



Modelagem Numérica (Introdução a PNT)

Chou Sin Chan

chou@cptec.inpe.br

III WorkEta

Cachoeira Paulista, 25 a 29 de outubro de 2010

MODELAGEM DA ATMOSFERA

Equações Primitivas

1. Vento horizontal $\frac{D^i V_H}{Dt} = -2\Omega_i \times V_H - \frac{1}{\rho} \nabla_H p + F_H$
2. Equil hidrostático $0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g$
3. da continuidade $\frac{D\rho}{Dt} = -\rho \nabla \cdot V$
4. da termodinâmica $c_v \frac{DT}{Dt} = -p \frac{D\alpha}{Dt} + Q$
5. do estado $p = \rho RT$
6. umidade do ar $\frac{Dq}{Dt} = Q'$

Equações diferenciais parciais não-lineares

Diferenças finitas

$\Delta x, \Delta y$: resolução horizontal (grid length)
 $x = i \Delta x$

$$\frac{du}{dx} = \frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta x}$$

Expansão em série de Taylor:

$$u(x + \Delta x) = u(x) + \frac{du}{dx} \Delta x + \frac{d^2 u}{dx^2} \frac{\Delta x^2}{2} + \frac{d^3 u}{dx^3} \frac{\Delta x^3}{6} + O(\Delta x^4) \quad (1)$$

$$u(x - \Delta x) = u(x) - \frac{du}{dx} \Delta x + \frac{d^2 u}{dx^2} \frac{\Delta x^2}{2} - \frac{d^3 u}{dx^3} \frac{\Delta x^3}{6} + O(\Delta x^4) \quad (2)$$

Derivada Primeira (1-2):

$$u(x + \Delta x) - u(x - \Delta x) = 2 \frac{du}{dx} \Delta x + O(\Delta x^3) \quad (3)$$

$$\frac{du}{dx} = \frac{u(x + \Delta x) - u(x - \Delta x)}{2 \Delta x} + O(\Delta x^2) \quad (4)$$

Derivada Segunda (1+2):

$$\frac{d^2 u}{dx^2} = \frac{u(x + \Delta x) + u(x - \Delta x) - 2u(x)}{\Delta x^2} + O(\Delta x^2) \quad (5)$$

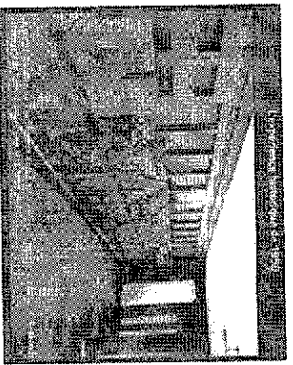
(Diferença centrada)

MODELAGEM DA ATMOSFERA

- Conservação do momentum angular
- Conservação da massa
- Conservação da energia total

1945 - ENIAC - O 1o computador foi testado com modelo atmosférico.

1950 - Charney, Fjortoff, Von Neuman realizam a 1a. previsão numérica de tempo a partir da equação da vorticidade absoluta > *previsão da altura geopotencial de 500mb.*



1956 - Eliassen propõe a volta do sistema de equações utilizadas por Richardson (Eqs primitivas)

1966 - Previsão de tempo rodado em ambiente operacional.

Diferenças finitas

Equação de Advecção:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -c \frac{\partial u}{\partial x} \quad u(x, t) = u_i^n \quad (1)$$

Forward:

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\Delta t} = -c \left(\frac{u_{i+1}^n - u_{i-1}^n}{2\Delta x} \right) \quad (2)$$

Leapfrog:

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^{n-1}}{2\Delta t} = -c \left(\frac{u_{i+1}^n - u_{i-1}^n}{2\Delta x} \right) \quad (3)$$

Backward:

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\Delta t} = -c \left(\frac{u_{i+1}^{n+1} - u_{i-1}^{n+1}}{2\Delta x} \right) \quad (4)$$

Upstream-Forward:

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\Delta t} = -c \left(\frac{u_i^n - u_{i-1}^n}{2\Delta x} \right) \quad (5)$$

Condição de ESTABILIDADE NUMÉRICA: CFL < 1

$$CFL = c \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (6)$$

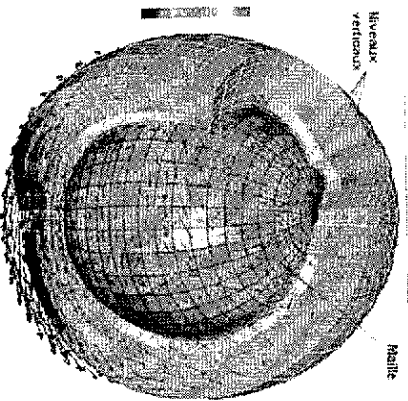
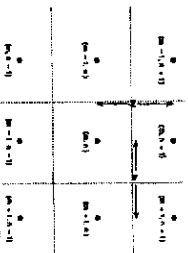
CFL: Courant-Friedrichs-Lewy

O passo de tempo, Δt , deve ser escolhido de forma que a variável dependente (u) seja advectada de uma distância menor que Δx no intervalo de tempo Δt .

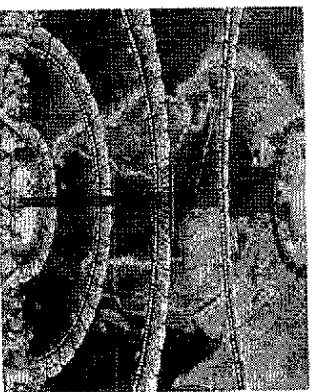
Modelo em "ponto de grade"

O espaço é dividido em caixas definidas por grades horizontais e níveis verticais.

Em cada caixa a atmosfera é homogênea e é suficiente conhecer o valor em 1 ponto da caixa.

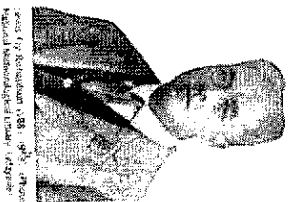


O sonho de Richardson, 1922



Equações de previsão de tempo foram resolvidas por métodos numéricos. Uma previsão de somente 6h resultou numa previsão irrealista.

64000 pessoas seriam necessárias para efetuar os cálculos para produzir uma previsão de tempo sobre o globo.



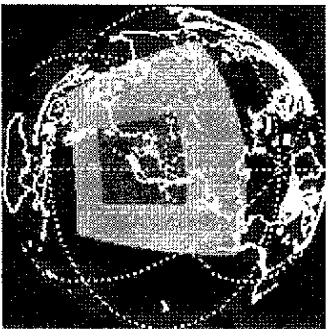
Lewis Fry Richardson (1881 - 1953) - The National Meteorological Center - 1/23/2008

Hierarquia dos Modelos Numéricos Atmosféricos

Global: Acompanhamento dos padrões de escala sinótica para todo o globo.

Regional: Aplicação semelhante aos modelos globais, mas com resolução maior sobre uma área limitada de interesse.

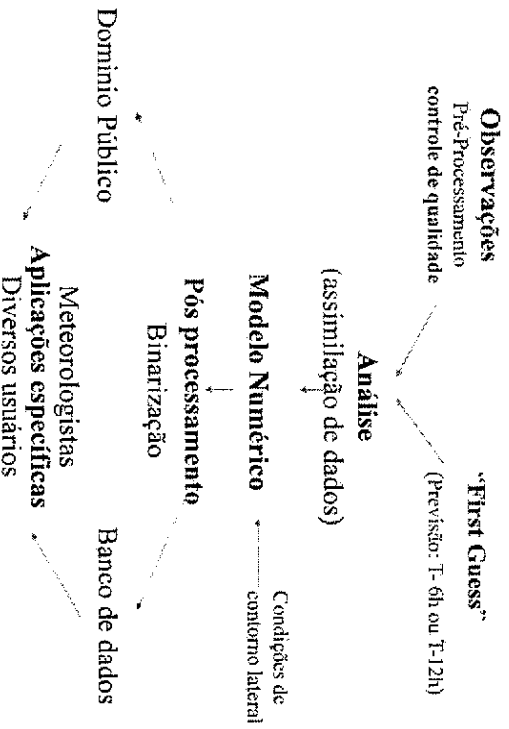
Mesoescala: Acrescenta detalhes aos padrões de escala sinótica previstos no modelo regional.



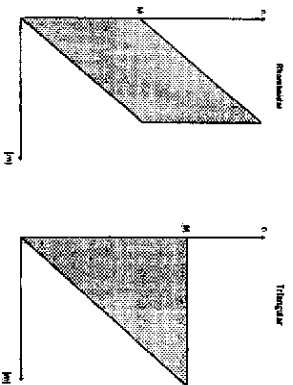
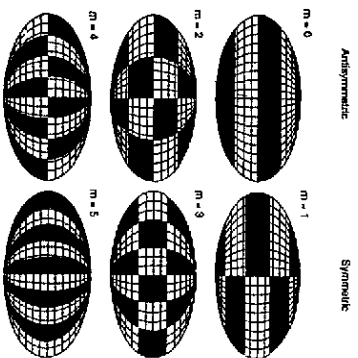
Interação entre os modelos



Etapas para produzir PNT



Modelo Espectral



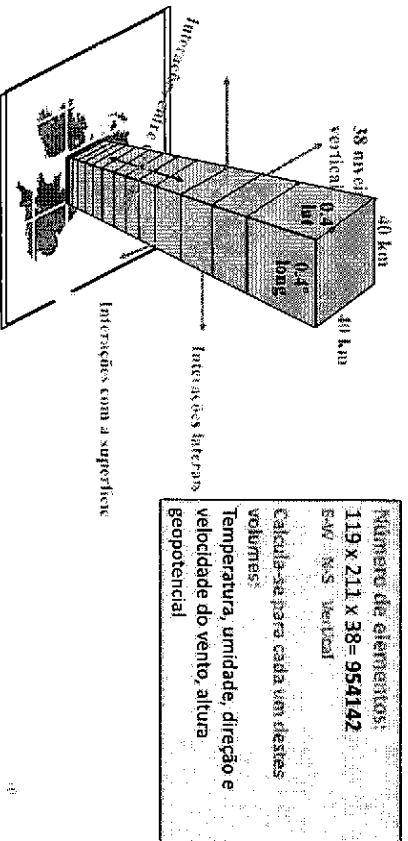
truncamento

O campo espacial é representado por uma série finita de harmônicos esféricos

Modelo Numérico Atmosférico

Código computacional (centenas de milhares de linhas de comando) que representa aproximações numéricas das equações matemáticas.

O cálculo é feito para alguns dias de previsão, uma estação do ano, vários anos, décadas, e para cenários de mudanças climáticas.



Assimilação de dados > Análises

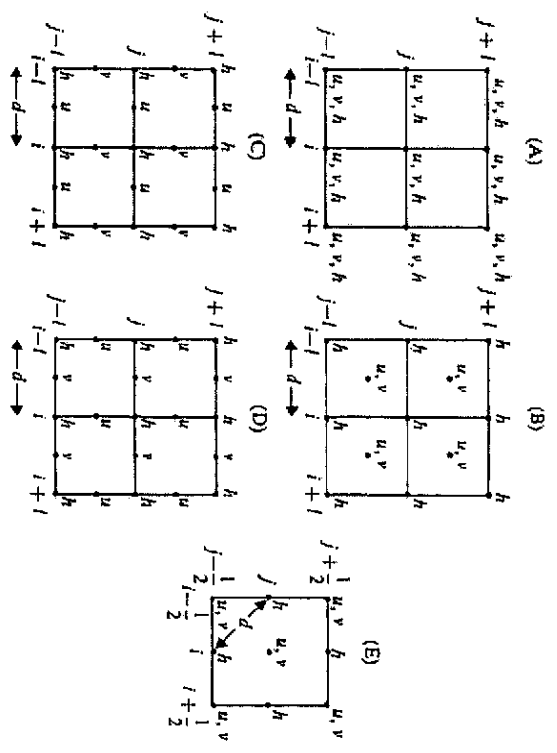
- Verificação da acurácia dos dados: localização, sintaxe, erros grosseiros.
- Interpolação das observações (distribuídas irregularmente) em uma grade regular.

$$a = p + K (o - Lp)$$

$$L + K = I$$

- a = análise
- p = previsão
- o = observação
- L, K : pesos que indicam a acurácia da previsão e da observação
- K: covariâncias de erros entre previsão e observação
- L: operador da observação

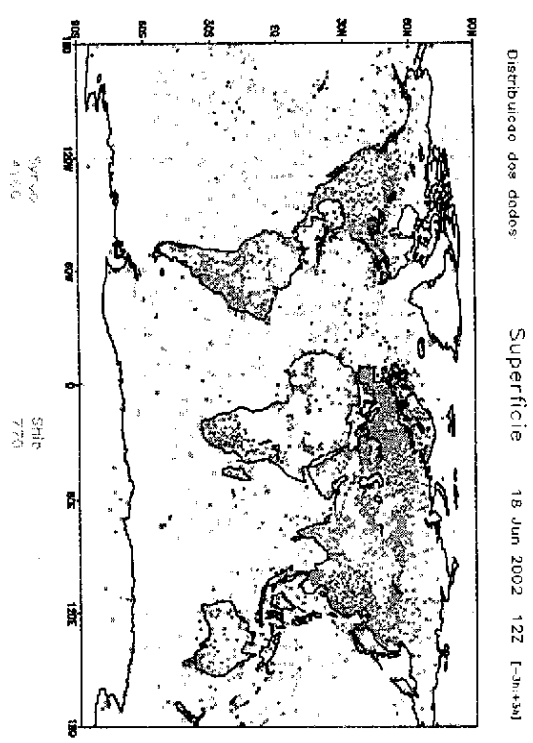
Grades propostos por Arakawa



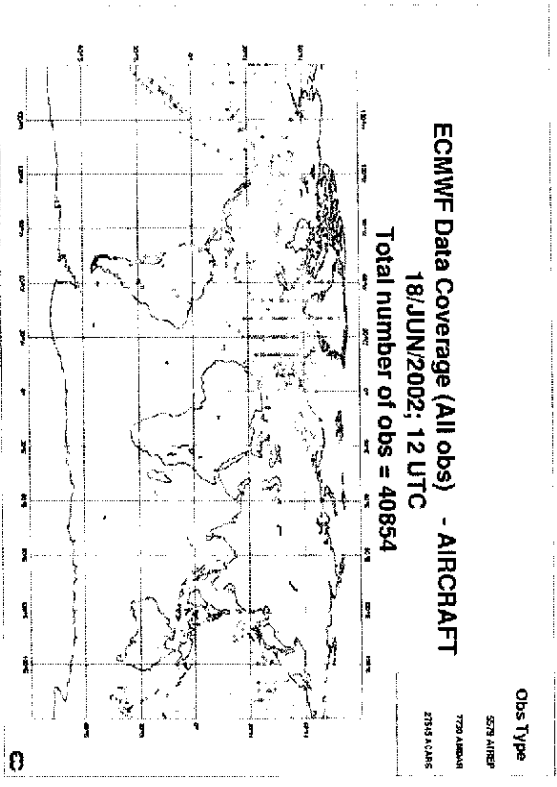
Dinâmica

Condições iniciais

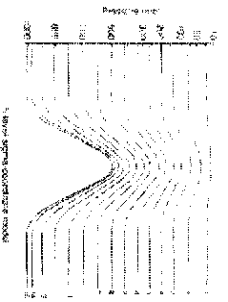
CPTC Surface Observations on 12z 18 June 2002, ±3h



Condições iniciais



Coordenadas verticais

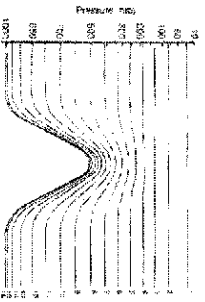


sigma

$$\sigma = \left(\frac{P - P_T}{P_S - P_T} \right)$$

$$\sigma = (0,1)$$

$$\pi = (0,1)$$

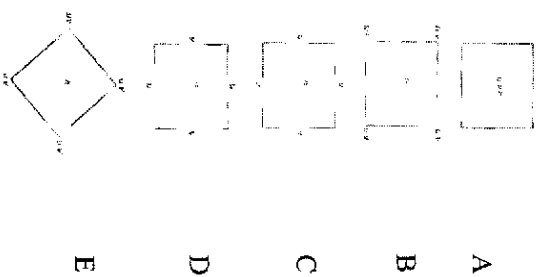


híbrida

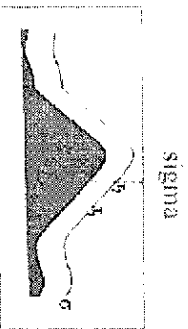
$$P(\xi, \sigma) = A_1 \sigma P_0 + B_1 \sigma P_S(\xi, \sigma)$$

Fig. 13.7 - Comparação entre os modelos sigma e híbrido. Adaptado de Arakawa et al. (1984).

Grids propostos por Arakawa



Coordenadas verticais



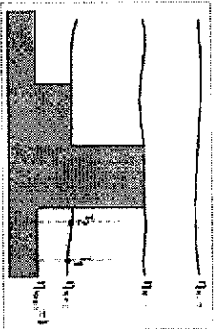
$$\sigma = (0,1)$$

$$\eta = (0,1)$$

$$\sigma = \left(\frac{P - P_T}{P_S - P_T} \right)$$

$$\eta = \left(\frac{P - P_T}{P_S - P_T} \right) * \eta_s$$

$$\eta_s = \frac{P_{top}(z_s) - P_T}{P_{top}(0) - P_T}$$

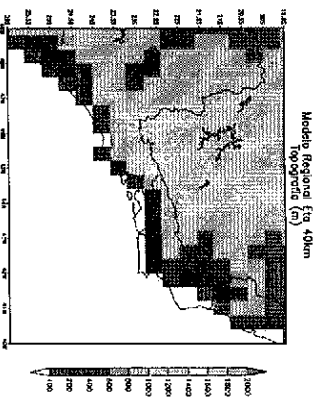


$$\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_z \approx \frac{\Delta T}{\Delta x} = \left(\frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \right)_z$$

Desenvolvida por Mesinger (1984) para reduzir os erros no cálculos de derivadas horizontais próximas de montanhas, principalmente gradiente horizontal de pressão.

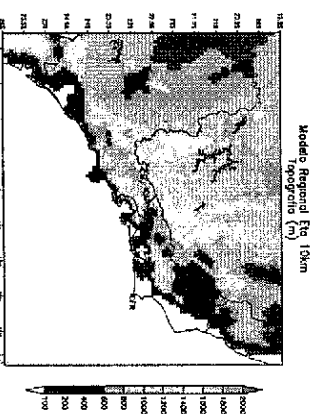
O topo das montanhas coincide com as superfícies de nível do modelo

40 km



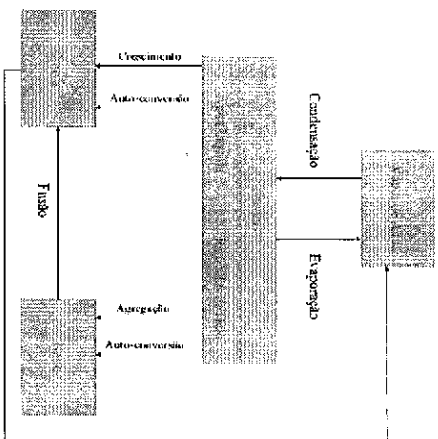
Escolha da resolução horizontal:
Impacto sobre a caracterização da superfície

10 km



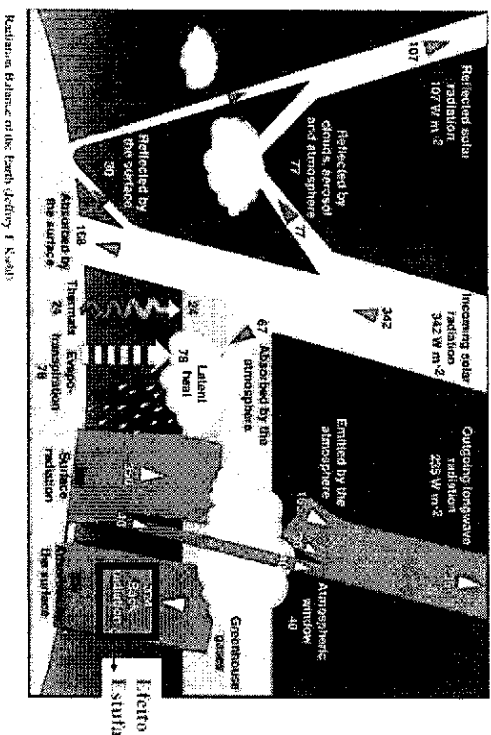
Parametrização de NUVENS ESTRATIFORMES (microfísica de nuvens)

1. A precipitação de grande ocorre quando: $RH > RH_c$
2. $RH < 100\%$: RH_c tende a 100% com o aumento da resolução do modelo;
3. Única variável a ser prevista => taxa de mistura de nuvens de água/(gelo);
4. As frações de nuvens calculadas nesse esquema são usadas na parametrização dos processos radiativos.
5. Esquemas mais complexos incluem processos microfísicos dos nuvens: neve, granizo, saraiva, etc. (versão previsão de tempo do Modelo Eta)



Zhao et al 1997

Interação entre a radiação solar e a atmosfera



Radiation Balance of the Earth-Jadeity 1 Model

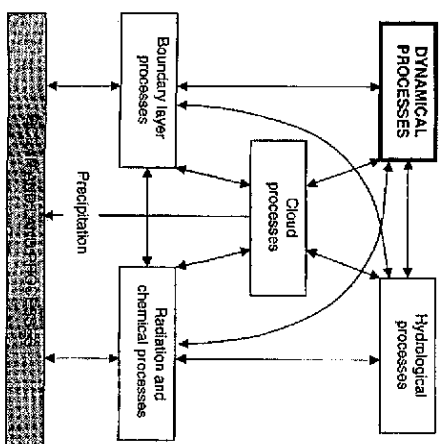
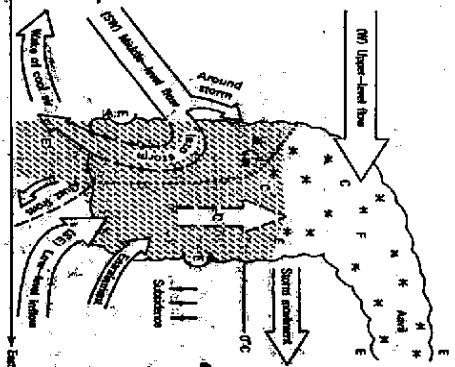


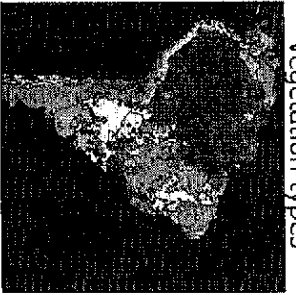
Figure 4.1.1: Physical processes in the atmosphere and their interactions. The dynamical processes for resolvable scales, in bold, are explicitly computed by the model "dynamics" (discussed in Chapters 2 and 3). The other subgrid-scale processes are parameterized in terms of the resolved-scale fields. (Adapted from Arakawa, 1997.)

Parametrização de NUVENS CUMULUS

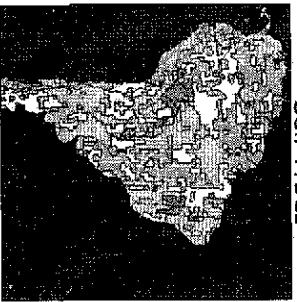
- Nuvens Cumulus podem se organizar em aglomerados e seus efeitos são percebidos na grade da resolução do modelo.
- Para o modelo a área ocupada pela nuvem é considerada grande o suficiente para contar o aglomerado, mas ainda pequeno em relação ao tamanho da grade do modelo.
- A grande escala instabiliza o ambiente, o esquema de convecção atua em remover a instabilidade convectiva.
- Os perfis de temperatura e umidade do modelo são alterados para perceber a atividade convectiva e produção de chuva.
- Os fluxos convectivos de umidade e calor são vistos a partir de médias numa área das equações da conservação de massa e do calor.



Vegetation types



Land surface scheme maps

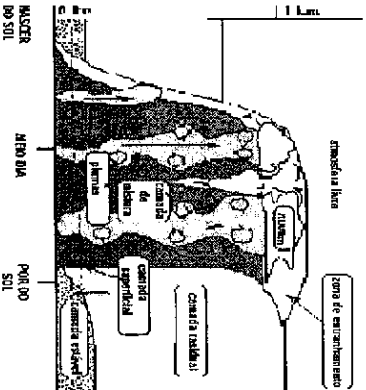
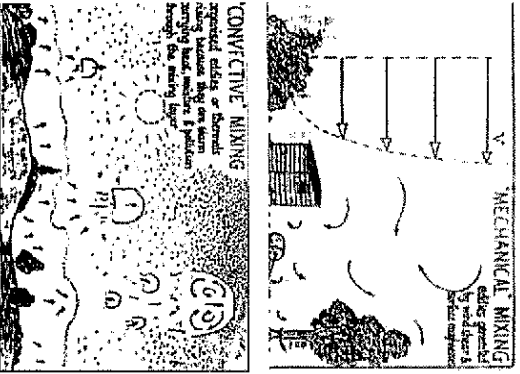


Soil Types

- 1: Broadleaf-evergreen trees (tropical forest)
- 2: Broadleaf-deciduous trees
- 3: Broadleaf and needleleaf trees (mixed forest)
- 4: Needleleaf-evergreen trees
- 5: Needleleaf-deciduous trees (larch)
- 6: Broadleaf trees with groundcover (savanna)
- 7: Groundcover only (perennial)
- 8: Broadleaf shrubs with perennial groundcover
- 9: Broadleaf shrubs with bare soil
- 10: Dwarf trees and shrubs with groundcover (tundra)
- 11: Bare soil
- 12: Cultivations (the same parameters for the Type 7)
- 13: Glacier

- 1: LOAMY SAND
- 2: SILTY CLAY
- 3: LEHNT CLAY
- 4: SANDY LOAM
- 5: SANDY CLAY
- 6: CLAY LOAM
- 7: COARSE-MED-FINE SANDY
- 8: CLAY SAND
- 9: LOAMY SAND

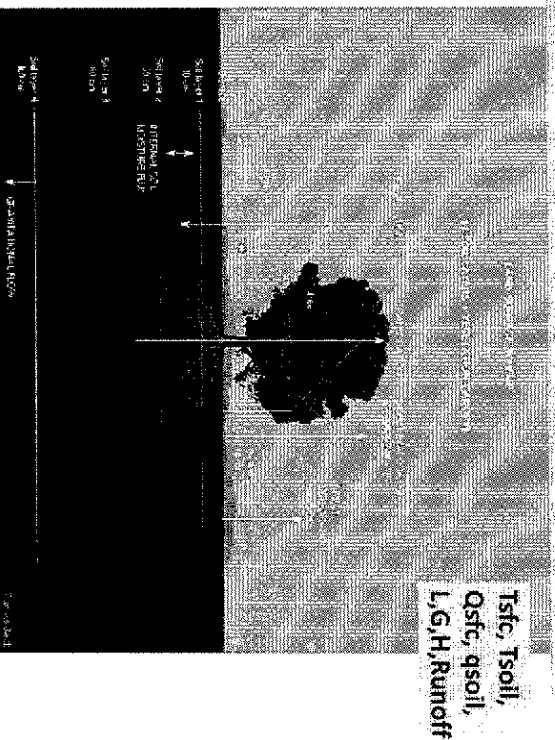
TURBULENCIA ATMOSFERICA



Processos de transferência radiativa

- Processos de transferência radiativa:
- Ondas Curtas: reflexão, absorção, transmissão e espalhamento
- Ondas Longas: ... + Emissão
- Tendências aplicadas aos perfis de temperatura
- a Nuvens geradas pelo esquema de microfísica de nuvens
- CO₂, O₃ e Albedo climatológicos em modelos de curto prazo.
- Fluxos radiativos alteram o perfil de Temperatura

Modelo de biosfera

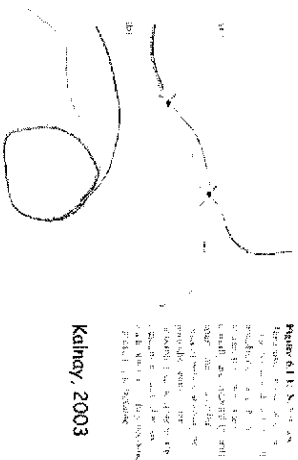


Previsibilidade (Predictability of first kind)

- A natureza caótica do sistema atmosférico limita a nossa capacidade de prever com exatidão a evolução da atmosfera.

A previsão determinística (baseada em uma única realização) pode levar a resultados que divergem da realidade.

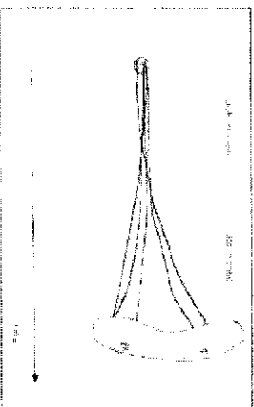
- Pequenos erros na condição inicial tendem a dobrar em 3 dias de previsão.



MÉTODOS de GERAÇÃO da PREVISÃO POR CONJUNTO:

- 1 - Diferentes perturbações nas condições iniciais;
 - 2 - Multi-model ensemble;
 - 3 - Diferentes perturbações em parâmetros do modelo.
 - 4. Diferentes condições de contorno lateral (RCMs)
- O conjunto de integrações fornece um conjunto de cenários possíveis da projeção.

A média do conjunto de simulações tende a reduzir os erros das simulações.



Esquemas de Turbulência

1. Mellor-Obukhov - Camada superficial
2. Mellor e Yamada 2.5 - Prognóstico de TKE

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{q^2}{2} \right) = \left(\frac{\partial}{\partial z} \right) \left[K_M \left(\frac{\partial}{\partial z} \right) \left(\frac{q^2}{2} \right) \right] = \frac{P_s + P_b + \epsilon}{l} = \text{Produção turbulência} - \text{dissipação}$$

$q^2/2$ = energia cinética turbulenta
 l = escala de comprimento

- Ps= Produção de TKE por cisalhamento
- Pb= Produção de TKE por flutabilidade
- K_M e K_H = coeficientes de troca turbulenta de momentum e calor

Fatores que afetam a qualidade das simulações

Diferenças entre qualidade das previsões do HN e HS

- Regimes meteorológicos (verão e inverno)
- Densidade de dados
- Método de assimilação de dados
- Topografia, percentagem de oceanos e continentes

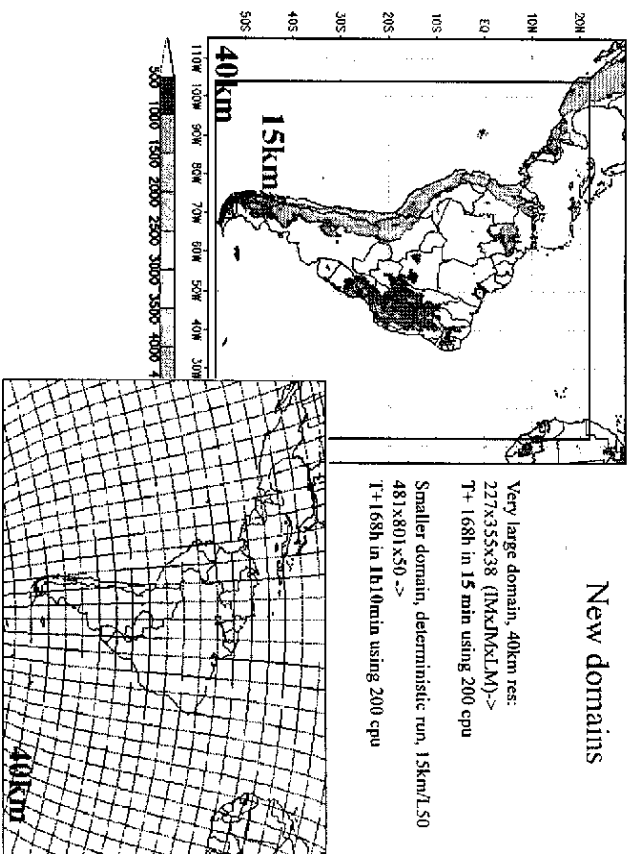
Dificuldades nos trópicos

- Sensibilidade a estabilidade estática
- Predomina a representação dos **processos físicos** como turbulência, convecção, radiação, processos de superfície, etc. **Mais incertezas.**

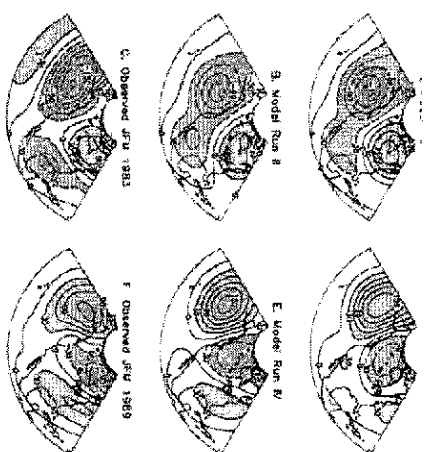
Work in progress at CPTec:

1. Increase horizontal and vertical resolutions, and domain
2. Increase the number of members in Short-range Ensemble forecasts and in seasonal forecasts. Inclusion of physics perturbation;
3. Forecasts from CAGCM lateral boundary conditions, and coupling
4. Coupling with hydrological model of small catchment (DHSVM)
5. Evaluation of BMJ scheme and its variations (precip efficiency, CAPE dependence)
6. Evaluation of Kain-Fritsch scheme and its variations (F_{ct}, GMF)
7. Evaluation of 3 microphysics schemes: Zhao scheme, Ferrier scheme and Ristic scheme.
8. Evaluation of forecasts with initialized soil moisture
9. New Radiation scheme (Edwards and Slingo (1996) with more gases and aerosols
10. Introduce refinement to Eta PBL turbulence parameterizations

New domains



Predictability of Second Kind Controle da TSM sobre o clima tropical



Predictability in the Midst of Chaos: A Scientific Basis for Climate Forecasting
(Shukla et al., 1998)

Fig A e D; B e E
utilizam iguais CIs e
CCs (TSM) diferentes
-> padrões diferentes

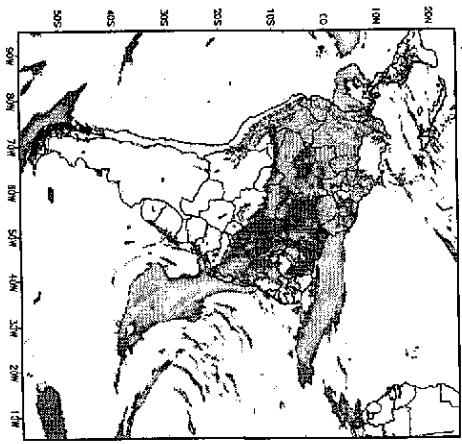
“Therefore, it should be possible to predict the large-scale tropical circulation and rainfall for as long as the ocean temperature can be predicted.”

Upgraded version of Eta Model

1. Sloping Eta
2. Vertical advection: Piecewise linear scheme
3. Liquid water included in Ps calculation
4. Cloud microphysics, Ferrier scheme
5. BMJ scheme, changes
6. KF scheme, changes
7. KF scheme, momentum fluxes
8. Increased mixing in 10-m wind
9. Output 50 and 100-m winds
10. Molecular layer over sea, changes
11. New soil map over South America

Domínio da versão Eta 15 km

Q=2010040312 - FCT +72h
Precipitação Acumulada em 24 horas - Eta 15km



<http://etamodel.cptec.inpe.br>

Home
 Sobre
 Contato
 Ajuda

Início
 Sobre
 Contato
 Ajuda

Início
 Sobre
 Contato
 Ajuda

Home
 Sobre
 Contato
 Ajuda

Início
 Sobre
 Contato
 Ajuda

Início
 Sobre
 Contato
 Ajuda