
FOTOESTABILIZAÇÃO DA BLENDA POLIPROPILENO/POLIESTIRENO DE ALTO IMPACTO¹

Guilhermino Jose Macêdo Fechine

Marcelo Panegassi Britzki

Luis Gustavo Panegassi Britzki

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Resumo

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar a fotoestabilização da blenda PP/HIPS em uma única concentração em massa, 70/30, por meio da adição de um absorvedor de UV (hidroxifenil benzotriazola). A inserção do aditivo na blenda foi realizada por meio de dois diferentes concentrados, um deles tendo como veículo o PP (TIN-PP) e outro, o HIPS (TIN-HIPS). Os componentes individuais das blendas e as blendas, estabilizadas ou não, foram expostos à radiação UV por até nove semanas em uma câmara de envelhecimento acelerado. As técnicas de caracterização utilizadas para monitorar o desempenho tanto das resinas individualmente quanto das blendas, aditivadas ou não, submetidas à radiação UV foram: propriedades mecânicas (tração e impacto) e análise de superfície de fratura usando a microscopia eletrônica de varredura (MEV). A partir dos resultados obtidos por todas as técnicas citadas, verificou-se que cada tipo de concentrado utilizado conferiu uma melhor fotoestabilidade à blenda. O TIN-HIPS, um melhor desempenho nos ensaios mecânicos de tração e o TIN-PP, melhores resultados nos ensaios de resistência ao impacto.

Palavras-chave: Fotoestabilização. Blenda. Caracterização.

¹ Os autores agradecem à Fapesp pelo apoio financeiro e ao CNPq pelas bolsas de IC dos alunos Marcelo. P. Britzki e Luis. G. P. Britzki.

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que o comportamento individual de diversos polímeros diante da radiação UV já foi extensivamente estudado (RABELLO; WHITE, 1996; TANAKA et al., 2000), bem como a ação de aditivos fotoestabilizantes nesses polímeros (FECHINE; SOUTO-MAIOR; RABELLO, 2002; KIKKAWA, 1995). Alguns grupos de pesquisa têm se dedicado ao estudo da fotodegradação de blendas e compósitos poliméricos (SADI; FECHINE; DEMARQUETTE, 2010; DING; QU, 2006). O comportamento dos polímeros diante da radiação UV, quando na presença de cargas minerais ou outro polímero, pode ser alterado devido às interações existentes entre polímero-carga e polímero-polímero. Recentemente, um estudo demonstrou que a fotoestabilidade da blenda PP/HIPS é fortemente influenciada por sua composição, e que esta sofre das mesmas consequências dos mecanismos de fotodegradação individuais de cada componente da blenda (FERNANDES et al., 2011), ou seja, blendas com altas proporções de PP apresentam perdas em propriedades mecânicas e térmicas em tempos bem curtos de exposição. Outro fator bastante importante é a presença de agentes compatibilizantes. No caso da blenda PP/HIPS, verificou-se que a presença do agente compatibilizante SBS-poli(estireno-co-butadieno-co-estireno) confere melhor fotoestabilidade da blenda quando comparada com a blenda sem agente compatibilizante. Esse fato foi atribuído à modificação de morfologia da blenda (FERNANDES et al., 2011). Em outro estudo publicado pelo mesmo grupo, foi verificado que a proveniência do PP, material virgem ou previamente degradado, afeta diretamente o comportamento da blenda PP/HIPS diante da radiação UV (FERNANDES et al., 2012). Nesse caso, o PP degradado, por ser mais opaco e amarelado, conseguiu impedir a penetração da radiação UV nas amostras, e assim, tornar a blenda mais fotoestável.

Contudo, poucos são os trabalhos dedicados ao estudo da fotoestabilização de blendas e compósitos poliméricos (CHAI; ZHANG, no prelo; OLIVEIRA et al., 2012). No caso de blendas poliméricas, alguns questionamentos continuam sendo pertinentes. Ao se inserir qualquer aditivo a uma blenda polimérica, este por sua vez, pode ser mais compatível com um polímero do que com outro, ou até mesmo, não ser compatível com nenhuma das fases poliméricas. O conhecimento da compatibilidade do aditivo no polímero é de fundamental importância para que este seja eficiente. Sabe-se que a adição do aditivo, geralmente, é feita por meio da preparação de um concentrado, para em seguida ser misturado à massa polimérica. No caso das blendas, existe a possibilidade de haver diferentes polímeros com base na preparação do concentrado. Qual deve ser o polímero escolhido para preparação de um concentrado que será misturado a uma blenda polimérica?

Como já foram publicados dados referentes à fotodegradação da blenda PP/HIPS pelo grupo de pesquisa liderado pelo Dr. Guilhermino J. M. Fechine, este trabalho procurou responder à questão levantada anteriormente através de um estudo da fotoestabilização da blenda PP/HIPS por meio da adição de um absorvedor de UV. A adição do absorvedor de UV foi feita por meio da preparação de dois diferentes concentrados, um deles tendo como polímero-base o PP e o outro, o HIPS. Foi estabelecida uma concentração fixa da blenda PP/HIPS e do percentual do absorvedor de UV. Para efeito comparativo fez-se o mesmo estudo com os homopolímeros separadamente. A avaliação do mecanismo de inserção do aditivo foi realizada através de propriedades mecânicas, tração e impacto, e avaliação da superfície de fratura, da blenda e dos homopolímeros, aditivados ou não, e expostos à radiação UV por até nove semanas.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Materiais e métodos

Neste trabalho utilizou-se um polipropileno (PP) virgem com índice de fluidez 1,3 g/10 min. O poliestireno de alto impacto (HIPS) usado possuía índice de fluidez igual a 11,0 g/10 min. O absorvedor de UV usado foi o comercialmente conhecido como TINUVIN 234, da classe das hidroxifenil benzotriazolas.

A preparação do concentrado foi realizada em uma extrusora dupla rosca (Haake, modelo Rheomix PTW 16, acoplada a um reômetro de Torque, modelo Haake Polylab 900) regulada com velocidade de rotação da rosca igual a 80 rpm, e temperaturas de 180 °C na 1ª zona e 200 °C na 2ª, 3ª e 4ª zonas. Como citado anteriormente, foram preparados dois concentrados, sendo um feito com 95% de polipropileno e 5% de absorvedor de UV (TIN-PP) e outro com 95% de poliestireno de alto impacto e 5% de absorvedor de UV (TIN-HIPS). A blenda foi preparada pela mistura física do PP, HIPS e concentrado, obtendo-se uma mistura com concentração mássica final dos polímeros igual a 70/30% e 0,5% de aditivo. Essa mistura foi homogeneizada e adicionada na extrusora utilizando os mesmos parâmetros da preparação dos concentrados. A adição do absorvedor de UV foi realizada de duas maneiras: usando o TIN-PP ou o TIN-HIPS. Foi também preparada uma blenda nas proporções de 70% de polipropileno mais 30% de poliestireno de alto impacto sem a adição do aditivo, que serviu como referência, para evidenciar a influência do aditivo absorvedor de UV. Além das blends, também foram preparadas amostras de PP e HIPS sem e com 0,5% em massa do absorvedor de UV.

A obtenção dos corpos de prova de todas as amostras foi realizada em uma injetora da marca Romi Modelo 65R, seguindo as normas ASTM D638 para ensaios de tração e ASTM D256 para os ensaios de impacto (sem entalhe). A escolha desse tipo de corpo de prova se deve ao fato de que a presença do entalhe pode levar a uma degradação mais intensa na ponta do entalhe devido à presença de tensões geradas na preparação do entalhe. Para cada tipo de material, 20 corpos de prova para o teste de tração e 20 corpos para o teste de impacto foram inseridos numa câmara de envelhecimento acelerado e expostos por até nove semanas. A exposição artificial das amostras foi feita na câmara de envelhecimento da marca Q-Lab, que utiliza lâmpadas fluorescentes UVA, com controle de radiação, temperatura e ambiente de condensação. O ciclo definido da câmara foi de: 8 horas sob luz UV em 60 °C e 4h sem luz em condensação a 50 °C. A intensidade de radiação que alcança a superfície das amostras é de $0,89 \text{ Wm}^{-2}$, seguindo a norma ASTM G-154.

Materiais não expostos e expostos por uma, três, seis e nove semanas foram coletados e ensaiados mecanicamente. Os ensaios de tração foram realizados em uma Máquina Universal de Ensaio MTS-Qtest na velocidade de 20mm/min até a ruptura do corpo de prova. Os ensaios de impacto foram realizados em um equipamento Tinius Olsen modelo Impact 104, à temperatura ambiente. Os resultados obtidos foram avaliados a partir das médias e dos desvios padrão de cada grupo de cinco corpos de prova, de cada tipo de material, com diferentes tempos de exposição. Os mesmos ensaios foram realizados com o material não exposto à radiação UV.

As análises de Microscopia Eletrônica de Varredura foram efetuadas em um microscópio Philips, modelo XL 30 com voltagem de aceleração de 20 kV e imagens formadas por elétrons secundários. A preparação das amostras foi feita através de recobrimento com ouro, localizado no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Gráfico 1 apresenta os resultados referentes ao módulo de elasticidade (E), tensão (TR) e alongamento na ruptura (AR) do PP e HIPS (aditivados ou não), e da blenda PP/HIPS – 70/30 não aditivada e aditivada por meio de dois diferentes concentrados. No caso do PP não aditivado, todas essas propriedades avaliadas diminuem com o aumento do tempo da exposição, indicando que o processo dominante na degradação desse material foi o de reações de cisão molecular, reação característica desse polímero quando exposto à radiação UV na presença de oxigênio (FECHINE, 1998). Para o PP aditivado, nota-se que E e TR apresentam apenas pequenas variações em torno do valor

inicial das amostras não expostas. Contudo, o alongamento na ruptura se mostrou mais sensível à exposição à radiação UV. Sabe-se que os aditivos se concentram na região amorfa dos polímeros, uma vez que durante o processo de cristalização a partir do material fundido essas pequenas moléculas são expulsas da região cristalina e se difundem para região amorfa (RABELLO, 2000). Mesmo que exista a presença do aditivo fotostabilizante na região mais sensível à fotodegradação (região amorfa), qualquer cisão molecular na região das moléculas atadoras leva a um grande reflexo na propriedade de AR.

Amostras de HIPS não aditivadas apresentaram leve aumento nos valores de E durante todo o período de exposição. Isso se deve às reações de reticulação que ocorrem na fase borrachosa do HIPS (GHAFAR; SCOTT; SCOTT, 1975, 1976, 1977). No HIPS aditivado, verificou-se que o aumento no módulo é menos significativo. Isso indica que as reações de reticulação estão diretamente ligadas ao processo de absorção de radiação UV. No caso das propriedades de resistência à tração e ao alongamento na ruptura, observa-se que não houve diferença significativa entre as amostras com e sem absorvedor de UV. Esperava-se que a amostra contendo aditivo apresentasse melhor desempenho. Contudo, como citado anteriormente, a amostra aditivada teve tanto as reações de reticulação como as de cisão molecular um pouco inibidas, conseqüentemente, ocorreu um balanceamento entre aumento e perda de massa molar, resultando em valores bem próximos entre as duas amostras.

Para as blendas deve-se entender que há duas fases, o PP e o HIPS. Como pode ser visto no Gráfico 1, individualmente, o PP apresenta-se muito mais sensível à radiação UV do que o HIPS. Além da presença do carbono terciário (ligação química bastante suscetível às reações de cisão molecular por meio de ataque de radical livre), outro fato importante é que o PP é mais translúcido que o HIPS, fazendo com que a quantidade de material atingido pela radiação UV seja superior nas amostras de HIPS. Como era esperado, a blenda 70/30 apresenta comportamento intermediário dos dois materiais, e isso fica bem claro nos resultados apresentados para a blenda não aditivada no Gráfico 1. Ou seja, existe um balanceamento entre as reações de cisão do PP e reticulação do HIPS, o qual mantém as propriedades de E, TR e AR entre o PP e o HIPS. Para as blendas aditivadas das duas formas, observa-se que a TR se mantém estável durante todo o período de nove semanas de exposição à radiação UV, reinterando a indicação de que o aditivo funcionou de maneira eficaz. Porém, não se observa nenhum reflexo muito significativo para essa propriedade com respeito ao modo com que o aditivo foi inserido nas amostras. Analisando-se os dados de E, nota-se que a amostra que apresentou mais estabilidade e com menos variação foi aquela em que se utilizou o concentrado produzido com o HIPS. Essa observação pode ser mais bem verificada quando se analisa a propriedade mais sensível ao processo degradativo, o AR. No Gráfico 1c, existe uma ampliação da região dos resultados das blendas. Como pode ser visto nessa figura, a blenda produzida com o concentrado TIN-HIPS conseguiu fotoestabilizar a amostra desde os primeiros tempos de exposição, tendo uma perda no AR gradativa, diferente da blenda produzida com o concentrado TIN-PP e a blenda não aditivada.

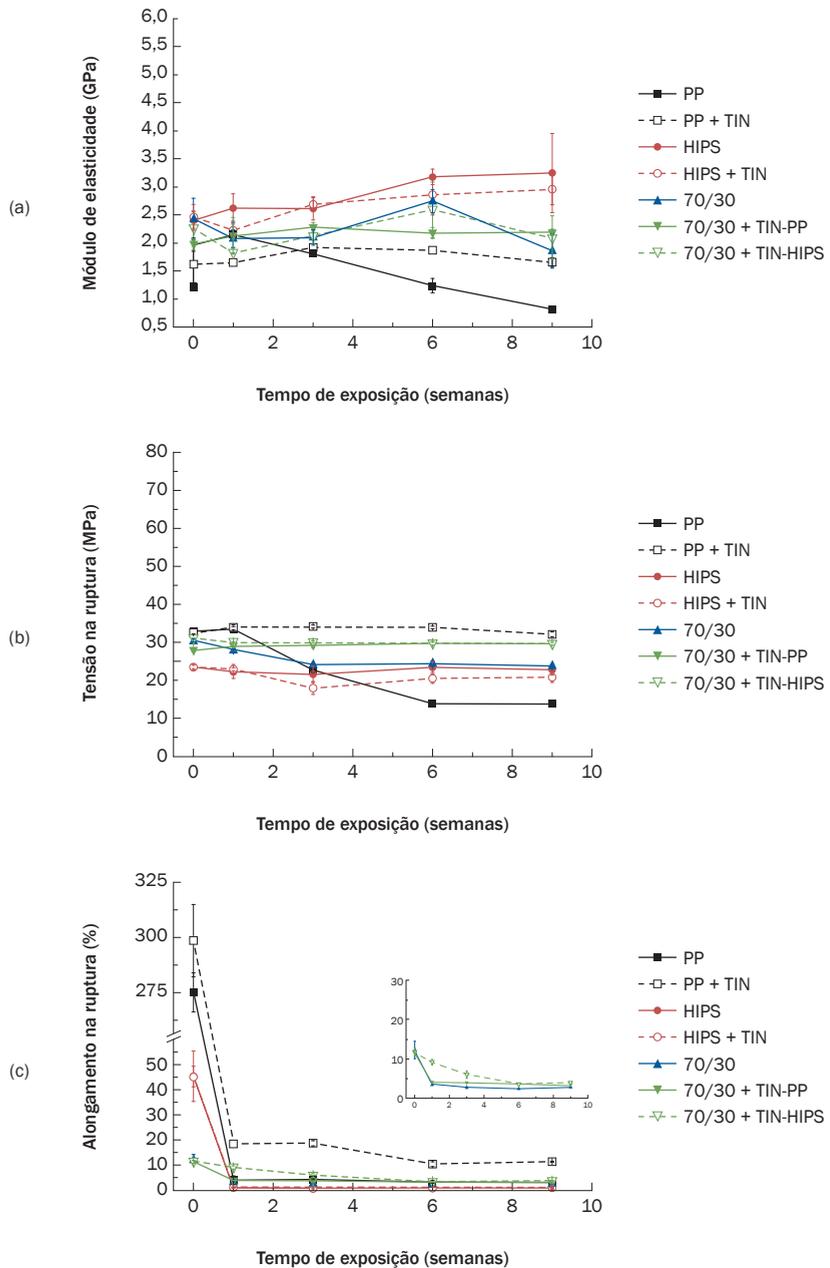


Gráfico 1 Efeito do tempo de exposição nos valores médios do Módulo de Elasticidade (a); tensão na ruptura (b) e alongamento máximo (c) para o PP, HIPS e a blenda PP/HIPS- 70/30 aditivados ou não

O Gráfico 2 apresenta os resultados referentes à Resistência ao Impacto (RI) do PP, HIPS (aditivados ou não) e da blenda PP/HIPS – 70/30 não aditivada e aditivada por meio de dois diferentes concentrados. Os valores de RI para amostras não expostas de PP, PP aditivado, HIPS e HIPS aditivado não estão reportados aqui, pois estas não romperam durante o ensaio, indicando ter valores de resistência ao impacto superiores a 6.000 J/m (pêndulo de 22 Joules). Após uma semana de exposição o PP e o HIPS não aditivado apresentaram queda bastante significativa nos valores de RI. Nos casos dessas amostras aditivadas, percebe-se que a atuação do aditivo fotoestabilizante foi bastante eficaz no PP, como havia sido observado para as propriedades de tração. Para o HIPS, observa-se pouca diferença entre a amostra aditivada e a não aditivada. Isso muito provavelmente ocorre porque o HIPS é um material opaco, que consegue se proteger contra a radiação UV devido à pouca penetração da radiação na amostra, e à presença do aditivo não consegue ser tão expressiva quanto para as amostras de PP. No caso das blendas, todas as amostras não expostas romperam, e isso devido à blenda PP/HIPS não apresentar boa compatibilidade entre as fases. Diferentemente dos resultados obtidos no ensaio de tração, todas as blendas apresentam contínua diminuição nos valores de RI com o aumento do tempo de exposição. Contudo, a blenda aditivada através do concentrado TIN-PP apresentou resultados um pouco melhores que a blenda aditivada com o concentrado TIN-HIPS.

Aqui se faz necessário uma breve explicação sobre a distribuição das duas fases da blenda em um corpo de prova injetado. No caso da blenda apresentada neste trabalho, PP/HIPS, com uma proporção de 70/30, durante o processo de injeção, a fase de maior concentração, o PP, é a primeira a entrar no molde, e essa fase forma uma “casca” que cobre todo o corpo de prova. Sendo a parte interior a essa “casca” formada pela blenda PP/HIPS. Como os dois polímeros são imiscíveis e incompatíveis, a fase composta pelo HIPS se encontra na forma de gotas dispersas em uma fase contínua de PP.

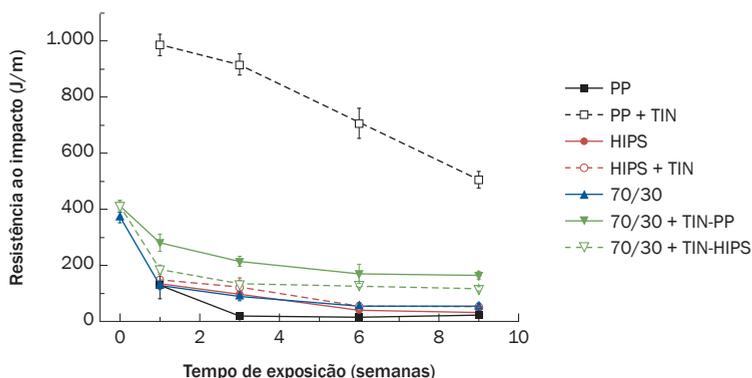


Gráfico 2 Efeito do tempo de exposição nos valores médios da Resistência ao Impacto para o PP, HIPS e a blenda PP/HIPS – 70/30 aditivadas ou não

A presença de uma camada superficial degradada facilita a propagação de trincas durante um ensaio mecânico. Dependendo da velocidade da sollicitação mecânica, essa camada degradada pode ter uma magnitude de efeito bastante diferente. Em velocidades de sollicitação mais lentas, como em ensaios de tração em torno de até 30 mm/min, a trinca é iniciada rapidamente na camada degradada e se propaga para o interior do corpo de prova. Entretanto, a trinca, ao deixar a camada degradada, encontrará uma quantidade de material pouco degradado e sua propagação ocorre de maneira mais branda devido à baixa velocidade de sollicitação. Contudo, pode-se chegar a um extremo em que a camada superficial encontra-se fortemente degradada e esta não consegue transmitir tensões para o interior do corpo de prova, logo, apenas o material não degradado é analisado, ocasionando uma recuperação de propriedades (OLIVEIRA et al., 2008).

No caso de velocidades de sollicitações altas, como o ensaio de impacto, a presença de uma camada degradada na superfície do corpo de prova pode ser extremamente determinante. Após a trinca ser iniciada, esta irá se propagar rapidamente devido às altas velocidades de sollicitação mecânica, independentemente de o material estar degradado ou não no interior do corpo de prova. Os corpos de prova usados neste trabalho não possuíam entalhe, uma vez que a presença de entalhe poderia conduzir a uma degradação mais fortemente localizada na ponta do entalhe, região com altas concentrações de tensões. Tampouco o entalhe poderia ser feito após exposição à radiação UV, o que conduziria à formação de trincas devido ao material apresentar-se fragilizado.

Os resultados expostos aqui mostram alguns aspectos importantes. A fotoestabilização feita por meio do TIN-PP conseguiu proteger mais fortemente a camada superficial do corpo de prova, composta exclusivamente pelo PP, enquanto o TIN-HIPS conseguiu proteger com mais eficiência o interior do corpo de prova, composto pela blenda PP/HIPS. No caso de sollicitações mecânicas mais lentas, o nível de fotoestabilização da camada superficial não afeta significativamente os resultados, o que realmente conduz a bons resultados é a fotoestabilização do interior do corpo de prova, o que foi atingido mais satisfatoriamente com o TIN-HIPS. Para as sollicitações mecânicas mais severas, a fotoestabilização da camada superficial é de extrema importância. No caso do uso do concentrado TIN-PP, o aditivo ficou mais disperso na fase do PP e, com isso, a proteção da camada superficial foi mais eficaz, gerando melhor desempenho da blenda diante da radiação UV. Isso ocorreu porque a fase que compõe a camada da superfície do corpo de prova da blenda é exclusivamente de PP.

Após os ensaios de tração, foram analisadas as superfícies de fratura dos corpos de prova de todos os materiais. A Figura 1 apresenta as micrografias das superfícies de fratura dos corpos de prova do PP com e sem aditivo fotoestabilizante, não exposto e exposto por nove semanas. A Figura 1a apresenta uma superfície de fratura típica de

um material ductil com grande deformação e formação de fibrilas antes de ruptura, esse fato ocorreu para o PP aditivado e não aditivado. Após nove semanas de exposição, observa-se uma camada bastante degradada na superfície da amostra do PP não aditivado (Figura 1b), o que facilita a iniciação e a propagação de trincas durante o ensaio de tração. Também pode ser visto que a amostra não apresenta grandes deformações antes da ruptura.

Para a amostra aditivada (Figura 1c), não há a existência de uma grande camada degradada na superfície, e sua superfície de fratura apresenta maior grau de formação de estrias, indicando, assim, a necessidade maior de energia para sua ruptura, mesmo sem grandes deformações. Esses relatos corroboram com os resultados apresentados no Gráfico 1.

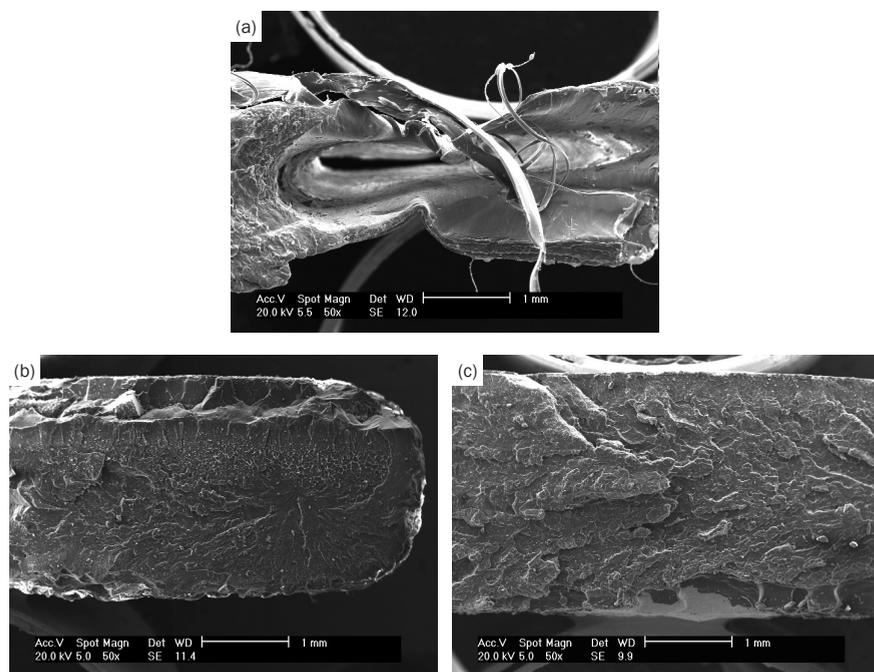


Figura 1 Micrografias da superfície de fratura de corpos de prova de tração do PP não aditivado e não exposto (a) e exposto à radiação por nove semanas (b), e do PP aditivado exposto à radiação por nove semanas (c)

A Figura 2 apresenta as micrografias das superfícies de fratura dos corpos de prova do HIPS com e sem aditivo fotoestabilizante, não exposto e exposto por nove semanas. As micrografias mostradas nesta Figura estão de acordo com os resultados obtidos

por meio dos testes mecânicos. A amostra sem aditivo e não exposta à radiação apresenta uma grande zona de espelho seguida de zona de alta velocidade de propagação de trincas, mecanismo de fratura característico de material tenacificado com borracha. Após nove semanas de exposição, as amostras contendo ou não aditivo fotoestabilizante apresentaram superfícies de fratura bem similares. Como citado anteriormente, a opacidade da amostra torna o HIPS mais fotoestável e, com isso, a presença do aditivo não se torna um fator importante.

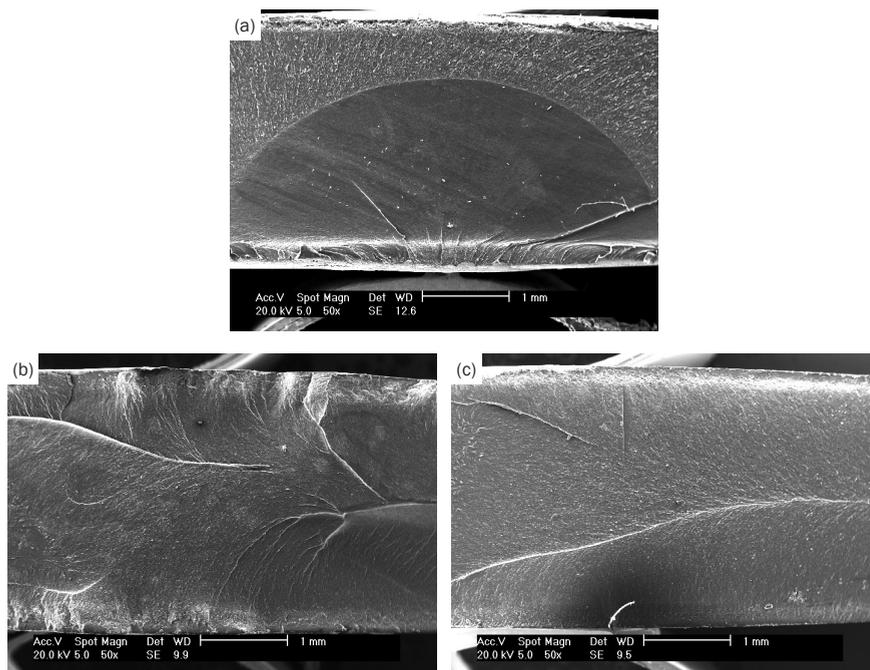


Figura 2 Micrografias da superfície de fratura de corpos de prova de tração do HIPS não aditivado e não exposto (a) e exposto à radiação por nove semanas (b), e do HIPS aditivado e exposto à radiação por nove semanas (c)

A Figura 3 apresenta as micrografias das superfícies de fratura dos corpos de prova da blenda PP/HIPS (70/30) sem aditivo, não expostas e expostas por nove semanas à radiação UV. A Figura 3a apresenta uma superfície de fratura diferente das dos componentes individuais da blenda, com menos deformação plástica que o PP e sem região com zona de espelho como o HIPS. Contudo, na Figura 3b (ampliação da Figura 3a) nota-se claramente a presença das duas fases, e fica nítido que as duas fases apresentam deformação plástica e que a fase que contém o PP apresenta-se com deformação mais

significante. Após nove semanas de exposição (Figura 3c), verifica-se que a superfície de fratura é modificada, sem a presença de regiões com microdeformações, como foi verificado na Figura 3b. Esse comportamento é um indicativo da fragilização do material, como pode ser mais bem verificado na Figura 3d.

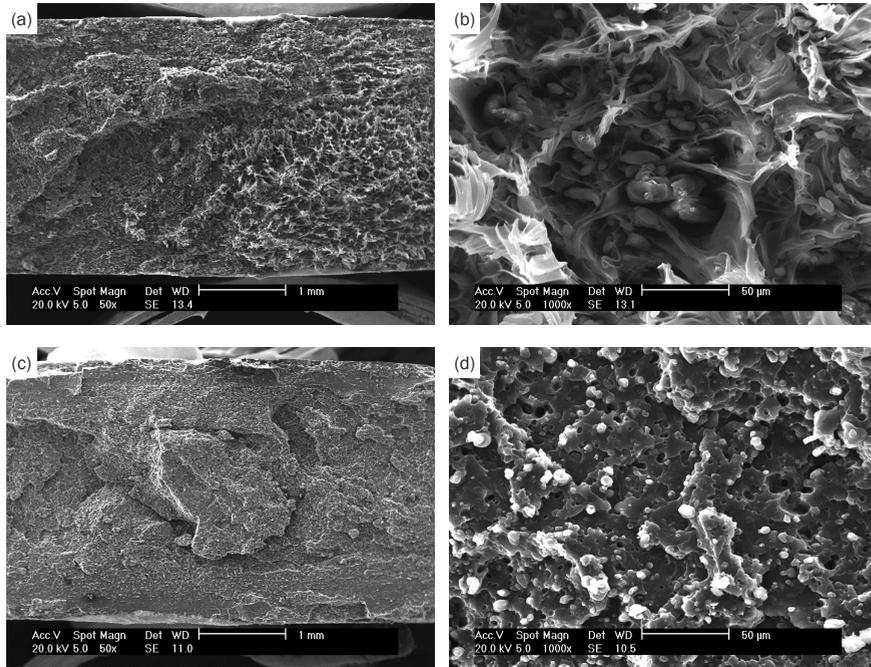


Figura 3 Micrografias da superfície de fratura de corpos de prova de tração da blenda PP/HIPS (70/30) não aditivada e não exposta (a) e (b); e exposta à radiação por nove semanas (c) e (d)

A Figura 4 apresenta as micrografias das superfícies de fratura dos corpos de prova da blenda PP/HIPS (70/30) aditivada usando os dois diferentes concentrados expostas por nove semanas à radiação UV. Em ambas as amostras (Figuras 4a e 4c) nota-se que a superfície de fratura manteve-se bem similar à blenda sem aditivo e não exposta (Figura 3a), com zonas de pequenas deformações plásticas. Isso indica que a presença do aditivo foi significativa no processo de fotoestabilização. Ao avaliar as ampliações dessas figuras, observa-se uma pequena diferença no nível de deformação plásticas dessas microrregiões. A amostra aditivada com o concentrado TIN-HIPS apresenta as duas fases com deformação plástica um pouco maior, indicando que o processo degradativo da blenda foi mais retardado, o que confirma os dados obtidos nos ensaios mecânicos.

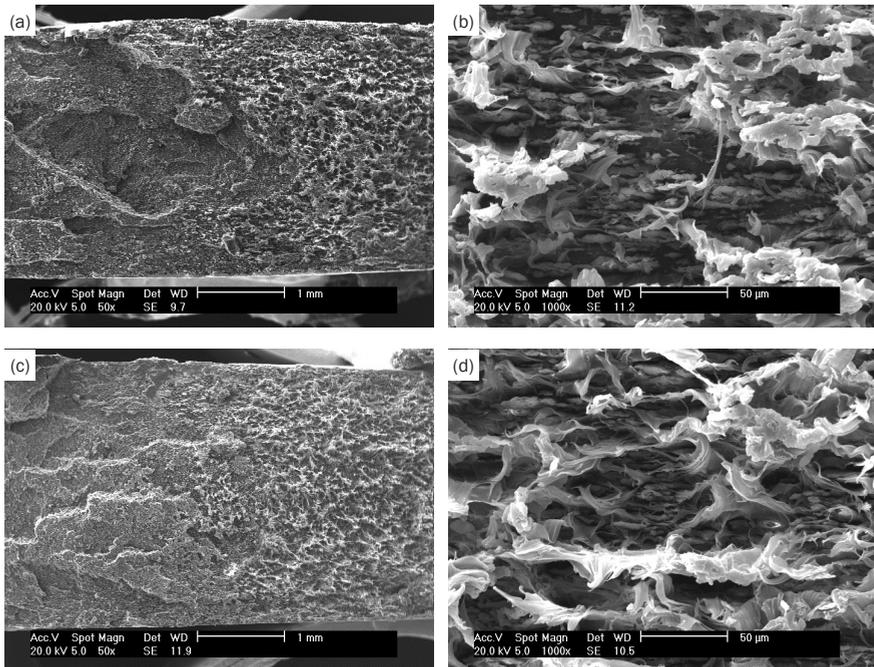


Figura 4 Micrografias da superfície de fratura de corpos de prova de tração da blenda PP/HIPS (70/30) aditivada pelo concentrado TIN-PP exposta à radiação por nove semanas (a) e (b); e aditivada pelo concentrado TIN-HIPS exposta à radiação por nove semanas (c) e (d)

4 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar a fotoestabilização da blenda PP/HIPS em uma única concentração em massa, 70/30, por meio da adição de um aditivo fotoestabilizante. A partir dos resultados mecânicos pode-se afirmar que o processo degradativo da blenda é composto da união dos mecanismos individuais de cada componente dessa blenda, ou seja, presença de cisão molecular para fase composta de polipropileno e reações de reticulações para a fase composta pelo HIPS. O processo de fotoestabilização avaliado pelos ensaios mecânicos e microscopia eletrônica dos homopolímeros e da blenda PP/HIPS com o absorvedor UV da classe das hidroxifenil benzotriazolas foi eficaz, porém, o veículo usado para produção do concentrado não teve grande influência no resultado final.

PHOTOSTABILIZATION OF POLYPROPYLENE/HIGH IMPACT POLYSTYRENE BLEND

Abstract

In this work, the photostabilization of polypropylene/high impact polystyrene blends (PP/HIPS) was studied using an unique concentration, PP/HIPS – 70/30 (w/w%) and an UV absorber (hidroxyphenyl benzotriazole). Two different master-batches were used. One of them had a PP as vehicle (TIN-PP) and the other one HIPS (TIN-HIPS). The individual components of the blends and blends, stabilized or not, were exposed to UV radiation for up to 9 weeks of exposure in a UV Chamber. They were characterized as a function of time of UV exposure by mechanical analysis (tensile and impact) and fracture surface analysis using scanning electron microscopy (SEM). From the results obtained by all techniques mentioned it was found that each type of master-batch used gave a better photostability to the blend. A best performance on mechanical tensile tests was obtained to blend stabilized by TIN-HIPS while TIN-PP promoted best results in tests of impact resistance.

Keywords: Photostabilization. Blend. Characterization.

REFERÊNCIAS

- CHAI, R. D.; ZHANG, J. Synergistic effect of hindered amine light stabilizers/ultraviolet absorbers on the polyvinyl chloride/powder nitrile rubber blends during photodegradation. *Polymer Engineering and Science*, v. 53, p. 1760, 2013.
- DING, P.; QU, B. Synthesis of exfoliated PP/LDH nanocomposites via melt-intercalation: structure, thermal properties, and photo-oxidative behavior in comparison with PP/MMT nanocomposite. *Polymer Engineering and Science*, v. 46, p. 1153, 2006.
- FECHINE, G. J. M. *Fotodegradação de termoplásticos semicristalinos*. 1998. Dissertação (Mestrado Engenharia Química)–Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 1998.
- FECHINE, G. J. M.; SOUTO-MAIOR, R. M.; RABELLO, M. S. The effect of ultraviolet stabilizers on the photodegradation of poly(ethylene terephthalate). *Polymer Degradation and Stability*, v. 75, p. 153, 2002.
- FERNANDES, L. L. et al. Photodegradation of thermodegraded polypropylene/high-impact polystyrene blends: mechanical properties. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 120, p. 770, 2011.
- FERNANDES, L. L. et al. Estudo do efeito do tipo de polipropileno na fotodegradação da blenda polipropileno/poliestireno de alto impacto. *Polímeros*, v. 22, p. 61, 2012.

- GHAFFAR, A.; SCOTT, A.; SCOTT, G. A. The chemical and physical changes occurring during UV degradation of high impact polystyrene. *European Polymer Journal*, v. 11, p. 271, 1975.
- GHAFFAR, A.; SCOTT, A.; SCOTT, G. Initiation processes in the photodegradation of high impact polystyrene. I Effects of prior thermal oxidation. *European Polymer Journal*, v. 12, p. 615, 1976.
- GHAFFAR, A.; SCOTT, A.; SCOTT, G. Initiation processes in the photodegradation of high impact polystyrene. III The mechanism of the crosslinking reaction. *European Polymer Journal*, v. 13, p. 89, 1977.
- KIKKAWA, K. New developments in polymer photostabilization *Polymer Degradation and Stability*, v. 49, p. 135, 1995.
- OLIVEIRA, C. F. P. et al. Photooxidative behavior of polystyrene-montmorillonite nanocomposites. *Polymer Engineering and Science*, v. 48, p. 1511, 2008.
- OLIVEIRA, C. F. P. et al. Photostabilization of polystyrene/montmorillonite nanocomposite. a factorial experimental design 2. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 128, p. 188, 2012.
- RABELLO, M. S. *Aditivação de polímeros*. São Paulo: Artliber, 2000.
- RABELLO, M. S.; WHITE, J. R. Photodegradation of polypropylene mouldings containing weld lines: mechanical properties and surface cracking. *Plastics, Rubber and Composites*, v. 25, p. 237, 1996.
- SADI, R. K.; FECHINE, G. J. M.; DEMARQUETTE, N. R. Photodegradation of poly(3-hydroxybutyrate). *Polymer Degradation and Stability*, v. 95, p. 2318, 2010.
- TANAKA, A. et al. Influence of morphology on photo-degradation of low density polyethylene films. *Polymer Engineering and Science*, v. 40, p. 2007, 2000.

Contato

Guilhermino Jose Macêdo Fechine
guilherminojmf@mackenzie.br

Tramitação

Recebido em julho de 2013
Aprovado em maio de 2014