

# Modelo de Laço Fechado do Sistema Cardiovascular Humano

Letícia F. Lopes<sup>1</sup>, Pablo J. Blanco<sup>2</sup>

Laboratório Nacional de Computação Científica - LNCC, Petrópolis, RJ

Nos últimos anos, o avanço da modelagem computacional tem abordado problemas na área da medicina, trazendo informações fundamentais acerca de mecanismos fisiológicos e fisiopatológicos, assim como também no desenvolvimento de procedimentos terapêuticos e planejamento cirúrgico. Em particular, a elevada taxa de mortalidade das doenças cardiovasculares [2], coloca uma necessidade de melhorar o entendimento do funcionamento de sistemas fisiológicos complexos, como os que governam a hemodinâmica do sistema cardiovascular humano (SCVH).

Os modelos matemáticos de laço fechado vêm sendo empregados há décadas no estudo do sistema SCVH, e na atualidade, esses modelos têm incorporado diversos ingredientes para melhorar a capacidade descritiva e preditiva dos mesmos [4]. A utilização de modelos desta classe para o estudo de condições patológicas, tais como a insuficiência cardíaca, já tem sido explorada na literatura [3]. Esta condição representa um desafio, pois os critérios para diagnosticar um paciente e/ou para tomar decisões sobre a terapia a ser aplicada são determinados em dados obtidos em nível de população em vez de ser caracterizados para cada paciente de forma específica, o que leva a uma série de consequências em relação à adequação da terapia, assim como ao desfecho do paciente [7].

O presente trabalho consiste na construção de um modelo de laço fechado do SCVH objetivando estudar as condições circulatórias em condições normais e patológicas apresentadas pelo cenário de insuficiência cardíaca. O modelo do SCVH a ser trabalhado, proposto em [5], inclui as quatro câmaras cardíacas com suas válvulas correspondentes, bem como a circulação pulmonar e a sistêmica, dividindo os territórios arteriais e venosos em partes superior e inferior. Considera-se também a possibilidade de incorporar os efeitos de dispositivos de assistência ventricular (LVAD) [6] por meio de uma relação entre pressão e vazão pré-definida.

O modelo matemático é composto tanto por equações algébricas quanto por equações diferenciais ordinárias não lineares, e descreve variáveis como a vazão, pressão e volume levando-se em conta a compartimentalização da circulação sanguínea no SCVH. O modelo é discretizado no tempo usando o método de Crank-Nicolson e o método de Euler implícito, objetivando comparar a eficiência desses na obtenção e precisão das variáveis trabalhadas. Iterações de Picard são empregadas para lidar com as não linearidades.

Esta classe de modelos tem potencial de contribuição para uma abordagem de tratamento personalizada e mais específica para cada paciente [8], permitindo que o diagnóstico e a tomada de decisão subsequente sejam procedimentos mais informados [1].

## Agradecimentos

Agradecemos as agências de fomento CAPES e CNPq pelo apoio e financiamento da pesquisa brasileira.

---

<sup>1</sup>leticiafl@posgrad.lncc.br

<sup>2</sup>pjblanco@lncc.br

## Referências

- [1] A. Krishnamurthy et al. “Patient-specific models of cardiac biomechanics”. Em: **Journal of computational physics** 244 (2013), pp. 4–21. DOI: 10.1016/j.jcp.2012.09.015.
- [2] E. J. Benjamin et al. “Heart disease and stroke statistics—2019 update: a report from the American Heart Association”. Em: **Circulation** 139.10 (2019), e56–e528. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000659.
- [3] J. Lumens et al. “Three-wall segment (TriSeg) model describing mechanics and hemodynamics of ventricular interaction”. Em: **Annals of biomedical engineering** 37 (2009), pp. 2234–2255. DOI: 10.1007/s10439-009-9774-2.
- [4] L. G. Fernandes et al. “Integrated cardiorespiratory system model with short timescale control mechanisms”. Em: **International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering** 37.11 (2021), e3332. DOI: 10.1002/cnm.3332.
- [5] P. J. Blanco et al. “Blood flow modeling under LVAD physiology. From global circulation to local hemodynamics”. Em: **bioRxiv** (2022). DOI: 10.1101/2022.01.28.478161.
- [6] J. Grinstein. “A computational study of aortic insufficiency in patients supported with continuous flow left ventricular assist devices: Is it time for a paradigm shift in management?” Em: **Frontiers in Cardiovascular Medicine** 9 (2022). DOI: 10.3389/fcvm.2022.933321.
- [7] J. Grinstein. “Advanced hemodynamics for prognostication in heart failure: the pursuit of the patient-specific tipping point”. Em: **Frontiers in Cardiovascular Medicine** 11 (2024), p. 1365696. DOI: 10.3389/fcvm.2024.1365696.
- [8] J. Lumens e T. Delhaas. “Cardiovascular modeling in pulmonary arterial hypertension: focus on mechanisms and treatment of right heart failure using the CircAdapt model”. Em: **The American journal of cardiology** 110.6 (2012), S39–S48. DOI: 10.1016/j.amjcard.2012.06.015.