



Simulação da resistência vascular sistêmica do simulador híbrido do sistema cardiovascular

Palma RV*, Nishida BYT*, Hernandez M*, Fonseca JWG§, Bock EGP*

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo, Brasil.*

§Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia.

Resumo. Este trabalho propõe o estudo da viabilidade do uso do ambiente MatLab/Simulink para auxílio no redimensionamento e validação de um dispositivo que simule a dinâmica do sistema circulatório humano. Na perspectiva de obter contribuições para o desenvolvimento do protótipo de uma válvula de controle proporcional que seja capaz de simular a dinâmica do sistema cardiovascular. Através de variações nos parâmetros do modelo objetiva-se que seja possível reproduzir diferentes condições fisiológicas dos pacientes, tais como as situações de repouso e de atividade física. Pacientes em estágio avançado de insuficiência cardíaca são candidatos a transplante do coração. Existem casos que os pacientes não se enquadram neste cenário, os doadores não são satisfatórios para suprir a demanda, seja por número insuficiente ou por incompatibilidade dos órgãos. Pesquisadores tem empreendido o uso de corações artificiais e Dispositivos de Assistência Ventricular Esquerda (DAVE), com o objetivo de estender a espera aumentando o tempo de vida de pacientes na etapa que precede o transplante. Ainda que os experimentos com animais sejam indispensáveis, algumas experiências poderiam ser realizadas com ferramentas (softwares) que possibilitem estudos simulados do sistema cardiovascular. A válvula de controle proporcional desempenha um papel fundamental no controle da vazão do fluxo sanguíneo no DAVE. Neste trabalho, são mostrados os possíveis usos da ferramenta de simulação na comparação da metodologia a ser aplicada com os resultados esperados das variáveis hemodinâmicas em níveis seguros.

Palavras-chave. *Sistema Circulatório Humano, Dispositivo de Assistência Ventricular Esquerda, Controlador Fisiológico, Níveis de Atividades Físicas.*

Introdução. O sistema cardiovascular humano transporta substâncias de excreção para descarte e conduz hormônios e nutrientes por todo o corpo, mantendo condições ótimas de sobrevivência e de funcionamento das células (1-3).

Vosse e Dongen (4,5), em suas notas sobre a mecânica do fluido cardiovascular, enfatizam que a compreensão do sistema circulatório cardiovascular humano é complexo, devido as propriedades não-lineares e não-homogêneas reológicas do sangue e da parede arterial, bem como, a complicada geometria e as propriedades pulsáteis do fluxo.



Em razão da complexidade do sistema e dinâmica do fluido faz se necessário o uso de ferramentas matemáticas para o estudo pormenorizado e tratamento dos dados experimentais, como por exemplo, o software MatLab.

Modelagem matemática. A modelagem matemática tornou-se um fator importante a partir do período que Isaac Newton publicou seus Princípios Matemáticos da Filosofia Natural em julho de 1687, que continham as leis para o movimento dos corpos, a fundamentação da mecânica clássica e a lei da gravitação universal. O qual trazia o modo científico de avaliação, empregando os modelos matemáticos para descrever a teoria, baseado em fatos experimentais em consenso com o comportamento humano. O modo científico e o progresso computacional melhoraram a compreensão dos sistemas vivos, através de técnicas mais avançadas que levaram a novas perspectivas de melhoria na medicina prevenindo e orientando para cuidados com a saúde (6).

Biomecânica Cardiovascular. Parte da biomecânica compreende o sistema cardiovascular como o funcionamento do coração, os vasos sanguíneos, válvulas, mecânica do movimento de fluxo e troca de nutrientes. Também compreende os fatores mecânicos que são vitais para os diagnósticos, terapias, cirurgias e intervenções. Consiste em uma área onde se encontram sólidos (músculo cardíaco) e fluidos (sangue) com resultados de natureza complexa e dinâmica (6)

Fisiologia e Anatomia. A representação esquemática na figura 1 indica que a partir de uma mecânica consiste em um coração atuando como uma bomba de quatro cavidades que impulsiona o sangue pelo sistema circulatório. A transmissão do impulso cardíaco determina a contração do músculo, enquanto as válvulas, os ventrículos e as artérias principais se encarreguem do direcionamento do fluxo de sangue. A circulação sistêmica se ramifica em muitas artérias diminuindo seu diâmetro, em sistemas capilares nos tecidos e um sistema venoso transportando o sangue de volta ao coração. Em um olhar mais atento nota-se sobre funcionamento fisiológico que o sistema cardiovascular é altamente otimizado e que se auto regula sob várias condições com funções definidas e adequadas (5,6).

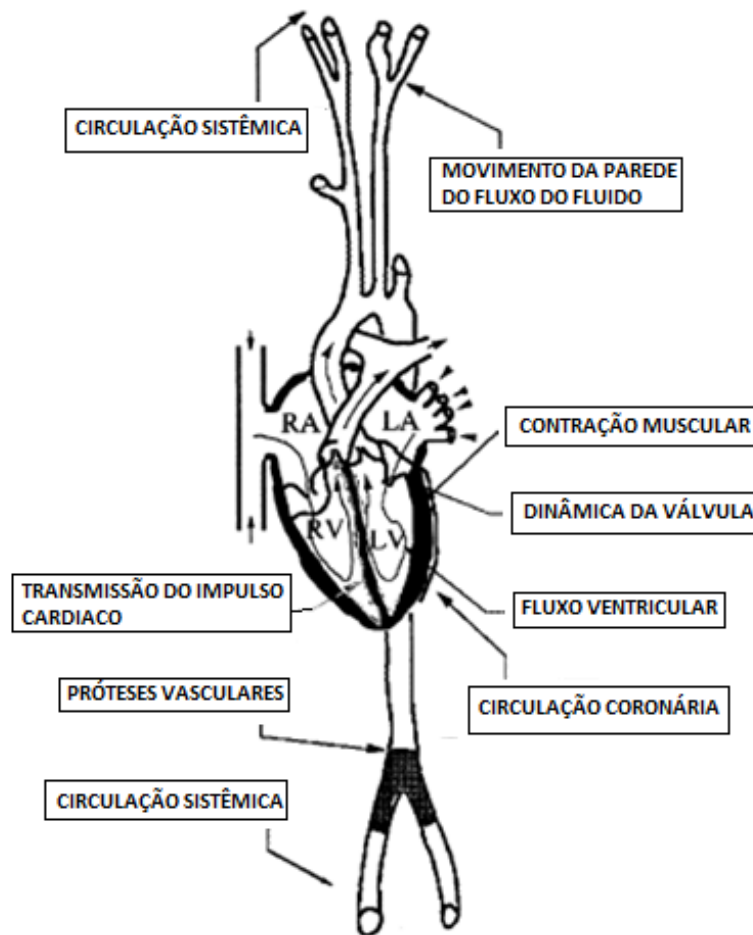


Figura 1. Representação Esquemática do Sistema Cardiovascular (6)

MatLab. O ambiente Matlab/Simulink é um instrumento que pode ser útil tanto para simular patologias quanto para projetar e testar controladores para uso em dispositivos auxiliares ao sistema circulatório. Utilizando-se uma modelagem baseada em espaço de estados, pode-se realizar o estudo de diversos casos de pacientes com insuficiência cardíaca.

Materiais e métodos. Domingues et al. (1) desenvolveram em seu trabalho modelos matemáticos de obtenção do volume ventricular esquerdo (VVE) de bovinos com a utilização de métodos de interpolação e ajuste de pontos, apresentando a análise de um molde e comparando os resultados com os métodos matemáticos médicos já utilizados na cardiologia

Domingues et al. (1) utilizaram as seguintes etapas:

- a) Estudo do sistema cardiovascular;
- b) Estudo dos métodos de obtenção do molde ventricular, sua confecção, determinação das principais medidas e cálculo do seu volume real (VR);

- c) Análise dos principais métodos matemáticos médicos;
- d) Obtenção do contorno ventricular;
- e) Subdivisão do eixo das abscissas em partes iguais e obtenção dos pontos superiores determinados no contorno;
- f) Ajuste desses pontos por uma função polinomial de grau 6 e cálculo do volume do sólido de revolução gerado por essa curva.

Foi confeccionado um molde do ventrículo esquerdo de um bovino (Fig. 2) e com os dados obtidos e utilizando o método dos mínimos quadrados em linguagem Matlab, foram calculados os coeficientes do polinômio de grau 6 que melhor se ajustou aos pontos obtidos (Eq. (1)) (DOMINGUES et al.,2014).

$$p(x)=0.00003x^6+0.0005x^5+0.0013x^4-0.0225x^3-0.1543x^2+0.1296x+3.3712 \quad (1)$$

Por fim Domingues et al. (1), utiliza-se da Eq. (2) para calcular o volume do sólido de revolução gerado pelo polinômio $p(x)$ descrito na Eq. (1). Para isso, considerou que $p(x)$ está definido no intervalo $[a,b]=[-8,8;5,7]$, cujas extremidades representam o menor e o maior valor do eixo das abscissas utilizados na determinação do polinômio. O valor obtido foi $V=205,11ml$.

$$V = \pi \int_a^b [p(x)]^2 dx \quad (2)$$

Foram implementados os métodos matemáticos médicos em linguagem Matlab, e as medidas do molde confeccionado alimentaram suas equações. Os resultados obtidos para o VVE pelos métodos matemáticos médicos e pelo MAP foram comparados com o valor do VR.

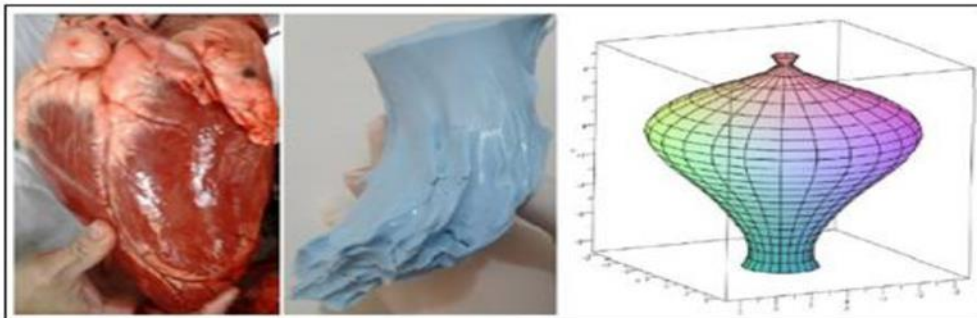


Figura 2. Coração bovino, molde confeccionado e molde 3D feito em linguagem Maple® (1)

Resultados: Nishida (4), na mesma linha de pesquisa, apresenta em seu trabalho experiência onde utiliza modelo numérico em MatLab/Simulink que possui as características da parte física de um simulador híbrido, concluindo como satisfatório o resultado, obedecendo a excitação da

bomba de diafragma do subsistema do ventrículo simulado, constatando uma queda de pressão parecida com as curvas de pressão resultantes da simulação de uma pessoa em repouso

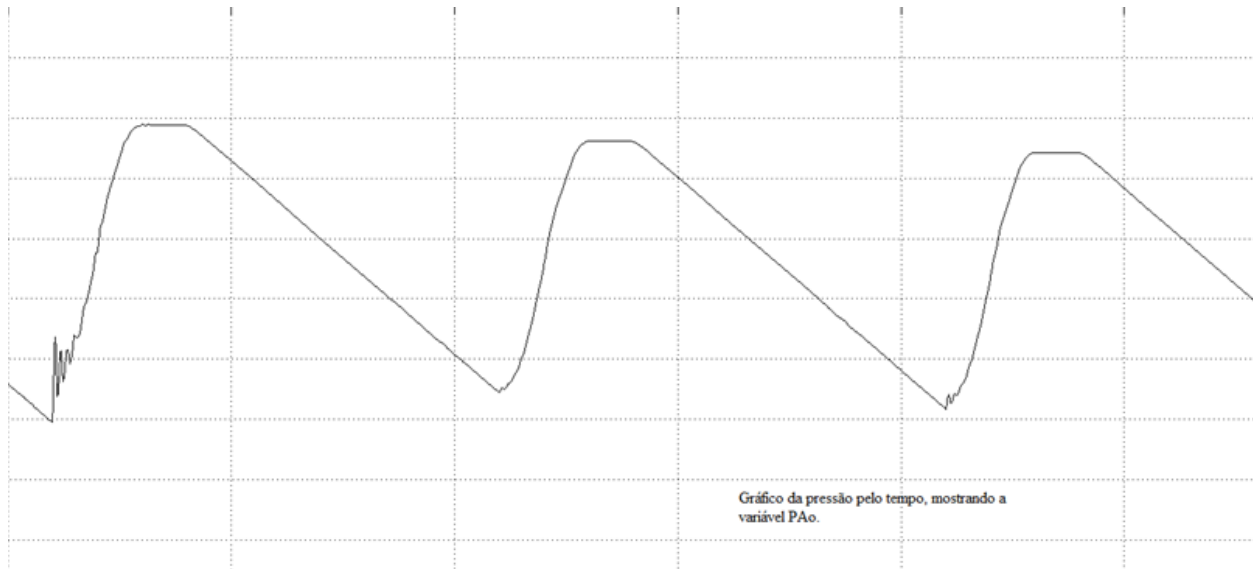


Figura 2. Gráfico mostrando o sinal encontrado no bloco da aorta e periférica, mostrando a pressão resultante (4)

Conclusão. O material estudado mostra que é possível obter um modelo dinâmico para o desenvolvimento, redimensionamento e validação do protótipo de uma válvula de controle proporcional que seja capaz de simular a dinâmica, auxiliando o ventrículo esquerdo do sistema cardiovascular com auxílio do programa MatLab/Simulink, propondo parâmetros adequados para as simulações.

Agradecimentos. Ao programa de Pós- Graduação do IFSP.

Referências

- (1) Domingues, JS et al. Modelagem matemática e a determinação de um novo método de cálculo do volume ventricular. ForSci.: r. cient. IFMG campus Formiga, Formiga, v.2, n.2, p.12-17, jul./dez., 2014.
- (2) Fonseca, JWG. Projeto, construção e validação de um Simulador Híbrido do Sistema Cardiovascular. São José dos Campos: Tese Doutorado, 2013
- (3) Guyton, AC; Hall, JE: Tratado de fisiologia médica, 10ª edição, Editora Guanabara Koogan S. A, 2002.



- (4) Nishida, BYT. Modelo Numérico do Ventrículo Esquerdo do Simulador Híbrido do Sistema Cardiovascular Utilizando Funções do Simulink. 4º Simpósio de Primavera-Prevenção Cardiovascular/Semana do Coração IDPC-Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia,2014.
- (5) Van De Vosse, FN; Van Dongen, MEH. Mecânica do Fluido Cardiovascular: notas de palestras. Eindhoven University of Technology, faculty of Mechanical Engineering (MaTe), faculty of Applied Physics (NT), 1998.
- (6) Van De Vosse, FN. Mathematical modelling of the cardiovascular system. Journal of engineering Mathematics, p. 1-9, Oct. 2003.
- (7) Wu, Y : Design, and testing of physiologic control system for an artificial heart pump. Ph. D. dissertation, Univ. Virgínia, Charlottesville, 2004.
-

Abstract. This work proposes the study of the feasibility of using the MatLab / Simulink environment to aid in the scaling and validation of a device that simulates the dynamics of the human circulatory system. In order to obtain contributions to the development of the prototype of a proportional control valve that is able to simulate the dynamics, assisting the left ventricle of the cardiovascular system. Through variations in the parameters of the model it is objectified that it is possible to reproduce different physiological conditions of the patients, such as the rest and physical activity situations. Patients in advanced stages of heart failure are candidates for heart transplantation. There are cases that the patients do not fit in this scenario, the donors are not satisfactory to supply the demand, either by insufficient number or by incompatibility of the organs. Researchers have undertaken the use of artificial hearts and Left Ventricular Assist Devices (LVAD), in order to extend the waiting period by increasing the life span of patients in the stage preceding the transplant (7). According to Jeison (2) although animal experiments are indispensable, some experiments could be carried out with tools (softwares) that allow simulated studies of the cardiovascular system. The proportional control valve plays a key role in controlling the flow of blood flow in the LVAD. The possible use of the simulation tool in the comparison of the methodology to be applied with the expected results of the hemodynamic variables at safe levels is shown.

Key-words. Modeling, Human Circulatory System, Left Ventricular Assist Device, Physiological Controller, Levels of Physical Activities.