

OBTENÇÃO DE EIXOS DAV EM BIOMATERIAIS CERÂMICOS (AL₂O₃) POR PROCESSO GEL CASTING (ATTAINMENT OF DAV AXES IN CERAMIC BIOMATERIALS (AL₂O₃) BY GEL CASTING PROCESS)

P. C. F. Silva¹; S. Y. Araki¹, F. S. Ortega²; E. G. P. Bock¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. Campus São Paulo
Rua Pedro Vicente, 625 – Canindé – São Paulo.

²Centro Universitário FEI, Campus São Bernardo do Campo
Av. Humberto de Alencar Castelo Branco, 3972 – Assunção – São Bernardo do Campo.
pamela-florentino@hotmail.com

Resumo

Dispositivos de assistência ventricular (DAV) tem sido uma alternativa de suporte à vida de pacientes que aguardam um transplante cardíaco, esses dispositivos auxiliam o bombeamento de fluxo contínuo do sangue para a aorta. No desenvolvimento de protótipos, identificou-se a necessidade de análise dos componentes submetidos a desgaste contínuo, em específico os eixos hemisféricos do DAV. O projeto consiste em analisar os aspectos tribológicos desenvolvidos nos rotores durante o funcionamento e propor um processamento de um biomaterial de melhor desempenho. Para garantir a confiabilidade do dispositivo, realizou-se um levantamento bibliográfico dos biomateriais utilizados na medicina, na qual foi observado o uso recorrente dos biomateriais cerâmico Alumina e Zircônia.

Iniciou-se com o processo de obtenção do eixo Alumina por Colagem Barbotina e neste artigo será apresentada a segunda fase do projeto, que consiste no processo de obtenção dos eixos cerâmicos em Alumina por Gel Casting e análise por microscopia, a fim de avaliar o processo de formação de defeitos e trincas que resultam nas propriedades micro estruturais, e consequente desempenho nos DAV. Em trabalhos futuros, serão realizados os testes tribológicos dos eixos produzidos submetidos à bancada de teste no DAV em funcionamento.

Palavras chave: gel casting, DAV, eixos cerâmicos. alumina.

Abstract

Ventricular Assist Devices (VADs) have been an alternative to support the lives of patients awaiting a heart transplant, as these devices aid in the pumping of continuous blood flow to the aorta. In the development of prototypes, it was identified the need for analysis of components subjected to continuous wear, specifically the hemispherical axes of DAV. The project consists of analyzing the tribological aspects developed in the rotors during the operation and proposing a processing of a better performance biomaterial. To guarantee the reliability of the device, a bibliographical survey of the biomaterials used in medicine was carried out, in which the recurrent use of the ceramic biomaterials Alumina and Zirconia was observed.

It started with the process of obtaining the Alumina axis by Barbotine Bonding and in this article the second phase of the project, which consists of the process of obtaining the ceramic axes in Alumina by Gel Casting and analysis by microscopy, will be presented, in order to evaluate the process defect formation and cracking that result in micro-structural properties, and consequent performance in VAD. In future work, the tribological tests of the produced axles submitted to the test bench in the operating DAV will be carried out.

Keywords: gel casting, DAV, ceramic shafts, alumina,

INTRODUÇÃO

Segundo dados divulgados pela Organização Mundial da Saúde, no ano de 2016, cerca de 17,5 milhões de pessoas morreram de doenças cardiovasculares no mundo, sendo que 300 mil só no Brasil [1]. Atualmente, no Brasil mais de quarenta mil pessoas estão cadastradas nas filas de espera de transplante de órgão ou tecido, na qual o tempo de espera pode variar de 12 a 18 meses [2]. O problema é que nem todos pacientes conseguem aguardar esse período. Com o intuito de contribuir para melhoria deste cenário, diversos centros de pesquisas em cardiologia no mundo estão desenvolvendo e utilizando os Dispositivos de Assistência Ventricular (DAV), uma evolução das bombas centrífugas que proporcionam o auxílio no bombeamento de fluxo contínuo do sangue para a aorta substituindo as atividades do ventrículo, com propósito de dar suporte à vida de pacientes que estão na fila do transplante cardíaco [3]. Segundo Legendre, 2003 [4], o DAV implantável pode permanecer inserido no corpo humano por um período prolongado, servindo assim como “ponte para transplante” e ampliando a sobrevivência do paciente até que um órgão sadio esteja disponível para transplante.

O modelo em que o estudo se aplica estão voltados para os DAV de bombeamento não pulsátil com fluxo radial implantável, projeto que está sendo desenvolvido no Laboratório de Bioengenharia e Biomateriais - Bioeng no IFSP-SP em parceria com a FEI. Devido à alta responsabilidade é necessário garantir a confiabilidade do DAV, desta forma cada um de seus componentes estão sendo estudados, conforme Figura 1. Observou-se que um dos componentes predisposto a falhas, devido ao desgaste, são os rolamentos de contato de micro deslizamento usados para suportar os rotores da bomba que movimentam o fluxo sanguíneo. O micro rolamento consiste nos eixos cerâmicos nas extremidades hemisféricas suportados pelos mancais poliméricos [5].

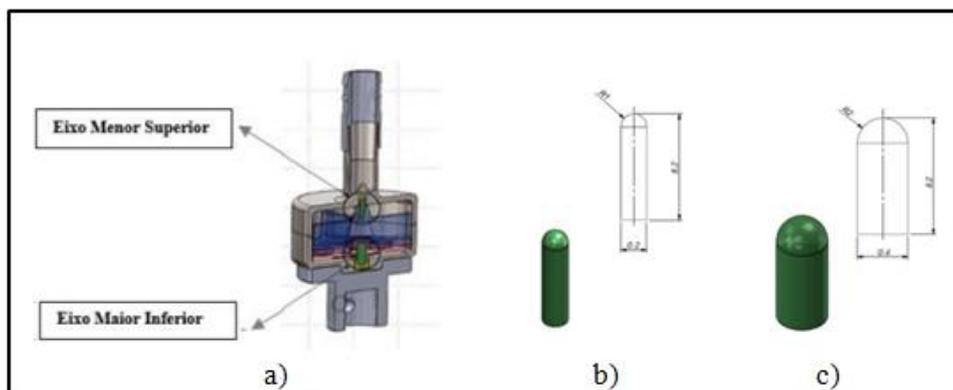


Figura 1 – Dispositivo de Assistência Ventricular: a) Recorte do DAV; b) Eixo Superior; c) Eixo Inferior.

Os biomateriais devem apresentar biocompatibilidade, propriedades mecânicas adequadas, resistência à corrosão, resistência à fadiga e não apresentar toxicidade para uso em longo prazo no corpo. Os materiais mais utilizados são metais e suas ligas, polímeros, cerâmicos e compósitos [6]. Dentre as cerâmicas bioinertes de uso recorrentes na medicina destacam-se a Alumina (Al_2O_3) e Zircônia (ZrO_2).

O amplo uso na biomedicina deve-se a uma forte ligação química entre os íons Al^+ e O^- , possui elevada estabilidade química, a maior dureza dentre os óxidos industrialmente utilizados e alta resistência mecânica. Dentre suas propriedades físicas e mecânicas observa-se que a resistência mecânica é alta em temperatura ambiente, mas diminui a partir de temperaturas acima de 1100° . [7].

A Zircônia possui potencial em muitas aplicações como biomaterial devido a sua alta resistência mecânica e tenacidade à fratura [6]. Iniciaram-se pesquisas como biomaterial no uso clínico na artroplastia total do quadril, posteriormente introduzida na odontologia e em estudos mais recentes aplicados em componentes de dispositivos de assistência ventricular [5]. Ressalta-se que a Zircônia de grau biomédico contém 3 mol% em ítria como estabilizante (3Y-TZP) e suas propriedades mecânicas dependem do tamanho de grão, condição determinada na fase de sinterização da cerâmica [8].

Nesta fase de pesquisa objetivou-se a produção dos eixos hemisféricos em material alumina, adotou-se a metodologia de processamento *gel casting* a fim de controlar a formação defeitos e reproduzir peças com alta precisão dimensional. Após a obtenção dos eixos realizou-se análise por microscopia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para produção dos eixos pelo processamento *gel casting* foi necessário confeccionar o molde experimental nas dimensões previamente calculadas. Na primeira fase da pesquisa foram realizados alguns estudos experimentais do comportamento de retração da alumina durante o processo de formulação da suspensão à sinterização (queima). Foi obtido o índice de retração do biomaterial ($\text{Al}_2\text{O}_3 - 17\%$) e com base nas informações preliminares o molde de aço inoxidável foi usinado com dimensões das cavidades de eixos de 12mm de comprimento com diâmetro de 5 mm (eixo inferior) e 2,5 mm (eixo superior), conforme Figura 2.

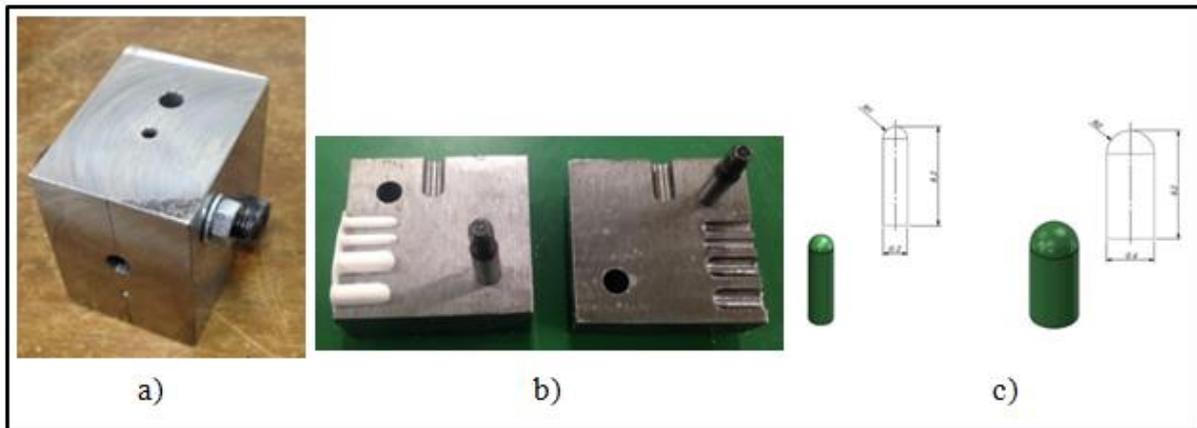


Figura 2 – Molde bipartido de aço inoxidável para fabricação dos eixos hemisféricos: a) Molde fechado; b) Molde aberto com quatro eixos nele produzidos; c) Dimensões dos eixos.

A produção dos corpos-de-prova seguiu conforme fluxograma do processo *gel casting*, Figura 3, na qual consiste em depositar a suspensão cerâmica com baixa viscosidade através de uma seringa no molde, sem necessidade de compactação e após a sua cura e secagem, a sinterização em forno.

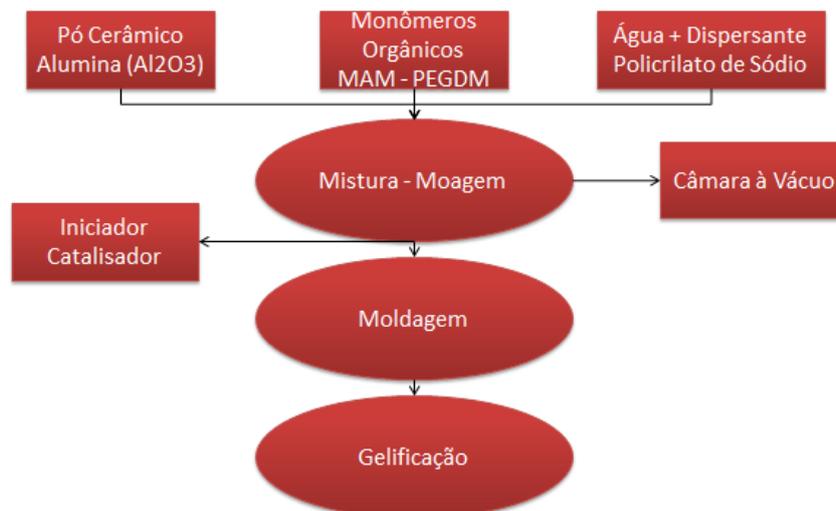


Figura 3. Fluxograma do Processo *Gel Casting*

Na composição das suspensões foram utilizados: pó cerâmico de alumina (Al₂O₃); a solução de monômeros composta de Metacrilamida (71,86g MAM), Hidroximetilacrilamida (48,9g HMAM) e Metileno bisacrilamida (6,16g MBAM); Persulfato de amônia (APS); Tetrametiletilenodiamina (TEMED) e Poliacrilato de sódio Acumer 9400 (Dispersante). Os valores exatos utilizados de cada item estão na Tabela I.

Tabela I. Concentração da Suspensão de Alumina.

Concentração da Solução Al ₂ O ₃	
Densidade Alumina (g/cm ³)	3,95
Volume da Suspensão (ml)	25
Densidade da Suspensão (g/cm ³)	2,475
Volume do Líquido (ml)	11,84
Volume do pó (ml)	12,5
Massa de pó (g)	49,375
Concentração de Dispersante (ml)	0,888
Concentração TMED (ml)	0,003
Volume TMED (ul.)	37,5
Concentração APS	7,5
Volume APS (ul.)	93,75

A preparação da suspensão é feita de forma gradual para garantir homogeneidade. A mistura do pó cerâmico, solução de monômeros (MAM-HMAM-MBAM) e dispersante foram solubilizados em água destilada com auxílio de um agitador mecânico. O processo de agitação da suspensão introduz bolhas de ar no sistema, que foram removidas quando submetidas a câmara à vácuo por alguns minutos, evitando a formação de defeitos concentradores de tensões. Logo após, foram adicionados, o iniciador e o catalisador à suspensão, com auxílio de um micropipetador e, após homogeneização a suspensão foi colocada no molde.

Após 15 minutos, em média, o processo de gelificação está completo e os eixos já possuem certa resistência mecânica para serem manipulados e retirados do molde. A secagem dos eixos em estufa foi feita para evitar possíveis trincas e por fim, os corpos-de-prova foram sinterizados a 1600°C/2 horas.

Para caracterização dos eixos cerâmicos e revelação da superfície das amostras foram utilizados dois microscópios modelo Axio lab.A1, fabricante Carl Zeiss – Oberkochen; e modelo Axio Vert.A1, fabricante Carl Zeiss – Oberkochen.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 mostra alguns eixos após a sinterização.

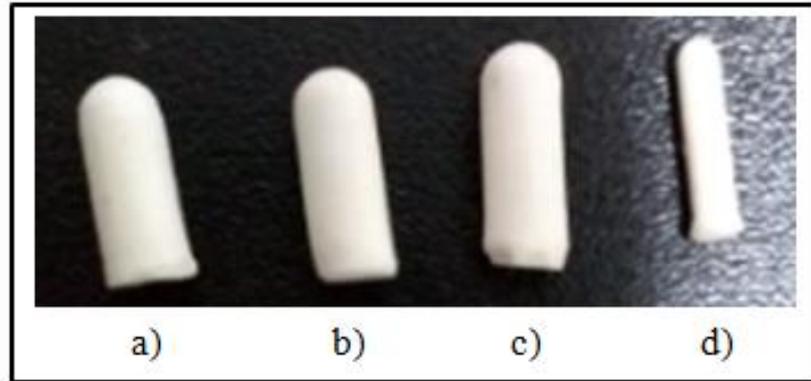


Figura 4. Eixos Al_2O_3 Produzidos: a) eixo inferior 1; b) eixo inferior 2; c) eixo inferior 3; d) eixo superior.

Para análise do perfil da extremidade hemisférica e acabamento dos corpos-de-prova, utilizou-se um microscópio modelo Zeiss Axio Vert. A1. Através da microscopia realizada dos raios é possível observar algumas irregularidades, tais como calotas e degraus durante o contorno, superfície reta na extremidade do raio e visível marcação entre início do raio de curvatura e o corpo do eixo. As irregularidades observadas foram decorrentes da usinagem do molde, o processo *gel casting* traduziu em detalhes todas informações, inclusive as imperfeições, conforme Figura 5.

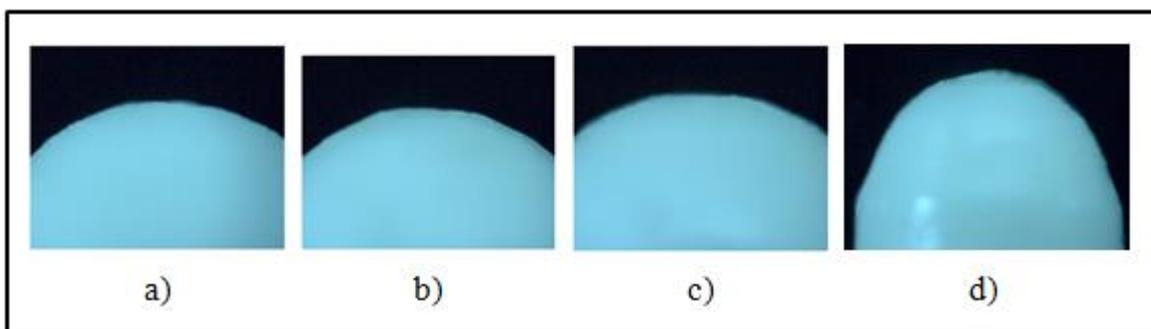


Figura 5. Micrografia da superfície das pontas dos eixos em Al_2O_3 : a) eixo inferior 1; b) eixo inferior 2; c) eixo inferior 3; d) eixo superior. Aumento original de 1000X.

Em especial o eixo superior que possui dimensional complexo, o processo de retirada do molde, em diversas tentativas, ocasionou a quebra do eixo ainda à verde. Através da

microscopia, conforme Figura 6, observa-se que o corpo do eixo apresenta as marcas de usinagem e encontram-se algumas inclusões de material podendo ser do molde.

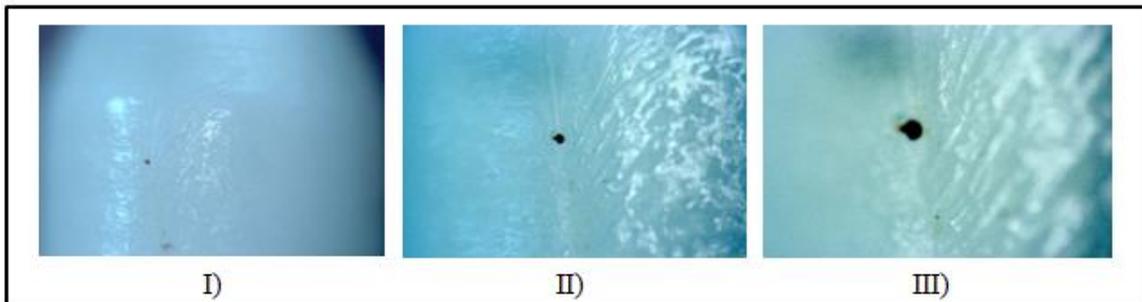


Figura 6. Micrografia da superfície do eixo superior Al_2O_3 : I) aumento original de 1000x; II) aumento original de 2000x; I) aumento original de 5000X.

Na microscopia longitudinal dos corpos-de-prova, conforme Figura 7, observa-se que todos apresentam as marcas de usinagem do molde e algumas seções circulares e defeitos que caracteriza-se rugosidade superficial. Neste caso, os eixos estão apresentando rugosidade que pode causar hemólise do sangue durante o funcionamento no DAV.

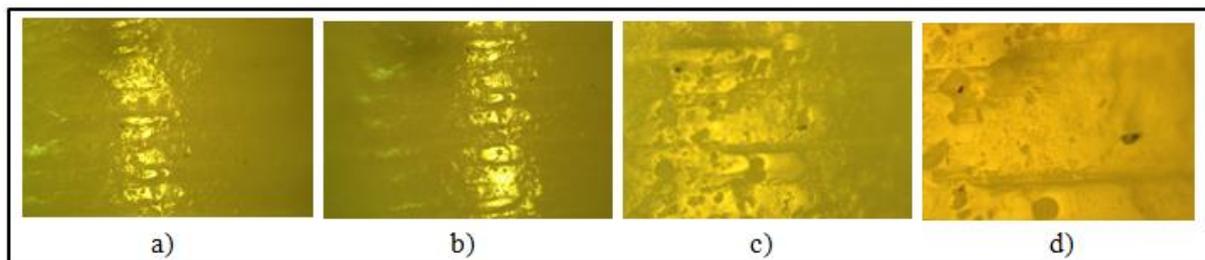


Figura 7. Micrografia da superfície lateral dos eixos em Al_2O_3 : a) eixo inferior 1; b) eixo inferior 2; c) eixo inferior 3; d) eixo superior. Aumento original de 1000X.

Tais imperfeições demonstram a necessidade de se melhorar o acabamento superficial, seja através de polimento com pasta de diamante ou através da deposição de algum tipo de recobrimento. Neste último caso, alguma rugosidade superficial pode ser um efeito positivo no processo de adesão entre o recobrimento e a base de alumina.

CONCLUSÕES

Observou-se que o processamento via *gel casting*, traduziram muitos dos detalhes do molde, inclusive as linhas de usinagem da peça molde, pois por ter baixa viscosidade no início

do processo de confecção o material preenche completamente o molde. Com isso o controle da formação de defeitos/trincas nos corpos de prova (eixos) deve ser feito por um processo minucioso de microscopia, para que garanta a sua total integridade de funcionamento dentro de um DAV.

Ao final do processo obtiveram-se peças nos dimensionais próximos aos previstos em projeto com dilatação de prevista de 17% e as peças queimadas retraíram em média, 20,38%.

Com base nos resultados obtidos, trabalhos futuros serão utilizados a metodologia validada com algumas correções dimensionais, melhorias no acabamento molde realizando polimento com pasta diamantada, para que se evitem superfícies com alguma rugosidade, melhorando assim a qualidade produzida dos eixos cerâmicos e realizar testes tribológicos em um DAV.

AGRADECIMENTOS

FEI – Centro Universitário FEI – Campus São Bernardo do Campo.

IFSP – Campus São Paulo.

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES - PGPTA n° 59/2014.

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo FAPESP - Projeto Temático n. 13/24434-0. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Bolsa de Produtividade em Pesquisa do CNPq.

REFERÊNCIAS

[1] OMS. Organização Mundial da Saúde. (WHO – World Health Organization). 2018. Disponível em: <<http://www.who.int/news-room>>. Acesso em: 17 mai. 2018.

[2] ABDOT. Artigo Dia Nacional da Doação de Órgãos. Aliança Brasileira pela Doação de Órgãos e Tecidos. 2018. Disponível em: <<http://www.adote.org.br/noticias/dia-nacional-da-doacao-de-orgaos>>. Acesso em: 17 mai. 2018.

[3] BOCK, E. G. P. Projeto, Construção e Testes de um Dispositivo de Assistência Ventricular: Bomba de Sangue Centrífuga Implantável. Tese de Doutorado. Repositório da Produção Científica e Intelectual da Unicamp. 2011.

- [4] LEGENDRE, D. F. Estudos de técnicas de texturização e biolização, e desempenho biológico in vitro e in vivo em membrana para um dispositivo de assistência ventricular e coração artificial totalmente implantáveis. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2003.
- [5] ARAKI, S. Y. et al. Ensaio em materiais cerâmicos e poliméricos de alta performance em mancais nos Dispositivos de Assistência Ventricular (DAV). TAS JOURNAL, Vol. 1, nº 1, p. 3-7. 2017.
- [6] PATEL, N. R., GOHIL, P. P. A Review on Biomaterials: Scope, Application Scope, Application Human Anatomy Significance. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, v.2, p.91-101, 2012.
- [7] GALLAGHER, P. K. Chemical Synthesis Engineered Materials Handbook – Ceramics and Glasses. Engineering. Vol.4, p.52-64, Ohio: The Ohio State University. 1991 apud CUNHA, M. A. Influência do tipo de erodente à base de alumina na incrustação em um revestimento de FeCr, aspergido por arco elétrico, empregado em ensaios de desgaste erosivo, à temperatura ambiente e a 400°C. Dissertação Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. 2014.
- [8] DENRY, I., KELLY, J. R. State of the art of zirconia for dental applications. Dental Materials, v. 24, n. 3, p.299-307, 2008.