

SIMULAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA DISPERSÃO DE POLUENTES EM CONDIÇÕES DE VENTO FRACO E ESTÁVEIS

Viliam Cardoso da Silveira*, Daniela Buske, Régis Sperotto de Quadros, Jonas Carvalho

Programa de Pós-graduação em Meteorologia - UFPel

*viliamcardoso@gmail.com

RESUMO

Neste trabalho apresentamos um modelo matemático para simular a dispersão de poluentes em condições estáveis e de vento fraco, que leva em conta a difusão longitudinal. A solução da equação de advecção-difusão tridimensional para estas condições é obtida utilizando o método 3D-GILTT (*Three-dimensional Generalized Integral Laplace Transform Technique*). Simulações numéricas e comparações com dados experimentais são apresentadas.

ABSTRACT

The present study proposes a mathematical model for dispersion of contaminants in stable conditions and low winds, that takes into account the along-wind diffusion. The solution of the three-dimensional advection-diffusion equation for these conditions is obtained applying the 3D-GILTT method. Numerical results and comparison with experimental data are presented.

A SOLUÇÃO ANALÍTICA

Para simular a dispersão de poluentes na atmosfera em condições de vento fraco, consideramos neste trabalho a equação de advecção-difusão escrita da seguinte forma:

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \right) + K_y \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} \right) \quad (1)$$

Esta equação está sujeita as condições de contorno de fluxo nulo nas fronteiras ($K_x \frac{\partial \bar{c}(L_x, y, z)}{\partial x} = K_y \frac{\partial \bar{c}(x, 0, z)}{\partial y} = K_y \frac{\partial \bar{c}(x, L_y, z)}{\partial y} = K_z \frac{\partial \bar{c}(x, y, 0)}{\partial z} = K_z \frac{\partial \bar{c}(x, y, h)}{\partial z} = 0$) e a condição de fonte $\bar{u} \bar{c}(0, y, z) = Q \delta(y - y_0) \delta(z - H_s)$, onde h é a altura da CLA, Q é a taxa de emissão de poluentes, L_x e L_y são as distâncias para longe da fonte, \bar{u} é o vento médio na direção x , H_s é a altura de fonte, K_x , K_y e K_z são os coeficientes de difusão turbulenta nas direções x , y e z , respectivamente e δ é a função delta de Dirac.

Para resolver o problema da Eq. (1), aplica-se a técnica da transformada integral na variável y , expandindo a concentração de poluentes da seguinte forma:

$$\bar{c}(x, y, z) = \sum_{n=0}^N \bar{c}_n(x, z) \zeta_n(y) \quad (2)$$

Substituindo a Eq. (2) na Eq. (1) e tomando momentos, obtemos o seguinte conjunto de equações bidimensionais:

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{c}_n(x, z)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial \bar{c}_n(x, z)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial \bar{c}_n(x, z)}{\partial z} \right) - \lambda_n^2 K_y \bar{c}_n(x, z) \quad (3)$$

A Eq. (3) é resolvida pela técnica GILTT cuja equação transformada é uma equação diferencial ordinária matricial de segunda ordem que é resolvida analiticamente pelo método de redução de ordem, transformada de Laplace e diagonalização. Maiores detalhes são encontrados no trabalho (Buske et al., 2007).

PARAMETRIZAÇÃO DA TURBULÊNCIA

O coeficiente de difusão longitudinal não deve ser desprezado em condições de vento fraco e estáveis. Nestas condições os coeficientes de difusão devem ser considerados não somente como funções da turbulência, mas também da distância da fonte (Degrazia et al., 1996). Neste trabalho a expressão utilizada é escrita como:

$$K_x = \frac{2\sqrt{\pi}0.64u_*ha_i^2(1-z/h)^{\alpha_1}(z/h)X^*[2\sqrt{\pi}0.64a_i^2(z/h) + 8a_i(f_m)_i(1-z/h)^{\alpha_1/2}X^*]}{[2\sqrt{\pi}0.64(z/h) + 16a_i(f_m)_i(1-z/h)^{\alpha_1/2}X^*]^2}$$

Detalhes sobre os parâmetros e variáveis podem ser encontrados em Degrazia et al. (1996). O perfil do vento utilizado é descrito por uma lei de potência (Panofsky, Dutton, 1984).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas simulações numéricas do modelo foram utilizados os dados observados sob condições de vento fraco no experimento estável de INEL (Sagendorf; Dickson, 1974). Na Figura 1a, podemos ver o gráfico de espalhamento dos dados observados no experimento versus os dados preditos pelo modelo apresentado. Na Figura 1b, podemos ver o gráfico de espalhamento considerando somente os casos em que o vento é menor que 1m/s.

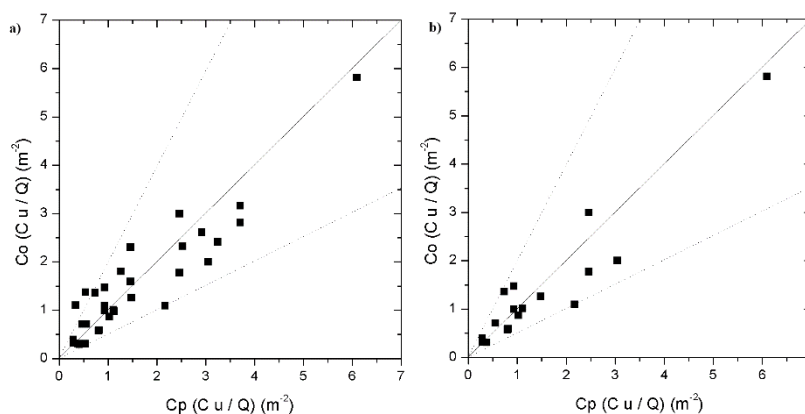


Figura 1: (a) Diagrama de espalhamento das concentrações observadas no experimento INEL e preditas pelo modelo 3D-GILTT. (b) idem (a) mas para $u < 1$ m/s.

Os resultados estatísticos (Hanna, 1989) são apresentados na Tab. 1, onde é possível notar que o modelo simula de forma satisfatória as concentrações observadas, com os valores de NMSE, FB e FS relativamente próximo de zero e COR e FA2 relativamente próximo de 1. Melhores resultados são obtidos para o caso $u < 1$ m/s.

Tabela 1: Comparação estatística entre os resultados do modelo 3D-GILTT e os dados do experimento INEL.

Modelo	NMSE	COR	FA2	FB	FS
3D-GILTT	0.11	0.93	0.94	-0.04	-0.15
3D-GILTT ($u < 1$ m/s)	0.12	0.94	1.00	-0.09	-0.08

CONCLUSÕES

O presente trabalho mostra que a inclusão da difusão longitudinal e coeficientes de difusão dependentes da distância da fonte, importante em condições de vento fraco, fornecem uma boa descrição do processo de transporte turbulento dos poluentes atmosféricos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, ao CNPq e a Fapergs pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Buske, D., Vilhena, M.T., Moreira, D.M., Tirabassi, T., 2007. Simulation of pollutant dispersion for low wind conditions in stable and convective planetary boundary layer. **Atmos. Environ.** 41, 5496-5501.
- Degrazia, G.A., Vilhena, M.T., Moraes, O.L.L., 1996. An algebraic expression for the eddy diffusivities in the stable boundary layer: a description of near-source diffusion. **INuovoCimento** 19C, 399-403.
- Hanna, S.R., 1989. Confidence limit for air quality models as estimated by bootstrap and jackknife resampling methods. **Atmos. Environ.** 23, 1385-1395.
- Panofsky, H.A., Dutton, J.A., 1984. **Atmospheric Turbulence**. New York: John Wiley & Sons.
- Sagendorf, J.F., Dickson, C.R., 1974. Diffusion under low wind-speed, inversion conditions. **Technical Memorandum ERL ARL-52**, U.S. National Oceanics and Atmospheric Administration.