

# SIMULAÇÃO DE ESCOAMENTOS TURBULENTOS EM AEROFÓLIOS

**Aluno: Cesar Augusto L. L. Da Fonseca**

**Orientadores: Luiz Eduardo Bittencourt Sampaio e Angela Ourivio Nieckele**

## Introdução

Foi realizado um estudo numérico do escoamento aerodinâmico bidimensional, turbulento e incompressível, em torno de um aerofólio NACA0018, com ângulos de ataque variando entre 0 e 15 graus. Neste escoamento de enorme importância para a indústria, estão presentes diversos fenômenos físicos importantes, típicos de regimes turbulentos e constantemente encontrados em outras aplicações. Entre eles, cita-se: desenvolvimento da camada limite, transição de regime laminar-turbulento, separação e posterior recolamento da camada limite, relaminarização, e formação de bolhas de recirculação.

## Objetivo

Avaliar o desempenho de metodologias numéricas para modelagem de escoamentos turbulentos baseadas em média de Reynolds (Reynolds Average Navier-Stokes – RANS), e definir uma geometria computacional e uma malha de discretização espacial adequadas a futuras simulações numéricas tridimensionais envolvendo a metodologia de grandes escalas (Large-Eddy Simulations – LES). Esta última metodologia tem-se mostrado bem superior à primeira (RANS) em termos de precisão [1], porém, bem mais onerosa computacionalmente, o que justifica um extenso estudo preliminar, envolvendo, principalmente, a definição da geometria e malha a serem empregadas.

## Metodologia

A determinação do campo de velocidade e pressão pode ser obtida a partir da solução das equações de conservação de quantidade de movimento linear e massa. No entanto, como todo escoamento turbulento é tridimensional e transiente, o esforço computacional para resolver este tipo de escoamento, prevendo todas as escalas presentes é muito elevado. Na busca de uma solução a um esforço aceitável, surgem os modelos de turbulência, baseados na média de Reynolds (RANS).

Na metodologia de Reynolds (RANS), ao invés de se tentar prever a evolução temporal do escoamento, realiza-se uma média temporal ou estatística (chamada média de Reynolds) sobre as equações originalmente transientes, o que lhes confere um caráter estacionário, no qual as variáveis resolvidas são não mais campos instantâneos, mas campos médios. Porém, no processo da média de Reynolds (temporal ou estatística) da equação de *momentum*, surge um novo termo, oriundo da não comutatividade entre o operador média e o operador produto no termo não-linear advectivo. Este novo termo, chamado de tensão turbulenta representa as ações das flutuações turbulentas no transporte de momentum médio, e normalmente é modelado supondo-se que essas ações são análogas às de um processo de mistura, no qual a taxa de difusão é tanto maior quanto maior for a intensidade turbulenta. Diversas alternativas vêm sendo apresentadas na literatura [2], sendo que neste trabalho, foram testados dois modelos baseados na hipóteses de Boussinesq, juntamente com o conceito de viscosidade turbulenta: o modelo de Spalart-Allmaras, que envolve a solução adicional de uma equação diferencial para a viscosidade turbulenta; e o modelo  $\kappa$ - $\omega$  padrão que necessita da solução de

duas equações de conservação adicionais, uma para a energia cinética turbulenta  $k$  e outra para a dissipação específica  $w$ .

Neste trabalho, as equações de conservação foram resolvidas utilizando o software comercial Fluent, o qual é baseado no Método dos Volumes Finitos [3].

As previsões numéricas para campos de velocidade e pressão médios, energia cinética turbulenta, ponto de separação da camada limite sobre o aerofólio, e ponto de recolamento da mesma foram comparados com os dados obtidos experimentalmente em [4]. A comparação dos resultados permitiu a constatação de algumas falhas da modelagem da turbulência via metodologia RANS, principalmente em relação à captura da separação da camada limite e posterior recolamento. Embora para a maioria das aplicações de engenharia isto não seja crítico quando o ângulo de ataque é pequeno (tipicamente menor do que 6 graus), para ângulos maiores, onde grandes regiões de separação e turbulência estão presentes, nem mesmo grandezas integradas (como força de sustentação, ou arraste) são confiáveis.

A função corrente apresentada nas Fig. 1a e 1b (para ângulos de ataque de 6 e 15 graus respectivamente), mostra que o modelo  $\kappa$ - $\omega$  foi capaz de prever corretamente a separação da camada limite para 15 graus, embora a pequena região de recirculação esperada para 6 graus não tenha sido capturada pela simulação. A intensa atividade turbulenta na camada cisalhante livre que delimita a zona de recirculação pode ser apreciada pelos contornos de energia cinética turbulenta, apresentados na Fig. 2.

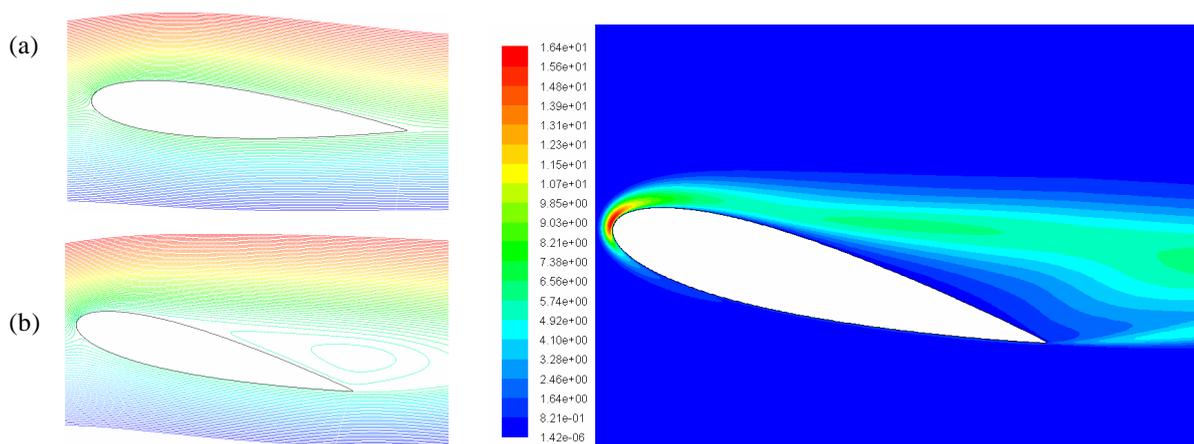


Figura 1 – Função Corrente para 6° e 15°

Figura 2 – Energia Cinética turbulenta para 15°.

## Conclusões

Os resultados obtidos, apesar de qualitativamente satisfatórios, apontam para a necessidade de se utilizar modelagens numéricas mais sofisticadas para escoamentos turbulentos, tal como as Simulações de Grandes Escalas (LES), o que será feito nesta segunda fase do projeto, e se beneficiará de todo o estudo de geometria e malha computacional já realizado nesse trabalho.

## Referências

- 1- SPALART, P. R., Strategies for turbulence modelling and simulations. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, vol., 21, pp. 252-263, 2000.
- 2 - POPE, S. B., **Turbulent Flows**. Cambridge, 2000.
- 3 - PATANKAR, S. V., **Numerical Heat Transfer and Fluid Flow**. Hemisphere, N.Y., 1980.
- 4 - NAKANO, T., FUJISAWA, N., OGUMA, Y., TAKAGI, Y., LEE, S., Experimental study on flow and noise characteristics of NACA0018 airfoil, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 95, pp. 511-531, 2007.