

DISPOSITIVO OSCILATÓRIO PARA TRIBÔMETRO LINEAR

ATHAYDE, JOSÉ / UFPR – BRAZIL (inathayde@ufpr.br)
SIQUEIRA, CARLOS / UFPR – BRAZIL (siqueira@ufpr.br)
CAMBRAIA, HERALDO / UFPR - BRAZIL (heraldo@ufpr.br)
KUROMOTO, NEIDE / UFPR - BRAZIL (kuromoto@fisica.ufpr.br)

Resumo. Os implantes ortopédicos articulares não atendem de forma plena as necessidades do paciente, no que se refere à sua durabilidade. As partículas oriundas do desgaste devido ao movimento relativo das suas superfícies permanecem responsáveis pela sua falha asséptica. A realização de ensaios tribológicos é relevante para ampliar esse entendimento e permitir a avaliação do comportamento do biomaterial antes da sua utilização na fabricação dessas endopróteses. O presente estudo tem como objetivo o desenvolvimento, implementação e validação de um dispositivo para acoplamento em tribômetro linear recíproco, para análise do desgaste *in vitro* de biomateriais, medindo a força e possibilitando o cálculo do coeficiente de atrito. Tal dispositivo consiste em uma estrutura acoplada ao tribômetro, transformando o seu movimento linear recíproco em oscilatório basculante de um conjunto mecânico que contém os corpos de prova. Na obtenção das variáveis deste estudo foram utilizados sinais de um transdutor linear diferencial variável, LVDT, existente no tribômetro e sinais de um transdutor angular diferencial variável, RVDT, acoplado ao dispositivo. Para aquisição desses sinais desenvolveu-se uma interface de comunicação, cuja finalidade é a obtenção dos valores da força tangencial e do seu ângulo de incidência. O par tribológico utilizado nos ensaios é constituído pelo Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (UHMWPE) e aço AISI 316L. Ensaios preliminares no modo oscilatório indicaram que a evolução do coeficiente de atrito, medido através do dispositivo, apresentou resultados válidos quando comparados com a configuração padrão do tribômetro.

Palavras chave: Atrito. Endoprótese. Ensaio de Desgaste. Implantes ortopédicos.

1. INTRODUÇÃO

Após mais de 50 anos de desenvolvimento, os implantes ortopédicos articulares ainda não atendem de forma plena às necessidades dos pacientes, especialmente quanto à sua durabilidade. As partículas de desgaste, devido ao movimento relativo das suas superfícies, ainda são as principais causas das falhas de natureza asséptica, provocando a soltura do implante em tempo aquém do desejável (MAVRAKI *et al.*, 2011).

Essas partículas acumulam-se no tecido periprotético induzindo a reabsorção óssea. Esse processo denominado osteólise resulta na soltura da endoprótese (EDDOUMY *et al.*, 2011).

O percentual de falha asséptica nos implantes ortopédicos é superior a 75%, tratando-se, portanto, de fator significativo de limitação da longevidade dessas próteses (HALLAB, 2012).

Embora a tribologia venha contribuindo para melhorar a durabilidade desses implantes, realizando ensaios *in vitro*, em condições cada vez mais próximas daquelas existentes *in vivo*, a causa da falha asséptica permanece a mesma (TURGER *et al.*, 2013).

Diversos dispositivos para ensaios de desgaste foram concebidos para simular a articulação do joelho, a qual combina movimentos de deslizamento, rolamento e seu conjugado, (RICHTER *et al.*, 2010). Porém, não há até o momento um dispositivo que acoplado a um tribômetro linear possa reproduzir com aproximação adequada a articulação de uma Endoprótese Não Convencional de Joelho (ENCJ), permitindo obter os valores de força e coeficiente de atrito, bem como da taxa de desgaste do biomaterial sob análise (ATHAYDE, J.N., 2011).

A possibilidade de utilizar um tribômetro linear medindo esses parâmetros tribológicos consiste em uma inovação. Mediante o acoplamento desse dispositivo ao tribômetro há a possibilidade de uma simulação aproximada da articulação de uma ENCJ com um grau de liberdade e dessa forma expandir a utilização desse equipamento nas pesquisas com biomateriais.

Foi desenvolvido para o atual estudo o projeto de um dispositivo que realiza o movimento oscilatório basculante simulando a articulação de uma ENCJ a partir do módulo linear de um tribômetro possibilitando a medição dos parâmetros como a força de atrito e o cálculo do respectivo coeficiente. Espera-se que com o uso desses dados possa-se realizar uma análise mais precisa a respeito dos problemas relacionados com a ENCJ.

Os dados correspondentes a essas variáveis são obtidos mediante dois transdutores, um linear e outro angular, através de interface eletrônica de aquisição de dados em ambiente Matlab[®].

Alguns resultados preliminares dessas aquisições são apresentados no presente trabalho.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Configuração do experimento

A aquisição dos sinais dos transdutores LVDT e RVDT é realizada usando dois computadores, PC1 e PC2, conforme o esquema mostrado na Figura 1. O computador PC1 é usado para o controle dos parâmetros operacionais do tribômetro e o PC2 é usado para a aquisição e processamento dos dados.

Os sinais de tensão do LVDT são obtidos diretamente dos terminais da placa eletrônica principal do tribômetro. Os sinais de tensão do RVDT são coletados diretamente desse transdutor, o qual é alimentado eletricamente através da porta USB do computador PC2.

O LVDT mede o deslocamento linear correspondente à deformação elástica lateral da estrutura "T", que é decorrente do esforço de atrito gerado pelo movimento relativo do par tribológico. Tal deformação permite associar esse deslocamento a uma variação da amplitude da tensão elétrica na saída do LVDT, a qual, por sua vez, é convertida em força tangencial F_{at} na proporção de 1,0 N para 1,0 V, em uma amplitude de 0 a 10 N.

O RVDT mede o deslocamento angular do eixo de oscilação do porta-amostra que contém o corpo de prova, conforme mostra a Figura 1. A variação da posição angular desse eixo está associada a uma variação da amplitude da tensão elétrica na saída desse transdutor angular, a qual é convertida no valor de deslocamento angular cuja amplitude é de ± 60 graus com variação de tensão de + 2,9182 V a - 2,8977 V.

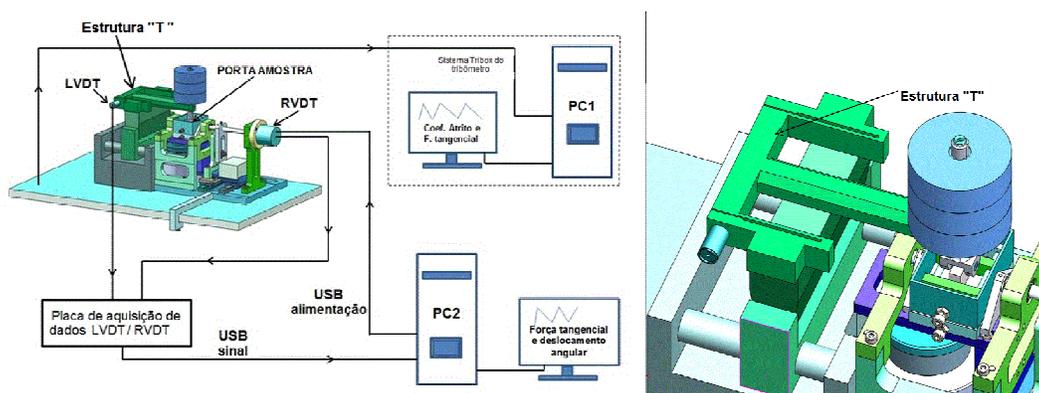


Figura 1 – Esquema do experimento

2.2. Determinação da carga de ensaio

Para o cálculo da carga de ensaio foram considerados os valores resultantes da pressão Hertziana do par aço inoxidável AISI 316L / e o polímero UHMWPE simulando uma ENCJ com um grau de liberdade. Os valores da pressão Hertziana, conforme os parâmetros dos materiais usados e a configuração geométrica para os dois tipos de acoplamento foram calculados com o Software de licença livre HertzWin™, (VINK, 2014).

Na ENCJ, a força "F/2" aplicada em cada eixo de articulação foi estabelecida em 1,5 kN, atuando sobre um eixo de 13,0 mm de diâmetro, em dois segmentos de comprimento de 20,0 mm, como mostrado no esquema da Figura 2 (ENCJ).

Os valores das pressões Hertzianas para a ENCJ e na montagem do par de ensaio no tribômetro são de 14,52 MPa e 18,66 MPa respectivamente, conforme configurado na ENCJ indicada na Figura 2A e com o esquema de aplicação da carga de ensaio indicado na Figura 2B.

A norma ASTM F1715 - 00^e1 estabelece o valor mínimo e constante de 2,0 kN para os ensaios em ECJ em simuladores de marcha durante todo o ciclo de flexão/extensão.

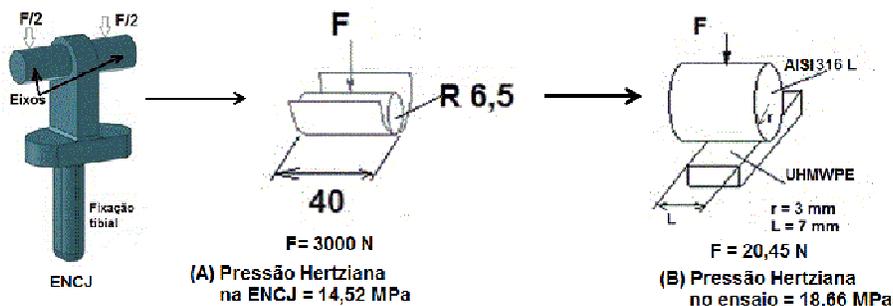


Figura 2 – Esquema de determinação da carga de ensaio oscilatório

2.3. Procedimentos para execução do ensaios

Os ensaios tribológicos com o módulo linear recíproco foram realizados com carga de 1,0 N utilizando-se a frequência de rotação do eixo excêntrico motor do tribômetro em 1,1300 Hz mantendo-se, assim, a velocidade máxima de 0,71 cm/s nesse tipo de ensaio.

No modo oscilatório basculante utilizou-se uma carga de 20,45 N, e a frequência de oscilação do ensaio foi de 1,5915 Hz. A Norma ASTM F1715 – 00, determina valores de oscilação de 0,5 a 2,0 Hz. Essa mesma faixa de valor é a utilizada pelos fabricantes de equipamentos simuladores de desgaste em próteses de joelho, que atendem a norma ISO 14243 - 1:2009.

2.3.1. Aquisição dos sinais dos transdutores LVDT e RVDT

O LVDT usado no tribômetro é do modelo W1EL/0 fabricado pela Hottinger Baldwin Messtechnik tendo como características principais um deslocamento linear permissível de ± 1,0 mm, sensibilidade nominal de ± 80,0 mV/V ± 1,0%, desvio de linearidade de ± 2,0% e tensão de excitação de 2,5 V ± 0,5%.

Para a medição do ângulo de oscilação é utilizado um transdutor angular RVDT marca Schaevitz® RVDT RVIT-15-60 conectado ao dispositivo oscilatório basculante, com campo de medição de +/- 60°, linearidade de +/- 0,25% ‘fundo de escala’.

Os sinais desses dois transdutores são processados por um algoritmo desenvolvido em ambiente Matlab®.

2.3.2. Cálculo da força, coeficiente de atrito e taxa de desgaste no modo oscilatório

O cálculo das variáveis atrito e a taxa de desgaste são realizados através das equações obtidas das reações do movimento relativo entre o cilindro e o bloco de UHMWPE, que é de rolamento e de micro-deslizamento quando próximo da posição de 0°, sob o contracorpo de prova cilíndrico (STOLARSKI, TOBE, 2001). O esquema de fixação entre a estrutura ‘T’ e a base do tribômetro esta mostrado na Figura 3(A). A Figura 3(B) mostra o plano perpendicular à superfície de contato entre o cilindro e o bloco de UHMWPE, com as forças atuantes.

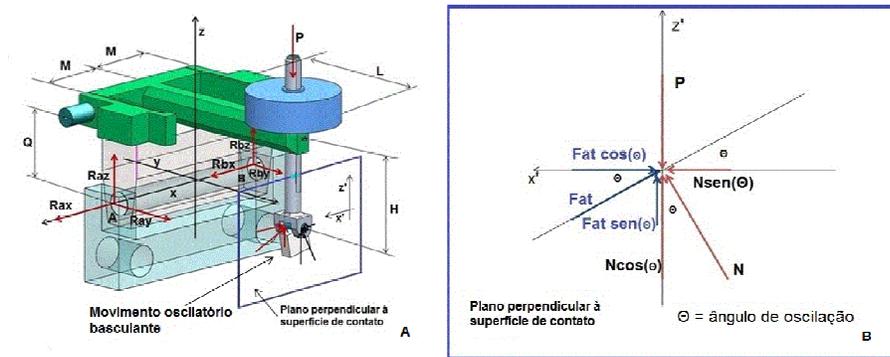


Figura 3 – Diagrama de corpo livre para o ensaio oscilatório

Algumas das principais equações para o movimento oscilatório basculante estabelecidas a partir do esquema apresentado na Figura 3, estão mostradas a seguir:

Força de atrito no modo oscilatório

$$Fat_{osc} = F_{LVDT}(\cos(\Theta)) + P(\sin(\Theta)) \tag{1}$$

Coefficiente de atrito no modo oscilatório

$$\mu_{osc} = [F_{LVDT}(\cos(\Theta)) + P(\sin(\Theta))] / [(P(\cos(\Theta)) - F_{LVDT}(\sin(\Theta)))] \tag{2}$$

onde: F_{LVDT} é a força lida no LVDT, P é a força peso aplicada no ensaio e Θ o ângulo de oscilação dado pelo RVDT.

Taxa de desgaste no modo oscilatório

$$Tx_{osc} = (V/D)[(\Sigma P\cos(\Theta) - F_{LVDT} \sin(\Theta)) / N_{pontos}]^{-1} \tag{3}$$

onde: V , D e ‘ N_{pontos} ’ denotam respectivamente o volume do desgaste em ‘ mm^3 ’, distância equivalente percorrida em ‘ m ’ e o número total de pontos da aquisição do ensaio.

3. RESULTADOS PRELIMINARES E DISCUSSÃO

3.1. Curva no ensaio linear

O resultado preliminar para o ensaio no modo linear apresentado na Figura 4, mostra a evolução das curvas de coeficiente de atrito nas duas formas de aquisição do sinal: pelo sistema nativo do tribômetro, o Tribox®, e pelo conjunto algoritmo proposto.

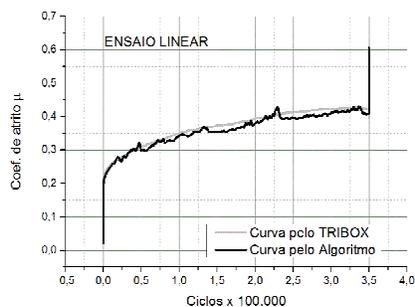


Figura 4 – Curvas do coeficiente de atrito em função do n^o. de ciclos obtidas pelo Tribox® e pelo algoritmo

3.2 Dispositivo de ensaio e curva do ensaio oscilatório

O dispositivo construído está apresentado na Figura 5(A). Na Figura 5(B) é mostrado o dispositivo acoplado ao tribômetro. O resultado preliminar dos dados adquiridos no modo oscilatório está apresentado na Figura 5 (C), a qual mostra a evolução do coeficiente de atrito em função do número de ciclos.



Figura 5 – Dispositivo, acoplamento ao tribômetro e curva do ensaio no modo oscilatório

3.3 Discussão

As curvas apresentadas na Figura 4 se sobrepõem, não apresentando diferença superior a 0,71 % para o coeficiente de atrito máximo na fase de regime permanente. Esse resultado confere aos algoritmos confiabilidade para o seu uso. Observa-se, também, a tendência à estabilização do coeficiente de atrito após o ciclo de número 300.000, correspondendo ao regime permanente da evolução do ensaio linear.

Em ensaios preliminares com o dispositivo oscilatório acoplado ao tribômetro não foi observada sobrecarga no seu sistema de acionamento. Além disso, esses ensaios indicaram que a evolução do coeficiente de atrito medido através do dispositivo apresentou resultados coerentes com aqueles do ensaio em modo linear, com a curva de evolução do coeficiente de atrito estabilizando no ciclo de número 300.000, correspondendo ao regime permanente da evolução do ensaio oscilatório.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho aborda o desenvolvimento, implementação e validação de um dispositivo para realização de ensaios oscilatórios a partir de um tribômetro linear recíproco, para uma simulação aproximada de uma ENCJ, com um grau de liberdade.

É possível concluir que os resultados dos algoritmos de aquisição, filtragem e processamento foram satisfatórios quando comparados com aqueles do sistema nativo do tribômetro permitindo, assim, seu uso para a monitoração dos ensaios oscilatórios.

A resposta tribológica do par UHMWPE/AISI 316L, dado o aspecto da curva, sugere o mecanismo de transferência de partículas de desgaste por adesão, dado este a ser comprovado por análise usando microscopia eletrônica.

5. REFERÊNCIAS

- ASTM F1715 - 00 e¹ Standard Guide for Wear Assessment of Prosthetic Knee Designs in Simulator Devices.
- ATHAYDE, J. N., **Desenvolvimento, implementação e avaliação de dispositivo para acoplamento em tribômetro, para simulação do desgaste *in vitro*, de biomateriais utilizados em endoprótese não convencional de joelho.** 111 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia em Saúde), Orientadora: Profa. Dra. Beatriz Luci Fernandes, PUCPR, Curitiba, 2011.
- EDDOUMY, A. F.; ADDIEGOA, F.; CELIS B. J.P.; BUCHHEITA, O.; BERRADJAB, A.; MULLERC, R. ; TONIAZZO, V.; RUCHA, D. Reciprocating sliding of uniaxially-stretched ultra-high molecular weight polyethylene for medical device applications. **Wear**, v. 272, p. 50-61, 2011.
- HALLAB, N.J., Biologic Aspects of Implant Wear, *Materials for Medical Devices, ASM Handbook, ASM International*, v. 23, p 157-168, 2012.
- ISO 14243 - 1:2009 – Implants for surgery -- Wear of total knee-joint prostheses - Part 1: Loading and displacement parameters for wear-testing machines with load control and corresponding environmental conditions for test.
- KARL-HEINZ ZUM GAHR, *Microstructure and Wear of Materials*, Institute of Materials and Technology, University of Siegen, Siegen, Germany. Elsevier, 1987.
- MAVRAKI, A. ; CANN, P.M. Lubricating film thickness measurements with bovine serum. **Tribology International**, v.44, p. 550-556, 2011.
- RABINOWICZ, E. *Friction and Wear of Materials*, 2nd edition, New York, John Wiley & Sons, 1995, p. 214-218.
- RICHTER, B. I.; OSTERMEIER, S.; TURGER, A.; DENKENA, B.; HURSCHLER, C. A rolling-gliding wear simulator for the investigation of tribological material pairings for application in total knee arthroplasty. **BioMed Eng Online**, 2010.
- STACHOWIACK, G., W.; BATCHELOR, A. W. **Engineering Tribology**, Austrália, terceira edição, Butterworth Heinemann, Elsevier, 2006, p. 484, 487, 533, 534, 543, 544, 554 573.
- STOLARSKI, T. A., TOBE, S.; **Rolling Contacts**, London, Professional Engineering Publishing, 2001, p.56-58.
- TURGER, A.; KÖHLER, J.; DENKENA, B.; CORREA, T. A.; BECHER, C.; HURSCHLER, C. Manufacturing conditioned roughness and wear of biomedical oxide ceramics for all-ceramic knee implants, **BioMedical Engineering OnLine**, 2013.
- VINK, J. **Software HerzWin 2.4.0**, para cálculo de valores Hertzianos. Licença livre. Disponível em: <<http://en.vinksa.nl/software-toolkit>>. Acesso em: novembro de 2014.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UFPR – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, LAB. DE TRIBOLOGIA E REVESTIMENTOS – TRIBOR, a possibilidade realização do estudo do qual faz parte o presente trabalho.

7. ABSTRACT

The joint orthopedic implants not meet yet the full form to the patient's needs, especially its durability. The particles arising from the wear due to the relative motion of its direct contact of surfaces remain responsible for aseptic failure. The performance of tribological tests is relevant to improve this knowledge and allow biomaterial performance evaluation prior to use in the manufacture of these prosthesis. This study aims at the development, implementation and validation of a device for coupling in reciprocal linear tribometer, to simulate the *in vitro* wear biomaterials conditions, measuring force and friction coefficient. This device consists of a structure connected to the tribometer, turning their reciprocal linear motion in oscillatory rocker of a mechanical assembly that contains the samples for testing biomaterials desired. The variables used in this study are measured by means of an existing LVDT (linear variable differential transducer) tribometer and the from a RVDT (variable differential angle transducer) coupled to the device. It has been developed a communication interface for the signal acquisition to obtain the values of tangential force given by the LVDT and its incidence angle given by the RVDT. The tribological pair used for testing consists of a polymer, Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) together with a metal shaft consisting of the austenitic stainless steel alloy AISI 316L. Preliminary tests in the oscillatory mode indicated that the evolution of friction force measured by the device has a valued results when compared to default setting of the tribometer.

Key words: Friction. Endoprosthesis. Orthopedic implants. Wear.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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