

# Comportamento térmico e mecânico de material reciclado á base de PEBD frente ao envelhecimento

Diego Rafael Bayer, Fabiano de Souza Mello,  
Ana Cristina de Almeida Garcia e Izabel Cristina Riegel

Grupo de Pesquisa em Tecnologia e Gerenciamento Ambiental,  
Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas (ICET),  
Centro Universitário Feevale, RS 239, 1755, Novo Hamburgo RS, Brasil  
Fone: (51) 3586 8800/ Fax: (51) 3586 8836  
Email: dbayer@feevale.br ou izabelriegel@feevale.br

## Resumo

Estudou-se o comportamento mecânico e térmico de um material plástico reciclado composto majoritariamente de PEBD, o qual provém de rejeitos do processo de fabricação de filmes. O resíduo plástico, depois de triturado e aglutinado, foi fundido e injetado em moldes. A partir das placas resultantes, prepararam-se amostras adequadas à caracterização mecânica (teste de tração) e térmica (DSC e TGA). As propriedades analisadas foram relacionadas ao tempo de envelhecimento em estufa, a 50 C, pelo período de 15 dias a 4 meses. Concluiu-se que no período de tempo de envelhecimento estudado, ocorreram modificações nas propriedades térmicas e mecânicas do material, quando se comparou o material reciclado envelhecido e não envelhecido. Sendo assim, sugere-se que o material reciclado em estudo possa ser utilizado em várias aplicações, mediante testes adicionais específicos, em substituição a materiais oriundos de resina polimérica não reciclada e em substituição a outros materiais, tais como madeira.

## Palavras-chave

Propriedades, reciclagem, plástico.

# Abstract

It was studied the mechanical and thermal behavior of a recycled plastic material composed by LDPE, which constitutes a waste residue of the fabrication of plastic films. The plastic wastes, after being shredded and agglutinated, were melted and injected into moulds. From the resulting bars, samples were prepared for mechanical (stress/strain) and thermal (DSC and TGA) tests. The analyzed properties were related to the aging time conducted in an electric oven, at 50C, for periods ranging from 15 days to 4 months. It was concluded that, within the studied aging period, the mechanical and thermal properties of the aged recycled material had changed when compared to the properties of the non aged material. Therefore, it is suggested the use of the recycled material in many applications, upon adicional tests, substituting traditional materials such as wood.

## Key words

Properties, recycling, plastic.

# Introdução

A problemática da grande geração de resíduos sólidos, em especial os poliméricos, nos conduz a uma mudança de paradigmas de gestão interna de processos, e da forma como ocorre o gerenciamento interno dos resíduos sólidos. Com isso, novos modelos de gestão de resíduos vêm sendo propostos, onde as cadeias produtivas são identificadas através de suas inter-relações, maximizando a produtividade de recursos naturais, minimizando o consumo e a geração de energia (DONAIRE, 1995).

No que tange à realidade brasileira, além de uma questão ecológica, a disposição adequada dos resíduos, vinculadas a sistemas de coleta e tratamento adequados é uma questão social importante. A reciclagem constitui uma cadeia produtiva envolvendo catadores, sucateiros, recicladores e, finalmente, pesquisadores. Todas essas atividades têm um impacto social e ambiental, gerando renda e afetando a qualidade de vida da população (ZANIN e MANCINI, 2004).

Segundo dados do CEMPRE (Compromisso Empresarial para a Reciclagem), no Brasil recicla-se em torno de 10% dos resíduos sólidos descartados. Os materiais plásticos industriais, agrícolas e urbanos, perfazem de 6 a 10% do percentual em peso do total de resíduos sólidos, conforme a região (CEMPRE, 2006). Esse percentual, aparentemente pequeno, encontra um agravante quando se considera a baixa densidade dos materiais plásticos, resultando em grandes volumes, e no longo tempo de decomposição desses materiais, de cerca de 200 a 400 anos.

Os materiais plásticos podem ser classificados em termoplásticos e termofixos, ou também ditos termorrígidos (CANEVAROLO, 2002). Os termoplásticos têm a capacidade de fundir e fluir mediante aquecimento e pressão, podendo ser conformados repetidas vezes, sem perda importante em suas propriedades finais, podendo, ainda, ser solubilizados em solventes específicos. Já os plásticos termofixos são produzidos mediante a mistura de dois ou mais compostos que, após reagirem através de uma reação dita reação de cura (em geral sob aquecimento e pressão), solidificam. Posteriores aquecimentos não levam à fusão do material resultante, pois este se torna infusível após a reação de cura. O aquecimento apenas promoverá o amolecimento seguido da degradação. Os termofixos também são insolúveis, o que é um fator adicional à dificuldade de reciclagem (MANRICH, 2005).

Devido, portanto, às suas propriedades intrínsecas, os materiais plásticos termoplásticos vêm sendo largamente utilizados em processos de reciclagem, tanto diretamente a partir dos resíduos do processo inicial de transformação, associados à produção industrial (reciclagem primária) como também a partir de materiais pós-consumo (reciclagem secundária). O Brasil já se encontra em 4º lugar na reciclagem mecânica de plásticos, ficando atrás da Alemanha, Áustria e EUA.

Os polietilenos, tanto de baixa densidade (PEBD) quanto de alta densidade (PEAD) estão dentre os mais reciclados, tanto pela facilidade de captação quanto pela facilidade de processamento, sendo a reciclagem mecânica a mais comumente utilizada (PIVA e WIEBECK, 2004).

Plástico filme é uma película plástica, largamente utilizada como sacolas, sacos e em embalagens de alimentos em geral. O PEBD está entre as resinas mais utilizadas, correspondendo a 23% do plástico utilizado para esse fim. Dentro do processo produtivo de uma empresa que fabrica sacarias têm-se, em geral, duas fontes de matéria prima para a reciclagem. A primeira é a embalagem contenedora da matéria prima usada, que acaba como resíduo para a empresa e a segunda são as embalagens produzidas pela empresa, já com a

marca do cliente ou não, que não passam nos testes de controle de qualidade. Como as embalagens já estão com a marca do cliente, não podem ser doadas e precisam ser destruídas, para isentar o cliente de qualquer responsabilidade sobre as mesmas. Assim, acabam como matéria prima de boa qualidade para a reciclagem, pois se encontram em condições de reciclagem “limpas”, sendo conhecida a origem e a composição das mesmas.

No presente estudo, foram investigadas as propriedades mecânicas e térmicas de um material plástico reciclado oriundo de uma empresa situada em Dois Irmãos, RS, frente ao envelhecimento. O material em estudo é composto majoritariamente de PEBD e é proveniente de rejeitos do processo de fabricação de filmes utilizados na confecção de embalagens. As investigações foram realizadas com o objetivo de caracterizar o material visando destilá-lo a determinadas aplicações. Dando continuidade a presente investigação, pretende-se realizar estudos de viabilidade técnica, econômica e energética da produção e aplicação do material em destinações propostas.

## 1. Metodologia

Neste trabalho foram executadas as seguintes etapas: processo de reciclagem; modelagem e confecção dos corpos de prova a partir do material reciclado para os ensaios mecânicos; envelhecimento em estufa; caracterização mecânica e caracterização térmica do material reciclado.

O processo de reciclagem foi realizado na empresa, conforme descrito a seguir. As demais etapas foram executadas diretamente pelos autores.

### 1.1. Processo de reciclagem do PEBD

Neste trabalho, a reciclagem ocorreu por um processo relativamente simples. Os filmes de PEBD (polietileno de baixa densidade), cortados em pedaços de aproximadamente 1 cm<sup>2</sup>, foram inicialmente aglutinados (Figura 1) sendo, após, encaminhados para uma extrusora. A massa fundida foi transportada e vertida em moldes de aço de dimensões 290 cm x 13,5 cm x 3,5 cm. Depois de preenchido, o molde foi resfriado e a peça desmoldada, originando barras maciças (Figura 2) que foram encaminhadas para a execução das análises.



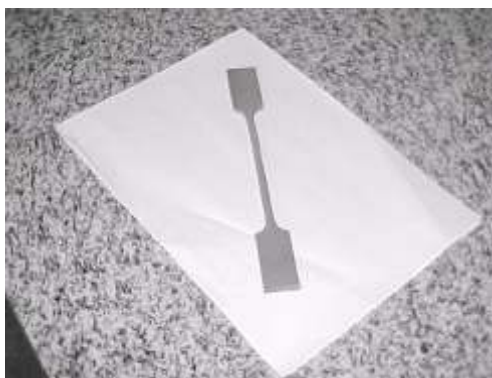
Figura 1 - Aglutinação do material



*Figura 2 - Material reciclado em forma de barras.*

## 1.2. Modelagem e confecção dos corpos de prova para o ensaio de tração

O arquivo de modelagem dos corpos de prova foi gerado no software Unigraphics NX3, no Laboratório de Robótica e Usinagem da Feevale. As barras foram inicialmente cortadas em pedaços de aproximadamente 25 cm de comprimento para viabilizar a usinagem. Após usinada, a peça foi serrada com serra fita para a retirada dos corpos de prova com espessuras de aproximadamente 4 mm. Cada peça usinada gerou em média 12 corpos de prova (Figura 3).



*Figura 3 - Corpo de prova*

## 1.3. Envelhecimento em estufa

Para este ensaio, 40 corpos de prova foram colocados em estufa, a 50C, sendo que a metade deles foram revestidos com tinta comercial, com o objetivo de investigar a influência do revestimento nas propriedades do material após o envelhecimento. Foram retirados da estufa 8 corpos de prova (4 com revestimento e 4 sem revestimento), para a realização dos ensaios, nos seguintes tempos de envelhecimento: 15, 30, 60, 90 e 120 dias.

Primeiramente, buscou-se desenvolver junto à uma empresa especializada um revestimento (tinta) de base aquosa compatível com o material em estudo. No entanto, após

vários testes, não foi possível tal desenvolvimento. Sendo assim, optou-se por uma tinta comercial do tipo lacanitrocelulose.

## 1.4. Ensaios mecânicos

Para a caracterização mecânica, optou-se pelo ensaio de tração (Figura 4). Os ensaios de tração foram realizados em uma Máquina Universal de Ensaios, marca Versat Tester, modelo 10.000, baseado na norma ASTM D 638. O deslocamento usado durante o ensaio foi de 40 mm/min, até o rompimento do corpo de prova.



*Figura 4 - Ensaio de tração*

## 1.5. Ensaios de análise térmica

Os ensaios térmicos foram realizados nos corpos de prova que sofreram ruptura no ensaio de tração. Os ensaios de Análise Termogravimétrica (TGA) foram realizados segundo a norma ASTM D 3418, em equipamento TGA 50, marca Shimadzu, a uma taxa de 10 °C/min, em atmosfera de N<sub>2</sub>. Este ensaio visa identificar o perfil de perda de massa do material, mediante um programa de aquecimento. O ensaio de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) foi realizado segundo a norma ASTM D 3417, em equipamento DSC 60, também da marca Shimadzu, a uma taxa de 10 °C/min, em atmosfera de N<sub>2</sub> gasoso a uma vazão de 50 mL/min. Este ensaio visa identificar transições térmicas na amostra, como por exemplo, temperaturas de fusão.

## 2. Resultados e discussão

### 2.1. Caracterização mecânica e térmica

Foram avaliados os seguintes parâmetros dos corpos de prova ensaiados: tensão máxima, módulo de elasticidade e deformação na ruptura, conforme constam na Tabela 1.

Não foram verificadas diferenças significativas nos parâmetros analisados, ao comparar os resultados dos corpos de prova nos diversos tempos de envelhecimento. Por esta razão, estão apresentados na Tabela 1 apenas os valores médios e respectivos desvios padrão dos corpos de prova (CP) com revestimento e sem revestimento, considerando todos os tempos de envelhecimento conjuntamente, isto é, 15, 30, 60, 90 e 120 dias. A Figura 5 mostra um exemplo do gráfico obtido neste tipo de ensaio.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas das amostras recicladas.

Amostra Reciclada ® Propriedade ¯	Não Envelhecida	Envelhecida Sem revestimento	Envelhecida Com revestimento
Tensão na ruptura (MPa)	15,9 ±13,2%	16,2 ± 26,3%	12,3 ± 23,4%
Módulo elástico (MPa)	218,7 ±1,1%	172,0 ±19,4%	178,4 ±26,0%
Elongação na ruptura (mm)	5,8 ±42,2%	9,2 ±37,7%	9,3 ± 25,3%

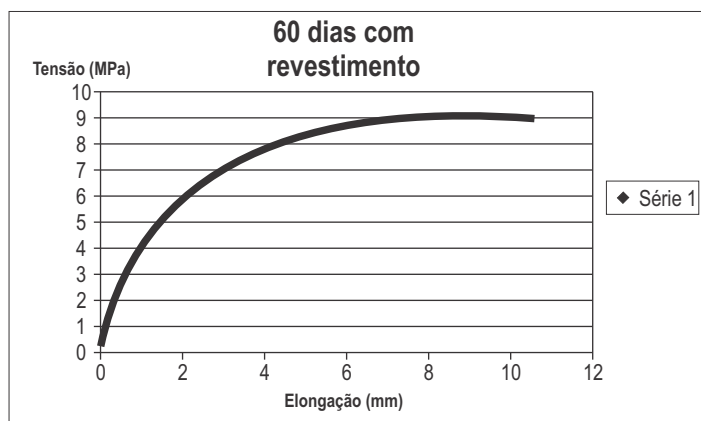


Figura 5 - Gráfico tensão em função da deformação da resina reciclada e envelhecida por 60 dias (2 meses) com revestimento.

Analisando-se a Tabela 1 e, considerando-se o desvio padrão dos resultados, observa-se que a tensão na ruptura não variou significativamente, que o módulo elástico do material reciclado e envelhecido apresentou um pequeno decréscimo em relação ao material reciclado e não envelhecido e que a elongação na ruptura aumentou no material envelhecido em relação ao não envelhecido. A partir desses dados pode-se concluir que o envelhecimento provavelmente reduziu a rigidez do material reciclado, demonstrado pela redução do módulo elástico e pelo aumento da elongação na ruptura.

A análise térmica via TGA, identificou um evento de perda de massa entre 400°C e 500°C, sendo 477°C a temperatura correspondente à máxima taxa de perda de massa. Fica claramente comprovada a degradação total do material dentro desta faixa de temperatura analisada, conforme percentual de resíduo a 600°C em torno de 0%. Comparando-se as

amostras não envelhecida e envelhecida por 120 dias (4 meses) observa-se que não há diferenças no perfil de degradação (Figura 6).

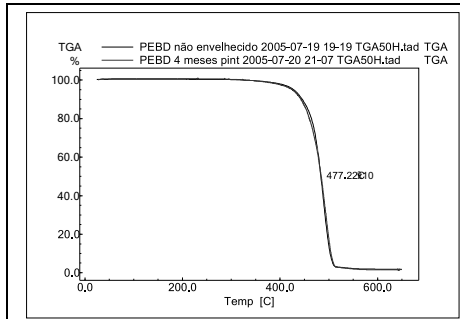


Figura 6 – Curvas obtidas via Análise Termogravimétrica (TGA).

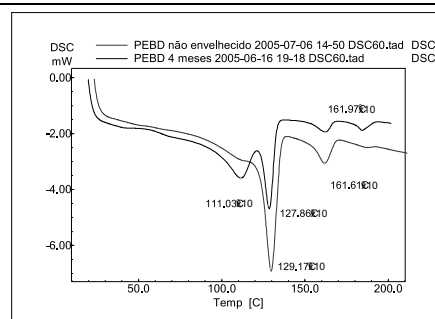


Figura 7 – Curvas obtidas via Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).

A análise térmica via DSC da amostra reciclada e não envelhecida identificou duas temperaturas de fusão principais, uma em torno de 127°C e outra em torno de 160°C. De acordo com dados do fabricante, pode-se atribuir a primeira temperatura à fusão do PEBD e a segunda temperatura à fusão do polipropileno (PP), evidenciando que o material reciclado corresponde a uma mistura de polímeros. Ao analisar-se o comportamento do material reciclado e envelhecido por 120 dias (4 meses) observou-se o surgimento de uma transição à temperatura inferior ao pico principal de fusão do PEBD. Pode-se atribuir o surgimento desse evento à ocorrência de degradação do material, que possivelmente teve como consequência a formação de uma população de cadeias poliméricas de menor massa molar média, resultado, este, corroborado pela redução na rigidez do material mediante o envelhecimento, detectado no ensaio de tração. No entanto, a temperatura de fusão do PEBD apresentou pequeno deslocamento para temperaturas menores, quando se compararam as amostras não envelhecida e envelhecida. O mesmo pode-se dizer do evento em torno de 160°C. Adicionalmente, ocorreu o surgimento de um pico acima 160°C.

Os valores da temperatura do pico dos quatro eventos detectados nas amostras recicladas e envelhecidas, com revestimento e sem revestimento, encontram-se, respectivamente, nas Tabelas 2 e 3, sendo  $T_{m1}$  a temperatura do primeiro evento,  $T_{m2}$  a temperatura do segundo evento e assim sucessivamente, em ordem crescente de temperatura. Pode-se observar que não houve alterações significativas nos resultados nem ao se comparar os diversos tempos de envelhecimento, nem ao se comparar a condição de com revestimento e sem revestimento.

Tabela 2 - Propriedades térmicas das amostras de PEBD reciclada sem revestimento.

Tempo de envelhecimento (dias)*	$T_{m1}$ (°C)	$T_{m2}$ (°C)	$T_{m3}$ (°C)	$T_{m4}$ (°C)
0	não detectada	127,7	162,1	não detectada
15	110,9	126,2	162,6	187,8
30	110,8	126,4	162,5	187,4
60	110,1	125,1	162,0	186,9
90	110,6	126,1	161,8	186,3
120	110,1	125,2	162,1	187,0



Tabela 3 - Propriedades térmicas das amostras de PEBD reciclada com revestimento.

Tempo de envelhecimento (dias)*	Tm <sub>1</sub> (°C)	Tm <sub>2</sub> (°C)	Tm <sub>3</sub> (°C)	Tm <sub>4</sub> (°C)
0	não detectada	127,7	162,1	não detectada
15	110,7	125,8	162,7	188,0
30	110,3	125,4	162,0	187,4
60	110,9	126,01	162,4	187,5
90	109,8	125,3	161,6	186,5
120	110,1	125,0	161,4	186,7

\* envelhecimento em estufa a 50C.

### 3. Conclusões

Foi avaliado o comportamento frente ao envelhecimento de um material polimérico reciclado, através de suas propriedades mecânicas e térmicas. As propriedades avaliadas foram relacionadas ao tempo de envelhecimento em estufa, a 50C, de corpos de prova com revestimento e sem revestimento. Os dados revelaram que o envelhecimento reduziu o módulo elástico em torno de 20% e aumentou a alongação na ruptura em torno de 60%, evidenciando uma provável redução na rigidez do material, quando comparou-se esses resultados com os da resina reciclada e não envelhecida. A análise térmica revelou que o material reciclado em estudo trata-se uma mistura de resinas poliméricas, PEBD/PP. Além disso, ao comparar-se o comportamento dos materiais envelhecidos com os não envelhecidos, observou-se a ocorrência de dois eventos térmicos adicionais, de menor intensidade, uma a temperatura inferior à temperatura de fusão do PEBD e outro a temperatura superior à temperatura de fusão do PP, evidenciando o processo de degradação ocorrido.

Baseado nos resultados obtidos pôde-se concluir que o material reciclado em estudo pode ser utilizado em várias aplicações, mediante testes adicionais específicos, em substituição a materiais oriundos de resina polimérica não reciclada e em substituição a outros materiais, tais como madeira.

A contribuição deste material como forma de reuso para resíduos poliméricos gerados, demonstram a importância das soluções internas de recirculação nos processos industriais e do correto gerenciamento dos resíduos no processo, minimizando assim o descarte final.

### Referências bibliográficas

- CANEVAROLO JUNIOR, Sebastião Vicente. **Ciência dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. Ed. Artliber: São Paulo, 2002.
- CEMPRE - COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM [www.cempre.org.br](http://www.cempre.org.br). Acesso em 12/01/2006.
- DONAIRE, Denis. **Gestão Ambiental na Empresa**. Editora Atlas: São Paulo, 1995.
- MANRICH, Sílvio. **Processamento de Termoplásticos**. São Paulo: Ed. Artliber, 2005.
- PIVA, Ana Magda; WIEBECK, Hélio. **Reciclagem do Plástico: como fazer da reciclagem um negócio lucrativo** Ed. Artliber: São Paulo, 2004.
- ZANIN, Maria; MANCINI, Sandro D. **Resíduos Plásticos e Reciclagem**. EdUFSCar: São Carlos, 2004.