AVALIAÇÃO DE ESCLEROMETRIA PENDULAR EM COMPÓSITOS COM MATRIZ DE PTFE

A. P. Araújo Neto[*,1]; R. D. A. Silva Neto[1]; S. B. Soares Neto[1]; J. R. Souza[1]; J. T. N. Medeiros[1].
[*]Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal – RN,
tonypaulino14@hotmail.com; ruydiasneto@gmail.com
[1]Grupo de Estudos de Tribologia e Integridade Estrutural – GET – UFRN

RESUMO

O ensaio esclerométrico consiste em simular e analisar o processo abrasivo encontrado em situações reais através de ensaios de laboratório. O contato entre o agente abrasivo e a superfície é determinado pelo conjunto de parâmetros físico-químicos e mecânicos atuantes no tribosistema. A energia específica de riscamento, dada pela relação entre a energia necessária para gerar um risco e a massa removida, é um parâmetro de rápida obtenção, e representativo da resistência à abrasão dos materiais para várias situações práticas. Os compósitos foram desenvolvidos a partir da mistura mecânica de rejeitos de Scheelita (RS) de politetrafluoroetileno (PTFE), ambos em forma de pó e depois prensados utilizando uma prensa hidráulica com uma pressão de 3 toneladas, com o uso de um controlador de temperatura. Os resultados mostraram uma não linearidade da energia de deformação. A partir desses resultados pode-se perceber a influência do RS.

Palavras-Chave: PTFE, Esclerometria Pendular, Compósitos, Tribologia, Rejeito de Scheelita.

INTRODUÇÃO

Politetrafluoroetileno (PTFE) se destaca em aplicações de engenharia, devido ao seu baixo coeficiente de atrito ($0,01 < \mu < 0,1$), a corrosão e a resistência térmica, bem como outras características é também quimicamente inerte. De acordo com S. K. Biswas(1), este material tem uma baixa resistência ao desgaste da ordem de $5x10^{-14}$ m²/N, vários estudos mostram que este fato

pode comprometer a utilização deste polímero em alguns setores industriais e levar a uma falha prematura dos componentes desenvolvidos com este material[1-4]. A resistência ao desgaste do PTFE pode ser melhorada pela adição de derivados de cerâmica, provenientes do beneficiamento da mineração, formando desse modo um compósito polimérico.

A produção de cerâmica é uma importante atividade econômica no estado do Rio Grande do Norte, destacando principalmente a extração de Scheelita. No entanto, o processamento de material cerâmico depositado quantidades de resíduos resultantes do processo de fabrico. Esses rejeitos são um dos principais impactos da extração mineral. Entre as mudanças trazidas pelos resíduos ambientais, Komnitas (1998) e Geremias (2010) citam que a remoção de áreas de vegetação, reconfiguração de superfícies topográficas, impacto visual, acelerando a erosão, inviabilidade de uso alternativo do solo, emissões de gases de efeito estufa e partículas no ar, a contaminação dos recursos hídricos e redução da qualidade de vida das populações circundantes[5,6]. Assim, o aproveitamento econômico dos resíduos é de suma importância para minimizar os seus efeitos sobre o meio ambiente.

Os materiais compósitos são uma classe, onde dois ou mais materiais são combinados para exibir propriedades únicas que não são possíveis de serem obtidos a partir dos seus componentes individuais. Com o aumento da procura para o desenvolvimento de novos materiais compósitos em uma variedade de aplicações, tem-se intensificado o estudo do comportamento de cargas em matrizes de polímeros, com o objetivo de aumentar a resistência ao desgaste destes materiais. Compósitos de PTFE (matriz) e rejeitos de Scheelita (carga) foram desenvolvidos para melhorar a resistência ao desgaste do PTFE, permitindo a reutilização de resíduos, tendo assim uma política ambientalmente amigável[7].

O ensaio esclerométrico consiste em simular e analisar o processo abrasivo encontrados em situações reais, através de testes de laboratório[8]. A esclerometria pendular é uma técnica tribológica, que consiste em promover um movimento de pêndulo usando indentadores com diferentes ângulos de ponta, que atinge as amostras com um único risco abrasivo em forma de meia-lua. A energia dissipada gerada pelo risco é determinada pela variação da energia potencial pêndulo. Este tipo de teste é utilizado para determinar a

energia de deformação em condições dinâmicas de abrasão e onde a remoção do material ocorre em condições de elevada taxa de deformação[9].

MATERIAIS E MÉTODOS

Compósitos

Os compósitos foram desenvolvidos a partir da mistura mecânica de rejeitos de Scheelita (RS) de politetrafluoroetileno (PTFE), ambos em forma de pó. Utilizando uma prensa hidráulica, e um molde cilíndrico acoplado a um controlador de temperatura, os compósitos foram comprimidos com uma carga de 3 toneladas durante 3 minutos a uma temperatura de cerca de 220 °C. Os compósitos de PTFE com RS tem uma composição com uma gama de 99:1, 98:2, 97:3, 95:5, 90:10, 80:20, 70:30, 50:50 (% em peso), podendo ser visto na Fig. 1.

Figura 1. Composições das amostras

Ensaio Esclerométrico

O ensaio de esclerometria pendular é uma técnica tribológica que consiste em promover um movimento de pêndulo usando os indentadores com diferentes ângulos de ponta que são liberados a partir de altura inicial H, que atinge a amostra com um único passo abrasivo. Um desenho esquemático da esclerômetro pendular foi representado na Fig. 2.

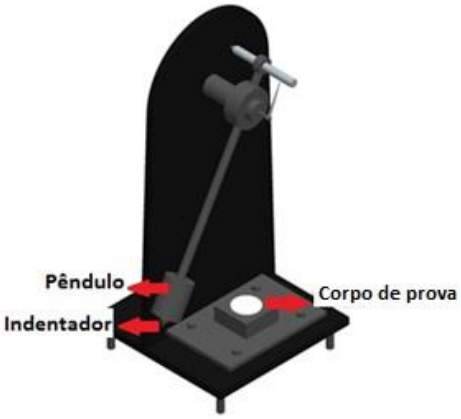

Figura 2. Desenho esquemático do esclerômetro pendular

O pêndulo é lançado com uma altura inicial gravada por um ponteiro de um transferidor posicionado centralmente em relação ao eixo do pêndulo. Depois de riscar a amostra, o pêndulo atinge uma altura final do movimento permitido pela energia restante que não foi dissipada durante o risco. A energia de deformação é calculada usando pela equação (A).

$$E = \frac{m.g.h.[sen(\varphi_2) - sen(\varphi_1)]}{V_d} \quad (A)$$

Onde *E* é a energia de deformação específica (J/mm³), *m* é a soma das massas do pêndulo e do indentador (kg), *g* a aceleração da gravidade (m/s²), *h é* altura (m), φ_1 e φ_2 são os ângulos, inicial e final, respectivamente e V_d o volume removido durante após o risco (mm³).

Para avaliar a variação da pressão de contato, foi utilizado indentadores com o ângulo da ponta variando de 30°, 45°, 60°, 75°, 90° e 120°, observar na Fig. 3. A pressão de contato foi associada com a energia de deformação necessária para promover o risco.

Figura. 3. Indentadores com diferentes ângulos de ponta

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da energia de deformação específica podem ser analisados nas Fig. 4, 5 e 6. De acordo com os resultados observou-se que em geral não há linearidade para os compósitos ensaiados com cada ângulo de ponta indentadora.

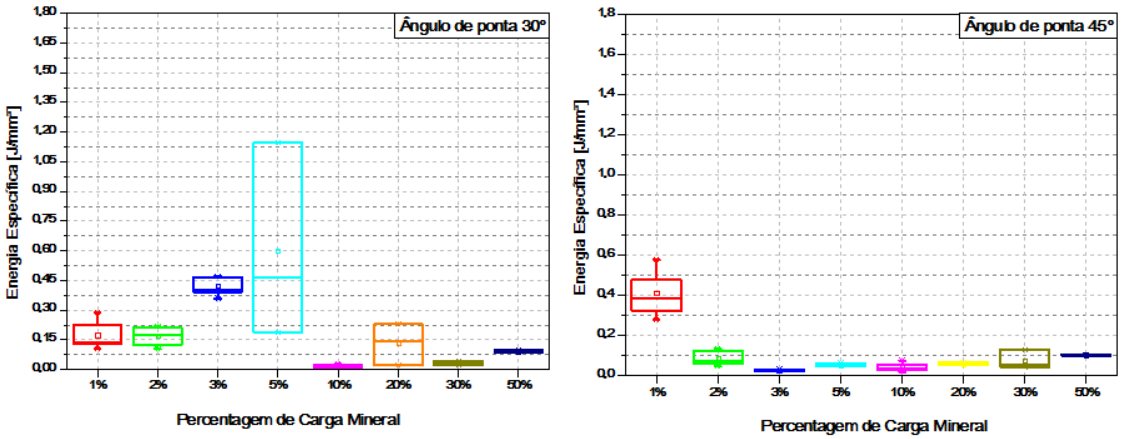

Figura 4. Resultados de Energia de Deformação para todos os compósitos ensaiados com ângulo de ponta indentadora de 30° e 45°

É possível identificar na Fig. 4 duas áreas para o ângulo de ponta de 30°, uma com menor concentração de carga mineral e a outra com uma ordem de grandeza maior de carga. Analisando as composições com maior concentração de carga, é possível perceber que há uma diminuição da energia dissipada durante o risco, isto pode estar associado ao coeficiente de perda do PTFE que é maior, comparado ao da Alumina (presente em maior teor na carga mineral).

Para o ângulo de ponta de 45°, não ocorre o mesmo comportamento explicado anteriormente para 30°, todavia, a composição de 1%, que apresenta maior concentração de PTFE, absorveu maior energia durante o risco, devido ao seu coeficiente de perda ser maior do que para as demais composições.

Para a composição de 2% de carga mineral, verifica-se uma redução de energia de deformação específica até a composição de 3%, mantendo-se uma tendência crescente a partir de 10% de carga até a composição de 50% que comparada ao ângulo anterior de 30° apresentam a mesma faixa de energia.

Para ambos os ângulos de ponta verificou-se que as composições com maior teor de carga mineral (a partir de 10%), considerando a média, mantiveram-se no mesmo nível de energia de deformação específica, não ultrapassando 0,15 J/mm^3.

Para os ângulos de 60 e 75° o volume removido é maior por apresentar uma maior área de contato com a superfície do corpo de prova, Fig. 5. Desta forma, há uma possibilidade muito maior do contato entre o indentador e a carga mineral, do que para os ângulos de ponta mais finos, o que pode explicar a não linearidade dos resultados.

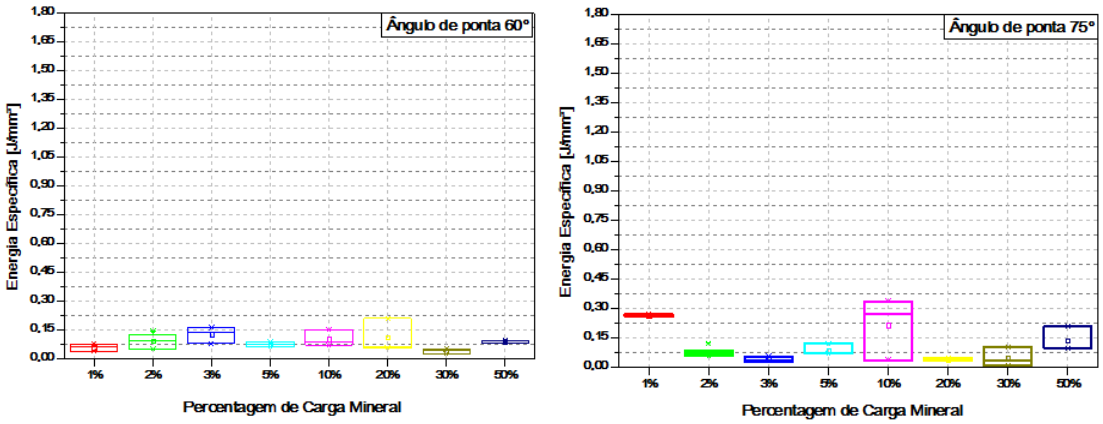

Figura 5. Resultados de Energia de Deformação para todos os compósitos ensaiados com ângulo de ponta indentadora de 60° e 75°

No caso do ângulo de 60° a composição de 30% se destaca como o menor valor de energia. Assim como visto para o ângulo de 45° o compósito com 1% de carga mineral se destaca com os maiores valores de energia registrados no riscamento com o ângulo de 75°. Outra observação é que no uso dos ângulos de ponta de 60° e 75° a energia de deformação específica foi semelhante aos demais indentadores.

Os maiores níveis de energia apresentados no gráfico para o ângulo de ponta de 120°, Fig. 6, podem estar diretamente ligados a máxima área de contato entre o indentador e a superfície do corpo de prova, que dificulta o

riscamento, gerando a deformação plástica por deslizamento, não havendo remoção significativa de volume.

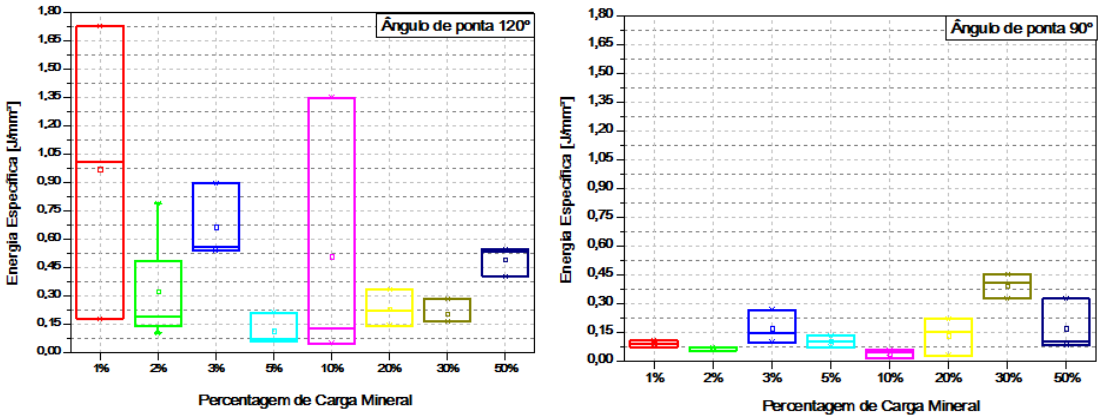

Figura 6. Energia de Deformação para todos os compósitos ensaiados com ângulo de ponta indentadora de 90° e 120°

Excepcionalmente no ângulo de 90° a composição de 30% de carga mineral mais uma vez tem destaque, mas neste caso com os maiores valores de energia, quando comparada as demais composições. Para o ângulo de 120° o compósito com 1% de carga mineral apresenta resultado semelhante ao observado nos ângulos de 45° e 75° absorvendo maior energia durante o risco, justificado pelo seu coeficiente de perda.

De acordo com a teoria da mecânica do contato, ângulos de ponta menores são mais afiados tem uma menor área de contato entre a ponta e a superfície do corpo de prova e, portanto, apresentam maior pressão de contato durante o risco[10].

Para os resultados de esclerometria a não linearidade e a variação de energia de deformação específica podem ser justificados por vários fatores, como por exemplo:

1. A forma com que as cadeias poliméricas do PTFE estão organizadas nestes compósitos, podendo facilitar ou dificultar o riscamento, caso o indentador cisalhe na direção paralela ou transversal as cadeias[11].
2. Sabendo-se que este polímero é semicristalino a cristalinidade local (fases amorfa e/ou cristalina (micro));
3. A variação da pressão de contato com o ângulo de ponta do indentador e com o percurso pendular;
4. A ocorrência de adesão local do corpo de prova na ponta indentador;

5. O atrito gerado no contato;
6. A variação do teor de carga mineral e distribuição das partículas na matriz dos compósitos.

Outros fatores que podem explicar a não linearidade estão associados ao processo de fabricação dos corpos de prova (conformação à quente e planicidade), onde a dispersão das partículas não é controlável e a vibração do pêndulo esclerométrico. Consequentemente, o risco gerado em cada corpo de prova não é exatamente repetitivo ao variar a composição e o ângulo de ponta do indentador.

Após os ensaios, as amostras foram analisadas por MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) para visualização da morfologia da superfície riscada. Na Fig. 7, é possível visualizar a pista de desgaste realizada num corpo de prova riscado com ângulo de ponta de 30°, onde é possível evidenciar que durante o percurso do indentador no início e fim do risco se localiza a menor profundidade, enquanto que no meio à maior profundidade do risco, indicando a variação da pressão de contato, durante o processo de riscamento pendular.

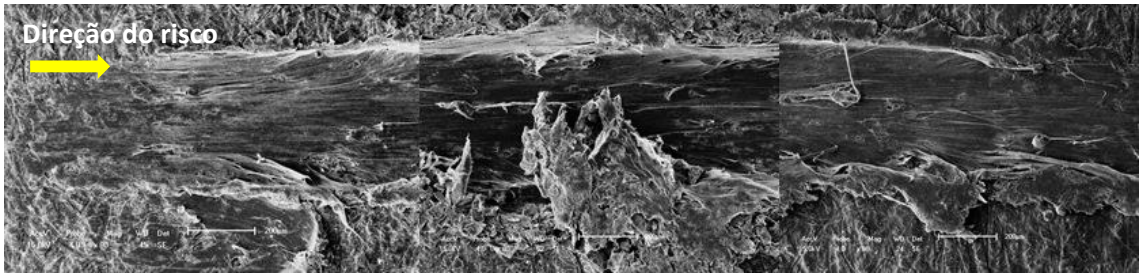

Figura 7. MEV do corpo de prova após a passagem do ângulo de ponta de 30°, magnitude de 80x, WD 24, escala 24 µm

A partir da análise da morfologia da superfície dos corpos de prova identificaram-se a predominância da delaminação, presente em todos os compósitos, para todos os ângulos de ponta, características do PTFE, a influência da variação do ângulo de ponta do indentador ao riscar e a influência da carga mineral na matriz de PTFE ao ser riscado.

CONCLUSÃO

Compósitos de PTFE com frações volumétricas de Rejeito de Scheelita submetidos a ensaios tribológicos de esclerometria pendular variando-se a pressão de contato permitiu evidenciar que a utilização do Rejeito de Scheelita

na forma de carga em matriz de PTFE é uma boa alternativa, explicada pelas seguintes conclusões:

1. A energia de deformação específica média da de 20% composição foi $0.15 \leq E \leq 0{,}22$ J/mm^3 com uma mínima variação para todos os ângulos de ponta utilizados, mantendo-se na mesma faixa. Além disso, esta composição apresenta um teor de rejeito de scheelita considerável fazendo com que o custo do compósito seja reduzido.
2. Os principais mecanismos de desgaste evidenciados na morfologia do dano a partir das imagens de MEV foram: delaminação, formação de debris, abrasão a dois e/ou três corpos, microfissuramento, porosidade, rasgamento e *crazing* (esgarçamento).

REFERÊNCIAS

1 Biswas, S. K., Kalyani, V., 1992, “Friction and wear of PTFE - a review”, Wear, 158, 193-211. India.
2 Khedkar J., Negulescu I., Meletis E.I., 2002 “Sliding wear behavior of PTFE composites”, Wear, Vol. 252, pp. 361–369.
3 Li, F., Hu, K., LI, J., 2002, “Zhao The friction and wear characteristics of nanometer ZnO filled polytetrafluoroethylene”, Wear, Vol. 249, pp. 877–882.
4 Ashby, M. F., 2005, “Materials Selection in Mechanical Engineering”. Oxford, Elsevier, 3rd Ed. 605 p.
5 Komnitsas, K.; Kontopoulos, A.; Lazar, I.; Cambridge, M.; Miner. Eng. 1998, 1, 1179.
6 Geremias, R., Rogério L., Valfredo T. F., Rosangela C. P., 2010, “Rejeito de mineração de carvão como adsorvente para remoção da acidez, Fe (III), Al (III) e Mn (II) em drenagem ácida”, Quím. Nova vol.33 no.8 São Paulo, Brasil.
7 SOUZA, J. R. Desenvolvimento de compósitos PTFE + rejeito de scheelita tribologicamente eficazes. Tese de doutorado apresentada à Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN, Brasil, 2015
8 Schuitek, Aloisio José. Study of wear behavior of mettalic materials in circular scratching test [doctor thesis]. USP: Polytechnic School; 2007.
9 Buttery, T. C. Grinding and Abrasive Wear. Proc. Inst. Mech. Engs., v, 185, p. 537-551, 1970.
10 BRISCOE, B. J. and SINHA, S. K.. Mat.-wiss. u. Werkstofftech. 2003, 34, No. 10/11 DOI: 10.1002.
11 GREGORY, S. W.; NICOLAS, ARGIBAY N.; BURRIS, L. D; Krick, B. A. Mechanistic Studies in Friction and Wear of Bulk Materials: Annu. Rev. Mater. Res. 2014. 44:395–427.

PENDULUM SCLEROMETRIC EVALUATION IN COMPOSITES WITH PTFE MATRIX

ABSTRACT

The sclerometric test consist is on simulating and analyzing the abrasive process found in real situations through laboratory testing. The contact between the abrasive and the surface is determined by the set of physical and chemical parameters and mechanical active in the tribosystem. The scratching specific energy, given by the ratio between the energy needed to generate the scratch and the removed mass, is a easy obtaining parameter, and representative of abrasion resistance material for various practical situations. The composites were developed from mechanical mixing of Scheelite tailings (TS) and polytetrafluoroethylene (PTFE), both in powder form and compressed using a hydraulic press with a pressure of 3 tons with the use of a temperature controller. The results showed a non-linearity of strain energy. From these results one can see the influence of TS.