

MODIFICAÇÃO DE SUPERFÍCIES EM MEDICINA: TÉCNICAS A PLASMA EM UMA BOMBA DE SANGUE CENTRÍFUGA IMPLANTÁVEL

MODIFICATION SURFACE IN MEDICINE: TECHNIQUES WITH PLASMA IN A CENTRIFUGAL BLOOD PUMP IMPLANTABLE

Data de entrega dos originais à redação em: 18/06/2015
e recebido para diagramação em: 03/10/2016

Rosa Corrêa Leonicio de Sá¹ Nilson Cristino da Cruz²
João Roberto Moro³ Tarcísio Leão⁴
Aron José Pazzin de Andrade⁵ Eduardo Guy Perpétuo Bock⁶

Este artigo aplica a Engenharia Mecânica em Medicina através de técnicas de Modificação Superficial em componentes de um Dispositivo de Assistência Ventricular, a Bomba de Sangue Centrífuga Implantável (BSCI). Electrolytic Oxidation with Plasma (EOP) e Plasma Chemical Enhanced Vapor Deposition (CVD) são técnicas que podem maximizar a biofuncionalidade de componentes em titânio da BSCI devido ao novo aspecto superficial mediante sua aplicação.

Palavras-chave: DAV. Modificação de Superfície. EOP. CVD. Biofuncionalidade.

This article applying the Mechanical Engineering in Medicine through of technical Surface Modification in components of a Ventricular Assist Device, Implantable Centrifugal Blood Pump (ICBP). Electrolytic Oxidation with Plasma (EOP) and Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (CVD) are techniques that can maximize the biofunctionality of components in titanium ICBP because of the new surface appearance by your application.

Keywords: DAV. Surface Modification. EOP. CVD. Biofuncionalidade.

1 INTRODUÇÃO

Em contribuição ao desenvolvimento científico, tecnológico e a saúde pública nacional, o Instituto "Dante Pazzanese" de Cardiologia (IDPC) e o Instituto Federal de São Paulo (IFSP) uniram grandes áreas da engenharia com as da medicina, em especial a do sistema circulatório, para desenvolver um projeto de Bomba de Sangue Centrífuga Implantável (BSCI); o qual deverá ser aplicado como um Dispositivo de Assistência Ventricular (DAV) de destino para estabilizar as condições hemodinâmicas de pacientes com insuficiência cardíaca grave a espera de um coração compatível na fila de transplantes.

Um DAV classifica se como de destino quando aplica se ao paciente que requer da assistência circulatória por tempo indeterminado; ponte para transplante, o dispositivo auxilia o coração debilitado até a consumação do transplante; ou terapia, quando o DAV fornece suporte circulatório ao paciente pós-transplantado até sua recuperação. Estima se que, só no Brasil, aproximadamente 2000 pacientes poderiam ser candidatos à aplicação de um DAV. (ANDRADE, 2012).

A BSCI é essencialmente confeccionada em titânio comercialmente puro, grau médico II; ela consiste de um cone externo com cânulas de acesso, um rotor suspenso por um sistema de mancal pivotante e uma base externa para o alojamento do motor. O princípio de acionamento é centrífugo por acoplamento magnético – o qual se

caracteriza pelo movimento perpendicular do rotor ao eixo no sentido radial da bomba. O sistema pivotante consiste de dois componentes: o PIVÔ, eixo do rotor com movimento rotacional, e o MANCAL, as superfícies de apoio, ver Figura 1. (BOCK, 2011).

Neste sistema pivotante, se houver irregularidades na superfície, determinados pontos podem ficar mais próximos um do outro e o lubrificante pode não desempenhar seu papel em condições de atrito; em

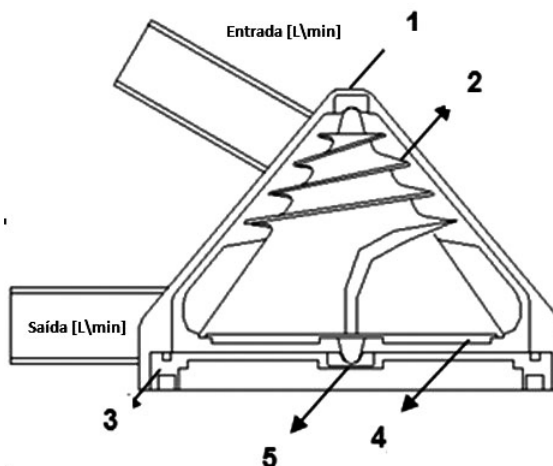


Figura 1 - BSCI. 1 cone externo; 2 rotor; 3 alojamento motor; 4 base rotor; 5 mancal pivotante (adaptado. BOCK, 2011)

1 - Pesquisadora em Bioengenharia pelo Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia - Mestranda em Engenharia Mecânica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. < rosacldesa@gmail.com >

2 - Professor Doutor da Universidade Estadual Paulista de Sorocaba.

3 - Professor Doutor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo.

4 - Professor Mestre do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - Doutorando em Medicina pelo Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia.

5 - Diretor de Pesquisa em Bioengenharia do Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia.

6 - Professor Doutor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo.

DAVs isto é inadmissível, uma vez que o sangue atua como lubrificante pode ocorrer lesão celular por quebra das hemácias.

A Sociedade Americana para Testes e Materiais (ASTM) e a Organização Internacional para Normatização (ISO) especificam alguns materiais como biocompatíveis, os biomateriais, por conter uma combinação de propriedades químicas, físicas e biológicas que viabilizam sua aplicação no corpo humano sem se tornarem citotóxicos. Segundo a norma ISO 10993: Avaliação Biológica dos Dispositivos Médicos, os implantes devem ser confeccionados em biomateriais que não apresentem qualquer forma de degradação durante o tempo de aplicação; além de suportarem os devidos processos de esterilização sem alterações de suas propriedades.

A biocompatibilidade de um material para implante é considerada ótima quando ele promove epitelização (crescimento de tecido biológico sob uma superfície) e estabelece com o meio biológico uma interface capaz de suportar as cargas normais do local implantado; e a biofuncionalidade de um implante caracteriza-se pela sua capacidade em atuar com uma resposta apropriada em uma aplicação específica (BOSHI, 1993). Para um DAV ser biofuncional, reações imunológicas locais ou sistêmicas são inadmissíveis; portanto, quanto menos partículas o biomaterial liberar, em função do tempo de implante, melhor será sua aceitação pelo tecido biológico local e demais sistemas (ORÉFICE, 2005).

Esta característica, não somente de DAVs, mas como de qualquer implante permanente, pode ser melhorada através de processos de modificação superficial por meio de revestimento; onde um novo aspecto de superfície, mais próximo às condições naturais, pode proporcionar melhor interação com o local implantado e todo o organismo; assim como aumentar sua durabilidade e confiabilidade (KANEKO et al., 2001).

2 MODIFICAÇÃO DE SUPERFÍCIES

A Engenharia de Superfícies consiste em desenvolver e aplicar processos tecnológicos, em diferentes materiais, para conferirem propriedades de superfícies específicas a uma determinada aplicação; maximizando assim, a durabilidade de um produto, principalmente para fins médicos e espaciais, com redução de custos. Para tanto, técnicas de modificação de superfície vêm sendo aplicadas, através de processos de decapagem, polimento, texturização e deposições, em componentes mecânicos submetidos a condições de *stress* físico, químico e/ou biológico.

Em certos materiais, um processo de deposição, por exemplo, pode ser capaz de formar um filme fino, bem aderido, com elevada resistência ao desgaste, à fadiga e a corrosão; agora, através de processos de texturização pode ser possível obter superfícies com características de *scaffolds*, viáveis de crescimento celular; há também, técnicas que proporcionam ao substrato, de forma simples e econômica, uma superfície responsiva a determinados estímulos físicos e químicos.

Duas técnicas, *Electrolytic Oxidation Plasma* (EOP) e *Plasma Chemical Enhanced Vapor Deposition* (CVD), estão sendo estudadas para modificar a superfície

de componentes em titânio e assim, maximizar a biofuncionalidade de DAVs implantável, como a BSCI.

O plasma é definido como um gás ionizado, constituído de pares íons-elétrons em proporções iguais; este fenômeno pode ser gerado por fornecimento de energia térmica ou elétrica a um sistema gasoso, onde átomos e moléculas do meio são ionizados, os pares íons-elétrons. Quando as espécies do meio se incorporam na superfície do substrato, o mesmo é modificado; tal processo pode ser classificado como plasmas de tratamento, deposição, ou ablação. (SANTANA, 2014).

2.1 *Electrolytic Oxidation Plasma*

A técnica *Electrolytic Oxidation Plasma* (EOP) pode ser aplicada para realizar limpeza de superfícies, tratamentos térmicos e alterações das características superficiais, tais como decapagem, polimento, texturização e deposições, em alguns metais, tais como o titânio, alumínio, magnésio e nióbio. Esta técnica consiste em dois eletrodos, o catodo (-) e o anodo (+), imersos em solução eletrolítica com diferença de potencial elétrico elevado, ver Figura 2. A oxidação do substrato ocorre no anodo pela ação de descargas elétricas localizadas, denominadas micro-arcos, as quais determinam, além da taxa de crescimento do revestimento de óxido, sua estrutura, composição química e morfologia. (ANTONIO, 2011).

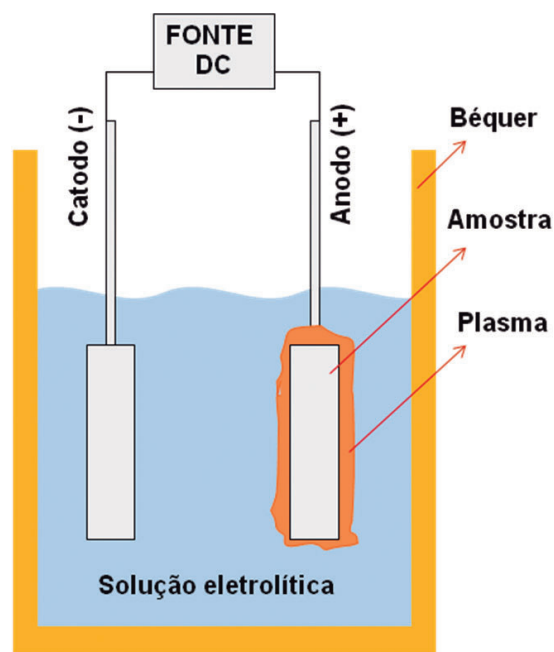


Figura 2 - Processo de *Electrolytic Oxidation Plasma* (EOP). (adaptado. ANTONIO, 2011)

Quando um substrato em titânio é submetido a este processo, o mesmo passa a apresentar aspecto de superfície característico de *scaffold* por possuir poros com diâmetro de 5 a 10 μm e arcabouços com diâmetro superior a 10 μm ; ver Figura 3; estas dimensões podem ser propícias à aderência e proliferação celular, e ainda com vascularização e remoção de metabólitos gerados mediante processo de epitelização *In Vivo*; em uma aplicação específica, formação de biofilme na

BSCI mediante fluxo contínuo de sangue e o tempo de implante. (SÁ, 2014).

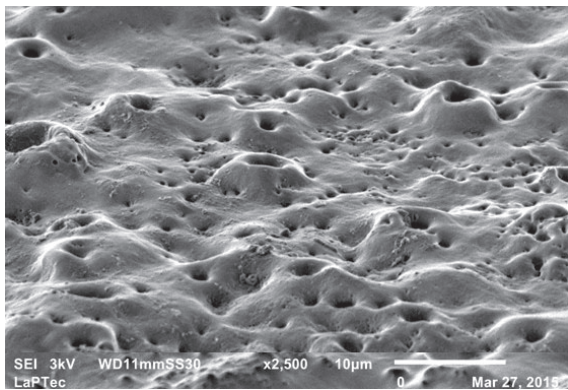


Figura 3 - Micrografias geradas por Microscopia Eletrônica de Varredura da superfície de titânio modificada por Electrolytic Oxidation Plasma. (SÁ, 2014)

2.2 Chemical Vapour Deposition

A técnica de modificação de superfície *Chemical Vapour Deposition* (CVD) é capaz de formar um filme fino de carbono tipo diamante (*Diamond Like Carbon* – DLC) sobre a superfície de materiais metálicos, cerâmicos e poliméricos. O filme DLC apresenta excelentes características tribológicas e de aderência; além de possuir propriedades físicas e químicas consagradas em aplicações médicas e espaciais. Através desta técnica tornou-se possível proporcionar ação biocompatível, elevada dureza mecânica, estabilidade química, transparência no visível, elevada resistência ao desgaste e a corrosão a materiais de baixo custo, como alguns polímeros. (ROBERTSON, 2002)

O processo de formação do filme em diamante CVD, na superfície de substratos em titânio, consiste em promover uma reação química em fase gasosa sobre a superfície sólida; provocando assim, a deposição de carbono, em condições de não equilíbrio termodinâmico entre hidrogênio atômico (H_2) e radicais de hidrocarbonetos (metano ou acetileno), dentro de um reator; onde, os átomos de carbono dos hidrocarbonetos incorporam-se à superfície metálica proporcionando o crescimento da rede cristalina do diamante. (BRAGA, 2008)

A câmara PECVD, em Figura 4, é formada por dois eletrodos: o catodo, conectado a uma fonte de corrente contínua (DC) pulsada ou de rádio frequência, e o anodo, formado pelas paredes da câmara junto ao substrato. A fonte de corrente produz o plasma entre os eletrodos através da aplicação de

campos elétricos, contínuos ou alternados, a um gás a baixa pressão (10^{-1} a 10^3 Pa); em seguida, os elétrons livres do gás adquirem energia e são acelerados. As colisões inelásticas entre elétrons energéticos e moléculas, dão origem a uma série de espécies excitadas, como outros elétrons, íons, radicais livres, átomos e moléculas (VIEIRA, 2000); com a incorporação destas espécies no sólido, ocorre a modificação de sua superfície por efeitos de plasma de deposição.

Pois bem, mediante tantos benefícios dispostos por esta tecnologia, estudos vêm sendo conduzidos a fim de revestir, com DLC, o sistema pivotante de DAVs, em Fig. 1. Esta aplicação visa maximizar a durabilidade do sistema de apoio, por prevenção de irregularidades na superfície, mediante desgaste abrasivo; já que o filme DLC, bem aderido, tende a tornar a superfície mais lisa, com maior dureza e resistência a corrosão.

3 CONCLUSÃO

Conclui-se que, os processos de modificações de superfícies são métodos econômicos de se obter materiais com propriedades de superfície específicas para uma determinada aplicação. A modificação de superfícies em titânio, por tecnologias a plasma, até o momento tem se mostrado promissor para melhorar a bifuncionalidade de DAVs.

Tanto o revestimento em DLC no sistema pivotante, quanto à texturização das áreas internas do dispositivo, as quais permanecem em contato direto com sangue, contribuem com a maximização da durabilidade e biocompatibilidade de DAVs, sem prejudicar seu desempenho hemodinâmico.

O filme DLC contribui com o aumento da durabilidade do sistema de apoio pivotante, além de atuar com propriedade biocompatível e auto-lubrificante; e a texturização tende a proporcionar epitelação, *In Vivo* ou *In Vitro*, mediante fluxo contínuo de sangue, em função do tempo de implante, e/ou em

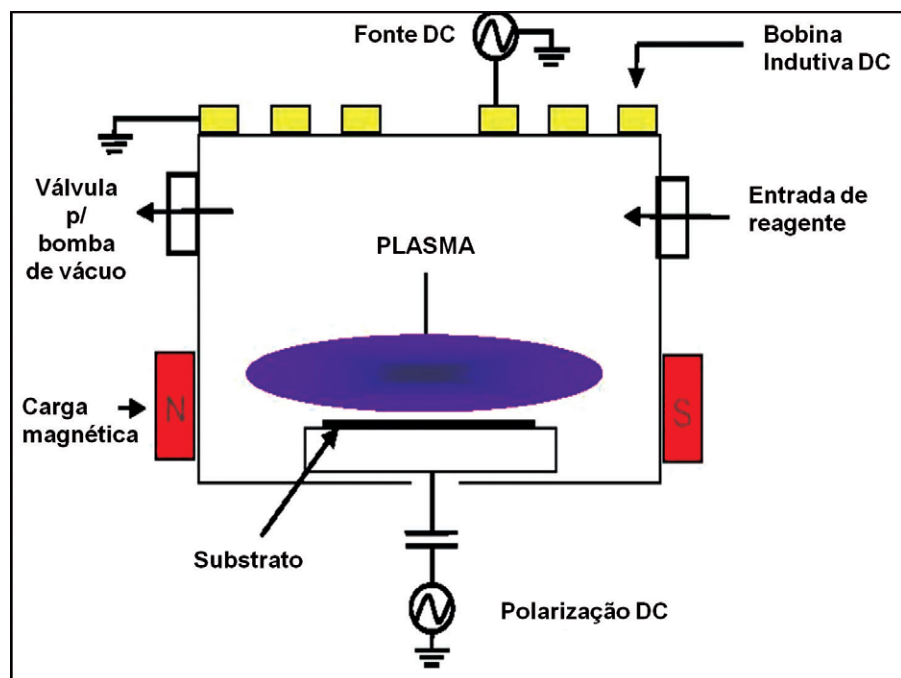


Figura 4 - Diagrama do processo PECVD. (MATHAD, 1999)

condições laboratoriais, utilizando células endoteliais de linhagem humana.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. J. P. **Desenvolvimento de Testes “In Vitro” e “In Vivo” de Dispositivos de Assistência Circulatória Sanguínea Uni e Biventricular e um Coração Artificial Auxiliar (CAA) Eletromecânico, Totalmente Implantável.** Tese de Livre Docência. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.
- ANTONIO, C. A. **Deposição de Filmes por Plasma Eletrolítico em Ligas de Alumínio.** Dissertação (Mestrado). Sorocaba: Faculdade de Ciências - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2011.
- BOCK, E. et al. Implantable Centrifugal Blood Pump with Dual Impeller and Double Pivot Bearing System: Electromechanical Actuator, Prototyping, and Anatomical Studies. **Artificial Organs**. Estados Unidos, vol. 35 (5), 2011, p. 437–442.
- BOSHI, A. O. O que é necessário para que um material possa ser considerado um biomaterial? **Encontro Nacional de Biomateriais: Resumos. IPEN-CNEN/SP.** São Paulo, 1993, vol. 2.
- BRAGA, A. N. **Filmes de Diamante – CVD sobre Substrato de Titânio Puro Poroso:** Uma proposta para aplicação como eletrodo. Tese (Doutorado). São José dos Campos: Engenharia e Tecnologia Espaciais/Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008.
- KANEKO, S.; TSURU, K.; HAYAKAWA, S.; TAKEMOTO, S.; OHTSUKI, C.; OZAKI, T.; INOUE, H.; OSAKA, A. In vivo evaluation of bonebonding of titanium metal chemically treated with a hydrogen peroxide solution containing tantalum chloride. **Biomaterials**, vol. 22 (9), 2001, p. 875-881.
- MATHAD, G. et al. “Plasma Processing for Silicon-Based Integrated Circuits”. **Interface, Summer** [online], 1999, p. 39.
- ORÉFICE, R. L. Biomateriais e Biocompatibilidade. **F. ORÉFICE (org.), Uveíte: Clínica e Cirúrgica: Texto & Atlas.** Rio de Janeiro, vol. 2 (2ª ed.), 2005, p. 1317-1351.
- ROBERTSON, J. Diamond-like amorphous carbon. **Materials Science and Engineering.** [online] vol. 37, 2002.
- SÁ, R.C.L., et al. Modificação Superficial do Titânio através de Oxidação Eletrolítica com Plasma. **Anais do 8º Congresso Latino Americano de Órgãos Artificiais e Biomateriais (COLAOB).** Rosário-Argentina, 20, 21, 22 e 23 de agosto de 2014.
- SANT’ANA, P. L. **Plásticos comerciais tratados a plasma para dispositivos ópticos e embalagens alimentícias.** Tese (Doutorado). Sorocaba: Faculdade de Ciência - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2014.
- VIEIRA, R.; NONO, M. Estudos das Interfaces Diamante CVD – Titânio – Aço Inox 304 Obtidas por Processos de Deposição Híbridos. **Anais do 14º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais.** São Pedro-SP, 2000.