Um modelo híbrido para evolução espectral da densidade de energia no período da manhã

Charles R. P. Szinvelski, Lidiane Buligon,
Gervásio A. Degrazia, Antonio G. O. Goulart

PPGFis/CCNE/UFSM/CRS/INPE/Santa Maria, RS
e-mail: charless@mail.ufsm.br

1. Introdução

Neste trabalho, apresenta-se um modelo híbrido para a evolução espectral da densidade de energia (HINZE, 1975) no período da manhã. O modelo emprega uma configuração mista dos parâmetros de transferência de energia inercial *W*. O primeiro, W_b (GOULART *et al*, 2007), considera um regime anisotrópico atuante para baixos números de onda e o segundo, W_a (PAO, 1965), para o restante da região. Considera-se um termo de fonte de energia ($H \equiv F$) relacionado a atuação do parâmetro de fluxo de calor na superfície.

2. O modelo e solução

No domínio $D := \{(1, k_i) \times [0, 40]\}$ é válida a EDP:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \mathrm{E}(k',t_*)}{\partial t_*} + \left(c_2 \psi_\varepsilon^{2/3} k'^{1/3}\right) \dfrac{\partial \mathrm{E}(k',t_*)}{\partial k'} + \left(c_2 \psi_\varepsilon^{2/3} k'^{-2/3} + \dfrac{2}{\mathrm{Re}} k'^{1/3}\right) \mathrm{E}(k',t_*) = \\ = \dfrac{\left(\dfrac{w_* z_i}{\left(\overline{w\theta}\right)_0} \dfrac{\partial \theta}{\partial z} c_1 \psi_\varepsilon^{-1/3}\right)}{c_2 \psi_\varepsilon^{2/3}} k'^{-2/3} E_{0-Krist}(k')\, sen\left(\dfrac{z_i \Omega}{w_*} t_*\right); \mathrm{E}(k', t_* = 0) = 0, \end{cases} \tag{1}$$

via Método das Características transforma-se na EDO

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{dV}(s,r)}{dr}+\left(\begin{array}{l}\dfrac{c_2\psi_\varepsilon^{2/3}}{3}\left(s^{2/3}+\dfrac{2c_2\psi_\varepsilon^{2/3}}{3}r\right)^{-1} \\ \qquad +\dfrac{2}{\mathrm{Re}\,c_2\psi_\varepsilon^{2/3}}\left(s^{2/3}+\dfrac{2c_2\psi_\varepsilon^{2/3}}{3}r\right)^{3}\end{array}\right)\mathrm{V}(s,r)= \\ =\dfrac{\left(\dfrac{w_* z_i}{\left(\overline{w\theta}\right)_0}\dfrac{\partial\theta}{\partial z}c_1\psi_\varepsilon^{-1/3}\right)}{c_2\psi_\varepsilon^{2/3}}\left(s^{2/3}+\dfrac{2c_2\psi_\varepsilon^{2/3}}{3}r\right)^{-1}\mathrm{F}(k')\,sen\left(\dfrac{z_i\Omega}{w_*}t_*\right); \\ V(r=0)=0, \end{cases} \qquad (2)$$

Utiliza-se a solução do modelo anisotrópico (Resolvido por Runge-Kutta de 4ª ordem) como *c.i.* para a EDO que modela a atuação de $\mathrm{W_a}$ na região (k_i',∞) e t_*, $(t_*\in[0;40])$, fixo:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \mathrm{E}(k',t_*)}{\partial k'}+\left(\dfrac{5}{3}k'^{-1}+\dfrac{C}{A}k'^{1/3}\right)\mathrm{E}(k',t_*)=\dfrac{D}{A}k'^{-7/3}\mathrm{F}(k')\,sen\left(\dfrac{z_i\Omega}{w_*}t_*\right) \\ \mathrm{E}(k_i')=\mathrm{E_{W_b}}(k_i'), \end{cases} \qquad (3)$$

sendo que $k'=kz_i$; $t_*=\dfrac{w_*t}{z_i}$; $A=\alpha^{-1}\psi_\varepsilon^{1/3}$; $B=\dfrac{5}{3}A$; $C=\dfrac{2}{\mathrm{Re}}$ e

$$D=\frac{w_* z_i}{\left(\overline{w\theta}\right)_0}\frac{\partial\theta}{\partial z}c_1\psi_\varepsilon^{-1/3}.$$

Os valores para os parâmetros podem ser encontrados nos trabalhos de Goulart *et al.*, 2007 e Degrazia *et al.*, 2000. A função $\mathrm{F}(k')$ representa o espectro tridimensional da densidade de energia e é obtido em Kristensen *et al.*, 1989.

A integral resultante da Equação (3) é resolvida numericamente pelo Método de Integração de Romberg (BURDEN; FAIRES, 2003).

3. Resultados

Os resultados são apresentados na Figura 1 e forneceram as características esperadas e parametrizadas para a evolução espectral da densidade de energia, uma vez que para baixos números de onda verifica-se uma inserção efetiva de energia líquida na CLC possibilitando o crescimento desta, e ao tomar números de ondas maiores a curva de densidade de energia reproduz o comportamento padrão da lei de potências $k^{-5/3}$.

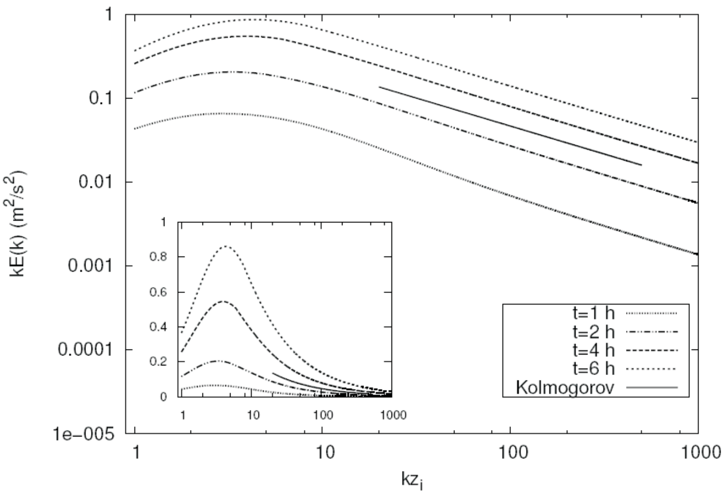

Figura 1. Espectro de densidade de energia tridimensional calculado a partir da solução da Modelo Híbrido proposto para $\frac{z}{z_i} = 0,5$.

4. Conclusão

Os resultados obtidos, neste estudo foram satisfatórios, uma vez que os espectros modelaram a evolução da CLC. O crescimento do espectro de energia modelado se deu pela inserção de energia na região de baixos números de onda, região em que o termo de transferência de energia não consegue transferir a energia inserida pelo termo de fonte. Observa em domínios de número de onda mais alto uma estabilização da variação do parâmetro temporal sobre o domínio $(k_i^{'}, \infty) \times [0, t_*)$, com o valor $k_i^{'} = 5$ adotado, indicando que a variação do número de onda governará a evolução do espectro de energia.

Agradecimento: Trabalho parcialmente financiado pela CAPES.

5. Referências bibliográficas

BURDEN, R.L., e FAIRES, J.D. *Análise Numérica.* São Paulo: Thomson, pp. , 2003.

DEGRAZIA, G.A. *et al*. Turbulence parameterisation for PBL dispersion models in all stability conditions. *Atmospheric Environment*, v. 34, p. 3575-3583, 2000.

GOULART, A.G. *et al*. A New Model for the CBL Growth Based on the Turbulent Kinetic Energy Equation. *Envionmental Fluid Mechanics,* v. 7, p. 409-419, 2007.

HINZE, J.O. *Turbulence.* Mc Graw Hill, pp. 790, 1975.

IÓRIO, V. M. *EDP. Um Curso de Graduação.* Rio de Janeiro: IMPA, Ed. 2ª, pp. 300, 2001.

KRISTENSEN, L. *et al*. The spectral velocity tensor for homogeneous boundary-layer turbulence. *Boundary-Layer Meteorology,* v. 47, p. 149-193, 1989.

PAO, Y.H. Structure of Turbulent Velocity and Scalar Fields at Large Wavenumbers. *Physics of Fluids*, v. 8, 1063-1075, 1965.