



COMPARAÇÃO ENTRE O DESEMPENHO TÉRMICO, DINÂMICO E MECÂNICO DO POLIETILENO DE ULTRA-ALTO PESO MOLECULAR E DO POLITETRAFLUORETILENO COMERCIAIS PUROS ¹

Maria Cristina Adami Gatti ²

Omar Maluf ³

Dirceu Spinelli ⁴

José Ricardo Tarpani ⁵

Resumo

Comparou-se o comportamento térmico, dinâmico e mecânico dos polímeros termoplásticos polietileno de ultra-alto peso molecular (PEUAPM) e politetrafluoretileno (PTFE). Análises térmicas revelaram a maior estabilidade do PTFE frente ao PEUAPM. Entretanto, a resistência à tração e ao desgaste abrasivo do PEUAPM foi substancialmente superior à do PTFE. Concluiu-se que, para temperaturas entre 25 e 50°C, o PEUAPM é a opção mais adequada, enquanto que, dos 50 aos 100°C, o PTFE é o polímero mais indicado. Além da determinação das condições apropriadas de aplicação destes materiais potencialmente concorrentes, valores de referência foram obtidos para orientar o desenvolvimento e a caracterização de compósitos com base nestas matrizes poliméricas.

Palavras-chave: Análise térmica; Propriedade mecânica; Polietileno de ultra-alto peso molecular; Politetrafluoretileno.

COMPARING THE THERMAL, DYNAMICAL AND MECHANICAL PERFORMANCE OF COMMERCIALY PURE ULTRA-HIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE AND POLYTETRAFLUORETHYLENE

Abstract

The thermal, dynamical and mechanical behaviour of ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) and polytetrafluoroethylene (PTFE) thermoplastic polymers has been compared. Thermal analyses revealed the higher stability of PTFE before the UHMWPE. However, tensile and wear strengths of UHMWPE were substantially higher than PTFE. It has been concluded that for the temperature range of 25-50°C, the UHMWPE is the best choice, whereas from 50 to 100°C, the PTFE is preferred. Besides the determination of proper conditions for application of these potentially concurrent materials, some reference values have been obtained which can give directions to the development and the characterization of composites relying on these polymer matrices.

Keywords: Mechanical property; Polytetrafluoroethylene; Ultra-high molecular weight polyethylene; Thermal analysis.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Pós-doutoranda no Depto de Eng^a de Materiais, Aeronáutica e Automobilística, Escola de Engenharia de São Carlos (SMM-EESC-USP), Brasil, mcgatti@sc.usp.br

³ Pós-doutorando no Depto de Eng^a de Materiais, Aeronáutica e Automobilística, Escola de Engenharia de São Carlos (SMM-EESC-USP), Brasil, omarramo@sc.usp.br

⁴ Professor Titular no Depto de Eng^a de Materiais, Aeronáutica e Automobilística, Escola de Engenharia de São Carlos (SMM-EESC-USP), Brasil, dspinell@sc.usp.br

⁵ Professor Associado no Depto de Eng^a de Materiais, Aeronáutica e Automobilística, Escola de Engenharia de São Carlos (SMM-EESC-USP), Brasil, jrpan@sc.usp.br

1 OBJETIVO

Foi comparado o comportamento térmico, dinâmico e mecânico dos polímeros termoplásticos comercialmente puros polietileno de ultra-alto peso molecular e politetrafluoretileno. Buscaram-se determinar as condições mais apropriadas de aplicação destes materiais, bem como a obtenção de valores de referência que orientem o desenvolvimento e a caracterização de compósitos com base nestas matrizes poliméricas.

2 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os chamados polímeros de engenharia vêm se destacando em diversos setores industriais, com um grande número de aplicações decorrentes do seu bom desempenho mecânico associado a uma baixa densidade.

Dentre estes materiais podem-se destacar o polietileno de ultra-alto peso molecular (PEUAPM) e o politetrafluoretileno (PTFE), que são facilmente encontrados na vida cotidiana devido à grande versatilidade acima destacada.

O PEUAPM, de fórmula $[\text{CH}_2\text{-CH}_2]_n$, é um polímero que possui elevadíssimo peso molecular, podendo chegar aos $8 \times 10^6 \text{g/mol}$.⁽¹⁾ Em virtude de sua altíssima viscosidade do fundido, o processamento do PEUAPM é realizado por meio de compactação e concomitante sinterização, termo-compressão e/ou extrusão RAM, excluindo-se, desta forma, a moldagem por injeção.⁽²⁾ Este material é usado em aplicações mecânicas e estruturais que demandam boa resistência ao desgaste. Dentre suas propriedades, podemos destacar: estabilidade química, resistência ao desgaste por abrasão, resistência ao impacto, baixíssimos coeficiente de atrito e absorção de água, entre outras.^(3,4) O polímero apresenta baixíssima densidade, próxima de $0,95 \text{g/cm}^3$, exibe uma temperatura de transição vítrea variando entre -125°C e -100°C , e funde a cerca de 135°C .⁽¹⁾

O PTFE foi desenvolvido em 1934, e seu monômero $\text{CF}_2=\text{CF}_2$ é obtido pela decomposição térmica na faixa de temperatura de 800°C a 1.000°C do gás refrigerante diflúor-cloro-metano, CHClF_2 .⁽⁵⁾ Comercializado com o nome fantasia de Teflon®, marca registrada da DuPont, este polímero apresenta elevado peso molecular, por volta de $10^5\text{-}10^6 \text{g/mol}$.⁽⁶⁾ Em virtude de sua elevada viscosidade do fundido, o processamento do PTFE é realizado também por extrusão RAM e via compactação e a sinterização. Porém, diferentemente do PEUAPM, estas duas etapas são efetuadas separadamente para o PTFE, pois ele apresenta o que se denomina resistência a verde, que permite a manipulação das peças para serem levadas ao forno posteriormente à sua conformação.⁽⁷⁾ O PTFE possui como características principais a alta estabilidade química, que permite sua aplicação em meios corrosivos que degradam outros polímeros convencionais, e uma notavelmente elevada temperatura de fusão, próxima dos 330°C , oferecendo uma excelente combinação de propriedades químicas, elétricas, mecânicas, térmicas e de antiaderência. A densidade do polímero é relativamente alta, próxima de $2,20 \text{g/cm}^3$, e sua temperatura de transição vítrea é de 127°C .⁽⁸⁻¹⁰⁾

Em geral, estes materiais poliméricos têm boas propriedades mecânicas, mas podem, quando expostos em ambientes agressivos, ser degradados com a perda significativa de seu desempenho original.

Este trabalho tem por finalidade principal confrontar o comportamento do UHMWPE e do PTFE quando submetidos a efeitos térmicos, dinâmicos e mecânicos numa

faixa de temperaturas (de 25°C a 100°C) em que estes polímeros, e seus compósitos, podem potencialmente se tornar concorrentes entre si.

3 MATERIAIS

O PEUAPM avaliado neste trabalho foi adquirido em um estabelecimento comercial, sendo fornecido na forma de barra circular com diâmetro de 50 mm, e fabricado via extrusão RAM. O PTFE foi provido gentilmente pela empresa Titana Tecnologia Comércio e Indústria de Polímeros Ltda, sendo, igualmente ao PEUAPM, fornecido na forma de barra circular com diâmetro de 50 mm, também manufaturada por extrusão RAM. Os materiais foram avaliados sem sofrer qualquer processamento ou tratamento subsequente à extrusão.

4 MÉTODOS

Análise térmica é uma descrição geral para um grupo de técnicas em que alguma propriedade física do material é continuamente registrada enquanto o material é aquecido (ou resfriado), geralmente a uma taxa constante. As técnicas de análise térmica mais comumente empregadas na caracterização de polímeros são: termogravimetria (TGA), calorimetria exploratória diferencial de varredura (DSC) e análise termo-dinâmica-mecânica (DMTA). Uma descrição detalhada destas técnicas e de seus potenciais aplicativos é fornecida em Canevarolo.⁽¹¹⁾ As condições empregadas nestes ensaios no presente estudo são brevemente descritas abaixo.

4.1 Análise Termogravimétrica (TGA)

Foi realizada num aparelho DuPont Instruments 951[®], no intervalo de temperaturas de 0 a 900°C, sob uma taxa de aquecimento de 10°C/min e fluxo constante de nitrogênio (100 ml/min), dispondo-se a amostra com aproximadamente 8 mg em uma panela de platina.

4.2 Calorimetria Exploratória Diferencial de Varredura (DSC)

Foi conduzida num aparelho DuPont Instruments 910[®], na faixa de temperaturas de 0 a 400°C, sob uma taxa de aquecimento de 5°C/min e fluxo constante de nitrogênio (100 ml/min), utilizando-se uma amostra com aproximadamente 7 mg mantidas em uma panela de alumínio hermeticamente fechada.

4.3 Análise Termo-Dinâmica-Mecânica (DMA)

Foi realizada num aparelho DuPont Instruments 983[®] no intervalo de temperaturas de -150°C a 150°C, sob uma taxa de aquecimento de 5 °C/min. O carregamento mecânico foi do tipo barra duplamente engastada, com um movimento oscilatório relativo entre os pontos de engaste de 0,5 mm imposto na forma de onda senoidal a uma frequência constante de 1 Hz. Utilizaram-se espécimes com dimensões aproximadas de (1,1 x 10 x 55) mm³, sendo o vão entre os pontos de aplicação de carga de 25 mm.



4.4 Ensaio de Tração

Foi conduzido em um sistema eletromecânico Instron modelo 2382[®], com célula de carga de 100 KN, sob controle de deslocamento do travessão a uma velocidade constante de 5 mm/min, empregando-se corpos-de-prova tipo C (gravata), com seção retangular obedecendo as diretrizes da ASTM D638-04.

4.5 Ensaio de Desgaste

Do tipo roda-de-borracha, foi realizado de acordo com o procedimento estabelecido da norma ASTM G65-04, empregando-se como meio abrasivo areia (quartzo) classificação AFS60/70 alimentada a uma vazão de 400 g/min e com uma carga de contato roda/espécime mantida de constante a 130 N. As dimensões dos corpos-de-prova foram de (10 x 25 x 55) mm³.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise Termogravimétrica (TGA)

A Figura 1 e a Tabela 1 apresentam os resultados obtidos durante os experimentos termogravimétricos dos polímeros PEUAPM e PTFE.

Tabela 1. Temperaturas críticas associadas a dois critérios de perda de massa

| Material | T início perda massa (°C) | T perda de massa de 50% (°C) |
|----------|---------------------------|------------------------------|
| PEUAPM | 340 | 788 |
| PTFE | 510 | 588 |

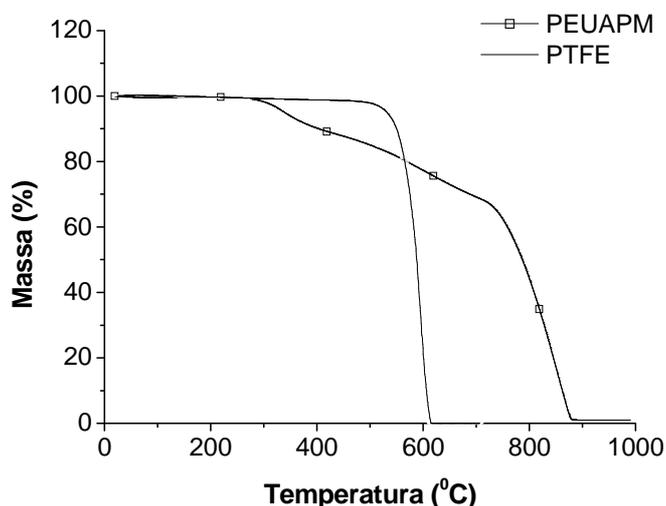


Figura 1. Curva termogravimétrica dos polímeros PEUAPM e PTFE.

Observa-se que o PEUAPM é termicamente estável até a temperatura de 340°C, sem que ocorra qualquer perda de massa durante este aquecimento.⁽⁶⁾ Após os 340°C, inicia-se o processo de decomposição térmica do polímero, levando a uma perda de massa da ordem de 33% entre aquela temperatura e 725°C. A partir deste ponto, a redução de massa continua de forma mais acelerada até os 900°C, quando nada mais resta do material.



No caso do PTFE, a estabilidade térmica perdura até o aquecimento à temperatura de 510°C, sendo bastante superior, portanto, a do PEUAPM. A partir daquela temperatura, entretanto, a decomposição térmica ocorre de maneira radicalmente acentuada, de forma que a 620°C o polímero já não mais existe.⁽¹⁰⁾

5.2 Calorimetria Exploratória Diferencial de Varredura (DSC)

A Figura 2 apresenta as curvas relativas ao fluxo de calor versus temperatura, levantadas durante os ensaios de DSC sob ciclos de aquecimento e resfriamento do PEUAPM e do PTFE. A Tabela 2 lista os principais valores obtidos nos ensaios. As curvas mostradas na Figura 2 revelam que, para ambos os materiais poliméricos avaliados, o processamento por extrusão-RAM não gerou níveis significativos de tensão residual, sendo que os materiais desenvolveram praticamente todo seu potencial de cristalização durante a manufatura dos respectivos tarugos originais.

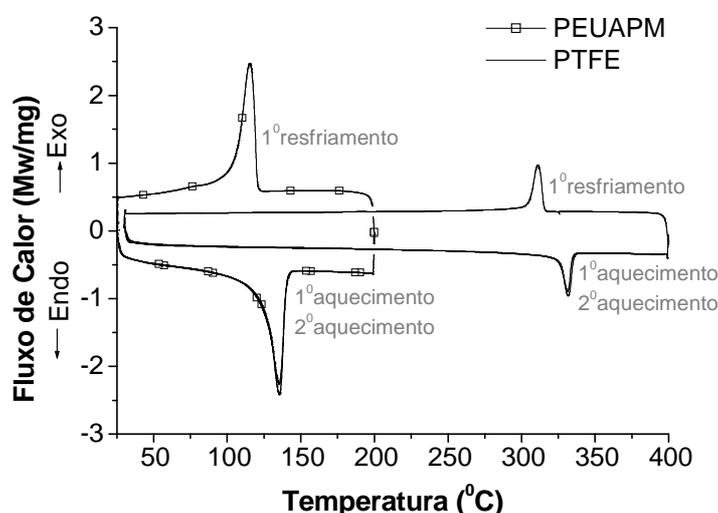


Figura 2. Curvas de DSC de amostras de PEUAPM e de PTFE.

Tabela 2. Temperaturas de cristalização exotérmica (T_C) e de fusão cristalina endotérmica (T_M), entalpias de cristalização (ΔH_C) e de fusão cristalina (ΔH_M), e percentual estimado de cristalinidade das amostras poliméricas avaliadas por DSC (valores médios de três amostras)

| Material | Ciclo | T_C (°C) | T_M (°C) | ΔH_C (J/g) | ΔH_M (J/g) | cristalinidade [#] (% massa) |
|----------|-----------------|---------------|---------------|-----------------------|-----------------------|--|
| PEUAPM | 1º Aquecimento | ---- | 135 | ---- | 135 | 46 |
| | 2º Aquecimento | ---- | 136 | ---- | | |
| | 1º Resfriamento | 120 | ---- | 127 | ---- | ---- |
| PTFE | 1º Aquecimento | ---- | 331 | ---- | 30 | 37 |
| | 2º Aquecimento | ---- | 332 | ---- | | |
| | 1º Resfriamento | 315 | ---- | 35 | ---- | ---- |

[#] Estimado com base nos picos endotérmicos mostrados na Fig. 2.

A análise da Figura 2 permite concluir que o PEUAPM e o PTFE possuem, respectivamente, temperaturas de fusão em torno de 135°C e 331°C, e temperaturas de cristalização respectivamente em torno de 120°C e 315°C, corroborando valores da literatura.^(3,5,12) O mesmo ocorre para as respectivas entalpias de fusão e de cristalização dos dois polímeros,^(8,13) cujos valores são também listados na tabela acima.

5.3 Análise Termo-Dinâmica-Mecânica (DMTA)

Com relação ao módulo de armazenamento (E'), também denominado módulo elástico, observa-se na Figura 3 uma forte redução desta propriedade para o PEUAPM a partir de uma temperatura próxima dos 60°C. Este comportamento está relacionado à maior mobilidade das cadeias poliméricas do material frente ao PTFE, visto que, nesta temperatura, o PEUAPM se encontra numa condição bem mais próxima da fusão ($T_M = 137^\circ\text{C}$), se comparado ao seu concorrente, o PTFE (330°C).

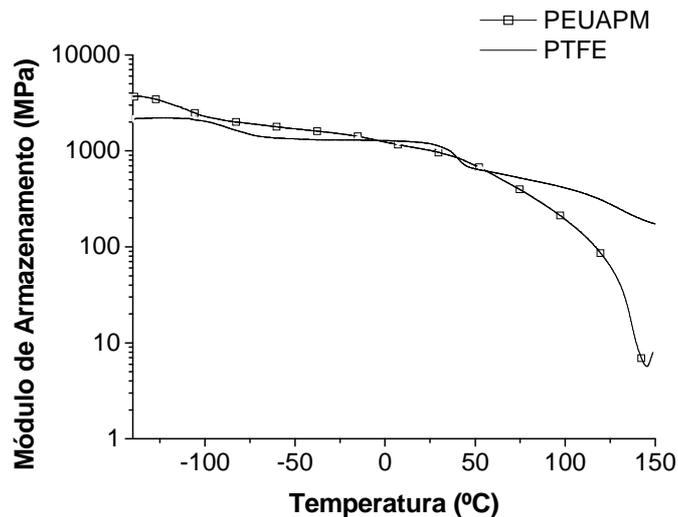


Figura 3. Variação do módulo de armazenamento, E' , do PEUAPM e do PTFE com a temperatura de ensaio.

No que se refere ao módulo de perda (E''), a Figura 4 indica, à semelhança do anteriormente verificado para E' , uma redução abrupta desta propriedade para o PEUAPM também a partir dos 60°C.

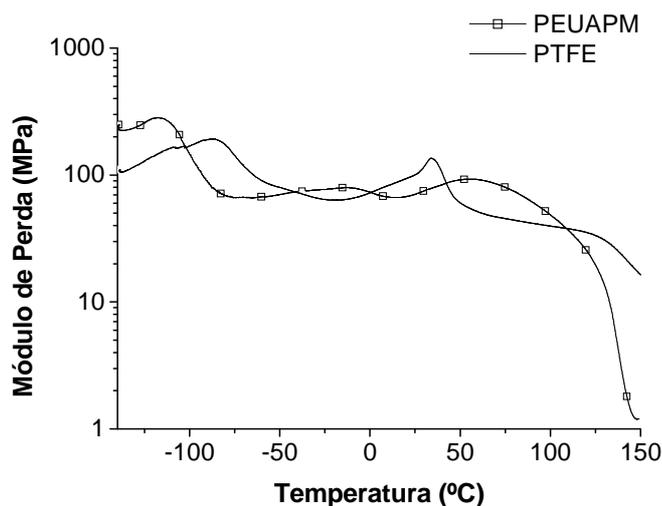


Figura 4. Variação do módulo de perda, E'' , do PEUAPM e do PTFE com a temperatura de ensaio.

As curvas de $\tan \delta (= E''/E')$ de ambos os materiais são apresentadas na Figura 5. Merece ser destacado que o valor da $\tan \delta (= E''/E')$ é uma medida do grau de amortecimento mecânico do material, e, quanto mais dúctil ou tenaz o material,

maior é seu potencial de amortecimento. Materiais com elevada capacidade de amortecimento dissipam, na forma de calor, grande parte da energia que foi utilizada no seu processo de deformação.^(11,14)

Desta forma, um valor elevado da tangente de perda sinalizaria, em princípio, uma propensão do material polimérico à redução de suas propriedades mecânicas em condições de serviço. Em outras palavras, altos $\tan \delta$ indicariam uma baixa estabilidade estrutural e, eventualmente, dimensional do material como decorrência da forte dissipação do calor gerado pelo mesmo. Isto seria indesejável, por exemplo, em estruturas que suportam carregamentos por longos períodos de tempo,⁽¹⁵⁾ seja sob condições de controle pela tensão, ou pela deformação. A rigor, estas condições definiriam o desenvolvimento dos reconhecidos fenômenos de fluência (tensão constante) ou relaxação de tensão (deformação constante).

Os valores destas três variáveis, E' , E'' e $\tan \delta$, determinados nas temperaturas de 25°C e 100 °C, que seriam os extremos de uma faixa de temperaturas em que estes polímeros são potencialmente fortes concorrentes entre si, estão listados na Tabela 3. Eles confirmam a supremacia termo-dinâmica-mecânica do PTFE sobre o PEUAPM na faixa superior daquele intervalo de temperaturas de interesse, porém indicam, juntamente a uma análise mais apurada dos gráficos das Figuras 3-5, uma certa equivalência de comportamentos dos dois materiais poliméricos puros até temperaturas próximas de 50°C.

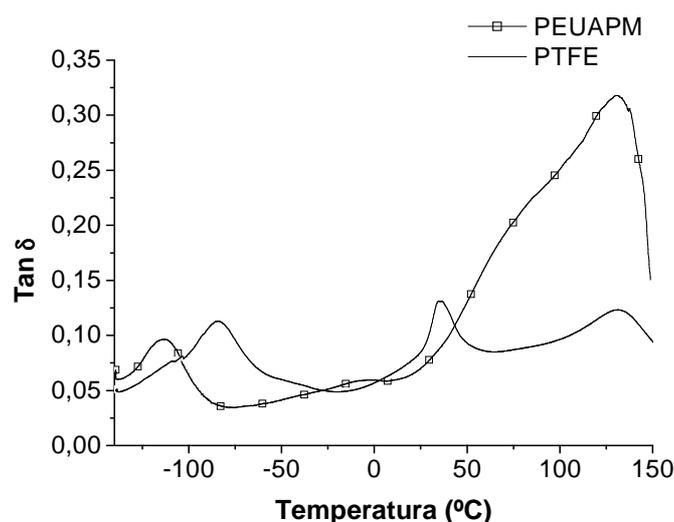


Figura 5. Variação de $\tan \delta$ com a temperatura do ensaio DMTA.

Tabela 3. Valores de $\tan \delta$, e dos módulos de armazenamento (E') e de perda (E'') às temperaturas de, respectivamente, 25°C e 100°C para os dois termoplásticos (valores médios de três amostras)

| Material | E' (MPa) | E'' (MPa) | $\tan \delta$ |
|--------------|---------------|----------------|---------------|
| PEUAPM 25°C | 1000 | 70 | 0,07 |
| PTFE 25°C | 1032 | 82 | 0,08 |
| PEUAPM 100°C | 194 | 46 | 0,25 |
| PTFE 100°C | 414 | 42 | 0,10 |

5.4 Ensaio de Tração

Na Figura 6 e na Tabela 4 estão reproduzidos os resultados obtidos durante os ensaios de tração realizados à temperatura ambiente para os dois materiais.

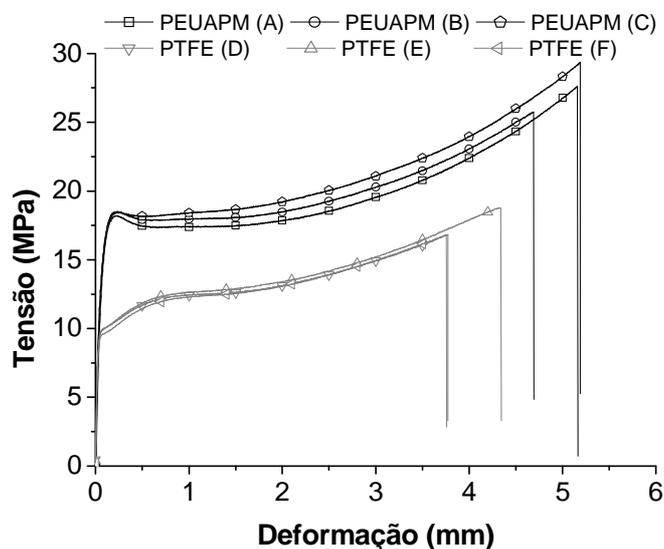


Figura 6. Curvas tensão-deformação em tração dos polímeros PEUAPM e PTFE (3 espécimes ensaiados para cada material).

Tabela 4. Resultados do ensaio de tração do PEUAPM e do PTFE (valores médios)

| Material | Alongamento % | Redução de área% | Limite de escoamento (MPa) | Limite de resistência (MPa) |
|----------|---------------|------------------|----------------------------|-----------------------------|
| PEUAPM | 205 | 58 | 8 | 22 |
| PTFE | 189 | 61 | 6 | 17 |

Ambos os materiais poliméricos apresentaram um baixo espalhamento dos resultados, o que reflete diretamente a homogeneidade das amostras ensaiadas, e que, por sua vez, indica uma boa qualidade do processamento dos tarugos originais. A Figura 7 mostra os corpos-de-prova já rompidos, após a realização dos ensaios de tração.

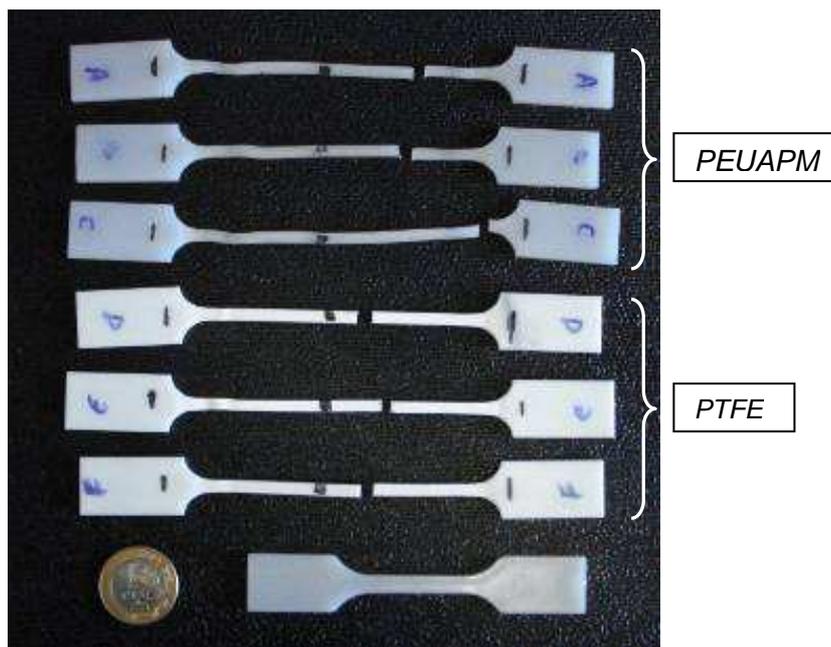


Figura 7. Corpos-de-prova já ensaiados em tração.

Os resultados acima indicam um desempenho significativamente superior por parte do PEUAPM à temperatura ambiente, ocasião em que o comportamento térmico, dinâmico, e mecânico dos dois materiais é bastante similar para os dois materiais (Figuras 3 a 5), condição que se mantém, conforme já comentado no item 5.3, para temperaturas da ordem de 50°C. Caso seja ainda levada em conta a muito mais baixa densidade do PEUAPM frente à do PTFE (menos que a metade deste último) a supremacia mecânica naquela faixa inferior de temperaturas é ainda mais notável e vantajosa para o PEUAPM. Há de se considerar, entretanto, que, de acordo com os resultados exibidos no item 5.3, acima da temperatura de 50°C o comportamento do PEUAPM tende a decair muito mais rapidamente, com o aquecimento, que o seu concorrente, o PTFE. Portanto, pode-se concluir, a partir dos ensaios realizados e avaliados até este ponto do texto, que, dos 25 aos 50°C, o PEUAPM é, devido ao critério de mais baixa densidade, uma opção mais satisfatória que o PTFE, enquanto que o inverso é verdadeiro a partir dos 50°C, dada a superior estabilidade termo-dinâmica-mecânica deste último polímero.

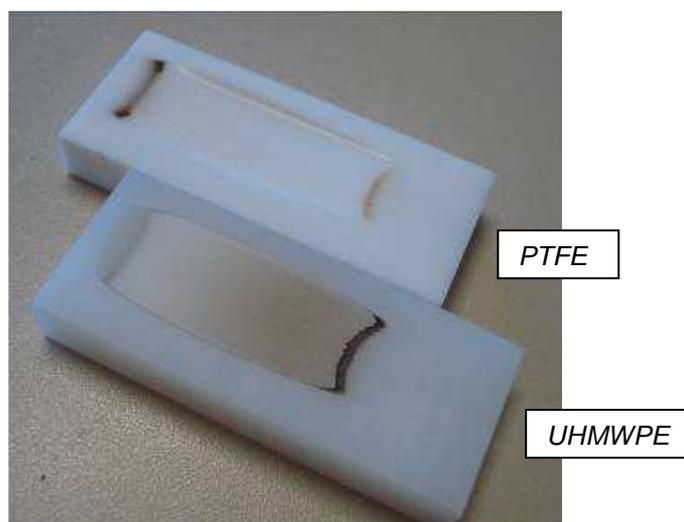
5.5 Ensaio de Desgaste

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos durante ensaios de desgaste em roda de borracha, realizados à 25°C com ambos os polímeros ora avaliados.

Observa-se que o polímero PTFE apresenta valores muito superiores de desgaste em termos de perda de volume, da ordem de 350%, se comparado ao PEUAPM. Isto é claramente verificado através da comparação dos corpos-de-prova mostrados na Figura 8. Portanto, também neste quesito (além da resistência mecânica em tração discutida no item 5.4), e novamente à temperatura ambiente, o PEUAPM apresenta um desempenho mais atrativo, na sua forma pura e comercialmente disponível, que o PTFE em idênticas condições. Isto corrobora as conclusões anteriores no sentido de que, no intervalo de temperaturas de interesse (25°C a 100°C), a faixa inferior de temperaturas é dominada pelo PEUAPM, enquanto que a superior é controlada pelo PTFE.

Tabela 5. Resultados de desgaste dos materiais poliméricos

| Material | Desgaste (cm ³) |
|----------|-----------------------------|
| PEUAPM | 21,8 |
| PTFE | 97,6 |

**Figura 8.** Corpos-de-prova após os ensaios de desgaste.

6 CONCLUSÃO

Foi comparado o desempenho térmico, dinâmico e mecânico dos polímeros polietileno de ultra-alto peso molecular (PEUAPM) e politetrafluoretileno (PTFE), puros e comercialmente disponíveis. Os resultados termogravimétricos, de calorimetria exploratória diferencial de varredura e de análise termo-dinâmico-mecânica revelaram a maior estabilidade do PTFE frente ao PEUAPM. Entretanto, a resistência à tração e ao desgaste abrasivo à temperatura ambiente do PEUAPM foi substancialmente superior à do PTFE. Concluiu-se que, para temperaturas entre 25°C e 50°C, o PEUAPM é a opção mais adequada, enquanto que, dos 50°C aos 100°C, o PTFE é polímero mais indicado. Além da determinação das condições apropriadas de aplicação destes materiais potencialmente concorrentes, em sua forma pura comercial, valores de referência foram obtidos para orientar o desenvolvimento e a caracterização de compósitos com base nestas matrizes poliméricas. Nestas condições, é muito possível que a adição de fases particuladas cerâmicas favoreça a estabilidade térmica do PEUAPM em temperaturas significativamente superiores a 50°C (bem como do PTFE em temperaturas muito acima dos 100°C), acentuando desta forma a competitividade entre os dois polímeros presentemente avaliados, e estendendo ainda mais o campo de aplicabilidade de ambos os materiais.

Agradecimentos

Às agências de fomento FIPAI e CAPES e à empresa MIB (*Materials Institute of Brazil*) pelos suportes financeiros.



REFERÊNCIAS

- 1 Coutinho, F. M. B.; Mello, I. L.; Santa Maria, L. C. de. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, São Carlos, v.13, n.1, p 1-13, 2003.
- 2 Gao, P.; Cheung, M.K.; Leung T. Y. Effects of compaction pressure on cohesive strength and chain mobility of low-temperature compacted nascent UHMWPE. *Polymer*, v.37, n.15, p.3265-3272, 1996.
- 3 Pradhan, S. K.; Dwarakadasa, E. S.; Reucroft, P. J. Processing and characterization of coconut shell powder filled UHMWPE. *Materials Science and Engineering*, Lexington, US, v. 367, p. 57–62, 2004.
- 4 Rubim, I. I. *HANDBOOK of plastic materials and technology*. New York: John Wiley & Sons, 1990.
- 5 Dattelbaum D. M.; Rae P. J. The properties of poly(tetrafluoroethylene) (PTFE) in compression. *Polymer*, v.45, p.7615-7625, 2004.
- 6 Mano, E. B.; Mendes, L. C. *Introdução a polímeros*, Edgard Blucher Ltda, Rio de Janeiro, 1999.
- 7 Canto, R. B. Estudo teórico e experimental dos processos de compactação e sinterização do politetrafluoretileno (PTFE), Tese de Doutorado da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2007.
- 8 Bonnet, J. *Polymeres fluores*. Techniques de l'Ingénieurs-AM3390, 2004.
- 9 Galembeck, F. Surface Modification of Teflon: Contact-Angle Measurements. *Journal of Polymer Science Part C – Polymer Letters*, v.15, n.2, p.107-109, 1977.
- 10 *Properties of PTFE*. Em <http://www.cowie-tech.com/ptfeprop.htm>.
- 11 Canevarolo, S. V. *Análise Dinâmico-mecânica para Sistemas Poliméricos. Parte 1: O Amortecimento*, ABPol, Maio, 1991.
- 12 Canevarolo, S. V. *Técnicas de Caracterização de Polímeros*, Artliber Ed., v.1, São Paulo, 2004.
- 13 Bergstrom, J. S.; Hilbert Jr, L. B. A constitutive model for predicting the large deformation thermomechanical behavior of fluoropolymers. *Mechanics of Materials*, v.37, p.889-913, 2005.
- 14 Hertzberg, R. W. *Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials*, John Wiley & Sons, Ed., New York, NY, pp. 206-210, 1976.
- 15 Gatti, M. C. A.; Silva, R. V.; Tarpani, J. R. Análise Térmica do Laminado PEEK/Carbono Submetido a Diferentes Rotas de Processamento. *Revista Matéria*, v.11, n.3, p.332–339, 2006.