 1000 μ m, houve um leve aumento, este fato pode ser devido a uma má mistura no processamento por injeção do HIPS com o RP, ou poderia ser que as partículas de RP estariam atuando como reforço, que será esclarecido na análise morfológica da figura 4-b.

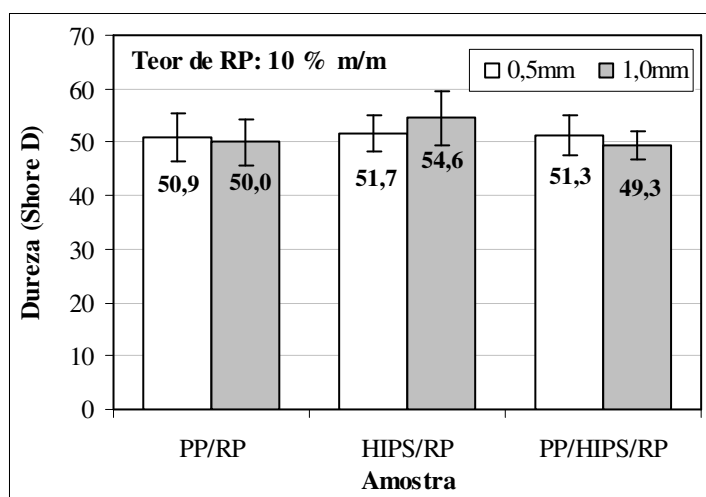


Figura 1: Dureza das misturas PP/RP; HIPS/RP e PP/HIPS/RP

Resistência ao Impacto

Na Figura 2 são mostrados os resultados da resistência ao impacto das misturas de PP/RP; HIPS/RP e PP/HIPS/RP, onde é observada uma queda diferenciada da energia absorvida da mistura HIPS/RP as demais misturas, resultado que confirma os resultados obtidos pela baixa deformação dos resultados dos ensaios de tração e flexão; indicando que essas misturas são mais rígidas devido à presença do HIPS, embora este contenha polibutadieno, o teor deste é geralmente menor de 10 %, portanto a maior rigidez é correspondente ao poliestireno (PS).

Em relação a granulometria da RP, observa-se no geral, um decréscimo da energia absorvida ao impacto com o aumento do tamanho da RP de 500 para 1000 μ m. Este resultado pode ser devido a que as partículas menores de 500 μ m da RP apresentaram melhor interação devido a vários fatores sendo os mais importantes: a maior área de contato, composição química (borracha de

polibutadieno) com o HIPS, que como comentado acima este contém polibutadieno na sua composição.

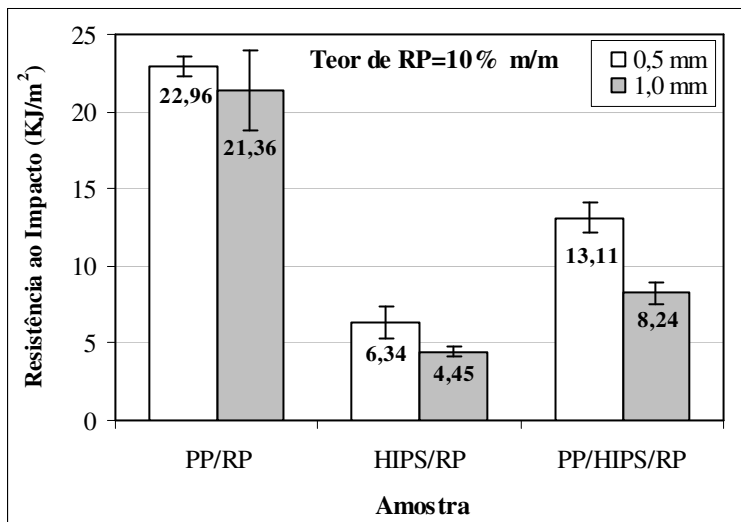


Figura 2 : Resistência ao impacto das misturas PP/RP; HIPS/RP e PP/HIPS/RP.

Propriedades morfológicas

Nas figuras 3 e 4 são mostradas as micrografias da superfície de fratura por ensaio de tração das misturas poliméricas (PP, HIPS) com concentração de 10% de RP e com ampliações de 60 vezes.

Na figura 3-a observa-se a presença de cavidades menores formadas pela remoção da RP de 500µm após o ensaio de tração, indicando que não houve interação interfacial entre a RP e a matriz de PP.

Na Figura 3-b a superfície de fratura apresentou cavidade de maior tamanho devido a remoção da RP de maior granulometria (1000µm). Observa-se também em ambas figuras a fratura foi dúctil destas amostras, característico do PP.

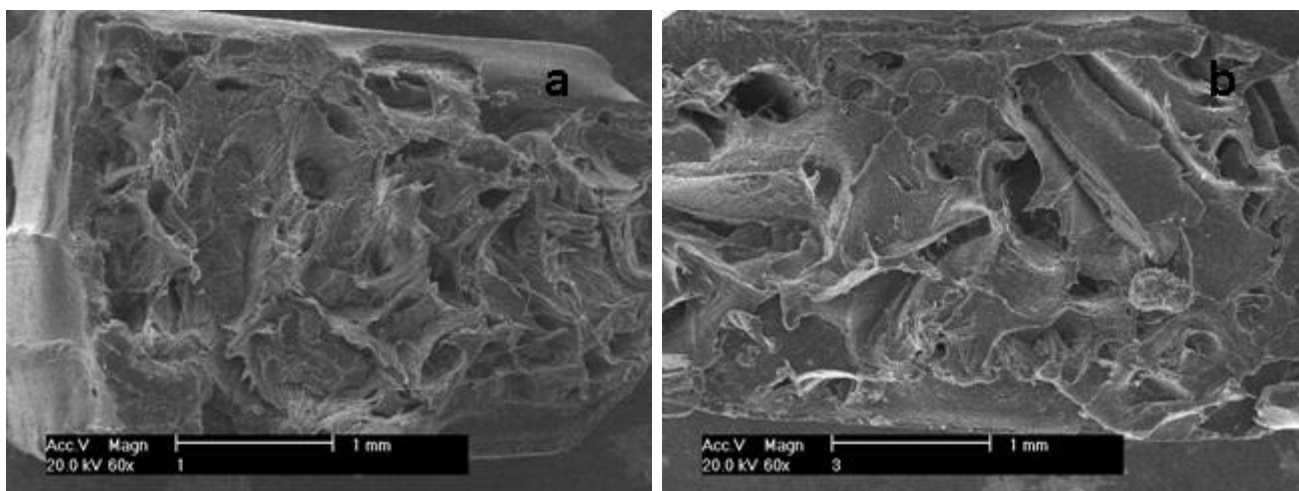


Figura 3: Micrografia das amostras PP/RP fraturadas por tração com ampliação de 60X cuja granulometria da RP é: (a) 500µm, (b) 1000µm.

O mesmo comportamento das misturas PP/RP pode-se observar nas misturas HIPS/RP da figura 3, pois quanto menor for granulometria da borracha pneu maior é a dispersão na matriz polimérica e menor é o tamanho das cavidades como mostrado na figura 4-a.

Também é possível observar em ambas figuras 4-a e 4-b é possível observar a presença de algumas partículas de RP que permaneceram na matriz termoplástica (HIPS), indicando que houve uma melhor interação interfacial entre essas fases, isto devido possivelmente à presença de polibutadieno contido no HIPS.

Comparando ambas as Figuras (3 e 4), observa-se uma diferença na superfície morfológica de fratura, uma fratura dúctil, característico do polipropileno (PP) na figura 3, e na Figura 4 uma ruptura frágil e rígida sendo característico do poliestireno de alto impacto (HIPS), isto confirma os resultados dos ensaios mecânicos.

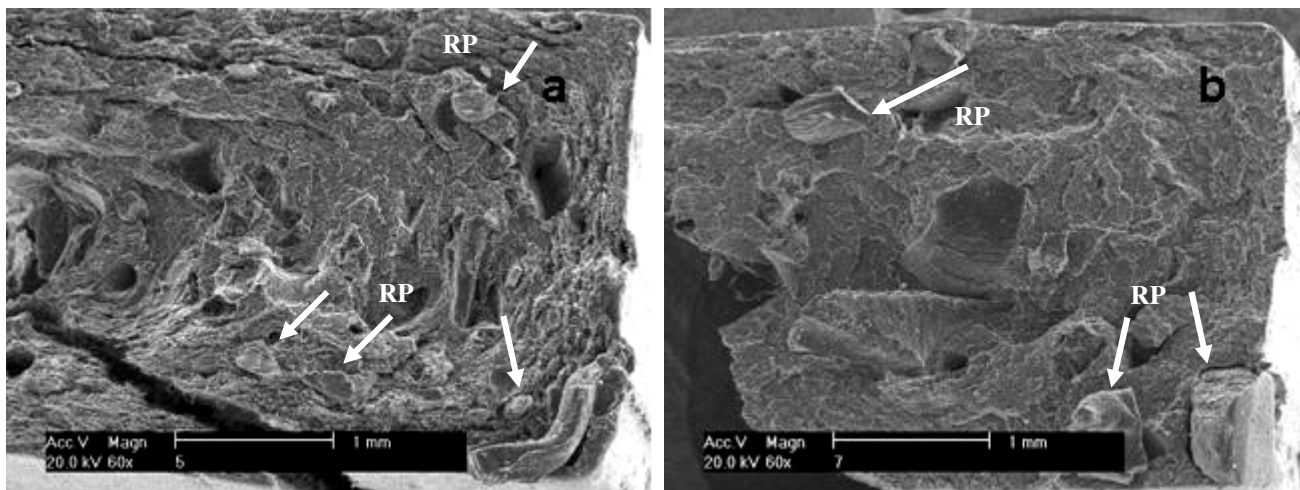


Figura 4: Micrografia das amostras HIPS/RP fraturadas por tração com ampliação de 60X cuja granulometria da RP é: (a) 500µm, (b) 1000µm.

Na Figura 5(a e b) observa-se que a superfície de fratura apresenta maior rugosidade, devido à heterogeneidade da superfície morfológica especialmente na figura 5-a, pois existem regiões de fratura dúctil (em maior proporção) correspondente ao PP (72% m/m) e algumas de fratura frágil, correspondente ao HIPS (18% m/m). Portanto a presença do PP influenciou no aumento no comportamento dúctil do material, devido a maior presença de PP.

Também é possível visualizar na micrografia 5-a uma maior quantidade de cavidades de menor tamanho, quando comparado com a Figura 5-b que apresenta menor quantidade de cavidades de tamanho maior, sendo estas cavidades formadas pela remoção das partículas de RP. Similar ao caso da figura 4 é possível visualizar a presença de RP incluso na matriz termoplástica (PP/HIPS).

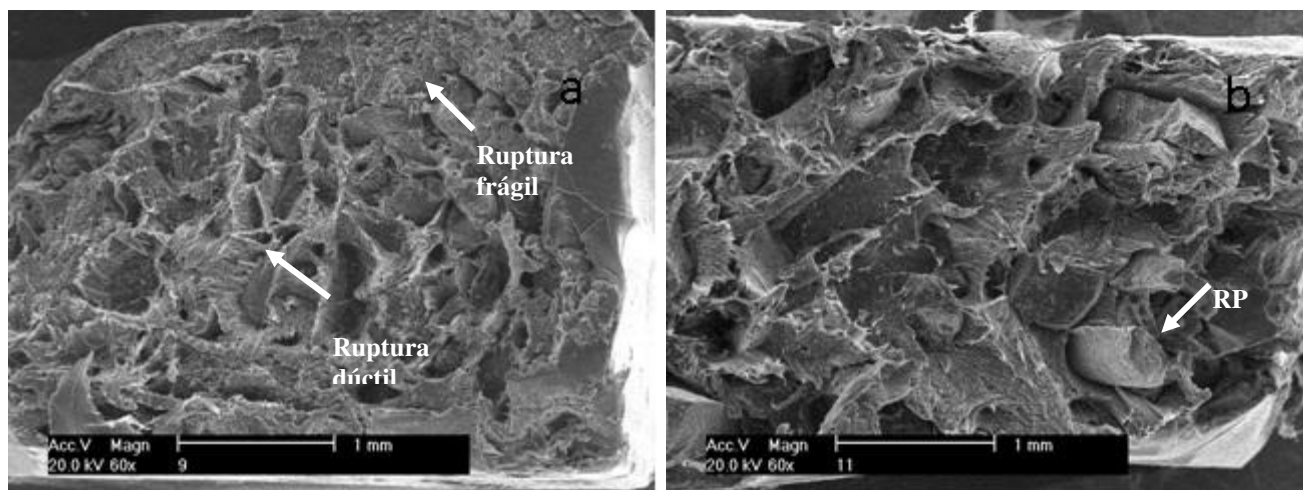


Figura 5: Micrografia das amostras PP/HIPS/RP fraturadas por tração com ampliação de 60X, cuja granulometria da RP é: (a) 500 μ m, (b) 1000 μ m.

Comparando as figuras 3, 4 e 5, foi possível observar nas micrografias da superfície de fratura das diferentes misturas à presença das partículas da RP somente nas figuras 4 e 5 onde as misturas contem HIPS, que indicou uma melhor interação RP/matriz. Já na figura 3, onde a matriz é somente o PP, observa-se a ausência de partículas de RP na superfície de fratura e sim a presença de cavidades menores (500 μ m) e maiores (1000 μ m), formadas pela remoção das partículas de RP no momento do ensaio de tração.

Resultados similares foram obtidos em pesquisas de Ismail&Suradiansyah [13], Awang et.al. [14] e Shanmugaraja at al. [15].

Conclusões

As conclusões obtidas neste trabalho foram classificadas de acordo com suas propriedades mecânicas e morfológicas. Com relação às misturas de PP/RP e HIPS/RP, a presença de RP com maior granulometria influenciou na diminuição de suas propriedades mecânicas de tração, flexão, impacto. Nos ensaios de flexão, as misturas de PP/HIPS/RP a presença do HIPS influenciou no aumento da rigidez da mistura característico deste polímero. Observou-se que houve uma melhor interação da RP na matriz polimérica HIPS e até mesmo a matriz PP/HIPS.

Agradecimentos

Os autores agradecem a LAPOL/UFRGS e a Central Analítica/UNISC pelos ensaios mecânicos realizados de impacto-dureza e tração-flexão respectivamente.

Referências Bibliográficas

1. M. Zanin; S.D. Mancini. *Resíduos Plásticos e Reciclagem: Aspectos gerais e tecnologia*. Ed.; EduFSCa, São Carlos – SP, 2004.
2. Plastivida – Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos - Acessada em 26 de abril de 2009.
Site: http://www.plastivida.org.br/reciclagem/pes_mercado02.htm
3. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (1999) Resolução N° 258, de 26 de Agosto de 1999. Ministério do Meio Ambiente, Governo Federal, Brasil.- Acessada no dia 10 de abril de 2009.
Site: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25899.html>
4. J.H.M. Pinheiro. Dissertação de Mestrado, Universidade Federa, do Ceará, 2004.
5. J. Canevarolo. *Ciência dos Polímeros: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros*.Ed.; Artliber Editora, São Paulo, 2002.
6. R. Siddique; T.R, Naik. *Waste Management*. 2004, 24, 563
7. H.M. da Costa; V.D. Ramos; M.C.G. Rocha. *Polymer Testing*. 2006, 25, 498.
8. S. M. Bertollo; J.L. Fernandez Jr.; V. Chalch. Benefícios Da Incorporação De Borracha De Pneus Em Pavimentos,Asfálticos. In: XXVIII Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitária y Ambiental, Cancun México, 2002
9. S.L. Zhang; Z.X. Xin; Z.X. Zhang; J.K.Kim. *Waste Management*. 2009, 29, 1480-1485.
10. V. Sridhar; Z. Z. Xiu; D. Xu; S.H. Lee; J.K. Kim; D. J. Kang; D.S. Bang. *Waste Management*. 2009, 29, 1058-1066.
11. J. S. Satapathy; A. Nag; G.B. Nando. *Process Safety and Environmental Protection*. 2007, 85, 318-326.
12. L. S. Montagna; R. M. C. Santana Effect of the mixing condition on structure of thermoplastic polymer/tire post-user blends. In Anais do 24th Proceedings of the Polymer Processing Society, Salerno (Italy), 2008.
13. H. Ismail; Suradiansyah. *Polymer Testing*. 2002, 21, 389.
14. M. Awang; H. Ismail; M.A. Hazizan. *Polymer Testing*. 2007, 26, 779.
15. A.M. Shanmugaraja; J.K. Kimb; S.H. Ryu. *Polymer Testing*. 2005, 24, 739.