

## Simulações LES de uma camada limite convectiva empregando um espaçamento de grade vertical variável

F. S. Puhales<sup>1</sup>, U. Rizza<sup>2</sup>, G. A. Degrazia<sup>1</sup>, A. G. O. Goulart<sup>3</sup>,  
J. C. Carvalho<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física/CCNE/UFSM/Santa Maria, RS, Brazil*

<sup>2</sup>*C.N.R./Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima/Lecce, Italy*

<sup>3</sup>*Centro de Tecnologia de Alegrete/UNIPAMPA/UFSM/Alegrete, RS, Brazil*

<sup>4</sup>*Faculdade de Meteorologia, UFPel/Pelotas, RS, Brasil*

### 1. Introdução

No estudo da turbulência na Camada Limite Planetária (CLP) o emprego da metodologia de Simulação dos Grandes Turbilhões (LES) permite entender fenômenos físicos complexos que apresentam padrões que não são facilmente mensuráveis. O grande avanço da computação de alto desempenho tem permitido que modelos LES forneçam resultados cada vez mais realísticos e capazes de descreverem estados turbulentos e padrões micrometeorológicos evolutivos da CLP. O modelo LES resolve numericamente as equações de movimento para os turbilhões mais energéticos e parametriza os turbilhões associados às frequências mais altas do subintervalo inercial (turbilhões apresentando um comportamento universal). Um dos problemas em LES é simular a região vertical da CLP na vizinhança da superfície. Normalmente, os modelos LES não resolvem explicitamente os turbilhões mais energéticos nos primeiros metros de uma CLC. O objetivo deste trabalho é introduzir em um modelo LES um espaçamento de grade vertical variável na vizinhança da superfície e reproduzir características médias e turbulentas de uma Camada Limite Convectiva.

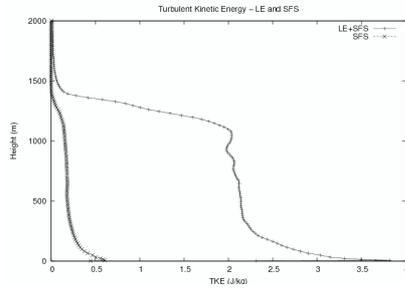
### 2. Metodologia

Os experimentos numéricos realizados neste estudo são baseados no modelo LES desenvolvido por Moeng (1984), com a parametrização da turbulência de subfiltro baseada no trabalho de Sullivan et al (1994). Após implementar a parametrização de espaçamento de grade variável proposta por Degrazia et al (2007) no modelo LES fez-se uma simulação para uma

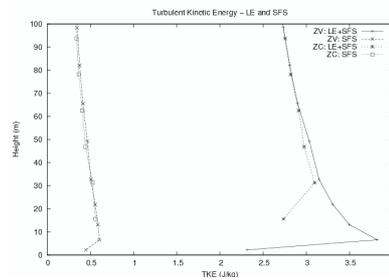
malha de 128 pontos em cada dimensão, usando-se um domínio de  $5000m \times 5000m \times 2000m$  nas direções  $x, y, z$ , respectivamente. Na simulação, manteve-se um fluxo turbulento de energia na forma de calor de magnitude  $\overline{w'\theta'} = 0,24Km/s$  e um vento geostrófico de módulo  $U_g = 10m/s$  e  $V_g = 0$ . Partindo-se de com uma altura de camada dada por  $z_i = 1000m$  e uma temperatura potencial superficial  $\theta = 300K$ , foram realizadas simulações utilizando-se o modelo de grade variável e o modelo contendo a estrutura convencional de grade.

### 3. Resultados das simulações LES

O gráfico da Figura 1(a) apresenta o perfil da energia cinética turbulenta, onde cada ponto vertical representa uma média horizontal e a Figura 1(b) o mesmo gráfico, porém apresentando uma resolução espacial detalhada na região próxima a superfície. A Figura 1(b) também mostra uma comparação entre a simulação com o espaçamento vertical de grade variável (ZV) e com a grade convencional (ZC). Considerando-se a configuração descrita acima, a Figura 1(b) mostra que a simulação realizada com a grade variável reproduz os pontos mais próximos à superfície (aproximadamente  $2m$ ) enquanto a simulação realizada com a grade convencional não percebe as características físicas da energia cinética turbulenta que estão localizadas em alturas inferiores a  $15m$ . A proposta de um modelo LES é capturar os efeitos físicos dos turbilhões mais energéticos e atribuir aos movimentos de subfiltro os efeitos dissipativos das escalas resolvidas. Neste contexto, as Figuras 2(a) e 2(b) exibem a razão entre a energia cinética turbulenta de subfiltro e a energia cinética turbulenta total. Analisando-se estas figuras percebe-se que a energia de subfiltro, desde a superfície (aproximadamente  $2m$ ), onde normalmente esta razão é crítica, é sempre inferior a 20%. Este resultado pode ser considerado bastante satisfatório e que distintamente do caso tradicional exibe esta razão para regiões bem próxima a superfície.

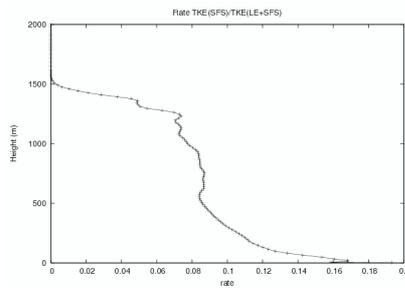


(a)

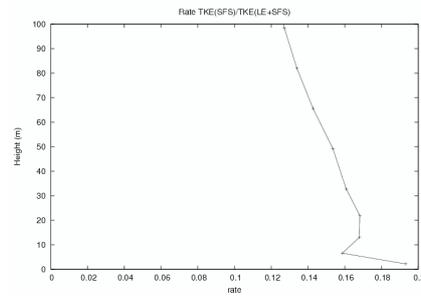


(b)

**Figura 1.** (a) Perfil da energia cinética média (b) Comparação do perfil da energia cinética média simulada com uma grade vertical variável (ZV) e constante (ZC).



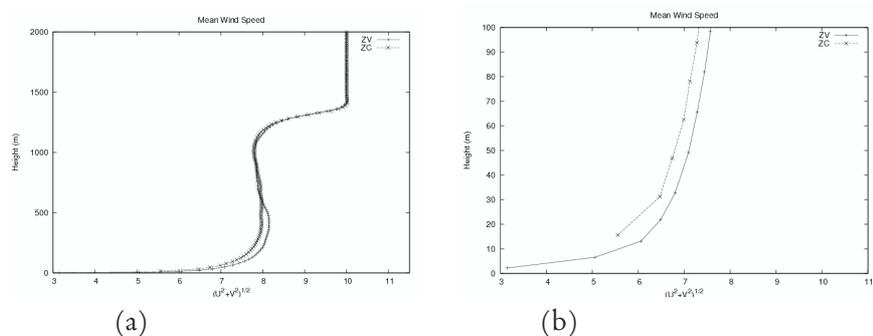
(a)



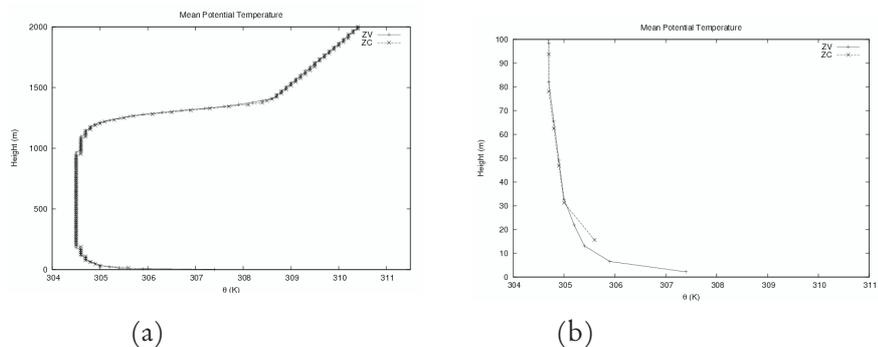
(b)

**Figura 2.** Razão entre a energia cinética de subfiltro e total da simulação para todo o perfil vertical (a) e para os níveis mais próximos do solo (b).

As Figuras 3(a), 3(b), 4(a) e 4(b) mostram uma comparação entre o perfil da magnitude da velocidade média do vento e temperatura potencial média obtidas com a simulação envolvendo o espaçamento vertical variável e convencional. Analisando-se estes gráficos nota-se que a nova simulação, empregando a grade vertical variável reproduz estas grandezas médias de uma maneira idêntica à grade convencional. Todavia, a importante diferença que deve ser ressaltada é que a nova simulação (empregando a grade variável) mostra o comportamento vertical das variáveis médias desde a superfície, enquanto a simulação tradicional (não empregando a grade variável) simplesmente não exibe estas variáveis médias nas regiões vizinhas ao solo.



**Figura 3.** (a) Comparação entre os perfis da magnitude da velocidade média do vento na CLP gerados por uma simulação com grade variável (ZV) e constante (ZC) (b) A mesma comparação para os níveis mais próximos do solo.



**Figura 4.** (a) Comparação entre os perfis de temperatura potencial média do vento na CLP gerados por uma simulação com grade variável (ZV) e constante (ZC) (b) A mesma comparação para os níveis mais próximos do solo.

#### 4. Referências

Moeng, C.-H.: 1984, 'A Large-Eddy-Simulation Model for the Study of Planetary Boundary-Layer Turbulence', *J. Atmos. Sci.*, **41**, 2052-2062.

Sullivan, P. P., Mc Williams, J. C., Moeng, C.-H.: 1994, 'A Subgrid Model for Large-Eddy Simulation of Planetary Boundary Layer Flows', *Boundary-Layer Meteorol.*, **71**, 247-276.