

Ensaaios em materiais cerâmicos e poliméricos de alta performance em mancais nos Dispositivos de Assistência Ventricular (DAV)

Araki SY^{1,2}, Florentino PC¹, Saito MA¹, Bock EGP¹, Arruda ACF², Rocha JA¹, Stoeterau RL³

¹*Laboratório de Bioengenharia e Biomateriais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo (SP), Brasil.*

²*Dep. Materiais, Faculdade de Engenharia Mecânica da Univ. Estadual de Campinas, Campinas (SP), Brasil.*

³*Dep. Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), Brasil.*

Resumo. Com os atuais estudos de pesquisa e desenvolvimento em bomba de sangue, se faz necessário o conhecimento de novas perspectivas de materiais que garantam confiabilidade e durabilidade em relação à sua resistência ao desgaste. Este artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de ensaios e análises dos desgastes dos eixos em mancais, realizados em Dispositivo para Assistência Ventricular (DAV). Os materiais envolvidos são eixos em materiais cerâmicos de óxido de zircônio (ZrO₂). Os testes foram realizados em um protótipo de DAV desenvolvido pelo Laboratório de Bioengenharia e Biomateriais do IFSP, as análises foram obtidas com um perfilômetro CCI MP Taylor Hobson em parceria com o Laboratório de Mecânica da Poli (USP). No corpo de prova não foi detectado nenhuma rugosidade superficial que interferisse no teste. Os eixos e mancais avaliados apresentaram resultados satisfatórios quanto ao desgaste observado no perfilômetro. Outras técnicas poderão ser utilizadas no futuro para garantir maior confiabilidade desses componentes da Bomba de Sangue Centrífuga Implantável.

Palavras-Chave. DAV, bomba de sangue, eixos, mancais, materiais cerâmicos e materiais poliméricos.

Introdução. As bombas de sangue centrífugas, antes utilizadas como apoio durante a cirurgia auxiliando a circulação extracorpórea, estão sendo modificadas para serem utilizadas como Dispositivos de Assistência Ventricular (DAV) implantável [1,2]. Sua aplicação é indicada para o suporte circulatório mecânico em casos de Insuficiência Cardíaca Congestiva (ICC) (3-6). Com o intuito de desenvolver e garantir a confiabilidade do DAV, cada um de seus componentes estão sendo analisados, uma vez que uma falha pode trazer sérias consequências para os pacientes (7). Um dos componentes propensos a falhas são os mancais de contato de micro deslizamento usados para suportar o rotor da bomba que movimentam o fluxo sanguíneo. Estes micro rolamentos

consistem em um eixo de extremidade hemisférica em material cerâmico de zircônia (ZrO_2) suportado pelo rolamento de mancal polimérico (8-12).

Materiais e Métodos. O desenvolvimento de ensaios e análises dos desgastes dos eixos em mancais, foram realizados no Dispositivo para Assistência Ventricular (DAV), conforme figura 1, na qual os corpos de prova foram submetidos a testes de aproximadamente 36 horas, ininterruptas. Os materiais envolvidos foram eixos cerâmicos em zircônia (ZrO_2) em contato com mancais poliméricos PEEK (13-17).

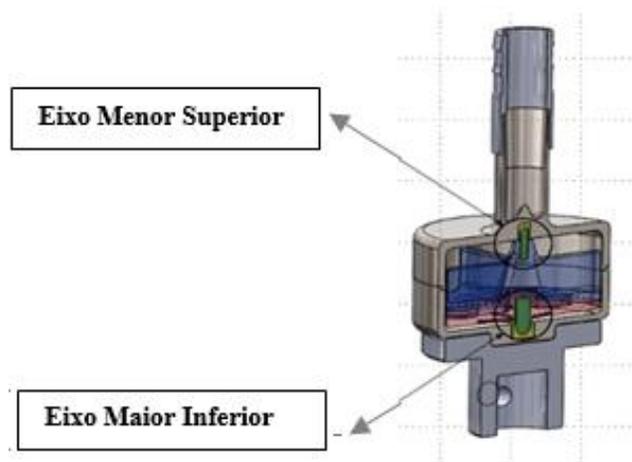


Figura 1. Dispositivo de Assistência Ventricular. Fonte [3]

Para a realização dos ensaios foram confeccionados dois corpos de prova no material cerâmico zircônia, conforme figura 2.

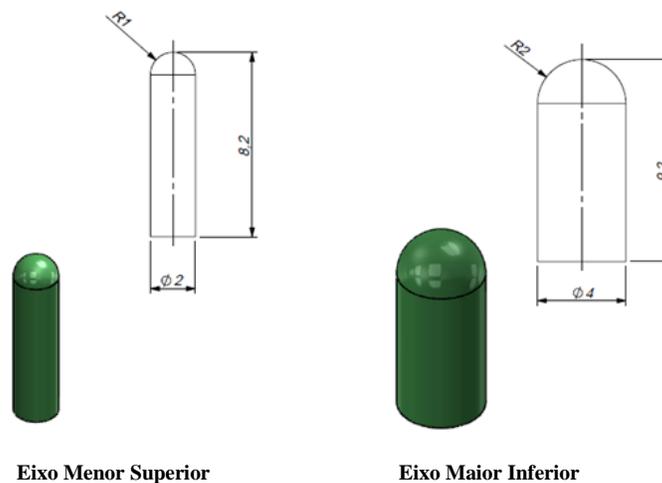


Figura 2. Perfil dimensional do eixo menor superior e maior inferior.

Para caracterização dos corpos de prova de ZrO₂ quanto à rugosidade utilizou-se o Perfilômetro Taylor Hobson (CCI MP, Taylor Hobson, Leicester, Inglaterra), localizado no Laboratório de Fenômenos de Superfície (LFS) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), conforme figura 3 (4).

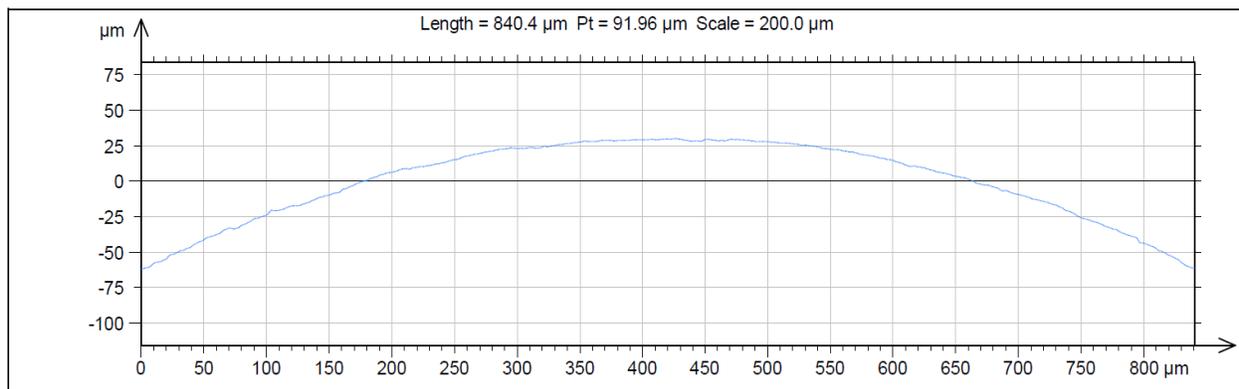


Figura 3. Perfilômetro utilizado na caracterização de rugosidade dos materiais cerâmicos. Fonte: (4)

Caracterização do Corpo de Prova - Eixo Superior

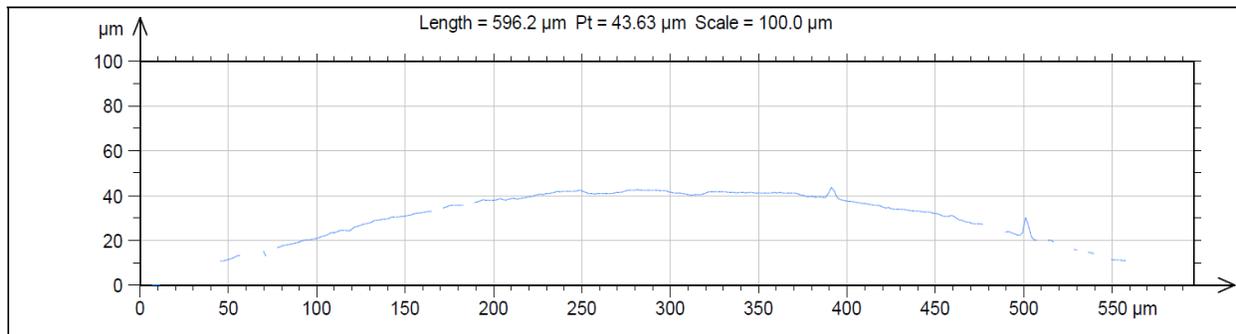
Antes do atrito. A amostra, antes dos testes, resultou no gráfico de perfil, conforme gráfico 1. No corpo de prova não foi detectado nenhuma rugosidade superficial que interferisse no teste.

Gráfico 1. Perfil do Eixo Superior de ZrO₂ – antes.



Depois do atrito. A amostra, depois dos testes, resultou no gráfico de perfil, conforme gráfico 2. No corpo de prova foi detectado um desgaste superficial, com valor aproximado 10 μm .

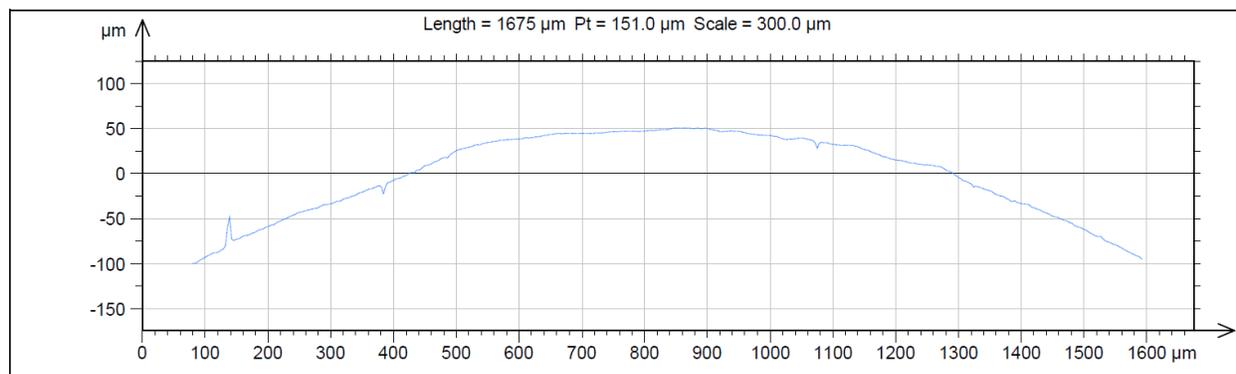
Gráfico 2 - Perfil do Eixo Superior de ZrO₂ – depois.



Caracterização do Corpo de Prova - Eixo Inferior

Antes do atrito. A amostra, antes dos testes, resultou no gráfico de perfil, conforme gráfico 3. No corpo de prova não foi detectado nenhuma rugosidade superficial que interferisse no teste.

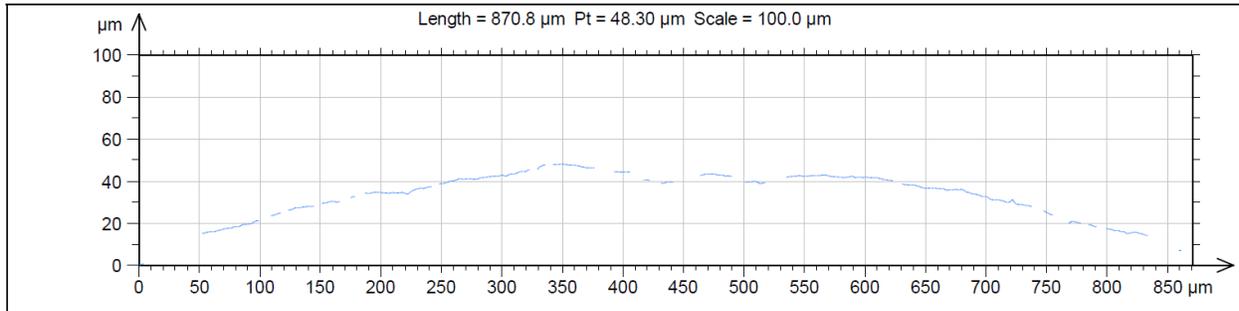
Gráfico 3. Perfil do Eixo Inferior de ZrO₂ – antes.



Conforme pode ser visto, há um pico em torno de 140 μm , à esquerda do Gráfico 3. Este pico, entretanto não deve ser considerado real, mas um artifício da medição, não interferindo nos ensaios.

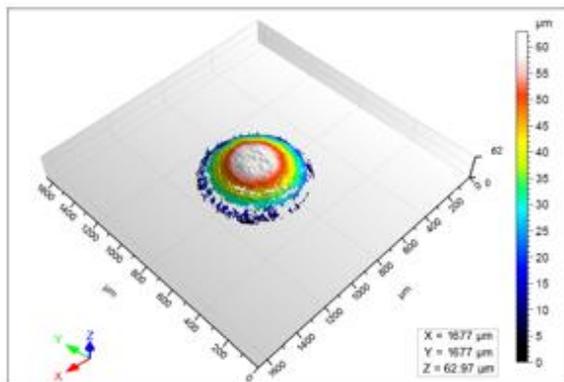
Depois do atrito. A amostra, depois dos testes, resultou no gráfico de perfil, conforme gráfico 4. No corpo de prova foi detectado um desgaste no centro, com valor aproximado 5 μm .

Gráfico 4 - Perfil do Eixo Inferior de ZrO₂ – depois.

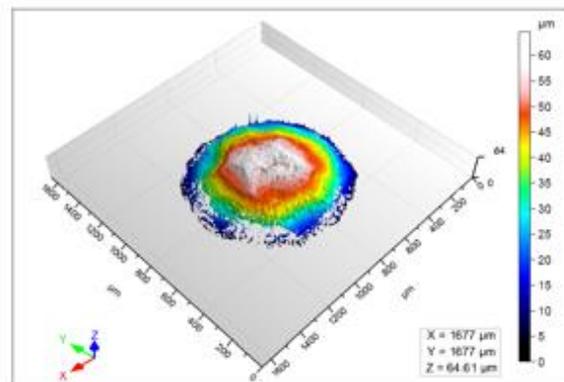


Conclusões. Os gráficos apresentados são referentes ambos eixos, superior e inferior. Sua caracterização foi realizada em diferentes magnitudes (550, 1600 e 850 μm), fazendo uma melhor aproximação do perfil do eixo após o ensaio realizado, isso para a verificação de falhas ou inclusões o mais próximo possível (18-21).

A vista 3D a partir da remoção de nível e preenchimento dos pontos não medidos do eixo de ZrO₂ apresenta-se a rugosidade superficial sem falha, com ondulações ao contato exercido durante o teste, na qual não é possível determinar se houve micro inclusões ou não de material polimérico do mancal, conforme figura 3.



(a) Eixo superior



(b) Eixo Inferior

Figura 4. Vista 3D dos eixos após os testes realizados.

Os eixos e mancais avaliados apresentaram resultados satisfatórios quanto ao desgaste observado no perfilômetro. Outras técnicas poderão ser utilizadas no futuro para garantir maior confiabilidade desses componentes da Bomba de Sangue Centrífuga Implantável.



Agradecimentos. CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

Referências

- (1) Bock E, 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. *Artificial Organs*, v. 32, p. 329-333, 2008.
- (2) Kosaka, R. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology. Geometric optimization of Stepped Bearings of a Hydrodynamic Levitation Centrifugal Blood Pump – 2008.
- (3) Rocha, J. A. F. Projeto de Dispositivo de Assistência Ventricular. IFSP, São Paulo, SP, 2016.
- (4) Hobson, T. Disponível em: <http://taylorhobson.es/pt-pt/empresa-3/>. Acesso 19 de Setembro de 2016.
- (5) Stoeterau, R. L.; Janssen, A.; Mallmann, G.; Friction Analyses of Dimple Structured Surface. In: 5th Lubrication, Maintenance and Tribology (LUBMAT 2016) (LUBMAT is a common initiative between IK4-TEKNIKER and Jost Institute), 2016, BILBAO. Proceeding of Lubrication, Maintenance and Tribology (LUBMAT 2016). Bilbao - Espanha, 2016. v. 1. p. 713-718.
- (6) Santos M B 2005 Identification of the Friction Force by Analysis of Nonlinear Signals in Tribological Testing Thesis UFU.
- (7) Bock E, Leão T, Uebelhart B, Galantini D, Andrade A, Cavalheiro A, Santos Filho DA. Ceramic Pivot Bearing Implantable Centrifugal Blood Pump. *Int J Artif Organs*, v. 36, p. 543, 2013.
- (8) Lopes G, Bock E, Gomez L. Numerical Analyses for Low Reynolds Flow in a Ventricular Assist Device. *Artif Organs*. 2017; 41(6).
- (9) 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.
- (10) 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.
- (11) 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.

(12) 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.

(13) 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.

(14) 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.

(15) 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.

(16) Dinkhuysen, J. J., Andrade, A., Conteras, C., Paulista, P. P., Leme, J., & Manrique, R. Experimental study of pulsatile implantable electromechanical artificial ventricle. *Brazilian Journal of Cardiovascular Surgery*, 2011; 26(1), 76-85.

(17) 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.

(18) 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.

(19) 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.

(20) Dinkhuysen, J. J., Andrade, A., Contreras, C., Paulista, P. P., & Manrique, R. (2011). Estudo experimental da aplicação do ventrículo artificial eletromecânico pulsátil implantável. *Rev Bras Cir Cardiovasc*, 26(1), 76-85.

(21) 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.