

## **DESEMPENHO TRIBOLÓGICO DE COMPÓSITOS POLIÉSTER/FIBRA DE VIDRO UTILIZANDO CARBONATO DE CÁLCIO E RESÍDUOS DE POLIÉSTER/FIBRA DE VIDRO COMO CARGA**

**Juliana Ricardo de Souza, julianars.materiais@gmail.com<sup>1</sup>**  
**Mayara Suélly Cândido Ferreira, mayarasuely20@gmail.com<sup>1</sup>**  
**João Telésforo Nóbrega de Medeiros, jtelesforo@yahoo.com<sup>1</sup>**  
**Witold Brostow, wbrostow@yahoo.com<sup>2</sup>**  
**Madhuri Dutta, madhuridutta@gmail.com<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Grupo de Estudos de Tribologia(GET), Núcleo Tecnológico Industrial, Campus Lagoa Nova, Natal/RN.

<sup>2</sup>Laboratory of Advanced Polymers & Optimized Materials (LAPOM), Department of Materials Science & Engineering, University of North Texas, 1155 Union Circle #305310, Denton, TX 76203-5017, USA.

**Resumo:** *A cada dia a utilização de materiais compósitos e alternativos vem sendo incrementada, na medida em que a conscientização mundial pelo uso de recursos renováveis e não agressivos ao meio ambiente faz parte de um novo modelo ecologicamente correto. As aplicações desses materiais tornaram-se mais sofisticadas, por este motivo é mais difícil para um único material satisfazer a todas as expectativas, sendo a conjugação de diferentes materiais, através de suas propriedades individuais, uma ótima opção para alcançar as características finais desejadas. Entretanto, ao conjugar diferentes materiais é de extrema importância não apenas alcançar boas propriedades mecânicas como também tribológicas, já que freqüentemente esses materiais substituem os materiais ditos convencionais, no qual requerem boas características tribológicas.*

*Neste trabalho o desempenho tribológico de compósitos – poliéster/fibra de vidro adicionado a cargas de resíduos de poliéster/fibra de vidro, produzidos através da moagem de faca e bolas, e de carbonato de cálcio, com diferentes composições, foi analisada e comparada a fim de identificar a possibilidade de substituição parcial do carbonato de cálcio, enchimento comercialmente utilizado, por resíduos de poliéster/fibra de vidro. Para isto, ensaios de desgaste e coeficiente de atrito dinâmico foram realizados através de tribômetro na configuração pino-contra-disco de acordo com a norma ASTM G99-05, com carga de 5.0N e velocidade rotacional do disco de 100 e 200 rpm, a fim de se obter resultados como coeficiente de atrito e taxa de desgaste gerados nos ensaios. A resistência ao desgaste dos compósitos com a adição de resíduos superou aquela obtida com a adição do CaCO<sub>3</sub>, demonstrando que a reutilização desses resíduos como carga é uma boa opção não só para a majoração dessa resistência como também para a reciclagem de compósitos Poliéster/Fibra de Vidro.*

**Palavras-chave:** *Compósitos, Resíduos, Coeficiente de atrito dinâmico, Desgaste.*

### **1. INTRODUÇÃO**

A utilização de materiais compósitos e alternativos vem sendo incrementada a cada dia, na medida em que se torna mais generalizada a conscientização de que o uso de recursos renováveis e não agressivos ao meio ambiente faz parte de um novo modelo, hoje considerado ecologicamente correto.

A maioria dos trabalhos sobre tribologia até a data, em especial, em micro e nano-escalas, está focada nos metais e cerâmicas usados na nano-indústria de eletrônicos e sistemas microeletromecânicos (MEMS), Giraldo et al (2008).

Materiais nanoestruturados prometem um desenvolvimento frutífero para aplicações no setor aeroespacial devido à sua alta resistência, baixa massa específica, estabilidade térmica, versatilidade, facilidade de processamento e baixo custo. Estas aplicações incluem equipar aviões, foguetes, estações espaciais e plataformas de exploração planetária ou solar. A nanotecnologia tem atraído o interesse de vários grupos de pesquisa em todo o mundo devido ao seu potencial de aplicação em diversos setores, Duran et al (2006).

Entretanto, apesar de polímeros e nanocompósitos poliméricos apresentarem excelentes propriedades e estarem sendo amplamente utilizados na substituição de metais e cerâmicas tradicionais como em revestimentos, na microeletrônica, indústria aeroespacial, automotiva, embalagens para alimentos e aplicações biomédicas, poucas pesquisas tem sido feita sobre eles a este respeito. Isto pode ser devido às suas propriedades viscoelásticas, o que torna

os processos de análise complicado. Além disso, no caso de nanocompósitos poliméricos, o conhecimento detalhado do papel das nano-cargas durante o processo tribológico, e as relações precisas entre estruturas, propriedades e processamento são necessários, Dasari et al (2009).

A compreensão da natureza física do coeficiente de atrito e do desgaste, além de suas conseqüências, seus mecanismos e formas de controlar os seus efeitos são fundamentais para a Engenharia moderna.

Neste trabalho o desempenho tribológico de compósitos com matriz polimérica - poliéster / fibra de vidro utilizando como cargas resíduos de resina poliéster / fibra de vidro e carbonato de cálcio, foi estudado com o objetivo de identificar a possibilidade de substituição parcial do carbonato de cálcio, material de enchimento comercialmente utilizado, por resíduos de poliéster / fibra de vidro. Coeficiente de atrito Dinâmico e taxa de desgaste foram determinados através de um tribômetro pino – disco (Pérez et al, 2007; Barrera et al, 2007 e Giraldo et al, 2008) e um perfilômetro, respectivamente, a fim de avaliar o efeito das cargas utilizadas.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Materiais

**Resíduos de Poliéster/Fibra de Vidro:** Este material foi obtido a partir de compósitos de poliéster (massa específica:  $1,09 \text{ g/cm}^3$ ), com 12% de fibra de vidro, moldado através do processo de moldagem por transferência de resina (RTM), chamado de RTM Light, com teor de fibra de 12% em massa.

**Compósitos:** Para moldar os novos compósitos, os materiais utilizados foram: (i) Resina Poliéster, com viscosidade média de 90 a 120 CP (UCEFLEX UC 5518 da Elekeiroz), (ii) mantas de fibra de vidro, com uma massa específica de  $300 \text{ g/m}^2$ ; (iii) carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), com uma massa específica média de  $2,82 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ ; (iv) BUTANOX M-50 (Peróxido de Metil-etil-cetona (MEKP), 33% em dimetil-ftalato) como o iniciador, em uma proporção de 1,5% em volume de resina.

### 2.2. Metodologias Realizadas

Os resíduos obtidos dos compósitos Poliéster/Fibra de Vidro (moldados por RTM) foram moídos através de um moinho de facas (com uma tela de abertura de  $8 \times 8 \text{ mm}$ ), em seguida, foram moídos novamente em um moinho de bolas (1 minuto), atingindo um tamanho de partícula entre 2–1,4 mm (9-16 mesh).

Este resíduo foi incorporado ao compósito Poliéster/Fibra de vidro (virgem). A distribuição deste foi realizada entre as camadas de fibras de vidro na região central do compósito, ficando nas camadas mais externas fibra de vidro.

Os compósitos foram moldados por compressão a quente (com 6 toneladas distribuídas em um molde metálico de  $270 \times 170 \text{ milímetros}$  à temperatura de  $90^\circ\text{C}$ ) e as formulações utilizadas foram divididas como mostrado na Fig. (1).

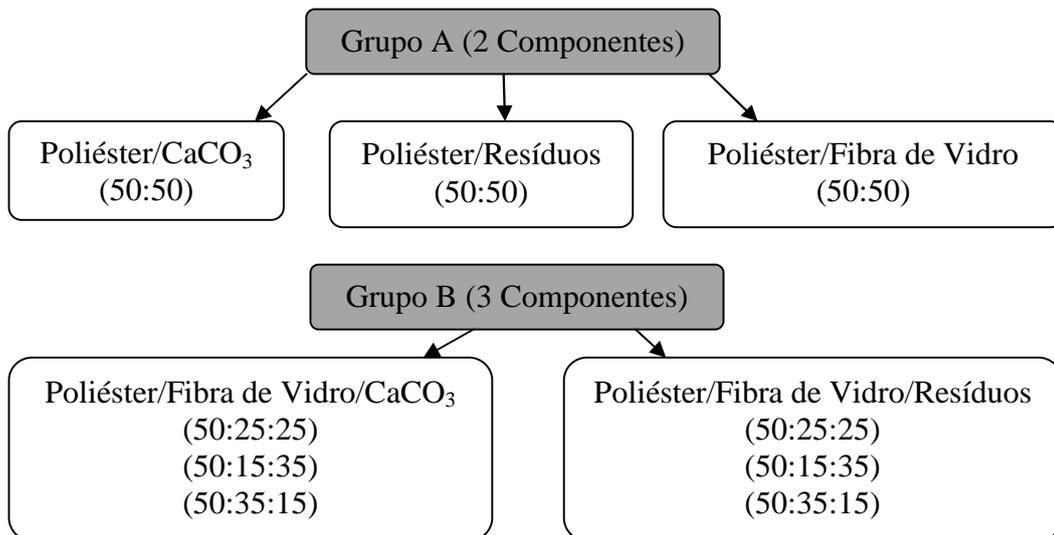


Figura 1. Fluxograma das composições utilizadas.

### 2.3. Determinação do Coeficiente de atrito

O Tribômetro Nanovea com configuração pino-contra-disco da empresa Micro Photonics foi utilizado para a determinação do coeficiente de atrito dinâmico. Uma esfera de aço inoxidável da classe SS 302, com diâmetro de 3,2 mm foi usada como o pino e submetida à carga normal de 5.0 N. O braço de apoio do pino onde a carga era posicionada garantia que o mesmo obtivesse um ponto de contato quase fixo e, portanto, uma posição estável na pista, onde se

fixavam as amostras. Os resultados de coeficiente de atrito apresentados foram obtidos diretamente do software do equipamento e estes são médias de 3 ensaios para cada amostra.

## 2.4. Determinação do Desgaste

As áreas da seção transversal da pista de desgaste após 31 km e 416 metros em cada ensaio tribológico foram determinadas utilizando um perfilômetro de marca Veeco Dektak 150. O perfilômetro amplifica e registra os movimentos verticais de uma agulha deslocada a uma velocidade constante pela superfície a ser medida e então, a área desgastada é fornecida pelo software do equipamento. Como a agulha se move transversalmente, a varredura da mesma ao longo da superfície da amostra consegue detectar desvios de superfície, Bhushan (2002). Em cada amostra realizou-se sete medições em diferentes locais na pista de desgaste e a média foi calculada para efeito de exatidão. Todas as amostras foram limpas com jatos de ar comprimido para remover todos os debris, antes de cada teste. Uma agulha com raio de ponta 12,5 µm foi utilizada. A força aplicada à amostra foi de 1,0 mg e a taxa de varredura foi de 26,7µm/s. O comprimento de varredura foi de 800 µm e do intervalo de medição foi de 65,5 µm.

A perda de volume devido ao desgaste ( $V_m$ ) foi então calculada segundo a norma ASTM G99-05:

$$V_m = 2\pi RA^2 \quad (1)$$

onde,  $V_m$  é a perda de volume em  $\text{mm}^3$ ,  $R$  é o raio da trilha de desgaste em mm (2.0 mm, neste caso),  $A$  é a largura da área de desgaste em  $\text{mm}^2$ .

A taxa de desgaste ( $K$ ) foi então calculada usando:

$$K = \frac{V_m}{WX} \quad (2)$$

onde,  $K$  é a taxa de desgaste [ $\text{mm}^3/\text{Nm}$ ],  $V_m$  = Perda de volume devido ao desgaste [ $\text{mm}^3$ ],  $W$  = Carga normal [N],  $X$  = distância percorrida [m].

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Coeficiente de atrito Dinâmico

Em todos os ensaios em que se utilizou a velocidade de 200 rpm, supõem-se que as amplitudes de vibração foram superiores a 10 micrometros, consideradas elevadas em relação às de 100 rpm. Em adição, pode-se também verificar a presença do período de running-in em todos os gráficos de coeficiente de atrito seguido pelo período permanente que se mantém até o término dos ensaios. A variação nos resultados obtidos foi relativamente alta, podendo ser confirmada através das Fig. (3), (6) e (9).

#### 3.1.1. Grupo A (2 Componentes)

Os resultados de coeficiente de atrito dinâmico para os compósitos com composição controlada, ensaiados com velocidades de 100 e 200 rpm são apresentados nas Fig. (2) e (3). Pode-se observar que, em ambos os ensaios, o compósito Poliéster/Resíduos com composição (50:50) apresentou valores superiores aos demais compósitos, podendo ser melhor visualizados através da média do coeficiente de atrito na Fig. (4).

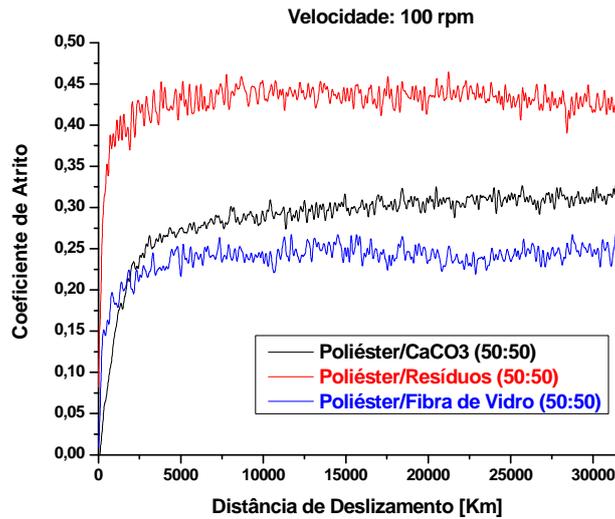


Figura 2. Coeficiente de atrito em função do número de revoluções para a velocidade de 100 rpm.

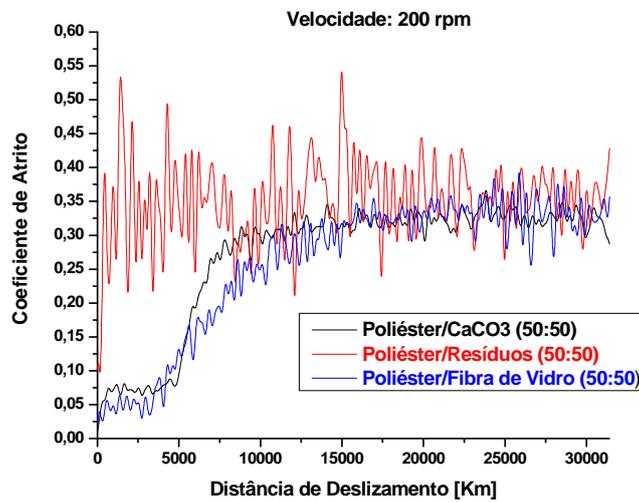


Figura 3. Coeficiente de atrito em função do número de revoluções para a velocidade de 200 rpm..

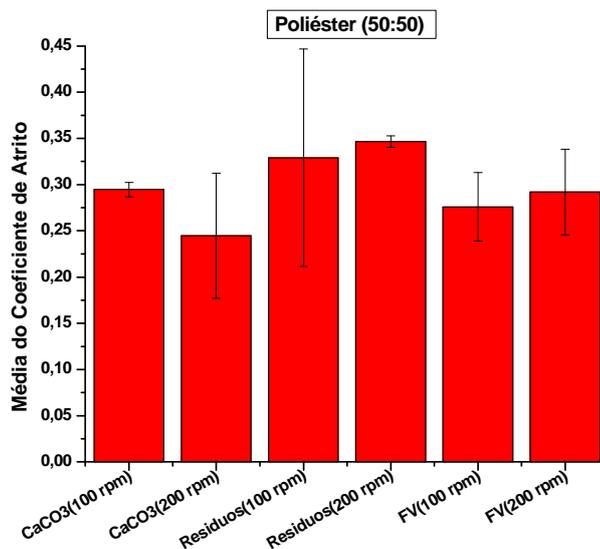


Figura 4. Média do coeficiente de atrito em função das composições em suas respectivas velocidades.

### 3.1.2. Grupo B (Utilizando 3 Componentes)

- **Poliéster/Fibra de Vidro/CaCO<sub>3</sub>**

De acordo com os resultados obtidos para os compósito com CaCO<sub>3</sub> nas Fig. (5), (6) e (7), verifica-se que em ambas as velocidades ensaidas a tendência ocorrida é a mesma, ou seja, com os valores para a composição (50:15:35) com maior quantidade de CaCO<sub>3</sub>, sendo superiores a todas as demais composições.

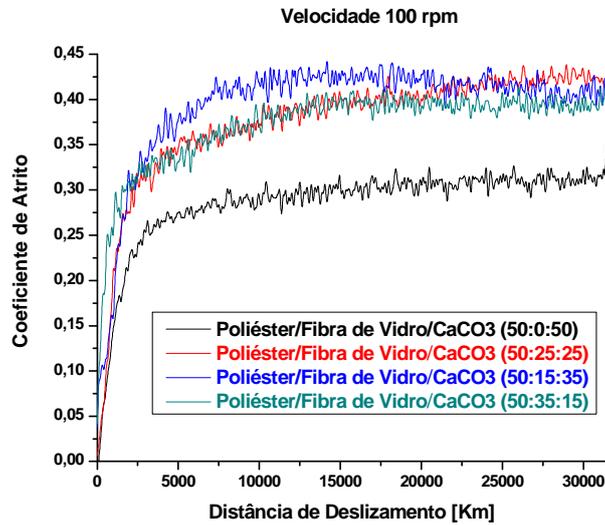


Figura 5. Coeficiente de atrito em função da distância de deslizamento para a velocidade de 100 rpm.

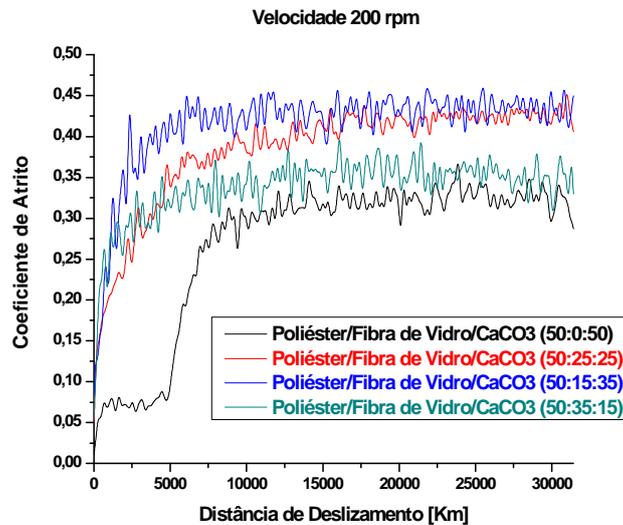


Figura 6. Coeficiente de atrito em função da distância de deslizamento para a velocidade de 200 rpm.

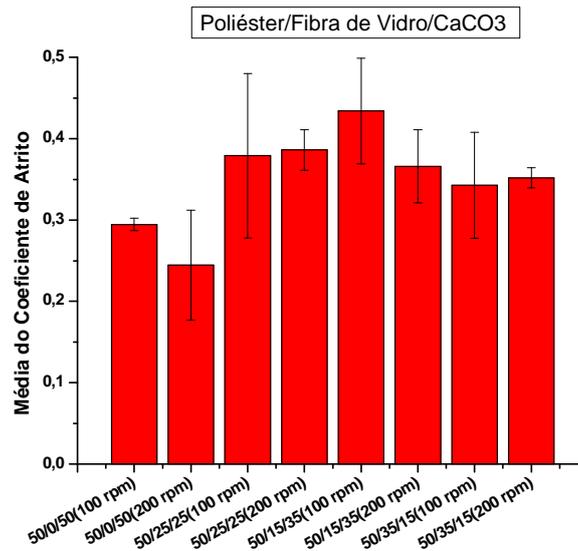


Figura 7. Média do coeficiente de atrito em função das composições e suas respectivas velocidades de ensaio (CaCO<sub>3</sub>).

- **Poliéster/Fibra de Vidro/Resíduos**

Nas Fig. (8) e (9) temos os resultados do coeficiente de atrito para os compósitos com Resíduos. Neste caso, o compósito sem Fibra de Vidro com composição (50:0:50) apresentou maior coeficiente de atrito, seguido pelo compósito com composição (50:25:25). Reafirmando o que já foi dito anteriormente, a Figura (9) merece destaque, pois percebe-se alta variação nos resultados de coeficiente de atrito para os compósitos sem Fibra de Vidro com composição (50:0:50) e (50:35:15), confirmados pela dispersão na Figura (10).

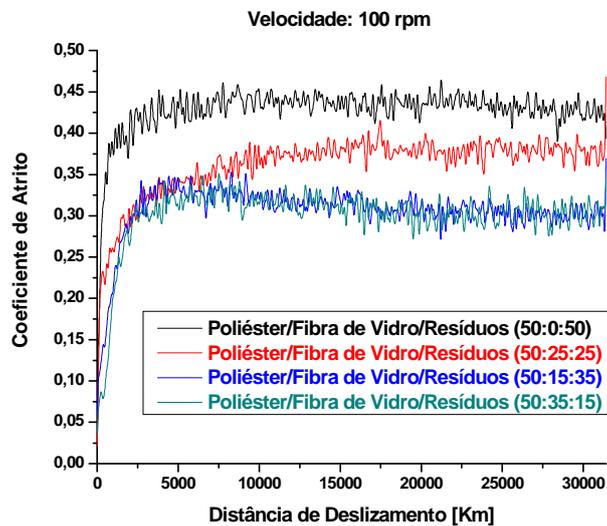


Figura 8. Coeficiente de atrito em função da distância de deslizamento para a velocidade de 100 rpm.

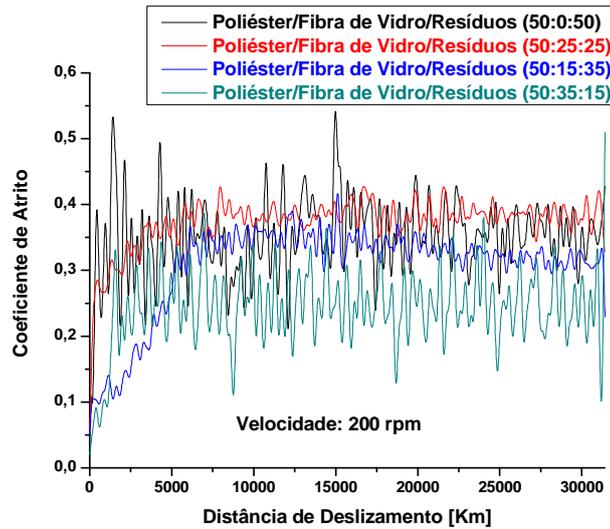


Figura 9. Coeficiente de atrito em função da distância de deslizamento para a velocidade de 200 rpm.

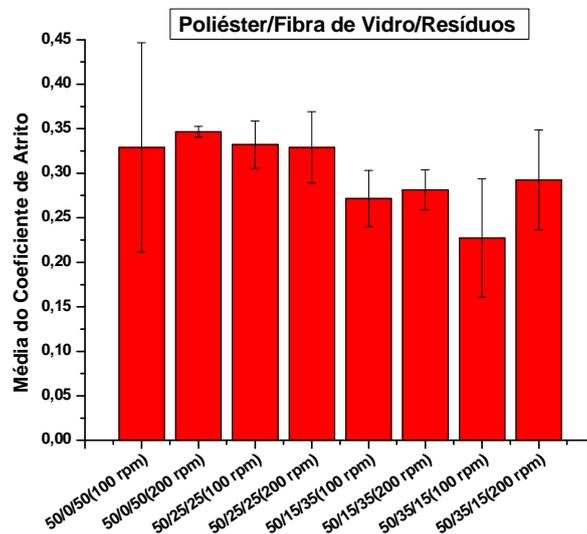


Figura 10. Coeficiente de atrito em função das composições e suas respectivas velocidades de ensaio (Resíduos).

### 3.2. Taxa de Desgaste

#### 3.2.1. Grupo A (2 Componentes):

Analisando a Fig. (11), podemos observar que os valores de taxa de desgaste para os compósitos do Grupo A foram mais altos em todos os ensaios com velocidade de 200 rpm do que para os ensaios com 100 rpm, como esperado. Os compósitos com CaCO<sub>3</sub> apresentaram taxa de desgaste superior em ambas as velocidades.

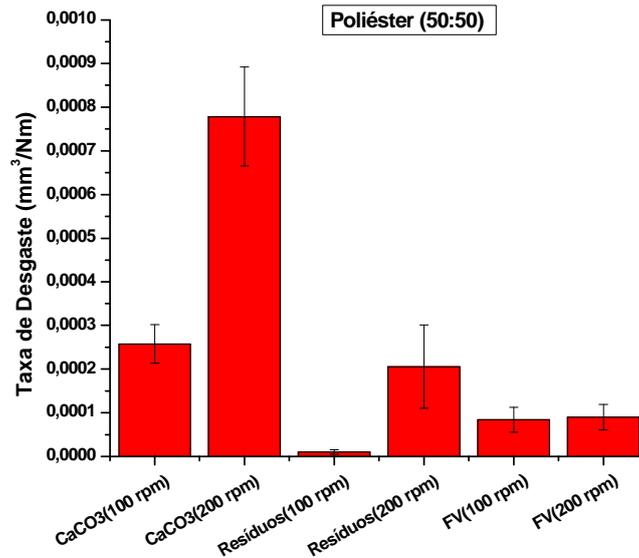


Figura 11. Taxa de Desgaste em função das composições e suas respectivas velocidades de ensaio.

### 3.2.1. Grupo B (3 Componentes):

Nas Fig. (12) e (13) pode-se verificar que a presença de Fibra de Vidro nos compósitos gerou menor discrepância nos valores de taxa de desgaste entre as velocidades utilizadas se comparado com os compósitos sem Fibra de Vidro. Em ambas as velocidades e composições ensaiadas, os valores de taxa de desgaste para os compósitos de Poliéster/Fibra de Vidro/Resíduos foram superiores aos obtidos nos compósitos Poliéster/Fibra de Vidro/CaCO<sub>3</sub>, ou seja os resíduos conferiram aos compósitos maior resistência ao desgaste.

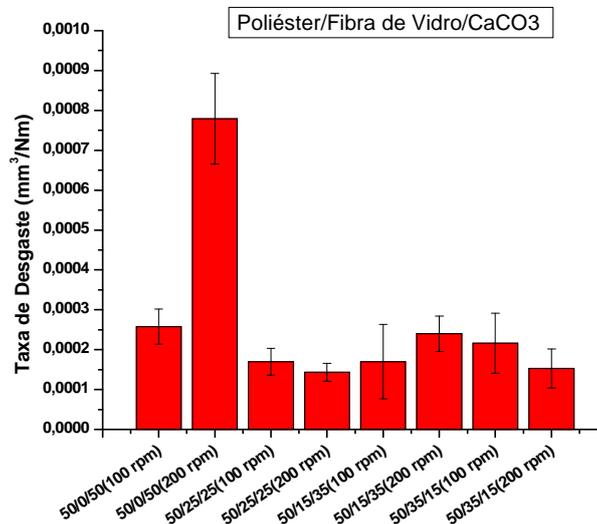


Figura 12. Taxa de desgaste em função das composições utilizadas com CaCO<sub>3</sub> e suas respectivas velocidades de ensaio.

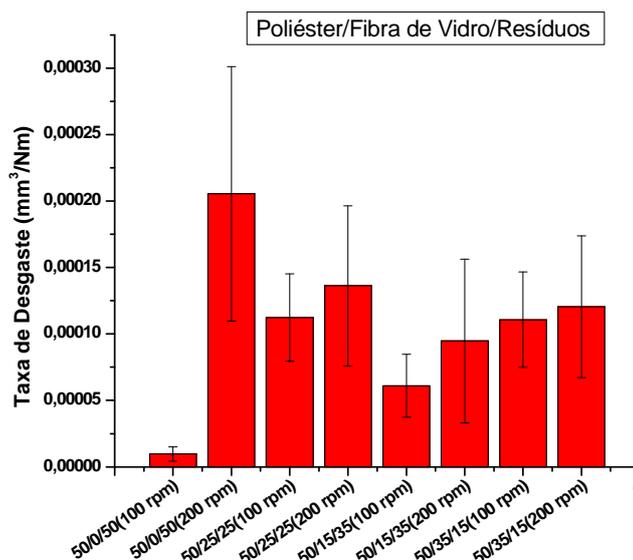


Figura 13. Taxa de desgaste em função das composições utilizadas com Resíduos e suas respectivas velocidades de ensaio.

#### 4. CONCLUSÕES

É de extrema importância lembrar que taxa de desgaste nem sempre tem uma relação direta com o coeficiente de atrito, já que o mesmo material pode ter baixo coeficiente de atrito dinâmico e alta taxa de desgaste ou vice versa. Sendo assim, concluímos que a resistência ao desgaste conferida pela adição de resíduos superou a resistência obtida com a adição do  $\text{CaCO}_3$ , ou seja, a reutilização destes resíduos como carga é um boa opção não só para a melhora da resistência como também para a reciclagem de compósitos Poliéster/Fibra de Vidro.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Lapol (Laboratório de Materiais Poliméricos) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo desenvolvimento dos corpos de prova utilizados no presente trabalho e ao Lapom (Laboratório de Polímeros Avançados e Materiais Otimizados) da Universidade do Norte do Texas local onde os ensaios foram realizados.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Barrera GM, Pesqueira MEE, Brostow W, 2007, "Concrete+polyester+ $\text{CaCO}_3$ : Mechanics and morphology after gamma irradiation", e-Polymers, 083.
- Bhushan B., 2002, "Introduction to tribology", John Wiley and Sons Inc., New York.
- Dasari A., Yu Z., Mai Y., 2009, "Fundamental aspects and recent progress on wear/scratch damage in polymer nanocomposites", J. Mater. Sci. Engng., 63, pp. 31–80.
- Duran N., Mattoso L.H.C., Morais P.C., 2006, "Nanotechnology" Artliber Publishers, São Paulo, Brasil.
- Dutta M., August 2009, "Modified epoxy coatings on mild steel: A study of tribology and surface energy", Master of Science (Materials Science and Engineering), University of North Texas, 81 pp., 11 tables, 44 figures, references, 81 titles.
- Giraldo LF, Brostow W, Devaux E, Lopez BL, Perez LD, 2008, Scratch and wear resistance of Polyamide 6 reinforced with multiwall carbon nanotubes. J. Nanosci. & Nanotech.; 8(5): 3176–3183.
- Pérez LD, Giraldo LF, Brostow W, López BL, 2007. Poly(methyl acrylate) plus Mesoporous Silica Nanohybrids: Mechanical and Thermophysical Properties. e-Polymers; 029.

#### 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

## **TRIBOLOGICAL PERFORMANCE OF COMPOSITES POLYESTER / FIBERGLASS USING CALCIUM CARBONATE AND WASTE POLYESTER / FIBERGLASS AS FILLERS**

**Juliana Ricardo de Souza, julianars.materiais@gmail.com<sup>1</sup>**

**Mayara Suély Cândido Ferreira, mayarasuely20@gmail.com<sup>1</sup>**

**João Telésforo Nóbrega de Medeiros, jtelesforo@yahoo.com<sup>1</sup>**

**Witold Brostow, wbrostow@yahoo.com<sup>2</sup>**

**Madhuri Dutta, madhuridutta@gmail.com<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Grupo de Estudos de Tribologia(GET), Núcleo Tecnológico, Campus Lagoa Nova, Natal/RN.

<sup>2</sup>Laboratory of Advanced Polymers & Optimized Materials (LAPOM), Department of Materials Science & Engineering, University of North Texas, 1155 Union Circle #305310, Denton, TX 76203-5017, USA.

**Abstract.** *Every day the use of composite materials and alternative is growing, as the global awareness through the use of renewable and not harmful to the environment is part of a new environmentally friendly model. The applications of these materials have become more sophisticated, which is why it is harder for a single material to satisfy all expectations, requiring a combination of different materials through their individual properties, to achieve the desired final characteristics. However, by combining different materials is of extreme importance not only to achieve good mechanical properties as also tribological, because more and more these materials are used in place of the so-called conventional materials, which require good tribological characteristics. In this work the tribological performance of composites polyester / fiberglass used as filler, produced by the grinding of knife and balls, and the calcium carbonate, both in different combinations, was analyzed and compared to identify the possibility of partial replacement of calcium carbonate filler commercially used, by the waste polyester / fiberglass. For this, the wear and dynamic friction tests were made through the tribometer pin-on-disc according to ASTM G99-05 with a load of 5.0N and disk rotational speed of 100 and 200 rpm, in order to obtain results as the coefficient of friction and wear rate, and possible mechanisms of wear generated during the tests. The wear resistance of the polymer subjected to the addition of waste exceeded that obtained with the addition of CaCO<sub>3</sub>, demonstrating that the reuse of waste as a load is a good option not only for the increase of resistance as well as the recycling of composite polyester / fiber glass.*

**Keywords:** *composites, waste, dynamic friction, wear.*