



Estudo da Tribologia dos Materiais Bioinertes em Aplicações Ortopédicas e Bombas de Sangue

Florentino PC§, Araki SY§‡, Fujita IK§, Graciano AA§, Marques Jr AL§,
Bock EGP§

§ *Laboratório de Bioengenharia e Biomateriais, Instituto Federal de São Paulo, Brasil*

‡ *Departamento de Materiais, Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP), Brasil*

Resumo. A demanda apresentada no cenário brasileiro com pacientes com alguma necessidade de implantes ortopédicos e/ou insuficiência cardíaca, têm aumentado a cada ano. Com o intuito de contribuir com as pesquisas em desenvolvimento, junto ao Laboratório de Bioengenharia e Biomateriais do IFSP, este artigo apresenta os estudos e análises desenvolvidas para verificação do resultado tribológico dos materiais bioinertes atualmente utilizados em próteses coxofemorais e bombas de sangue. Foram realizados ensaios tribológicos em um dispositivo de bancada fabricado pelo Laboratório Bioeng e máquina de ensaio de prótese total de quadril, desenvolvido pelo professor Me. Aumir Antunes Graciano. O objetivo é testar e realizar ensaios com materiais que tenham menor índice de desgaste e perda de material.

Palavras-Chave. Implantes ortopédicos, bombas de sangue, tribologia, materiais bioinertes.

Introdução. A crescente demanda de controle do atrito e desgaste em aplicações na bioengenharia impulsionaram investimentos em pesquisas na área de biomateriais para utilização em próteses, implantes e bombas de sangue. As primeiras pesquisas sobre o atrito e desgaste em materiais ocorreram entre 1940 e 1950 realizadas por engenheiros mecânicos e metalurgistas, com o objetivo de encontrar materiais com melhor performance. O crescente avanço e investimentos em pesquisas proporcionou que outras áreas, não só da engenharia mecânica, incorporassem o estudo de atrito, desgaste e lubrificação nos ensaios e testes na busca de materiais com maior vida útil, compatibilidade físico-químicas com o sistema envolvido e controle de deformações plásticas.

Este artigo apresenta um estudo dos resultados tribológicos obtidos dos ensaios submetidos em uma bancada de teste de atrito e desgaste (BEAD) [1], e em uma máquina de ensaio de prótese total de quadril (coxofemoral) [2].

Materiais e Métodos. Para verificação do resultado tribológico de materiais bioinertes submetidos a testes de desgastes, foram utilizados dois dispositivos. A bancada de teste de atrito e desgaste

(BEAD), confeccionada no Laboratório de Bioengenharia do IFSP, na qual o corpo de prova foi submetido a testes de aproximadamente 12 horas, ininterruptas, simulando as condições de atrito no interior de uma bomba de sangue [3], conforme figura 1.

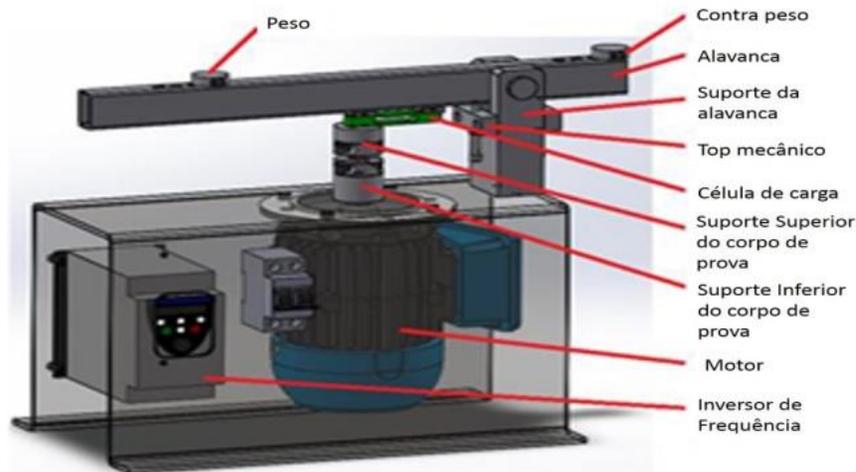


Figura 1. Bancada de Teste de Atrito e Desgaste (BEAD).

A máquina de ensaio de prótese total de quadril, onde os testes foram realizados no conjunto de prótese coxofemoral, na qual foram aplicados em até 60.000 ciclos para verificação da estrutura do biomaterial após submissão à teste de atrito e desgaste; conforme figura 2.



Figura 2. Máquina de Ensaio de Prótese Total de Quadril.

Para a realização dos ensaios na bancada de teste (BEAD) foi confeccionado um conjunto de corpo de prova semelhante aos rolamentos de contato de micro deslizamento usados para suportar os rotores de uma bomba de fluxo sanguíneo, no material cerâmico, conforme figura 3.



Figura 3. Perfil da ponta do eixo e mancal do material cerâmico.

Para os ensaios de desgaste por atrito na máquina de ensaio de prótese total de quadril, foi providenciado um conjunto prótese total de quadril, conforme figura 4.



Figura 4. Conjunto de Prótese Coxofemoral. Fonte: [2]

Esses testes simularam o comportamento próximo ao real do implante do conjunto quando submetido aos esforços mecânicos de compressão, fadiga e principalmente desgaste que são típicos da articulação do quadril humano (Normas ABNT NBR 7206-4, 7206-8, 14243-1, 14243-2, 14243-3) [4-10].

Caracterização do Corpo de Prova Antes dos Testes na Bancada BEAD. Para verificação e registro da estrutura cristalina superficial do corpo de prova antes dos testes em bancada BEAD, utilizou-se um telescópio disponibilizado pelo Instituto Federal de São Paulo, modelo Zeiss Axio Lab. A1, que possibilitou a aproximação de 1000x, conforme figura 5.

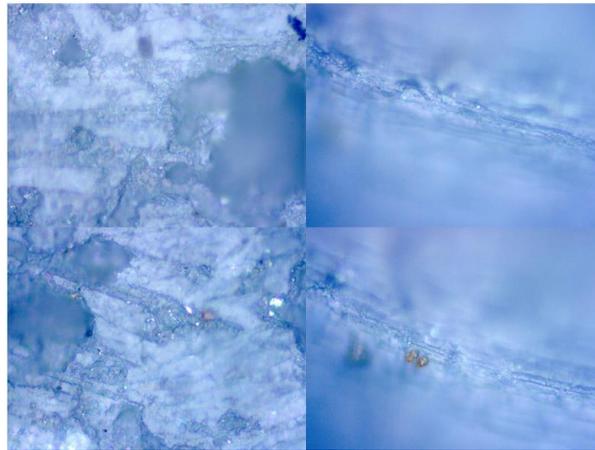


Figura 5. Micrografia da superfície do corpo de prova em material cerâmico antes dos testes, em diferentes pontos de raio/ângulos. Aumento original de 1000X.

Caracterização do Corpo de Prova Depois dos Testes na Bancada BEAD

Após a realização de teste de aproximadamente 12 horas, submetemos o corpo a análise da superfície cristalina no microscópio, na qual foi possível obter visualização do resultado do desgaste por atrito no material cerâmico, conforme figura 6.

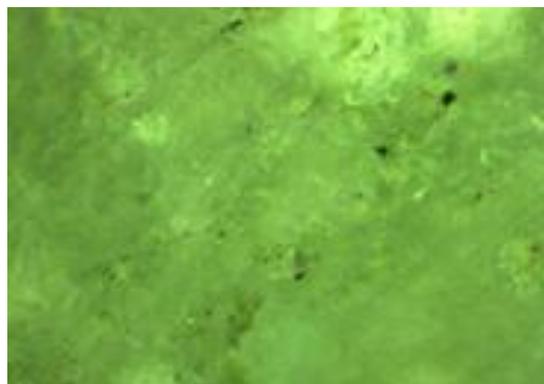


Figura 6. Micrografia da superfície do corpo de prova em material cerâmico depois dos testes, em diferentes pontos de raio/ângulos. Aumento original de 1000X.

Resultados Após os Testes na Máquina de Ensaio de Prótese Total de Quadril. Os movimentos do conjunto são sincronizados por meio de uma programação criada para simular o ciclo da caminhada do paciente, podendo ser ajustado pelo sistema do CNC, no qual podem ser criados vários ciclos diferentes de movimentos.

Durante os ensaios na máquina de ensaio de prótese total de quadril, foram escolhidos pontos aleatórios do percurso de ensaio próximos aos extremos de cada eixo e acompanhamos a variação de posicionamento durante as velocidades de trabalho, conforme a tabela 1, os pontos de 1 a 5 foram monitorados os posicionamentos durante os ciclos [3].

Tabela 1. Resultados obtidos após 60.000 ciclos.

Pontos	X+	Varição	Z-	Varição	X-	Varição	Z+	Varição	Velocidade mm/min.
1	90,928	0,512	-63,98	0,205	-89,453	0,645	116,04	0,135	20
2	92,068	0,436	-65,856	0,315	-88,223	0,423	116,89	0,153	22
3	93,208	0,326	-67,732	0,444	-86,993	0,412	117,74	0,205	25
4	94,348	0,475	-69,608	0,385	-85,763	0,355	118,59	0,154	27
5	95,488	0,483	-71,484	0,275	-84,54	0,287	119,447	0,159	30

Conclusão. Com o resultado obtido foi possível analisar que não houve alteração dimensional ou desgaste visível em até 100x de magnitude no eixo em que foi realizado o ensaio de bancada BEAD. Observa-se que o desgaste do material cerâmico é praticamente imperceptível, durante as microscopias realizadas, entretanto, foram observadas algumas alterações na superfície, alguns pontos negros são visíveis com aumento de 1000X no eixo. Estes pontos podem indicar inclusão de matéria prima, porém neste estudo não foi possível definir com precisão a origem desta inclusão (11-22).

As propriedades mecânicas do conjunto de prótese coxofemoral apresentaram resultados preliminares com baixo desgaste em seu conjunto dentro dos testes 60.000 ciclos, em trabalhos futuros estudos poderão ser realizados para o dimensionamento do desgaste ocorrido. Dessa forma, podemos afirmar que os resultados dos estudos tribológicos realizados influenciam na vida útil dos produtos, mecanismo da bomba de sangue e prótese coxofemoral.

Agradecimentos. O autores gostariam de agradecer ao IFSP - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus São Paulo; ao BIOENG - Laboratório de Bioengenharia e Biomateriais do IFSP/SP, e à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.



Referências

- (1) MARQUES JR, A. L. Bancada para realizar teste de resistência ao atrito de Biomateriais utilizados em uma bomba de sangue centrifuga implantável. Dissertação de Mestrado, IFSP, São Paulo, SP, 2016.
- (2) GRACIANO, A. A. Máquina de ensaio de prótese total de quadril. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, IFSP, 2016.
- (3) BOCK, E. G. P.; LEÃO, T. F.; UEBELHART, B.; GALANTINI, D.; ANDRADE, A.; CAVALHEIRO, A.; SANTOS FILHO, D. A Ceramic Pivot Bearing Implantable Centrifugal Blood Pump. Int J Artif Organs, v. 36, p. 543, 2013.
- (4) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 230-1: Código de ensaio de máquinas-ferramenta. Parte 4: Determinação de propriedades de resistência à fadiga de componentes femorais com haste. Rio de Janeiro, 1999.
- (5) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 7206-4: Implantes para cirurgia – Próteses parcial e total de articulação de quadril. Parte 4: Determinação de propriedades de resistência à fadiga de componentes femorais com haste. Rio de Janeiro, 2004.
- (6) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 7206-8: Implantes para cirurgia – Próteses parcial e total de articulação de quadril. Parte 8: Resistência à fadiga de hastes femorais com aplicação de torção. Rio de Janeiro, 1999.
- (7) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14243-1: Implantes para cirurgia – Desgaste de próteses totais de articulação de joelho. Parte 1: Parâmetros de carregamento e deslocamento para máquinas de ensaio de desgaste com controle de carga correspondentes condições de meios para ensaios. Rio de Janeiro, 2008.
- (8) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14243-2: Implantes para cirurgia – Desgaste de próteses totais de articulação de joelho. Parte 2: Métodos de medição. Rio de Janeiro, 2008.
- (9) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14243-3: Implantes para cirurgia – Desgaste de próteses totais de articulação de joelho. Parte 3: Parâmetros de



carregamento e deslocamento para máquinas de ensaio de desgaste com controle de deslocamento correspondentes condições de meios para ensaios. Rio de Janeiro, 2008.

(10) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14396-3: Próteses parcial e total de articulação de quadril. Parte 3: Determinação da resistência à carga estática da cabeça e pescoço de componentes de hastes femorais. Rio de Janeiro, 2006.

(11) Lopes G, Bock E, Gomez L. Numerical Analyses for Low Reynolds Flow in a Ventricular Assist Device. *Artif Organs*. 2017; 41(6).

(12) Rodrigues M, Da Cruz NC, Rocha JAF, Sá RCL, Bock EGP. Surface roughness of biomaterials and process parameters of titanium dioxide gritblasting for productivity enhancement. *The Academic Society Journal*. 2019; 3(2):169-176.

(13) da Silva BU, Jatene AD, Leme J, Fonseca JW, Silva C, Uebelhart B, ... & Andrade A. In Vitro Assessment of the Apico Aortic Blood Pump: Anatomical Positioning, Hydrodynamic Performance, Hemolysis Studies, and Analysis in a Hybrid Cardiovascular Simulator. *Artificial organs*. 2013; 37(11):950-953.

(14) Fonseca J, Andrade A, Nicolosi D, Biscegli J, Legendre D, Bock E, Lucchi J. A New Technique to Control Brushless Motor for Blood Pump Application. *Artif Organs*. 2008; 32(4):355–359.

(15) Nishida M, Maruyama O, Kosaka R, Yamane T, Kogure H, Kawamura H, Yamamoto Y, Kuwana K, Sankai Y, Tsutsui T. Hemocompatibility Evaluation With Experimental and Computational Fluid Dynamic Analyses for a Monopivot Circulatory Assist Pump. *Artif Organs*. 2009; 33(4):378–386.

(16) Kosaka R, Nishida M, Maruyama O, Yambe T, Imachi K, Yamane T. Effect of a bearing gap on hemolytic property in a hydrodynamically levitated centrifugal blood pump with a semi-open impeller. *Bio-Medical Mat and Eng*. 2013; (23):37–47.

(17) Bock E, Andrade A, Dinkhuysen J, Arruda C, Fonseca J, Leme J, Utiyama B, Leao T, Uebelhart B, Antunes P, Sugita Y, Motomura T, Nose´ Y. Introductory Tests to In Vivo Evaluation: Magnetic Coupling Influence in Motor Controller. *ASAIO Journal*. 2011; 57(5):462-465.

(18) Chung, J. , Kim, W. E., Lee, J. J., Nam, K. W., Choi, J. , Park, J. W., Choi, S. W., Park, C. Y., Sun, K. and Min, B. G. Assessment and Improvement of the System Efficiency for the Moving-actuator Type Biventricular Assist Device. *Artificial Organs*, 2004; 28: 549-555.

(19) Santos, C. M., Cunha, F. L. and Dynnikov, V. I. The Application of Shape Memory Actuators in Anthropomorphic Upper Limb Prostheses. *Artificial Organs*, 2003; 27: 473-477.

(20) Bock EGP, Ribeiro A, Silva M, Antunes P, Fonseca J, Legendre D, Leme J, Arruda C, Biscegli J, Nicolosi D, Andrade A. New centrifugal blood pump with dual impeller and double



pivot bearing system: wear evaluation in bearing system, performance tests, and preliminary hemolysis tests. *Artif Organs*. 2008; 32(4):329-333.

(21) Gemmato CJ. Thirty-five years of mechanical circulatory support at the Texas Heart Institute: an updated overview. *Texas Heart Inst J*. 2005; 32(2):168-177.

(22) Sen A, Larson JS, Kashani KB, Libricz SL, Patel BM, Guru PK, Alwardt CM, Pajaro O, Farmer JC. Mechanical circulatory assist devices: a primer for critical care and emergency physicians. *Critical Care*. 2016; 20(1):153.