



## PERCEPÇÃO TÁTIL DE PELE ARTIFICIAL CONTRA POLÍMEROS: UMA ANÁLISE TRIBOLÓGICA

Isabela S. Sampaio<sup>1\*</sup>, Crislayne F. Campos<sup>2</sup>, Márcio S. Medeiros<sup>3</sup>, Tatiana de C. Bicudo<sup>4</sup>  
e Salete M. Alves<sup>5</sup>

*1 - Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN),  
Natal, RN. Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal, CEP 59078-970, RN.*

*[isa.silvasampaio97@gmail.com](mailto:isa.silvasampaio97@gmail.com)*

### RESUMO

*Este estudo teve como objetivo entender o comportamento do atrito de materiais poliméricos com a pele, uma vez que a percepção tátil é o resultado da informação adquirida, exclusivamente, por meio do sentido cutâneo. Assim avaliou-se os efeitos de produtos poliméricos utilizados na indústria automobilística em peles artificiais. Os experimentos foram conduzidos num tribômetro de movimento alternado, no qual foi possível monitorar o coeficiente de atrito durante o contato pele/polímero, após os ensaios foram avaliados os desgastes nos corpos de prova por meio de técnicas microscópicas. Os resultados mostraram que as propriedades de superfície dos polímeros são determinantes para os valores de coeficientes de atrito. As imagens microscópicas da área de contato permitiram entender os danos causados devido o atrito.*

**Palavras-chave:** *indústria automobilística; pele; percepção tátil; polímeros; tribologia.*

### INTRODUÇÃO

A pele é o maior órgão do corpo humano e também a parte mais externa do nosso sistema sensorial e quando em interação com os objetos ao redor, ele atua como um transmissor de força e um sensor <sup>(1)</sup>. O atrito entre a pele e as superfícies de contato reflete sensação de conforto ou desconforto do ser humano. O conforto é desejável durante a interação entre o ser humano e um objeto, uma vez que uma pele saudável e protegida é parte integrante para o bem-estar físico e psicológico do ser humano <sup>(2)</sup>. Logo, as percepções táteis de produtos com a pele estão intimamente relacionadas às suas superfícies, como por exemplo, sua textura e dureza, e ao atrito entre eles <sup>(3)</sup>.

Materiais advindos da indústria automobilística, por exemplo, geram contatos mecânicos e atrito, e podem ser especialmente problemáticos para pessoas que ficam expostas ao contato por longos períodos, ou para a pele envelhecida, ressecada <sup>(4)</sup>, sendo que cerca de 70% dos materiais nos automóveis são compostos por fibras poliméricas <sup>(5)</sup>. Nas coberturas de volantes, tal como, utiliza-se com grande frequência na fabricação, o polipropileno, sendo que sua pigmentação é composta de polímeros termoplásticos. Flexibilidade, durabilidade, estabilidade dimensional, impacto/rigidez com movimentos bruscos, resistência às intempéries <sup>(6)</sup>, são alguns atributos que esse produto deve apresentar ao presenciar contato direto com o usuário. Assim, as percepções táteis de produtos poliméricos estão intimamente relacionadas às suas superfícies e ao atrito <sup>(3)</sup>. Ao mesmo tempo, o atrito na interface polímero-pele é um fator crítico para lesões de pele em atividades de trabalho (irritações, abrasões e bolhas), que são causadas

por cargas mecânicas se as pressões de contato e as forças de cisalhamento forem altas ou persistirem por longos períodos <sup>(4)</sup>.

Portanto, medir o coeficiente de atrito entre a pele humana deslizando contra diferentes tipos de polímeros tem um papel importante no campo científico e na pesquisa e desenvolvimento de materiais para aplicações automobilísticas. O coeficiente de atrito entre a pele humana e os tecidos é afetado por vários fatores, como umidade, características do polímero e, claro, as propriedades da pele <sup>(1)</sup>. Os ensaios tribológicos da pele em contato com polímeros, por exemplo, permite compreender a possibilidade de desconforto ou até mesmo lesões.

Diante do exposto, este artigo tem o objetivo de estudar a percepção tátil da pele em contato com diferentes polímeros, por meio de ensaios tribológicos, avaliando o coeficiente de atrito durante o contato. Também, os danos causados à pele foram estudados por microscopia eletrônica de varredura.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios tribológicos foram realizados no tribômetro HFRR (*High Frequency Reciprocating Rig*), numa configuração disco-esfera. Os discos foram revestidos com pele artificial 100% silicone, e as esferas foram adquiridas comercialmente, sendo três polímeros estruturais de amplo uso cotidiano na indústria automobilística (PP, PEEK e PAI). Desta forma, esse primeiro ensaio foi parametrizado utilizando carga constante de 0,1 N, largura de deslizamento 1000 µm, 20 Hz de frequência por 30 minutos, a uma temperatura de 40°C. No ensaio de Durômetro *Shore D*, que é um instrumento de medição destinado a medir a dureza de materiais poliméricos, conforme a norma ASTM D2240, a faixa de ensaio usada foi de 0-100, com tolerância de  $\pm 1\%$  pelo sistema *Shore*. Após o experimento, a esfera é sacada do suporte de ensaio e calculou-se o diâmetro da escara de desgaste (WSD – *wear scar diameter*). Esses dois primeiros ensaios foram realizados no Laboratório do Grupo de Estudos e Tribologia e Integridade Estrutural da UFRN. Por último, as dimensões e morfologia do desgaste formado na superfície das peles foram avaliadas em um Microscópio Eletrônico de Varredura, no Laboratório de Caracterização Estrutural de Materiais do Departamento de Engenharia de Materiais da UFRN, com ampliação de 50 e 200 vezes. Os resultados permitiram desenvolver uma correlação entre taxa de desgaste e microscopia eletrônica, grau dureza, coeficientes de atrito e composição química dos presentes materiais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As esferas de polímeros foram caracterizadas em relação sua dureza Shore D. A tabela 1 apresenta estes resultados, considerando valores médios e seus desvios padrões, e comparando com a literatura.

Tabela 1: Resultados dos ensaios de Dureza *Shore D* dos polímeros 1, 2 e 3. PolyBrasil (2014)<sup>7</sup>; Ensingerplastics (2022)<sup>8</sup>.

Polímeros	Dureza Média e Desvio Padrão	Referência	Preço (1kg)
1. PP	76,06± 4,26	70 <sup>7</sup>	R\$ 59,90
2. PEEK	86,80 ± 4,08	85,0 <sup>8</sup>	R\$ 271,37
3. PAI	89,70 ± 5,86	91,0 <sup>8</sup>	R\$ 255,29

As durezas Shore A medidas nas esferas estão na faixa prevista na literatura. O polímero PEEK, possui o maior preço por quilo, isso se deve ao fato dele ser uma fibra de alto desempenho. Por

outro lado, o menor preço por quilo é o do polímero polipropileno, visto que é um dos materiais mais usados dentro da indústria automobilística, diferente da poliamida-imida.

Na Tabela 2 é apresentado os valores coeficientes de atrito e de temperatura, para os ensaios realizados no HFRR entre as três esferas poliméricas e as peles artificiais. Os resultados de coeficiente de atrito estão coerentes com a literatura, dentre eles, alguns estudos relataram coeficientes de fricção da pele seca em torno de 0,3<sup>(9)</sup>, que contrasta fortemente com à da pele molhada, que gira em torno de 1,4<sup>(9)</sup>.

Tabela 2: Testes HFRR polímeros x pele.

<b>PP</b>	<b>PAI</b>	<b>PEEK</b>
Temperatura: 40°C	Temperatura: 40°C	Temperatura: 40°C
Coeficiente de atrito: 0,416	Coeficiente de atrito: 0,333	Coeficiente de atrito: 0,236

O maior coeficiente de atrito observado foi para o PP, seguido do PAI e o PEEK que forneceram valores menores. Os resultados mostram que para cargas baixas, as forças de adesão passam a desempenhar um papel importante na força tangencial (força de atrito), contribuindo assim para um aumento proporcional no coeficiente de atrito<sup>(10)</sup>. Esta conclusão é comprovada por vários autores. No estudo de<sup>(11)</sup> esta relação é demonstrada por uma expressão, a partir da qual verifica-se que o coeficiente de atrito decresce com o aumento da carga normal. Pode-se concluir também que o comportamento tribológico dos sistemas é evidenciado pelos efeitos da deformação da pele<sup>(12)</sup>, gerando aumento dos coeficientes de atrito com a pressão de contato. Além disso, outras literaturas também afirmam que os lipídios do sebo presentes na pele aumentam os valores de coeficiente de atrito devido ao caráter hidrofílico da pele<sup>(11)</sup>. Sendo assim, a pele úmida ou molhada é ainda caracterizada por coeficientes de atrito significativamente mais altos (tipicamente) e são essencialmente determinados pelas propriedades de cisalhamento mecânico<sup>(13)</sup>. Contudo, este aspecto não foi considerado neste trabalho pois as peles analisadas eram artificiais e não liberam estes lipídios.

Com intuito de analisar estas deformações, as peles artificiais após o ensaio tribológico foram observadas em microscópio eletrônico como pode ser visto na Figura 1, com ampliações de x50 e x200. No entanto, a microscopia da pele do Polímero 1 apresentou poucas dimensões da cratera de desgaste em sua superfície, sendo que ela faz parte do maior coeficiente de atrito. A pele do Polímero 2, por sua vez, exibiu o maior cisalhamento em suas duas ampliações. Finalmente, a pele do polímero 3, dentre as três observadas, foi a que expôs menor desgaste, justificando seu coeficiente de atrito. No entanto, em ambiente seco, a adesão causada por forças atrativas (*Van der Waals*, eletrostáticas) na interface polímero-pele, esses valores de coeficiente de atrito já são responsáveis, pela deformação (histerese, aração) do tecido mais macio e viscoelástico da pele. No entanto, o desgaste abrasivo, classe geral de processo de desgaste de polímeros, abrange o mecanismo de abrasão e fadiga. Se o contra corpo “é polido”, o desgaste resulta da adesão entre as superfícies e envolve deformação apenas na camada superficial dos polímeros.

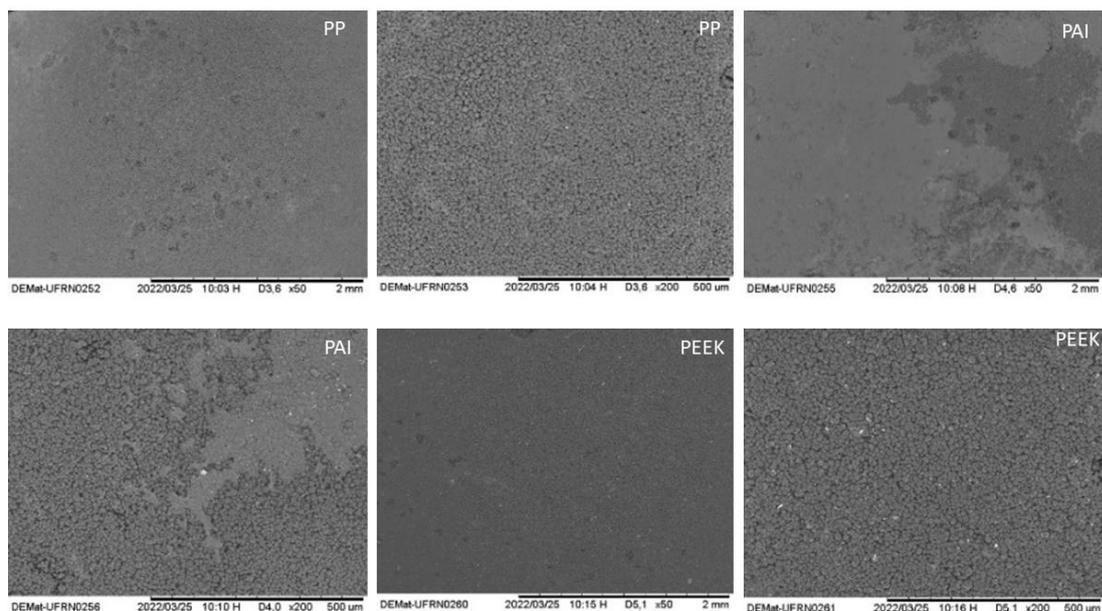


Figura 1: Pele artificial do Polímero 1, 2 e 3 ampliada x50 (imagem à esquerda) e x200 (imagem à direita).

O desgaste nas esferas poliméricas foi analisado por microscopia ótica, com aumento de 100x. Examinando as imagens da Figura 2, nota-se que a primeira esfera de PP apresenta sinais de desgaste abrasivo, uma deformação homogênea por toda a sua superfície. Na esfera de PAI, podem ser observados ranhuras e cisalhamentos médios entre a parte central dos eixos, e o PEEK quase não apresenta alteração na morfologia do material, o que resulta em alta resistência mecânica e boa resistência ao desgaste. Fato este corrobora, com os menores valores de coeficiente obtidos para o contato com este polímero.

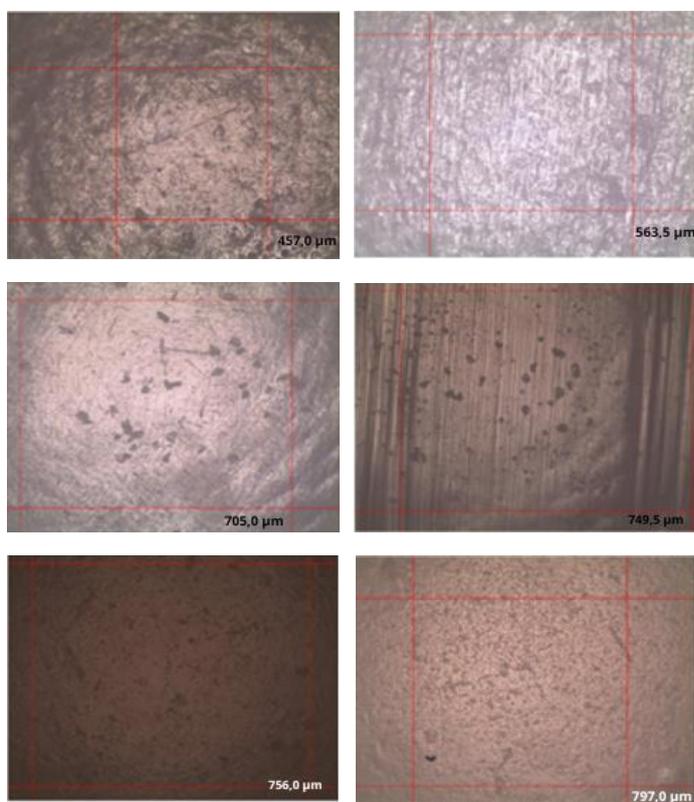


Figura 2: *Wear Scar Avg* antes (à esquerda) e após (à direita) do Polímero 1, 2, e 3.

O PP é o polímero mais usado na fabricação de volantes automotivos, além de termoplástico, suas características tribológicas justificam-se nesse projeto, como o polímero de maior atrito (0,416) e com uma alta taxa de desgaste em contato com a pele artificial, diante das microscopias apresentadas. Em seguida, o polímero PAI é o segundo com maior coeficiente de atrito (0,333), no entanto, sua dureza apresentou um alto grau de resistência à tração, além do maior desgaste na pele artificial. Por último, o polímero PEEK apresentou o melhor limite operacional, mantido o coeficiente de atrito baixo (0,236), alta dureza e sem marcas de abrasão na pele artificial. Assim, os resultados obtidos comprovam que o estudo das propriedades dos polímeros é essencial para que se compreenda o comportamento tribológico da pele humana e auxilie na escolha de materiais que forneçam maior conforto ao usuário.

## CONCLUSÕES

No presente estudo foi observado o comportamento de fricção de materiais poliméricos na pele humana. O polímero PP apresentou o maior coeficiente de atrito, o que está diretamente relacionado a sua característica termoplástica e resistência moderada, além dos lipídios do sebo presentes da pele, que aumentam os valores de coeficiente de atrito devido ao seu caráter hidrofílico. Seu baixo valor de custo se deve ao fato de ser um polímero classificado como *commodity*, e por isso é mais utilizado comercialmente. A alta taxa de desgaste em contato com a pele artificial e o baixo valor de dureza, justifica-se como uso inviável na cobertura de volantes, uma vez que os parâmetros como durabilidade e estabilidade dimensional não serão atendidos quando entrar em contato com a pele humana. Em seguida, o polímero PAI, apesar de possuir excelentes propriedades tribológicas, como resistência ao desgaste e alta dureza, ele ainda se caracteriza como o segundo maior coeficiente de atrito e o desgaste mais acentuado na pele artificial. Esse fator pode ter sido dado pela temperatura e umidade, o que em alguns materiais poliméricos influenciam fortemente as suas propriedades. Por último, o polímero PEEK classificado como polímero de alto desempenho, apresentou o melhor limite operacional. Mantidos todos os outros fatores baixos constantes e alta dureza, sem marcas de abrasão, o que pode ser explicado pelo fato de polímeros termoplásticos semicristalinos terem desempenho melhor em resistência ao desgaste que os termoplásticos amorfos (PAI), o que justifica o seu valor ser o mais caro. Tais pré-requisitos na indústria automobilística, podem ser satisfeitos com o emprego do polímero PEEK como a melhor recomendação na cobertura de volantes, uma vez que a diminuição da energia dissipada pelo atrito na pele humana diante da percepção tátil, a vida útil do polímero, e a resistência às intempéries serão bem atendidas, dado que apresentou os melhores resultados.

## REFERÊNCIAS

1. RAMALHO, A.; SZEKERES, P.; FERNANDES, E. Friction and tactile perception of textile fabrics. *Tribology International*. v. 63, n. 1, p. 29-33, 2013.
2. REVISTA ABM. Cuidar da pele é uma questão de saúde. Disponível em: <https://www.revistaabm.com.br/artigos/cuidar-da-pele-e-uma-questao-de-saude>. Acesso em 23 de fevereiro de 2022.
3. KAWAKAME, M. S; BRESSAN, J. D. Atrito e desgaste em polímeros. *Cbecimat*. v. 14, n. 1, p. 1-12, 2000.
4. DERLER, S.; SCHRADER, G. U.; GERHARDT, L. C. Tribology of human skin and mechanical skin equivalents in contact with textiles. *Wear*. v. 263, n. 1, p. 1112-1116, 2007.
5. COMPOSTOS. A relação entre a indústria plástica e o setor automotivo. Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:HMeaM2eZRJYJ:https://www.compostos.com.br/blog/industria-plastica-e-o-setor-automotivo+&cd=16&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em 09 de março de 2022.

6. HEMAIS, C. A. Polímeros e a Indústria Automobilística. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. v. 13, n. 2, p. 107-114, 2003.
7. POLYBRASIL. Polipropileno – PP. Disponível em: <https://www.polybrasil.com.br/datasheets/datasheet-polipropileno-pp-dur.pdf>. Acesso em 09 de março de 2022.
8. ENSINGER PLASTICS. Soluções em Plásticos. Disponível em: <https://www.ensingerplastics.com/pt-br/semiacabados>. Acesso em 09 de março de 2022.
9. DERLER, S. *et. al.* Friction of human skin against smooth and rough glass as a function of the contact pressure. *Tribology International*. v. 42, n. 11, p. 1565-1574, 2009.
10. ZAPPONE, B.; ROSENBERG, K. J.; ISRAELACHVILI, J. Role of nanometer roughness on the adhesion and friction of a rough polymer surface and a molecularly smooth mica surface. *Tribology Letters*. v. 26, n. 1, p. 191-201, 2007.
11. SULZBERGER, M. B. *et. al.* Studies on blisters produced by friction. Results of linear rubbing and twisting technics. *J Invest Dermatol*. v. 47, n. 5, p. 456-465, 1966.
12. SILVA, D. A. Comportamento tribológico de sistemas espumas ortopédicas/pele artificial: efeito da morfologia, propriedades mecânicas e energia livre superficial. 2015.
13. Lisa, S., *et. al.* Tactile perception: Finger friction, surface roughness and perceived coarseness. *Tribology International*. v. 44, n. 5, p. 505-512, 2011.

## **TACTILE PERCEPTION OF ARTIFICIAL SKIN AGAINST POLYMERS: A TRIBOLOGICAL ANALYSIS**

### **ABSTRACT**

*In the present study, a discussion was carried out about the current knowledge about tribology and the friction behavior of polymeric materials on human skin. Since tactile perception is the result of information acquired exclusively through the cutaneous sense, the objective of the research was to map and evaluate the effects of polymeric products from the automotive industry on artificial skins. Thus, a comparative analysis of the experimental results obtained for skin friction coefficients between artificial skins and polymer spheres was presented, using three different equipments, with data from the literature that address important factors for the skin's friction properties. Detailed analyzes showed that the surface properties of polymers are determinant for the values of friction coefficients and differences in contact materials are the main cause of this. Additional research efforts to analyze the microscopic contact area and mechanical properties of the upper layers of the skin are needed to improve our hitherto limited understanding of the complex tribological behavior of human skin.*

**Keywords:** *Auto Industry; skin; tactile perception; polymers; tribology.*