

ESTUDO DO MÉTODO DA REDE DE BOLTZMANN PARA SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE PROCESSOS HIDRODINÂMICOS E TÉRMICOS EM MICROCANAIS

Ivan Talão Martins

Luben Cabezas-Gómez

Pablo Fariñas Alvarinho

Alfredo D. C. Jaramillo Palma

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ivanmartins@usp.br

Objetivos

O presente projeto tem como principal objetivo o estudo do método da Rede de Boltzmann (MRB) para a simulação de escoamentos monofásicos e bifásicos com transferência de calor em microcanais, envolvendo também mudança de fase líquido-gás. Isto motivado pelas vantagens que o MRB possui em relação aos métodos convencionais (facilidade de implementação, de tratamento de condições de contorno e da interface entre fases/materiais).

Para isso, o projeto conta com estudos preliminares de ferramentas de aperfeiçoamento do método, assim como o de modelos bifásicos com o MRB, abrangendo também mudança de fase visando a simulação de ebulição em piscina e, posteriormente, ebulição convectiva. Por fim, os modelos são validados com soluções analíticas (quando possível) e resultados experimentais.

Métodos e Procedimentos

O MRB se baseia na discretização da equação de transporte de Boltzmann no tempo, espaço e nas direções de velocidade. Esta equação descreve o comportamento da função de distribuição, cujos momentos resultam nas quantidades macroscópicas às quais a mesma está relacionada (como densidade, *momentum*, temperatura, etc). Ademais, por meio de expansões de perturbações dessa função,

pode-se relacionar a equação discreta às leis de conservação (massa, energia, *momentum*).

No caso dos modelos bifásicos, a equação mencionada sofre certas alterações para incorporar a ação de forças externas e a iteração entre fases. Havendo diversos modelos na literatura, focou-se nos baseados na energia livre [1,2,5,6].

Assim, o estudo do método e de seus modelos envolve aplicá-los inicialmente em testes simples, que possam ser validados com soluções analíticas ou experimentais. Tendo-se obtido bons resultados, prossegue-se para o estudo problemas mais complexos.

Neste caso, foram estudados problemas monofásicos isotérmicos e de condução de calor. Em seguida, tratou-se de escoamentos não-isotérmicos e da troca de calor conjugada. Por fim, abrangeu-se problemas bifásicos isotérmicos, não isotérmicos e envolvendo mudança de fase.

Resultados

Dentre os resultados obtidos, estudou-se a precisão dos modelos de implementação das condições de contorno (CC) de Dirichlet e Neumann (apresentados no SiPGEM 2021).

Comparou-se os modelos de posicionamento de contorno *wet-node* (centro do nó computacional coincide com fronteira física) e *link-wise* (borda do nó computacional coincide com fronteira física). Percebeu-se que o esquema *link-wise* fornece resultados mais

precisos, principalmente envolvendo CC de Neumann.

Verificou-se que, para inserir os efeitos da variação das propriedades físicas (viscosidade, difusividade térmica, etc) com a temperatura nas simulações, o uso de polinômios aproximadores é eficiente e produz bons resultados.

Também estudou-se a técnica multi-blocos para a discretização não-uniforme do domínio (no MRB convencional a discretização é uniforme). Observou-se que tal flexibilização permite uma otimização da simulação em certos casos e que pode ser utilizada para controlar a estabilidade em problemas de troca de calor conjugada (TCC). Esses resultados foram apresentados no COBEM 2021 [3].

Desenvolveu-se também uma nova estratégia de discretização, propondo-se usar 2 discretizações distintas do domínio: uma para a função de distribuição de temperatura e outra função de distribuição da densidade. Com isso, pode-se otimizar tempo computacional e ampliar a estabilidade do método. Tais resultados estão publicados em [4], e se relacionam com microcanais monofásicos.

Obteve-se ademais resultados de problemas bifásicos simples com os modelos mencionados anteriormente, como gotas estáticas, ângulo de contato, oscilação de gotas elípticas, dentre outros. Também aplicou-se os métodos para elevada razão entre densidades líquido/gás, obtendo-se bons resultados para a evolução de bolhas sob ação da gravidade em comparação com resultados experimentais.

Por fim, iniciou-se os estudos da implementação da mudança de fase líquido-gás com o MRB. Principiou-se pelo problema de Stefan, comparando-se as soluções numéricas com analíticas para distintas temperaturas reduzidas, obtendo-se boa congruência entre os resultados. Também tem-se realizado a simulação do crescimento e desprendimento de uma bolha sozinha em uma superfície superaquecida, pretendendo-se compará-los com resultados experimentais.

Quanto a estes resultados experimentais, em geral utilizou-se os da literatura. Entretanto, realizou-se também um estágio em pesquisa na Universidade da Coruña, onde se coletou dados experimentais de ebulição nucleada com a intenção de compará-los aos numéricos.

Conclusões

Com os estudos realizados até então, pôde-se confirmar vantagens do uso do MRB em relação aos métodos convencionais, principalmente para problemas de TCC, dada sua facilidade em tratar interfaces.

Conseguiu-se desenvolver ferramentas que ampliassem a precisão e a estabilidade do método, como o uso do multi-blocos e da nova estratégia de discretização. Isto além de aplicá-las com sucesso em microcanais monofásicos.

Por fim, o MRB tem-se apresentado eficaz na simulação de problemas bifásicos, inclusive com mudança de fase, dadas as congruências dos resultados de problemas simples, em relação às soluções analíticas, ou em problemas mais complexos, dados resultados experimentais. Confirmando, pois, o interesse em continuar os estudos do MRB baseado na teoria da energia livre para a simulação desses fenômenos.

Referências Bibliográficas

- [1]He, X.; Chen, S. e Zhang, R. Discrete Boltzmann equation model for nonideal gases. **Journal of Computational Physics**, v. 152, p. 642–663, 1999.
- [2]Lee, T. e Liu, L. Lattice boltzmann simulations of micron-scale drop impact on dry surfaces. **Journal of Computational Physics**, v. 229, p. 8045–8063, 2010.
- [3]Martins, I. e Gómez, L. C. Multi-Block Lattice Boltzmann Method Applied to Conduction in Two Solids with Large Difference Between Thermal Diffusivities. Proceedings of the 26th International Congress of Mechanical Engineering (COBEM), 2021. DOI: [doi://10.26678/ABCM.COBE2021.COB2021-0210](https://doi.org/10.26678/ABCM.COBE2021.COB2021-0210).
- [4]Martins, I. e Gómez, L. C. Microchannel Conjugate Heat Transfer Modeling Using Lattice Boltzmann Method with a New Discretization Strategy. *Journal of Enhanced Heat Transfer*, v. 29, e. 3, p. 79-102, 2022.
- [5]Swift, M. R.; Orlandini, E.; Osborn, W. R. e Yeomans, J. M. Lattice boltzmann simulations of liquid-gas and binary fluid systems. **Physical Review E**, v. 54, n. 5, p. 5041–5052, 1996.
- [6]Zheng, H. W.; Shu, C. e Chew, Y. T. A lattice boltzmann model for multiphase flows with large density ratio. *Journal of Computational Physics*, v. 218, p. 353–371, 2006.