

SIMULAÇÃO DA DISPERSÃO DE POLUENTES NA CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA CONSIDERANDO O EFEITO DE DEPOSIÇÃO SECA NO SOLO E A ASCENSÃO DA PLUMA

JULIANA CONTREIRA¹; RÉGIS QUADROS²; GLENIO GONÇALVES²; DANIELA
BUSKE³

¹Universidade Federal de Pelotas – julianacontreira@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – quadros99@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – glenio_a@yahoo.com.br

³Universidade Federal de Pelotas – danielabuske@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho será apresentada uma solução analítica para a equação de advecção-difusão-deposição transiente bidimensional, para modelar a dispersão de poluentes lançados na atmosfera. A resolução analítica do problema é obtida através do uso das técnicas da Transformada de Laplace e GILTT (Generalized Integral Laplace Transform Technique). Para a obtenção dos campos de concentração, são utilizados os dados do experimento de Kinkaid, realizado em Illinois. O efeito do empuxo sobre a pluma de poluente (BRIGGS, 1975) e a deposição seca no solo serão considerados. Os resultados encontrados serão comparados estatisticamente com resultados da literatura.

2. METODOLOGIA

Consideramos a equação de advecção-difusão-deposição bidimensional transiente,

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

onde u e w representam as componentes das velocidades instantâneas do vento nas direções x e z respectivamente, z é a altura da camada limite atmosférica (CLA), x é a direção do vento médio, K_Z é o coeficiente de difusão turbulento dependente da altura z . A Eq. (1) está sujeita as seguintes condições de contorno de fluxo nulo no topo da CLA ($K_Z \frac{\partial c}{\partial z} = 0$), condição de terceiro tipo na altura da rugosidade z_0 ($K_Z \frac{\partial c}{\partial z} = V_d C$), de fonte ($uC = \delta(z - H_s)$, em $x = 0$) e inicial $C = 0$ (em $t = 0$), 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 (onde é levado em conta o efeito do empuxo inicial), 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). Primeiramente a técnica da transformada de Laplace é aplicada na variável temporal transformando o problema transiente em estacionário que é resolvido pela GILTT. Esta combina uma expansão em série com uma integração. Na expansão é usada uma base trigonométrica determinada com o auxílio de um problema associado de Sturm-Liouville, cujas condições de contorno são as mesmas do problema original. A integração é feita em todo o intervalo da variável transformada, fazendo proveito da propriedade de ortogonalidade da base usada na expansão. A solução do sistema EDO resultante da aplicação da GILTT é feita analiticamente via transformada de Laplace e diagonalização. A derivação da solução do problema estacionário é

analítica exceto pelo erro de truncamento. Finalmente, a solução do problema é obtida pela transformada inversa de Laplace utilizando o método da Quadratura Gaussiana.

3. ASCENSÃO DA PLUMA

Para muitas aplicações, como em emissões industriais, é necessário levar em conta o efeito do empuxo sobre a pluma de poluente. Quando a pluma de poluentes é mais quente que o ambiente (menos densa) ela tende a se elevar até uma camada onde se encontra em equilíbrio termodinâmico, a altura efetiva da fonte (H_e) será a soma da altura real da fonte (H_s) e o efeito de ascensão da pluma (ΔH). Dessa forma assumimos que, a certa distância da fonte, a pluma de material liberado H_s se comporta como uma pluma de mesma densidade que o ambiente, abandonada sem empuxo a uma altura H_e (ARYA,1999).

Em casos de convecção forte ($h/|L| > 10$), a pluma terá uma ascensão final dada por $\Delta H = 4.3 \left(\frac{F}{\bar{u}w}\right)^{3/5} h^{2/5}$ sendo F um parâmetro de flutuabilidade definido como $F = gV_i r_i^2 \frac{(T_i - T_a)}{T_i}$ onde g é a aceleração da gravidade, T_i , V_i , r_i e T_a são a temperatura da fonte, a velocidade vertical de saída, raio da fonte e temperatura ambiente (BRIGGS,1975).

Para condições moderadamente convectivas a ascensão da pluma é dada como $\Delta H = \left(\frac{F}{\bar{u}w_d^2}\right)^{3/5} \left(1 + \frac{2H_s}{\Delta H}\right)^2$ que pode ser resolvida iterativamente, onde $w_d = 0.4w$ é a velocidade média de downdrafts (correntes de ar descendentes). Para condições de estabilidade neutra a seguinte expressão para $\Delta H = 1.3 \frac{F}{\bar{u}u^2} \left(1 + \frac{H_s}{\Delta H}\right)^2$. Weil (1979) sugere que uma pluma tem a seguinte restrição para sua ascensão, $\Delta H = 0.62 (h - H_s)$.

Considerando o que foi exposto acima, Briggs (1975) sugere que o valor final de ΔH deve ser o valor mínimo obtido com as equações anteriores. Esta sugestão é a mais prudente, pois na medida em que o efeito de ascensão é maior, menores serão os valores de concentração obtidos para níveis próximos do solo, diminuindo o risco de subestimar o valor destas concentrações.

4. EXPERIMENTO DE KINKAID

Como um exemplo de aplicação escolhemos o conjunto de dados do experimento de Kinkaid para avaliar o modelo apresentado. Este experimento consistiu de uma liberação elevada em um terreno plano com alguns lagos. Durante o experimento, o SF_6 foi liberado de uma altura de fonte de 187 m e medido em uma rede que consistiu de aproximadamente 200 amostradores posicionados em arcos de 0,5 a 50 km da fonte. O conjunto de dados inclui os parâmetros meteorológicos como velocidade de fricção, comprimento de Monin-Obukhov e altura da camada limite. O comprimento de rugosidade foi de aproximadamente 10 cm. As concentrações máximas foram observadas ao nível do solo. O nível de concentração medida é frequentemente irregular com altos e baixos níveis de concentração ocorrendo intermitentemente ao longo do mesmo arco, além disso há frequentes lacunas nos arcos de monitoramento. Por estas razões uma variável tem sido escolhida como um fator de qualidade de modo a indicar o grau de legibilidade dos dados. O indicador de qualidade (de 0 a 3) tem

sido escolhido. Neste trabalho, somente os dados com fator de qualidade 3 foram considerados (BUSKE, 2008).

5. PARÂMETRO DE DISPERSÃO LATERAL

A solução da equação (1) utilizada neste trabalho é bidimensional $c(x,z)$, assim para calcular a concentração tridimensional $C(x,y,z)$, a difusão lateral precisa ser incluída. Assumindo que a pluma apresenta uma distribuição Gaussiana da concentração na lateral, podemos escrever que:

$$C(x, y, z) = c(x, z) \frac{e^{\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right)}}{\sqrt{2\pi\sigma y}} \quad (2)$$

Essa fórmula é utilizada para calcular a concentração máxima ao nível do solo $C(x,0,0)$. A fórmula utilizada para calcular σ_y foram:

$$\frac{\sigma^2 y}{h^2} = \frac{0.21}{\pi} \int_0^\infty \text{sen}^2(2.26\psi^{1/3} X^* n') \frac{dn'}{(1+n')^{5/3} n'^{1/2}} \quad (3)$$

em que $X^* = xw_*/\bar{u}h$ é a distância adimensional, h é a altura da camada limite convectiva (CLC) e w_* é a escala de velocidade convectiva. A integral acima é resolvida fazendo uma mudança de variáveis para o intervalo $[-1,1]$. A equação (3) contém a função dissipação molecular ψ que é expressa como (Hojstrup, 1982) $\psi^{1/3} = \left[\left(1 - \frac{z}{h}\right)^2 \left(\frac{z}{-L}\right)^{-2/3} + 0.75 \right]^{1/2}$, na qual L é o comprimento de Monin-Obukhov definido na camada limite superficial.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Podemos verificar a influência da velocidade vertical w na Fig 1. Apesar de considerar velocidades verticais constantes, podemos verificar que quando a velocidade vertical é positiva Fig. 1.c, a pluma tem um comportamento ascendente. Já quando a velocidade é negativa Fig. 1.a, a pluma tem um comportamento descendente. Na Tab. 1 podemos observar os dados estatísticos obtidos ao compararmos o modelo GILTT com os dados do experimento de Kinkaid.

7. CONCLUSÕES

O objetivo do nosso trabalho foi atingido, uma vez que a solução para a equação de advecção-difusão-deposição transiente bidimensional, levando em consideração a ascensão da pluma e a dispersão lateral, foi apresentada. Uma concordância razoável foi obtida ao compararmos estatisticamente o modelo GILTT e o experimento de Kinkaid.

Model	NMSE	COR	FA2	FB	FS
GILTT	0.40	0.69	0.75	0.05	-0.22

Tabela 1 – Avaliação estatística do modelo.

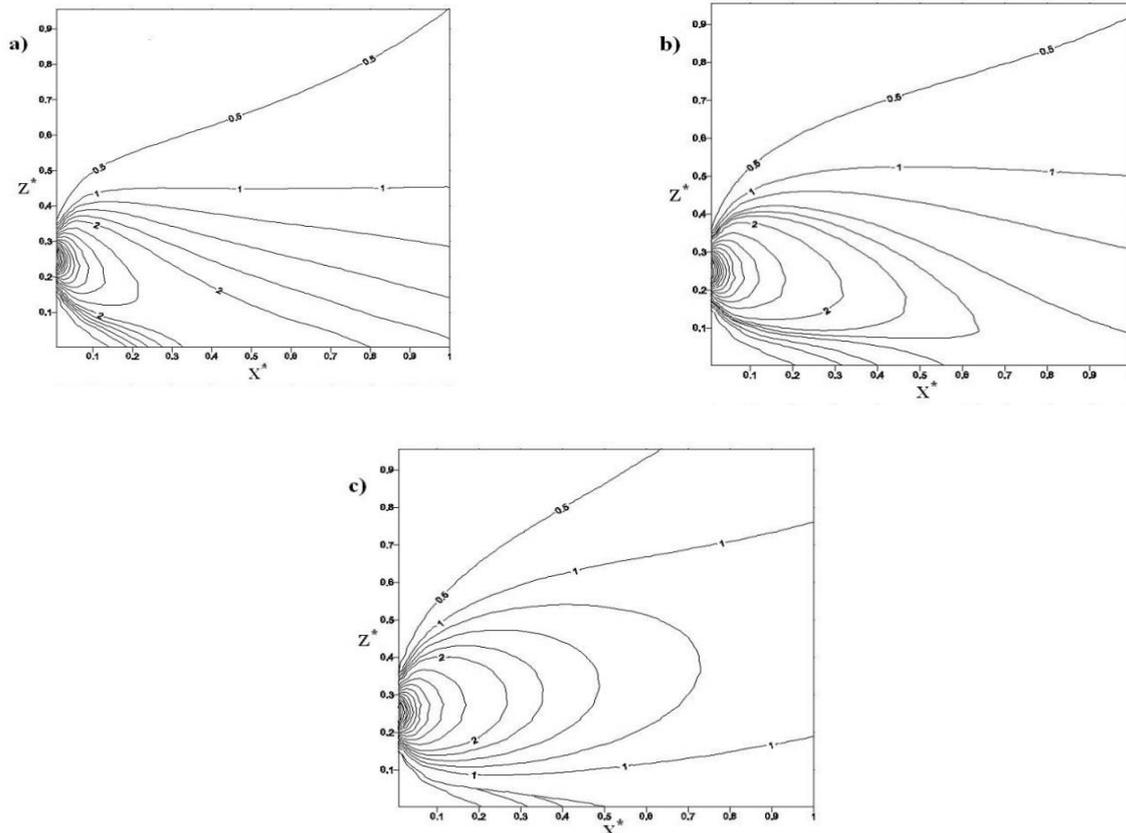


Figura 1 – Isolinhas de concentração adimensional previstas pelo modelo ($C^* = \overline{c}u\overline{h}/\overline{Q}$, $X^* = xw_*/\overline{u}h$, $Z^* = z/h$ e $H_s = 0.25h$) para diferentes velocidades verticais do vento e condições estacionárias: a) $\overline{w} = -0.5$; b) $\overline{w} = 0$; c) $\overline{w} = 0.5$

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

8. 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., Campos Velho, H. F., Carvalho, J. C., 1997. **Nonlocal Exchange coefficients for the convective boundary-layer derived from spectral properties.** *C. Atmos. Physics*, 57-64.
- Arya, S. Pal., 1999. **Air Pollution Meteorology and Dispersion.** New York, USA: Oxford University Press, 310p.
- Briggs, G.A., 1975. **Plume Rise Predictions, Lectures on Air Pollution and Environmental Impact Analyses,** D.A. Haugen ed. Amer. Meteor. Soc., Boston, MA, p. 59-111
- BUSKE, D. **Solução GILTT bidimensional em geometria cartesiana: simulação da dispersão de poluentes na atmosfera.** 2008. 225f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.