

Distribuído: 24/04/17

Entrega: 29/05/17

CC-297

Projeto No. 3

João L. F. Azevedo

1º Semestre/2017

O objetivo deste trabalho, em princípio, é de se calcular o escoamento sobre um perfil biconvexo utilizando-se uma formulação de potencial completo. Isto é, de certa forma, uma continuação do trabalho que foi realizado nos dois primeiros projetos. Deseja-se que seja utilizada a equação do potencial completo em forma conservativa e em coordenadas curvilíneas gerais que se conformam ao perfil. Em princípio, ainda, apenas casos sem sustentação, ou seja, com ângulo de ataque nulo, serão considerados aqui. Deseja-se, também, que seja utilizada uma topologia de malha do tipo “O”, e sugere-se que o(s) gerador(es) desenvolvido(s) no Projeto No. 2 seja(m) utilizado(s) para lhe proporcionar as malhas computacionais necessárias para a solução do presente trabalho.

O procedimento de discretização espacial da equação do potencial completo que deve ser utilizado neste trabalho é o esquema da densidade artificial de Holst & Ballhaus. O esquema iterativo a ser utilizado é o algoritmo AF2 de fatoração aproximada. Ambos os esquemas de discretização espacial e de marcha no pseudo-tempo estão sendo discutidos em sala, e portanto sugere-se consultar as notas de aula, e/ou as referências citadas, para os detalhes específicos destes algoritmos. Como nos trabalhos anteriores, você deve apresentar um relatório descrevendo a formulação teórica utilizada, os detalhes de implementação numérica dos diversos algoritmos, e os seus resultados computacionais, incluindo uma discussão destes resultados.

Casos Mandatórios

Os dois casos seguintes, um subcrítico e o outro supercrítico, devem ser calculados e discutidos em seu relatório.

$$\text{Caso 1: } \begin{cases} t &= 0.10 \\ M_\infty &= 0.70 \\ \alpha &= 0^\circ \end{cases} \quad \text{Caso 2: } \begin{cases} t &= 0.10 \\ M_\infty &= 0.84 \\ \alpha &= 0^\circ \end{cases}$$

Acima, t é a razão de espessura do perfil, M_∞ é o número de Mach do escoamento não perturbado, e α é o ângulo de ataque. Observe que, utilizando-se a equação de Bernoulli, a velocidade do escoamento não-perturbado (U_∞), já levando em consideração a adimensionalização implícita na formulação que estamos utilizando, pode ser obtida como

$$U_\infty = \left[\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1 + \frac{2}{M_\infty^2}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Casos Adicionais

Para obter o crédito total neste projeto, faça pelo menos três dos seguintes estudos mencionados abaixo. Uma descrição detalhada dos resultados das opções que você escolher deverá ser incluída em seu relatório, obviamente.

1. Estude o efeito dos vários parâmetros de relaxação na razão de convergência. Em particular, inclua em sua análise o efeito de se utilizar uma sequência de α 's nesta razão de convergência. Inclua resultados para ambos os casos 1 e 2.
2. Estude o efeito do refinamento da malha na precisão da solução (utilize apenas o caso 2). Tente isolar o efeito de refinamento da malha de outros efeitos tais como a posição da fronteira externa, etc
3. Estude o efeito da posição da fronteira externa na precisão da solução (apenas caso 2). Tente isolar este efeito de outros que possam estar também influenciando a precisão da solução.
4. Estude o efeito da variação do número de Mach. Comece com um escoamento incompressível ($M_\infty \cong 0$), e vá aumentando o número de Mach até o regime transônico, até que ocorra divergência do método. Explique porquê a solução finalmente diverge, e tome alguns procedimentos que façam aumentar a região de estabilidade do método (por exemplo, tente aumentar C ; por que?).
5. Compare o efeito do tipo de malha, no caso elíptica versus parabólica, nos seus resultados computacionais e na precisão de sua solução (considere ambos os casos 1 e 2 neste estudo). No Projeto No. 2, o gerador parabólico foi desenvolvido com o objetivo de gerar a malha inicial que, posteriormente, seria suavizada ou “trabalhada” pelo gerador elíptico. Entretanto, como discutido em sala, esta malha parabólica também pode ser utilizada para solução de escoamentos. Portanto, a idéia aqui é utilizar uma malha obtida com o gerador parabólico para obter a solução do escoamento nos dois casos, e comparar estes resultados com aqueles obtidos através da malha elíptica correspondente (para o mesmo caso). Claramente, para que esta comparação possa fazer algum sentido, é necessário que as duas malhas, elíptica e parabólica, tenham o mesmo número de pontos em cada direção e a mesma posição da fronteira externa.
6. Resolva o problema com pelo menos dois outros esquemas de iteração, e compare suas razões de convergência com aquelas obtidas com o esquema AF2. A sugestão neste caso seria de se utilizar, pelo menos, os esquemas AF1 e SLOR para esta comparação. Inclua resultados para ambos os casos 1 e 2 neste estudo.
7. Implemente um procedimento de “multigrid” para aceleração de convergência de seu processo iterativo. Utilize pelo menos 4 malhas em sua sequência de malhas cada vez mais grossas para aplicação do “multigrid”. Compare as razões de convergência obtidas com o “multigrid” com as que eram obtidas anteriormente. Inclua resultados para ambos os casos 1 e 2 neste estudo.
8. Resolva o problema (apenas caso 2) considerando, agora, que o ângulo de ataque seja diferente de zero. Considere ângulos de ataque relativamente pequenos, em torno de 2° ou 4° por exemplo, para não complicar muito as coisas. Um cuidado especial deve ser tomado no estudo deste caso, pois pode ser que você efetivamente não consiga obter

soluções numéricas estáveis para um perfil com bordo de ataque afilado em ângulo de ataque para uma formulação potencial. Se este for o caso (e você vai ter que mostrar que o programa está divergindo exatamente no bordo de ataque e devido ao problema que estamos aqui discutindo), basta incluir em seu relatório uma discussão detalhada das modificações que têm que ser efetuadas no algoritmo para se poder tratar casos com sustentação.

9. Utilizando o gerador de malhas desenvolvido no Projeto No. 2, obtenha uma malha computacional sobre um perfil NACA 0012 e calcule o escoamento sobre este perfil utilizando o código de solução da equação do potencial completo desenvolvido neste trabalho. Considere apenas o caso de $M_\infty = 0.84$ em seu estudo, mas você tem a liberdade de considerar tanto casos sem sustentação quanto casos com ângulo de ataque não nulo. Compare seus resultados com dados da literatura.