

## **INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE REPROCESSOS POR EXTRUSÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE.**

C.M. Mählmann<sup>1</sup>, L.M. Kipper<sup>1</sup>, A.L Rodriguez<sup>2</sup>, D.A.R Lopez<sup>2</sup>,  
C. Niedersberg<sup>3</sup>, D.B. Teixeira<sup>3</sup>

1- Depto. de Química e Física

2 - Depto. de Engenharia, Arquitetura e Ciências Agrárias

3 – Curso de Engenharia Ambiental

Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC

Av. Independência 2293, CEP 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS,

[adriane@unisc.br](mailto:adriane@unisc.br)

### **RESUMO**

*A reciclagem mecânica de plásticos é a mais utilizada no Brasil. Entretanto, podem ocorrer alterações nas propriedades mecânicas dos plásticos em função das temperaturas as quais o plástico deve ser submetido, dificultando assim a sua utilização na fabricação de novos produtos. Alterações como, quebra das cadeias ou aglomeração das mesmas pode estar relacionadas. O presente trabalho analisou as propriedades mecânicas, através do ensaio de tração, do polietileno de alta densidade quando submetido até 14 vezes ao processo de extrusão. A cada extrusão foram preparadas amostras por injeção para avaliação das propriedades mecânicas. Os ensaios iniciais apresentaram poucas variações nos valores do Módulo de Elasticidade, Deformação Específica na Ruptura e Tensão na Força Máxima para primeira e a última extrusão. Apesar de algumas variações o PEAD mostrou-se bastante susceptível ao reprocesso. Ensaio para a avaliação da influência da adição de aditivos deverão ainda ser realizados.*

Palavras-chave: reciclagem, PEAD, reprocessos, extrusão, propriedades mecânicas.

## INTRODUÇÃO

O Brasil produz, diariamente, quase 150 mil toneladas de resíduos sólidos, de acordo com as últimas estatísticas conhecidas, datadas do ano de 2000<sup>(1)</sup>. Dentre todos os possíveis destinos a serem dados aos resíduos plásticos, a reciclagem mecânica aparece como uma das principais alternativas.

A reciclagem pode ser vista também, como um empreendimento que vem se desenvolvendo pela força de seu mercado, composto basicamente por consumidores com consciência ambiental desenvolvida e que procuram produtos condizentes com sua filosofia.<sup>(2,3)</sup>

Entretanto, deve-se salientar que as propriedades dos materiais plásticos se modificam no decorrer do tempo como resultado de algumas modificações estruturais, tais como: cisão da cadeia principal, reações de reticulação, alterações na estrutura química e degradação ou eliminação dos aditivos presentes. E, estas mudanças são conseqüências dos vários tipos de ataques físicos e/ou químicos a que o material está sujeito durante o processamento ou uso final dos artigos os quais também podem ocorrer durante a operação de reciclagem.<sup>(4)</sup>

A variação do índice de fluidez de um material polimérico por exemplo, sugere a ocorrência de degradação, onde a diminuição deste índice indica uma forma de degradação por reticulação predominante em relação à cisão da cadeia molecular do polímero.<sup>(5)</sup>

À medida que o grau de cristalinidade de um polímero aumenta o módulo elástico, a resistência ao escoamento e a dureza também aumentam. O módulo de elasticidade do polipropileno, da mesma forma que para os polietilenos, aumenta linearmente com a densidade. Portanto, qualquer variação no procedimento de preparação (processamento) ou de pós-tratamento, tais como resfriamento lento ou subsequente tratamento térmico, que proporcione aumento na densidade e na cristalinidade, também aumentará o módulo e a rigidez do polímero.<sup>(5)</sup>

Estudos com o Polipropileno (PP) demonstraram que a degradação ocorrida durante múltiplas exposições a extrusão em diferentes temperaturas estava relacionada ao aumento da cisão das moléculas com conseqüente redução da massa molecular observada num aumento abrupto do MFI.<sup>(6)</sup> O aumento da cristalinidade do PEAD indicou porém, que a cisão prevaleceu contribuindo assim na queda da resistência ao impacto.<sup>(7)</sup>

Deve ser salientado que a presença de ramificações e a distribuição de peso molecular também podem alterar as propriedades reológicas dos polímeros. Assim sendo, além do índice de fluidez, outras propriedades devem ser avaliadas. <sup>(7)</sup>

Outro ponto importante quando se avalia a alteração de propriedades dos plásticos é o fato de que o material pós consumo é mais susceptível a degradação térmica durante a sucessivas. <sup>(7)</sup>

. Em termos de reciclabilidade, o PEAD mostrou-se mais suscetível quando comparado com o PP. Foi demonstrado que o PEAD não degradou significativamente mesmo após 10 ciclos de extrusão. <sup>(7)</sup> Entretanto, trabalhos também relatam a dificuldade em manter as propriedades do PEAD reciclado sem a adição de estabilizadores, onde uma ligeira queda no MFI foi observada. <sup>(8)</sup>

## MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de PEAD pós-consumo foram coletadas e, posteriormente processadas na planta piloto de reciclagem mecânica da UNISC. Esta planta dispõe dos equipamentos: moinho de facas modelo MF300 - MECANOFAR, tanque de lavagem (RS Equip.), secadores (RS Equip.), silo de armazenamento (RS Equip.), aglutinador (RS Equip.), Extrusora modelo SEIBT ES 35 FR, puxador/picotador (RS Equip.), e injetora LHS-130/400 HIMACO. Os resíduos plásticos foram picotados, lavados e secos antes do processamento.



Figura 1 – Material Pós-Consumo utilizado nos ensaios.

A extrusão foi realizada utilizando as temperaturas de 175 °C, 180°C, 185 °C e 200°C, nas 3 Zonas de aquecimento e cabeçote de extrusão, respectivamente. A

figura 2 mostra a Extrusora utilizada nos ensaios. Após a extrusão, os espaguetes foram picotados e então foram injetados os corpos de prova para o ensaio de tração. As condições de injeção dos corpos de prova para os ensaios de tração foram de 190°C, 195°C e 200°C nas zonas um, dois e tres, respectivamente.



Figura 2 – Extrusora utilizada nos ensaios.

O Índice de Fluidadez de cada amostra foi determinado utilizando o equipamento Melt Flow Junior Ceast - POLIMATE, de acordo com a norma ASTM D1238. Para o PEAD foi utilizada condição N com carga no pistão de 10Kg, temperatura de 190°C e tempo de corte igual a 60 segundos. O Ensaio de Tração foi realizado no equipamento Emic DL 10000 seguindo a norma ASTM D882 -9a com velocidade de ensaio igual a 500mm/min e distância entre garras de 70mm.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 são apresentados os resultados do Módulo de Elasticidade E [MPa] em função do número de extrusões as quais o PEAD foi submetido. Pode-se observar uma pequena variação nos valores obtidos, mostrando assim que a força de interação entre as moléculas se mantém relativamente constante no decorrer dos reprocessos uma vez que o módulo de elasticidade é uma medida das forças de interação entre as moléculas.

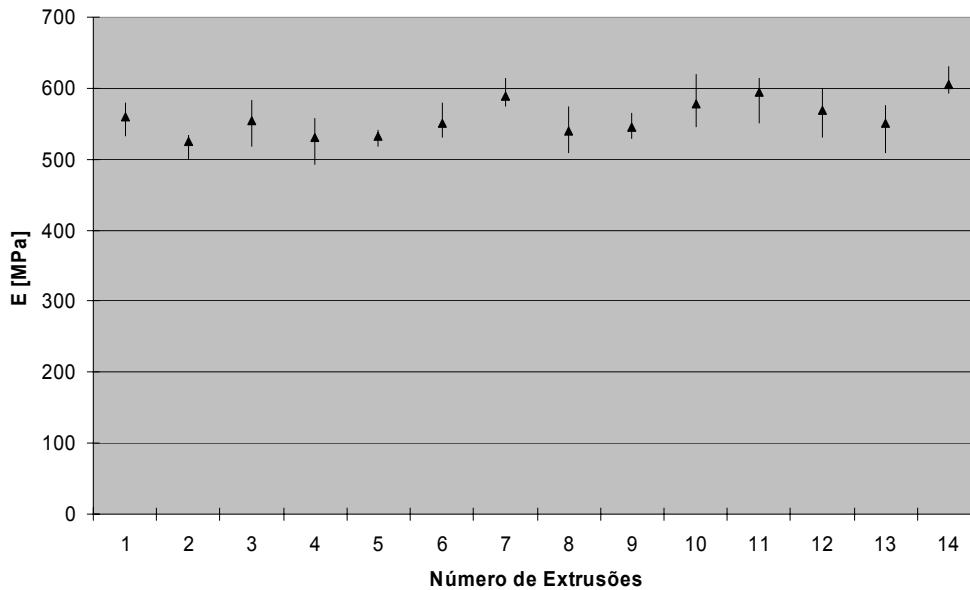


Figura 3 – Módulo de Elasticidade E [MPa] em função do número de extrusões.

Um comportamento semelhante ao mostrado na figura 3 foi encontrado na literatura onde o comportamento do PEAD frente a reciclagem através da simulação de várias etapas de extrusão foi estudado. Amostras pós-consumo de PEAD foram submetidas a 14 ciclos de extrusão não apresentaram alterações significativas nas propriedades mecânicas. Um aumento na tensão de ruptura e na massa molecular média foi relacionado a uma possível agregação das moléculas (crosslinking). O PEAD mostrou-se assim, bastante favorável a reciclagem mecânica. <sup>(9)</sup>

O Índice de Fluidez das amostras de PEAD após cada extrusão são apresentados na figura 3. A tendência ao aumento do índice de fluidez se deve provavelmente a uma redução da massa molecular do PEAD em função da cisão das cadeias de acordo com o observado na literatura. <sup>(9)</sup>

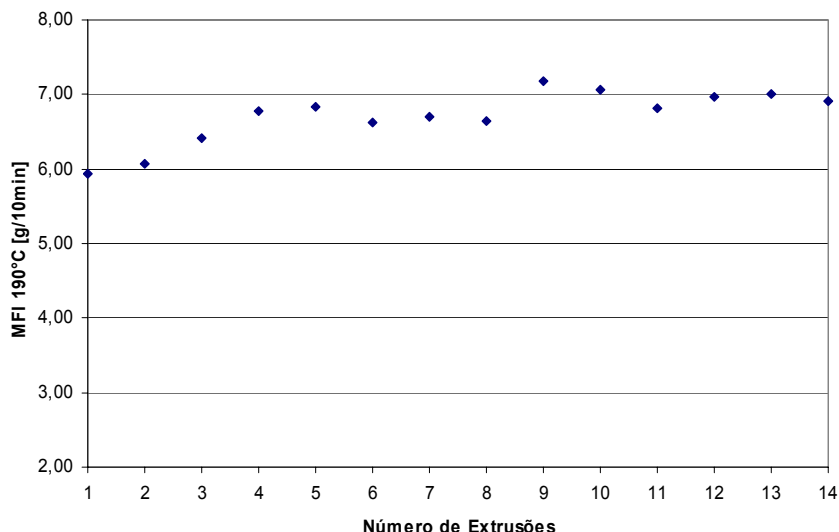


Figura 4 – Valores do Índice de Fluidez em função do número de extrusões.

## CONCLUSÕES

O número de reprocessos de extrusão, nas condições avaliadas, não alterou significativamente as propriedades mecânicas do PEAD pós-consumo.

O módulo de elasticidade no primeiro ciclo de extrusão apresentou um valor de 559,7 MPa (Coef. Variação de 3,928%) e no último ciclo foi de 578,2 MPa (Coef. Variação 11,07 %).

Estes resultados indicam que o PEAD mostrou-se relativamente estável, pois, mesmo sem a adição de aditivos, as propriedades mecânicas do PEAD se mantiveram relativamente constantes após vários reprocessos. As avaliações do ensaio de tração ressaltam assim a possibilidade da utilização da reciclagem mecânica como forma de reutilização deste tipo de resíduo.

A variação observada no índice de fluidez se deve provavelmente a cisão molecular ocorrida em função da degradação térmica sofrida pelo material durante os reprocessos por extrusão.

Ensaio complementares deverão ainda ser realizados tais como microscopia eletrônica de varredura, determinação da distribuição do peso molecular e, avaliação da adição de aditivos e também um aumento no número de ciclos para verificar a ocorrência da degradação do material.

## AGRADECIMENTOS

Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul,  
Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul e Pólo de  
Modernização Tecnológica do Vale do Rio Pardo.

## REFERÊNCIAS

- 1) BORANGA J.A., Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente, BIO, 33, jan/mar 2005.
- 2) RODRÍGUEZ, A. L.; MAHLMANN, C. M.; KIPPER, L. M. **Manual sobre reciclagem de plásticos – Parte I.** Informativo Técnico – UNISC. Santa Cruz do Sul. EDUNISC. 2004.
- 3) WIEBECK, H. **Reciclagem do plástico e suas aplicações industriais.** São Paulo: USP/SEBRAE, maio, 1997.
- 4) RABELLO, M. **Aditivção de Polímeros.** São Paulo: Editora Artliber, 2000
- 5) M. V. P. REMÉDIO, M. ZANIN, B. A. N. TEIXEIRA, **Caracterização do efluente de lavagem de filmes plásticos pós-consumo e determinação das propriedades reológicas do material reciclado.** *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, Out/Dez 1999.
- 6) H. M. DA COSTA, V. RAMOS, M.C.G. ROCHA **Rheological properties of polypropylene during multiple extrusion.** *Polymer Testing* 24 (2005) 86–93.
- 7) S. LUZURIAGA A, J. KOVAROVA B, I. FORTELYNY **Degradation of pre-aged polymers exposed to simulated recycling: Properties and thermal stability,** *Polymer Degradation and Stability* 91 (2006) 1226-1232.
- 8) CRUZ SA, ZANIN M. **Post-consumer recycled high-density polyethylene** *Polym Degrad Stab* 2003;80:31e7.
- 8) A. BOLDIZAR, A. JANSSON , T. GEVERT, K. MOÈ LLER **Simulated recycling of post-consumer high density polyethylene material** *Polymer Degradation and Stability* 68 (2000) 317-319.

## **INFLUENCE OF MULTIPLE EXTRUSION ON MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH-DENSITY POLYETHYLENE (HDPE).**

### **ABSTRACT**

The mechanical recycling of plastics is the most used process in Brazil. However, alterations in the mechanical properties of plastics can occur in function of temperatures which the plastic must be submitted, what difficults its use in the manufacture of new products. Alterations as the scission and crosslinking can be related here. The present work analyzes the mechanical properties of postconsumer high density polyethylene when submitted to repeated cycles of extrusion (up to 15 cycles). Samples were taken out after each extrusion. The material was evaluated in terms of mechanical properties, such as elongation at break, tensile strength and melt flow rate. The results showed values of Modulus of Elasticity varying from 559,70 MPa for the first cycle and 616,70 MPa for the 14.Cycle. Although some variations in the mechanical properties the HDPE material still has considerable resistance against thermal degradation in way that the HDPE can be submitted to the recycling process. Assays for the evaluation of influence of the additive addition will have still to be carried through.

Key-words: mechanical recycling, post-consumer, high density polyethylene