

## Estudo do coeficiente de atrito de diferentes combinações de materiais usados em próteses de joelho

## Study of the coefficient of friction of different material combinations used in knee prostheses

Vanessa Kapps<sup>1</sup>, Rafael Mello Trommer<sup>1</sup>, Marcia Marie Maru de Moraes<sup>1</sup>, Carlos Alberto Achete<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

E-mail: vanessakapps@gmail.com

**Resumo:** A importância do desenvolvimento de novos materiais de próteses está relacionada à demanda crescente de cirurgias ortopédicas, especialmente de quadril e de joelho. Um dos principais parâmetros para qualificação destas próteses é o atrito produzido pelo par de materiais da articulação. Neste trabalho estudou-se o coeficiente de atrito do polímero UHMWPE contra três diferentes materiais comercialmente empregados nos componentes femorais de próteses de joelho - uma cerâmica (alumina com zircônia) e dois metais (aço inoxidável e liga de cobalto-cromo). Com cerâmica, o comportamento do atrito foi mais estável, porém mais sensível ao modo de lubrificação, se comparado aos demais materiais.

**Palavras-chave:** UHMWPE; coeficiente de atrito; próteses de joelho.

**Abstract:** The importance of the development of new materials for prostheses is related to the increasing number of orthopedic surgeries, especially of hips and knees. One of the main parameters related to quality of bearing materials is friction. This work presents friction coefficient studies of polymeric UHMWPE material running against three different materials commercially used in femoral components of knee prostheses – a ceramic (alumina with zirconia) and two metals (stainless steel and cobalt-chromium alloy). The friction behavior was more stable with ceramic; however, it was more susceptible to changes in the lubrication mode, compared to the remaining materials.

**Keywords:** UHMWPE; friction coefficient; knee prostheses.

### 1. INTRODUÇÃO

A importância do desenvolvimento de novos materiais de próteses está relacionada à demanda

crescente de cirurgias ortopédicas, especialmente de quadril e de joelho. Com durabilidade relativamente baixa, quando comparada à idade do paciente, da ordem de 10 a 15 anos, a

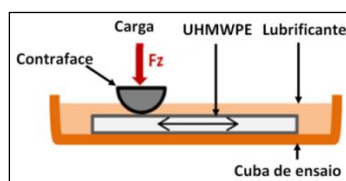
substituição das próteses é inevitável. Visando maior desempenho e maior durabilidade, são necessários desenvolvimentos de novos materiais [1].

Um parâmetro importante para um bom desempenho da prótese é a seleção dos biomateriais, que devem ser representativos da articulação real do corpo humano. Um entendimento do desempenho de componentes biomecânicos que possam substituir corretamente uma articulação real pode ser alcançado ao se conhecer o efeito do atrito de diferentes combinações de materiais [2]. Neste trabalho estudou-se o coeficiente de atrito do polímero UHMWPE com três diferentes materiais comerciais de componentes femorais de próteses de joelho - uma cerâmica e dois metais.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Método de ensaio

Foram realizados oito ensaios visando simular o desgaste tal como ocorre no corpo durante o uso da prótese. Os ensaios estiveram em conformidade com o método descrito na norma ASTM F732 – Anexo A3 [3]. A geometria de contato foi do tipo esfera-sobre-plano, sendo a amostra plana de polímero. Na figura 1 é apresentado o esquema do tribossistema utilizado.



**Figura 1:** Tribossistema utilizado conforme norma ASTM F732 - Anexo A3.

Foi utilizado um tribômetro (UMT-3 CETR) com o dispositivo do tipo esfera-sobre-placa. Todos os parâmetros adotados estiveram conformes à norma ASTM F732 - Anexo A3.3.2 [3]. O movimento para produzir o atrito foi unidirecional, linear e oscilatório, com frequência

de oscilação de 1 Hz e curso aproximado de 16 mm. A força de compressão aplicada foi equivalente à pressão de contato média inicial de 22 MPa. Durante todos os ensaios, o valor do coeficiente de atrito (COF), definido como a razão entre a força de atrito e a força aplicada, medidas pelo sensor de força do equipamento, foi armazenado para análise posterior.

Cada ensaio foi subdividido em quatro etapas, de 50 mil, 200 mil, 500 mil e 1 milhão de ciclos acumulados, totalizando um milhão de ciclos. Nestes intervalos, foi feita análise por microscopia óptica (MO) da superfície de desgaste das amostras. O soro foi substituído após completar 300 mil e 500 mil ciclos. Cada intervalo foi também subdividido em sequências para a aquisição de dados de COF (valores médios).

### 2.2. Materiais

Foram utilizadas amostras planas de polímero não irradiado (*Ultra High Molecular Weight Polyethylene* - UHMWPE) com densidade medida de  $(0,932 \pm 0,023)$  g/cm<sup>3</sup>. A rugosidade Ra da superfície de ensaio medida (*cut-off* de 0,8 mm) foi menor que 2 µm, como especificado na norma ABNT NBR ISO 7207-2 [4].

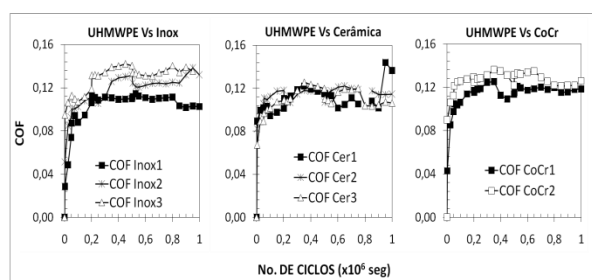
Como contrafaces de atrito foram utilizadas cabeças femorais de próteses de quadril de três materiais: liga à base de CoCrMo, aço inoxidável e cerâmica (alumina reforçada com zircônia). A rugosidade Ra atende os requisitos especificados em norma [4] para acabamento superficial de componente femoral de prótese de joelho, menor que 0,1 µm (*cut-off* de 0,25 mm). Para repetitividade, foram executados dois ensaios com liga à base de CoCrMo, três com aço inoxidável e três com cerâmica.

Para a lubrificação, conforme a norma ASTM F732, as superfícies de contato devem ser imersas em um meio que simula o fluido sinovial humano. Para tal, foi utilizado soro fetal bovino, com concentração de proteínas de 3,0 a 4,4 g/dl, estabilizado com azida sódica (0,2% em massa,

para função bactericida) e ácido etilenodiamina tetraacético (EDTA), na concentração de 20 mM para minimizar precipitações de fosfato de cálcio. A temperatura do soro no ensaio foi de  $(37 \pm 3)$  °C, constante, de forma a simular a temperatura corpórea.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As curvas obtidas dos valores médios de COF em cada sequência de ensaio, em função do número de ciclos de atrito, são mostradas na figura 2. Notam-se comportamentos similares de COF com os três tipos de material do contrapare. A cada início de etapa, há uma “quebra” no comportamento de COF, em todas as curvas. Esse fato está relacionado à ocorrência de assentamento das superfícies (*running-in*) a cada vez que as amostras entram em contato. Entretanto, isto não afeta a evolução geral do COF ao longo do tempo do ensaio.

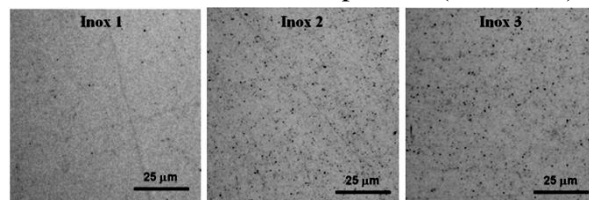


**Figura 2:** Coeficiente de atrito médio (COF) em função do número de ciclos de desgaste. Dados por sequência de ensaio.

Apesar das semelhanças de comportamento entre todas as curvas da figura 2, há duas que se destacam, considerando o mesmo material:

- *Ensaio Inox 1:* apresentou valores menores de COF a partir dos 200 mil ciclos, comparados aos demais ensaios com aço inoxidável. A superfície do contrapare deste ensaio (figura 3a) é aparentemente mais lisa comparada às demais (figuras 3b e 3c). A medição da topografia demonstrou a diferença, conforme os valores de rugosidade Ra e Rv (altura máxima de vale) da

Tabela 1. Os valores maiores, sobretudo de Rv, medidos nos contrapares dos ensaios Inox 2 e Inox 3, indicam que os pontos escuros estão relacionados a defeitos de superfície (“buracos”).



**Figura 3:** Imagens de MO das superfícies das amostras de aço inoxidável.

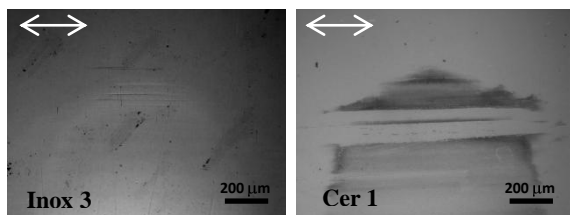
**Tabela 1.** Rugosidade Ra e Rv das superfícies apresentadas na figura 3.

	Inox 1	Inox 2	Inox 3
<b>Ra (µm)</b>	0,0046	0,0052	0,0056
<b>Rv (µm)</b>	0,0156	0,0232	0,0211

- *Ensaio Cer 1:* apresentou uma elevação pronunciada de COF a partir dos 800 mil ciclos. Após a finalização do ensaio foi observada a transformação do fluido (soro bovino) em um material viscoso com aspecto de gel. Foi notado também intensificação do dano de desgaste, com evidência de abrasão. Estes dois fatores indicam mudança da condição de lubrificação associada à evaporação da fase líquida do soro. A mudança da condição do lubrificante foi também observada ao fim do ensaio Inox 3, porém não resultou em alterações no comportamento do atrito (figura 2a, curva COF Inox 3). Portanto, destaca-se a maior sensibilidade do par UHMWPE-Cerâmica à mudança da condição do lubrificante, comparada ao par UHMWPE-Inox. Este fato demonstra a importância do controle da condição de lubrificação no ensaio, para a investigação do modo de desgaste de interesse, sobretudo com pares com cerâmica.

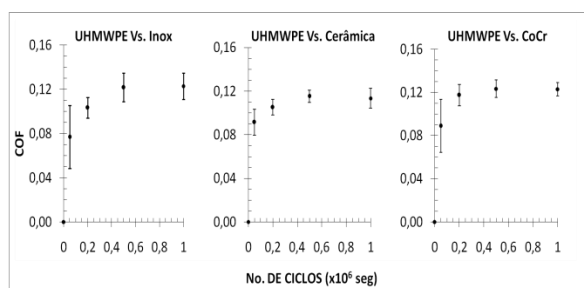
A maior sensibilidade do atrito com o par com cerâmica foi associada à formação de um filme fino sobre a superfície da cerâmica nesta

condição do soro. No aço inoxidável não se observou filme (vide figura 4).



**Figura 4:** Imagens de MO da metade da área de desgaste dos contrapares do ensaio Inox 3 e Cer 1.

Na figura 5 é apresentado o comportamento dos valores de COF por etapa de ensaio, para cada material do contrapare. Cada valor corresponde à média e desvio-padrão dos valores das sequências de cada etapa, considerando todas as repetições com cada material de contrapare. De maneira geral, o COF aumenta, atingindo um valor de 0,09 em média, logo na Etapa 1 (primeiros 50 mil ciclos), independentemente da combinação dos materiais utilizados nos ensaios. O COF segue aumentando até os 500 mil ciclos, atingindo um patamar em torno de 0,12, que se mantém até o final de 1 milhão de ciclos.



**Figura 5:** Comportamento do coeficiente de atrito (média e desvio-padrão) em função do número de ciclos de desgaste, por etapa de ensaio.

Destacam-se na figura 5 barras de erro relativamente maiores na Etapa 1 dos ensaios com aço inoxidável e CoCrMo. Isto sugere um comportamento tribológico relativamente mais instável com estes contrapares, sobretudo na fase de assentamento (*running-in*). É possível notar também barras de erro relativamente menores nos ensaios com cerâmica, inclusive na Etapa 4, lembrando que, nesse caso, os cálculos do

desvio-padrão foram realizados considerando também a elevação de COF observada ao final do ensaio Cer 1. Este fato demonstra que o comportamento de atrito deste par tribológico é mais previsível comparado aos demais contrapares, mantendo a lubrificação adequada.

#### 4. CONCLUSÃO

Pelas análises efetuadas, o comportamento do coeficiente de atrito foi similar em todos os ensaios. De maneira geral, independentemente da combinação dos materiais utilizados nos ensaios, o COF aumenta até 0,09 logo nos primeiros 50 mil ciclos e atinge um valor estável, em torno de 0,12, após os 500 mil ciclos, que se mantém até o final de 1 milhão de ciclos. Nos ensaios com cerâmica, a dispersão é relativamente menor, isto é, a repetitividade é melhor; entretanto, o par se mostrou mais sensível à condição de lubrificação deficiente, comparado ao par com aço inoxidável. Logo, mantendo a lubrificação adequada, tanto o atrito como o modo de desgaste é mais previsível com a cerâmica, comparado aos demais contrapares.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Materiais avançados no Brasil 2010-2022. Brasília, DF, 2010.360 p.
- [2] Smith, S. L.; Dowson, D.; Goldsmith, A. A. J. The Lubrication of Metal-on-Metal Total Hip Joints: A Slide Down the Stribeck Curve. Proc. Inst. Mech. Engrs, J, Eng. Tribology, 2001. p. 483-493.
- [3] ASTM F732-00: Standard Test Method for Wear Testing of Polymeric Materials Used in Total Joint Prostheses. 2011.
- [4] ABNT NBR ISO 7207-2: Implantes para cirurgia - Componentes para próteses parcial e total de articulação de joelho Parte 2: Superfícies de articulação feitas de materiais metálicos, cerâmicos e plásticos. 2013.