

SIMULAÇÃO DA DISPERSÃO DE POLUENTES NA CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA INCLUINDO O EFEITO DA DEPOSIÇÃO SECA NO SOLO

JULIANA CONTREIRA¹; RENATA CEZIMBRA²; RÉGIS QUADROS³;
DANIELA BUSKE⁴

¹Universidade Federal de Pelotas – julianacontreira@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – renatacezimbra@hotmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – quadros99@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – danielabuske@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta uma solução analítica para a equação de advecção-difusão-deposição bidimensional, considerando a deposição seca no solo. A resolução analítica do problema será com o uso das técnicas da Transformada de Laplace e GILTT (*Generalized Integral Laplace Transform Technique*). Esta solução é utilizada para simular a dispersão de poluentes na baixa atmosfera e, não tem nenhuma limitação quanto ao coeficiente de difusão turbulenta e perfil de vento dependentes da altura. Para a obtenção dos campos de concentração, são utilizados os dados do experimento difusivo realizado em Hanford (1983). Resultados numéricos e comparações estatísticas com dados da literatura são apresentados.

2. RESOLUÇÃO DA EQUAÇÃO DE ADVECÇÃO- DIFUSÃO- DEPOSIÇÃO

Neste trabalho consideramos a equação de advecção-difusão-deposição bidimensional transiente com deposição seca no solo, válida para qualquer coeficiente de difusão turbulenta e perfil de vento variável com a altura, escrita na seguinte forma:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial c}{\partial z} \right) \quad (1)$$

onde x é a direção do vento médio, c é a concentração integrada em y (g/m^2), u é o vento médio, K_z é o coeficiente de difusão turbulento dependente da altura z . A Eq. (1) está as seguintes condições de contorno, de fonte e inicial:

$$K_z \frac{\partial c(x,h,t)}{\partial z} = 0 \quad \text{em } z = h \quad (1a)$$

$$K_z \frac{\partial c(x,z_0,t)}{\partial z} = V_d c \quad \text{em } z = z_0 \quad (1b)$$

$$uc(0, z, t) = Q\delta(z - H_s) \quad \text{em } x = 0 \quad (1c)$$

$$c(x, z, 0) = 0 \quad \text{quando } t = 0 \quad (1d)$$

onde V_d é a velocidade de deposição no nível do solo, Q é a taxa de emissão do poluente, H_s é a altura da fonte, δ é a função delta de Dirac, z_0 é a rugosidade do terreno e h é a altura da camada limite atmosférica (CLP).

O problema proposto foi resolvido com o uso da técnica GILTT (Moreira et al., 2009). A concentração do poluente é expandida em função de uma base de autofunções, advinda de um problema de Sturm-Liouville, na seguinte forma:

$$c(x, z, r) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n(x, r) \psi_n(z) \quad (2)$$

onde $\psi_n(z)$ é a autofunção $\psi_n(z) = \cos \lambda_n(z - h)$ e λ_n é o autovalor obtido ao se resolver a equação transcendental $V_d/K_z = \lambda_n \tan(\lambda_n(h - z_0))$. Uma vez encontrados os valores de $C_n(x, r)$ o problema estará solucionado.

Substituindo a equação (2) no problema original, aplicando o operador integral $\int_0^h (\) \psi_m dz$ onde ψ_m é uma função ortogonal à ψ_n , a equação resultante reescrita em notação matricial é dada por:

$$Y'(x, r) + F \cdot Y(x, r) = 0 \quad (3)$$

A matriz Y é da mesma ordem que o número de termos do truncamento do somatório, com n linhas e m colunas e seus termos são os termos do somatório de C . A matriz Y' , também de ordem N , contém os termos que multiplicam a derivada de C em x . A matriz F é dada por $F = A^{-1}B$, onde os termos de A e B são definidos como:

$$a_{nm} = \left\{ \int u \psi_n \psi_m dz \right\} \text{ e } b_{nm} = \left\{ - \int K'_z \psi'_n \psi_m dz + \lambda_n^2 \int K_z \psi_n \psi_m dz + r \int \psi_n \psi_m dz \right\}$$

Para a condição de fonte a solução é análoga, ou seja, aplicando o mesmo procedimento anterior obtemos $Y(0, r) = \frac{Q}{r} \psi_m(H_s) \cdot A^{-1}$.

O problema transformado (3) é resolvido aplicando a transformada de Laplace na variável x , onde $\overline{Y}(s, r) = \mathcal{L}\{Y(x, r); x \rightarrow s\}$:

$$s\overline{Y}(s, r) + F \cdot \overline{Y}(s, r) = \overline{Y}(0, r) \quad (4)$$

Assumindo que a matriz F é não degenerada podemos escrever $F = X^{-1}D_{av}X$, onde D_{av} é a matriz diagonal dos autovalores, X é a matriz dos autovetores e X^{-1} a sua inversa. Substituindo em (4) obtemos:

$$(sI + X \cdot D_{av} \cdot X^{-1}) \cdot \overline{Y}(s, r) = \overline{Y}(0, r) \quad (5)$$

Aplicando a transformada inversa de Laplace em x encontramos a solução do problema transformado dada por:

$$Y(x, r) = X \cdot G(x) \cdot X^{-1}Y(0, r) \quad (6)$$

Finalmente, aplicando a transformada inversa de Laplace no tempo teremos a solução do problema transiente totalmente determinada. Esta é obtida numericamente pelo método de inversão numérica da quadratura Gaussiana:

$$c(x, z, t) = \sum_{k=1}^M \frac{P_k}{t} A_k \sum_{n=0}^N c_n \left(x, \frac{P_k}{t} \right) \psi_n(z) \quad (7)$$

onde A_k e P_k são os pesos e raízes da quadratura.

3. PARAMETRIZAÇÃO DA TURBULÊNCIA

De modo a podermos utilizar a solução obtida, é necessário selecionar o perfil de vento e o coeficiente de difusão vertical. Em problemas de difusão atmosférica, a escolha de uma parametrização turbulenta representa uma decisão fundamental para modelar a dispersão de poluentes. A partir de um ponto de vista físico, uma parametrização da turbulência é uma aproximação da natureza no sentido que os modelos matemáticos recebem uma relação aproximada que substitui um termo desconhecido. A confiabilidade de cada modelo depende fortemente da maneira como os parâmetros são calculados e relacionados ao entendimento da CLA (Mangia et al., 2002).

O coeficiente de difusão turbulenta usado neste trabalho é dado por Degrazia et. al. (2000):

$$K_z = \frac{0.3(1-z/h)u_*z}{1+3.7\left(\frac{z}{L(1-z/h)^{5/4}}\right)} \quad (8)$$

onde u_* é a velocidade de fricção e L é o comprimento de Monin-Obukhov.

O perfil de vento utilizado é descrito pela lei de potencia expressa conforme Panofsky e Dutton (1984):

$$\frac{u}{u_1} = \left(\frac{z}{z_1}\right)^\alpha \quad (9)$$

na qual u e u_1 são as velocidades médias horizontais do vento nas alturas z e z_1 e o expoente α está relacionado com a intensidade da turbulência (Irwin, 1979).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo a apresentar um exemplo de aplicação da solução obtida o conjunto de dados do experimento difusivo de Hanford. O experimento difusivo de Hanford foi conduzido de maio a junho de 1983, em uma região semi-árida do leste do estado de Washington, EUA. Foi um experimento de fonte baixa conduzido durante condições estáveis e quase neutras em um terreno geralmente plano com rugosidade de 3 cm. A descrição detalhada do experimento é fornecida por Doran et al. (1984).

Na figura 1 é apresentado o gráfico de espalhamento entre os dados medidos experimentalmente e os preditos pela GILTT ao nível do solo para os diferentes perfis de vento. O modelo foi avaliado com a razão C_d/C_{nd} , onde C_d e C_{nd} são as concentrações do Z_nS e SF_6 medidas a 1,5m acima do solo (índice d significa *deposita* e índice nd significa *não-deposita*). Podemos observar uma boa concordância entre os resultados obtidos pela GILTT e os dados experimentais.

5. CONCLUSÕES

O objetivo do nosso trabalho foi atingido, uma vez que a solução para a equação de advecção-difusão-deposição transiente bidimensional foi apresentada. Como um exemplo de aplicação a solução obtida foi utilizada para simular a dispersão de Hexafluoreto de enxofre emitido nos experimentos de Hanford, Washington, USA. Os resultados mostram uma boa concordância entre

as concentrações previstas e o conjunto de dados observados. O próximo passo é fazer uso de parametrizações para as velocidades de deposição.

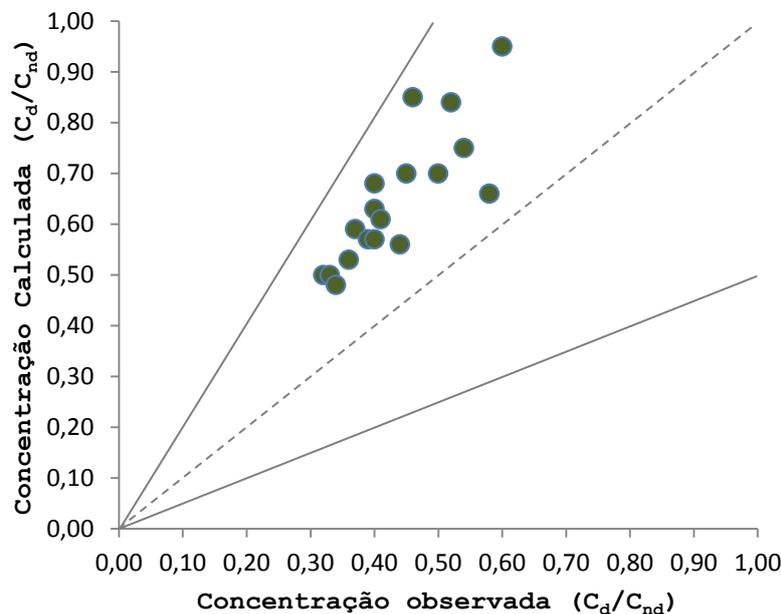


Figura 1: Diagrama de espalhamento dos dados preditos (C_p) pela GILTT em comparação com os dados observados (C_o) experimentalmente. Dados entre as linhas cheias estão dentro do fator de dois ($0,5 \leq \frac{C_p}{C_o} \leq 2$).

Agradecimentos: Os autores agradecem ao apoio financeiro recebido pela FAPERGS e CNPq.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Moreira, D. M., Vilhena, M. T., Buske, D., Tirabassi, T., 2009. The state-of-art of the GILTT method to simulate pollutant dispersion in the atmosphere. *Atmos. Research* 92, 1-17.
- Doran, J.C., Abbey, O.B., Buck, J.W., Glover, D.W., Horst, T.W., 1984. *Field validation of Exposure Assessment Models*. Data Environmental Science Research Lab, Res. Triangle Park: NC.
- Degrazia, G. A.; Anfonssi, D.; Carvalho, J. C.; Mangia, C.; Tirabassi, T., Campos Velho, H. F., 2000. Turbulence parametrization for PBL dispersion models in all stability conditions. *Atm. Environ.* 30, 3575-3583.
- Mangia, C., Moreira, D. M., Schipa, I., Degrazia, G. A., Tirabassi, T., 2002. Evaluation of a new eddy diffusivity parameterization from turbulent Eulerian spectrain different stability conditions. *Atm. Environ.* 36, 67-76.
- Panofsky, A. H., Dutton, J. A., 1984. *Atmospheric Turbulence*. John Wiley & Sons, New York.
- Irwin, J. C., 1979. A theoretical variation of the wind profile power-law exponent as a function of surface roughness and stability. *Atm. Environ.* 13, 191-194.