

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia
Curso de Graduação em Meteorologia

MODELAGEM ATMOSFÉRICA

Aula 4



Universidade Federal
de Campina Grande

Disciplina:

Modelagem Atmosférica

Enilson Palmeira Cavalcanti
enilson.cavalcanti@ufcg.edu.br

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Graduação e Pós-Graduação em Meteorologia



Sistema de Equações

Equação do Movimento.

Equação da Continuidade de Massa

Equação da Energia Termodinâmica

Equação da Substância Água

Equação de Estado

Sistema de Equações

Equação do movimento

$$\frac{D\vec{V}}{Dt} = \sum \frac{\vec{F}}{m} \quad \longrightarrow \quad \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p - 2\vec{\Omega} \times \vec{V} + \vec{g} + \vec{F}_v$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{Du}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + fv + F_x \\ \frac{Dv}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - fu + F_y \\ \frac{Dw}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g + F_z \end{array} \right.$$

Em que

$$\frac{D}{Dt} \equiv \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z}$$

$$f = 2\Omega \sin \phi$$

Sistema de Equações

Equação da continuidade

$$\frac{1}{\rho} \frac{D\rho}{Dt} = -\nabla \cdot \vec{V}$$

Equação da Termodinâmica

$$c_p \frac{DT}{Dt} - \alpha \frac{Dp}{Dt} = H$$

Equação da substância água

$$\frac{Dq}{Dt} = e - p$$

Equação de estado

$$p = \rho R T$$

Em que:

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z}$$

Solução do Sistema de Equações

Solução analítica: Só são possíveis para casos específicos (simplificações) e lineares (método das perturbações). Exemplo: Onda de Som, Onda de Gravidade, Onda de Gravidade Interna e Onda de Rossby.

Solução numérica: As variáveis são representadas discretamente em pontos fixos (GRADE) e os termos avaliados por método numérico.

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = F(A)$$

$$A^{\text{Previsto}} = A^{\text{Inicial}} + F(A) \cdot \Delta t$$

Principais fontes de erros

- Os erros de Discretização, ou de Aproximação, ou Truncamento são os erros cometidos quando se substitui qualquer processo infinito por um processo finito ou discreto.
- Os erros de Arredondamento surgem quando trabalhamos com máquinas digitais para representar os números reais.



Instabilidade Computacional

Critério C.F.L. (Courante-Friedrichs-Levy)

$$\sigma = c \left(\frac{\delta t}{\delta x} \right) \leq 1$$

Em que “c” é a velocidade máxima do domínio

Equação prognóstica do vento - Componente x

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - \omega \frac{\partial u}{\partial p} + fv - \frac{\partial \phi}{\partial x} + F_x$$

- Taxa de variação local da componente zonal do vento.
- Advecção da componente zonal do vento.
- Convecção da componente Zonal do vento.
- Balanço Geostrófico em x – Força de Coriolis e Força do Gradiente de Pressão por unidade de massa.
- Outros processos físicos, como: fricção da superfície e mistura turbulenta.

Equação prognóstica do vento - Componente y

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} - \omega \frac{\partial v}{\partial p} - fu - \frac{\partial \phi}{\partial y} + F_y$$

- Taxa de variação local da componente meridional do vento.
- Advecção da componente meridional do vento.
- Convecção da componente meridional do vento.
- Balanço Geostrófico em y – Força de Coriolis e Força do Gradiente de Pressão por unidade de massa.
- Outros processos físicos, como: fricção da superfície e mistura turbulenta.

Equação prognóstica da temperatura

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -u \frac{\partial T}{\partial x} - v \frac{\partial T}{\partial y} - \omega \left(\frac{\partial T}{\partial p} - \frac{RT}{c_p p} \right) + \frac{H}{c_p}$$

- Taxa de variação local da temperatura do ar.
- Advecção de temperatura pelo vento.
- Diferença entre convecção de temperatura e processos adiabáticos causados por compressão ou expansão da parcela de ar (proporcional entre a diferença do lapse rate previsto e o lapse rate adiabático seco).
- O efeito de outros processos: radiação, umidade condensação; incluindo efeitos de convecção e de microfísica de nuvens.

Equação prognóstica de umidade (substância água)

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -u \frac{\partial q}{\partial x} - v \frac{\partial q}{\partial y} - w \frac{\partial q}{\partial z} + e - p$$

- Taxa de variação local da umidade específica do ar.
- Advecção de umidade específica do ar pelo vento.
- Convecção de umidade do ar.
- Taxa de evaporação de água líquida ou sublimação de cristais de gelo.
- Taxa de condensação (Precipitação) os modelos tem complexos esquemas para estimar a condensação e a conseqüente precipitação ($P=P_L+P_C$).

Essa equação é utilizada para todas as fases da substância água.

Equações Diagnósticas (simplificações)

Continuidade de massa
e incompressibilidade.

$$\frac{1}{\rho} \frac{D\rho}{Dt} = -\nabla \cdot \vec{V}$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

Movimento vertical e
aproximação hidrostática

$$\frac{Dw}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g + F_z$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial p} = -\frac{RT}{p}$$



Fim da Aula-04

FIM