

## **DETERMINAÇÃO DE RAIOS EM ACOPLAMENTO MAGNÉTICO ATRAVÉS DE TESTES HIDRODINÂMICOS EM UMA NOVA BOMBA DE SANGUE CENTRÍFUGA IMPLANTÁVEL DE MANCAIS CERÂMICOS**

Eduardo Bock<sup>1,2,3</sup>, Adriana Ribeiro<sup>2</sup>, Maxwell Silva<sup>2</sup>, Jeison Fonseca<sup>2</sup>, Daniel Legendre<sup>2</sup>, Juliana Leme<sup>2,3</sup>, Pedro Antunes<sup>2</sup>, Santiago Marques<sup>2</sup>, Edivânia Wada<sup>2,3</sup>, Denys Nicolosi<sup>2</sup>, Luis Gênova<sup>4</sup>, José Carlos Bressiani<sup>4</sup>, Celso Arruda<sup>3</sup>, Aron Andrade<sup>2</sup>, Yukihiko Nosé<sup>1</sup>.

8282 Cambridge apt 2511, Houston, 77054, TX, EUA.

<sup>1</sup>Department of Surgery, International Center for Artificial Organ Development, Baylor College of Medicine.

<sup>2</sup>Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia, CTE – Bioengenharia.

<sup>3</sup>Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Materiais, Unicamp.

<sup>4</sup>Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN.

### **RESUMO**

*Um novo Dispositivo de Assistência Ventricular (DAV) está sendo estudado para Assistência Ventricular de longa duração. É uma bomba de sangue centrífuga de alta durabilidade que visa auxiliar o coração debilitado provendo fluxo contínuo de sangue e diminuindo o esforço necessário para a circulação normal do sangue. Foram utilizados um sistema de mancais de apoio cerâmicos e um sistema de acoplamento magnético. Para o dimensionamento do acoplamento magnético, compatível com o tamanho reduzido do novo DAV, se fez necessário determinar o raio para o acoplamento magnético. Diferentes modelos foram testados, o campo magnético foi medido e o raio determinado, e suas características hidrodinâmicas foram comparadas em gráficos. Os resultados mostraram que o raio para esse tipo de DAV com essas dimensões e características similares, deve estar entre 36 e 38 mm. Como trabalhos futuros, estamos realizando testes de atrito nos mancais e testes de hemólise com um novo protótipo.*

Palavras-chave: DAVs, acoplamento magnético, mancais cerâmicos, testes de características hidrodinâmicas.

## INTRODUÇÃO

Os Dispositivos de Assistência Ventricular (DAV) estão sendo amplamente utilizados em diversos países como uma tecnologia promissora para o tratamento da insuficiência cardíaca. O DAV que estamos desenvolvendo é uma bomba de sangue centrífuga de alta durabilidade que visa auxiliar o coração debilitado provendo fluxo contínuo de sangue e diminuindo o esforço necessário para a circulação normal do sangue. Como proposto por NOSÉ (1998), estamos utilizando uma estratégia de desenvolvimento de DAVs conhecida como “step-by-step”<sup>(1)</sup> para converter a bomba centrífuga não implantável Spiral Pump (SP), de tecnologia nacional<sup>(2)</sup>, nessa nova bomba implantável. As primeiras alterações necessárias para o novo projeto foram o tamanho, a entrada da bomba, os mancais do rotor e o acoplamento magnético. A entrada teve de ser alterada em virtude da utilização de um novo sistema de mancais desenvolvido em parceria com o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN).

Esse sistema de mancais de apoio cerâmicos<sup>(3)</sup> provou ser mais confiável que o original sistema de rolamentos e eixo selado, utilizado atualmente na SP, que pode permitir vazamento do sangue quando utilizado em assistência de longa duração.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de mancais de apoio cerâmico é composto de um par de mancais superior e um par de mancais inferior<sup>(4)</sup>. O objetivo desses dois pares de mancais é realizar a sustentação mecânica do rotor da bomba com o mínimo desgaste. Todo o sistema é imerso em sangue e, para o bom funcionamento da bomba, os mancais devem causar o menor dano possível ao sangue. Esse dano é medido diretamente através do dano causado às hemácias medido através do Índice Normalizado de Hemólise (INH)<sup>(2)</sup>. Por ser um sistema imerso o calor gerado por atrito deve ser moderado e a folga entre os ajustes deve variar entre 200  $\mu\text{m}$  e 1000  $\mu\text{m}$ <sup>(1)</sup>.

Cada par de mancais é composto por um mancal macho e um mancal fêmea como pode ser visto na figura 1.



Figura 1. Posicionamento dos mancais de apoio cerâmicos na Bomba Centrífuga Implantável.

Como citado anteriormente, outra alteração necessária na SP foi a mudança no seu acoplamento magnético. O acoplamento magnético é composto por ímãs de Neodímio-ferro-boro (NdFeB) localizados no interior do rotor e no atuador, sua função é a transferência do movimento gerado pelo motor para o rotor sem o contato dessas partes com o sangue. Para o desenvolvimento de um novo acoplamento magnético, compatível com o tamanho reduzido do novo DAV, se fez necessário determinar um novo raio para o acoplamento magnético. Para tanto, foi usada a bomba Gyro como referência. Cinco modelos dessa bomba foram testados nesse estudo. O campo magnético foi medido para efeito de controle com um Gaussímetro (Gauss Teslameter 5070, F.W. Bell Technologies, USA) marcado o ponto médio entre os pontos de maior campo magnético e o raio foi determinado através de medição simples direta conforme mostra a figura 2.



Figura 2. Marcação dos pontos obtidos pela medição com Gaussímetro.

A partir desses dados, testes de performance das bombas foram realizados para o levantamento das características hidrodinâmicas de cada modelo. Um gráfico com cada curva foi plotado e suas características foram comparadas de acordo com cada medição do raio realizada previamente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 mostra os modelos da bomba e seus respectivos raios. As Figuras 3, 4, 5, 6 e 7 tratam, respectivamente de cada modelo da bomba com raio de acoplamento magnético conforme tabela 1.

Tabela 1. Raios do campo magnético do acoplamento medidos em cada modelo de bomba.

Acoplamento modelo número	1	2	3	4	5
Raio [mm]	36,0	35,0	38,0	39,0	37,0

Vale ressaltar que os modelos 1 e 2, bem como os modelos 3 e 4, são variações de um mesmo modelo utilizando um espaçador. Cada um foi testado isoladamente em um circuito com água e 37% de glicerina para simular a viscosidade do sangue. Esse circuito, também conhecido como Mock Loop é composto por um reservatório (Flexible Sac, 3M, USA), tubos de silicone de 3/8", um fluxômetro (Transonic, Transonic Systems, USA), dois transdutores e um monitor de pressão, um cartão de aquisição de dados (DAQ Card, National Instruments, USA) e um computador com o software Labview (Labview 8, National Instruments, USA). Os gráficos obtidos com esse circuito são mostrados nas figuras 3, 4, 5, 6 e 7.

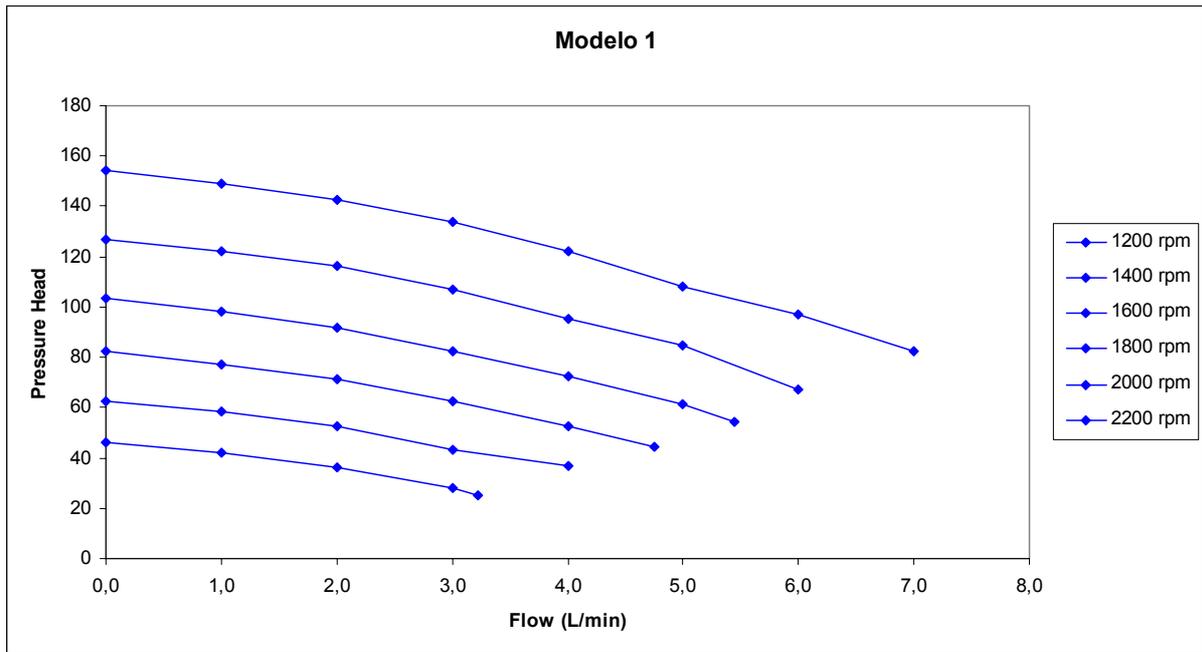


Figura 3. Gráfico das curvas de características hidrodinâmicas da bomba com modelo 1.

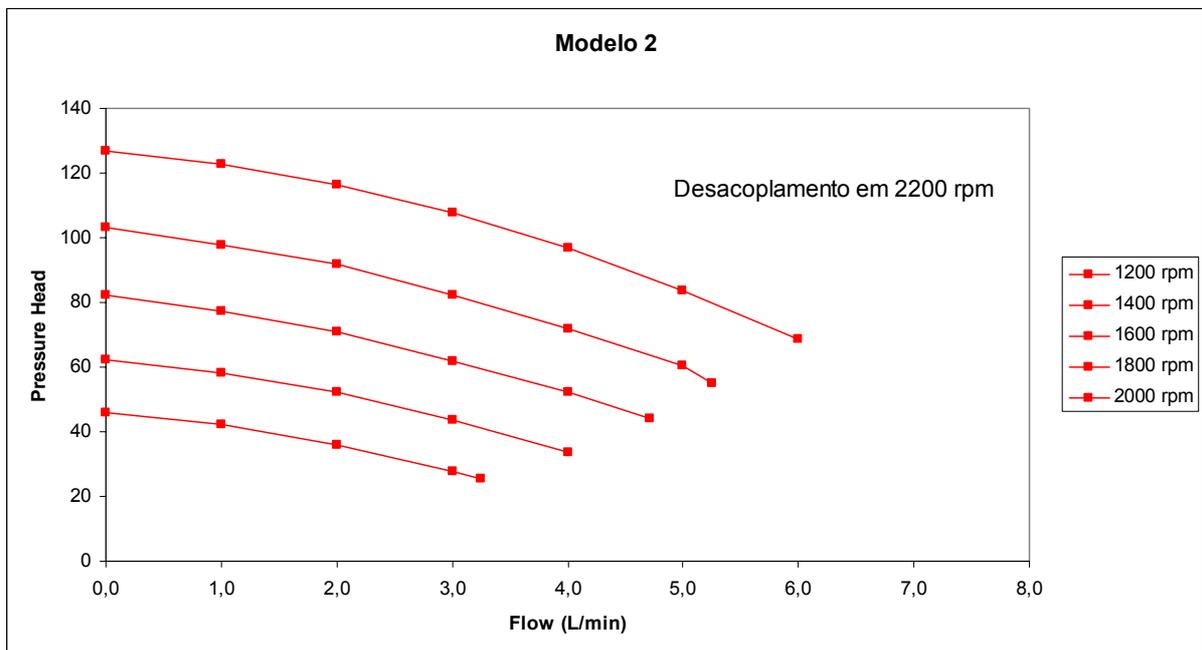


Figura 4. Gráfico das curvas de características hidrodinâmicas da bomba com modelo 2.

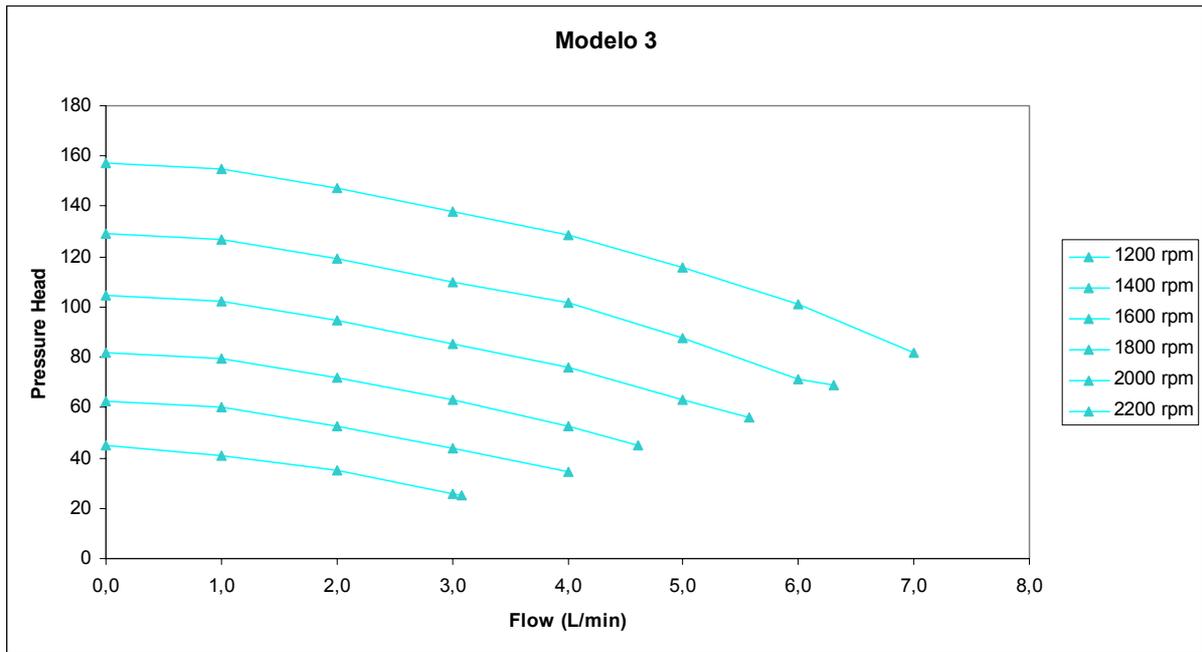


Figura 5. Gráfico das curvas de características hidrodinâmicas da bomba com modelo 3.

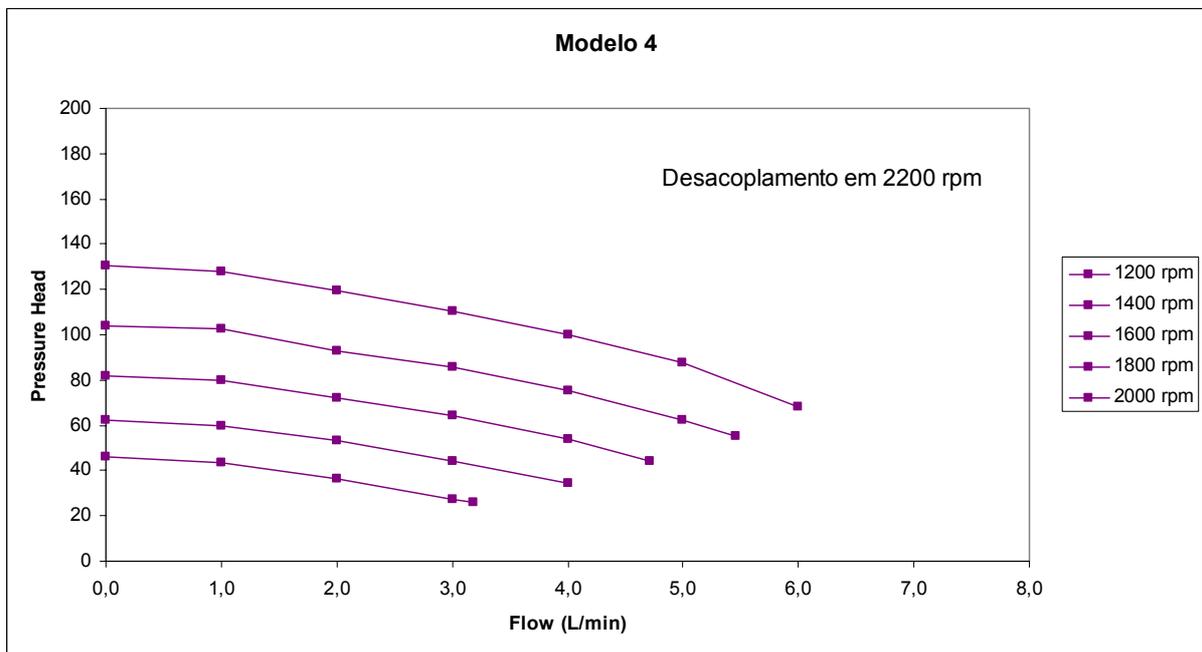


Figura 6. Gráfico das curvas de características hidrodinâmicas da bomba com modelo 4.

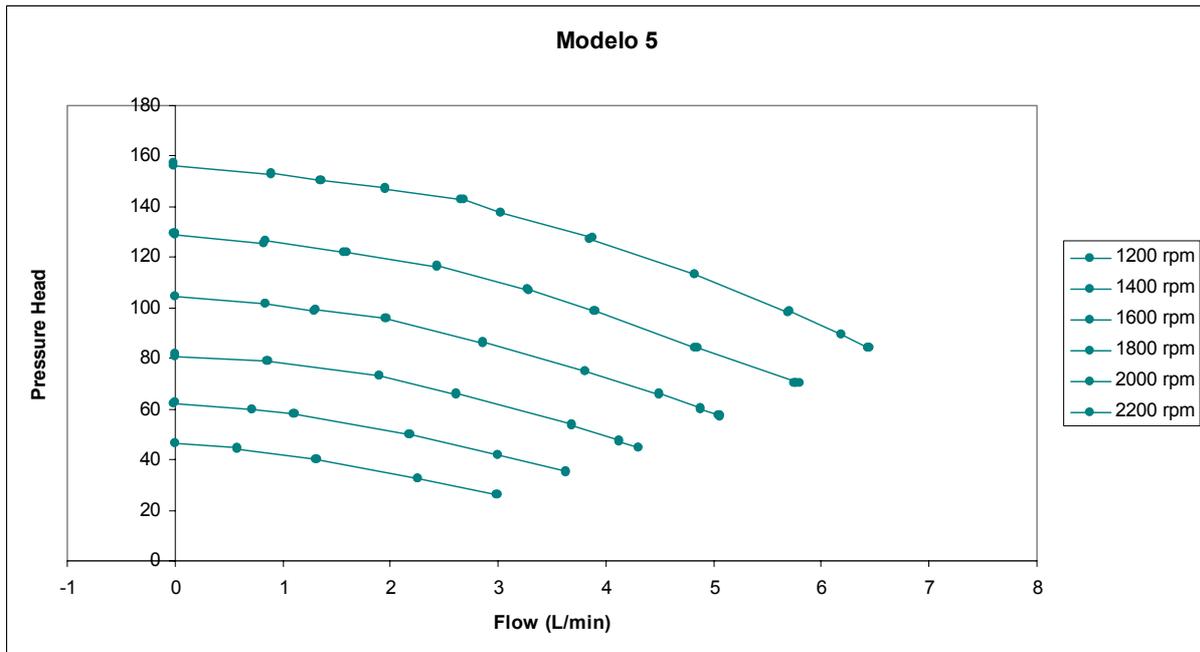


Figura 7. Gráfico das curvas de características hidrodinâmicas da bomba com modelo 5.

Os resultados mostraram que o raio para esse tipo de DAV com essas dimensões e características similares, deve estar entre 36 e 38 mm. Nessa faixa, não ocorreu o fenômeno de desacoplamento do rotor como nos modelos com raio de 35 mm (modelo 2) e 39 mm (modelo 4).

## CONCLUSÕES

Nos modelos 2 e 4, com raios de 35 mm e 39 mm, respectivamente, foi observado o fenômeno de desacoplamento do rotor. Esse fenômeno, se ocorrido durante a utilização da bomba como DAV pode ser fatal para o paciente que está recebendo a assistência circulatória<sup>(5)</sup>. Para esse tipo de bomba, podemos trabalhar dentro da margem estudada. Não podemos concluir que para toda bomba centrífuga implantável o raio do acoplamento magnético deve estar entre a faixa de raios testada. Com essa comparação foi possível a determinação do raio do acoplamento magnético da bomba centrífuga implantável.

Como trabalhos futuros, estamos realizando testes de atrito nos mancais e testes de hemólise com um novo protótipo.

## AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer o imenso auxílio do IPEN e do departamento de Materiais da FEM na confecção dos mancais de apoio cerâmicos. Sem essa ajuda, seria impossível a realização desse projeto com tecnologia nacional.

## REFERÊNCIAS

1. NOSÉ, Y. Design and Development Strategy for the Rotary Blood Pump. **Artificial Organs**, v.22, n.6, p. 438-446, 1998.
2. ANDRADE, A.; BISCEGLI, J.; DINKHUYSEN, J.; SOUSA, J.; OHASHI, Y.; HEMMINGS, S.; GLUECK, J.; KAWAHITO, K.; NOSÉ, Y. Characteristics of a Blood Pump Combining the Centrifugal and Axial Pumping Principles: The Spiral Pump. **Artificial Organs**, v.20, n.6, p. 605-612, 1996.
3. TAKAMI, Y.; NAKAZAWA, T.; MAKINOCHI, K.; BENKOWSKI, R.; Glueck, J.; Nosé, Y. Material of the Double Pivot Bearing System in the Gyro C1E3 Centrifugal Pump. **Artificial Organs**, v.21, n.2, p. 143-147, 1997.
4. RIBEIRO, A.; ANDRADE, A.; BOCK, E. Bomba Centrífuga Implantável com Apoios Cerâmicos para Assistência Ventricular. **4º Congresso Latino Americano de Órgãos Artificiais e Biomateriais**, 2006.
5. WATERS, T.; ALLAIRE, P.; TAO, G.; ADAMS, M.; BEARNSON, G.; WEI, N.; HILTON, E.; BALOH, M.; OLSEN, D.; KHANWILKAR, P. Motor Feedback Physiological Control for a Continuous Flow Ventricular Assist Device. **Artificial Organs**, v.23, n.6, p. 480-486, 1999.

## RADIUS DETERMINATION USING PERFORMANCE TESTS AS A PARAMETER TO A NEW CENTRIFUGAL IMPLANTABLE PUMP MAGNETIC COUPLING

### ABSTRACT

A new Left Ventricle Assist Device (LVAD) has been developed in a research partnership between Baylor College of Medicine (BCM), Unicamp, Institute of Energetic and Nuclear Research (IPEN) and Institute Dante Pazzanese of Cardiology (IDPC). LVADs are currently being used for treatment of several cardiac illnesses. This device is a long-term centrifugal blood pump that is durable and implantable. As proposed by Nosé (1998), we are using a step-by-step development to convert the Spiral Pump (SP), a Brazilian project, to this new LVAD. The necessary alterations in this development are the inlet port, the bearings and the

magnetic coupling dimensions. We adopted an eccentric inlet port to make possible a pivot bearing system. The SP's inlet port is located on the top of the external cone in the same place to be used by the top pivot bearing. In IPEN laboratories, we developed reliable and durable materials for this pivot bearing system. In order to determine the optimal magnetic coupling radius, we performed two tests with the BCM Gyro pump and compared the results. The performed tests were magnetic field radius measurements and hydrodynamic performance tests. The aim of this study was to determine an acceptable radius for the new magnetic coupling. We compare the hydrodynamic pump performance curves with different magnetic couplings radii. The results showed that the radius should be not smaller than 36 but not bigger than 38 mm. In the future, we will study the mechanical hemolysis of this new pump design.

Key-words: Left Ventricle Assist Device, Magnetic Coupling, Ceramic Pivot Bearings, Hydrodynamic Performance Curves.