

INFLUÊNCIA DA PRESSÃO DE CONTATO E DA VELOCIDADE DE DESLIZAMENTO NO COEFICIENTE DE ATRITO DO PAR PA-PU

Jonas Bertholdi, FEMEC, bertholdi.jonas@gmail.com

Marco Aurélio Moura Suriani, FEMEC, marcoausuriani@gmail.com

Sinésio Domingues Franco, FEMEC, sdfranco@ufu.br

Resumo: O objetivo deste trabalho é verificar o comportamento do coeficiente de atrito (COF) no par poliamida 11 (PA) e poliuretano (PU) com a variação da pressão e da velocidade de deslizamento. Os demais parâmetros foram mantidos constantes. A geometria utilizada no contato foi a côncavo-convexa. Os resultados obtidos mostram que a pressão tem maior influência no coeficiente de atrito do que a velocidade. Observou-se também que na região de pressões e velocidades estudadas não há interação sinérgica destes dois parâmetros. O aumento da pressão e/ou da velocidade reduz o coeficiente de atrito. Por esta razão, com a velocidade de deslizamento de 4 mm/s e com a pressão no contato de 2 MPa, obteve-se um coeficiente de atrito de 1,14, enquanto com a velocidade de 6 mm/s e pressão de 3 MPa o mesmo foi de 0,77, representando uma variação de cerca de 30%.

Palavras chave: Coeficiente de atrito, pressão e velocidade, PA/PU

1. INTRODUÇÃO

Os materiais poliméricos são cada vez mais utilizados para aplicações tribológicas. Isso se deve a algumas vantagens que eles possuem em relação os materiais metálicos. Dentre estes materiais, uma classe de polímeros que cada vez mais ganha aplicações é a poliamida (PA), uma vez que, ela possui boas propriedades mecânicas, uma considerável resistência ao impacto, resistência à abrasão e ao desgaste (Pogačnik e Kalin, 2012). Uma das desvantagens das PA é a redução de suas propriedades mecânicas pela absorção de água (Pogačnik e Kalin, 2012). Por esta razão, em aplicações marinhas, normalmente utiliza-se a PA 11, pois esta classe de PA é conhecida por ter a menor absorção de água dentre todas.

Outra classe de polímero que é cada vez mais utilizada em aplicações marítimas é o poliuretano (PU). Isto porque esta classe de polímero possui uma vasta gama de propriedades físicas e químicas. Como as estruturas marinhas normalmente são projetadas para passar vários anos submersos, isso torna os PU atrativos para esse tipo de aplicação (Davies e Evrard, 2007; Martínez *et al.*, 2010).

As propriedades tribológicas não são intrínsecas dos materiais envolvidos e dependem do sistema tribológico (tribossistema) onde estão inseridas. O tribossistema é caracterizado pelo material e geometria dos corpos envolvidos, elementos interfaciais existentes e características operacionais do sistema (Czichos, 2001; Zum Gahr, 1987).

Em se tratando de polímeros, o coeficiente de atrito (COF), foco deste trabalho, pode variar com diversos fatores, dentre eles a força normal, a velocidade de deslizamento e a temperatura no contato.

A variação do COF com relação à força normal é caracterizada por três regiões. Para forças menores que 1 N, o aumento da força tende a reduzir o COF devido às deformações elásticas que ocorrem. Para forças maiores de 100 N a tendência é o aumento do COF pela deformação plástica das asperidades. Na região intermediária, normalmente o COF não varia com a força aplicada (Briscoe e Sinha, 2009). Na literatura, os COF dos pares polímero/PA 6 normalmente ficam entre 0,3 e 0,8; no entanto, há relatos em que para determinadas cargas o COF pode chegar a 1,5 (Pogačnik e Kalin, 2012; Watanabe *et al.*, 1968).

Com relação à velocidade, o COF somente não irá variar se a mesma não resultar em um aumento perceptível na temperatura de contato. Quando esta temperatura ultrapassa a temperatura de transição vítrea (T_g) do polímero, uma forte correlação entre velocidade e COF é observada (Myshkin *et al.*, 2005). O aumento da temperatura com a velocidade dificulta a análise dos fatores separados e por esta razão a literatura mostra variados comportamentos do COF com a variação da velocidade (Briscoe e Sinha, 2009).

Neste trabalho buscar-se-á entender a variação do COF dentro do intervalo de velocidade e pressão de contato (estimados) em que os dutos flexíveis utilizados na área de óleo e gás operam. O ensaio tribológico em pequena escala foi escolhido neste trabalho devido à facilidade em se obter resultados com baixo custo, aliado à facilidade de manuseio das amostras. A escolha da configuração do ensaio, bem como da geometria utilizada, foi feita de acordo com o que ocorre entre os dutos flexíveis e o enrijecedor em plataformas de extração de petróleo (Briscoe e Sinha, 2009; Franco, 2005).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para obter-se a geometria desejada as amostras de PA foram retiradas de um duto flexível e as mostras de PU têm o mesmo raio dos enrijecedores. A Figura 1 mostra as peças em vista frontal ao deslizamento.

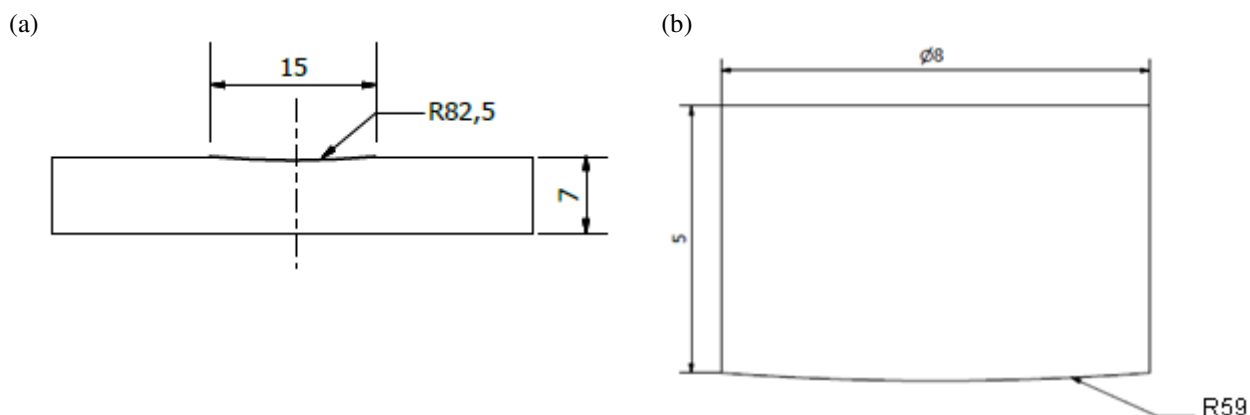


Figura 1 – Corpos de prova usados nos ensaios de deslizamento alternado: (a) PU e (b) PA11

Os ensaios de desgaste alternado tiveram como parâmetros fixos a amplitude de 25 mm e a distância total percorrida de 1000 m. Os ensaios foram conduzidos à temperatura e umidade ambiente e a taxa de aquisição de dados utilizada foi de 2 Hz. Para cada condição de velocidade e pressão foram realizados três ensaios. Os ensaios foram realizados em um equipamento da marca CETR, modelo UMT-3MT350.

O COF médio foi calculado no próprio equipamento utilizando-se os 500 m finais, para garantir que assim não haveria influência da variação inicial (*running in*). O cálculo do COF foi feito utilizando-se uma média móvel com 100 elementos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 mostra as curvas médias obtidas nos ensaios realizados enquanto a Tabela 1 mostra os valores obtidos da média do COF e também o desvio padrão de cada média. Esta dispersão foi gerada pelo aumento contínuo do COF como se observa na Figura 2. Fazendo a análise de variância (ANOVA) destes dados obtém-se que a interação entre velocidade e pressão não influencia o COF. Retirando-se a interação da análise obtém-se a ANOVA mostrada na Tabela 2.

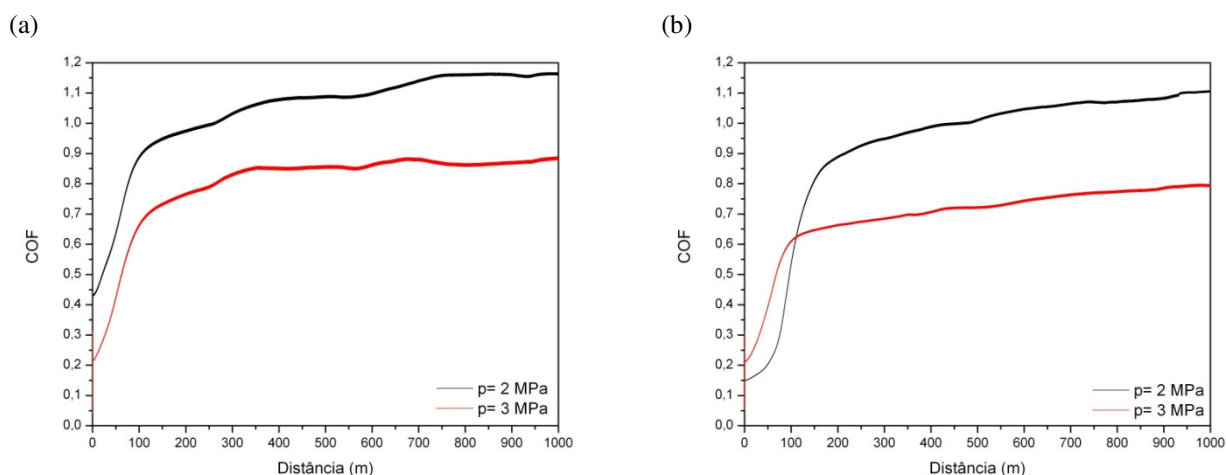


Figura 2 – COF *versus* distância percorrida para as pressões de 2 e 3 MPa com velocidade de: (a) 4 mm/s e (b) 6 mm/s

O resultado da ANOVA mostra que o aumento destes parâmetros tende a reduzir o COF e o fator de maior influência, nas condições ensaiadas, é a pressão seguida da velocidade, considerando um intervalo de confiança de 90%. O modelo de regressão obtido nesta análise é mostrado na Equação 1, onde a velocidade (v) é dada em mm/s e a pressão (p) é dada em MPa.

$$COF = 1,8966 - 0,0417.V - 0,2896.P \quad (1)$$

A redução do COF com o aumento da pressão de contato pode ser atribuída à deformação visco elástica do PU, uma vez que o mesmo já se encontra acima de sua Tg. Por esta razão, o par apresenta um comportamento clássico de materiais elastoméricos (Myshkin *et al.*, 2005).

O fator de confiabilidade (p) para a velocidade ser maior que 0,05, indica que a temperatura do contato não ficou próxima a Tg da PA. Isso porque quando os ensaios são efetuados, próximo da Tg, a velocidade de deslizamento tem um efeito pronunciado sobre o COF, enquanto que a temperaturas mais baixas o atrito dificilmente depende da velocidade (Briscoe e Sinha, 2009). No entanto, essa faixa de temperatura ainda não pode ser precisada, uma vez que, ela pode variar com o aumento da pressão de contato (Myshkin *et al.*, 2005).

Tabela 1 – Resultados do COF nos ensaios de desgaste alternados realizados.

Ensaio	p(MPa)	v (mm/s)	COF	DP
A1	2	4	1,09	0,36
A2	2	4	1,05	0,30
A3	2	4	1,28	0,38
B1	3	4	0,81	0,26
B2	3	4	0,89	0,27
B3	3	4	0,92	0,27
C1	2	6	1,04	0,30
C2	2	6	1,06	0,29
C3	2	6	1,13	0,34
D1	3	6	0,82	0,27
D2	3	6	0,77	0,22
D3	3	6	0,72	0,25

Tabela 2 - ANOVA dos resultados eliminando-se a interação entre pressão e velocidade.

ANOVA R ² =0,85257					
Fonte de Variação	Somatório Quadrático	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F	p
v(mm/s)	0,020858	1	0,020858	3,98573	0,076995
p(MPa)	0,251518	1	0,251518	48,06137	0,000068
Erro	0,047099	9	0,005233		
Total SS	0,319475	11			

4. CONCLUSÕES

Através deste trabalho pôde-se verificar que o aumento, tanto da velocidade, quanto da pressão de contato, resulta em uma redução no coeficiente de atrito para o par PA-PU nas condições especificadas. O maior coeficiente de atrito obtido foi de 1,14 e o menor de 0,77, o que representa uma variação de cerca de 30%.

Observou-se também que, nessas condições, o coeficiente de atrito é mais influenciado pela pressão de contato do que pela velocidade e que a interação entre os dois não tem influência significativa no resultado obtido.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Petrobras pelo apoio financeiro e amostras fornecidas, à Petropasy pelas amostras fornecidas e também ao CNPq/CAPES.

6. REFERÊNCIAS

- Briscoe, B. ; Sinha, S. K. 2009, "Polymer tribology". Ed. Elsevier, Singapore.
- Czichos, H. , 2001 "Tribology and its many facets: from macroscopic to microscopic and nano-scale phenomena". Meccanica, p. 605–615.
- Davies, P.; Evrard, G., 2007, "Accelerated ageing of polyurethanes for marine applications". Polymer Degradation and Stability, v. 92, n. 8, p. 1455–1464.

Franco, S. D., 2005, Relatório Interno.

Martínez, F. J. et al., 2010 “Relationship between wear rate and mechanical fatigue in sliding TPU–metal contacts”. *Wear*, v. 268, n. 3-4, p. 388–398.

Myshkin, N. K.; Petrokovets, M. I.; Kovalev, A. V., 2005, “Tribology of polymers: Adhesion, friction, wear, and mass-transfer”. *Tribology International*, v. 38, n. 11-12, p. 910–921.

Pogačnik, A.; Kalin, M., 2012, “Parameters influencing the running-in and long-term tribological behaviour of polyamide (PA) against polyacetal (POM) and steel”. *Wear*, v. 290-291, p. 140–148.

Watanabe, M.; Karasawa, M.; Matsubara, K., 1968, The frictional properties of nylon. *Wear*, v. 12, n. 3, p. 185–191.

Zum Gahr, K. H., 1987, “Microstructure and wear of materials”. Ed. Elsevier, Amsterdam, Holanda.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.