

## ESTUDO DAS PROPRIEDADES QUÍMICA E MECÂNICA DO POLIETILENO EM CABOS COAXIAIS

**Ana Paula dos Reis<sup>1</sup>, Danielly do Prado Almeida<sup>1</sup>, Ewerton Luis Costa Santos<sup>2</sup>,  
Edson A. P. dos Santos<sup>3</sup>, Ana Maria do Espírito Santo<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>UNIVAP / Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo – FEAU, Av. Shishima Hifumi, n.º 2911, 12244-000, São José dos Campos/SP

<sup>2</sup>Cabletech Cabos Ltda./ Engenharia, Av. Cabletech, n.º 8000, 12295-230, Caçapava /SP

<sup>3</sup>Laboratório de Espectroscopia Vibracional Biomédica - IP&D/UNIVAP,  
Av. Shishima Hifumi, n.º 2911, 12244-000,  
São José dos Campos, SP.

ap\_sjc@yahoo.com.br, danielly.prado@gmail.com, ewerton@cabletech.com.br, esantos@univap.br, amesanto@univap.br

**Resumo** – A proposta do presente trabalho foi avaliar as propriedades química, mecânica e elétrica de dois tipos de polietileno, PEAD e PEBD, antes e após o envelhecimento. Estes materiais são utilizados na cobertura dielétrica em cabos coaxiais e foram produzidos na empresa Cabletech Cabos Ltda. Foram utilizadas as seguintes técnicas analíticas para a caracterização do material: espectroscopia FT-Raman e Análise Térmica (DSC) para as propriedades químicas, e ensaios de tração e alongamento para as propriedades mecânicas. A análise das propriedades mecânicas mostrou que o PEBD apresenta maior alongamento que o PEAD. Por outro lado, o PEAD apresenta maior estabilidade química e térmica que o PEBD. Os resultados obtidos permitem concluir que o teor da mistura dos dois tipos de polímeros para aplicações em cabos elétricos dependem, especialmente, da combinação das propriedades essenciais para o melhor desempenho que possa ser obtido.

**Palavras-chave:** Polietileno, Cabo Coaxial, Espectroscopia Raman, Propriedades dos Polietilenos.

**Área do Conhecimento:** III – ENGENHARIAS

### Introdução

Os polímeros são formados por grandes moléculas contendo longas seqüências de unidades químicas simples (monômeros) unidas por ligações covalentes. A cadeia do monômero é mostrada na Figura 1. As características químicas, mecânicas e elétricas do polietileno permitem sua larga utilização como isolante na fabricação de cabos e acessórios para distribuição de energia elétrica e equipamentos de telecomunicações (CALLISTER, 2002).

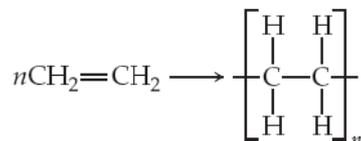


Figura 1- Cadeia do monômero de polietileno.

A estrutura de cada polímero tem influência direta sobre a sua densidade e suas propriedades mecânicas. Os polietilenos podem ser modificados pela natureza de suas ramificações de cadeia longa e pelo arranjo das ramificações de cadeia curta da macro-molécula.

O polietileno de alta densidade (PEAD) apresenta boas propriedades de resistência à tração e ductilidade a temperatura ambiente,

entretanto sob condições severas de alta pressão, baixa temperatura e altas velocidades de deformação, torna-se quebradiço (GUIMARÃES et al., 2002). O polietileno de baixa densidade (PEBD) é um polímero leve e é comumente usado em embalagens como sacos e frascos. O valor reduzido da densidade se deve à pouca ramificação da cadeia. Suas principais características são: baixa densidade, boa resistência (inclusive em situações de baixa temperatura), incolor, boa estabilidade química e alto módulo de elasticidade. Quando misturado com polietileno de alta densidade pode ser utilizado na isolação de cabos coaxiais (WASILKOSKI, 2002).

O polietileno tem sido usado como isolante elétrico por quase quatro décadas, principalmente ao baixo custo e às suas excelentes propriedades físicas e químicas (VILAPLANA; KARLSSON, 2008).

Os cabos são fabricados pelo processo de extrusão, esquematizado no diagrama da Figura 2. Neste processo, o condutor metálico recebe uma camada de polímero diretamente pela matriz da extrusora, em seguida é resfriado, puxado e bobinado em um equipamento de sistema contínuo.

Este trabalho tem como objetivo estudar as propriedades química e mecânica do polietileno

usado em cabos coaxiais, antes e após o envelhecimento.

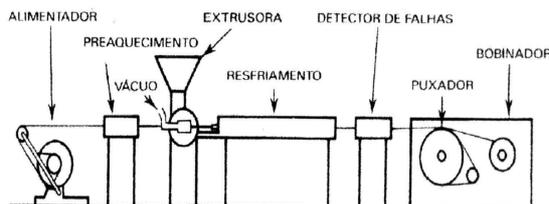


Figura 2- Diagrama esquemático de um processo de extrusão.

Para a caracterização e identificação da estrutura química do polietileno, foi utilizada a técnica de espectroscopia FT-Raman. Esta análise é uma técnica não destrutiva e obtida em tempo real. O efeito Raman ocorre quando a luz laser incide em um material e se dispersa. Uma pequena quantidade tem sua frequência modificada, devido à vibração das ligações químicas do material. A análise das alterações desta frequência da luz permite revelar as frequências de vibração característica das moléculas e, deste modo, a determinação da composição química e da estrutura do material (HANLON et al., 2000).

A propriedade mecânica de um polímero pode ser considerada uma das propriedades físicas mais importantes para a maior parte das aplicações do polímero como revestimento. Há vários fatores estruturais que determinam a natureza dessas propriedades, tais como: peso molecular; ligação cruzada e ramificação; cristalinidade e morfologia do cristal e orientação molecular. Variáveis externas também são importantes na determinação das propriedades mecânicas: temperatura, tempo, frequência da taxa de tensão ou deformação, amplitude de tensão e deformação, tipo de deformação (cisalhamento, tensão biaxial), tratamento por aquecimento (Wasilkoski, C.M-2002). O processo de envelhecimento envolve vários mecanismos simultâneos e aparentemente independentes, por isso o acompanhamento da evolução de determinada variável com o tempo não descreve adequadamente o comportamento da amostra frente às condições de envelhecimento acelerado. Durante a exposição podem ocorrer fenômenos como variações na cristalinidade, cisão de cadeias, reticulação e oxidação, para citar os mais relevantes (GULMINE, 2004).

Para a análise térmica das amostras, foi usada a técnica de DSC (Calorimetria Diferencial de Varredura). O princípio básico da técnica é manter a diferença de temperatura da amostra e da referência constante, fornecendo uma curva que representa a diferença entre as energias entregues para a amostra e a referência,

registrada em função da temperatura e/ou do tempo (WENDLANDT, 1986).

## Metodologia

Foram utilizadas amostras de polietileno de alta e baixa densidade, comercialmente disponíveis, usados em isolamento de cabos coaxiais. Foram selecionadas 3 (três) amostras de polietileno, 2 (duas) delas de baixa densidade e 1 (uma) de alta densidade. Os respectivos fornecedores são apresentados na Tabela 1. A Tabela 2 mostra os valores de algumas propriedades físicas destes materiais.

Tabela 1- Amostras de polietileno utilizadas.

Amostra	Procedência
A	PEAD A2080 N1540 Solvay
B	PEBD Trithene SX7012 Triunfo
C	PEBD UB401C PQU Polietileno União

Tabela 2. Propriedades físicas dos tipos de polietileno analisados.

Propriedades	PEAD-A Solvay A2080 N1540	PEBD-B Triunfo SX7012	PEBD-D UB 401C Dow
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,959	0,922	0,920
Índice de Fluidez (g/10min)	7,30	1,2	1,25
Alongamento à Ruptura (%)	300	490	300
Tração à Ruptura (MPa)	12,40	12	25
Temperatura de Fusão (°C)	130	111	165

Foram preparados 5 (cinco) corpos de prova para cada tipo de polietileno para realização dos ensaios antes e após o envelhecimento em estufa. O envelhecimento em laboratório foi realizado nos corpos de prova das amostras coletadas, ao ar sob temperatura de 100°C por aproximadamente 48 horas.

A análise química, por Espectroscopia FT-Raman, foi realizada em um espectrofotômetro FT-Raman (RFS 100/S– Bruker, Alemanha) à disposição no Laboratório de Espectroscopia Vibracional Biomédica – IP&D/UNIVAP. As amostras foram excitadas por um laser de Nd:YAG (1064 nm). A potência de saída utilizada do laser foi de 100 mW com resolução espectral de 4 cm<sup>-1</sup>. Para cada amostra, foram coletados 3 (três) espectros em diferentes pontos. Para cada ponto usou-se 100 varreduras na região espectral de 0 a 4000 cm<sup>-1</sup>.

A análise térmica das amostras originais foi realizada através da técnica DSC, no equipamento de marca T.A Instruments, modelo Q100. A curva de aquecimento foi feita no intervalo de temperatura de -50 a 200°C sob taxa de 10°C/min.

Os ensaios de tração e alongamento à ruptura foram realizados no equipamento KRATOS

modelo E20, série 3545, ano 2003 capacidade de 500 kg, com temperatura de ambiente de 22°C, velocidade de 200 mm/min. Os resultados foram obtidos a partir de 5 (cinco) corpos de prova na forma de gravatas. No ensaio de tração para as amostras de polietileno envelhecido, usaram-se corpos de prova de 75 mm, com distância entre marcas de 25 mm e velocidade entre garras de 200 mm/min. Para as amostras de polietileno original, usaram-se corpos de prova de 50 mm, com distância entre marcas de 17 mm e velocidade entre garras de 200 mm/min. As dimensões dos corpos de prova foram estabelecidas segundo a norma NBR 6241. Estas gravatas foram confeccionadas cortando as amostras com o auxílio de um molde. Os resultados obtidos nos ensaios de alongamento e tração à ruptura devem atender às especificações das normalizações técnicas. Os valores a serem obedecidos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3- Propriedades e Métodos de Ensaio para Polietilenos.

Propriedades	Método de Ensaio	PE
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	ASTM D1505 ou NBR NM IEC 60811-1-3	0,900 a 0,955
Tração à ruptura mínima (MPa)	NBR 9141 ou NBR NM IEC 60811-1-3	8,2
Alongamento mínimo(%)	NBR 9141	400
Retenção de alongamento	NBR 9141 e NBR 9148	Mínimo de 75% do original após acondicionamento a 100°C por 48 horas
Resistência à baixa Temperatura (°C)	ASTM D 746, método A	- 20

## Resultados e Discussão

Os espectros FT-Raman da amostra do polímero de alta densidade (PEAD-A), antes e após o envelhecimento, são apresentados na Figura 4. Para o polímero de baixa densidade (PEBD-B) os espectros FT-Raman são mostrados na Figura 5, uma vez que os espectros desta amostra são similares aos espectros da amostra PEBD-C. De acordo os gráficos apresentados, são observadas variações no deslocamento Raman dos picos na região de baixa frequência (de 1000 a 1600 cm<sup>-1</sup>). Esta região apresenta os modos de vibração característicos das ligações C-C, indicando que houve distorções nesta ligação na cadeia polimérica. Por outro lado, não foram observadas alterações no deslocamento Raman dos picos em alta frequência (de 2500 a 3200 cm<sup>-1</sup>) antes e após o envelhecimento das amostras. Os picos FT-Raman nesta faixa de frequência são atribuídos aos modos de vibração da ligação C-H<sub>2</sub>.

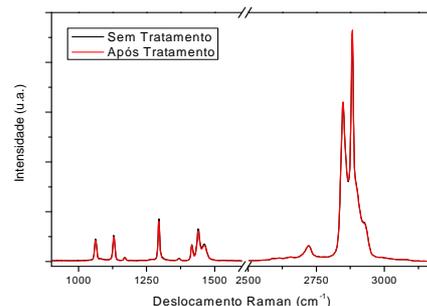


Figura 4- Espectros FT-Raman da amostra PEAD-A antes e após envelhecimento.

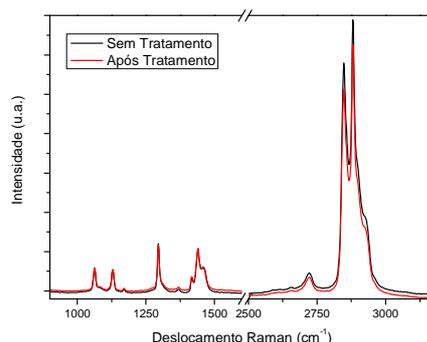


Figura 5- Espectros FT-Raman da amostra PEBD-B antes e após envelhecimento.

Os resultados obtidos para o ensaio mecânico de alongamento das amostras antes e após o envelhecimento podem ser analisados pela observação dos gráficos das Figuras 6 e 7, respectivamente. As amostras de baixa densidade apresentaram redução significativa da taxa de alongamento após o envelhecimento, chegando até mesmo a não apresentar alongamento (PEBD-C). Por sua vez, o alongamento médio das amostras de alta densidade não sofreu variação significativa antes e após o envelhecimento. Entretanto, apenas o PEBD-B original apresentou alongamento adequado às especificações de alongamento mínimo de 400%.

Os termogramas das amostras originais são mostrados nas Figuras 8 e 9 para o PEAD-A e para o PEBD-B, respectivamente. A amostra de PEBD-C apresentou curva DSC similar ao PEBD-B. A temperatura onset de fusão do PEAD-A (120°C) é cerca de 20% maior do que a temperatura de fusão do PEBD-B (100°C), em concordância com a literatura. Ainda, a curva DSC do PEBD leva a inferir que o mesmo sofre alterações efetivas também a temperaturas mais baixas.

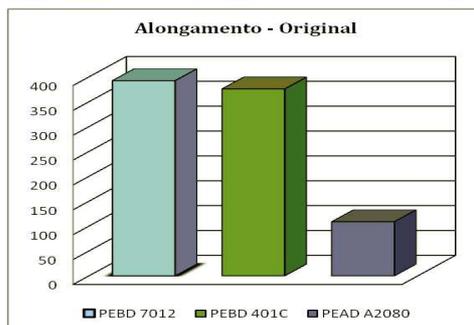


Figura 6- Resultados de alongamento nas amostras originais (eixo y - %).

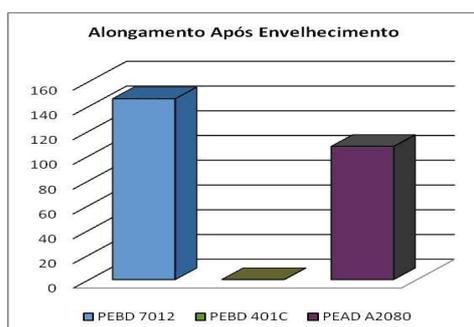


Figura 7- Resultados de alongamento nas amostras após envelhecimento (eixo y - %).

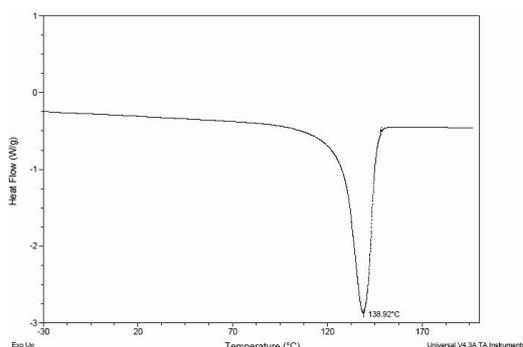


Figura 8- Curva termoanalítica DSC de aquecimento para a amostra PEAD-A.

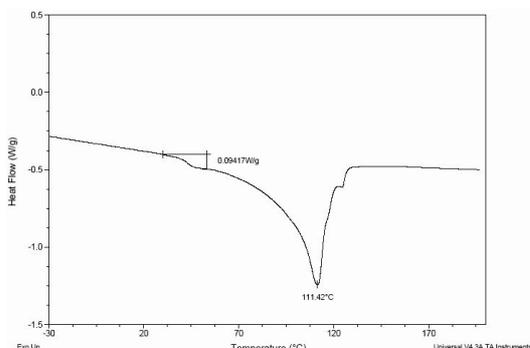


Figura 9- Curva termoanalítica DSC de aquecimento para a amostra PEBD-B.

## Conclusão

O percentual de alongamento do material original do PEBD é maior do que o do PEAD. Entretanto, após o envelhecimento, o PEBD apresenta uma redução muito significativa do alongamento inicial. Originalmente, o PEAD apresenta estabilidade térmica maior do que o PEBD.

Para a boa utilização e aplicabilidade destes materiais em cabos coaxiais devem-se considerar os valores mais adequados das propriedades dos mesmos e balancear o teor da mistura dos dois tipos de polímeros visando o melhor resultado final de desempenho.

## Agradecimentos

Os autores agradecem A. A. Martin (LEVB/UNIVAP) pela infra-estrutura oferecida para as análises químicas e também à empresa Cabletech pelas amostras e infra-estrutura para os ensaios das propriedades mecânicas.

## Referências

CALLISTER JR, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução, LTC Editora, 5. Ed., Rio de Janeiro, 2002, 589 p.

GUIMARÃES, M.J.O.C.; ROCHA, M.C.G.; COUTINHO, F.M.B. Polietileno de alta densidade tenacificado com elastômero metalocênico, Polímeros: Ciência e Tecnologia, V. 2 (2), 2002, p.76.

GULMINE, J. V. Processos de envelhecimento e correlações estrutura-propriedades do XLPE; Curitiba, 2004; XVI, 90 F.: il.

HANLON, E.B.; MANOHARAN, R.; KOO, T.W.; SHAFER, K.E.; MOTZ, J.T.; FITZMAURICE, M.; KRAMER, J.R.; ITZKAN, I; DASARI, R.R.; FELD, M.S. Prospects for in vivo Raman spectroscopy. Physics in Medicine and Biology, V. 45, n. 2, p. R1-R59, 2000.

VILAPLANA, F., KARLSSON S. Quality concepts for the improved use of recycled polymeric materials: A review. Macromolecular Materials and Engineering, V. 293, n.4, p.274-297, 2008.

WASILKOSKI, C.M.; Caracterização do PEBD através da técnica de análise dinâmico-mecânica e comparação com a análise por impedância dielétrica. Dissertação. Janeiro/2002, p.5.

WENDLANDT, W.W. Thermal Analysis. In: Chemical Analysis, chap. 5, John Wiley & Sons (ed.), 3ª ed, New York, p.213-298, 1986.