

# Simulação da Ejeção Ventricular Tipo “WINDKESSEL” com Átrio Ativo

Maurício dos S. Dutra<sup>1</sup>; Walter C. de Lima<sup>2</sup>; Jorge M. Barreto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Pesquisas em Engenharia Biomédica - GPEB - UFSC

*E-mail:* mautra@gpeb.ufsc.br; barreto@gpeb.ufsc.br

<sup>2</sup> Curso de Fisioterapia - Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

*E-mail:* d2wcl@npd.udesc.br

**Resumo** - Este trabalho simula um modelo do batimento cardíaco, considerando a contração atrial no final da diástole e demonstra sua influência na ejeção ventricular. A circulação sistêmica é representada pelo modelo tipo “windkessel”. A simulação foi desenvolvida num microcomputador IBM-PC compatível, utilizando-se da ferramenta de modelagem “bond graphs”, através do programa de simulação Tutsim.

**Abstract** - A cardiac pump model, within atrial contraction in the late phase of diastole is simulated, boots ventricular filling evidence of influencing ventricular pump function. The systemic circulation is represented by “windkessel” model. The experiments were performed on microcomputer IBM-PC compatible by using the “bond graphs” tools, on simulation program Tutsim.

## Introdução

A dificuldade de se realizar medidas experimentais no átrio, em função dos baixos níveis dos sinais, torna atraente a sua simulação em computadores digitais<sup>1</sup>. Na modelagem de sistemas biológicos<sup>2</sup>, procura-se encontrar modelos mínimos<sup>2</sup>, que sigam os seguintes critérios: i) incorporação do conhecimento da fisiopatologia do sistema; ii) ter parâmetros que possam ser identificados e/ou estimados com precisão razoável, gerando respostas para a interpretação fisiopatológica do modelo; iii) possibilidade de simular o modelo com o menor número possível de parâmetros identificáveis.

Este trabalho consiste na análise dos sinais obtidos da simulação do modelo “windkessel” para ejeção ventricular sem o átrio, comparando ao modelo similar com o átrio ativo.

Utilizou-se a ferramenta de modelagem “bond graphs”, do programa de simulação Tutsim.

## Metodologia

O modelo utilizado é um análogo elétrico do coração humano esquerdo, em associação ao paradigma do “windkessel”, na representação da circulação cardiovascular<sup>1</sup>, durante o ciclo cardíaco, com medidas de:

- pressão e volume no átrio e no ventrículo esquerdo;
- pressão e fluxo sanguíneo na aorta.<sup>3</sup>

O “bond graphs” foi desenvolvido devido a necessidade de uma linguagem comum para representar sistemas físicos que contenham elementos de diferentes domínios energéticos<sup>4</sup>, retendo suas propriedades estruturais.

Para os elementos:

1's : a soma das variáveis esforço igual a zero e todas as variáveis fluxo são iguais, tipo série;

0's : a soma das variáveis fluxo igual a zero e todas as variáveis esforço são iguais, tipo paralelo.

Usualmente, o esforço é uma variável cujo valor é medido entre dois

pontos, e fluxo uma variável independente de um ponto de referência. Para ter consistência, é suficiente que o produto das duas variáveis, esforço( $e$  Erro! A origem da referência não foi encontrada.) e fluxo( $f$  Erro! A origem da referência não foi encontrada.), seja potência( $p$ ):  $p = e \cdot f$  Erro! A origem da referência não foi encontrada..

A partir desta definição de variáveis esforço e fluxo, pode-se construir uma analogia entre o domínio hidrodinâmico do ciclo cardíaco com o domínio elétrico<sup>4</sup>.

O modelo utilizado constitui-se de três partes básicas, “preload”, o coração (átrio + ventrículo) e o “afterload”.

“Preload” representa a entrada do átrio. É possível considerar a pressão média na entrada do átrio como uma fonte de tensão em série com uma resistência.

“Afterload” reproduz as curvas de pressão e fluxo sanguíneo, em função da oposição oferecida pela aorta à ejeção ventricular.

As funções do átrio e ventrículo esquerdos são representadas por capacitores variáveis, simbolizando a variação volumétrica existente nos mesmos durante o ciclo cardíaco.

As válvulas mitral e aórtica são representadas pelos diodos do modelo, em série com uma resistência.

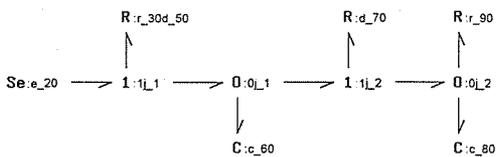


Figura 01 - Representação em “bond graphs” do modelo sem átrio ativo.

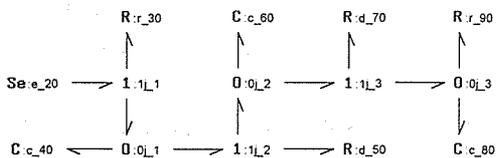


Figura 02 - Representação em “bond graphs” do modelo com átrio ativo.

## Resultados

Após a simulação dos modelos sem e com átrio ativo tem-se :

- Os níveis máximos de pressão no ventrículo, 10 cmHg (sem átrio ativo) e 12cmHg (com átrio ativo);

- Das curvas pressão Erro! A origem da referência não foi encontrada. volume nota-se que no modelo sem átrio ativo, a pressão sobe rapidamente com o final da expansão do ventrículo, enquanto que no modelo com átrio ativo, ainda existe uma pequena variação volumétrica;

- A sobreposição da contração ventricular não permite o completo relaxamento átrial, comprometendo o desempenho do modelo.

## Conclusão

O modelo com átrio ativo sugere uma evolução em relação ao modelo sem átrio ativo, demonstrada pelos resultados obtidos no ganho de desempenho da ejeção ventricular.

## Referências

<sup>1</sup> BARRETO, J. M.; POULEUR, H.; LEFÈVRE, J.; CHARLIER, A. A., ”Atrial contribution to ventricular filling : a model study.” *AIPB*, 1982, 90 (5).

<sup>2</sup> MELO, M. O.; LIMA, W. C., Simulação do sistema cardiovascular. *VII Congr. Bra. de Eng. Biomédica*, Petrópolis, RJ, 3-6, Nov., 1981, p. 107-113.

<sup>3</sup> BERGER, D. S., Li J. K-J., “Temporal Relationship Between Left Ventricular and Arterial System Elastances”, *IEEE Trans. on Biom. Eng.*, vol. 39, nº 4, abril 1992

<sup>4</sup> BARRETO J.M., “The Role of Bond Graphs in Qualitative Modeling”, *12th IMACS Congr. on Scientific Computation*, p. 84-87, Paris, 18-22/07/1988.