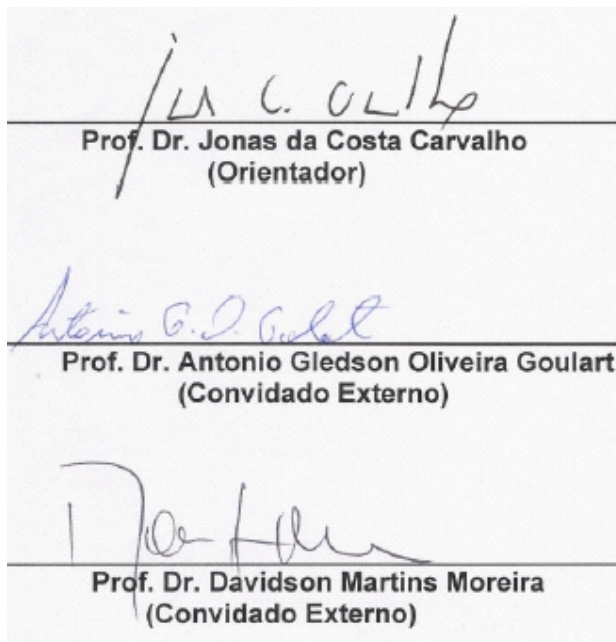


LISIANE RAMIRES MENESES

IMPLEMENTAÇÃO DE UM NOVO MÉTODO PARA O CÁLCULO DO
“*PLUME RISE*” EM UM MODELO LAGRANGEANO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pelotas, sob a orientação do Prof. Dr. Jonas da Costa Carvalho, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia para a obtenção do título de Mestre em Ciências (M.S.).

APROVADA: 25 de abril de 2005



The image shows three handwritten signatures, each followed by a horizontal line and the printed name and title of the signatory. The first signature is in black ink and belongs to Prof. Dr. Jonas da Costa Carvalho (Orientador). The second signature is in blue ink and belongs to Prof. Dr. Antonio Gledson Oliveira Goulart (Convidado Externo). The third signature is in black ink and belongs to Prof. Dr. Davidson Martins Moreira (Convidado Externo).

Prof. Dr. Jonas da Costa Carvalho
(Orientador)

Prof. Dr. Antonio Gledson Oliveira Goulart
(Convidado Externo)

Prof. Dr. Davidson Martins Moreira
(Convidado Externo)

Dedico esta dissertação aos meus pais, Julio e Sirlei e a minha irmã, Anelise.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, de uma maneira especial, ao Prof. Dr. Jonas da Costa Carvalho, não só pela valiosa orientação neste trabalho, mas pela dedicação à minha formação profissional. Obrigada pelo incentivo, confiança e auxílio em todos os momentos que precisei;

À Prof^a. Dra. Claudia Rejane Jacondino de Campos que através de sua co-orientação, disponibilizou diversas vezes seu tempo e seus conhecimentos para colaborar no desenvolvimento deste trabalho;

Aos meus pais, Julio e Sirlei, e minha irmã, Anelise, pelo carinho, compreensão e pelo estímulo dado ao longo desta caminhada;

A todos os Professores, Coordenação, Funcionários e Colegas do PPGMet/UFPel, cujo apoio e colaboração foram fundamentais;

E a todos aqueles que de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

ÍNDICE

LISTA DE SÍMBOLOS.....	vi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE TABELAS.....	xiv
RESUMO.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	05
2.1 Camada Limite Planetária e Generalidades sobre a Dispersão.....	05
2.2 Modelos de Partículas Lagrangeano.....	13
2.3 Plume Rise em Modelos Estocásticos Lagrangeanos.....	16
2.3.1 Métodos Empíricos.....	16
2.3.2 Métodos Semi-Empíricos.....	19
3. METODOLOGIA.....	24
3.1 O Modelo LAMBDA.....	24
3.2 O Método CSIRO.....	27
3.3 Parametrização da Turbulência.....	30
3.4 Solução das Equações Diferenciais.....	37
3.5 Dados Experimentais.....	40
4. RESULTADOS.....	42
5. CONCLUSÕES.....	49
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

LISTA DE SÍMBOLOS

a_i - coeficiente determinístico

b_i - coeficiente estocástico

$C(x_i, t)$ - concentração em um volume imaginário na posição x , y e z

c - coeficiente empírico ($c = 10$)

C_0 - constante de Kolmogorov

C_o - concentração máxima observada ao nível da superfície

C_p - concentração máxima prevista ao nível da superfície

C_y - concentração integrada lateralmente ao nível da superfície

dW - incremento aleatório com distribuição normal

E - energia cinética turbulenta

f - frequência reduzida

f_c - parâmetro de Coriolis

$(f_m^*)_i$ - frequência reduzida do pico espectral convectivo

$(f_m)_i$ - frequência reduzida do pico espectral neutro

F_b - fluxo de empuxo

$\overline{F_b}$ - fluxo de empuxo médio

$F_i^E(n)$ - Espectro Euleriano normalizado pela variância da velocidade Euleriana

F_m - fluxo de momentum
 g - aceleração da gravidade
 G - volume da pluma
 h_e - altura efetiva da pluma
 H_S - altura da fonte
 i - índice que representa as componentes u , v e w da velocidade do vento
 K_α - coeficiente de difusão turbulento genérico
 L - comprimento de Monin-Obukhov
 m_p - massa da partícula
 n - frequência
 N_p - número de partículas emitidas por passo de tempo
 N_v - número de partículas dentro do volume da célula
 $N_{\Delta t}$ - número de passos no tempo
 $P(x_i, u_i)$ - Função Densidade de Probabilidade Euleriana
 Q - taxa de emissão
 r - raio da fonte
 R - raio da pluma
 s - parâmetro de estabilidade do ambiente
 s_c - distância ao longo da linha central da pluma
 S_i - Espectro Euleriano dimensional
 t - tempo
 T_a - temperatura ambiente
 T_{Li} - escala de tempo integral Lagrangeana
 T_S - temperatura da pluma
 T_{ao} - temperatura ambiente na altura da fonte de emissão
 T_{S0} - temperatura de saída da pluma
 u - componente turbulenta do vento na direção zonal
 U - velocidade média do vento na direção zonal
 U_a - velocidade horizontal do vento
 U_i - velocidade média do vento genérica

u_* - velocidade de fricção

$(u_*)_0$ - velocidade de fricção superficial

U_{SC} - velocidade ao longo da linha central da pluma

u_p - velocidade horizontal da partícula

v - componente turbulenta do vento na direção meridional

v_a - velocidade relativa a duas partículas separadas por uma distância R_*

V_c - volume da célula

v_e - velocidade de entranhamento

v_{S0} - velocidade de saída da pluma

W - velocidade média do vento na direção vertical

w - componente turbulenta do vento na direção vertical

w_b - velocidade vertical devida ao empuxo da pluma

w_* - escala de velocidade convectiva

$(\overline{w'\theta'})_0$ - fluxo de calor cinemático superficial na vertical

x - coordenada cartesiana (direção zonal)

z - coordenada cartesiana (direção vertical)
- altura arbitrária

z_i - altura da Camada Limite Convectiva

z_1 - altura da partícula no instante de tempo t

LISTA DE SÍMBOLOS GREGOS

α - índice que representa as direções x , y e z

β - constante de entranhamento

β_i - razão entre as escalas de tempo integrais Lagrangeana e Euleriana

δ_i - delta de Kronecker

$\varepsilon(x_i, t)$ - taxa de dissipação de energia cinética turbulenta

ε_a - taxa de dissipação de energia cinética turbulenta associada à turbulência ambiente

ε_b - taxa de dissipação de energia cinética turbulenta associada à produção térmica

ε_s - taxa de dissipação de energia cinética turbulenta associada à produção mecânica

κ - constante de Von Karman ($\kappa = 0.4$)

Δh - plume rise (ascensão da pluma)

$\Delta h(t)$ - plume rise em relação ao tempo

Δu - diferença entre as velocidades da pluma e do ambiente

Δt - passo no tempo

Δz - incremento vertical de ascensão da pluma

θ_v - temperatura potencial virtual

$\overline{\theta_v}$ - temperatura potencial virtual média

ρ_a - densidade do ar atmosférico

$\rho(t)$ - densidade da pluma no decorrer do tempo t

ρ_s - densidade da pluma

σ_i - desvio padrão das velocidades turbulentas em direção genérica

σ_w - desvio padrão da componente vertical da velocidade turbulenta

σ_i^2 - variância da velocidade turbulenta

σ_{Li} - escala de descorrelação Lagrangeana

σ_{ia}^2 - variância da velocidade devida à turbulência do ar ambiente

σ_{ib}^2 - variância da velocidade associada a turbulência devida ao empuxo da pluma

τ_k - escala de tempo de Kolmogorov

τ_L - escala de tempo de descorrelação Lagrangeana

ψ_{eb} - função taxa de dissipação molecular adimensional associada à produção térmica

ϕ_{es} - função taxa de dissipação associada à produção mecânica

$(\lambda_m)_i$ - comprimento de onda do pico do espectro

γ_1 - parâmetro empírico

γ - parâmetro empírico

$\partial\theta/\partial z$ - gradiente vertical de temperatura potencial

LISTA DE ABREVIATURAS

ARCMAX – Máxima Concentração ao nível da superfície

CLC – Camada Limite Convectiva

CLE – Camada Limite Estável

CLP – Camada Limite Planetária

CR – Camada Residual

FA2 – Fator de 2 (Índice estatístico)

FB – Desvio Fracional (Índice estatístico)

FS – Desvio Padrão Fracional (Índice estatístico)

LAMBDA – Lagrangian Model for the Buoyant Emission Dispersion in Atmosphere

NMSE – Erro Quadrático Médio Normalizado (Índice estatístico)

R - Coeficiente de Correlação (Índice estatístico)

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Representação esquemática do comportamento de ascensão da pluma.....	04
FIGURA 2: Divisão da troposfera em função da influência da superfície no escoamento do ar.....	06
FIGURA 3: Evolução temporal da Camada Limite Planetária.....	07
FIGURA 4: Diferença entre o comportamento de uma pluma dispersada na Camada Limite Estável e outra na Camada Residual.....	12
FIGURA 5: Lofting de uma pluma dispersada na Camada Residual.....	13
FIGURA 6: Perfis de variância da velocidade turbulenta adimensional [$\sigma_u^2(\bullet)$, $\sigma_v^2(\blacksquare)$, $\sigma_w^2(\blacktriangle)$] de acordo com a equação (14) para uma condição tipicamente convectiva ($L = -10$ m, $h = 1000$ m e $w_* = 2.0$ m/s).....	36
FIGURA 7: Perfis de escala de tempo de decorrelação Lagrangeana adimensional [$\tau_u(\blacksquare)$, $\tau_v(\bullet)$, $\tau_w(\blacktriangle)$] de acordo com a equação (15) para uma condição tipicamente convectiva ($L = -10$ m, $h = 1000$ m e $w_* = 2.0$ m/s).....	36

FIGURA 8: Perfis de escala de tempo de descorrelação Lagrangeana adimensional [τ_u (■), τ_v (●), τ_w (▲)] de acordo com a equação (15) para uma condição tipicamente convectiva ($L = -10$ m, $z_i = 1000$ m e $w_* = 2.0$ m/s).....37

FIGURA 9: Comportamento da pluma, com efeito de *plume rise* para o experimento 2 de Kincaid.....45

FIGURA 10: Comportamento da pluma sem efeito de *plume rise* para o experimento 2 de Kincaid.....45

FIGURA 11: Comparação entre perfil longitudinal de máxima concentração ao nível da superfície (*arcmax*) como previsto pelo modelo LAMBDA, com e sem o efeito de *plume rise*.....46

FIGURA 12: Comparação entre perfil longitudinal de máxima concentração ao nível da superfície (*arcmax*) como previsto pelo modelo LAMBDA, com e sem o efeito de *plume rise*.....46

FIGURA 13: Diagrama de espalhamento para a comparação entre valores de máxima concentração (*arcmax*) observados (C_o) e previstos (C_p).....48

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Dados meteorológicos e dados de emissão medidos durante oito experimentos convectivos em Kincaid.....41

TABELA 2: Comparação entre valores de máxima concentração (*arcmax*) observados e previstos.....47

TABELA 3: Índices estatísticos calculados utilizando os valores de máxima concentração (ARCMAX) observados e previstos da Tabela 2.....48

RESUMO

MENESES, LISIANE RAMIRES. M.S., Universidade Federal de Pelotas, abril de 2005. **Implementação de um novo método para o cálculo do “*Plume Rise*” em um modelo Lagrangeano.** Orientador: Prof. Dr. Jonas da Costa Carvalho. Co-Orientadora: Prof^a. Dra. Claudia Rejane Jacondino de Campos.

Neste trabalho, um método semi-empírico para determinar a ascensão da pluma devido ao empuxo é implementado no modelo LAMBDA (*LAgrangian Model for the Buoyant emission Dispersion in Atmosphere*). LAMBDA é um modelo Lagrangeano tridimensional para simular a dispersão de poluentes sobre terreno plano e pode usar os momentos superiores das flutuações de velocidade do vento. A aproximação para incluir a ascensão da pluma no modelo LAMBDA é baseada na solução de um sistema de equações de conservação do volume da pluma, do fluxo de empuxo e do fluxo de momentum. Concentração medidas ao nível da superfície durante o experimento de Kincaid são utilizadas para avaliar as simulações. Uma análise estatística revela que o modelo simula satisfatoriamente as concentrações observadas durante o experimento.

ABSTRACT

MENESES, LISIANE RAMIRES. M.S., Universidade Federal de Pelotas, april, 2005. Adviser: Prof. Dr. Jonas da Costa Carvalho. Comit e: Prof^a. Dra. Claudia Rejane Jacondino de Campos.

In this work, a semi-analytical method to determine the buoyant plume rise is implemented on LAMBDA (*LAgrangian Model for the Buoyant emission Dispersion in Atmosphere*) model. LAMBDA is a tridimensional Lagrangian model projected to simulate the pollutant dispersion in flat terrain and can use as input higher order moments of the velocity fluctuations. The approach to including plume rise in LAMBDA is based on equation system of conservation of plume volume, buoyancy and momentum flux. Ground-level concentrations measured during a tracer dispersion experiment carried out in Kincaid are used to compare observed and predicted concentrations. A statistical analysis reveals that model simulates satisfactorily the concentration observed during the experiment.