

Cálculo do Coeficiente de Arrasto em uma Placa Imersa em um Gás Rarefeito no Regime de Transição

Juan F. C. Elias¹, Denize Kalempa²

Escola de Engenharia de Lorena USP, Lorena, SP

Na dinâmica de gases rarefeitos, o número de Knudsen (Kn) é crucial para caracterizar o grau de rarefação do gás. Quando $Kn \ll 1$, o regime é contínuo e as equações da mecânica dos meios contínuos são aplicáveis. Por outro lado, quando $Kn \gg 1$ ou Kn aproximadamente 1, o regime de moléculas livres ou de transição é predominante, exigindo abordagens que considerem a natureza microscópica do gás, como a equação de Boltzmann [1]. A equação de Boltzmann é uma ferramenta central, embora sua resolução ainda seja desafiadora, mesmo com os avanços computacionais. Modelos matemáticos têm sido desenvolvidos para simplificar a equação, preservando suas propriedades fundamentais. No regime de moléculas livres, onde as colisões gás-superfície são mais frequentes, a equação de Boltzmann simplifica-se, possibilitando soluções analíticas para muitos problemas. Esses conceitos são cruciais para entender uma ampla gama de fenômenos, desde aerodinâmica de veículos espaciais até problemas em nanotecnologia.

O presente projeto tem como objetivo calcular numericamente o coeficiente de arrasto em uma placa imersa em um gás rarefeito no regime de transição, considerando ângulo de ataque nulo e número de Mach arbitrário. O livre caminho médio molecular é da ordem de grandeza do comprimento da placa nesse regime. O problema é abordado com base em um modelo cinético para a equação não-linear de Boltzmann proposto por Shakhov [2] e no método de velocidades discretas. A condição de contorno considera o espalhamento difuso das moléculas gasosas na superfície, permitindo uma análise precisa das interações gás-superfície. Além do coeficiente de arrasto, são calculadas as características macroscópicas do gás ao redor da placa, como pressão e velocidade, em função do número de Knudsen e do número de Mach, fornecendo insights valiosos para a compreensão do comportamento aerodinâmico. O estudo desse problema é relevante para áreas como aeroespacial, tecnologia de vácuo e microssistemas eletrônicos, onde a miniaturização de sistemas tem sido uma tendência significativa. Em aplicações aeroespaciais, quanto maior a altitude, maior o grau de rarefação do gás, enquanto em microssistemas eletrônicos e mecânicos, mesmo à pressões maiores que a atmosférica, o regime rarefeito pode se estabelecer devido às dimensões do sistema. Assim, o estudo do problema no regime de transição é justificado para uma melhor compreensão dos fenômenos físicos e o desenvolvimento de novas tecnologias.

Referências

- [1] C. Cercignani. **Theory and Application of the Boltzmann Equation**. Edinburgh: Scottish Academic Press, 1975.
- [2] E. M. Shakhov. "Generalization of the Krook kinetic relaxation equation". Em: **Fluid Dynamics 3.5** (1968), pp. 95–96.

¹juan.elias@usp.br

²kalempa@usp.br