

EVOLUÇÃO TEMPORAL DA CAMADA LÍMITE PLANETÁRIA EM IPERÓ (SP)
DURANTE OS EXPERIMENTOS METEOROLÓGICOS DE CAMPO I E II
- COMPARAÇÃO ENTRE MODELO NUMÉRICO E OBSERVAÇÕES -

por

Leslie de Molnary

Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN/SP)
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)
C.P. 11049 (Pinheiros) - CEP 05499 - São Paulo - Brasil

Amauri Pereira de Oliveira

Instituto Astronômico e Geofísico (IAG/USP)
Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA)
C.P. 09638 - CEP 01065 - São Paulo - Brasil

Abstract

A two layer bulk model is used to simulate numerically the Planetary Boundary Layer evolution for convective and stable conditions. The main objective of the model is to analyse its applicability on environmental concentration evaluation considering operational and accidental atmospheric releases at nuclear power plants. The data collected during the Meteorological Experiments I and II (Iperó (SP)) are used to check and validate the numerical results. Results indicate that the model performs better when $Z_0=0.1$ m and $\gamma=0.001$, and concentration of pollutant is dependent of the time step.

1.Introdução

Na prática operacional o grau de contaminação radiológica no meio ambiente provocadas por instalações nucleares tem sido avaliada basicamente a partir das estimativas da distribuição espacial e temporal da concentração do material liberado. Entretanto, os procedimentos e algoritmos numéricos para estimar-se a distribuição da concentração ambiental sobre determinada região fazem uso de aproximações que por diversas vezes não representam fisicamente os processos de advecção, difusão, remoção do material liberado, evolução temporal e espacial do campo de vento e estrutura termodinâmica da atmosfera.

O modelo numérico apresentado neste trabalho baseia-se em um modelo de duas camadas que permite simular a evolução temporal da CLP para os períodos diurno, transição e noturno. Entre os diversos fatores que contribuíram para a escolha do modelo de duas camadas ressaltam-se: (a) o modelo não necessita de um grande número de dados e parâmetros para inicialização, assim como, o seu tempo de processamento computacional é bastante reduzido, de modo que, a sua eventual utilização operacional para o controle ambiental pode ser acompanhada praticamente em tempo real pelo grupo de operação radiológica da instalação nuclear; (b) o modelo implementa uma formulação Euleriana simplificada da equação da continuidade que incorpora um tratamento baseado na integração dos parâmetros dinâmicos e termodinâmicos médios na dimensão vertical e uma componente horizontal.

Assim sendo, um conjunto de simplificações físicas foram assumidas com o objetivo de utilizar-se a equação da continui-

dade para estudar o impacto das liberações de radionuclídeos na atmosfera utilizando os dados meteorológicos que estão normalmente disponíveis na própria instalação, e outras informações que podem ser fornecidas pelos serviços regionais de previsão do tempo. A calibração do modelo está baseada nas informações meteorológicas coletadas durante os Experimentos Meteorológicos I e II realizados no CEA no que se refere a evolução temporal da altura da CLP e parametrização dos fluxos turbulentos de calor e umidade. Uma descrição detalhada sobre as campanhas experimentais, técnicas de amostragem e resultados preliminares é apresentada por Oliveira e Sakai (1991) e Molnary (1992).

2. Descrição Teórica do Modelo

A formulação proposta para prognosticar a evolução temporal das condições dinâmicas e termodinâmicas da camada de mistura atmosférica (CM) baseia-se no trabalho de Smeda (1979). As equações básicas do modelo, obtidas a partir da utilização da regra de Leibnitz e posterior integração das equações médias de momento (Eq.(1) e (2)), conservação de calor (Eq.(3)), e concentração de radionuclídeos (Eq.(4)) em toda a extensão da CM são apresentadas a seguir. A Figura 1 apresenta uma ilustração de como a CLP é discretizada pelo modelo durante os períodos convectivo e estável.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -f \cdot \Delta v + \frac{\Delta u}{h} \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{u_*^2}{h} \cos(\alpha) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = f \cdot \Delta u + \frac{\Delta v}{h} \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{u_*^2}{h} \sin(\alpha) \quad (2)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{(\overline{w'\theta'})_0}{h} - \frac{(\overline{w'\theta'})_h}{h} - R_{\text{rad}} \quad (3)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{(\overline{w'C'})_0}{h} - \frac{(\overline{w'C'})_h}{h} \quad (4)$$

$$\Delta u = u_g - u_m \quad (5a)$$

$$\Delta v = v_g - v_m \quad (5b)$$

$$\alpha = \tan^{-1}(v_m / u_m) \quad (5c)$$

onde, f é o parâmetro de Coriolis, h é a altura da CM, o vetor *stress* de superfície é dado por $\tau_0/\rho = (u_*^2 \cos(\alpha), u_*^2 \sin(\alpha))$, R_{rad} é o termo de resfriamento radiativo pelo fluxo de onda longa, e u_g e v_g são as componentes do vento geostrófico acima da CM. Para a solução do sistema formado pelas Eq.(1) a (4), é necessário estimar inicialmente a altura da CLP, neste caso, representada pela própria altura da CM. A formulação proposta para prognosticar a altura da CM supõe que: a energia mecânica turbulenta devido a convecção dentro da CM instável (K^*); a energia turbulenta gerada pelo vento (G^*); e a dissipação total de turbulência no interior da CLP (D^*) estão em balanço, ou seja:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{2(G_* - D_*)}{gh((\theta_{AL} - \theta_m)/\theta_m)} + \frac{(w'\theta')_0}{(\theta_{AL} - \theta_m)} + w_h \quad (6)$$

onde, w_h é a velocidade vertical no topo da CM, θ_{AL} é a temperatura potencial na atmosfera livre.

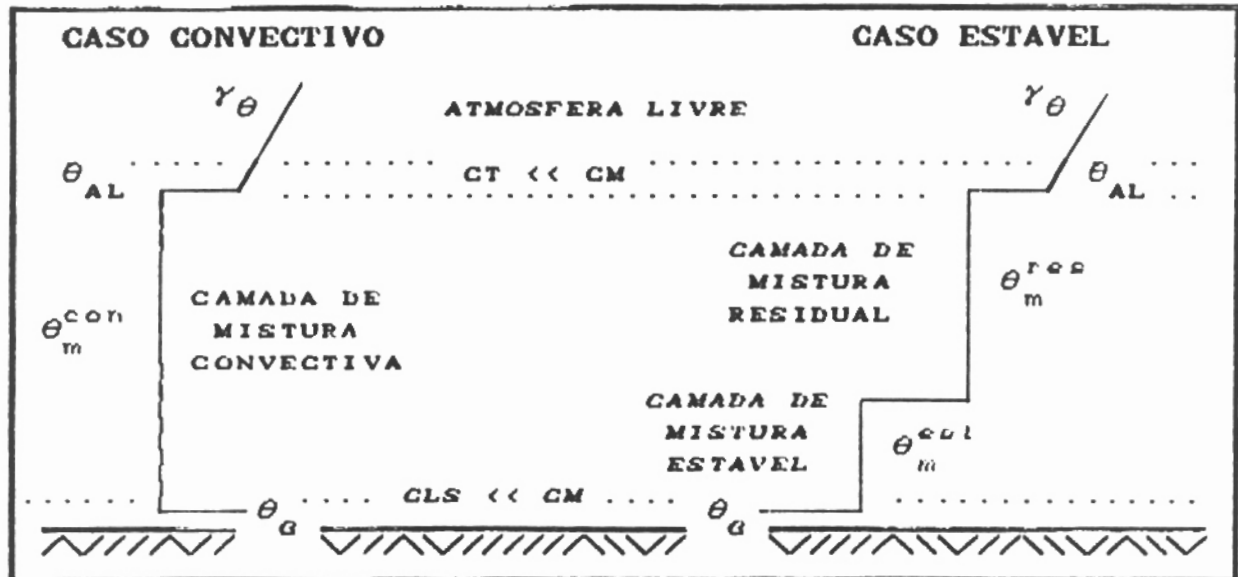


FIGURA 1. Esquemática do modelo para prognosticar a altura da camada limite planetária em função de duas situações distintas: caso convectivo (período diurno) e caso estável (período noturno). A altura da camada limite superficial (CLS) e a espessura da camada de transição (CT) não são consideradas (modelo com salto de ordem zero). γ_θ é o gradiente vertical de temperatura no topo da camada de mistura (CM).

3. Experimentos Numéricos e Conclusões

Dois experimentos numéricos são apresentados e discutidos. O primeiro experimento analisa a evolução diária da altura da CM em função do parâmetro de dissipação γ (GAMA) que está presente no termo D^* da Eq.(6), e que representa a escala de tempo do decaimento da energia cinética turbulenta devido a dissipação molecular. O segundo experimento analisa a influência do tamanho do passo de integração no tempo quando as Eq.(1) a (6) são discretizadas segundo um esquema numérico avançado no tempo.

São utilizadas, como condições iniciais e de contorno, para a integração das equações, os dados coletados entre os dias 16 e 17 de março de 1991. O fluxo turbulento de calor diagnosticado pelo modelo é proporcional à diferença entre a temperatura do solo e a temperatura da CM. A Figura 2 apresenta a evolução temporal da estrutura vertical da CM medida pelo balão-cativo para os dias analisados, assim como, o resultado do modelo utilizado por Oliveira e Sakai (1991) para prognosticar a evolução da altura da CM durante o período convectivo. As Figuras 3 e 4 apresentam respectivamente, a evolução temporal da altura da CM para valores de $Z_0=0.01$ m e $Z_0=0.1$ m, e o comportamento temporal da concentração na CM e atmosfera livre para $dt=360$ s, $dt=720$ s e $dt=1080$ s.

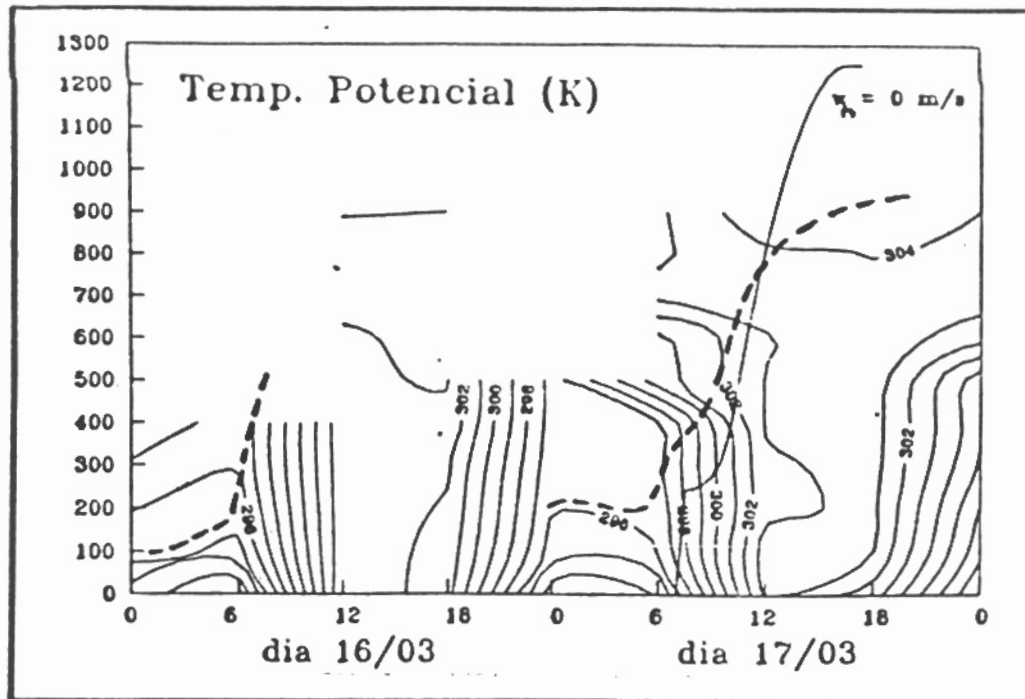


FIGURA 2. Evolução temporal da estrutura vertical da temperatura potencial observadas entre os dias 16 e 17 de março de 1991 através do sistema de balão-ativo do Centro Experimental Aramar, Iperó (SP). A altura da CM estimada visualmente está indicada pela curva tracejada, enquanto a altura da CM simulada numericamente (Oliveira e Sakai (1991)) está indicada pela curva contínua. A velocidade vertical de subsidência é nula.

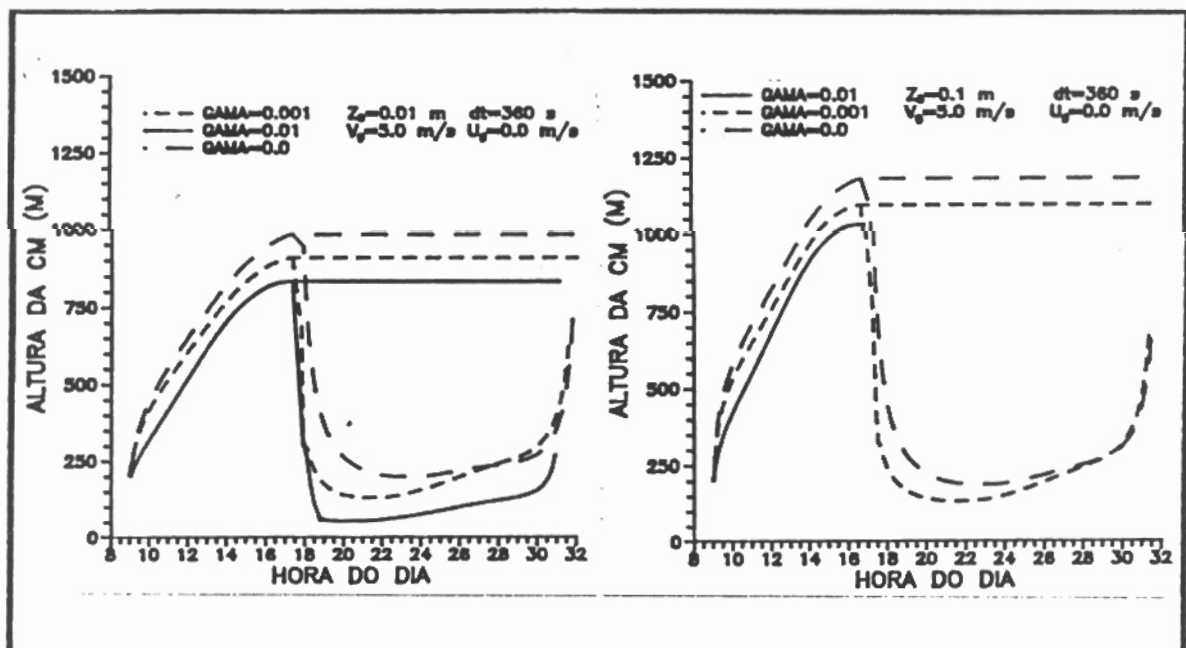


FIGURA 3. Simulação numérica da altura da camada de mistura em função da variação do coeficiente de rugosidade $Z_0=0.01$ m (Figura 3a) e $Z_0=0.1$ m (Figura 3b), e do parâmetro de dissipação da turbulência no interior do CLP $\gamma=0.01$, $\gamma=0.001$ e $\gamma=0.0$.

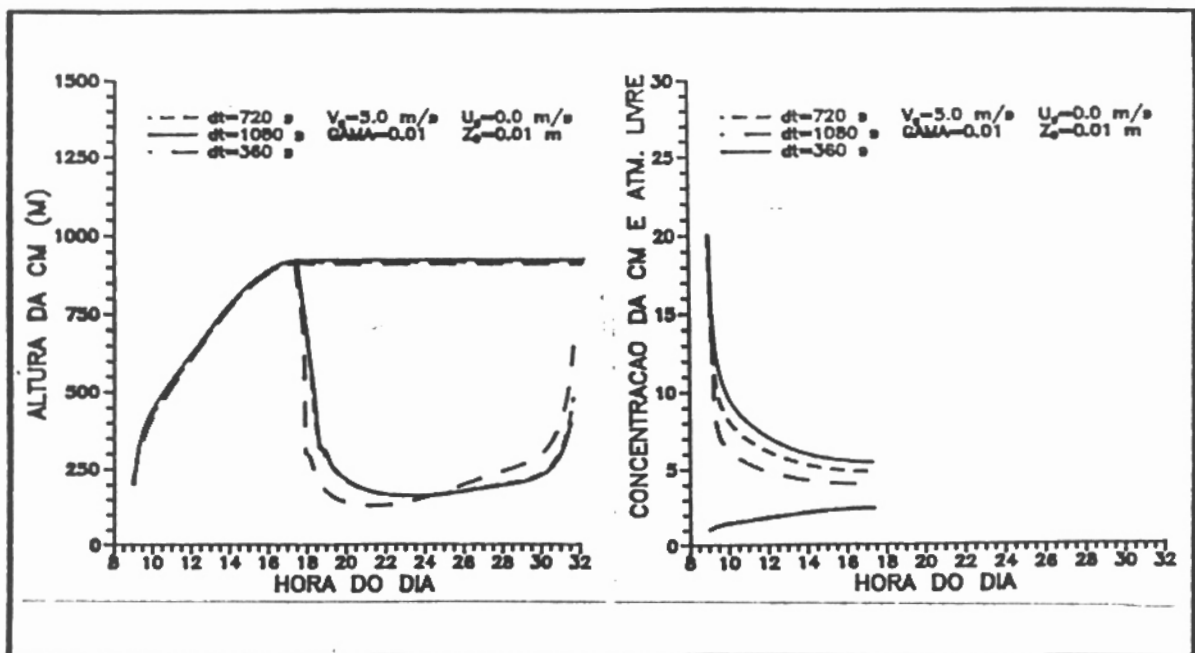


FIGURA 4. Simulação numérica da (a) altura da camada de mistura e (b) da concentração atmosférica no interior da camada de mistura e próximo à interface com a atmosfera livre, em função da variação do passo de integração no tempo. Assume-se que a partir do instante $t_0 + dt$ não existe mais emissão de poluentes próximos a superfície ($(\overline{w'C})_0 = 0.0 \text{ (Cl.m/s)}$).

Comparando-se com as observações (Figura 2), a altura da CM obtida pela simulação numérica é melhor caracterizada pelo modelo, tanto durante o período convectivo quanto o período estável, quando $Z_0 = 0.1 \text{ m}$ e $\gamma = 0.001$ (Figura 3b).

Verificou-se também, que a altura da CM não é praticamente afetada pelo uso de diferentes passos de integração (Figura 4a). Por outro lado, o uso de diferentes passos de integração no tempo produzem valores de concentração na CM bastante diferentes ao final do período convectivo (Figura 4b). Estas diferenças estão associadas em grande parte a descontinuidade no fluxo de poluentes no topo da CM. Durante o período estável é esperado que os valores de concentração sejam mantidos constantes tanto na camada residual quanto na camada de mistura devido a ausência de fluxo de poluentes durante todo o decorrer do dia considerado.

4. Bibliografia

- OLIVEIRA, A.P.; SAKAI, R.K. *Relatório Técnico do Projeto Dinâmica da Camada Limite Planetária em Latitudes Tropicais e Subtropicais*. Departamento de Ciências Atmosféricas - Instituto Astronômico e Geofísico da USP. São Paulo. Dez/91.
- MOLNARY, L. "Análise Preliminar de Resultados e Descrição dos Experimentos Meteorológicos I e II Realizados no Centro Experimental Aramar". *Anais do IV Congresso Geral de Energia Nuclear*. Rio de Janeiro. Jul/92. Em publicação.
- SMEDA, M.S. "A Bulk Model for the Atmospheric Planetary Boundary Layer". *Bound.-Layer Meteor.*, 17, 411-427. 1979.