

## Propriedades do Skewness da velocidade vertical turbulenta no caso de convecção forte: simulação de LES e dados observacionais

*G. A. Degrazia, S. Maldaner, U. Rizza, L. B. Krott,  
J. B. Gonçalves, G. S. Welter, F. S. Puhales*

*Departamento de Física/CCNE/UFSM/CRS/INPE/Santa Maria, RS -Brasil  
e-mail: silvana.maldaner@gmail.com*

### 1. Introdução

O Skewness da velocidade vertical turbulenta em uma camada limite convectiva (CLC) representa a razão da área (em diferentes alturas) coberta por movimentos de ar ascendentes (termas) para a área coberta por movimentos de ar descendentes (movimento vertical divergente). Do ponto de vista físico, o skewness da velocidade vertical é um indicativo da estrutura do movimento vertical. Quando este skewness é positivo as colunas de ar ascendentes são mais estreitas do que o movimento de ar descendente (Moeng e Rotunno, 1990). Desta forma, o skewness é uma grandeza estatística importante no estudo do transporte turbulento de escalares na CLC.

Em geral, modelos de dispersão turbulenta, como os modelos estocásticos de difusão lagrangiana, quando descrevem a dispersão de contaminantes na CLC empregam formulações que fornecem um valor positivo para o skewness na totalidade da região vertical caracterizada pela CLC.

O objetivo deste estudo é analisar dados numéricos de de skewness de alta resolução gerados por um modelo LES em uma camada limite fortemente convectiva. Investiga-se a magnitude e o sinal desta grandeza estatística em diferentes regiões verticais da CLC. Estes valores simulados são comparados com valores de skewness observados em torres micrometeorológicas na camada limite superficial convectiva.

### 2. Experimento numérico empregando a metodologia LES

O modelo LES usado neste estudo tem sido largamente aplicado e testado na investigação de problemas básicos de pesquisa em escoamentos turbulentos na camada limite planetária. A formulação deste

modelo LES é baseada nos trabalhos de Moeng (1984) e Sullivan et al. (1994). As soluções numéricas apresentadas neste estudo são obtidas em pontos de grade localizados em um domínio de (5,5,2) Km, empregando-se 256 pontos de grade (caracterizando uma simulação de alta resolução). Nesta simulação foi mantido um fluxo de calor turbulento cinemático constante com a magnitude de  $0,24Kms^{-1}$  com um vento geostrófico fixado em  $3,6ms^{-1}$ . O valor inicial para altura da CLC foi de  $(Zi)_0 = 1000m$  (ver as tabelas 1 e 2).

**Tabela 1.** Parâmetros internos do LES.

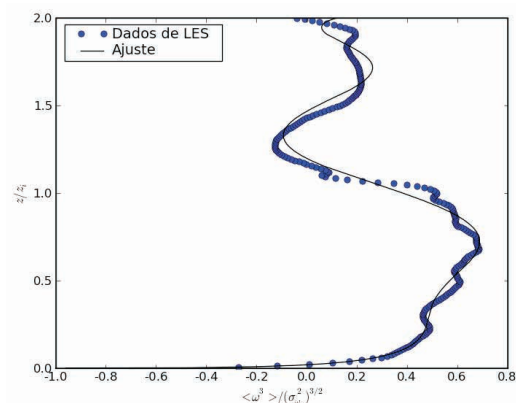
Tipo de camada	$N^3$	$L_x, L_y, L_z$	$U_g$	$Q^*$	$(Zi)_0$
CF(convecção forte)	256	(5,5,2) Km	$3,6 ms^{-1}$	$0,24ms^{-1}K$	100m

**Tabela 2.** Parâmetros internos para todas as simulações

Tipo de camada	$u_*$	$w_*$	$b$	$-b/L$
CF	$0,23 ms^{-1}$	$1,95 ms^{-1}$	1020 m	110

### 3. Análise dos resultados numéricos e comparação com dados observacionais

O perfil do skewness da velocidade vertical obtido na simulação é mostrado na Figura 1.



**Figura1.** Perfil do skewness da velocidade vertical.

Os pontos na Figura 1 representam os dados numéricos de LES e a linha contínua é um ajuste reproduzindo estes pontos. Pode-se ver na figura, em uma região próxima à superfície, a presença de pequenos valores negativos de skewness. Estes valores negativos foram discutidos por Moeng (1984) e Moeng e Rotunno (1990). As magnitudes negativas do skewness de velocidade vertical fornecem evidências que na região bem próxima à superfície da CLC existe uma ação dominante do transporte ascendente, isto é, fluido ascendente ocupa uma área maior do que fluido descendente. Alguns valores de skewness obtidos a partir de dados observacionais medidos em uma torre micrometeorológica situada na região de Candiota (RS, Brasil) confirmam estas magnitudes negativas para o skewness. Por exemplo, magnitudes da ordem  $-10^{-2}$  foram calculadas a partir de dados de anemômetro sônico a uma taxa de amostragem de 10 Hz em uma altura de 8m. É importante ressaltar que o Skewness simulado pelo LES é da ordem  $-10^{-1}$ , enquanto o valor observado é da ordem de  $10^{-2}$ . A Figura 1 indica também que o skewness da velocidade vertical torna-se positivo em níveis mais altos e aumenta em níveis superiores. Este aumento no skewness pode ser explicado seguindo Moeng e Rotunno (1990): embora a área associada aos movimentos ascendentes individuais de ar permaneça constante com a altura, existe em níveis superiores uma presença pequena de movimentos ascendentes em comparação com os níveis mais baixos. A linha contínua na Figura 1 é representada pelo seguinte ajuste algébrico:

$$\begin{aligned}
 S\left(\frac{Z}{Z_i}\right) &= \frac{\overline{w^3}}{(\overline{w^2})^{3/2}} = -7,12 \times 10^3 + 7,51 \times 10^3 \left(\frac{Z}{Z_i}\right) - 4,15 \times 10^3 \left(\frac{Z}{Z_i}\right)^2 + 1,20 \times 10^3 \left(\frac{Z}{Z_i}\right)^3 + \\
 &26,9 \left(\frac{Z}{Z_i}\right)^4 - 1,19 \times 10^2 \left(\frac{Z}{Z_i}\right)^5 + 22,4 \left(\frac{Z}{Z_i}\right)^6 - 4,00 \times 10^2 \exp\left(\left(-\frac{Z}{Z_i}\right)^2\right) + \\
 &+ 7,52 \times 10^3 \exp\left(-\frac{Z}{Z_i}\right) + 0,33 \log\left(\frac{Z}{Z_i}\right)
 \end{aligned}$$

#### 4. Conclusão

Neste estudo foram comparados dados numéricos de skewness (de alta resolução gerados por um modelo LES), em uma camada limite fortemente convectiva, com dados experimentais de skewness medidos na camada limite superficial convectiva. Comparando-se os valores simulados de skewness com os valores observados na torre

micrometeorológica de 8m observa-se que o modelo LES fornece, em uma região próxima à superfície, valores negativos de skewness da ordem de  $-10^{-1}$ , enquanto os valores experimentais são da ordem de  $-10^{-2}$ . Sabendo-se que o skewness é um parâmetro estatístico fundamental em modelagem de dispersão de contaminantes será necessário testar estas diferenças de magnitudes em um modelo estocástico de difusão turbulenta lagrangiana.

**Agradecimentos:** Este trabalho foi financiado por CAPES e CNPQ.

### Referências

- LACORATA, G.; MAZZINO, A.; RIZZA, U. 3d chaotic model for subgrid turbulent dispersion in large eddy simulations. **Journal of Atmospheric Science**, v. 65, p. 2389-2401, 2008.
- MOENG, C.-H. A large-eddy-simulation model for the study of planetary boundary layer turbulence. **Journal of Atmospheric Science**, v. 41, p. 2052–2062, 1984.
- MOENG, C.-H.; ROTUNNO, R. Vertical-velocity skewness in the buoyancy-driven boundary layer. **Journal of Atmospheric Science**, v. 47, p. 1149-1150, 1990.
- MOENG, C. H.; SULLIVAN, P. P. A comparison of shear and buoyancy driven planetary boundary layer flows. **Journal of Atmospheric Science**, v. 51, p. 999–1022, 1994.