



Instituto Politécnico, Nova Friburgo  
August 30<sup>th</sup>- September 3<sup>rd</sup>, 2004

Paper CRE04 - AA13

## ***pyFOIL: Aplicativo para a Solução de Escoamentos Ideais sobre Aerofólios Baseado em Ellipt2D.***

**Emanuel Rocha Woiski**

Faculdade de Engenharia, FEIS, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP  
CEP 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil  
woiski@dem.feis.unesp.br

**Josué Labaki Silva**

Faculdade de Engenharia – Universidade Estadual Paulista - UNESP  
CEP 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil  
labaki@feis.unesp.br

Ellipt2D é um software de fonte livre desenvolvido em Python para resolver por elementos finitos, com malhas triangulares em domínios bidimensionais de geometria arbitrária, equações diferenciais parciais (EDP) do tipo elíptico, lineares e não lineares, com coeficientes reais ou complexos, constantes ou variáveis, da forma  $-\text{div}.f.\text{grad}(q) + g.q = s$ , sendo  $f$  uma função escalar definida,  $g=g(x,y)$  e  $s=s(x,y)$  funções de variáveis independentes definidas pelo usuário e  $q=q(x,y)$  o campo escalar a ser obtido no domínio  $(x,y)$  [1]. Escolheu-se Python para o desenvolvimento de Ellipt2D para usufruir da rica estrutura de dados e clareza de sintaxe que esta linguagem possui, obtendo-se um código muito mais conciso e flexível que seus semelhantes escritos em FORTRAN, C, C++ sem perder a eficiência numérica necessária. Por outro lado, aerofólios são perfis rombudos carenados, ou seja, aqueles corpos que apresentam uma borda de ataque arredondado e uma borda de fuga muito afilado. A forma especial da borda de fuga não apenas retarda a separação da camada-limite nas condições adversas do gradiente de pressão, reduzindo por consequência o arrasto de pressão, mas também obedece a condição de Kutta, que estabelece que a velocidade tangencial na borda de fuga do aerofólio deve ser finita e diferente de zero [2]. Estas características permitem que a distribuição da pressão em torno do aerofólio possa ser determinada considerando o escoamento incompressível em torno deste como potencial, ou seja, irrotacional e invíscido. Assim, pode-se resolver o campo escalar da função de corrente a partir da solução de uma equação de Laplace [3], que é uma EDP do tipo elíptico. A partir de algumas classes do Ellipt2D e instanciando-as adequadamente, criou-se *pyFOIL*, aplicativo especificamente dedicado a análise de aerofólios. Na sua versão atual, *pyFOIL* recebe como dados de entrada os pontos que descrevem o contorno de um determinado aerofólio e constrói um domínio retangular adequado contendo o aerofólio considerado como um buraco dentro deste domínio. Utilizando-se elementos finitos triangulares lineares e uma rotina interna do Ellipt2D, gera-se a malha sobre o domínio. Devido a hipótese de escoamento ideal sobre o aerofólio e em todo o domínio, pode-se definir  $q$  como sendo a função de corrente, que é o gradiente da velocidade. Estabelecem-se então as condições de contorno (basicamente de Dirichlet) adequadas ao comportamento esperado das linhas de corrente no domínio. O sistema resultante de equações algébricas lineares com matrizes esparsas é resolvido, determinando-se o campo  $q$  sobre todo o domínio, a partir do qual pode ser obtido, a partir de Bernoulli, o comportamento da pressão em torno do aerofólio escolhido. Os dados obtidos podem apresentados em forma de gráficos, com cores representando curvas isobáricas. O presente

trabalho descreve o aplicativo pyFOIL e utiliza-o para analisar o comportamento do coeficiente de pressão sobre diversos aerofólios. Os resultados obtidos são comparados com os da literatura [4] e [5]. A escolha de Python e Ellipt2D permitirá a futura expansão de *pyFOIL* tornando-o mais interativo e em direção a uma análise mais completa do comportamento dos aerofólios. Esta deverá incluir, por exemplo, a alteração do ângulo de ataque e a determinação dos coeficientes de arraste, estes últimos exigindo a análise do comportamento da camada limite viscosa sobre os aerofólios.

## REFERENCES

- [1] Pletzer, A. Mollis, J. C., ELLIPT2D: A flexible finite element code written in Python. In: \_\_\_\_\_ <http://w3.pppl.gov/~pletzer/papers-reports/python9paper/ellipt2d.html> (Acessado em 27 de maio, 2004).
- [2] Da Silveira, R. A. Simulação numérica da formação de gelo na borda de ataque de perfis aerodinâmicos. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (2001).
- [3] Fox, R. W. McDonald, A. T., Introdução à mecânica dos fluidos. 4.<sup>a</sup> Ed. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro (1995).
- [4] Kliewer, D. Análise de perfis aerodinâmicos Joukowski. In: \_\_\_\_\_ [http://143.54.70.55/pss/diploct/David\\_Kliewer\\_A.pdf](http://143.54.70.55/pss/diploct/David_Kliewer_A.pdf) (Acessado em 27 de maio, 2004).
- [5] Drela, M. Youngren, H. XFOIL 6.94. Software. MIT Aero & Astro (2001)