

Modelo para Dispersão de Poluentes na Atmosfera com Condições de Contorno Parcialmente Reflexivas

Jaqueline Fischer Loeck Bardo Bodmann Marco Vilhena

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRGS,
90050-170, Porto Alegre, RS

E-mail: emaildajaque@gmail.com, bardo.bodmann@ufrgs.br, vilhena@mat.ufrgs.br

RESUMO

A equação de advecção-difusão modela o fenômeno de dispersão de poluentes na camada limite atmosférica. Tal equação com fechamento Fickiano para turbulência e coeficientes de difusão K_x , K_y e K_z constantes, pode ser escrita como

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} = K_x \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial z^2} + \bar{S}, \quad (1)$$

onde \bar{c} é a concentração média do poluente, \bar{u} , \bar{v} e \bar{w} são as componentes de vento médio orientados nas direções x , y e z , respectivamente, e \bar{S} é o termo fonte.

No presente trabalho, o termo fonte é descrito como uma condição inicial instantânea e, posteriormente, a solução para emissão instantânea é integrada no tempo para obter a solução para emissão contínua, que é dada por

$$\bar{C}(x, y, z, t) = \frac{1}{T} \frac{Q}{\sqrt{64\pi^3 K_x K_y K_z}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{(t-\tau)^3}} e^{-\frac{[x-x_0-\bar{u}(t-\tau)]^2}{4K_x(t-\tau)}} e^{-\frac{[y-y_0-\bar{v}(t-\tau)]^2}{4K_y(t-\tau)}} e^{-\frac{[z-H_s-\bar{w}(t-\tau)]^2}{4K_z(t-\tau)}} d\tau. \quad (2)$$

Tal solução é obtida através da transformada de Fourier e é válida para $z \in (-\infty, \infty)$, porém o solo e a camada limite atmosférica limitam a dispersão, de forma que o intervalo infinito deve ser mapeado para o intervalo finito $z \in [0, z_i]$, onde z_i é a altura do topo da camada limite atmosférica. Para isto, serão consideradas infinitas reflexões tanto no solo quanto na camada limite. Estas reflexões podem ser representadas pelas duas seqüências

$$\left. \begin{array}{l} H_s \rightarrow -H_s - 2nz_i \\ H_s \rightarrow H_s + 2nz_i \end{array} \right\} \forall n \in \mathbb{Z}. \quad (3)$$

As seqüências apresentadas acima consideram que o poluente que está dispersando, quando atingir o solo ou o topo da camada limite, será refletido por completo de volta para o domínio, sem considerar uma possível permeabilidade parcial, onde parte do material pode se infiltrar no solo ou ultrapassar a camada limite. Considerando esta permeabilidade, serão introduzidos nas seqüências que consideram as reflexões os termos ω_c e ω_s que são, respectivamente, os parâmetros de reflexão na camada limite atmosférica e no solo. Estes termos descrevem a quantidade de material poluente que está sendo refletida. Desta maneira, as seqüências que representam as reflexões, incluindo a permeabilidade parcial, são descritas por

$$\left. \begin{array}{l} H_s \rightarrow -\omega_s H_s - 2n\omega_c z_i \\ H_s \rightarrow \omega_s H_s + 2n\omega_c z_i \end{array} \right\} \forall n \in \mathbb{Z}. \quad (4)$$

Na solução apresentada anteriormente (2), onde antes apenas era considerada a altura da fonte H_s , agora serão consideradas estas duas seqüências, de maneira que a solução para emissão contínua com reflexão parcial nos contornos é dada por

$$\bar{C}(x, y, z, t) = \frac{1}{T} \frac{Q}{\sqrt{64\pi^3 K_x K_y K_z}} \int_0^t \left\{ \frac{1}{\sqrt{(t-\tau)^3}} e^{-\frac{[x-x_0-\bar{u}(t-\tau)]^2}{4K_x(t-\tau)}} e^{-\frac{[y-y_0-\bar{v}(t-\tau)]^2}{4K_y(t-\tau)}} \right. \\ \left. \times \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[e^{-\frac{[z-\omega_s H_s - 2n\omega_c z_i - \bar{w}(t-\tau)]^2}{4K_z t}} + e^{-\frac{[z+\omega_s H_s + 2n\omega_c z_i - \bar{w}(t-\tau)]^2}{4K_z t}} \right] \right\} d\tau. \quad (5)$$

Os resultados obtidos foram comparados com o experimento de Hanford [2] e são preliminares, com o propósito de determinar a contribuição das reflexões na concentração obtida pelo modelo adotado. Para diferentes valores adotados para ω_c e ω_s , foram obtidos números de reflexões distintos, sendo que as reflexões são repetidas até não haver mais contribuição na solução. A Figura 1 apresenta uma comparação entre as concentrações para o modelo sem reflexão e com as reflexões completas e parciais, respectivamente.

É possível observar que quando são consideradas as reflexões parciais, os valores obtidos para as concentrações se aproximam consideravelmente dos valores medidos no experimento de Hanford. Desta forma, as reflexões parciais consideram contribuições que o modelo inicial desconsidera. Além disso, foi constatado que ao considerar reflexão completa nos contornos, há uma melhora na solução, porém os resultados do modelo não são aceitáveis. Assim, o modelo que inclui estas reflexões parciais pode ser considerado mais próximo do fenômeno físico analisado em comparação aos modelos que consideram o poluente confinado entre o solo e a camada limite atmosférica, e utilizam como condição de contorno concentração ou fluxo de concentração nulos.

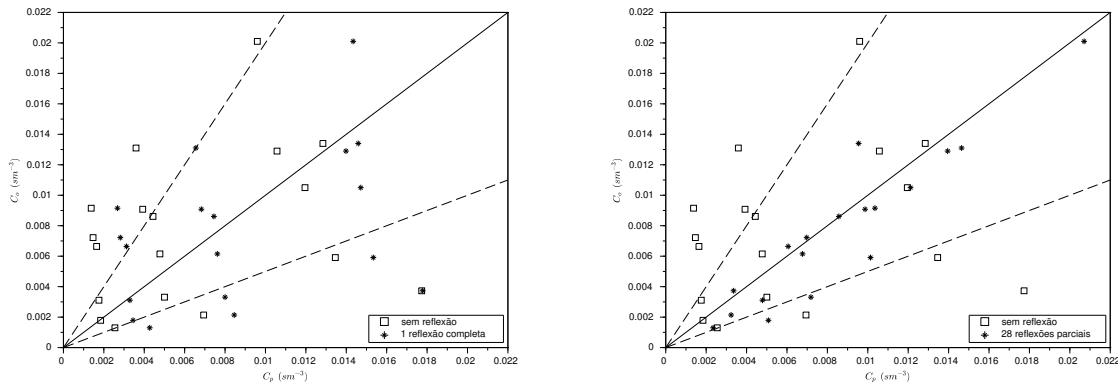


Figura 1: Gráficos de espalhamento das concentrações observadas C_o e previstas pelo modelo C_p sem reflexão e com reflexões parciais utilizando-se os parâmetros: **a)** $\omega_s = 1,0$ e $\omega_c = 1,0$ com 1 reflexão completa e **b)** $\omega_s = 0,1$ e $\omega_c = 0,01$ com 28 reflexões parciais.

Palavras-chave: equação de advecção-difusão, reflexão nos contornos, reflexão parcial

Referências

- [1] S. P. Arya, “Air pollution meteorology and dispersion”, Oxford University Press, New York, 1999.
- [2] J. C. Doran and T. W. Horst, An evaluation of Gaussian plume depletion models with dual-tracer field measurements, *Atmospheric Environment*, 19 (1985) 939-951.
- [3] J. H. Seinfeld and S. N. Pandis, “Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change”, John Wiley & Sons, New Jersey, 2nd edition, 2006.
- [4] R. B. Stull, “An introduction to boundary layer meteorology”, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holanda, 1988.