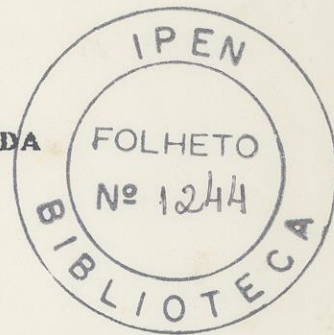


CARACTERIZAÇÃO DE UM MODELO DE CAMADA
DE MISTURA UNIDIMENSIONAL



Leslie de Molnary

Divisão de Engenharia de Segurança Nuclear
Departamento de Tecnologia de Reatores
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Comissão Nacional de Energia Nuclear - São Paulo
Cx.P. 11049 - CEP 05499 - São Paulo - Brasil

Abstract

This paper introduces a numeric procedure to determine the temporal evolution of height, potential temperature and mixing ratio in the atmospheric mixing-layer. The time and spatial derivatives were evaluated via forward in time scheme to predict local evolution of the mixing-layer parameters, and a forward in time, upstream in space scheme to predict the evolution of the mixing-layer over a flat region with a one-dimensional advection component.

1. Introdução

Esse trabalho discute a solução de um algoritmo numérico capaz de prognosticar a evolução diurna da camada de mistura, que é comumente compreendida pela camada de transição entre a atmosfera livre e a camada limite superficial. O interesse em estudar a Camada de Mistura está diretamente relacionado ao estudo da dispersão de poluentes atmosféricos (Oliveira, 1985), pois a dispersão de materiais gasosos e particulados na atmosfera estará limitada pela altura da camada de inversão. Atualmente, o estudo da evolução da camada de mistura tem se mostrado importante na elaboração dos diagnósticos ambientais de complexos industriais potencialmente poluidores da atmosfera e do meio ambiente local.

2. Descrição do Modelo

Esse trabalho utiliza o modelo com salto de ordem zero proposto por Lilly (1968) onde não é considerada a camada de transição, e o topo da CLP é o próprio topo da camada de mistura.

5º Congresso Brasileiro de Meteorologia,
Salvador, BA, 19-23 de novembro, 1990.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR/SP - IPEN

PTC javier

Entre as premissas assumidas tem-se que uma massa de ar horizontalmente homogênea está sujeita a um campo de velocidade vertical devido a sistemas de grande escala ($w(h) < 0$), e que ocorre resfriamento radiativo na camada de ar logo acima da camada de convecção rasa em uma taxa capaz de manter o perfil de temperatura potencial do ambiente estável ($\partial\theta_A/\partial z > 0$). A camada de ar superior a essa camada de convecção rasa (atmosfera livre) é assumida ser não turbulenta. A camada de ar inferior, no caso a própria superfície ou a CLS, é mantida na temperatura potencial θ_o .

As equações básicas que descrevem o modelo de evolução da camada de mistura utilizadas nesse trabalho são demonstradas com detalhe por Oliveira (1985) e se constituem nas equações:

$$\frac{\partial\theta_m}{\partial t} + u_m \frac{\partial\theta_m}{\partial x} + v_m \frac{\partial\theta_m}{\partial y} = \frac{(\overline{w'\theta'})_o - (\overline{w'\theta'})_h}{h} + K_h \left[\frac{\partial^2\theta_m}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\theta_m}{\partial y^2} \right] \quad (1)$$

$$\frac{\partial q_m}{\partial t} + u_m \frac{\partial q_m}{\partial x} + v_m \frac{\partial q_m}{\partial y} = \frac{(\overline{w'q'})_o - (\overline{w'q'})_h}{h} + K_h \left[\frac{\partial^2 q_m}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q_m}{\partial y^2} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u_m \frac{\partial h}{\partial x} + v_m \frac{\partial h}{\partial y} = w(h) - \frac{(\overline{w'\theta'})_h}{\Delta\theta} + K_h \left[\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right] \quad (3)$$

$$(\overline{w'\theta'})_h = -k \cdot (\overline{w'\theta'})_o \quad (4) \quad \frac{(\overline{w'\theta'})_h}{\Delta\theta} = \frac{(\overline{w'q'})_h}{\Delta q} \quad (5)$$

onde o sub-índice m refere-se a camada de mistura, K_h é o coeficiente de difusão horizontal, $(\overline{w'\theta'})$ e $(\overline{w'q'})$ são respectivamente os fluxos verticais turbulentos de temperatura potencial e de razão de mistura, $\Delta\theta$ e Δq são respectivamente as diferenças entre a temperatura potencial e razão de mistura da atmosfera livre e da camada de mistura, e k é o grau de mistura interfacial. Para fechar o sistema de equações é necessário considerar as equações prognósticas para a variação da temperatura potencial e da razão de mistura na atmosfera livre, e que são dadas pelas equações:

$$\frac{\partial\theta_A}{\partial t} + u_m \frac{\partial\theta_A}{\partial x} + v_m \frac{\partial\theta_A}{\partial y} = \Gamma \theta' \frac{k \cdot (\overline{w'\theta'})_o}{\Delta\theta} \quad (6)$$

$$\frac{\partial q_A}{\partial t} + u_m \frac{\partial q_A}{\partial x} + v_m \frac{\partial q_A}{\partial y} = \Gamma_q \frac{k \cdot (\overline{w'\theta'})_o}{\Delta\theta} \quad (7)$$

onde o sub-índice A refere-se a atmosfera livre, Γ_θ e Γ_q são respectivamente os gradientes verticais de temperatura potencial e de razão de mistura.

As relações utilizadas para estimar os fluxos verticais turbulentos de temperatura potencial e de razão de mistura são assumidas, em primeira aproximação, serem da forma senoidal variando apenas em função da hora do dia e do tipo de região analisada conforme proposto por Molnary (1990) e são dadas por:

$$(\overline{w'\theta'})_o = H^* \frac{\text{sen}(\omega \cdot t)}{(\rho \cdot c_p)} \quad (8)$$

$$(\overline{w'q'})_o = E^* \frac{\text{sen}(\omega \cdot t)}{(\rho \cdot L)} \quad (9)$$

onde H^* e E^* são as amplitudes máximas esperadas para os fluxos verticais turbulentos de calor sensível e calor latente na superfície, $\omega = 7.272 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, $\rho = 1.25 \text{ Kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $c_p = 1004 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{Kg}^{-1}$, e $L = 2.5 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{Kg}^{-1}$.

3. Simulação do Modelo para Análise Local

A simulação numérica despreza os termos de advecção e difusão turbulenta horizontal para não permitir a existência de gradientes horizontais de temperatura e umidade. O algoritmo numérico utilizado é o avançado no tempo ("forward"). As Figuras 1 a 3 apresentam a variação temporal da altura, temperatura potencial e razão de mistura para as condições iniciais e de contorno propostas por Oliveira (1985), e considerando 3 passos de integração: $\Delta t=100 \text{ s}$, $\Delta t=3600 \text{ s}$ e $\Delta t=7200 \text{ s}$.

4. Simulação do Modelo para Análise Regional

Essa simulação numérica despreza as componentes do vento na direção y , v_m , e de difusão turbulenta horizontal, mantendo a componente do vento na direção x , u_m , constante, permitindo a existência de gradientes horizontais de temperatura e umidade sobre a região. O algoritmo numérico é o avançado no tempo para os termos com variação temporal e não advectivos e o atrasado no espaço

para os termos advectivos assumindo $u_m > 0$ ("forward-upstream"). As Figuras 4 a 6 apresentam a altura da camada de mistura, temperatura potencial e razão de mistura para uma região caracterizada por região rural e com a presença de corpo d'água, assumindo uma velocidade uniforme sobre toda a região e as condições iniciais e de contorno propostas por Oliveira (1985), e $\Delta t = 300$ s.

5. Resultados

A) Simulação [1]: As integrações numéricas das equações (1) a (7) para diferentes passos de integração mostrou que $\Delta t = 100$ s é o passo que melhor reproduz a evolução temporal da altura da camada de mistura, sendo que os passos $\Delta t = 3600$ s e $\Delta t = 7200$ s superestimam a altura em cerca de 50 e 100 m respectivamente. Com relação a evolução da temperatura potencial todos os passos convergem para o valor de 304 K. O parâmetro de razão de mistura foi subestimado em cerca de 4 g/Kg para $\Delta t = 7200$ s em relação ao valor esperado após 12 horas de integração.

B) Simulação [2]: A simulação da evolução da altura da camada de mistura, temperatura potencial e razão de mistura mostra a influência direta com os tipos de superfícies analisadas, ou seja no caso da região rural devido ao aquecimento da atmosfera através do transporte de calor sensível na vertical, a altura da camada de mistura tende a se elevar, enquanto que, na região de lago devido a ausência do fluxo vertical turbulento de calor sensível e atuação de um movimento vertical de subsidência, a tendência é ocorrer um abaixamento na altura da camada de mistura nas primeiras horas do dia.

6. Referências

- LILLY, D.K. Models of cloud-topped mixed layers under a strong inversion. *Quart.J.Roy.Meteor.Soc*, 94, 292-309, 1968.
- MOLNARY, L. Modelagem numérica da evolução diurna da camada de mistura atmosférica. São Paulo. Publicação IPEN 296. Março/90.
- OLIVEIRA, A.P. *Evolução da Camada Limite Planetária e Implicações na Qualidade do Ar*. São Paulo. 1985. (Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo).

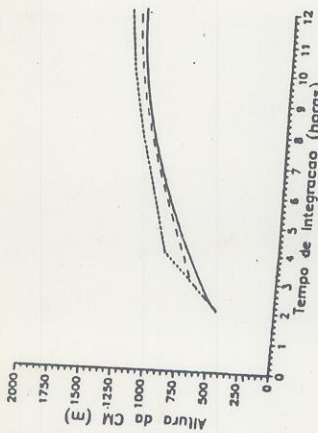


FIGURA 3. - Altura da Camada de Mistura em função do tempo e do passo de integração ($dt=100$ e $dt=3000$ s) ($dt=100$ s (---), $dt=7200$ s (---), $dt=3000$ s (---)), com um esquema avançado no tempo. Assumidos: grau de mistura interfacial $k=0.20$, velocidade de substituição $w(b)=0.0$ m/s, e gradiente vertical de unidade $q=0.0$ g/kg/s.

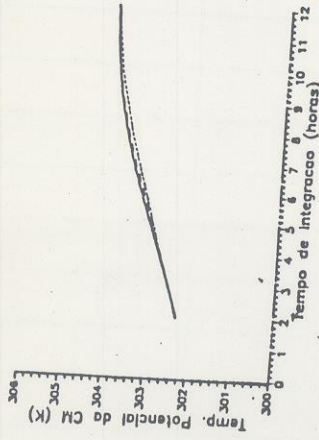


FIGURA 2. - Temperatura Potencial da Camada de Mistura em função do tempo e do passo de integração ($dt=100$ e $dt=3000$ s) ($dt=100$ s (---), $dt=7200$ s (---), $dt=3000$ s (---)), com um esquema avançado no tempo. Assumidos: grau de mistura interfacial $k=0.20$, velocidade de substituição $w(b)=0.0$ m/s, e gradiente vertical de unidade $q=0.0$ g/kg/s.

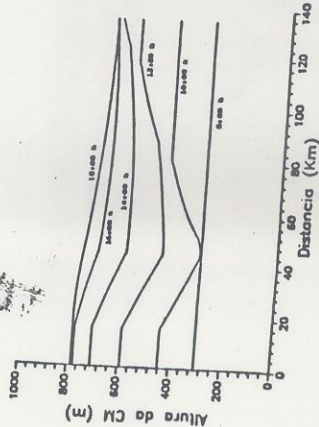


FIGURA 4. - Altura da Camada de Mistura em função da distância e da hora do dia com um esquema avançado no tempo e atenuado no espaço. Assumidos: $k=0.20$, $w(b)=0.0$ m/s, $q(b)=0.003$ m/s, $dt=1200$ s e $dt=300$ s. Região Rural: 0-15 km e 45-135 km. Região de Lago: 15-45 km.

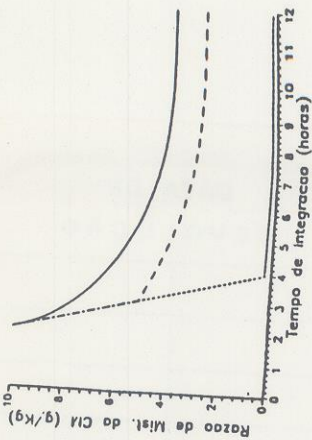


FIGURA 3. - Razão de Mistura da Camada de Mistura em função do tempo e do passo de integração ($dt=100$ e $dt=3000$ s) ($dt=100$ s (---), $dt=7200$ s (---), $dt=3000$ s (---)), com um esquema avançado no tempo. Assumidos: grau de mistura interfacial $k=0.20$, velocidade de substituição $w(b)=0.0$ m/s, e gradiente vertical de unidade $q=0.0$ g/kg/s.

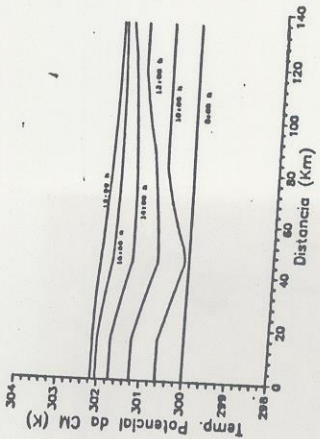


FIGURA 5. - Temperatura Potencial da Camada de Mistura em função da distância e da hora do dia com um esquema avançado no tempo e atenuado no espaço. Assumidos: $k=0.2$ e $w(b)=0.003$ m/s, $q(b)=0.003$ m/s, $dt=1200$ s e $dt=300$ s. Região Rural: 0-15 km e 45-135 km. Região de Lago: 15-45 km.

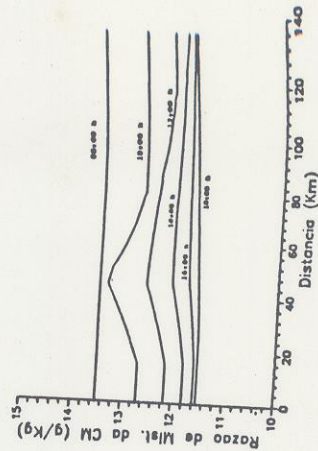


FIGURA 6. - Razão de Mistura da Camada de Mistura em função da distância e da hora do dia com um esquema avançado no tempo e atenuado no espaço. Assumidos: $k=0.20$ e $w(b)=0.003$ m/s, $q(b)=0.003$ m/s, $dt=1200$ s e $dt=300$ s. Região Rural: 0-15 km e 45-135 km. Região de Lago: 15-45 km.