

# Estudo da difusão empregando parâmetros turbulentos que descrevem a capacidade de mistura da Camada Limite Planetária

Andréa U. Timm<sup>1</sup>, Virnei S. Moreira<sup>1</sup>, Débora R. Roberti<sup>1</sup>,  
Gervásio A. Degrazia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física/UFSM, Santa Maria, RS, Brasil  
*e-mail: andreatimm@mail.ufsm.br*

## 1. Introdução

Devido à estrutura complexa da Camada Limite Planetária (CLP), onde os campos de vento e a turbulência são não-homogêneos e não-estacionários, a aplicação de modelos para a dispersão de poluentes é uma tarefa que encontra inúmeras dificuldades. Em situações de ventos fracos e especialmente durante condições estáveis, a estrutura turbulenta da CLP é deficientemente conhecida.

O objetivo deste estudo é utilizar um modelo de dispersão estocástico Lagrangeano para simular o experimento de INEL (Sagendorf e Dickson, 1974) realizado sob condições estáveis apresentando magnitudes baixas da velocidade do vento. A principal contribuição para este trabalho é testar uma nova parametrização dos parâmetros  $p$  e  $q$ , que representam as frequências associadas ao fenômeno de meandro do vento e estão presentes nas equações de Langevin para as componentes do vento horizontal. Esta nova parametrização é descrita em termos de  $m$  e  $T$ , onde  $m$  é uma quantidade adimensional que controla a frequência de oscilação do meandro e  $T$  é a escala de tempo associada aos turbilhões que compõem uma turbulência bem desenvolvida.

## 2. Parametrização

Simular a dispersão de escalares passivos em condições de velocidade do vento fraco é um problema físico difícil porque quando a velocidade do vento decresce abaixo de um certo valor crítico ( $\bar{u} < 1.5ms^{-1}$ ), não é possível definir uma direção precisa do vento médio. Neste caso, oscilações de baixa frequência do vento horizontal são observadas na baixa at-

atmosfera. Na literatura, estas são chamadas de meandro e são responsáveis pelas funções de autocorrelação das componentes horizontais do vento exibirem grandes lobes negativos. Assim, tornando-se crucial estimar corretamente a dispersão de poluentes na atmosfera. A seguinte relação,

$$R(\tau) = e^{-\frac{\tau}{(m^2+1)T}} \cos \frac{m\tau}{(m^2+1)T} \quad (1a)$$

$$e \quad R(\tau) = e^{-p\tau} \cos(q\tau) \quad (1b)$$

$$\text{onde:} \quad p = \frac{1}{(m^2+1)T} \quad e \quad q = \frac{m}{(m^2+1)T} \quad (1c)$$

foi proposta por Frenkiel (1953). As equações (1a) e (1b) contêm dois parâmetros, um ( $p$  ou  $T$ ) que pode ser associado à escala de tempo integral clássica e o segundo ( $q$  ou  $m$ ) ao período de meandro. Este último controla o valor absoluto do lobe negativo na função de autocorrelação Euleriana, sendo encontrado que a relação (1a) ajusta-se corretamente a  $R(\tau)$  experimental em situações de velocidade do vento fraco, enquanto a forma exponencial clássica é completamente deficiente.

Anfossi et al. (2005) desenvolveram um sistema de duas equações de Langevin acopladas para as componentes horizontais do vento, as quais levam em conta os parâmetros  $p$  e  $q$ . Esse sistema de equações foi proposto para simular a dispersão em condições de vento fraco e terreno plano. Estas equações foram implementadas no modelo estocástico Lagrangeano LAMBDA. A componente vertical da velocidade  $w$  foi calculada como usual no LAMBDA. A Função Densidade de Probabilidade (FDP) Gram-Chalier truncada na terceira ordem foi utilizada para a direção vertical.

Os principais parâmetros de entrada para descrever os efeitos de meandro do vento são os parâmetros  $p$  e  $q$ , os quais estão relacionados diretamente aos  $m$  e  $T$ . Os valores para os parâmetros  $m$  e  $T$  são calculados pela formulação empírica sugerida por Oetl e Anfossi (2005):  $m = 8.5/(1+U)^2$ ,  $T = mT_*/2\pi(1+U)^2$  e  $T_* = 200m + 500$ , onde  $U$  é a velocidade média do vento e  $\epsilon$  é o período de meandro.

### 3. Resultados e conclusões

No experimento de INEL (Idaho National Engineering

Laboratory) (Sagendorf e Dickson, 1974) o poluente SF<sub>6</sub> foi liberado 1,5m acima da superfície e coletado a 0,76m acima do nível do solo por sessenta amostradores (colocados em intervalos de 6°) sobre três arcos concêntricos (360°) com raios de 100, 200 e 400m em relação ao ponto de emissão (totalizando 180 amostradores). Medidas de velocidades do vento fornecidas por anemômetros nos níveis de 2, 4, 8, 16, 32 e 61m, localizados no arco de 200m, foram usadas para calcular o coeficiente para o perfil exponencial vertical do vento. A rugosidade da região do experimento era de 0.005m. O comprimento de Monin-Obukhov  $L$  e a velocidade de fricção  $u_*$  não foram avaliados para o experimento de INEL, mas podem ser aproximadamente estimados (Zannetti, 1990). Para calcular  $h$ , altura da Camada Limite Planetária estável, foi utilizada a seguinte relação  $h = 0.4\sqrt{u_*L/f_c}$  (Zilitinkevich, 1972).

Todos os dados avaliados foram usados para criar um arquivo de entrada para as simulações do modelo LAMBDA. Os valores de  $\sigma_i^2$  e  $\tau_{Li}$  foram calculados de acordo a parametrização derivada por Degrazia et al. (2000).

No LAMBDA, o domínio horizontal foi determinado de acordo com a distância dos amostradores e o domínio vertical foi considerado igual à altura  $h$ . A fonte foi localizada no centro do domínio. O passo no tempo foi mantido constante ( $\Delta t = 0.5s$ ). Cem partículas foram liberadas em cada passo no tempo, a partir da fonte, durante 1500 passos no tempo. O volume que representa a fonte pontual foi de 0.1m × 0.1m × 0.1m. As concentrações observadas normalizadas,  $\chi_m(m^{-2})$ , foram calculadas de acordo com Sagendorf e Dickson (1974). Conseqüentemente, as concentrações simuladas para o experimento de INEL foram expressas em (m<sup>-2</sup>). No caso do experimento de INEL o volume para o cálculo da concentração foi de 10m × 10m × 3m.

O desempenho do modelo é apresentado na Tabela 1. A Tabela 1 demonstra os resultados da análise estatística de desempenho do modelo feita com os picos de concentração ( $n = 30$ ), segundo os índices estatísticos de Hanna (1989), além de apresentar a comparação entre os índices estatísticos obtidos pelo modelo simulado e o modelo de Carvalho et al., (2006).

Os resultados da Tabela 1 mostram boa concordância entre os valores observados e simulados pelo modelo LAMBDA. De acordo com a Tabela 1, nota-se que os valores dos índices estatísticos NMSE, FB e FS estão próximos de zero e R e FA2 estão próximos de 1. Mais especifica-

mente, pode-se perceber que o modelo superestimou levemente os valores de concentração ( $FB = -0.04$ ), apresenta uma alta correlação entre os dados observados e simulados ( $R=0.89$ ) e mostra que a dispersão dos valores de concentração simulados é somente um pouco maior que a dispersão dos valores de concentração observados ( $FS = -0.053$ ).

Além disso, comparando os índices estatísticos obtidos pelo modelo LAMBDA com os obtidos pelo modelo de Carvalho et al., (2006) percebe-se uma leve melhora em alguns casos. Sendo que, ambos, tanto o modelo apresentado neste trabalho quanto o modelo de Carvalho et al., (2006), têm a vantagem de poder ser aplicados a todos os tipos de fontes e condições de campos de vento não-homogêneos.

**Tabela 1.** Índices estatísticos de desempenho do modelo LAMBDA para o experimento de INEL obtidos a partir do modelo simulado e pelo modelo de Carvalho et al., (2006).

	NMSE	R	FA2	FB	FS
LAMBDA "Low Wind"	0.17	0.89	0.77	-0.04	-0.053
Carvalho et al., (2006)	0.14	0.94	0.77	0.08	-0.26

Particularmente, os resultados obtidos com o novo sistema de equações concordam muito bem com os dados experimentais, indicando que o modelo representa o processo de dispersão corretamente em condições de velocidade do vento fraco. Assim, demonstrando que esse novo conjunto de equações, com valores de  $p$  e  $q$  constantes, para as componentes horizontais pode ser incorporado a um sistema de modelos para estimar a qualidade do ar.

#### 4. Referências

Anfossi, D. et al. An analysis of sonic anemometer observations in low wind speed conditions. **Boundary-Layer Meteorology**, v.114, p.179-203, 2005.

Carvalho, J.C. et al. Parameterization of meandering phenomenon in a stable atmospheric boundary layer. **Physica A**, v.368, p.247-256, 2006.

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

Frenkiel, F.N. Turbulent diffusion: mean concentration distribution in a flow field of homogeneous turbulence. **Advances in Applied Mechanics**, v.3, p.61-107, 1953.

Hanna, S.R. Confidence limits for air quality model evaluations, as estimated by Bootstrap and Jackknife Resampling Methods. **Atmospheric Environment**, v.23, p.1385-1398, 1989.

Sagendorf, J.F.; Dickson, C.R. Diffusion under low wind speed, inversion conditions. **NOAA Technical Memorandum ERL ARL-52**, 89p., 1974.

Zannetti, P. **Air Pollution Modeling. Teories, Computational Methods and Available Software**. Nova York: Kluwer Academic Publisher, 444p., 1990.

Zilitinkevich, S.S. On the determination of the height of the Ekman boundary layer. **Boundary-Layer Meteorology**, v.3, p.141-145, 1972.

