

MÉTODO DE LATTICE BOLTZMANN: PRINCÍPIOS TEÓRICOS E RELEVÂNCIA EM DINÂMICA DOS FLUIDOS

Pablo Eduardo Cruz, Bruno Yan dos Anjos, Luiz Adolfo Hegele Jr.

INTRODUÇÃO

A Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) é uma área crucial na engenharia e nas ciências exatas, com aplicações que abrangem desde a aerodinâmica de veículos até o fluxo sanguíneo no corpo humano. Tradicionalmente, a CFD se baseia na resolução numérica das complexas equações de Navier-Stokes. Contudo, o Método de Lattice Boltzmann (LBM) surgiu como uma abordagem alternativa e mesoscópica que tem demonstrado ser particularmente vantajosa para a simulação de escoamentos complexos. O LBM deriva da equação de Boltzmann, simplificando o processo de simulação ao rastrear as distribuições de partículas de fluidos em uma grade discreta em vez de resolver as equações macroscópicas diretamente. O objetivo central deste trabalho é apresentar os princípios teóricos fundamentais que regem o LBM, bem como discutir sua relevância e vasto campo de aplicação em diversas áreas da Dinâmica dos Fluidos.

DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do trabalho se baseou em uma revisão bibliográfica aprofundada para delinear a metodologia do LBM. Em vez de resolver as equações de Navier-Stokes, o LBM utiliza uma abordagem cinética discreta, que modela o comportamento de um conjunto de partículas que se movem em uma grade regular e interagem por meio de colisões. A simulação é executada em uma sequência de duas etapas principais: a etapa de "colisão", que descreve as interações entre as partículas em um ponto da grade, e a etapa de "streaming", que modela a propagação dessas partículas para os nós vizinhos da grade. A correta definição das condições de contorno é de suma importância para garantir a precisão e a validade física das simulações, permitindo que o modelo represente adequadamente as interações do fluido com as paredes do domínio. Conforme detalhado por Krüger et al. (2017), através da análise rigorosa de Chapman-Enskog, é possível demonstrar que o LBM recupera as equações macroscópicas de Navier-Stokes. A escolha da grade de velocidade, conhecida como "lattice", e do operador de colisão é um ponto crucial na metodologia, e este estudo detalha as opções mais comuns, como os modelos D1Q3, D2Q9 e D3Q27, sendo o D3Q19 um exemplo frequentemente utilizado em simulações tridimensionais (Figura 1).

RESULTADOS

Os resultados obtidos com o Método de Lattice Boltzmann demonstram que ele se destaca por sua capacidade de lidar com geometrias complexas e interfaces multifásicas com relativa facilidade, em comparação com os métodos de CFD tradicionais. Um exemplo clássico de aplicação que ilustra essa eficácia é a simulação do **escoamento em uma cavidade** (Figura 2), um problema de referência na mecânica dos fluidos. Sua natureza local e intrinsecamente paralela torna o LBM altamente eficiente para a computação em larga escala, permitindo a utilização de múltiplos processadores para acelerar as simulações. A abordagem mesoscópica do LBM também possibilita a simulação de fenômenos difíceis de serem capturados com

modelos de contínuo, como o transporte em meios porosos ou escoamentos multifásicos. Embora o LBM tenha sido inicialmente mais aplicado a escoamentos incompressíveis, o método tem sido adaptado e utilizado com sucesso para a simulação de escoamentos turbulentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Método de Lattice Boltzmann se estabelece como uma poderosa ferramenta de simulação em Dinâmica dos Fluidos, oferecendo uma alternativa eficaz e robusta aos métodos baseados nas equações de Navier-Stokes. Suas principais vantagens residem na simplicidade conceitual do algoritmo, no paralelismo inerente e na flexibilidade para tratar geometrias complexas e fenômenos de interface. Ao longo do estudo, ficou evidente que o LBM não é apenas uma curiosidade teórica, mas uma metodologia computacional madura e em constante crescimento, com aplicações em diversas áreas da ciência e da engenharia. A pesquisa vem se concentrando em aprimoramentos do método para simulações de alta complexidade, como escoamentos turbulentos e fluidos não newtonianos.

Palavras-chave: Dinâmica dos Fluidos; Método de Lattice Boltzmann; Simulação Computacional; Modelagem Mesoscópica; Condições de Contorno; Métodos Numéricos.

ILUSTRAÇÕES (se houver)

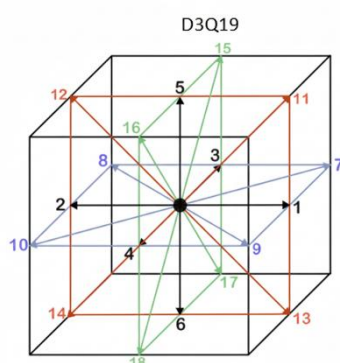


Figura 1 - Modelo D3Q19 de lattice.

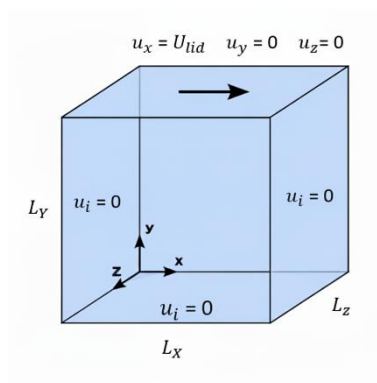


Figura 2 - Escoamento em cavidade impulsionada por tampa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RÜGER, Timm; KUSUMAATMAJA, Halim; KUZMIN, Alexandr; SHARDT, Orest; SILVA, Goncalo; VIGGEN, Erlend Magnus. *The Lattice Boltzmann Method: Principles and Practice*. Cham: Springer International Publishing, 2017. (Graduate Texts in Physics). ISBN 978-3-319-44647-9. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44649-3>.

DADOS CADASTRAIS

BOLSISTA: Pablo Eduardo Cruz

MODALIDADE DE BOLSA: Bolsa de Iniciação Científica

VIGÊNCIA: 08/2025 a 04/2026– Total: 9 meses

ORIENTADOR(A): Luiz Adolfo Hegele Jr.

CENTRO DE ENSINO: CESFI

DEPARTAMENTO: Engenharia de Petróleo

ÁREAS DE CONHECIMENTO: Engenharia / Engenharia de Energia

TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA: SUBJET | Modelagem física e numérica de jato submarino de óleo.

Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA: