



Hemodinâmica computacional em artérias estenóticas e aneurismáticas

Paula Keiko Peralta¹, Jonatas Emmanuel Borges²

¹Universidade Federal de Mato Grosso, Barra do Garças, Brasil
(paulakeikoperalta@hotmail.com)

²Universidade Federal de Mato Grosso, Barra do Garças, Brasil

Resumo: As doenças cardiovasculares são a principal causa de mortalidade global, frequentemente associadas a alterações hemodinâmicas causadas por estenoses e aneurismas. Este trabalho revisa a literatura sobre o uso da Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) para mapear campos de velocidade, pressão e tensão de cisalhamento na parede (WSS). A comparação entre modelos reológicos newtonianos e não newtonianos e a estimativa do risco de hemólise e ruptura vascular. Conclui-se que, embora o modelo newtoniano seja robusto para variáveis globais, a incorporação de modelos de reologia não newtoniano é essencial para a precisão diagnóstica em regiões de fluxo complexo.

Palavras-chave: CFD; Escoamento Sanguíneo; Ansys Fluent; Estenose; Aneurisma.

INTRODUÇÃO

O sangue é um fluido complexo e multifásico, constituído por elementos figurados (eritrócitos, leucócitos e plaquetas) suspensos no plasma. Aproximadamente 40% a 45% do volume sanguíneo é composto por essas células, percentual definido como hematócrito. O plasma, por sua vez, comporta-se predominantemente como um fluido newtoniano. (Hussain et al., 2023).

Embora em grandes vasos com altas taxas de cisalhamento, o sangue possa ser aproximado como um fluido newtoniano (viscosidade constante), sua natureza real é não newtoniana e pseudoplástica. A viscosidade do sangue diminui conforme a taxa de cisalhamento aumenta, fenômeno explicado pela desagregação e alinhamento dos glóbulos vermelhos na direção do fluxo, vários modelos matemáticos são empregados para descrever essa reologia: Power-law, Casson, Carreau e Carreau-yasuda. (Gomes, 2024).

O escoamento sanguíneo é regido pelas equações de Navier-Stokes, que fundamentam as leis de conservação da massa e da quantidade de movimento. Para o sangue, considerando incompressível, as equações simplificadas são: equação da continuidade,

equações de movimento e número de Reynolds. (Gomes, 2024).

As doenças cardiovasculares representam a principal causa de morbidade e mortalidade no mundo contemporâneo. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), aproximadamente 31% de todas as mortes globais são atribuídas a complicações do sistema circulatório. (Hussain et al., 2023).

Patologias como a aterosclerose, as estenoses, os aneurismas e as trombozes estão no centro dessa crise de saúde pública. A compreensão dos mecanismos físicos que regem o escoamento sanguíneo é vital para o desenvolvimento de diagnósticos precoces e tratamentos eficazes. (Gomes, 2024).

Os estudos analisados demonstraram que a CFD tem sido amplamente empregada para compreender a influência da hemodinâmica sobre doenças cardiovasculares e cerebrovasculares. No caso da aterosclerose, o estreitamento arterial provoca aumento da velocidade do sangue e da tensão de cisalhamento, favorecendo a ocorrência de hemólise quando valores críticos são ultrapassados. Para representar esse comportamento, diferentes modelos



reológicos vêm sendo utilizados. (Jedrzejczak, et al.,2023).

Nas últimas décadas, a Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) emergiu como uma ferramenta essencial na engenharia e medicina, permitindo a transição de modelos físicos para simulações virtuais de alta precisão. A CFD possibilita a investigação da hemodinâmica específica de cada paciente, quantificando variáveis in vivo seriam difíceis de medir por métodos invasivos, como a tensão de cisalhamento na parede (WSS) e perfis de pressão complexos. (Gomes,2024).

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido por meio de uma revisão bibliográfica com enfoque qualitativo. As fontes consultadas incluem artigos científicos e dissertação disponíveis em bases como Google Acadêmico, ScienceDirect e PubMed, utilizando os termos “CFD”, Ansys Fluent” e “Reologia Sangue”. Foram priorizados trabalhos publicados entre 2020 a 2024, regidos em português e inglês. Os critérios de seleção envolveram a relevância para o tema, atualidade e clareza metodológica. Os dados extraídos foram organizados em uma planilha, considerando tipo de software e doenças cardiovasculares. A análise seguiu uma abordagem descritiva, permitindo identificar tendências, avanços e desafios da utilização do software, propostos deverão ser explicadas sucintamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A literatura de CFD é dominada pelo uso do modelo newtoniano (presente em cerca de 90% dos estudos de IA). No entanto, metanálises recentes contestam essa simplificação. Embora modelos newtonianos capturem a tendencia geral de pressão e velocidade em grandes vasos, eles falham sistematicamente na quantificação precisa da WSS, especialmente em

regiões de baixo fluxo ou geometria complexa. (Gomes,2024).

A aterosclerose é caracterizada pelo acúmulo de lipídios e colesterol na túnica íntima, resultando no endurecimento e estreitamento do lúmen arterial (estenose). Estudo comprovam que a iniciação de placas ateroscleróticas ocorre preferencialmente em regiões de baixa tensão de cisalhamento (WSS) e fluxos oscilatórios, comuns em bifurcações e curvaturas. (Gomes,2024).

A estenose reduz a área transversal da artéria, forçando o aumento da velocidade local e da pressão à montante, o que eleva o trabalho cardíaco. O escoamento torna-se frequentemente turbulento ou transiente após a obstrução, favorecendo a formação de vórtices. (Gomes,2024).

O aneurisma é a dilatação anormal de um vaso (aumento de diâmetro superior a 50%), causada pelo enfraquecimento da parede arterial. Em aneurismas intracranianos (IA), a ruptura é um evento catastrófico com alta taxa de mortalidade. (Saqr et al.,2020). A CFD é utilizada para avaliar o risco de ruptura, embora exista um debate intenso sobre se o gatilho principal é a alta ou baixa WSS. (Gomes,2024). Estudos de DNS (Simulação Numérica Direta) indicam que o fluxo em aneurismas pode apresentar instabilidades de alta frequência e características de transição para a turbulência. (Saqr et al., 2020).

Os estudos demonstraram que a modelagem computacional é capaz de reproduzir adequadamente os perfis de velocidade observados em artérias estenosadas. Essa validação fortalece a utilização CFD como ferramenta para avaliação do risco de hemólise em pacientes com aterosclerose. (Jedrzejczak, et al.,2023).



Os resultados evidenciam que as características geométricas da artéria influenciam diretamente o comportamento do escoamento sanguíneo. O emprego das equações de Navier-Stokes associadas à Dinâmica dos Flúídos Computacional (CFD) mostrou-se uma ferramenta eficiente para analisar fenômenos hemodinâmicos complexos, oferecendo informações importantes para o diagnóstico, prevenção e planejamento de tratamentos de doenças cardiovasculares. Além disso, o estudo fornece uma base para futuras pesquisas envolvendo modelos não newtonianos, interações fluido estrutura e simulações específicas para pacientes. (Hussain et al., 2023).

A modelagem CFD consolidou-se como um paradigma indispensável na pesquisa cardiovascular e está emergindo rapidamente como uma ferramenta de suporte à decisão clínica. Ela permite identificar áreas de risco aterogênico e prever o comportamento de dispositivos endovasculares antes mesmo da intervenção. (Jedrzejczak, et al., 2023).

CONCLUSÃO

A CFD consolidou-se como uma ponte entre a engenharia e a medicina, sendo eficaz nos diagnósticos cardiovasculares.

AGRADECIMENTOS

Agradeço às agências de fomento FAPEMAT, CNPq e CAPES.

REFERÊNCIAS

GOMES, R.G. **Modelagem Fluidodinâmica Computacional (CFD) do escoamento sanguíneo na aorta humana.** Dissertação (Mestrado)-USP, 2024.

HUSSAIN, A. et al. Effects of stenosis and aneurysm on blood flow in stenotic-aneurysmal artery. *Heliyon*, 2023.

JEDRZEJCZAK, K. et al. **CFD validated by micro particle image velocimetry to estimate the risk of hemolysis.** 2023.

SAQR, K.M. et al. **What does computational fluid dynamics tell us about intracranial aneurysms? A meta-analysis and critical review.** *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 2020.