

## ANÁLISE DOS MECANISMOS DE DESGASTE ORIUNDOS DE ENSAIOS TRIBOLÓGICOS COM ALTO PAR $P \times V$ EM UM COMPÓSITO DE PTFE

Iago Henrique Lima Santiago, [ihlimasantiago@gmail.com](mailto:ihlimasantiago@gmail.com)<sup>1</sup>  
Antônio Paulino de Araújo Neto, [tonypaulino14@hotmail.com](mailto:tonypaulino14@hotmail.com)<sup>1</sup>  
Gabriel Marinho Vieira, [gabrielmarinho\\_15@hotmail.com](mailto:gabrielmarinho_15@hotmail.com)<sup>1</sup>  
Juliana Ricardo de Souza, [julianars.materiais@gmail.com](mailto:julianars.materiais@gmail.com)<sup>1</sup>  
João Telésforo de Nóbrega Medeiros, [jtelesforo@yahoo.com](mailto:jtelesforo@yahoo.com)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Estudos em Tribologia e Integridade Estrutural (GET) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caixa Posta: 1524 – Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59078-970 | Natal/RN – Brasil

**Resumo:** Visando a aplicação de compósitos constituídos por uma matriz polimérica de PTFE reforçado com rejeito de scheelita em elementos estruturais, se faz necessário investigar os mecanismos de desgastes presentes no contato deslizante entre o compósito e um contra corpo metálico. Para isso, imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas com o fim de se analisar as trilhas de desgastes dos corpos de prova submetidos a ensaios de pino-sobre-disco para diferentes condições de velocidade linear e pressão de contato. Os resultados indicam que os parâmetros do ensaio tribológico influenciam diretamente na morfologia do dano das superfícies dos corpos de prova, de modo que a condição com maior pressão de contato e menor velocidade de deslizamento provocou danos mais agressivos quando comparado a outra condição avaliada. Além disso, evidências de aglomerado de polímero e porosidade superficial foram encontradas na trilha de desgaste.

**Palavras-chave:** Tribologia, Mecanismos de Desgaste, Compósito, PTFE.

### 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, compósitos poliméricos vêm sendo utilizados nas indústrias como materiais estruturais, uma vez que eles apresentam uma excelente relação entre baixo peso e bom desempenho mecânico, sendo essa uma das principais demandas da engenharia moderna. Nesta perspectiva, o politetrafluoroetileno (PTFE) tem sido utilizado como matriz para tais compósitos (Demirci e Düzcükoglu, 2014), pois além desse polímero apresentar um baixo coeficiente de atrito (COF), o mesmo possui uma alta resistência a corrosão e ponto de fusão elevado ( $\sim 330$  °C), permitindo que esse material seja empregado em aplicações com condições adversas (Khatipov *et al*, 2012; Xu *et al*, 2014; Qu *et al*, 2017).

Apesar de apresentar as características mencionadas, o PTFE possui uma alta taxa de desgaste, o que faz com o que as suas aplicações sejam limitadas, especialmente para aplicações em condições severas com um alto par  $P \times V$  (produto entre a pressão e velocidade linear) (Song *et al*, 2016). Por esse motivo, Souza (2015) desenvolveu um compósito polimérico tribologicamente eficaz a base de PTFE reforçado com rejeito de scheelita (RS), de modo que a taxa de desgaste foi reduzida consideravelmente, enquanto o COF pouco se alterou.

Visando a aplicação desse compósito em elementos estruturais, se faz necessário compreender os mecanismos de desgaste provenientes do movimento relativo entre o material e a superfície apoiada. Portanto, o objetivo deste trabalho é investigar os mecanismos de desgaste, através de imagens de MEV, presentes na interação entre o compósito de PTFE + RS em contato com um contra corpo metálico. Para isso, as imagens de MEV foram realizadas em corpos de prova provenientes de um ensaio de pino-sobre-disco submetidos a diferentes condições de pressão e velocidade, com o fim de se entender a influência de tais parâmetros nos danos sofridos pelo compósito

### 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os materiais utilizados para a fabricação dos corpos de prova foram PTFE e RS, nas proporções de: PTFE/RS (100%/0%) e PTFE/RS (80%/20%), em massa. Os corpos de prova foram compactados a quente com pressão de 72 MPa, a 220 °C durante 3 min. No final do processo, amostra com dimensões de Ø35 mm x 7 mm e uma massa de aproximadamente 15 g foram obtidas.

Os ensaios foram realizados em uma bancada do tipo pino-sobre-disco com contato conforme (plano-plano), sendo o pino constituído por aço carbono, com dimensões de Ø6 mm de diâmetro e 30 mm de altura. Diferentes condições de

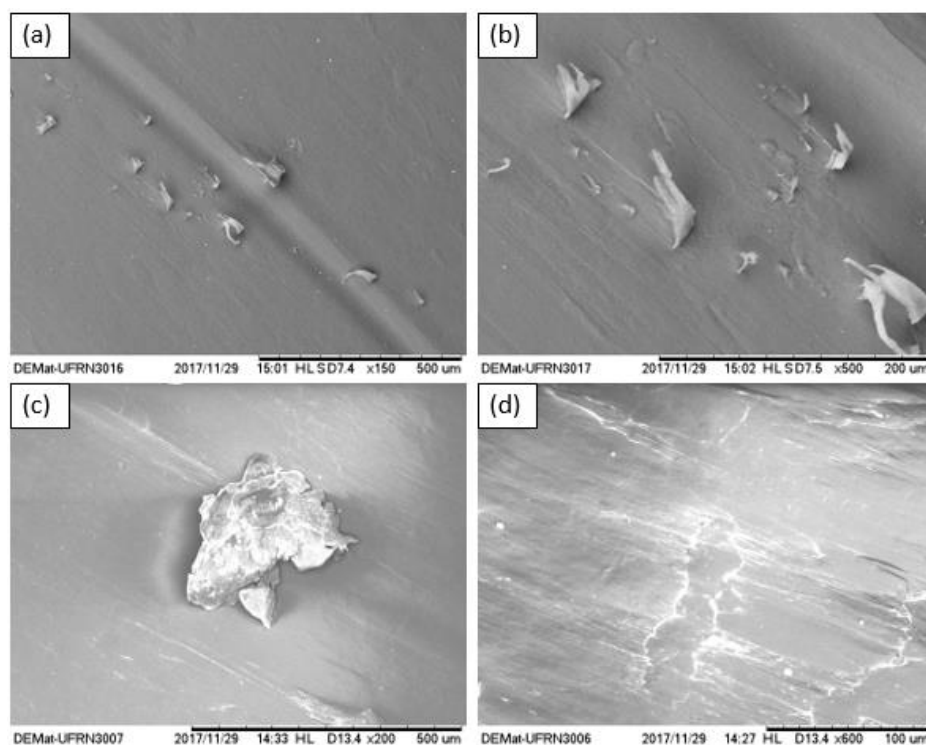
ensaio (Tab. 1) foram utilizadas com o fim de se avaliar a influência da pressão de contato e velocidade de deslizamento no desgaste do corpo de prova, mantendo o produto  $P \times V$  constante. Desse modo, imagens de MEV foram feitas para visualizar as morfologias dos danos causadas na superfície do material.

**Tabela 1 – Parâmetros utilizados no ensaio.**

|                                      | Condição 1 | Condição 2 |
|--------------------------------------|------------|------------|
| Carga normal (W) [N]                 | 80         | 160        |
| Pressão de contato (P) [MPa]         | 2,829      | 5,659      |
| Velocidade de deslizamento (V) [m/s] | 0,8        | 0,4        |
| Distância de deslizamento (L) [m]    | 1440       | 1440       |
| Raio da trilha de desgaste (r) [mm]  | 10         | 10         |
| Duração do ensaio (t) [min]          | 30         | 60         |

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

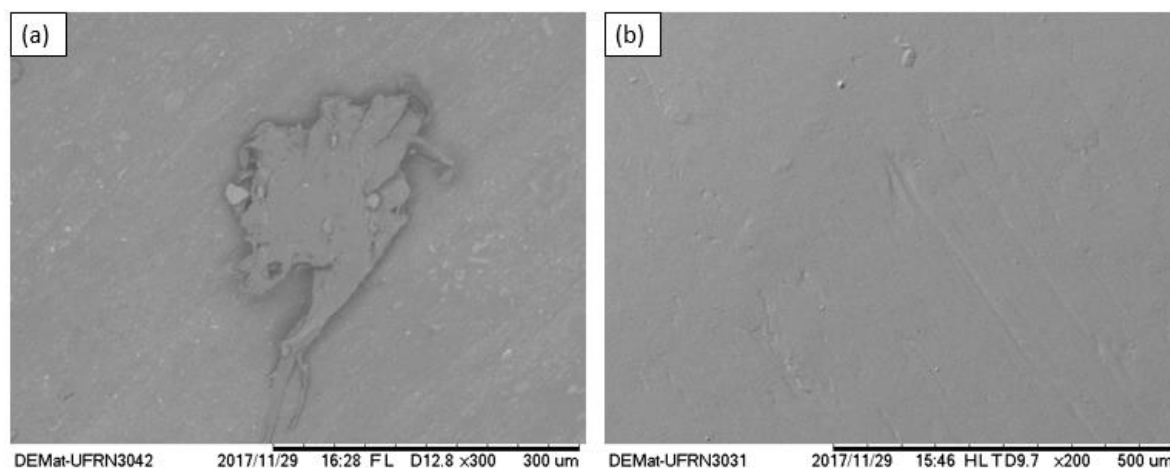
A Figura 1 mostra quatro imagens de MEV das trilhas de desgaste dos corpos de prova de PTFE puro, submetidos as condições: 1 (Fig. 1a e 1b) e 2 (Fig. 1c e 1d) de ensaio. Na Figura 1a, pode-se observar uma trilha de desgaste mais profunda no centro da imagem, sendo essa decorrente da protuberância do pino decorrente do faceamento que o pino sofre durante o seu processo de fabricação. Além disso, indício de delaminação do PTFE pode ser detectado. Na imagem seguinte, aumentou-se a aproximação da Fig. 1a, de modo que, além da delaminação, sulcamentos provenientes do contato entre o pino e superfície do compósito podem ser visualizados. Na Figura 1c observa-se um terceiro corpo constituído puramente por PTFE e algumas marcas de abrasão provenientes da ação do pino. Por fim, a Fig. 1d mostra as trajetórias das ranhuras sendo parcialmente interrompidas por vazios. Esses vazios são produtos do aglomeração de PTFE, ocasionado pela absorção de líquido durante o armazenamento e/ou compactação do polímero. Portanto, por ser um material com baixo módulo de elasticidade, o PTFE é susceptível a apresentar desgaste por fadiga de contato, o que ocasiona o desprendimento de aglomerados de PTFE da superfície.



**Figura 1. Imagens de MEV de PTFE puro submetidos a condição de ensaio 1 ('a' e 'b') e condição de ensaio 2 ('c' e 'd').**

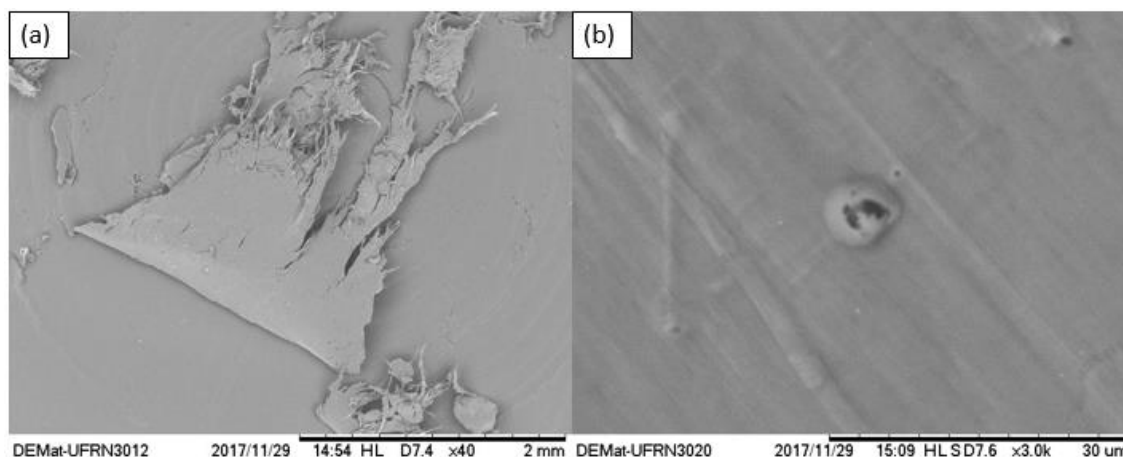
Avaliando as condições de ensaio submetidas aos corpos de prova, percebe-se que a quantidade e severidade do desgaste abrasivo são menores no corpo para a condição 1 de ensaio. Além disso, o aumento da pressão de contato da condição 2 fez com o que evidências de delaminação do PTFE se reduzissem de forma considerável, visto que essas praticamente não foram observadas nas imagens e durante a varredura de toda trilha de desgaste.

A Figura 2 mostra as imagens de MEV das superfícies desgastadas dos compósitos para as condições 1 e 2 de ensaio, Fig. 2a e 2b, respectivamente. Na imagem da esquerda, é possível visualizar a delaminação do compósito. Na imagem seguinte, indícios de delaminação não foram encontrados, entretanto, foi possível identificar desgaste abrasivo decorrente da pressão de contato exercida pelo pino durante o ensaio, o que não foi observado no compósito submetido a condição 1 de ensaio (Fig. 2a). Portanto, as imagens sugerem que conforme aumentamos a pressão de contato entre as superfícies, aumenta também a quantidade de sulcamento na superfície do compósito, enquanto a quantidade de material delaminado se reduz. É importante frisar que o comportamento demonstrado nas imagens escolhidas representa o que foi encontrado durante a varredura de toda trilha de desgaste.



**Figura 2. Imagens de MEV do compósito submetidos a condição de ensaio 1 (a) e condição de ensaio 2 (b).**

A Figura 3 mostra imagens de MEV da região de parada do ensaio e da trilha de desgaste do corpo de prova de PTFE submetido a condição 1 de ensaio. Na Figura 3a, além do material delaminado, observam-se marcas circulares provocadas pelo pino, provenientes do processo de faceamento ao qual ele é submetido. Na outra imagem, ao utilizar uma aproximação de 3000x na trilha de desgaste, é possível encontrar evidências de porosidade na superfície do material, que pode ter sido ocasionada por um processo de compactação inadequado ou pela formação de bolsas de vapor produzidas pela evaporação da água presente no próprio material, já que este apresenta a tendência de absorver umidade do ambiente.



**Figura 3. Imagens de MEV da trilha de desgaste do PTFE submetido a condição 1 de ensaio.**

#### 4. CONCLUSÃO

De acordo com as imagens de MEV, pode-se concluir que parâmetros de pressão de contato e velocidade de deslizamento influenciam diretamente nos mecanismos de dano presentes na interação entre o corpo de prova e contra corpo. Para as duas composições, foi possível observar que a condição 1 de ensaio desgastou a superfície dos corpos de prova de forma mais suave em comparação com a condição 2, visto que, para primeira condição, a composição de PTFE puro apresentou pouco desgaste abrasivo na trilha de desgaste, enquanto que tais evidências praticamente não foram encontradas na superfície do compósito. Além disso, a quantidade de material delaminado na segunda condição de ensaio

se reduziu de forma considerável quando comparado com a primeira, fato esse também evidenciado para todas as composições. Portanto, resultados sugerem que o aumento da pressão de contato combinado com a redução da velocidade de deslizamento (condição 2) proporcionam um contato mais adverso para o corpo de prova, uma vez que o mesmo apresenta mecanismos de desgastes mais agressivo, mesmo que o produto entre pressão e velocidade se mantenha constante. Além disso, as imagens de MEV indicam, também, que cuidados adicionais devem ser tomados durante a compactação do compósito, uma vez que nele foram detectadas evidências de aglomeração de PTFE e de porosidade na superfície ensaiada.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Mina Brejuí por disponibilizar o rejeito de sheelita utilizado nesta pesquisa. Além disso, agradecemos ao PPGEM-UFRN pelo auxílio fornecido nas pesquisas. Gostaríamos de agradecer aos membros do Grupo de Tribologia da UFRN, por disponibilizarem todos os equipamentos necessários para a realização desta pesquisa. Por fim, agradecemos a CAPES pelo apoio financeiro fornecido

## 6. REFERÊNCIAS

- Demirci, M.T. and Düzcükoglu, H., 2014, "Wear behaviors of Polytetrafluoroethylene and glass fiber reinforced Polyamide 66 journal bearings", *Materials and Design*, Vol. 57, pp. 560-567.
- Khatipov S.A., Kabanov S.P., Konova E.M., Ivanov S.A. and Serov S.A., 2012, "Effect of PTFE Irradiation Above the Melting Point on ITS Porosity", *Radiation Physics and Chemistry*, Vol. 81, pp. 273-277.
- Qu, M., Yao, Y., He, J., Ma, X., Feng, J., Liu, S., Hou, L. and Liu, X., 2017, "Tribological Study of Polytetrafluoroethylene Lubricant Additives Filled With Cu Microparticles or Sio2 Nanoparticles", *Tribology International*, Vol.110, pp. 57-65.
- Song, F., Wang, Q. and Wang, T., 2016, "Effects of glass fiber and molybdenum disulfide on tribological behaviors and PV limit of chopped carbon fiber reinforced Polytetrafluoroethylene composites", *Tribology International*, Vol. 104, pp. 392-401.
- Souza, J.R. de, 2015, "Desenvolvimento de compósitos tribologicamente eficazes", 192 f. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Xu, J., Yan, H. and Gu, D., 2014, "Friction and wear behavior of polytetrafluoroethene composites filled with  $Ti_3SiC_2$ ", *Materials and Design*, Vol. 61, pp. 270-274.

## 7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

# AN ANALYSIS OF WEAR MECHANISMS FROM TRIBOLOGICAL TESTS WITH HIGH $P \times V$ CONDITIONS IN A PTFE COMPOSITE

Iago Henrique Lima Santiago, [ihlimasantiago@gmail.com](mailto:ihlimasantiago@gmail.com)<sup>1</sup>  
Antônio Paulino de Araújo Neto, [tonypaulino14@hotmail.com](mailto:tonypaulino14@hotmail.com)<sup>1</sup>  
Gabriel Marinho Vieira, [gabrielmarinho\\_15@hotmail.com](mailto:gabrielmarinho_15@hotmail.com)<sup>1</sup>  
Juliana Ricardo de Souza, [julianars.materiais@gmail.com](mailto:julianars.materiais@gmail.com)<sup>1</sup>  
João Telésforo de Nóbrega Medeiros, [jtelesforo@yahoo.com](mailto:jtelesforo@yahoo.com)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Estudos em Tribologia e Integridade Estrutural (GET) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caixa Postal: 1524 – Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59078-970 | Natal/RN – Brasil

**Abstract.** *In order to develop applications to composites formed by PTFE as a polymer matrix filled with tailings of scheelite as structural elements, an investigation of the wear mechanisms present in the sliding contact between this composite and a metal counterface was performed. For this purpose, scanning electron microscopy (SEM) images were obtained in order to analyze the wear tracks on the specimens subjected to pin-on-disk tests for different conditions of sliding speed and contact pressure. The results indicated that the parameters of the tribological test directly influenced the surface damage morphology of the test specimens, since the condition with higher contact pressure and lower sliding speed caused more prominent damage when compared to the other evaluated condition. In addition, evidence of polymer clustering and surface porosity were found on the wear track.*

**Keywords:** Tribology, Wear Mechanism, Composite, PTFE.