

Análise Estatística de Escoamentos Turbulentos

Alexandre Rafael B. Matias*, William Roberto Wolf.

Resumo

Uma das motivações para o estudo de escoamentos turbulentos são suas propriedades de transporte de matéria, quantidade de movimento e energia. Além disso diversas aplicações científicas e cotidianas envolvem escoamentos em regime turbulento. Este trabalho busca abordar o estudo estatístico de escoamentos turbulentos obtidos através de uma base de dados de simulação numérica direta (DNS).

Palavras-chave:

Mecânica dos fluidos computacional, Turbulência.

Introdução

O presente projeto aborda o estudo de métodos estatísticos aplicados em escoamentos turbulentos. Pretende-se analisar bases de dados de turbulência isotrópica e turbulência em canais periódicos. Nelas serão analisadas estatísticas como médias, além de parâmetros como tensões de Reynolds e comprimentos das escalas turbulentas. Além disso, também serão calculadas componentes do balanço de energia cinética turbulenta e, após esses resultados, serão calculados os balanços utilizando modelos de turbulência RANS (Reynolds averaged equations) e seu desempenho comparado.

Resultados e Discussão

Inicialmente realizou-se uma revisão da literatura relacionada à pesquisa. Foram revisados conceitos de modelagem estatística de escoamentos turbulentos; modelos de turbulência RANS; derivadas numéricas e adequações necessárias para malhas estiradas.

A seguir, foi selecionado um escoamento em canal da base de dados de simulação numérica direta (DNS) da universidade Johns Hopkins para realização das análises. Foram calculadas estatísticas para os dados do canal e, assim, foi possível calcular as componentes do balanço de energia cinética turbulenta representado abaixo.[2]

$$\frac{dk}{dt} = C + P + T + D + D_p - \epsilon$$

- Convecção: $C = -\langle U_j \rangle \frac{dk}{dx_j}$
- Produção: $P = -\langle u_i u_j \rangle \frac{d\langle U_i \rangle}{dx_j}$
- Transporte Turbulento: $T = -\frac{1}{2} \frac{d\langle u_i u_j u_k \rangle}{dx_j}$
- Difusão Viscosa: $D = \nu \frac{d^2 k}{dx_j dx_j}$
- Difusão de Pressão: $D_p = -\frac{1}{\rho} \frac{d\langle u_j p \rangle}{dx_j}$
- Pseudo-Dissipação: $\epsilon = \nu \left\langle \frac{du_i}{dx_j} \frac{du_i}{dx_j} \right\rangle$

Para resolver as equações, foram utilizados esquemas de diferenças finitas para as derivadas numéricas. Optou-se prioritariamente por métodos centrados.

A seguir, foram desenvolvidos códigos para solução de alguns modelos de turbulência RANS. Para isso, assumimos algumas hipóteses simplificadoras, como:

- Modelagem do tensor de tensões de Reynolds: Hipótese para viscosidade turbulenta.

$$\langle u_i u_j \rangle = \frac{2}{3} k \delta_{ij} - \nu_T \left(\frac{d\langle U_i \rangle}{dx_j} + \frac{d\langle U_j \rangle}{dx_i} \right)$$

- Modelagem das componentes transporte turbulento e difusão de pressão.

$$\frac{1}{2} \rho \frac{d\langle u_i u_j \rangle}{dx_j} + \frac{d\langle u_j p \rangle}{dx_j} = -\frac{\mu_T}{\sigma_k} \frac{dk}{dx_j}$$

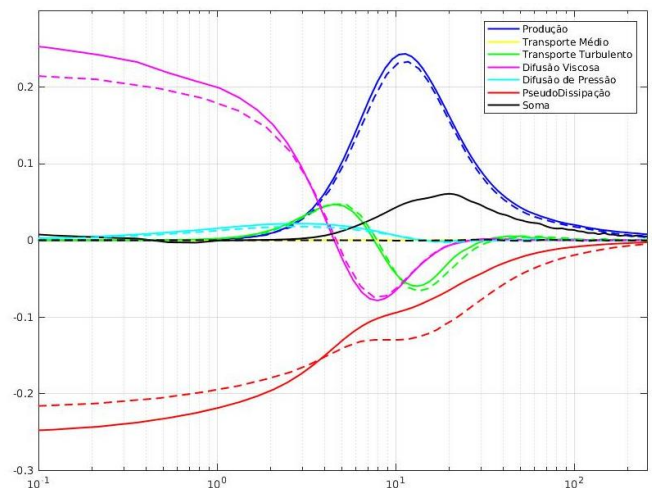


Figura 1. Balanço de Componentes da Equação de Energia Cinética Turbulenta. Linha contínua: DNS; Tracejada: KIM, 1989 [3].

Conclusão

Nos cálculos das componentes do balanço original percebe-se que os resultados obtidos são coerentes com o esperado. A soma das componentes apresenta valores diferentes de zero em poucas regiões do domínio de análise. Essa diferença pode estar associada a erros dos esquemas numéricos utilizados.

Contudo, para os modelos de turbulência, não foram identificados resultados coerentes para o balanço das componentes. Em algumas componentes modeladas foram obtidos valores diversas ordens de grandeza diferentes do esperado.

Agradecimentos

Agradecimentos ao professor William Wolf, que mostrou-se sempre solícito e disponível para orientação do projeto.

¹Pope, S. B. (2001). Turbulent flows. IOP Publishing.

²Schiavo, L. A., Jesus, A. B., Azevedo, J. L., and Wolf, W. R. (2015). Large eddy simulations of convergent-divergent channel flows at moderate reynolds numbers. International Journal of Heat and Fluid Flow, 56:137–151.

³Graham, J., Kanov, K., Yang, X. I. A., Lee, M., Malaya, N., Lalescu, C. C., Burns, R., Eyink, G., Szalay, A., Moser, R. D., and Meneveau, C. (2016). A web services accessible database of turbulent channel flow and its use for testing a new integral wall model for les. Journal of Turbulence, 17(2):181–215.