

Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics

A influência dos números de Reynolds e Mach sobre a instabilidade linear das bolhas de separação laminar

Bruna Dias Pires de Souza¹

Elmer M. Gennaro

UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São João da Boa Vista, SP

Daniel Rodríguez

Universidade Federal Fluminense, UFF, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PGMEC), Rio de Janeiro, RJ

O processo de transição de escoamento laminar para turbulento é geralmente associado às instabilidades com o escoamento laminar de referência, chamado de escoamento base. Pequenas perturbações crescem em amplitude extraindo energia do escoamento médio e geram estruturas de amplitudes finitas que iniciam o processo de transição através de interações não lineares. O estudo das instabilidades do escoamento fornece um entendimento melhor dos mecanismos físicos envolvidos, e pode ser usado na construção de modelos de ordem reduzida para os efeitos associados com a estrutura gerada durante o processo de transição. O objetivo deste trabalho é fazer uma análise da estabilidade primária baseada em modos próprios bidimensionais, do tipo realizado em [3], para uma família de bolhas de separação laminar compressível.

Primeiramente o escoamento base é obtido através de simulações numéricas diretas (DNS) de um escoamento uniforme sobre uma placa plana sujeita a um gradiente de pressão. Para esta simulações utilizamos o código computacional descrito em [1]. O escoamento base foi obtido após um estudo de convergência de malha e domínio computacional com resíduo numérico da ordem de $O(10^{-8})$.

Os resultados foram obtidos a partir do código de estabilidade [2]. Diferenças finitas de sexta ordem foram usadas na discretização espacial dos operadores bidimensionais que definem o problema de autovalor. Transformações analíticas foram usadas para acumular pontos nas regiões de fortes gradientes. Os problemas de autovalores são resolvidos usando uma implementação *shift-and-invert* do algoritmo de Arnoldi. Os operadores matriciais são formados e operados em formato esparso. Rotinas *in-house* foram usadas para operações matriz-vetor e matriz-matriz, enquanto a decomposição LU e a solução do sistema linear foram realizadas usando um *solver multifrontal* MUMPS.

Os resultados indicam que a estabilidade linear foi encontrada para ser dominada por um modo próprio discreto para todas as combinações dos números de Reynolds e

¹bdpsouza@gmail.com

Mach considerados. Esse modo próprio possui as mesmas características da instabilidade tridimensional que domina bolhas de separação incompressíveis [3].

As taxas de crescimento temporal, ω_i , como função do número de onda transversal β para diferentes números de Reynolds e Mach 0.4 e 0.5, respectivamente, são apresentadas na Fig. 1. Para cada escoamento base com pico de escoamento reverso acima de 7%, o modo próprio encontrado é instável para uma faixa limitada de β , que se corresponde à uma perturbação tridimensional. Tanto a faixa de números de ondas instáveis como a máxima amplificação aumentam com o número de Reynolds, o que pode ser devido a duas razões principais. Por um lado, quanto maior o número de Reynolds, mais larga é a zona de recirculação e o pico de escoamento reverso, resultando em bolhas mais fortes, e portanto mais propensas à instabilidade. Por outro lado, para instabilidade centrífuga, como a presente, a viscosidade tem um efeito estabilizante a qual é reduzida com o aumento do número de Reynolds.

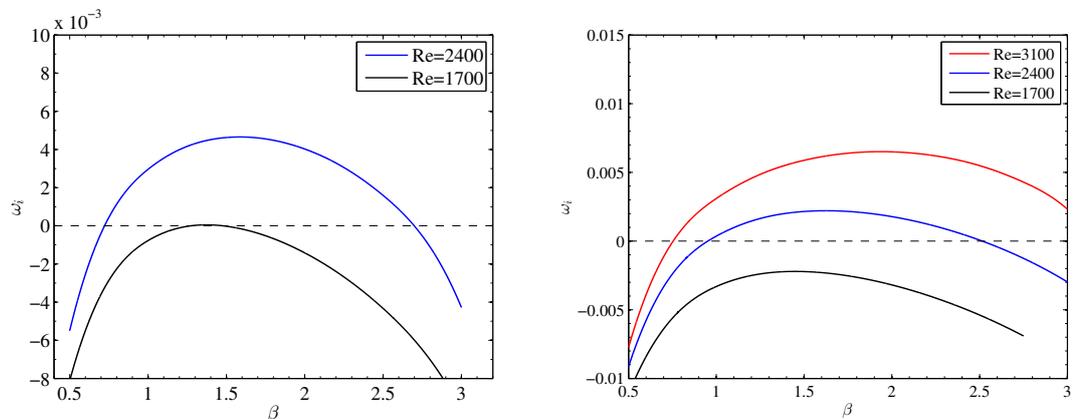


Figura 1: Taxa de amplificação temporal ω_i por número de onda transversal β para o modo global tridimensional estacionário em $Ma = 0.4$ e $Ma = 0.5$.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPESP (processos 2014/24782-0 e 2015/26759-9) e CNPq (processos 423846/2016-7, 405144/2016-4 e 305512/2016-1).

Referências

- [1] L. F. Bergamo, E. M. Gennaro, V. Theofilis, and M. A.F. Medeiros. Compressible modes in a square lid-driven cavity. *Aerospace Science and Technology*, 44:125 – 134, 2015.
- [2] E. M. Gennaro, D. Rodríguez, V Theofilis, and M. A. F. Medeiros. Sparse techniques in global flow instability with application to compressible leading-edge flow. *AIAA Journal*, 51(9):2295 – 2303, 2013.
- [3] D. Rodríguez, E. M. Gennaro, and M. P. Juniper. The two classes of primary modal instability in laminar separation bubbles. *J. Fluid Mech.*, 734:R4, 2013.