

DISERSÃO DE POLUENTES NA CAMADA LIMITE PLANETÁRIA EMPREGANDO O MODELO LAGRANGEANO NO PERÍODO DE TRANSIÇÃO DIA-NOITE

LAIZ CRISTINA RODRIGUES MELLO¹; MARLON TOMASCHEWSKI²; JONAS DA COSTA CARVALHO³

¹*Universidade Federal de Pelotas – laiz.cristina.96@gmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas- Marlon.tomascheswski1@hotmail.com*

³ *Universidade Federal de Pelotas – jonas.carvalho@ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

A Camada Limite Planetária (CLP) é a região da atmosfera que é diretamente influenciada pela superfície, de acordo com STULL (1988). A energia térmica da CLP é descrita em forma de fluxo de calor sensível, que ocorre quando a superfície do solo aquece a camada de ar imediatamente adjacente por condução e esta, por convecção, acaba por aquecer a CLP por inteiro, favorecendo a formação de um escoamento tipicamente turbulento. (NUNES,2008). A variação temporal da CLP provoca mudanças no comportamento físico durante o período diurno e noturno devido a redução da energia solar.

Ao entardecer, o pôr-do-sol particulariza o período de transição dia-noite com a redução da radiação incidente, provocando a inversão térmica e o fluxo vertical de calor negativo, gerando uma taxa de decaimento da energia cinética turbulenta (ECT). Em consequência do resfriamento da superfície, ocorre a formação da Camada Limite Estável (CLE) e o desenvolvimento dos turbilhões mecânicos devido ao cisalhamento vertical do vento. Nota-se a presença da formação da Camada Residual (CR), acima da CLE, onde ainda há resquícios da camada diurna, com atuação dos turbilhões convectivos remanescentes. Devido à complexa estrutura da CLP, a aplicação de modelos de partículas estocásticos Lagrangeano tem sido sugerida e o estudo da dispersão de poluentes no período de transição é reduzido devido a sua complexidade.

Resultados experimentais de simulações foram aplicados por alguns autores. GOULART (2004) derivou coeficientes de difusão para o decaimento da turbulência convectiva na CR.; CARVALHO (2010) utilizou um modelo de partículas estocástico Lagrangeano para avaliar a dispersão de escalares causada pelo decaimento da turbulência durante o processo de transição que ocorre o período do pôr-do-sol; NASCIMENTO (2019) simulou os padrões de dispersão de poluentes emitidos a partir de duas fontes pontuais contínua, aplicando-se o modelo de partículas Lagrangeano de Velocidade Aleatória.

O presente estudo tem por objetivo melhorar o entendimento do processo de difusão de poluentes no período noturno na CLP. Para isso, é realizada a simulação numérica da concentração de contaminantes, empregando-se um Modelo Lagrangeano para o período de transição dia-noite. O modelo é parametrizado com uma nova formulação para os coeficientes de difusão turbulenta, que levam em conta o decaimento da ECT na CR.

2. METODOLOGIA

2.1 Modelo Lagrangeano de Deslocamento Aleatório

Para determinar o posicionamento das partículas, a solução para a equação de deslocamento aleatório é dada por:

$$dx_i = \left[U_i(x, t) + \frac{\partial K_i(x, t)}{\partial t} \right] dt + [2K_i(x, t)]^{\frac{1}{2}} dW_j(t) \quad (1)$$

onde x é o vetor deslocamento, t é o tempo, U_i é a velocidade media do vento, K_{ij} é o tensor difusividade turbulenta e dW_j é o processo de Wiener incremental. A equação de deslocamento aleatório é escrita em termos de coeficientes de difusão, resultando em uma relação entre os modelos de dispersão de Lagrangeano e Euleriano.

2.2 Coeficiente de Difusão para a Camada Limite Estável

Atendendo as características e a estrutura da CLP, Degrazia et al. (2000) derivaram parametrizações para o coeficiente de difusão para a CLE:

$$K_i = \frac{\pi \beta \sigma_i^2}{3 U k_e} \quad (2)$$

onde u_* é a velocidade de fricção local e $\emptyset_\varepsilon^n = (\varepsilon kz)/u_*^3$ é a função taxa de dissipação molecular adimensional, $(f_m^*)_i$ é a frequência reduzida do pico espectral κ , é a constante de Von Karman e $c_i = \alpha_i \alpha_u (2\pi k)^{-\frac{1}{2}}$ com $\alpha_u = 0,5 \pm 0,05$ e $\alpha_i = \frac{1,4}{3}, \frac{4}{3}$ para as componentes u, v, w , respectivamente. Estas parametrizações geram valores contínuos em todas as elevações na CLP.

2.3 Coeficiente de Difusão para a Camada Residual

Para a CR, parametrizações para os coeficientes foram sugeridas por GOULART et al. (2003):

$$K_x(z, t) = \frac{0.55}{4\pi} U \sigma_u(z, t) E_u(0, z, t) \quad (3.a)$$

$$K_y(z, t) = \frac{0.55}{4\pi} U \sigma_v(z, t) E_v(0, z, t) \quad (3.b)$$

$$K_z(z, t) = \frac{0.55}{4\pi} U \sigma_w(z, t) E_w(0, z, t) \quad (3.c)$$

Para aplicação na camada residual, a simulação inicia cerca de 1 hora e meia antes do pôr do sol, o que implica que toda a camada limite planetária estará sob condição convectiva bem desenvolvida. Com o pôr do sol, inicia o fenômeno que é de interesse deste projeto: junto à superfície ocorre a evolução da camada limite estável e, acima, a camada residual. Perfis de coeficientes de difusão sugeridos por Degrazia et al. (2000) (Equação 2) são usados para simular a dispersão turbulenta na camada limite estável. Por outro lado, a difusividade turbulenta derivada por Goulart et al. (2003) (Equação 3) é usada para simular o transporte na camada pré-residual. Durante as simulações, novos valores para os coeficientes de difusão são fornecidos ao modelo de deslocamento aleatório a cada hora ou a cada meia hora. A evolução da altura da camada limite foi calculada de acordo com a expressão $h = 70\sqrt{t}$, onde h é dado em metros e t em horas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A simulação da concentração integrada perpendicularmente à direção preferencial do vento (C_y) é gerada para uma emissão pontual contínua de altura igual a 120 m. Na Figura 1 é apresentado o campo de concentração C_y no plano (x-z), a qual demonstra que a emissão de poluentes, posicionada acima da CLE, está submetida à presença da atividade convectiva na CR. O resultado apresentado (Figura 1) mostra que o contaminante penetra no interior da CLE e alcança a superfície. O transporte para a superfície pode ser explicado como segue: as partículas, sofrendo o efeito da dispersão da turbulência convectiva dentro da camada residual alcançam o topo da CLE e são, então, capturadas por um novo ambiente de turbulência estável, contendo propriedades de transporte muito diferentes da CR. A Figura 2 apresenta o perfil vertical de C_y , na qual pode ser visto que na distância de 250 m existe um máximo de C_y na altura aproximada de 120 m e uma significante fração do máximo pode ser observada na superfície.

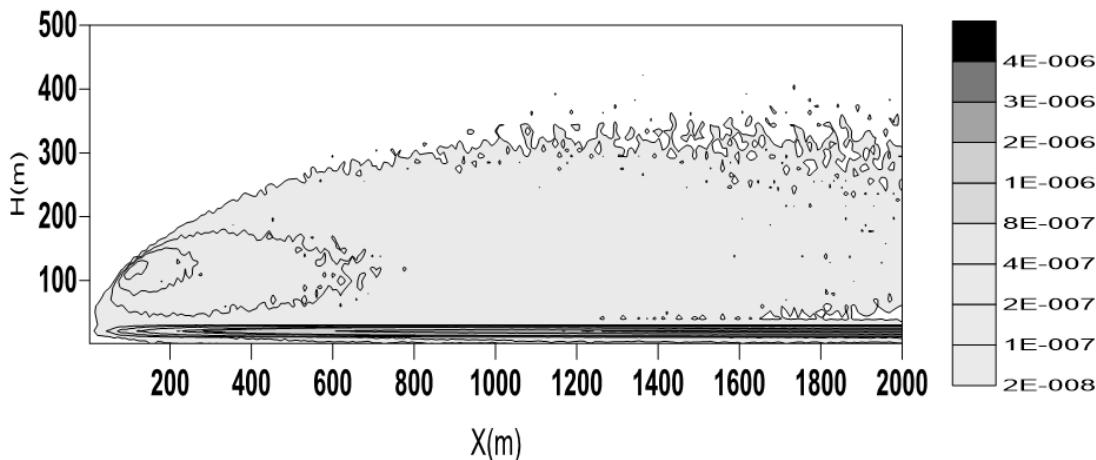


Figura 1: Concentração no plano (x-z). Altura da fonte 120m e altura da CLE 26 m.

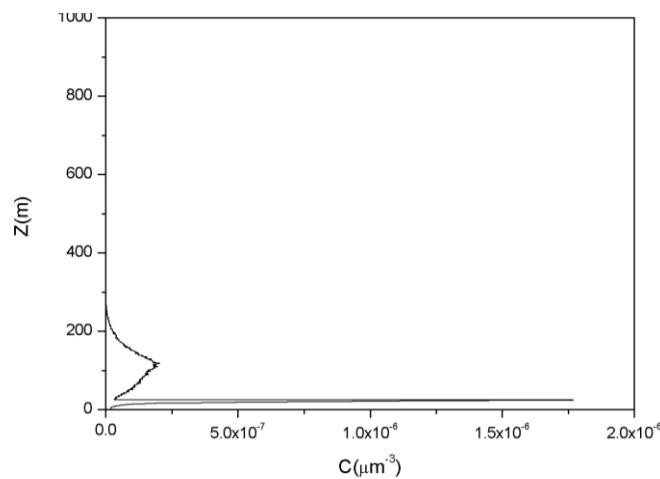


Figura 2: Perfil vertical de concentração na distância de 250 m. Altura da fonte 120m e altura da CLE 26 m.

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados, o entendimento do processo do decaimento de energia cinética turbulenta dentro da Camada Limite Noturna é um fator imprescindível para o conhecimento da dispersão durante o período de transição dia-noite. Nesse período, o comportamento particularizado, devido à presença de dois ambientes distintos, modifica a concentração do contaminante ao longo do tempo. Os resquícios da atividade convectiva do período diurno ainda atuam durante o processo de dispersão na Camada Residual, causando a entrada de poluentes dentro da Camada Limite Estável, de forma que ocasiona o aumento da concentração próximo a superfície.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao MEC pela bolsa PET.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEGRAZIA, G.A., ANFOSSI, D., CARVALHO, J.C., MANGIA, C., TIRABASSI, T. Turbulence parameterization for PBL dispersion models in all stability conditions. *Atmospheric Environment*, v.34, Cambridge, p.3575-3583, 2000

CARVALHO J.C.; DEGRAZIA, G.A.; ANFOSSI, D.; GOULART A.G.; CUCHIARA, G.C.; MORTARINI, L. Simulating characteristic patterns of the dispersion during sunset PBL. *Atmospheric Research*, v. 98, p. 274-284, 2010.

GOULART, A.G., DEGRAZIA; G.A., RIZZA, U., AFONSSI, D.A. **A theoretical model for the study of the convective turbulence decay and comparison with LES data. Boundary-Layer Meteorology**. Springer, 2003, 107, 143-155.

GOULART, A.G.;DEGRAZIA,G.A.;CAMPOS,C.J.,SILVEIRA, C.P.COEFICIENTES DE DIFUSÃO TURBUENTOS PARA A CAMADA RESIDUAL. *Revista Brasileira de Meteorologia*.v.19, n.2,123-128,2004.

NASCIMENTO,A.L.,CARVALHO,J.C.JACONDINO,W.D. Dispersão de Poluentes em Ambiente de Camada Pré-Residual Usando um Modelo Lagrangeano de Velocidade Aleatória. *Anuário do Instituto de Geociências*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.v.41,32-40,2019.

NUNES, A. B. **Crescimento da Camada Limite Convectiva: Estudo analítico e numérico**. 2008, 194p. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

STULL, B. R. **An introduction to boundary layer meteorology**. Dordrecht: Kluwer, 1988. University Press. KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 1992,1-26.