

Rodrigo Martins Dorado; Martim Victor Hammes; Davidson Martins Moreira**(orientador)
Universidade Federal do Pampa – Unipampa
LMSC- Laboratório de Modelagem e Simulação Computacional
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas- Campus Bagé - Bagé, RS
dorado.engenharia@yahoo.com.br, davidson@pq.cnpq.br

Introdução

A transferência dos gases e partículas para a superfície da Terra ocorre através de dois modos: deposição seca e úmida. A deposição seca, por definição, é a remoção de gases e partículas, via transferência direta da atmosfera para a superfície.

A deposição dos poluentes na superfície da Terra reduz os níveis de concentração em locais mais distantes, enquanto aumenta potencialmente os níveis de exposição em locais próximos devido ao material depositado, podendo afetar significativamente a saúde da população em geral. Matematicamente, a modelagem do transporte de poluentes atmosféricos com deposição seca foi realizada inicialmente pela equação Gaussiana modificada, a qual levava em consideração este tipo de processo de remoção.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar um modelo multicamadas, representado por uma solução analítica da equação de difusão-advecção, a qual permite simular a dispersão turbulenta vertical de poluentes que são depositados no solo. A performance da solução foi avaliada com dados do experimento de Hanford (EUA), no qual foi usado dois traçadores: um depositante (ZnS) e outro não-depositante (SF₆).

Materiais e Métodos

A Camada Limite Atmosférica (CLA) é dividida em várias subcamadas e em cada um delas são tomados valores médios para os coeficientes de difusão e velocidade do vento. Desta forma, em cada subcamada temos a solução da equação de difusão-advecção bidimensional estacionária:

$$u_n \frac{\partial C_n^y}{\partial x} = K_{z,n} \frac{\partial^2 C_n^y}{\partial z^2} \quad (1)$$

Onde:
c= concentração
u= vento longitudinal
Kz= coeficiente de difusão vertical

Com as seguintes condições de contorno:

$$K_z \frac{\partial C^y(x, z)}{\partial z} = 0 \quad \text{em } Z=h \quad (2)$$

$$K_z \frac{\partial C^y(x, z)}{\partial z} = V_d C^y(x, z) \quad \text{em } Z=0 \quad (3)$$

Mais as condições de continuidade de concentração e fluxo de poluentes nas interfaces. Além disso, uma fonte com taxa de emissão constante:

$$C(0, z) = \frac{Q}{u} \delta(z - H_s) \quad x = 0 \quad (4)$$

Aplicando-se a transformada de Laplace na variável x, obtém-se:

$$\frac{d^2 \bar{C}_n(s, z)}{dz^2} - \frac{su_n \bar{C}_n(s, z)}{K_z} = -\frac{u_n \bar{C}_n(0, z)}{K_z} \quad (5)$$

Onde $\bar{C}_n(s, z) = L\{C_n^y(x, z); x \rightarrow s\}$, que tem como solução:

$$\bar{C}_n(s, z) = A_n e^{-R_n z} + B_n e^{R_n z} + \frac{Q}{2R_a} \left(e^{-R_n(z-H_s)} - e^{R_n(z-H_s)} \right) \quad (6)$$

Com:

$$R_n = \sqrt{\frac{1}{K_z} \left[su_n \left(1 - \frac{K_x s}{u_n} \right) \right]} \quad R_a = \sqrt{\frac{K_z \left[su_n \left(1 - \frac{K_x s}{u_n} \right) \right]}{\left(1 - \frac{K_x s}{u_n} \right)}}$$

Então, a concentração é obtida invertendo-se numericamente a concentração transformada por um recente método de inversão:

$$C_n^y(x, z) = \frac{r}{M^*} \left[\frac{1}{2} \bar{c}_{ni}(r, z) e^{rx} + \sum_{k=1}^{M^*-1} \text{Re} \left(e^{xs(\theta_k)} \bar{c}_{ni}(s(\theta_k), z) (1 + i\tau(\theta_k)) \right) \right]$$

Assim :

$$s(\theta_k) = r\theta(\cot \theta + i) \quad \theta_k = \frac{k\pi}{M^*}$$

$$\tau(\theta_k) = \theta_k + (\theta_k \cot \theta_k - 1) \cot \theta_k$$

Resultados e Discussões

O modelo foi avaliado com dados do experimento de Hanford. Este experimento foi realizado em maio-junho de 1983 na região semiárida do sudoeste de Washington (EUA) com terreno considerado plano. A tabela 1 abaixo mostra os resultados estatísticos das simulações.

Traçador	NMSE	COR	FA2	FB	FS
ZnS	0.09	0.95	1.00	-0.22	-0.08
SF ₆	0.17	0.91	0.67	-0.32	-0.10

Tabela 1. Índices estatísticos dos resultados das simulações.

Os resultados mostram uma boa concordância entre os valores de concentração obtidos pelo modelo e os experimentais. Além disso, foi avaliada qualitativamente a solução e a influência da velocidade de deposição (condição de contorno (3)) na dispersão de contaminantes, apresentando resultados similares aos existentes na literatura e mostrados na figura 1 abaixo.

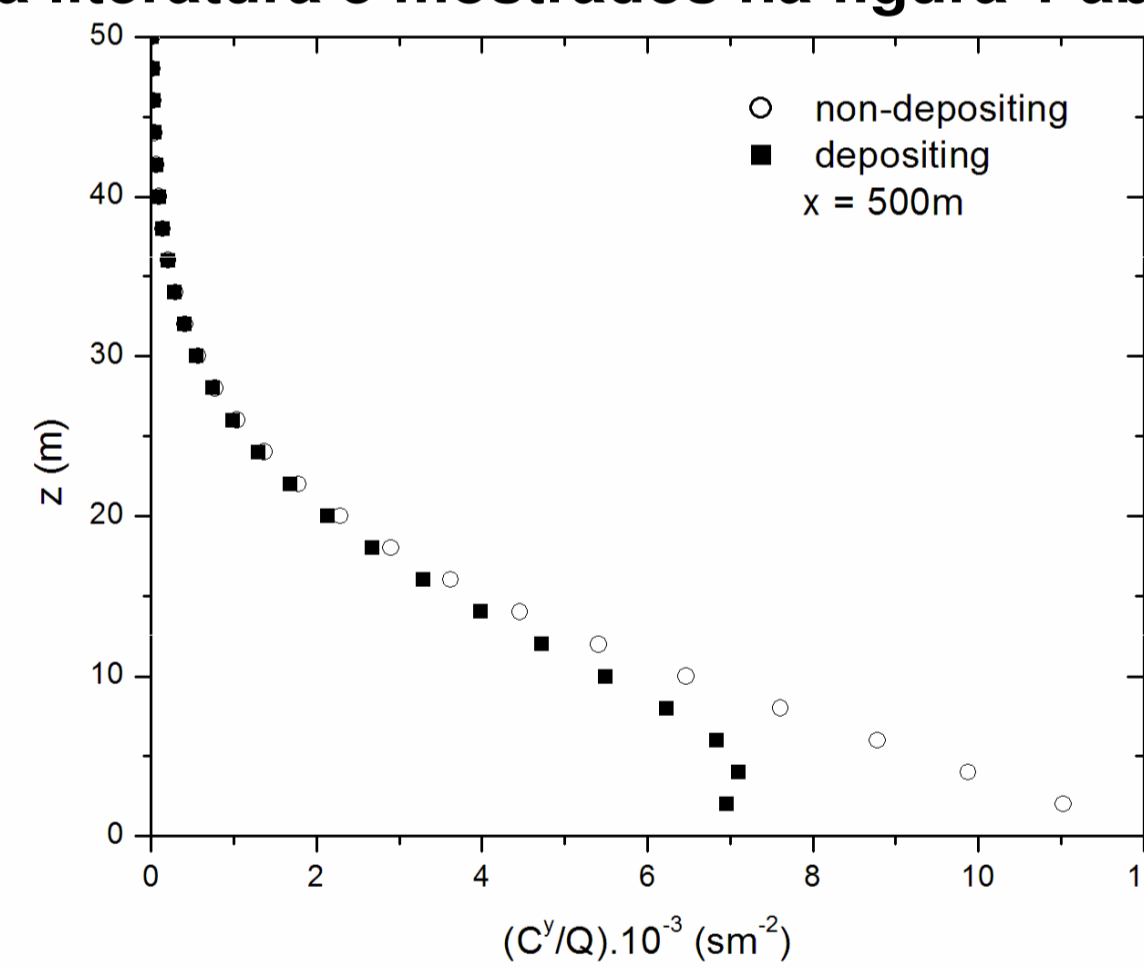


Figura 1: Perfil vertical de concentração com deposição e sem deposição (x=3000m)

A figura 1 compara o perfil vertical de concentração com e sem deposição para a distância de 3000m, para uma altura de fonte de 2m. Observa-se nitidamente a influência da condição de contorno (3) na simulação.

Conclusões

O modelo considera uma camada limite atmosférica verticalmente não-homogênea, a qual considera deposição seca. Verificou-se que a velocidade de deposição na condição de contorno influencia notoriamente a concentração ao nível do solo. Este método de solução apresenta as vantagens das soluções analíticas, permitindo uma avaliação da sensibilidade dos parâmetros que influenciam a equação de forma explícita. O modelo apresentado é muito mais rápido que um modelo numérico tradicional e pode ser usado para uma rápida visualização do campo de concentração de poluentes e como uma ferramenta auxiliar em eventos críticos relacionados ao controle da qualidade do ar.

Referências

- [1] Moreira, D.M., Rizza, U., Vilhena, M.T., Goulart, A.G., 2005. Semi-analytical model for pollution dispersion in the planetary boundary layer. *Atmos. Environ.* 39 (14), 2689-2697
- [2] Moreira, D. M., Degrazia, G. A. e Vilhena M. T., 1999: Dispersion from low sources in a convective boundary layer: an analytical model. *Il Nuovo Cimento* 22C (5) 685-691.
- [3] Stroud, A. H., e D. Secrest, 1966: *Gaussian Quadrature Formulas*. Prentice Hall, 374 pp.