

# APLICAÇÃO DE UMA INTERFACE MICROMETEOROLÓGICA PARA DETERMINAR OS PARÂMETROS DE ESCALA DA CAMADA LIMITE PLANETÁRIA

**MACEDO, Luana Ribeiro<sup>1</sup>,  
SILVEIRA, Viliam Cardoso da**<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Bolsistas do Programa de Educação Tutorial (PET/MEC/SESU) do curso de graduação em Meteorologia  
Universidade Federal de Pelotas (UFPEL),  
1- *luanamacedo-sls@hotmail.com*  
2- *viliamcardoso@hotmail.com*

**CARVALHO, Jonas da Costa**<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Professor (Doutor) da Faculdade de Meteorologia (DFMET)  
Universidade Federal de Pelotas (UFPEL),  
3-*jonas.carvalho@ufpel.edu.br*

## 1. INTRODUÇÃO

Em problemas de dispersão de poluentes na atmosfera, a determinação de parametrizações turbulentas representa uma decisão fundamental para a modelagem da dispersão de poluentes. A formulação das parametrizações depende fundamentalmente dos parâmetros que descrevem o estado da camada limite planetária (CLP), os quais são denominados parâmetros de escala da CLP ou parâmetros micrometeorológicos. O objetivo deste trabalho é desenvolver e aplicar uma interface micrometeorológica (IM) para calcular os parâmetros de escala da CLP. A interface calcula os parâmetros principais [fluxo de calor na superfície ( $Q_h$ ) e fluxo de momentum na superfície ( $\rho u_*^2$ )] e os parâmetros derivados [velocidade de fricção ( $u_*$ ), escala de velocidade convectiva ( $w_*$ ), comprimento de Obukhov ( $L$ ) e altura da CLP ( $h$ )]. A estimação destes parâmetros é realizada a partir de dados rotineiramente medidos em estações meteorológicas de superfície, tais como: cobertura total de nuvens, pressão, temperatura, direção e velocidade do vento.

## 2. METODOLOGIA

O método utilizado para determinar os parâmetros de escala da CLP é chamado Método do Balanço de Energia e é baseado no trabalho de Holtslag e van Ulden (1983). O balanço de energia na superfície pode ser escrito como:

$$Q_* + Q_f = Q_h + Q_e + Q_g, \quad (1)$$

onde  $Q_*$  é a radiação líquida,  $Q_f$  é o fluxo de calor antropogênico,  $Q_h$  é o fluxo de calor sensível,  $Q_e$  é o fluxo de calor latente e  $Q_g$  é o fluxo de calor dentro do solo.

O fluxo de calor sensível durante o dia pode ser determinado a partir da Equação (1) e de outras quantidades conhecidas:

$$Q_h = \frac{B}{1+B} [Q_* (1 - c_g) + Q_f], \quad (2)$$

onde  $B$  é a razão de Bowen (razão do fluxo de calor sensível para o fluxo de calor latente) e  $c_g$  é uma constante que depende das propriedades da superfície.

Uma vez que  $Q_h$  é determinado, o comprimento de Obukhov ( $L$ ) e a velocidade de fricção ( $u_*$ ) são calculados por iteração:

$$u_* = k\bar{u} / [\ln(z/z_o) - \psi_m(z/L) + \psi_m(z_o/L)] \quad (3)$$

e

$$L = -\rho c_p T u_*^3 / kg Q_h, \quad (4)$$

onde  $z_o$  é o comprimento de rugosidade na superfície,  $\bar{u}$  é a velocidade média do vento,  $k$  é a constante de von Karman ( $k = 0,4$ ),  $\psi_m$  é uma função de estabilidade,  $c_p$  é o calor específico a pressão constante,  $\rho$  é a densidade do ar,  $T$  é a temperatura do ar e  $g$  é a aceleração gravitacional. Durante condições estáveis,  $u_*$  é calculado através do seguinte método:

$$u_* = 0,5 C_{DN} \bar{u} [1 + C^{1/2}], \quad (5)$$

onde

$$C = 1 - (4u_o^2 / C_{DN} \bar{u}^2) \quad u_o^2 = \gamma z_m g \theta_* / T,$$

$C_{DN}$  é o coeficiente de arrasto neutro,  $\gamma$  é uma constante ( $\gamma = 4,7$ ) e  $z_m$  é altura de observação da velocidade do vento.

A escala de temperatura,  $\theta_*$ , é calculada como o mínimo de duas estimativas:

$$\theta_* = \min[\theta_{*1}, \theta_{*2}]. \quad (6)$$

onde

$$\theta_{*1} = 0.09(1 - 0.5N^2) \quad \text{e} \quad \theta_{*2} = TC_{DN} \bar{u}^{-2} / 4\gamma z_m g$$

onde  $N$  é a fração do céu coberto por nuvens.

O fluxo de calor sensível durante a noite pode ser calculado em função de  $u_*$  e  $\theta_*$  por:

$$Q_h = -\rho c_p u_* \theta_* \quad (7)$$

A altura da CLP durante condições convectivas é determinada pela equação diferencial sugerida por Gryning e Batchvarova (1990):

$$\frac{dh}{dt} = \frac{(1 + 2\alpha)h - 2\beta k L Q_h}{h^2 \gamma}, \quad (8)$$

onde  $\alpha = 0.2$ ,  $\beta = 2.5$  e  $\gamma_\theta$  é o gradiente de temperatura potencial. A altura da CLP estável é determinada a partir da equação sugerida por Zilitinkevich (1972):

$$h = 0.4 \sqrt{u_* L / f}, \quad (9)$$

onde  $f$  é o parâmetro de Coriolis. A altura da CLP em condições neutras é sugerida por Deardorff (1974):

$$h = 0,25 u_* / f. \quad (10)$$

A escala de velocidade convectiva é computada através da seguinte equação:

$$w_* = (g Q_h z h / T \rho c_p)^{1/3}. \quad (11)$$

As classes de estabilidade de Pasquill são determinadas em função da velocidade do vento, do ângulo de elevação solar e da cobertura de nuvens. A classificação de Pasquill é resumida da seguinte forma: (A) extremamente instável; (B) moderadamente instável; (C) levemente instável; (D) neutra; (E) levemente estável; (F) moderadamente estável.

A interface micrometeorológica foi implementada em linguagem de programação FORTRAN90 e pode ser utilizada tanto em Windows quanto em Linux.

### 3. RESULTADOS

Dados meteorológicos medidos pela estação de superfície do 8° DISME/INMET em Porto Alegre, durante o mês de janeiro de 2009, são usados para aplicação da IM. A partir de dados observados de pressão, temperatura, direção e velocidade do vento, a interface calcula o fluxo de calor na superfície ( $Q_h$ ), a velocidade de fricção ( $u_*$ ), a escala de velocidade convectiva ( $w_*$ ), o comprimento de Monin-Obukhov ( $L$ ), a altura da CLP ( $h$ ) e as classes de estabilidade de Pasquill. As séries no tempo de  $Q_h$ ,  $L$ ,  $u_*$  e  $w_*$  representam valores médios para o mês janeiro de 2009, enquanto os gráficos de  $h$  e classe de estabilidade de Pasquill representam os percentuais de acontecimentos durante o mesmo mês. Observa-se claramente a diferença no comportamento dos parâmetros para os regimes de turbulência durante o dia e durante a noite. O fluxo de calor (Figura 1a) é positivo durante o dia e negativo durante a noite; a inversão do sinal do fluxo de calor ocorre nos momentos de transição noite-dia e dia-noite. O comprimento de Obukhov (Figura 1b) é negativo durante o dia e positivo durante a noite, tendendo para o infinito nos momentos de transição. A velocidade de fricção (Figura 1c) é mínima nas primeiras horas da manhã e máxima no final da tarde, estando associada aos momentos de mínima e máxima velocidade do vento em superfície. A escala de velocidade convectiva (Figura 1d) está associada a atividade de mistura turbulenta térmica e, por isso, apresenta valores somente durante o dia. No período avaliado, a CLP apresentou comportamento moderadamente estável (Figura 1e) a maior parte do tempo. Tal condição está associada a ocorrência de inversões térmicas e ventos fracos gerados pela freqüente atuação de sistemas de alta pressão durante o período avaliado. As alturas da CLP (Figura 1f), calculadas pela IM, podem estar sendo subestimadas, uma vez que o mês de janeiro apresenta, normalmente, CLPs mais elevadas. De um modo geral, a IM parece responder de forma coerente às condições de escoamento na CLP, tanto qualitativamente quanto quantitativamente.

### 4. CONCLUSÕES

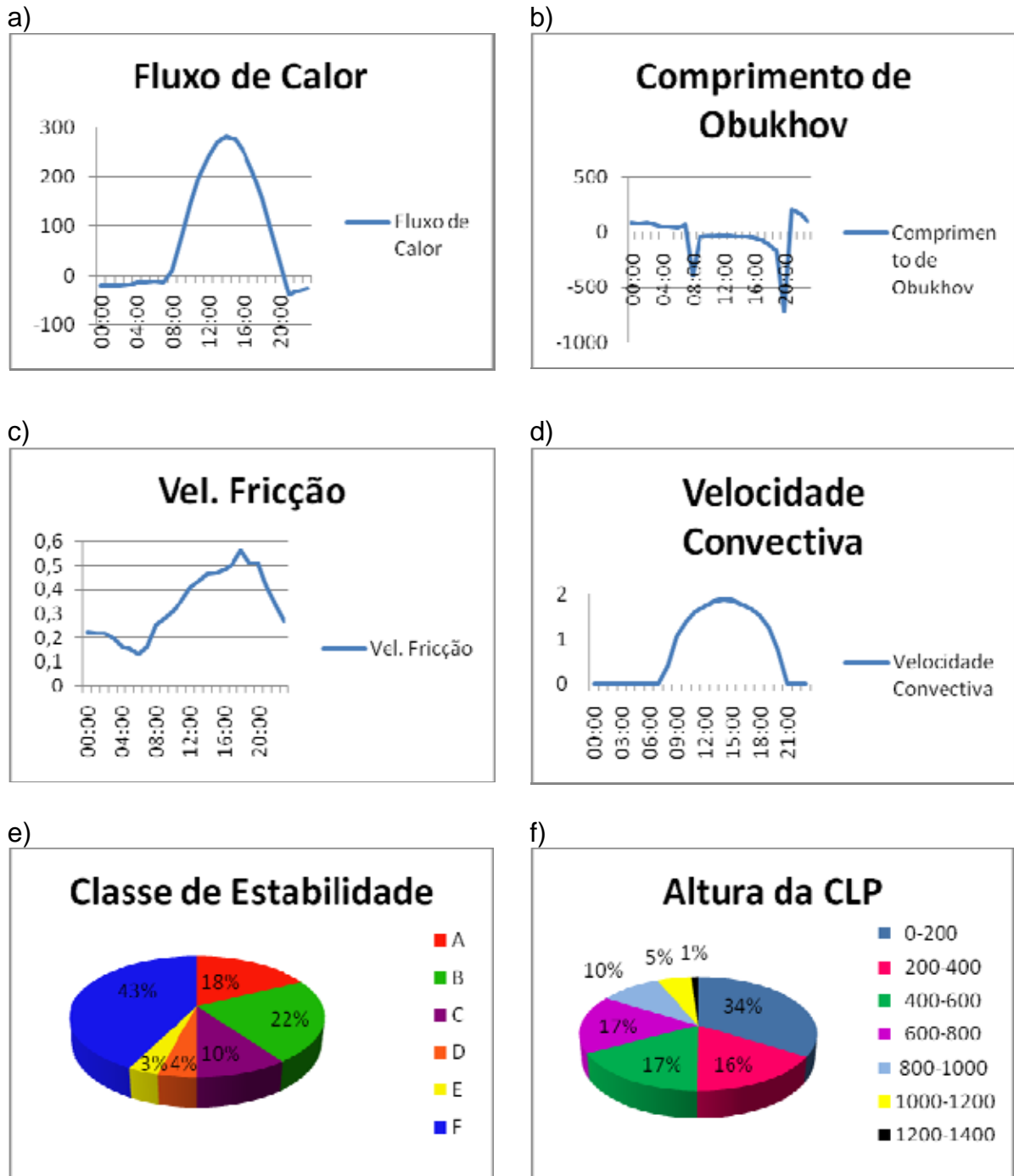
As seguintes conclusões são obtidas a partir deste trabalho: (1) todos os parâmetros calculados pela IM apresentam comportamentos fisicamente coerentes e valores dentro de intervalos aceitáveis, respondendo qualitativamente e quantitativamente às condições de escoamento na CLP; (2) a IM responde coerentemente às mudanças das condições micrometeorológicas e as condições de estabilidade na CLP; (3) a IM pode ser utilizada em um grande número de aplicações para a modelagem da dispersão de poluentes na CLP.

### 5. REFERÊNCIAS

- Deardorff, J.W. (1974): Three-dimensional numerical study of the height and mean structure of a heated planetary boundary layer. Bound.-Layer Meteor., 7, 81-106.
- Gryning, S.E. e Batchvarova, E. (1990): Simple model of the day time boundary layer height. 9<sup>th</sup> Symposium on Turbulence and Diffusion, American Meteorological Society, 379.

Holtstag, A.A.M., A.P. Van Ulden. (1983). A simple scheme for daytime estimates of the surface fluxes from routine weather data. J. Climate Applied Meteorology, 22, 517-529.

Zilitinkevich, S.S. (1972): On the determination of the height of the Eckman boundary layer. Bound.-Layer Meteor., 3, 141-145



**Figura 1:** Parâmetros de escala calculados pela IM: a) fluxo de calor sensível b) comprimento de Obukhov, c) velocidade de fricção, d) velocidade convectiva, e) classes de estabilidade Pasquill e f) altura da CLP.