

SIMULAÇÃO NUMÉRICA TURBULENTA EM SUPERFÍCIE RUGOSA

Aluno: Eduardo Gonçalves Dias de Barros
Orientador: Angela O. Nieckele

Introdução

Estruturas turbulentas organizadas sobre superfícies planas possuem um papel importante no transporte turbulento [1]. Redução de arraste por meios passivos tem sido estudada por diversos autores [2-3]. A presença de ranhuras sobre superfícies planas pode alterar o arraste de escoamentos turbulentos [4-5]. Deslocamentos para cima ou para baixo na lei logarítmica dos perfis de velocidade média mostram redução ou aumento o arraste.

Compreender o escoamento sobre uma superfície rugosa pode trazer soluções para situações do cotidiano nas quais se deseja reduzir os efeitos dissipativos associados ao movimento em relação a um fluido.

As aplicações são muito numerosas, podendo estar direcionadas a uma série de áreas, desde projetos aerodinâmicos para a indústria aeronáutica a idéias relacionadas à melhora de performances nos esportes. A Figura 1a ilustra uma roupa de natação com escamas visando reduzir o arraste superficial. A Figura 1b apresenta as linhas de corrente sobre a nadadora, obtida numericamente, para auxiliar do projeto da vestimenta.

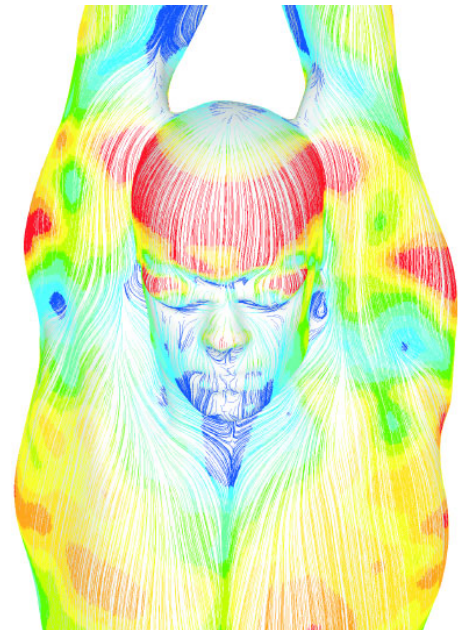


Figura 1. (a) Roupa de natação com escamas. (b) Linhas de corrente do escoamento sobre a nadadora

Objetivos

Determinar campo de velocidades e grandezas turbulentas, utilizando Simulação Numérica Direta, visando identificar a influência das ranhuras no arraste, comparando com escoamento sobre superfícies planas lisas. Realizar uma análise preliminar utilizando o modelo de turbulência de duas equações diferenciais κ - ϵ .

Metodologia

A Fig. 2 ilustra a geometria de interesse. A superfície superior é uma placa plana lisa e a inferior possui ranhuras. Pretende-se utilizar exatamente a mesma geometria e parâmetros do escoamento que o trabalho de Choi et al [4]. A distância entre as placas é $L_{x2} = 2 \delta$, sendo a largura igual a $L_{x3} = 0,289 \pi \delta$ e o comprimento das placas é $L_{x1} = \pi \delta$. Dois ângulos das serão considerados: $\alpha = 45^\circ$ e $\alpha = 60^\circ$. A largura das ranhuras é $s/\delta = 0,2270$.

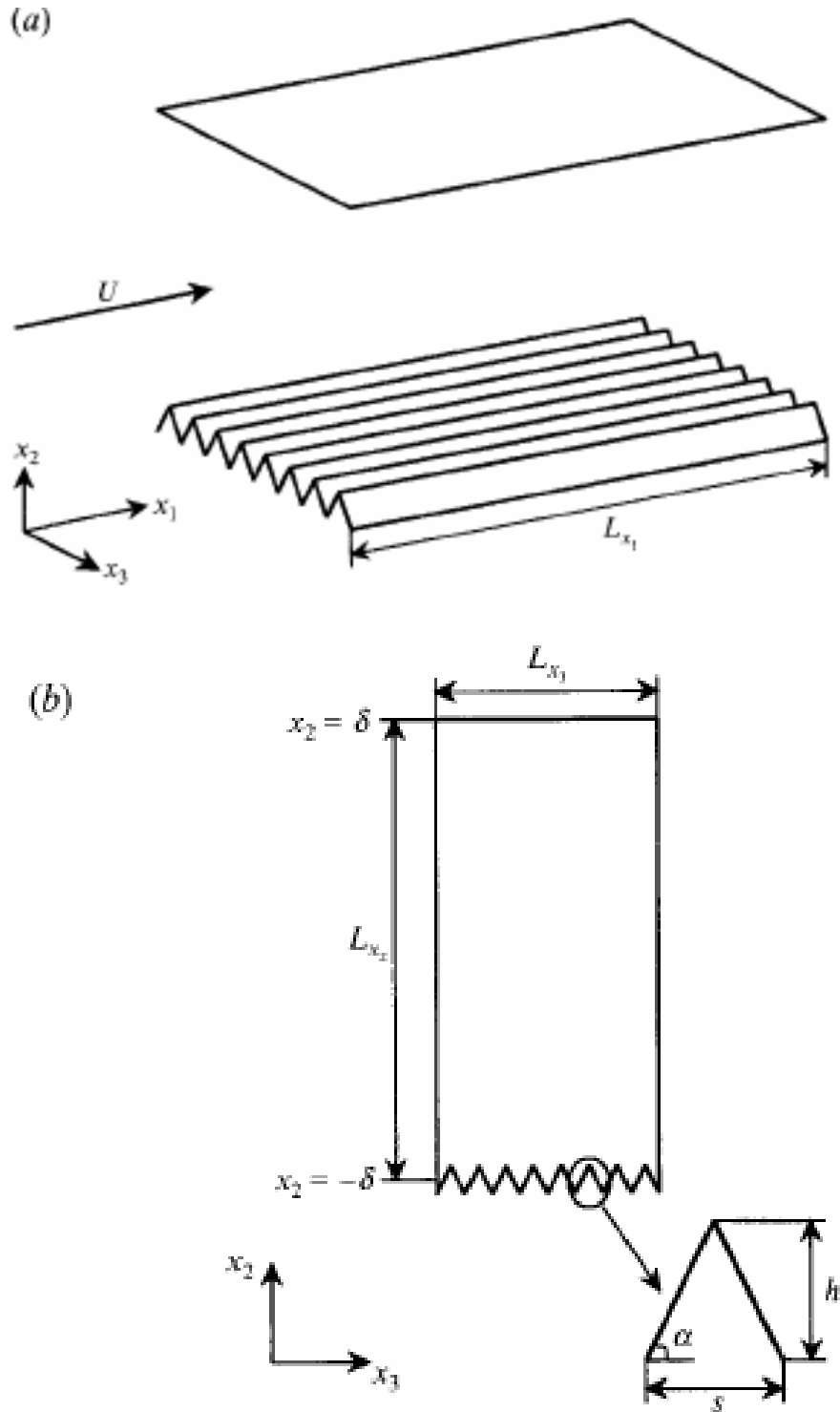


Figura 2: (a) Geometria da Placas (b) Vista da seção transversal da ranhura

A simulação será realizada para um número de Reynolds baseado na velocidade da linha de centro U_{lc} e a meia distância entre as placas δ de 4200

$$\mathbf{Re} = \frac{U_{lc} \delta}{\nu} = 4200 \quad (1)$$

Para obter o campo de velocidade e pressão, é necessário resolver as equações que governam o escoamento. Considerou-se escoamento em regime permanente, fluido Newtoniano, incompressível. Nesta primeira etapa, utilizou-se o modelo de turbulência de duas equações diferenciais. As equações de conservação utilizando as médias de Reynolds são:

- conservação de massa

$$\mathbf{div} \vec{u} = 0 \quad (2)$$

- conservação de quantidade de movimento linear

$$\begin{aligned} \mathbf{div}(\rho \vec{u} \vec{u}) = & -\mathbf{grad} \left(\bar{p} + \frac{2}{3} \rho \kappa \right) + \mathbf{div} \left((\mu + \mu_t) \mathbf{grad} \vec{u} \right) + \\ & + \mathbf{div} \left((\mu + \mu_t) (\mathbf{grad} \vec{u})^T \right) \end{aligned} \quad (3)$$

Nas equações acima \vec{u} é o vetor velocidade, p é a pressão, ρ_m é massa específica e μ é a viscosidade absoluta e μ_t é a viscosidade turbulenta, κ é a energia cinética turbulenta.

A viscosidade turbulenta é definida em função da energia cinética turbulenta κ e de sua taxa de dissipação ε , como

$$\mu_t = c_\mu \rho \kappa^2 / \varepsilon \quad (4)$$

onde $c_\mu = 0,09$ é uma constante empírica. As equações de conservação para a determinação das grandezas turbulentas são:

- conservação de energia cinética turbulenta κ

$$\mathbf{div}(\rho_m \vec{u} \kappa) = \mathbf{div} \left(\mu + (\mu / \sigma_\kappa) \mathbf{grad} \kappa \right) + P_\kappa - \rho_m \varepsilon \quad (5)$$

- conservação da taxa de dissipação de energia cinética turbulenta ε

$$\begin{aligned} \mathbf{div}(\rho \vec{u} \varepsilon) = & \mathbf{div} \left(\mu + (\mu / \sigma_\varepsilon) \mathbf{grad} \varepsilon \right) + \\ & + (\varepsilon / \kappa) [c_{1\varepsilon} P_\kappa - \rho c_{2\varepsilon} \varepsilon] \end{aligned} \quad (6)$$

onde c_μ , $c_{1\varepsilon}$, $c_{2\varepsilon}$, σ_κ e σ_ε são constante empíricas do modelo κ - ε , e são iguais a: $c_\mu = 0,09$; $c_{1\varepsilon} = 1,44$; $c_{2\varepsilon} = 1,92$; $\sigma_\kappa = 1,0$ e $\sigma_\varepsilon = 1,30$.

Considerou-se a condição de não deslizamento nas superfícies sólidas. Na região da parede utilizou-se a lei da parede padrão. Na direção transversal ao escoamento condição de simetria foi imposta.

Método Numérico

A Figura 3a ilustra a seção transversal do domínio computacional gerado com o pacote Gambit e a Fig. 3b ilustra um detalhe da malha na região das ranhuras. Baseado no trabalho de Choi et al [4], definiu-se uma malha de 16 x 129 x 128 pontos nas direções x_1 , x_2 e x_3 .

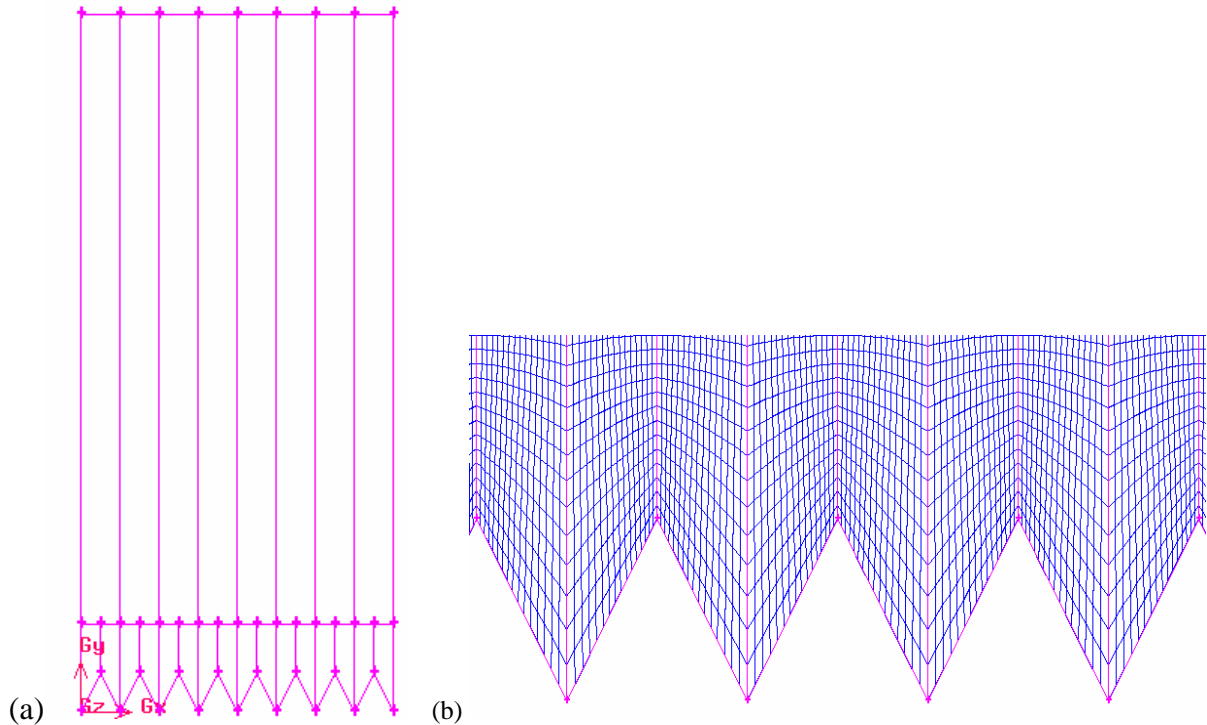


Figura 3: (a) Domínio Computacional (b) Detalhe da seção transversal da ranhura

O escoamento foi determinado utilizando o pacote FLUENT, o qual é baseado no método de volumes finitos. Numa próxima etapa o pacote OpenFoam será utilizado, onde as fronteiras axiais (direção x_1) e laterais (direção x_3) serão consideradas como periódicas.

Análise

A Figura 4 ilustra o mecanismo de aumento ou redução do arraste nas ranhuras. O aumento ocorre quando existe uma grande área afetada pelo movimento para baixo “lavando” a superfície (Fig. 4a), enquanto que para haver redução, o vórtice não penetra na ranhura, minimizando a área de “lavagem” (Fig. 4b).

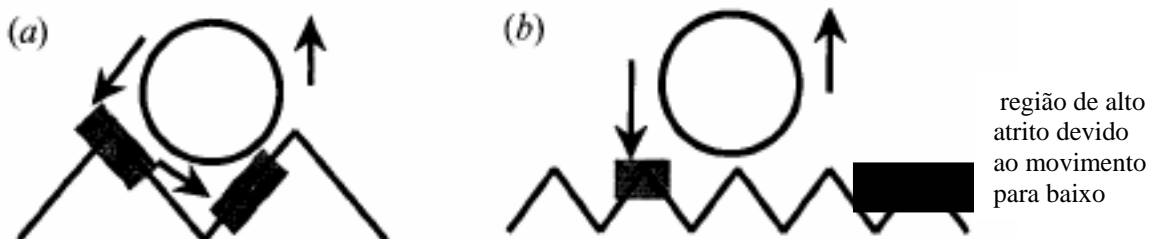


Figura 4: Diagrama esquemáticos dos mecanismos de aumento e redução do arraste. (a) aumento de arraste (b) redução de arraste. Choi et al [4]

A Figura 5 ilustra o campo de tensão cisalhante obtido sobre a superfície rugosa. Observa-se que a tensão é maior nos vértices superiores das ranhuras, ilustrando uma situação como em (b) de redução de arraste.

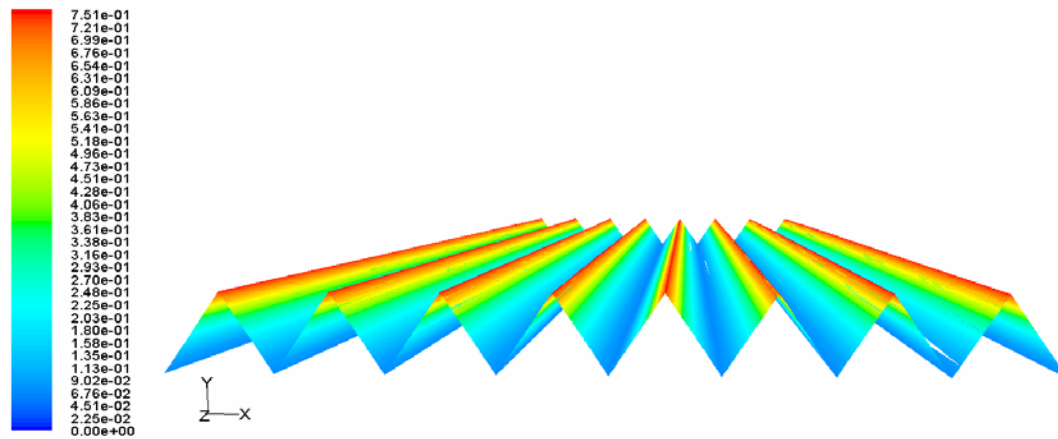


Figura 5: Distribuição de tensão cisalhante

Conclusões

A análise preliminar realizada com o modelo de turbulência k-e foi capaz de fornecer indicações sobre o comportamento do escoamento, ilustrando que é possível obter redução de arraste com a presença das ranhuras.

A determinação das estruturas dos vórtices, para uma melhor compreensão do fenômeno requer uma análise mais aprofundada (tri-dimensional, transiente). Para esta nova etapa, o escoamento será obtido com um modelo de turbulência LES e/ou com uma Simulação Numérica Direta, os quais são mais apropriados a tal situação. Apesar do alto custo computacional dessa nova etapa, os dados obtidos permitirão, com seu nível de detalhamento, uma melhor explicação do fenômeno.

O campo de velocidade média, juntamente com as distribuições das tensões de Reynolds, serão comparados com dados de simulação numérica direta disponíveis na literatura [4]. Comparação com dados experimentais obtidos no Departamento de Engenharia Mecânica da PUC também serão realizadas, visando auxiliar complementar as informações, assim como explicar quando e porque as ranhuras podem reduzir o arraste.

Referências

- 1 –ROBINSON, S. K., 1991, Coherent motions in the turbulent boundary layer, **Ann. Rev. Fluid Mech.**, vol. 16, pp. 99.
- 2- COUSTOLS, E. SAVILL, A.M. 1992, Turbulent Skin-Friction Drag Redution by Active and Passive Means. In **Spatial Course on Skin Friction Drag Reduction**. AGRAD Rep 786.
- 3 – BUSHNELL, D.M. e MCGINLEY, C.B, 1989, Turbulence Control in Wall Flows. **Ann. Rev. Fluid Mech.**, vol. 21, pp. 1.
- 4 – CHOI, H, MOIN, P. KIM, J., 1993, Direct Numerical Simulations of Turbulent Flow Over Riblets, **Journal of Fluid Mechanic**, vol. 225, pp. 503-539.
- 5 –WALSH, M. J., 1983, Riblets as a Viscous Drag Reduction Technique, **AIAA**, paper 78-1161.