

Princípios Básicos de Modelagem em Alta Resolução

<http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa>

Henrique M. J. Barbosa

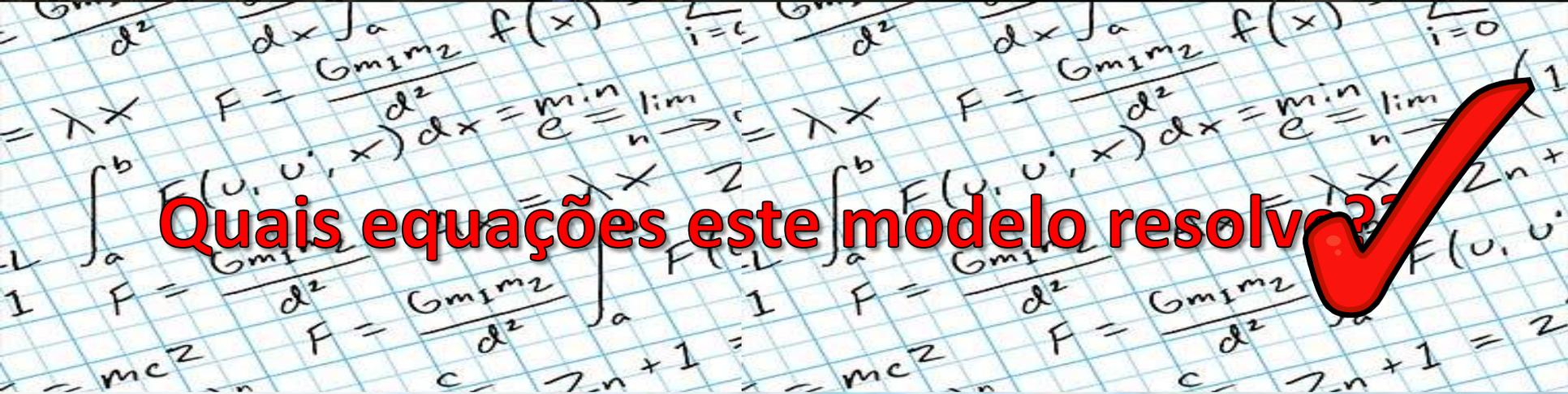
Instituto de Física – USP

hbarbosa@if.usp.br

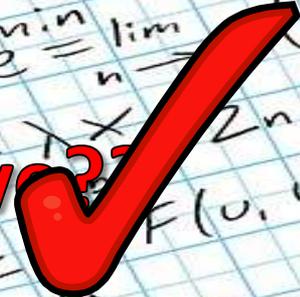




O que é um modelo numérico?



Quais equações este modelo resolve?



Como o sistema climático funciona?

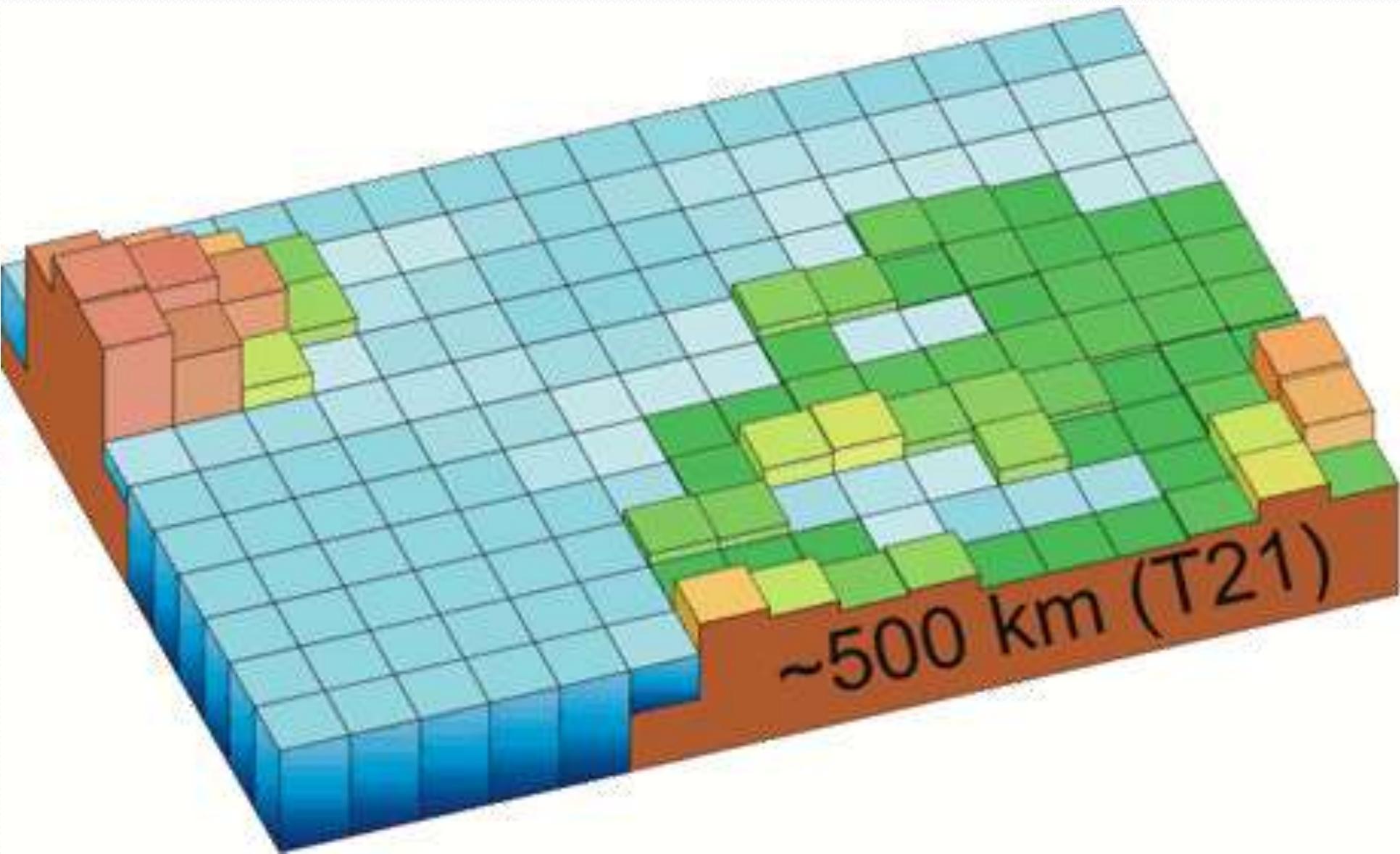


O resultado da previsão é bom??

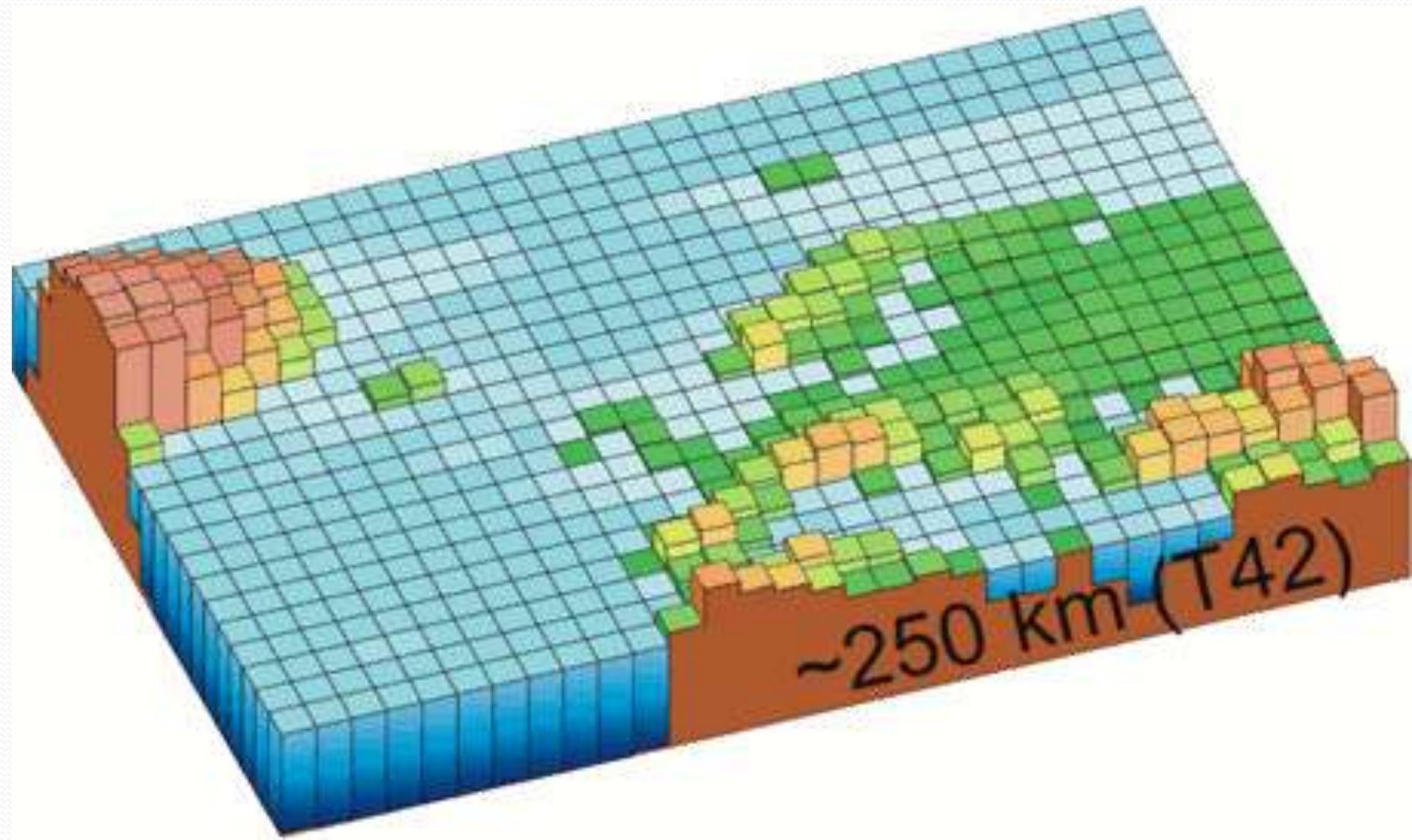
A qualidade da nossa solução (previsão de tempo) vai depender de vários fatores:

- A **resolução** espacial e temporal adequada

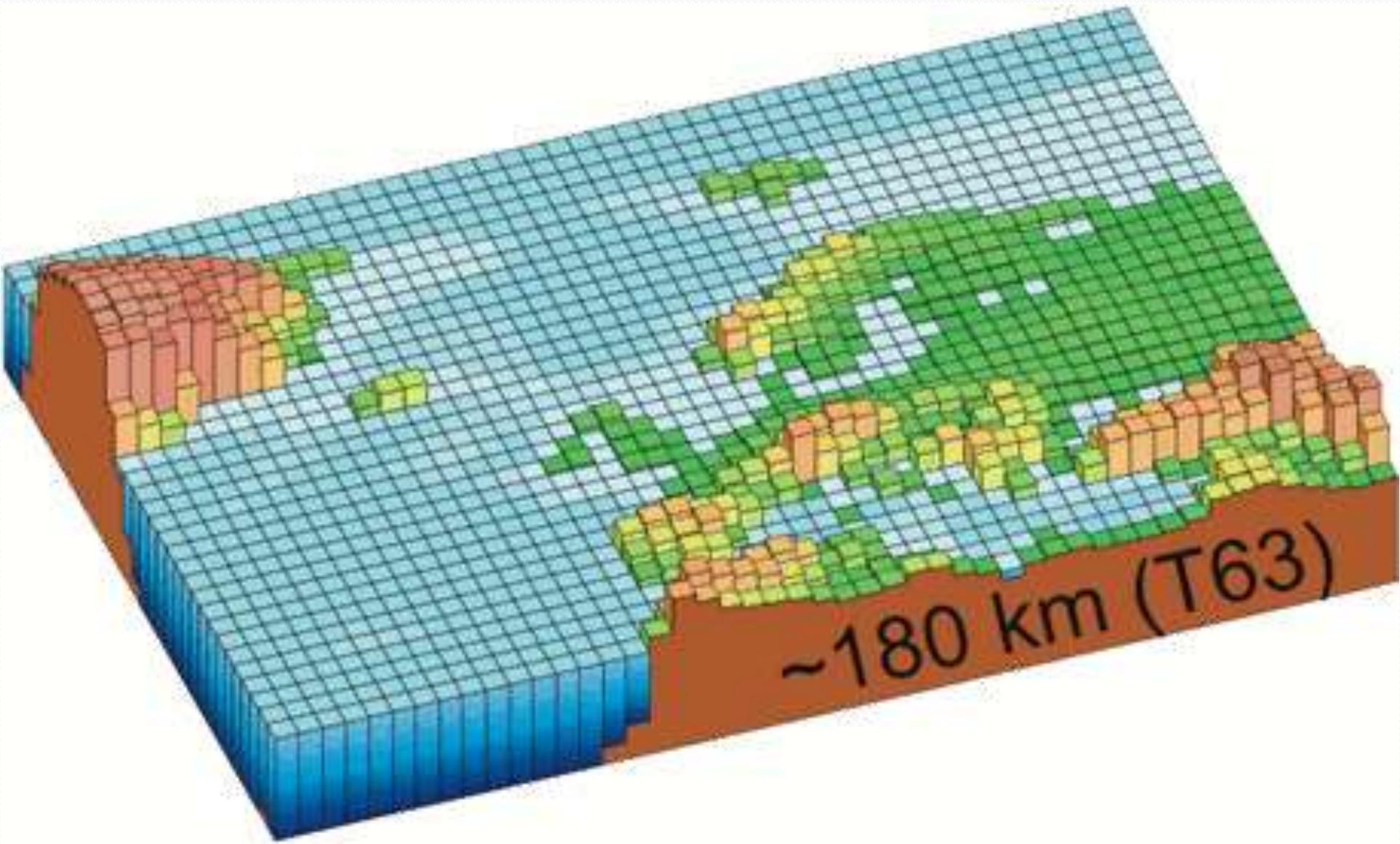
Resolução espacial



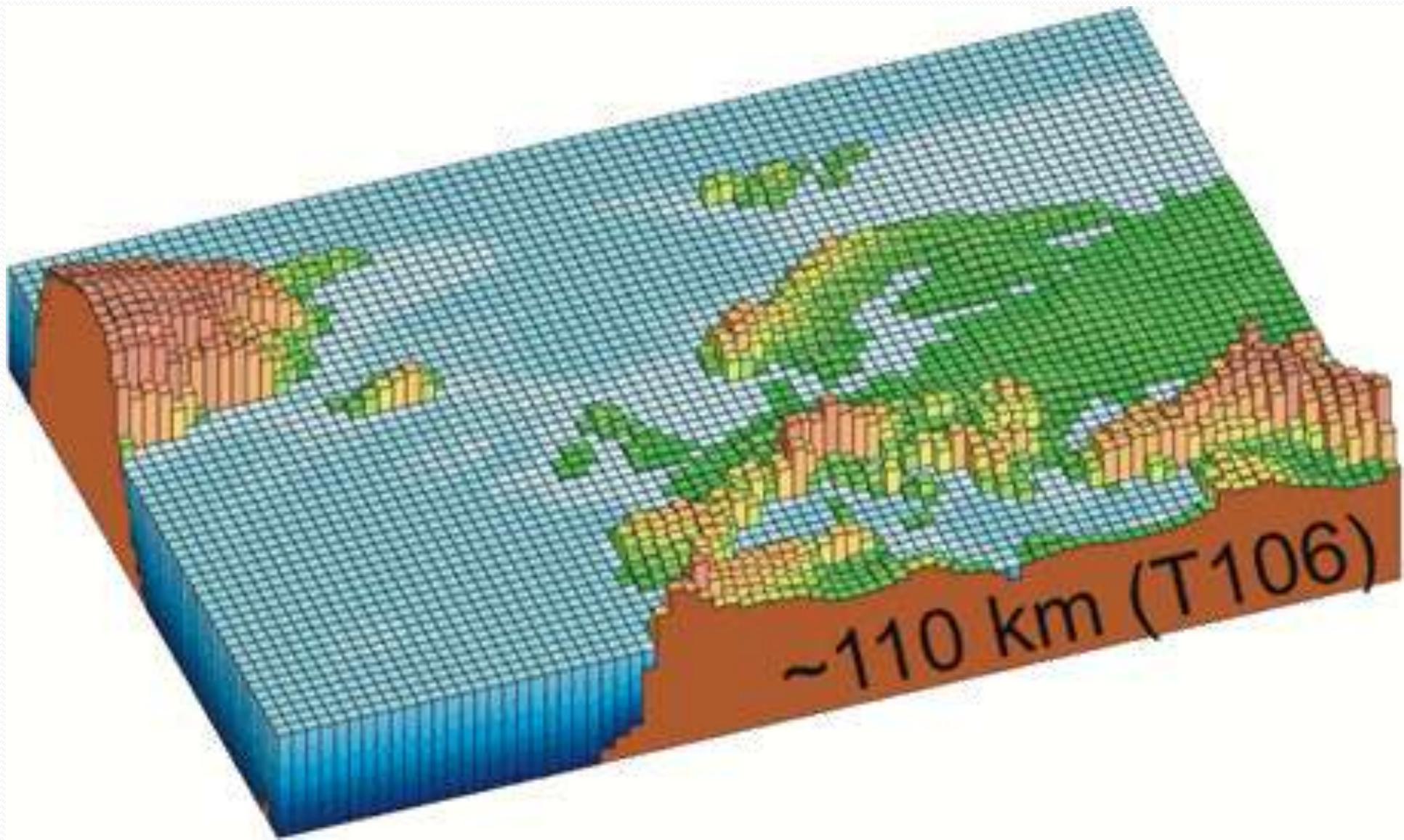
Resolução espacial



Resolução espacial



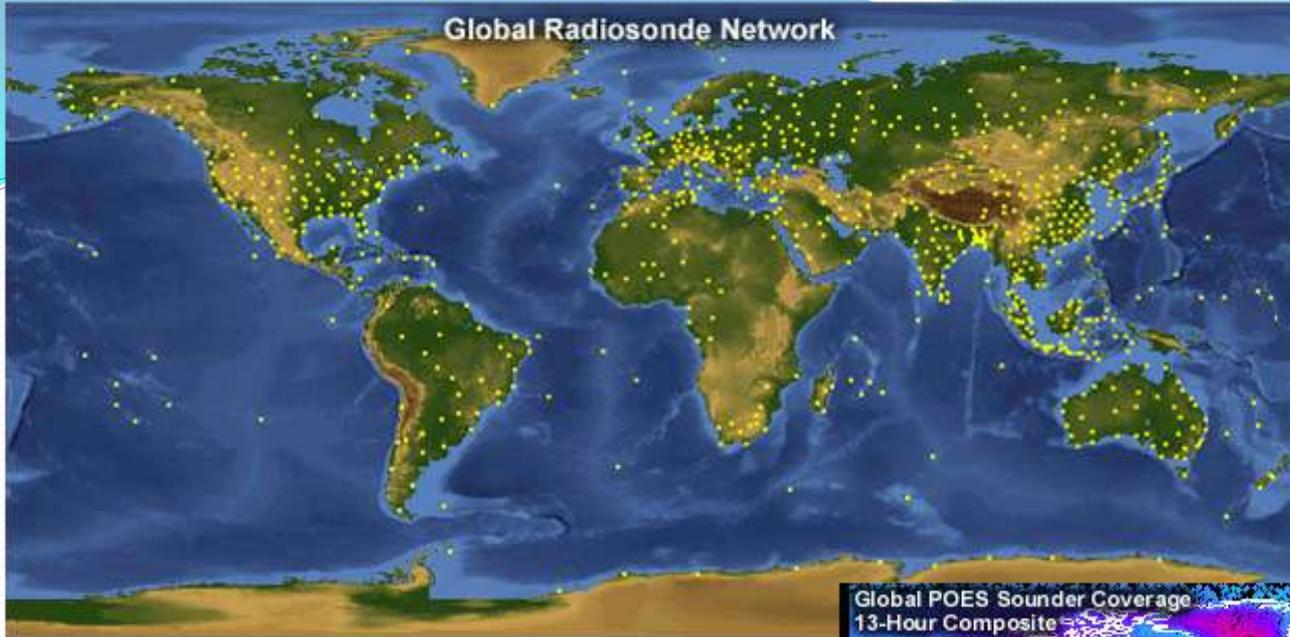
Resolução espacial



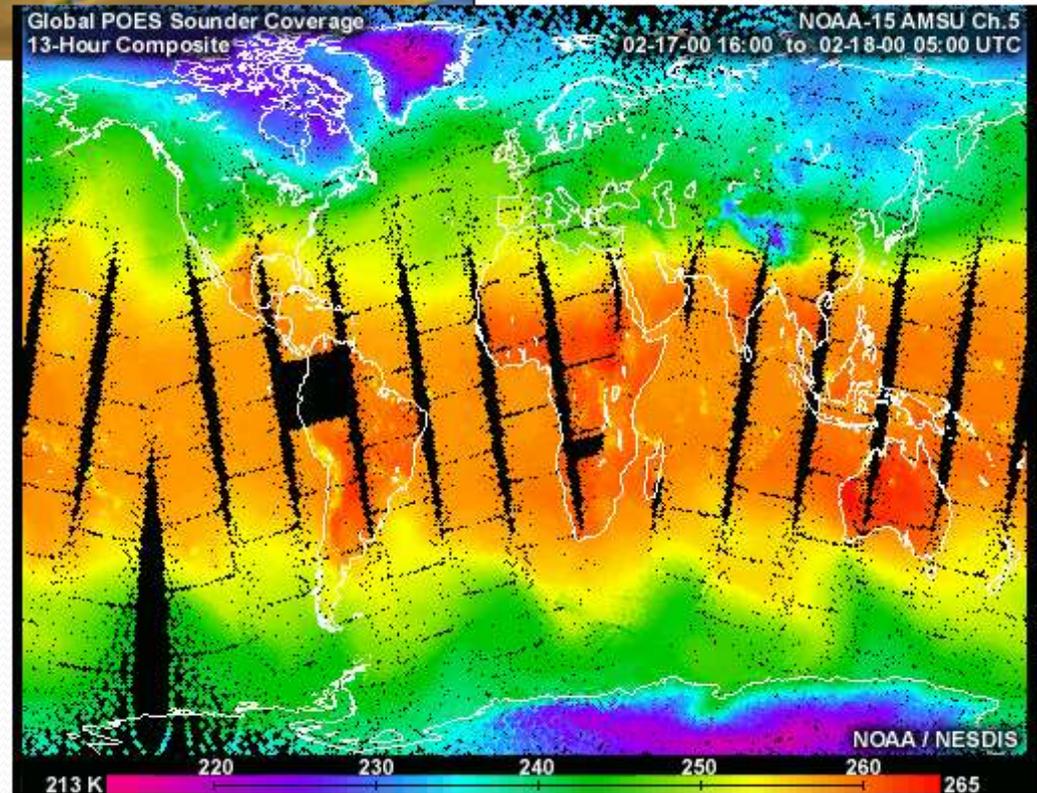
O resultado da previsão é bom??

A qualidade da nossa solução (previsão de tempo) vai depender de vários fatores:

- ✓ A **resolução** espacial e temporal adequada
- Qualidade da condição inicial
 - Melhorou muito com os satélites a partir de 1970
 - É o limitante da qualidade hoje em dia



Radio sondagens,
esforço de muitas
pessoas, todos os
dias



Apenas 1 satélite
nos dá muito mais
informações

O resultado da previsão é bom??

A qualidade da nossa solução (previsão de tempo) vai depender de vários fatores:

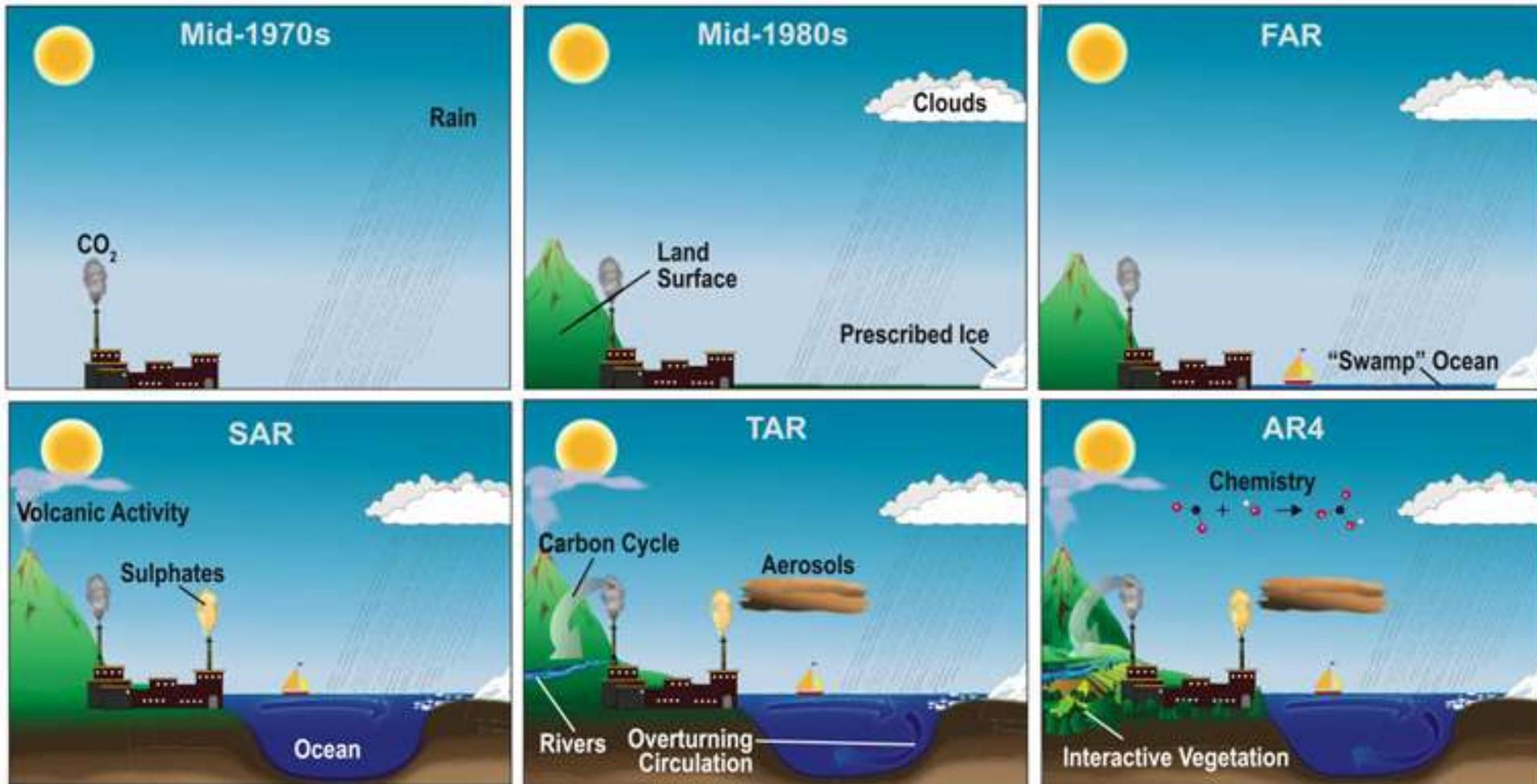
- ✓ A **resolução** espacial e temporal adequada
- ✓ Qualidade da condição inicial
 - Melhorou muito com os satélites a partir de 1970
 - É o limitante da qualidade hoje em dia
- Processos físicos incluídos
 - Radiação
 - Dinâmica dos fluídos
 - ...

Quais processos físicos incluir depende do problema que queremos resolver!

Processos Físicos

- Quais processos físicos incluir depende do problema que queremos resolver!
- Exemplo:
 - Para previsão de tempo de 5 dias, podemos considerar que a temperatura da superfície do mar não vai mudar, ela é uma condição de contorno.
 - Para uma previsão de vários meses (clima), isso não é verdade!! Nesse caso precisamos de um **modelo oceânico** para prever as correntes marinhas, a absorção de energia, e a **temperatura da superfície do mar**.

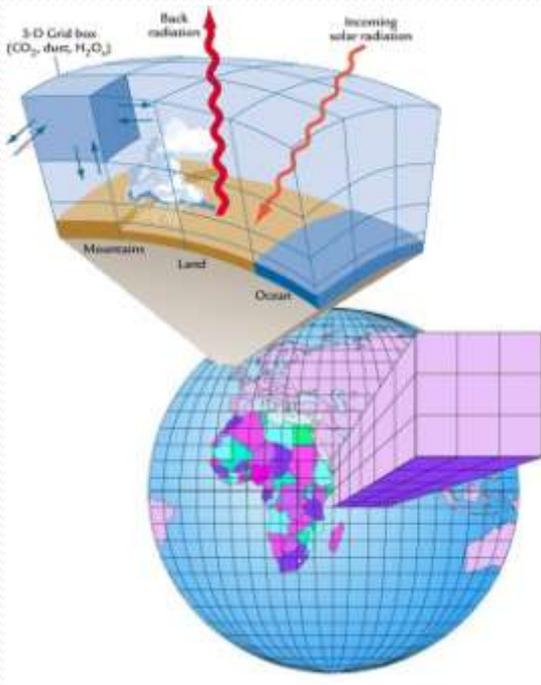
Evolução dos modelos atmosféricos



Retroalimentação

- Cada um destes **processos** está ligado a alguma **interação** existente no **sistema climático terrestre**
 - Os ventos sobre o mar mudam sua temperatura \Leftrightarrow a temperatura do mar força a precipitação, que influi no vento
 - Uma queimada libera fuligem na atmosfera \Leftrightarrow essa fuligem prejudica a formação de nuvens e reduz a chuva, deixando a vegetação mais propícia ao fogo
 - Etc...

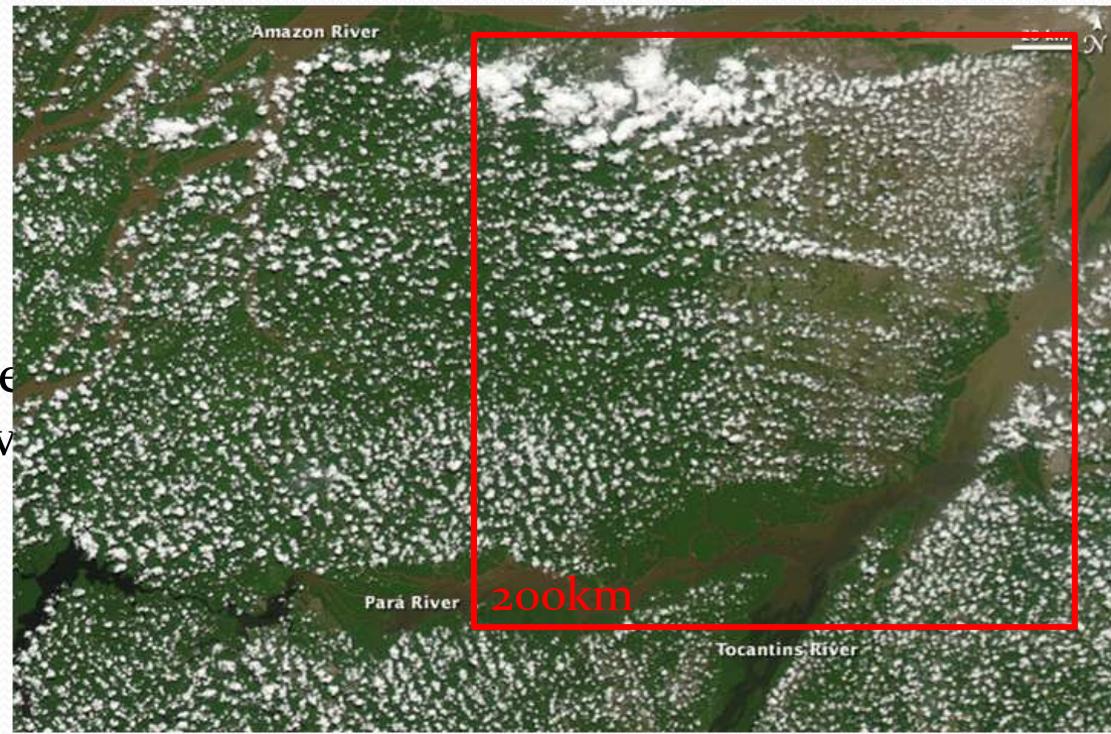
Como incluir processos sub-grade?



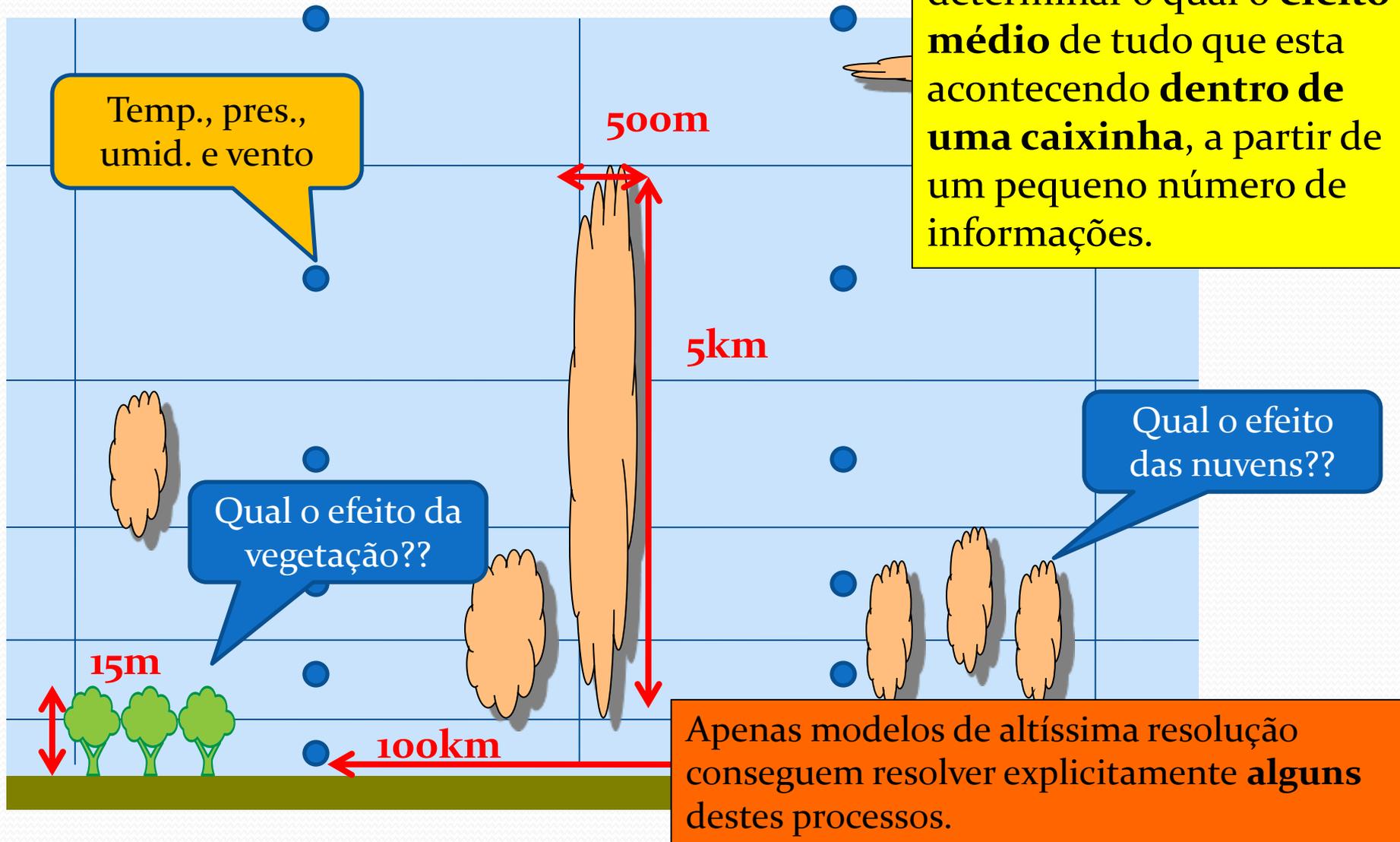
- Nossas equações **só conseguem resolver o que pode ser representado** usando os pontos que escolhemos!

Como representar
as nuvens

Como representar
a floresta?



Parametrização



↑ Resolução ↓

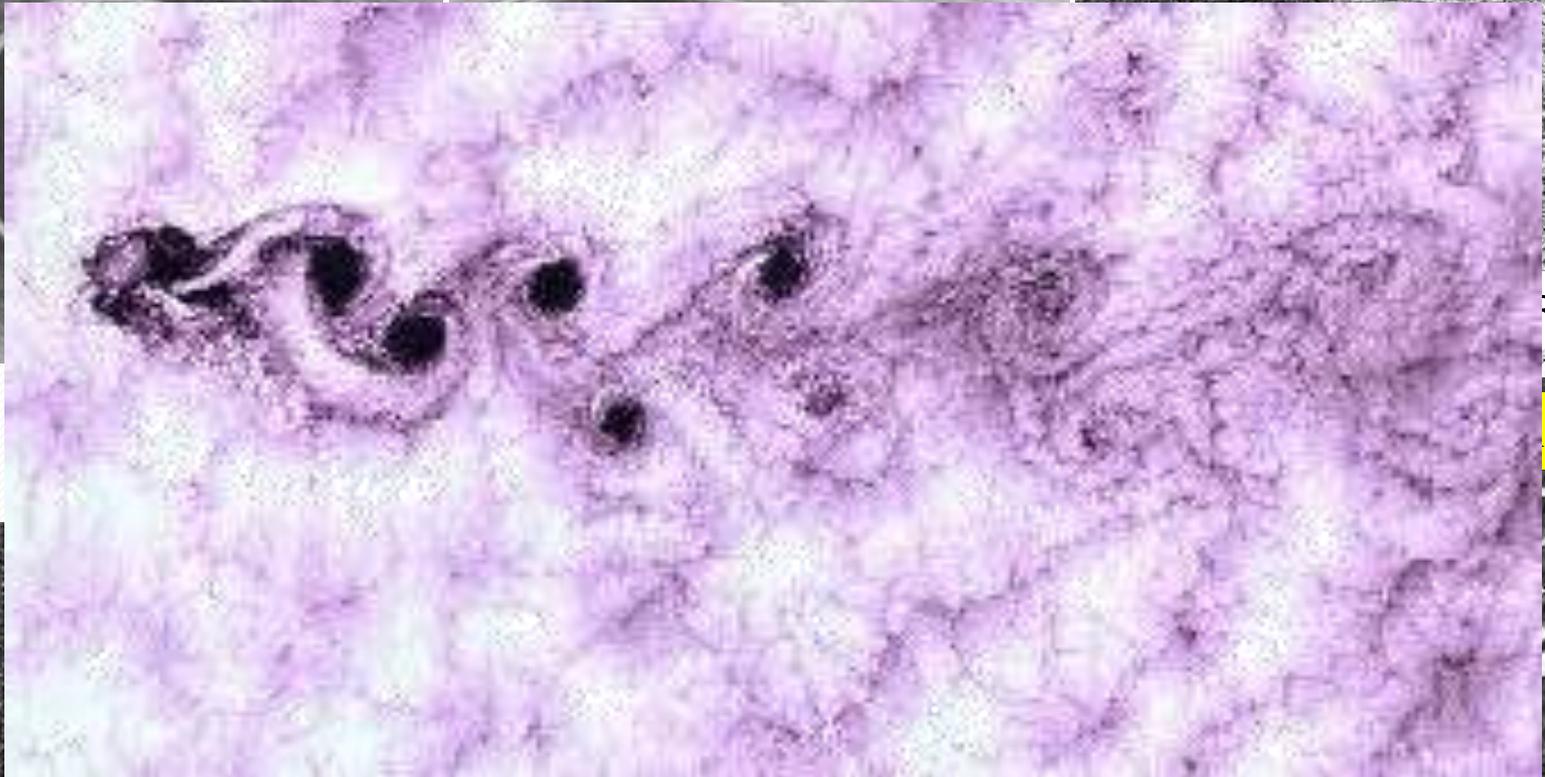
- Modelos climáticos de baixa resolução representam razoavelmente a atmosfera, **mas tem problemas:**
 - Representação da convecção com parametrizações
 - Representação da interação aerossol-nuvem
 - Representação da interação biosfera-atmosfera

Parametrizações

1 – Turbulência



Turbulência



R=9.6

an.

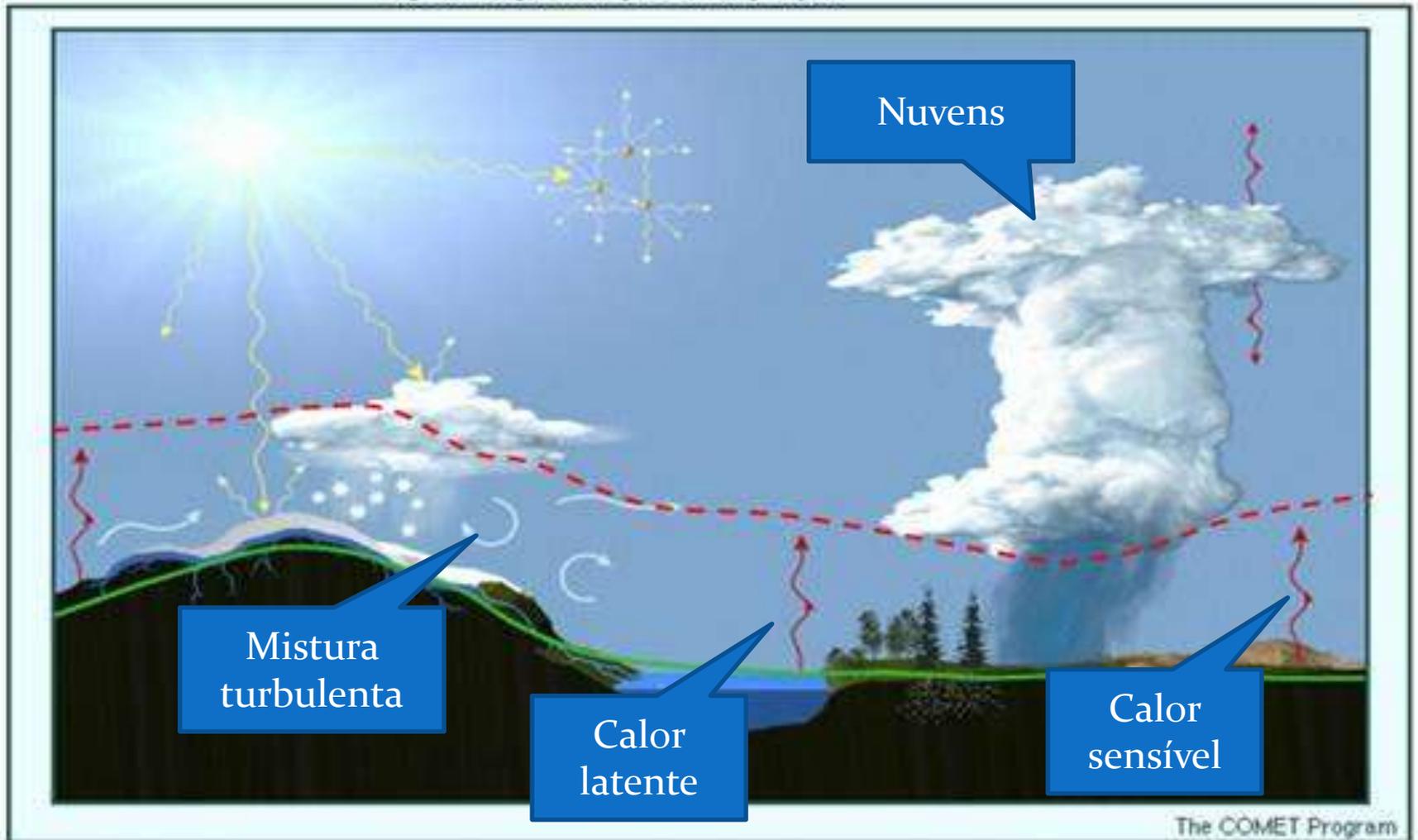
R=28.4

R=140

Turbulência na atmosfera

Depiction of various surfaces and PBL processes

----- Top of the planetary boundary layer



Parametrizando a turbulência

Começamos com a equação do momento:

$$\frac{d\mathbf{u}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u} + b\hat{\mathbf{z}} - f\hat{\mathbf{z}} \times \mathbf{u}$$

E decompos a velocidade: $\mathbf{v} = \bar{\mathbf{v}} + \mathbf{v}'$

$$\left[\frac{\partial}{\partial t} + (\bar{\mathbf{u}} + \mathbf{u}') \cdot \nabla \right] (\bar{\mathbf{u}} + \mathbf{u}') = -\frac{1}{\rho} \nabla (\bar{p} + p') + \nu \nabla^2 (\bar{\mathbf{u}} + \mathbf{u}') + b\hat{\mathbf{z}} - f\hat{\mathbf{z}} \times (\bar{\mathbf{u}} + \mathbf{u}')$$

Tomando a média, sobra um termo com flutuação:

$$\frac{\partial \bar{\mathbf{u}}}{\partial t} + (\bar{\mathbf{u}} \cdot \nabla) \bar{\mathbf{u}} + \overline{(\mathbf{u}' \cdot \nabla) \mathbf{u}'} = -\frac{1}{\rho} \nabla \bar{p} + \nu \nabla^2 \bar{\mathbf{u}} + b\hat{\mathbf{z}} - f\hat{\mathbf{z}} \times \bar{\mathbf{u}}$$



Fluxo turbulento de momento

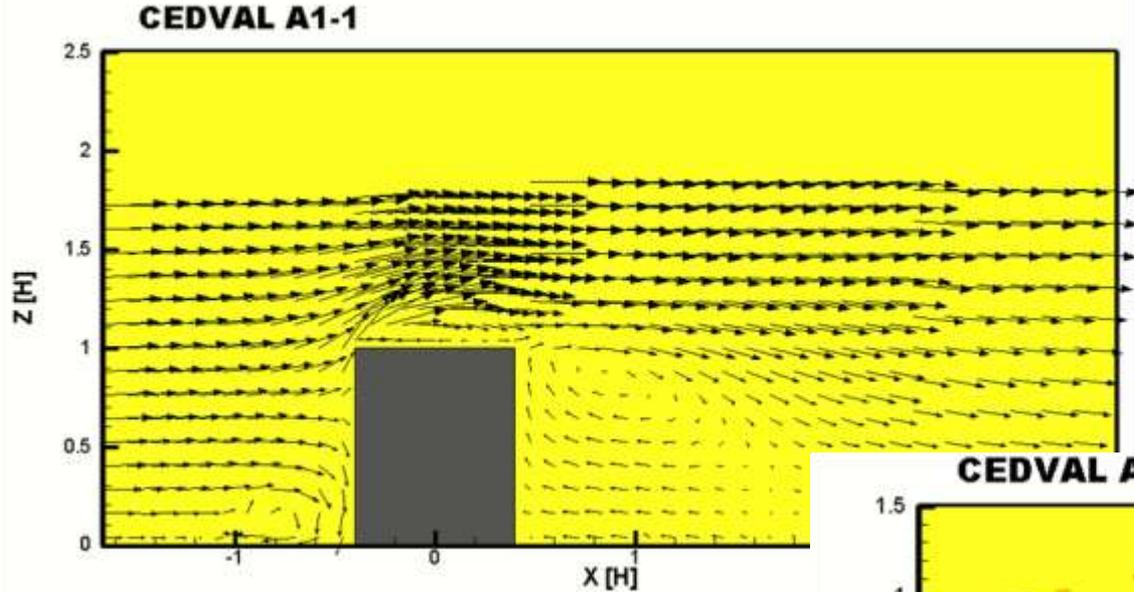
RAMS/ADAP Very High-Resolution Simulation Examples

- 1) Flow around a single rectangular building
(CEDVAL A1-1, $Re = 32750$)
- 2) Flow through an array of buildings
(CEDVAL B1-1, $Re = 56390$)
- 3) Flow through an array of buildings on a slope

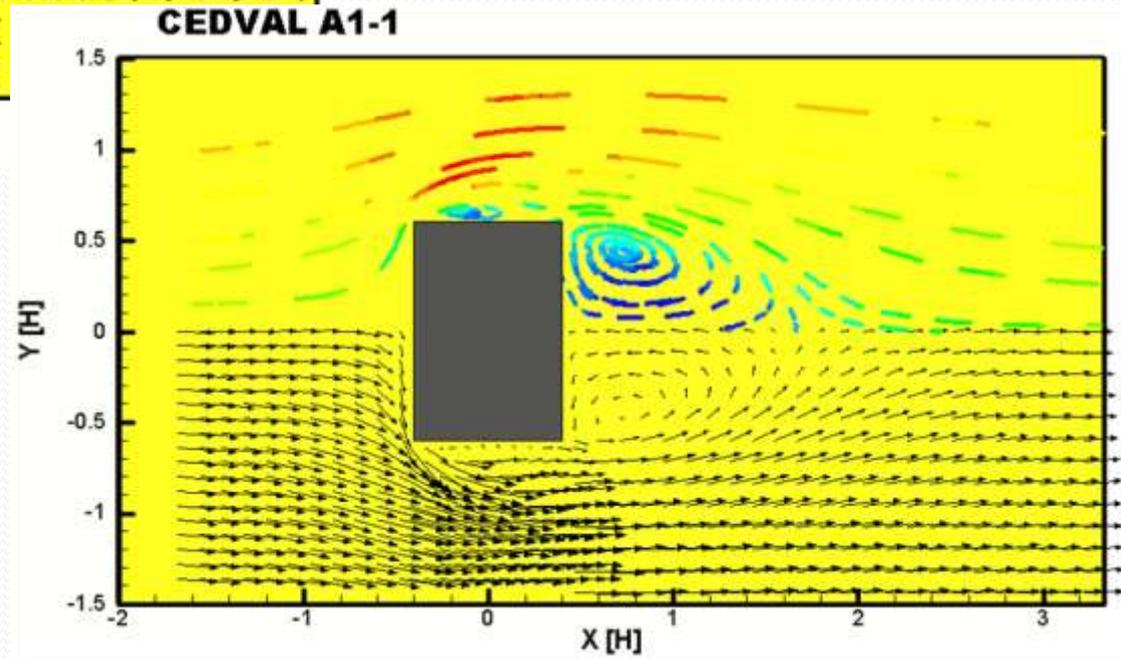
RAMS configuration

- Two grids: $\Delta x = 10 \text{ m} \ \& \ 2 \text{ m}$; $\Delta z = 2 \text{ m}$, stretched
- Neutral, horizontally homogeneous initialization
- 5 m/s initial flow; $Re \approx 100$
- Deardorff isotropic TKE subgrid scheme

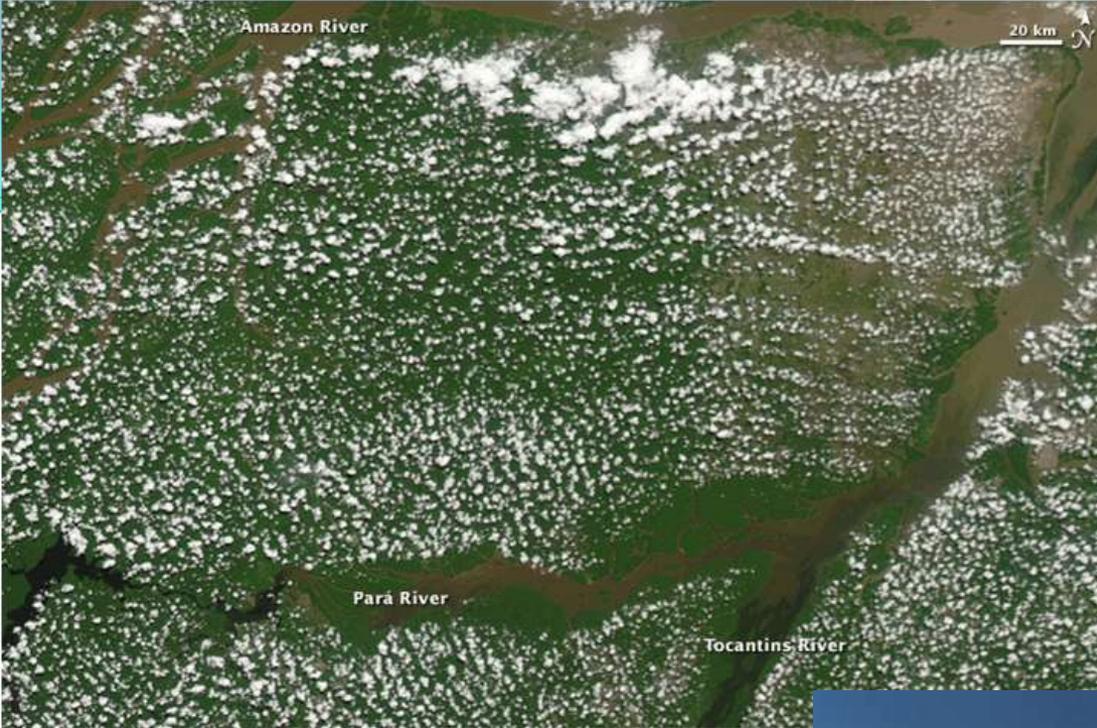
Flow around a single building



Building size:
✎ $x=20\text{m}$ ✎ $y=30\text{m}$ ✎ $z=25\text{m}$



Craig J. Tremback, ATMET
Robert L. Walko, ATMET/Duke



Parametrizações

2 – Nuvens

Como
representar a
convecção?

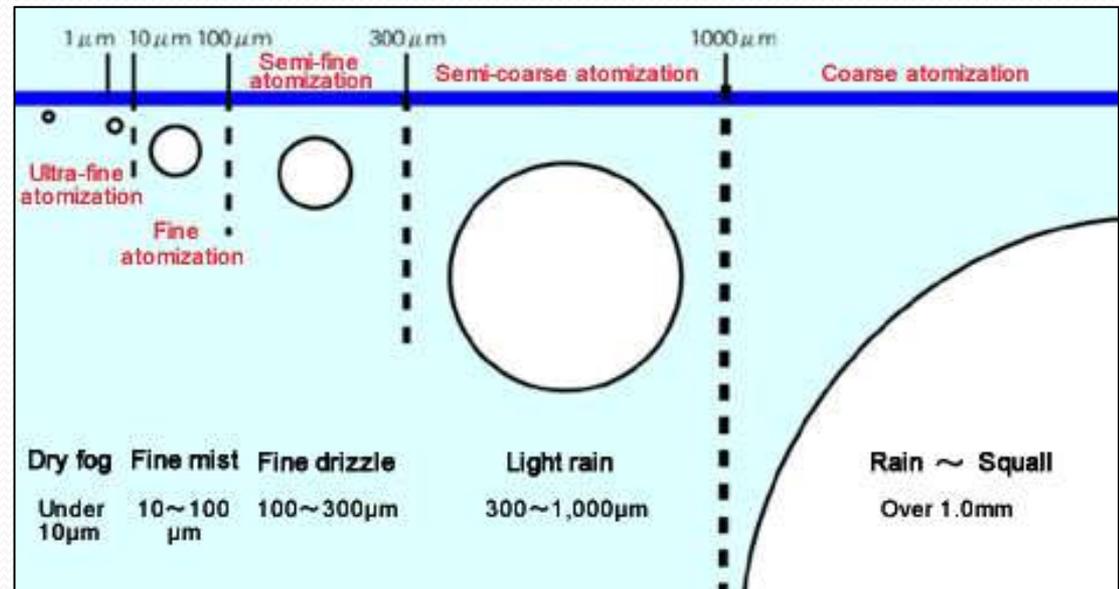


Normalmente os modelos incluem:

- 1 Dinâmica sofisticada com parametrização de convecção (CPTEC-AGCM)
 - 2 Dinâmica sofisticada com microfísica simplificada (BRAMS): **bulk microphysics (N-momentos)**
 - 3 Dinâmica simplificada com um microfísica elaborada; resolvem a distribuição de tamanhos explicitamente (TauBin/Kid): **bin microphysics**
 - 4 Sem dinâmica, mas equações explícitas (parcela): **single particle microphysics**
- 1-2.5 Incluem uma microfísica detalhada junto com uma dinâmica também detalhada (e.g. Grabowski's **super-parameterização**) mas são muito custosos computacionalmente.

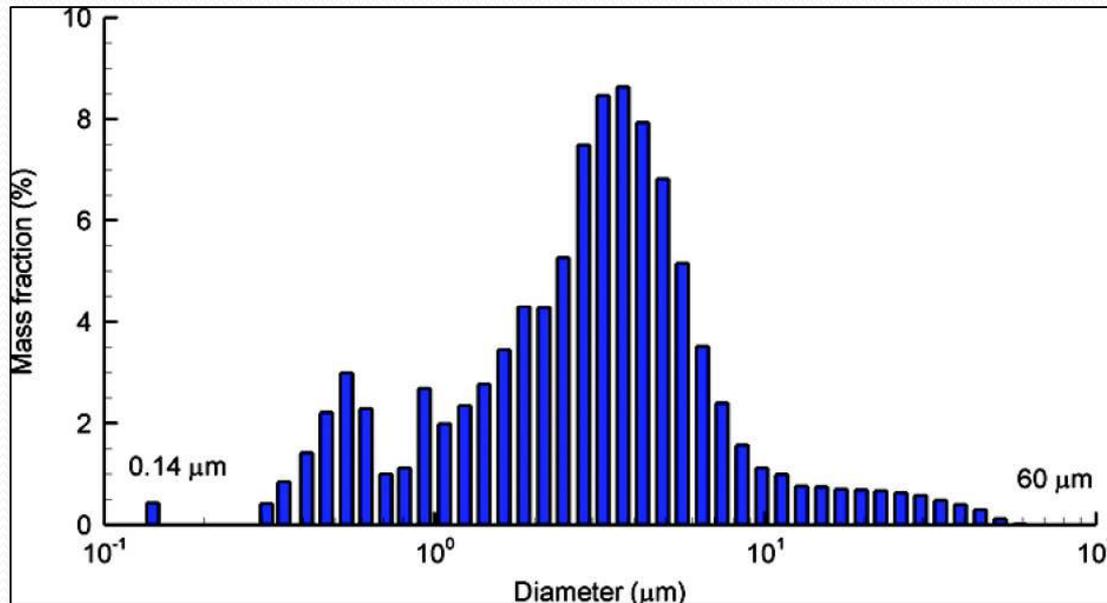
4 Single Particle Microphysics

- Muito detalhados em termos da descrição microfísica da nuvem, pois resolvem explicitamente as equações explícitas
- Mas são modelos do tipo parcela, sem dinâmica, sem mistura vertical ou lateral



3 Microfísica explícita – BINS

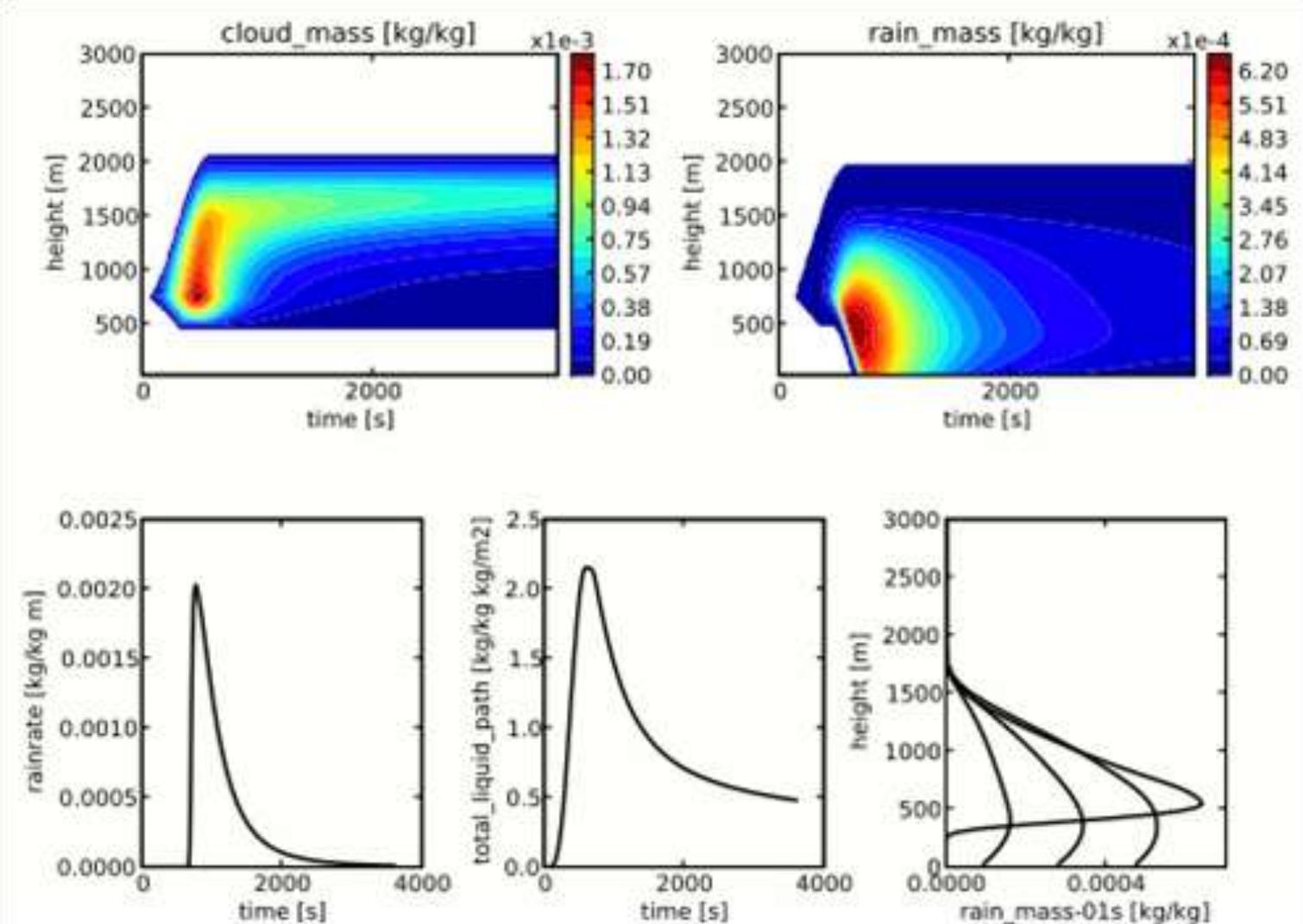
- Resolvem a distribuição de tamanhos explicitamente, dividindo o espectro de tamanhos em intervalos discretos.



- Geralmente são usados em modelos com uma dinâmica bastante simplificada, ou mesmo em modelos 1D (coluna) forçados pela tendência de grande escala.

3

Ex.: Taubin – Feingold et al.



2 Modelo tipo Bulk (e.g. BRAMS)

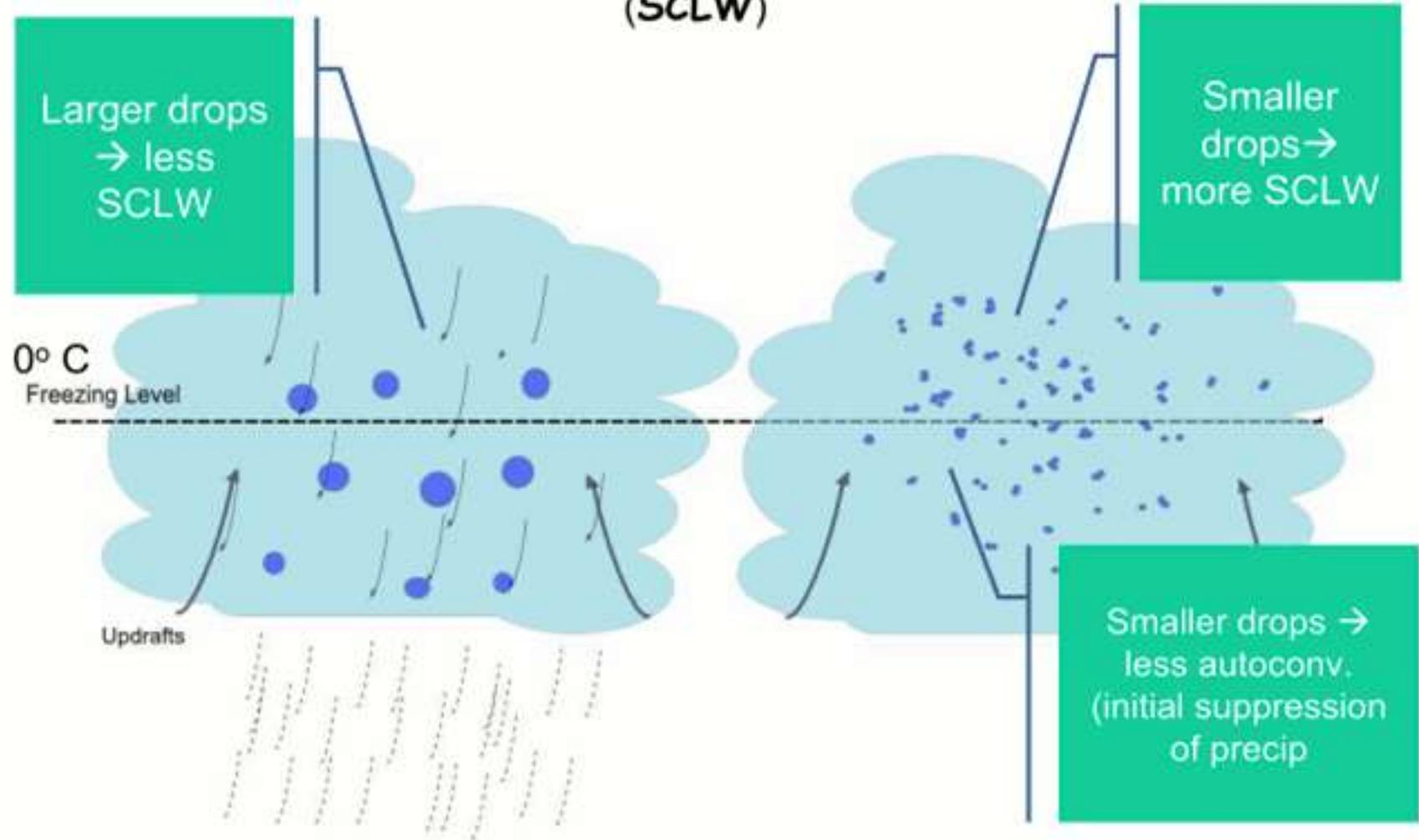
- Resolvem as equações de balanço apenas para algumas grandezas totalizadas que caracterizam a nuvem. Tipicamente:
 - Concentração em Massa (momento 1)
 - Concentração em Número (momento 0)
- Tradicionalmente transportavam apenas o 1º momento (esquema de Kessler)
 - Agora há mais esquemas de 2 momentos
- São usados normalmente em modelos de meso escala
- São muito mais rápidos que “bin”, mas não resolvem a distribuição de tamanhos explicitamente, perdendo em realismo.

2+ RAMS com 2 momentos

- Cloud droplets has two moments and sources can be:
 - activation of CCN
 - evaporation of drizzle drops
- Second mode of cloud droplets (drizzle drops $\sim 60\mu\text{m}$) observed in nature, also with two moments and sources can be:
 - self collection of cloud droplets
 - activation of GCCN
 - evaporation of rain
- Activation of CCN and GCCN based on a explicit parcel models that is run offline. models that is run offline.

The basic principle

Change in the supercooled liquid water
(SCLW)



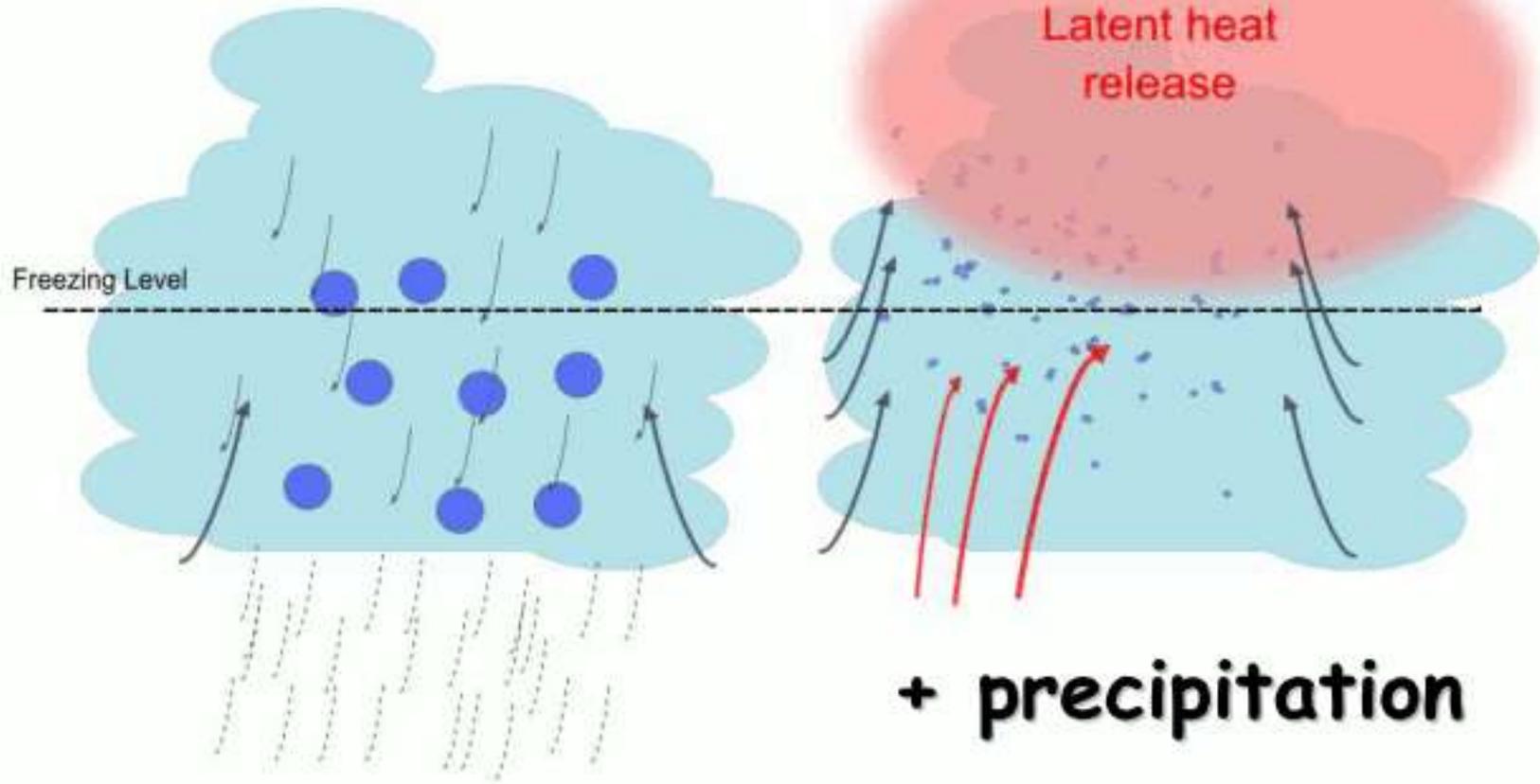
The basic principle

+ convection

Latent heat
release

Freezing Level

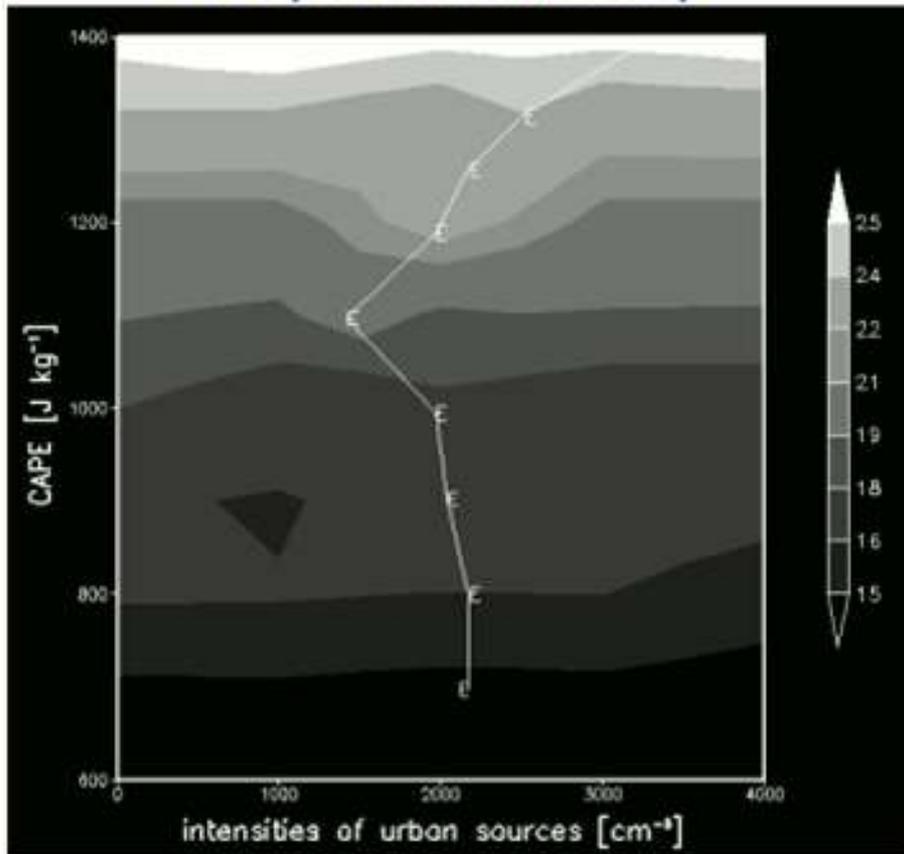
+ precipitation



The response of precipitation in NOT monotonic

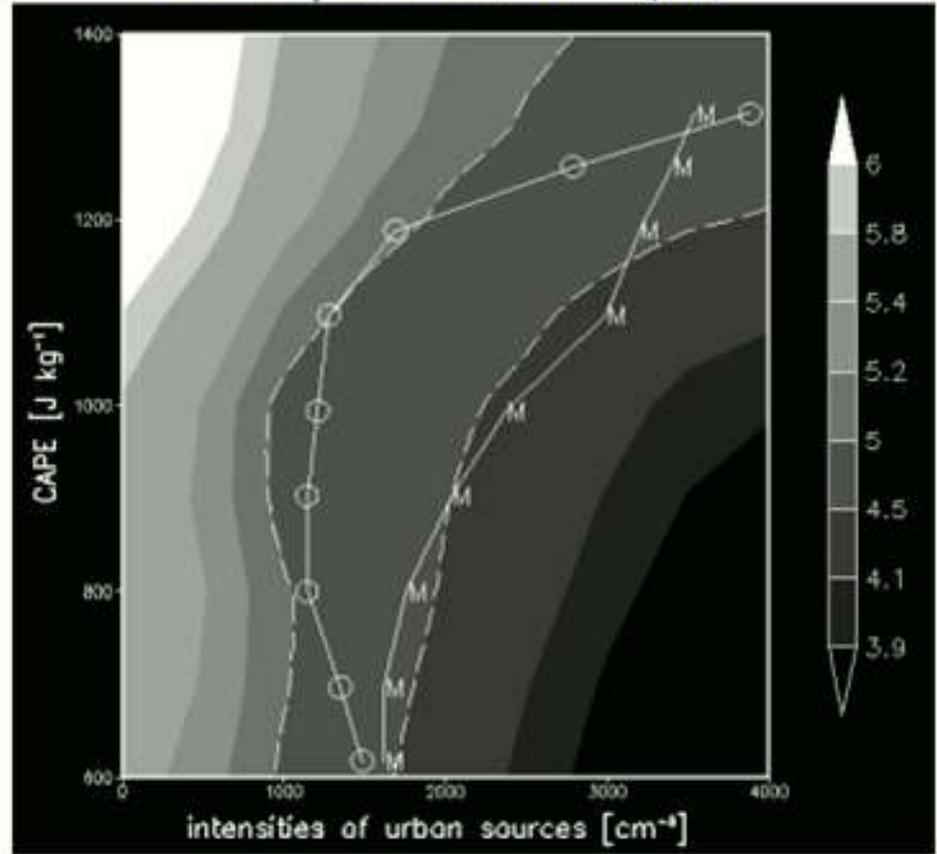
(Atmos Res: Carrió et al 2010, Carrió y Cotton, 2010b)

Precipitation efficiency



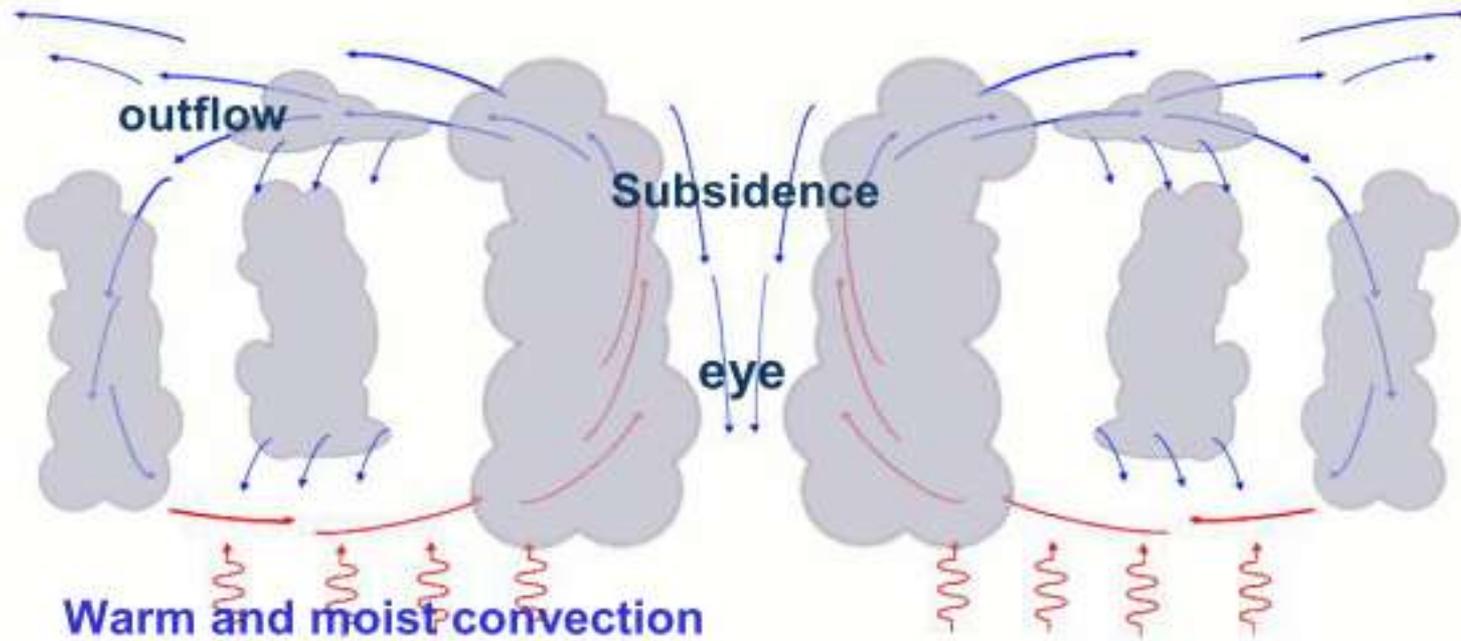
"E": Efficiency peak

SC droplet diameter (μm)



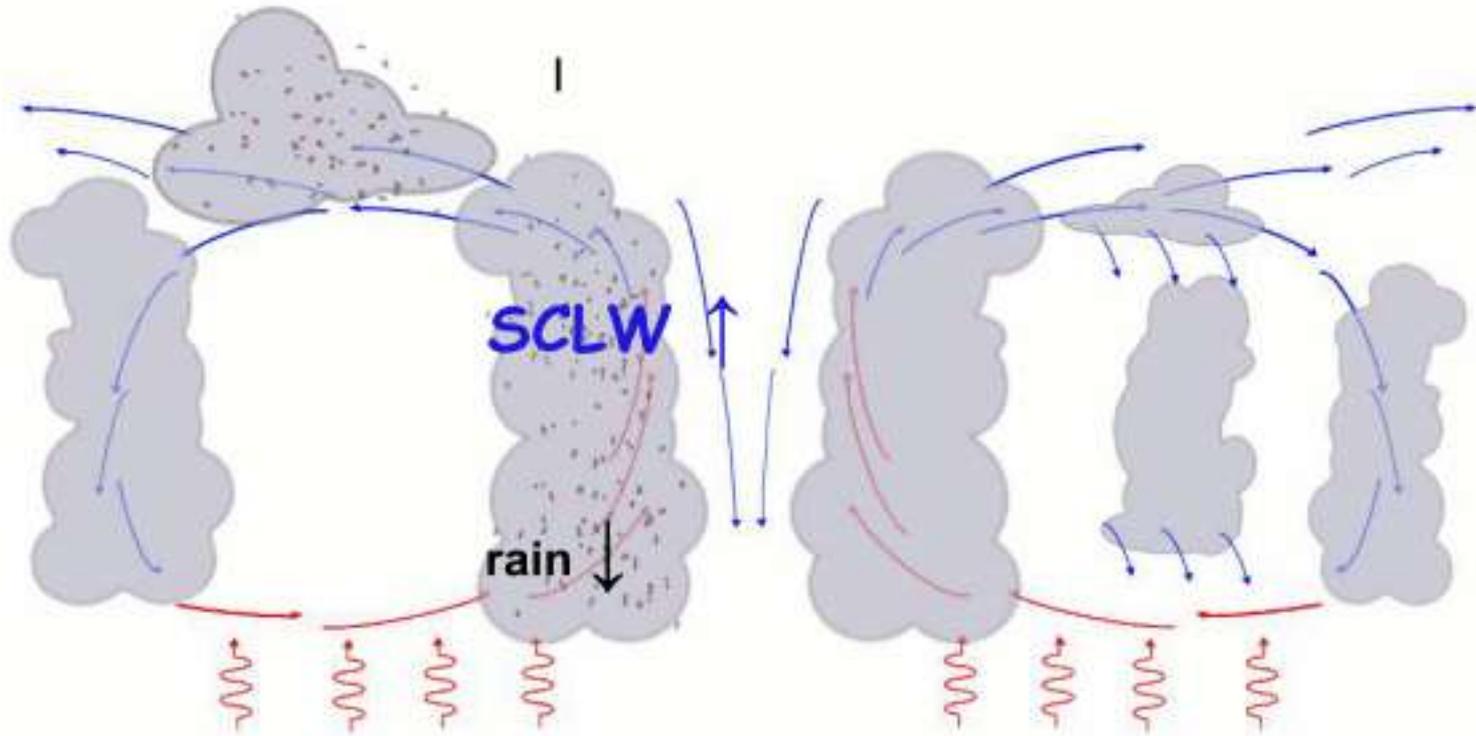
"M": SCLW peak
"O": Precipitation peak

The Hypothesis

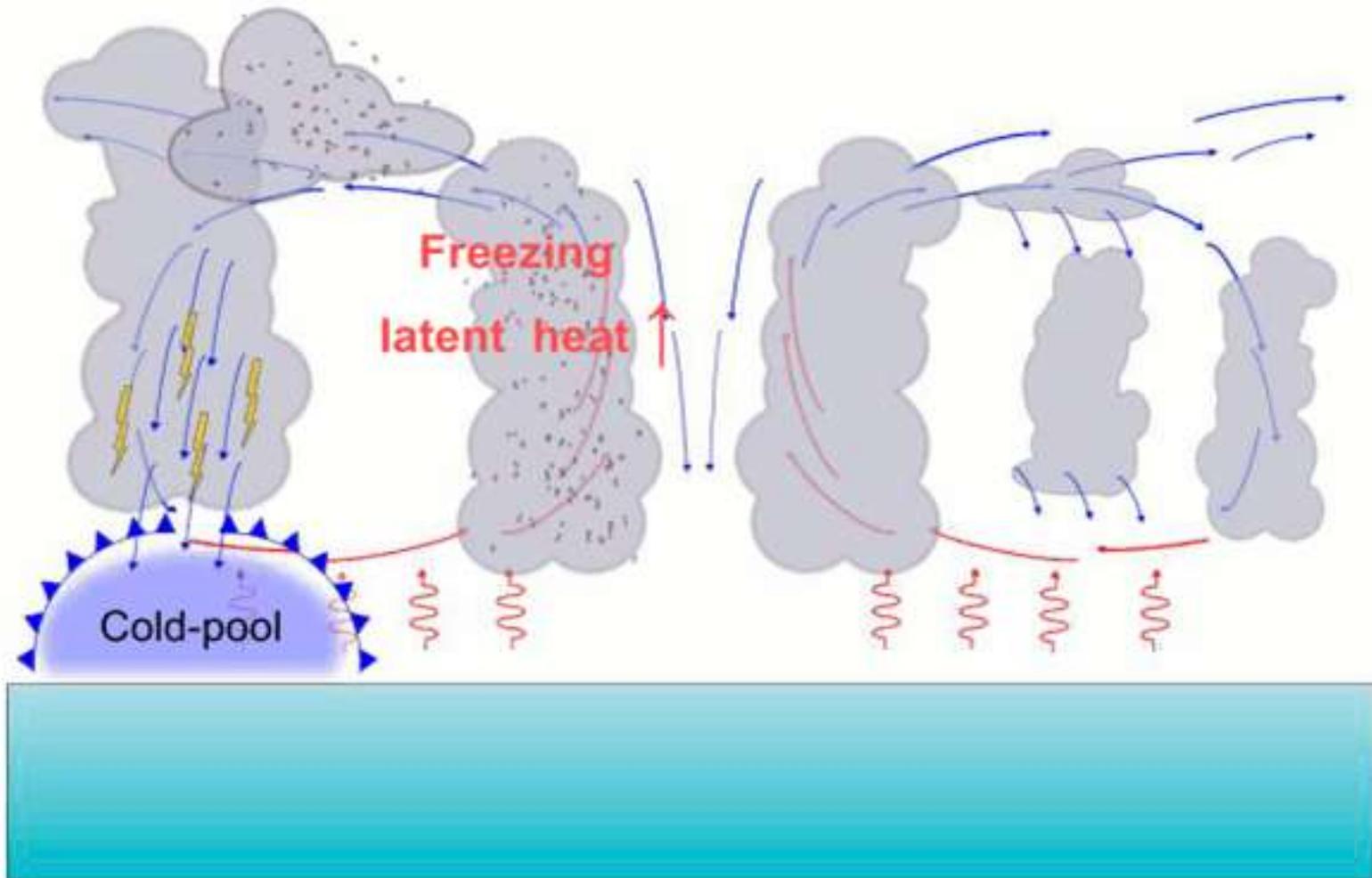


Warm ocean waters

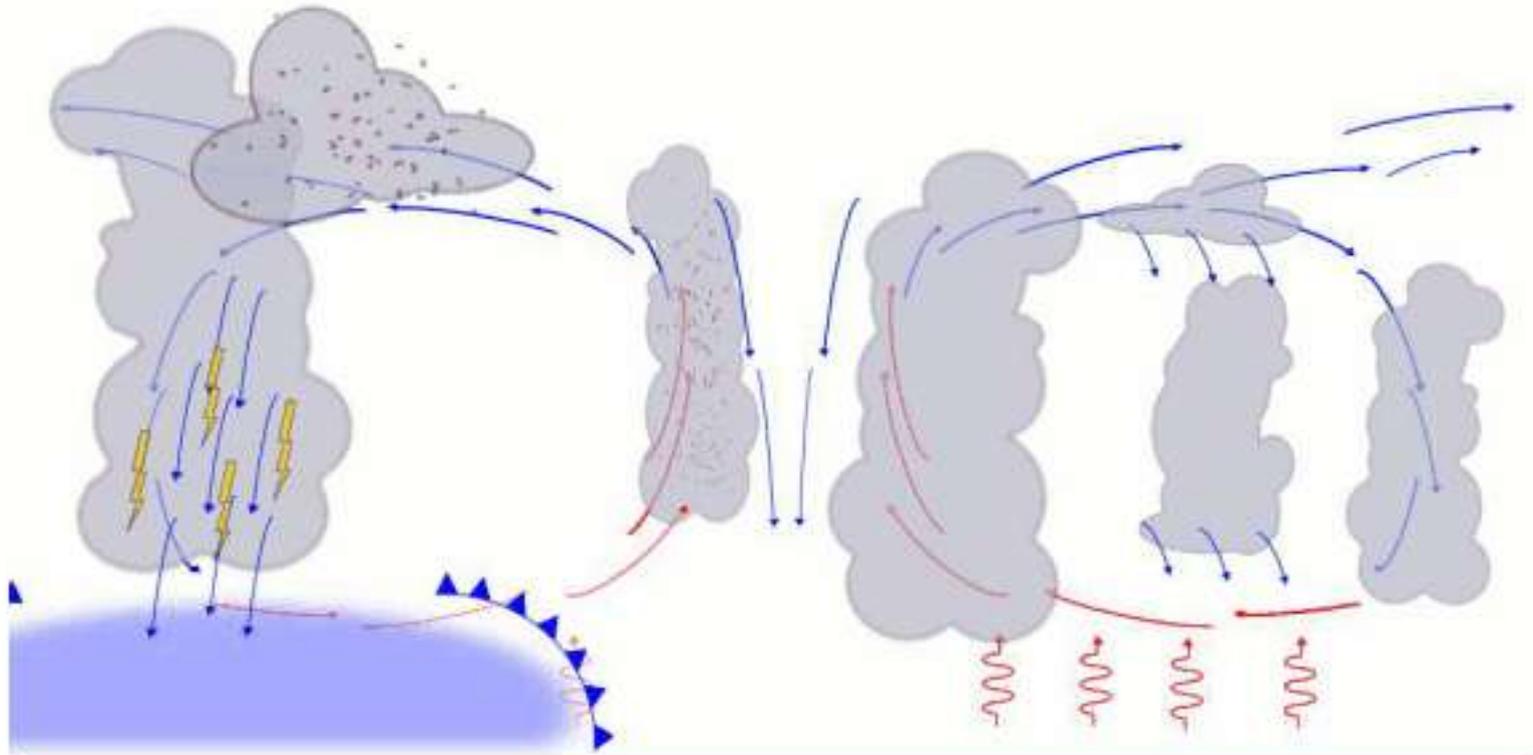
After introducing CCN's



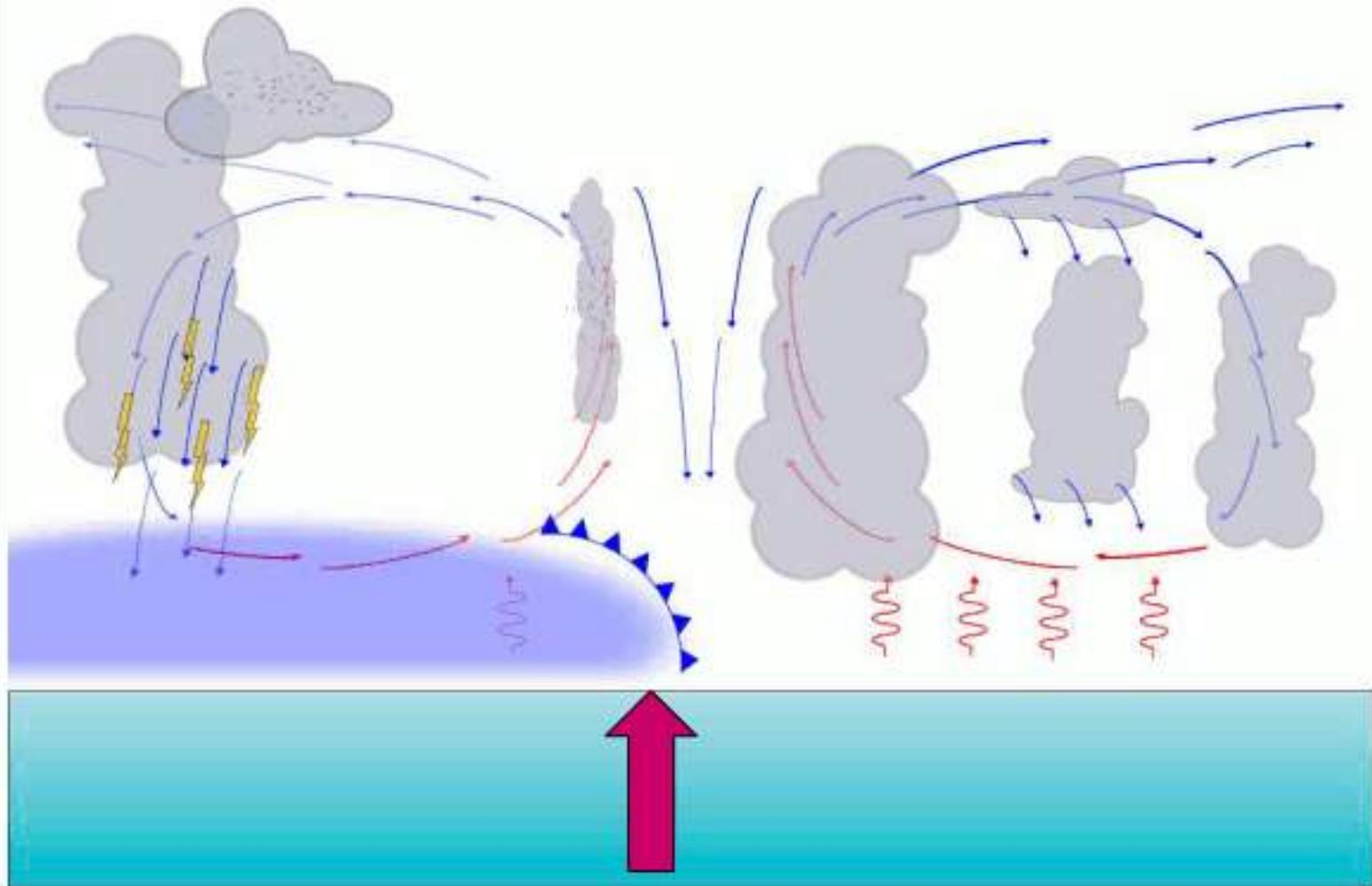
More precipitation in the rainbands



The largest *cold-pools* propagate

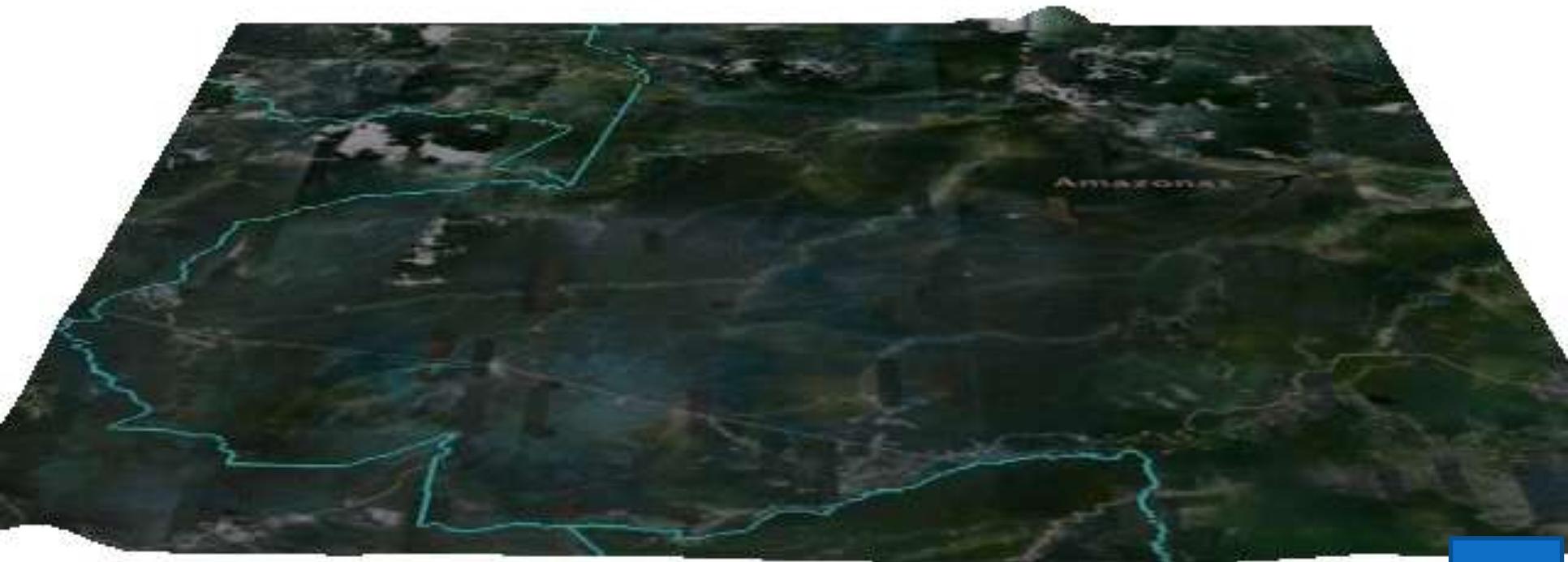


The energy source is blocked

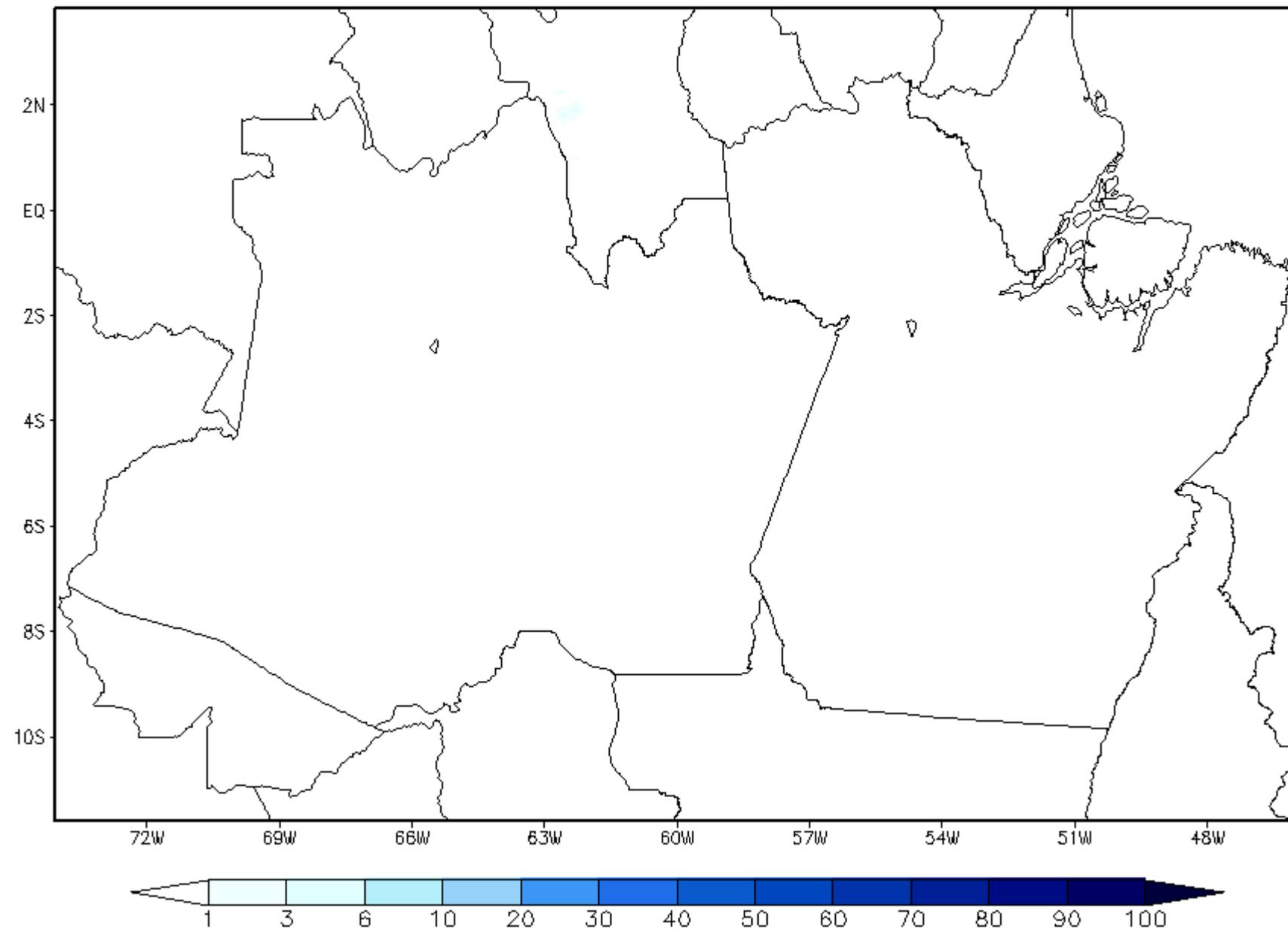


2-

BRAMS – 1 momento

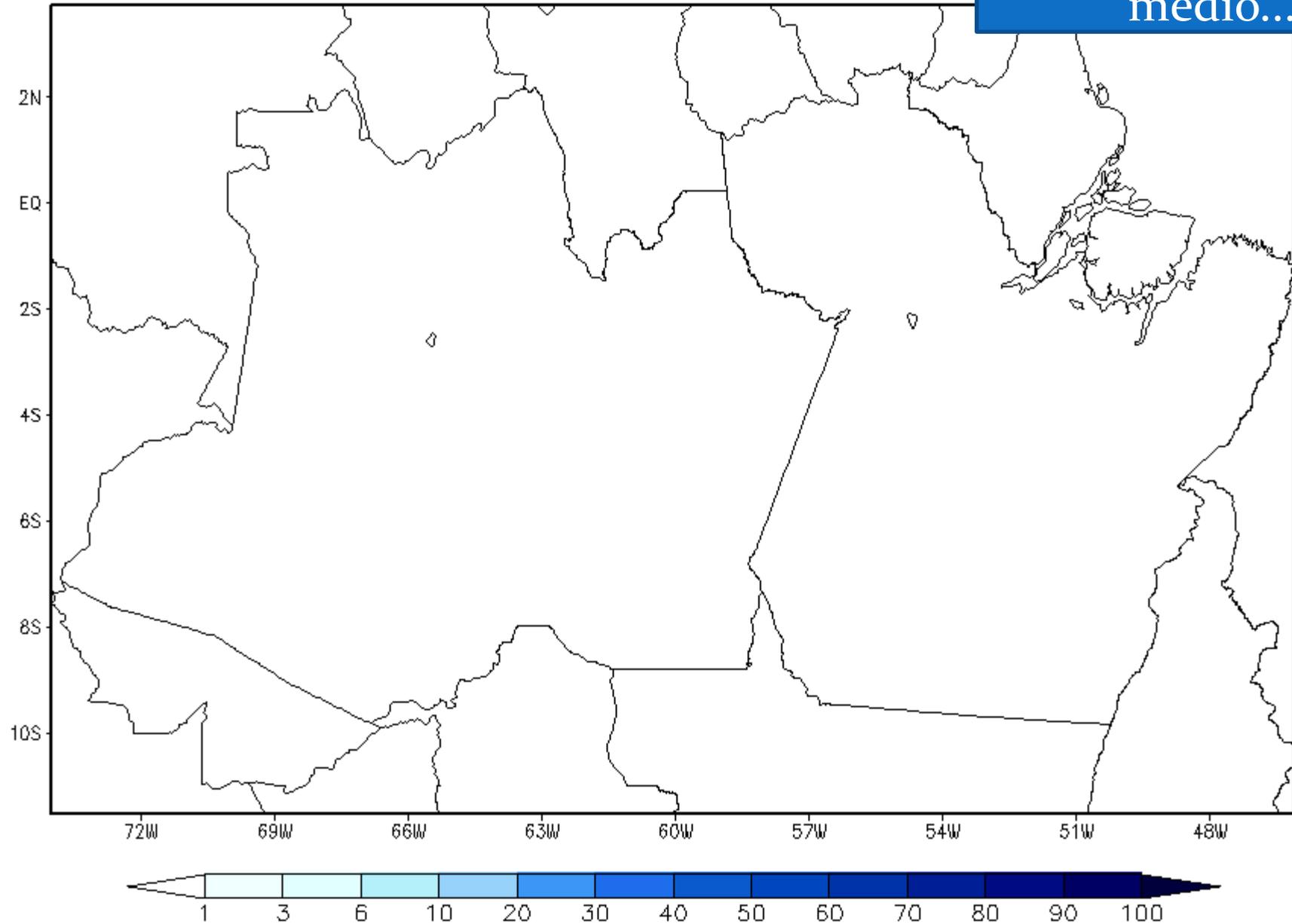


Precipitacao AM PAR-OFF resolucao 3.5Km 01Z26APR2007



Ensemble de nuvens e fluxo de massa médio...

Precipitacao AM PAR-ON resolucao 17.5Km



1-2.5

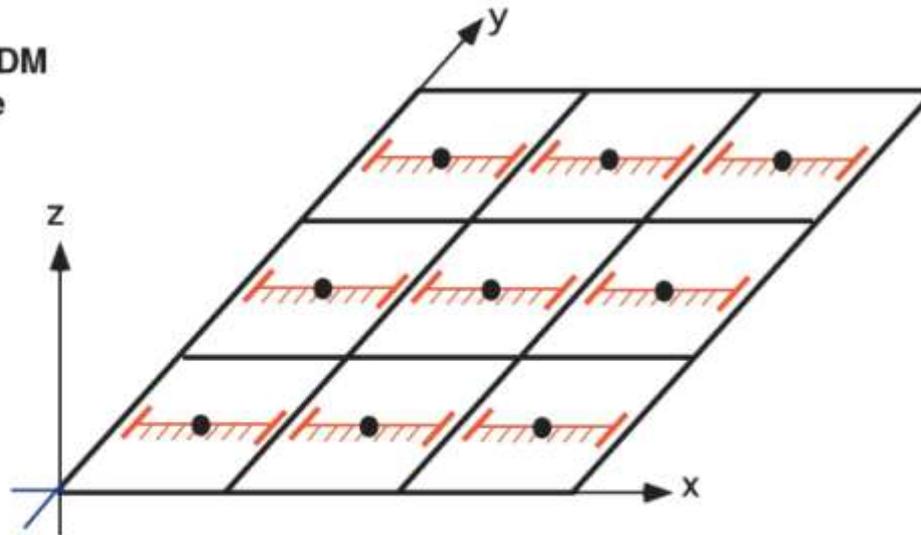
Grabowski – Super parametrização

Cloud-Resolving Convection Parameterization or Super-Parameterization

Grabowski (2001), Khairoutdinov and Randall (2001)

Application of
a 2D CSRM within each column of a large-scale dynamical model (LSDM)
with periodic lateral boundary conditions

At the ● points, the LSDM
and the domain-average
of the CSRM interact.



Concept and viewgraph from Akio Arakawa

Grabowski – Super parametrização

- Convecção profunda resolvida explicitamente
- Fração de cobertura resolvida explicitamente
- Intersecção entre camadas de nuvens calculado explicitamente

Mas...

- Um modelo global usando uma super-parameterização é 3 ordens de magnitude mais “caro” que um modelo convencional. Por outro lado, é mais fácil de paralelizar....

Fizeram simulações com modelo global acoplado e reproduziram Madden-Julian e El Niño!!

Compromisso

- Ao modelar a atmosfera, precisamos fazer um compromisso entre
 - Esforço computacional
 - Custo de CPU,
 - Total de tempo de máquina,
 - Consumo de memória e de espaço em disco
 - Nossa própria ambição científica.

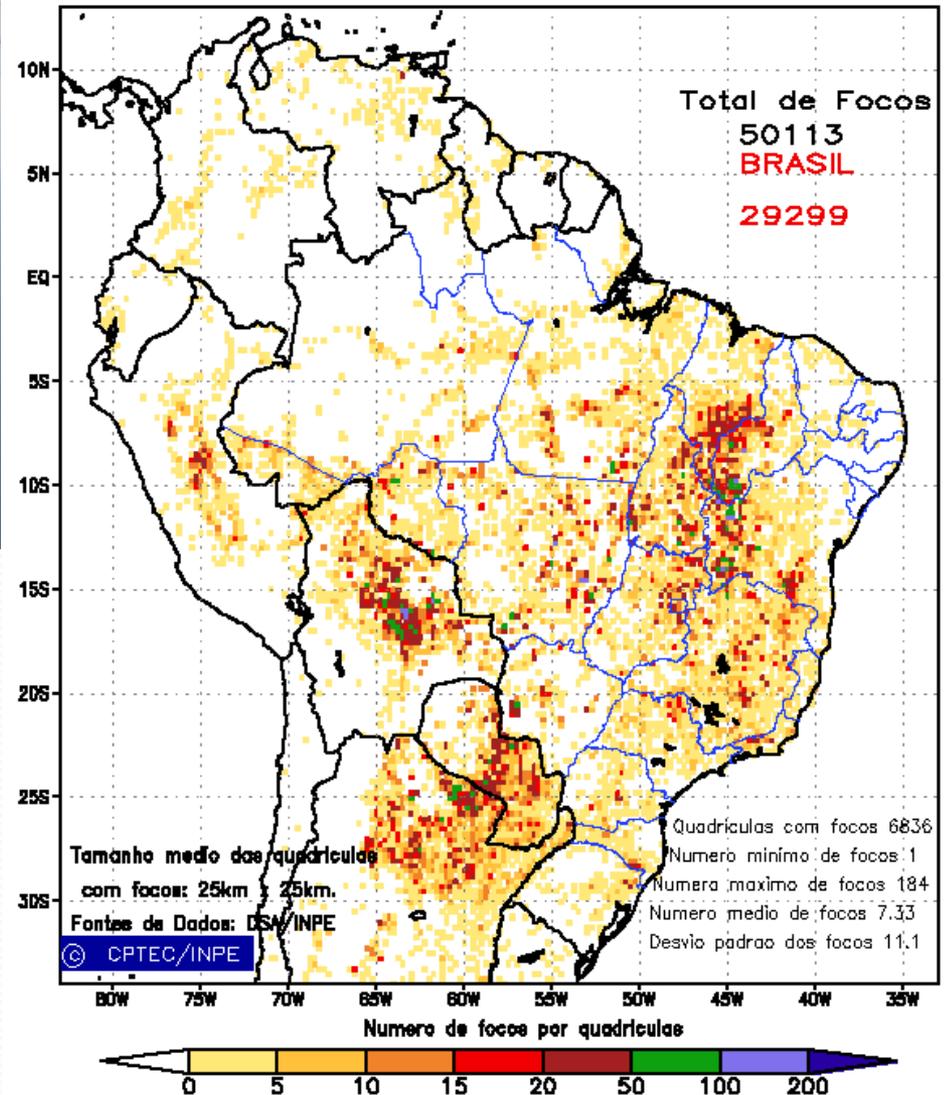
Parametrizações

3 – Química e aerossóis



Focos de Queima

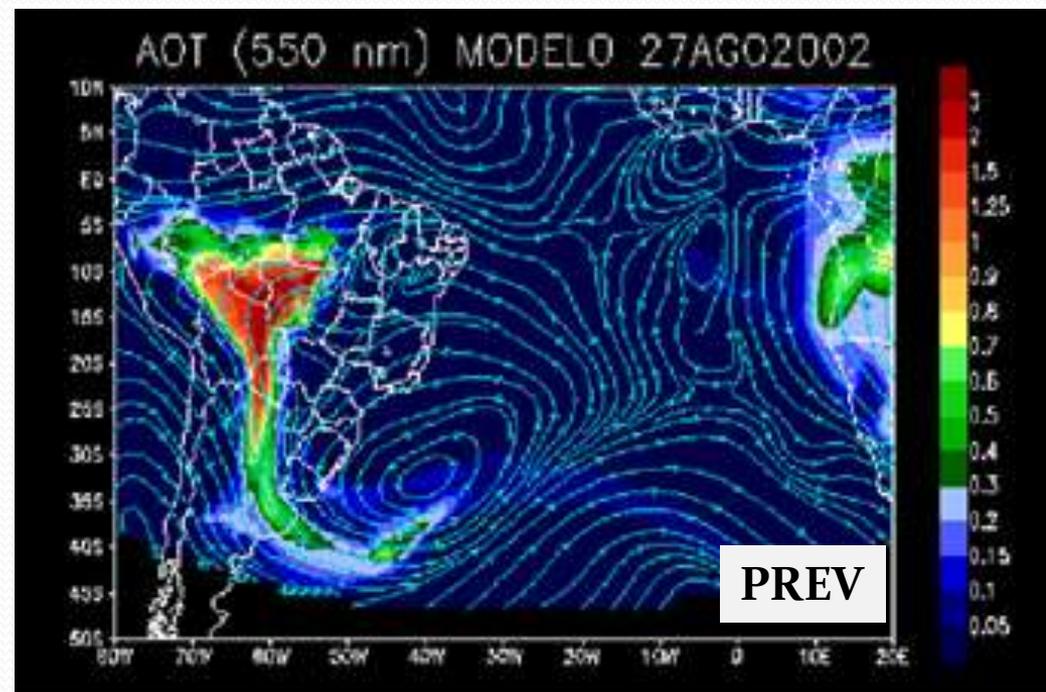
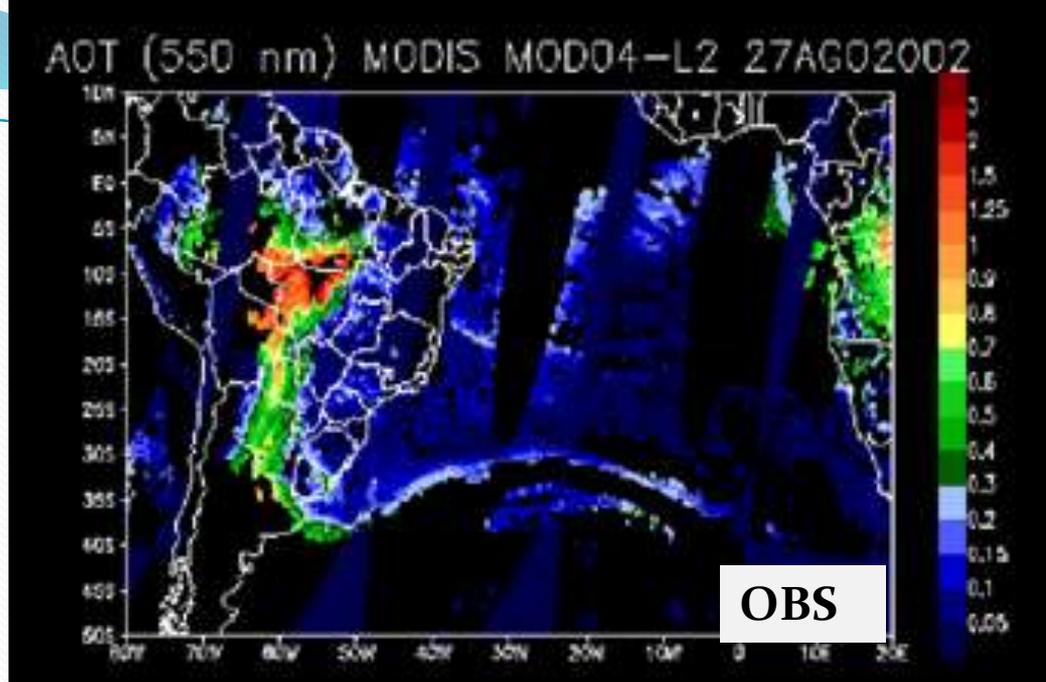
Acumulado de 01 a 17 de Setembro de 2011
AQUA_M-T - passagem as 17:30 UTC



E a química e os aerossóis?

Química

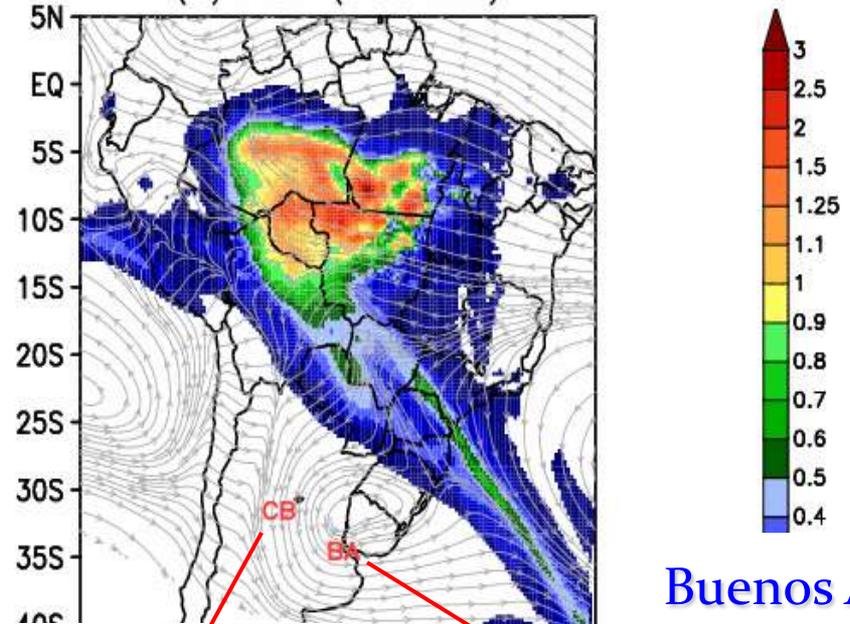
- O Brasil é o líder mundial na previsão de qualidade do ar, modelando a química e os aerossóis na atmosfera
- Mais 200 equações para o modelo resolver!
 - Ok para prev. de 5 dias
 - Mas como fazer isso numa escala de tempo de centenas de anos??



An example of long range transport (advection) of smoke

Time: 00Z22AUG2002

(a) AOT (500 nm)



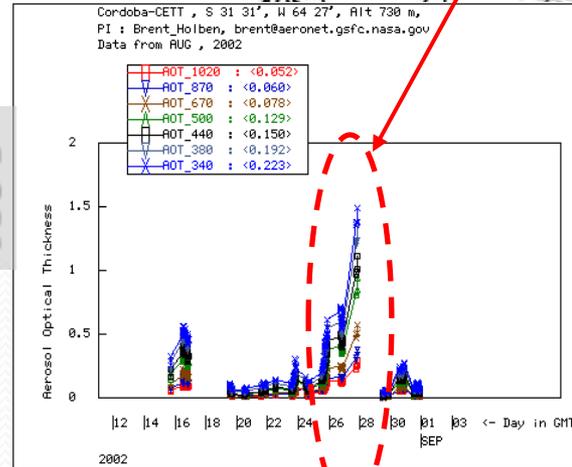
Córdoba

Buenos Aires

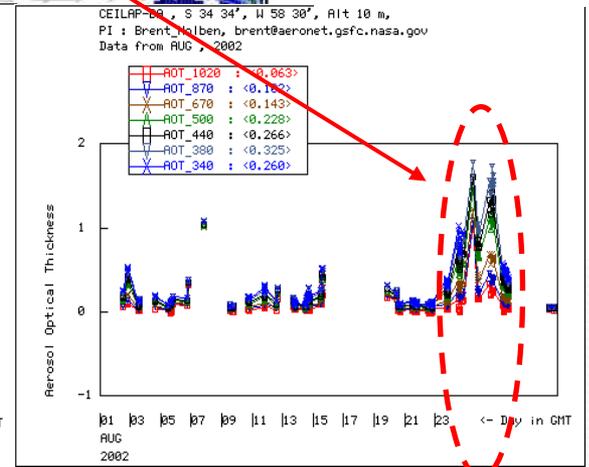


27 August 2002

AOT



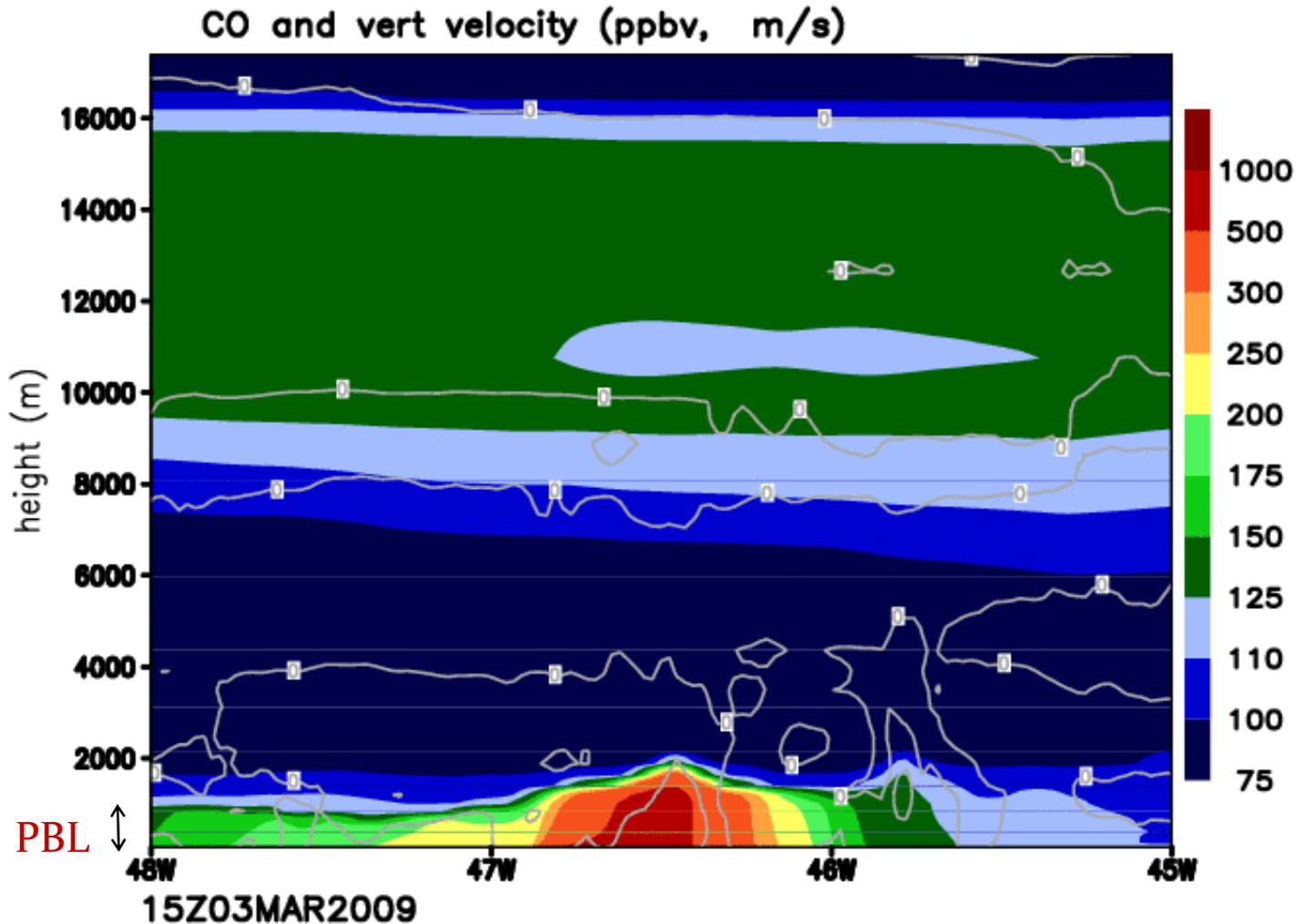
26-29 Aug 2002



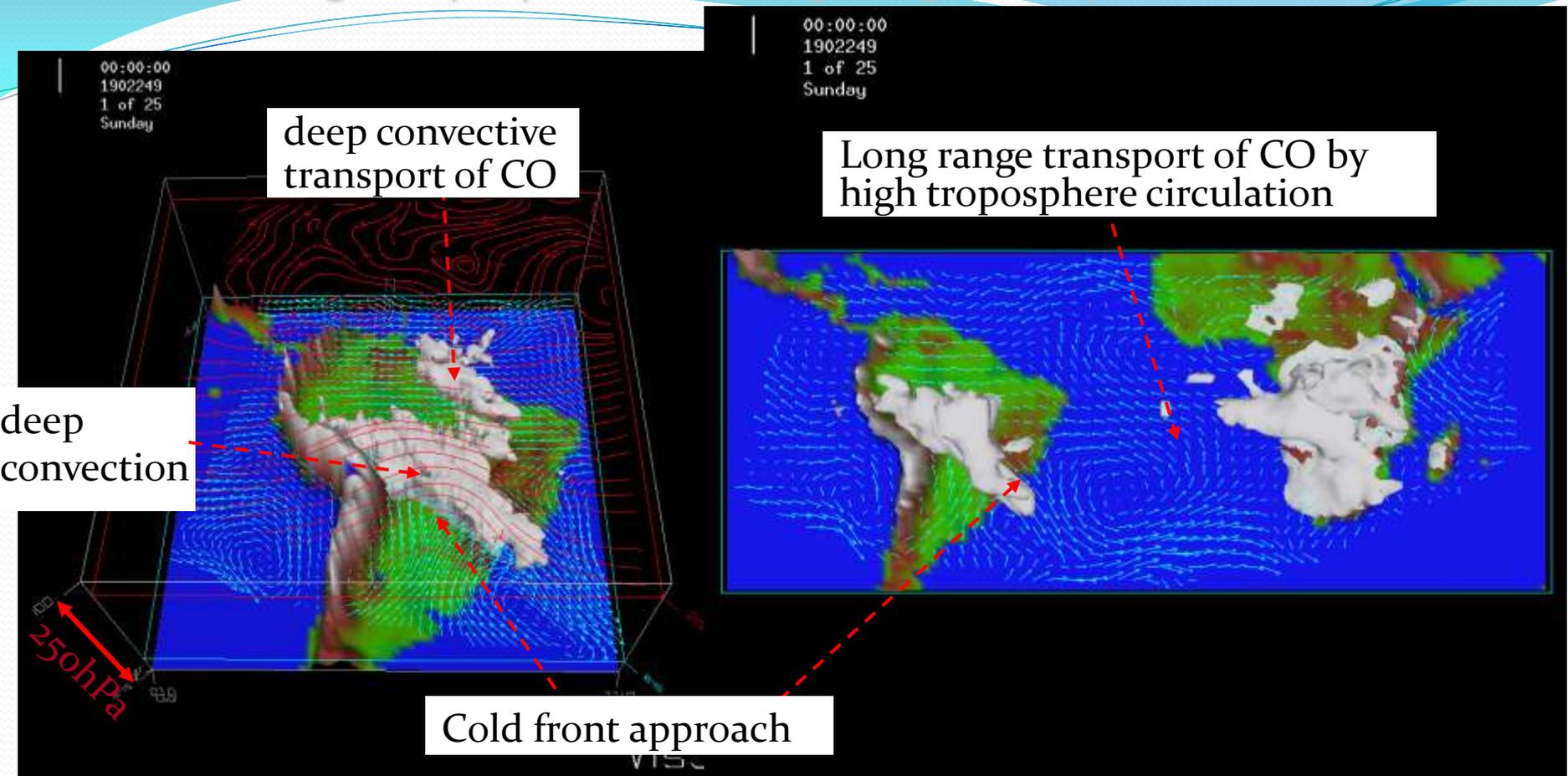
26-29 Aug 2002

Vertical cross section showing vertical velocity and the transport of CO from the PBL to the high troposphere

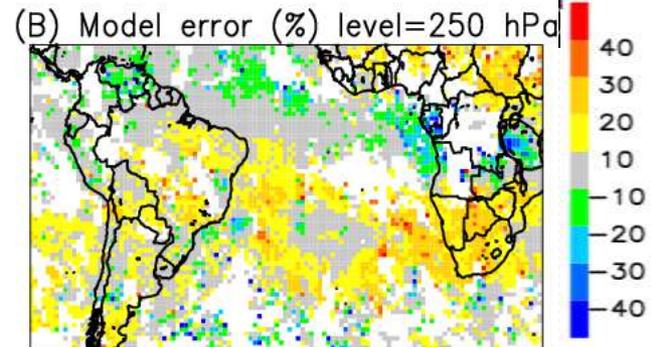
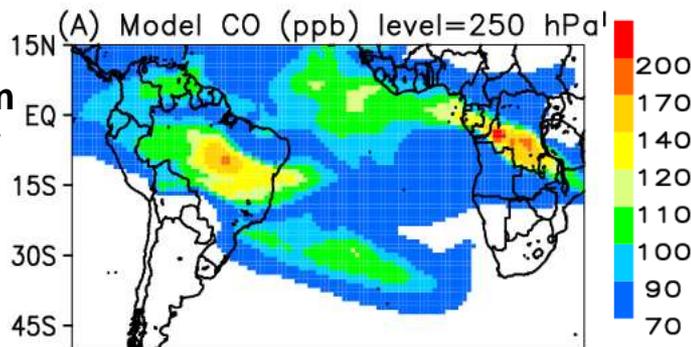
Plume rise



High Troposphere and Long Range Transport of CO



Avaliação do modelo com dados de CO obtidos por sensoriamento remoto (MOPITT)



Numerical simulation of transport of CO with CATT-BRAMS during CLAIRE flight 8

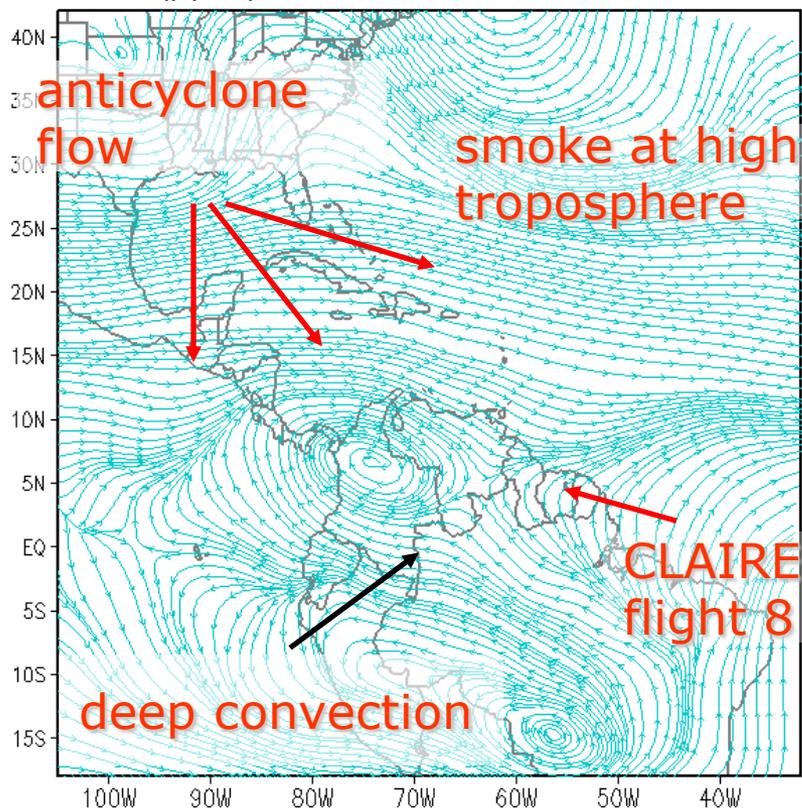
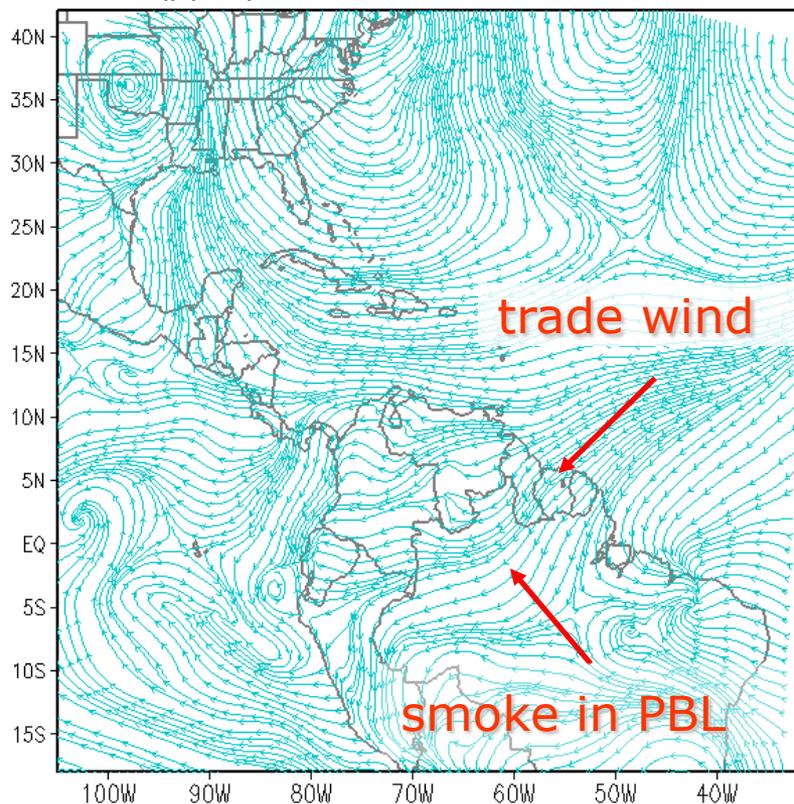
1 km

<= height =>

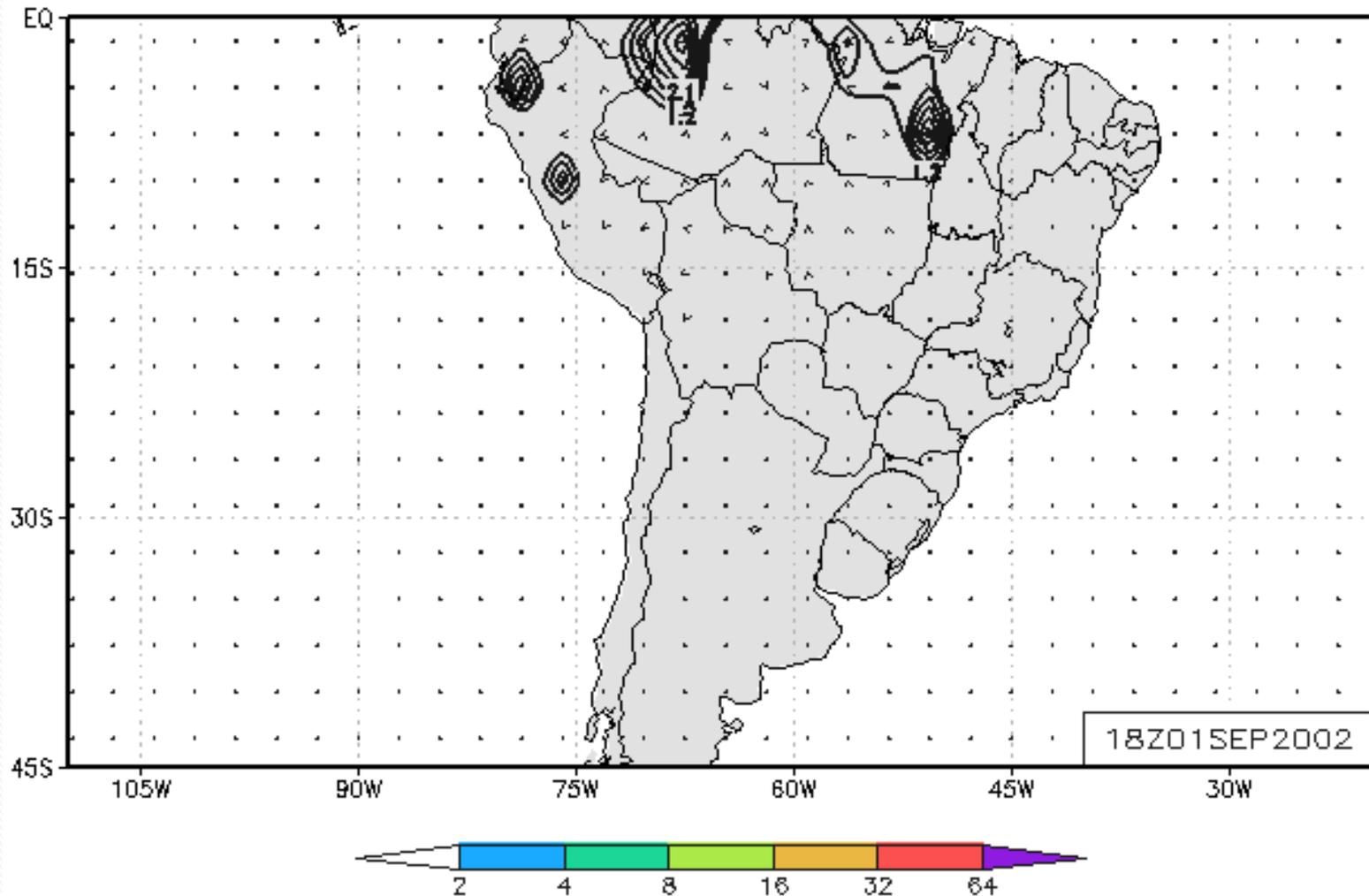
11,7 km

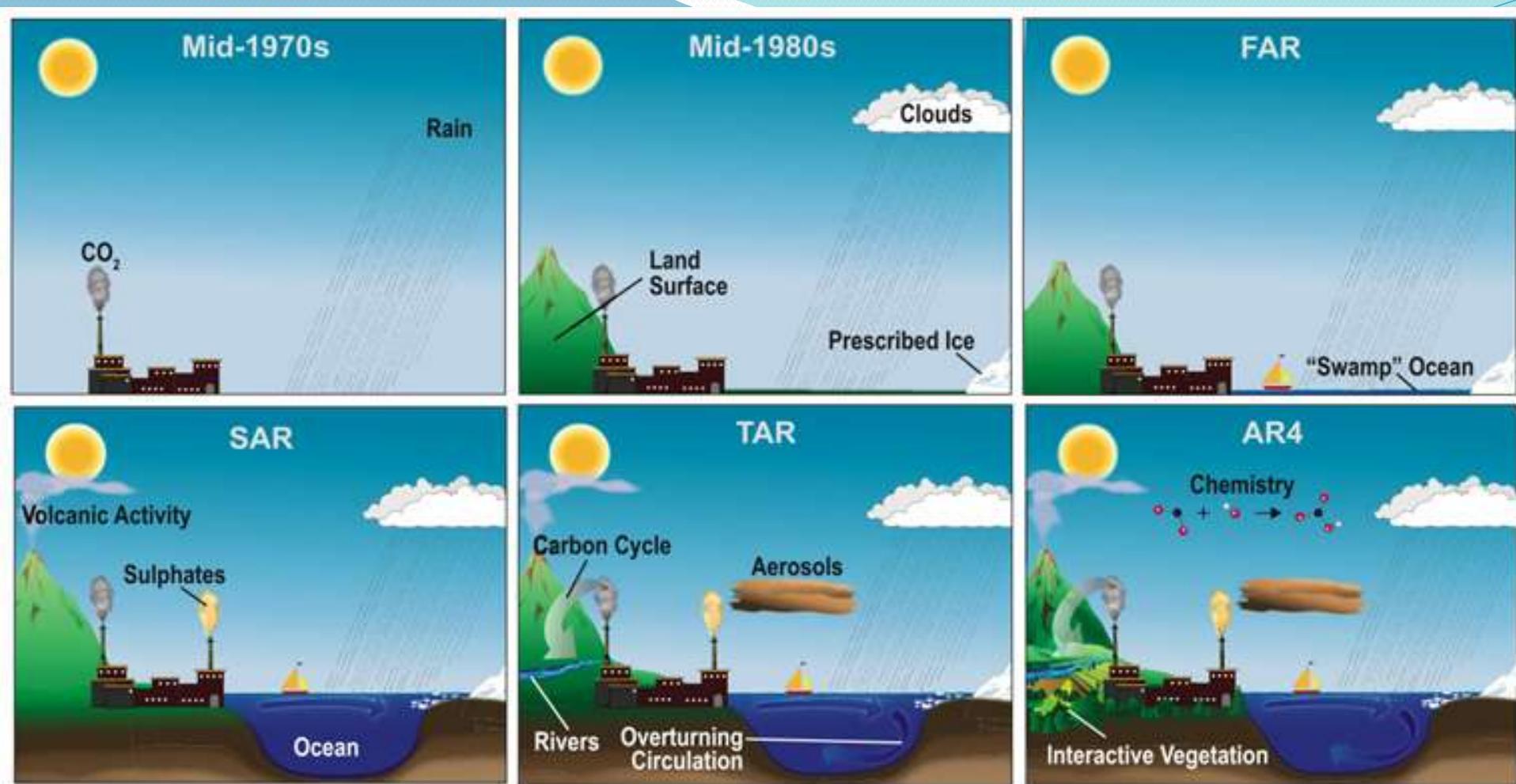
CO BB (ppbv) - 12Z17MAR1998 - 1.0296 km

CO BB (ppbv) - 12Z17MAR1998 - 11.748 km



Transporte, água precipitável e precipitação - Evapotranspiração

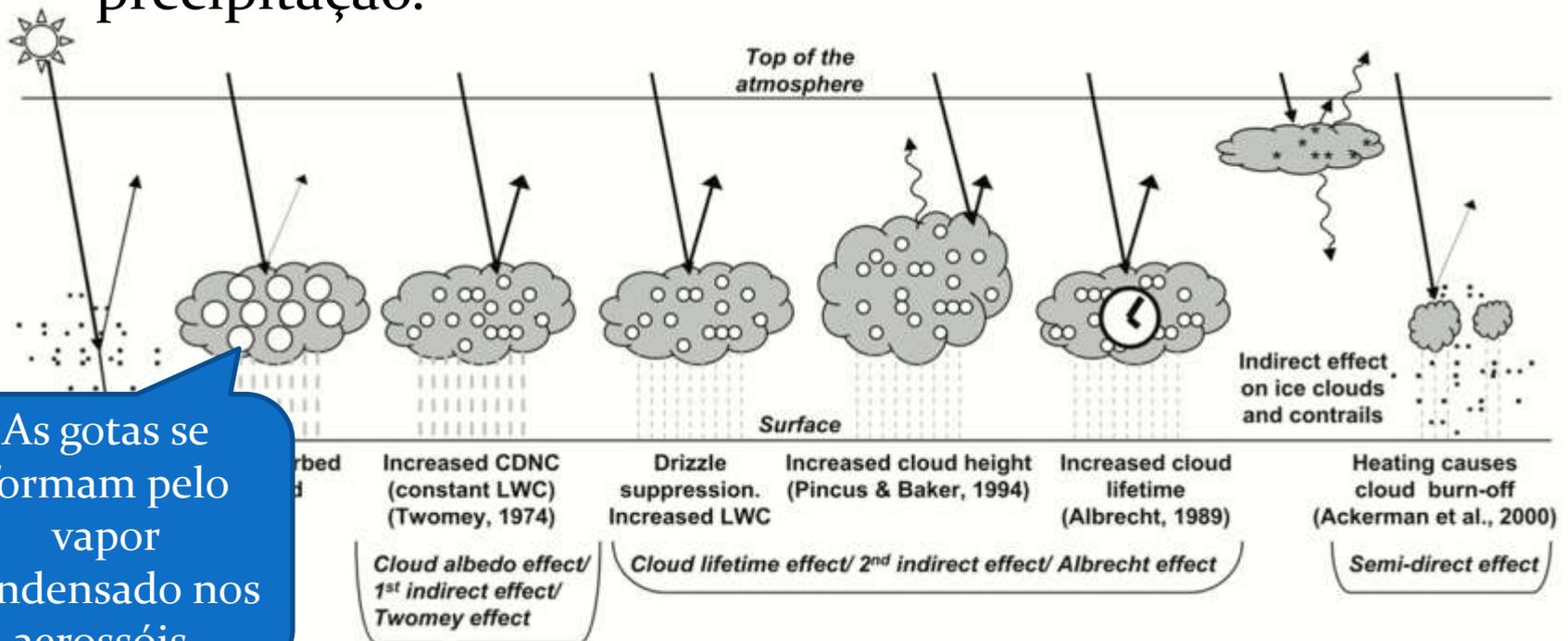




Mas e se a gente não conhecer todos os processos??

Efeito dos aerossóis

- Se conhece pouco os efeitos dos aerossóis (partículas de poeira, poluição, etc...) nas nuvens e menos ainda na precipitação.

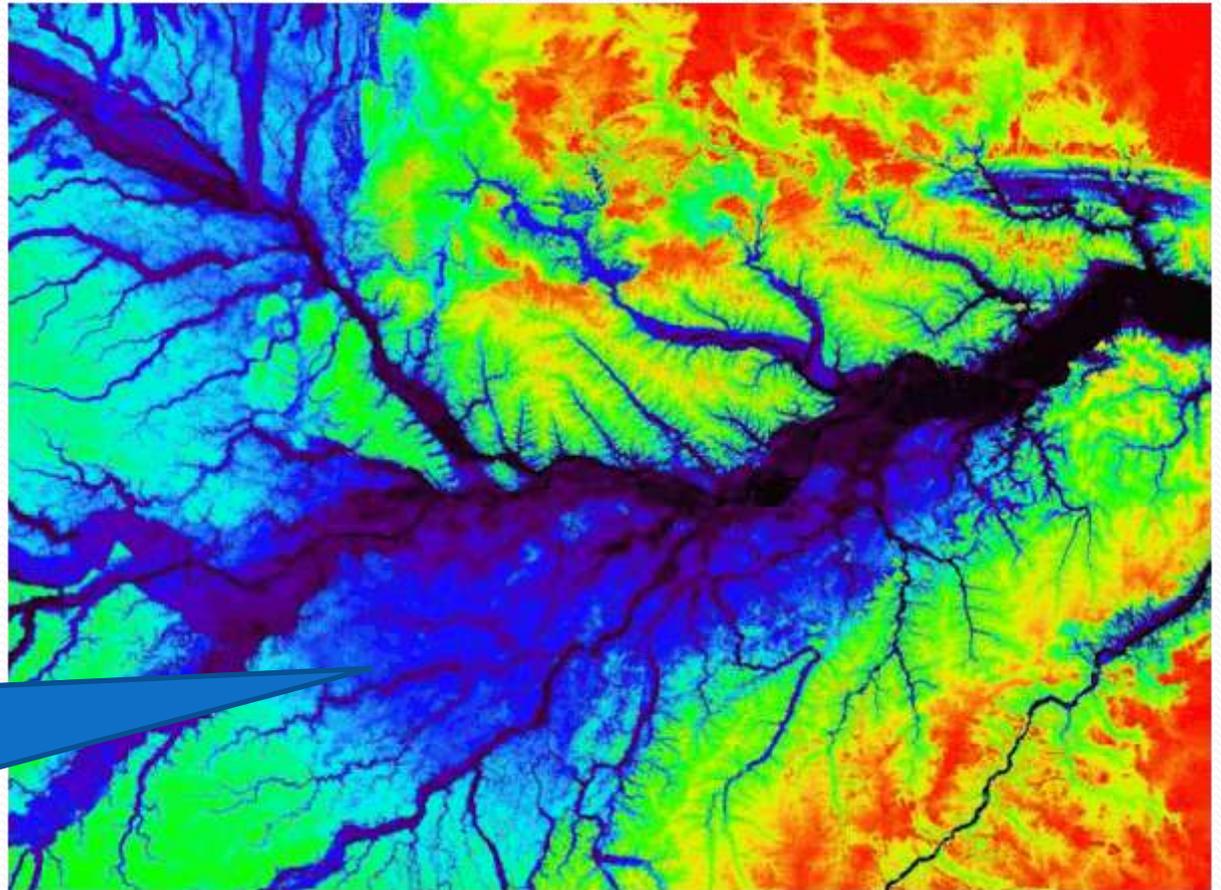


O que acontece se aumentar ou diminuir a poluição?

Área alagadas

- Quando modelamos a floresta, não incluímos as área alagadas!

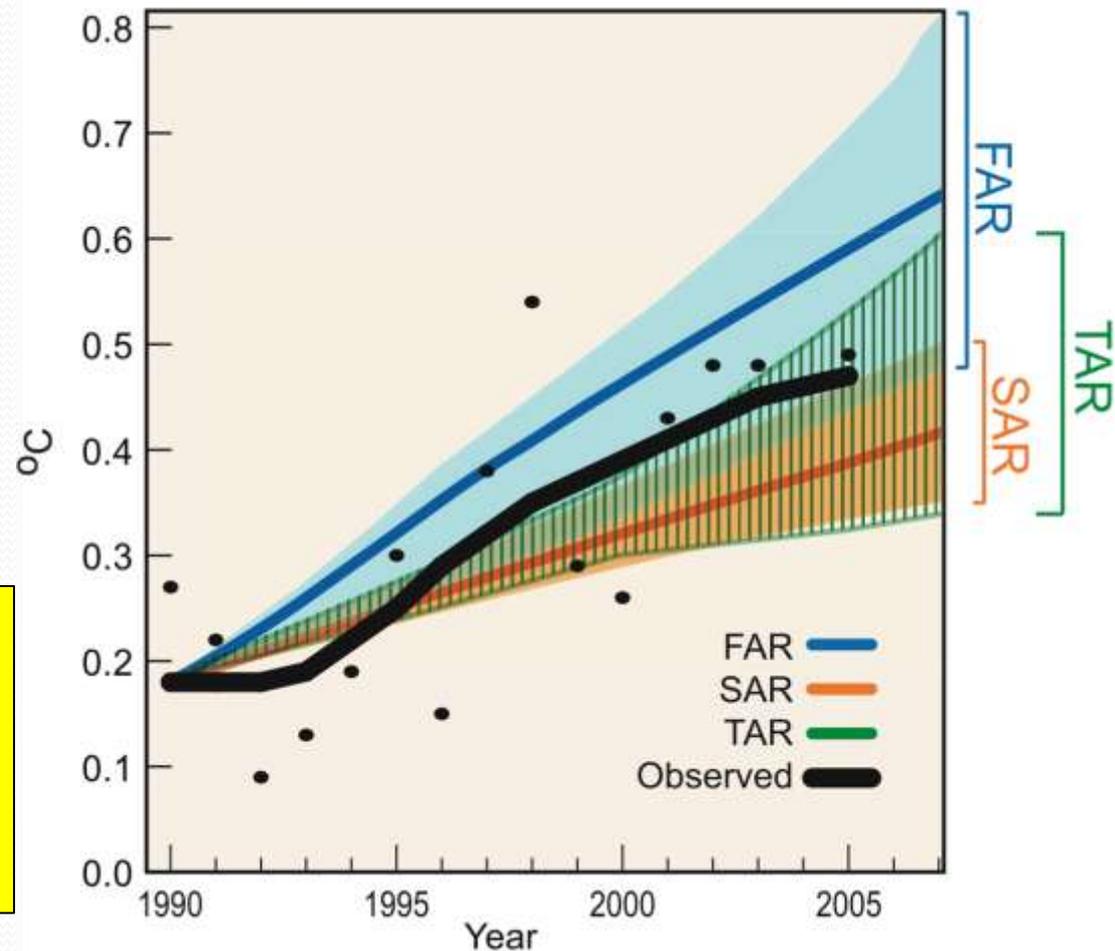
Como as área alagadas modificam a evaporação e a temperatura da floresta?



Apesar de tudo

- Apesar de todos os problemas dos modelos climáticos, as **previsões** que foram feitas desde o 1º IPCC **acertaram em cheio** o que ia acontecer!

Temos segurança que entendemos a física envolvida e que os modelos funcionam!



ACONVEX

Aerosol, Clouds, cONVection
EXperiment in the Amazon

Intensive Campaign, Aug-Sep '11

ADAMS, BARBOSA & PAULIQUEVIS

New experimental site @ KM30 AM-010

PWVCA - Team



- Principal investigators:
 - Prof. David Adams - UEA
 - Prof. Henrique Barbosa - USP
 - Prof. Theotônio Pauliquevis - UNIFESP

- Collaborators
 - Prof. Paulo Artaxo – USP
 - Profa. Maria Assunção – USP
 - Prof. Luiz Augusto – INPE
 - Prof. Gilberto Fish – CTA
 - Profa. Betânia Oliveira – UEA
 - Profa. Rosa dos Santos – UEA
 - Prof. Rodrigo Souza – UEA
 - Prof. Júlio Tota – UEA

- Students
 - Glauber Cirino
 - Albert Daviet
 - Ludimila Silva
 - Diego Souza
 - Theomar Trindade

- Tech/Admin
 - Ruth Araujo – LBA
 - Fernando Morais – USP
 - Simara Oliveira – USP
 - Roberta Souza – LBA
 - Victor Souza – Embrapa



Embrapa Site - Instruments



Raman Lidar



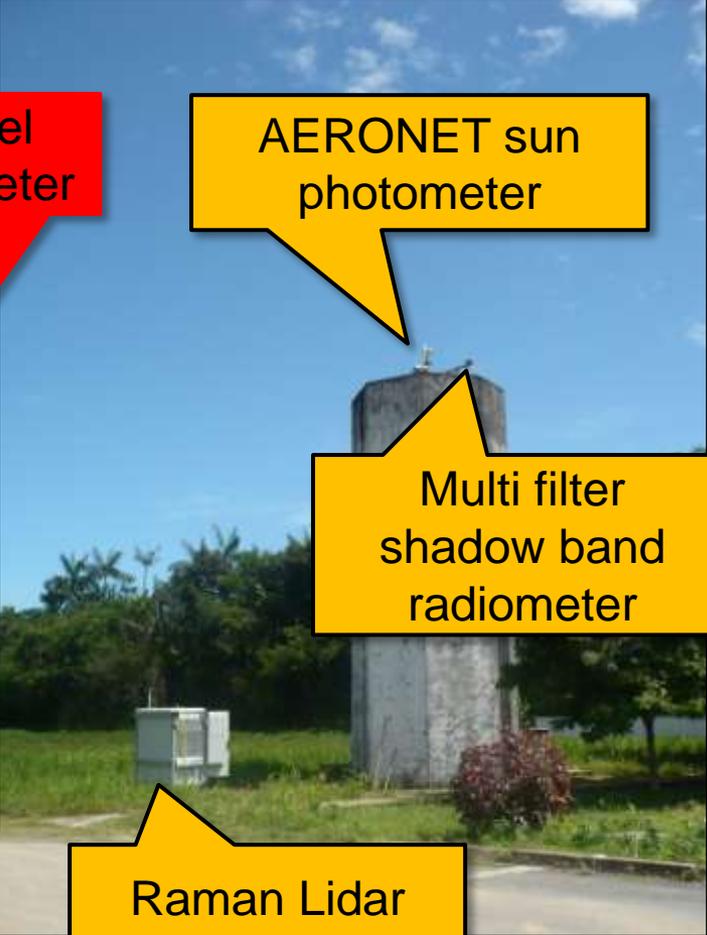
Rain Radar



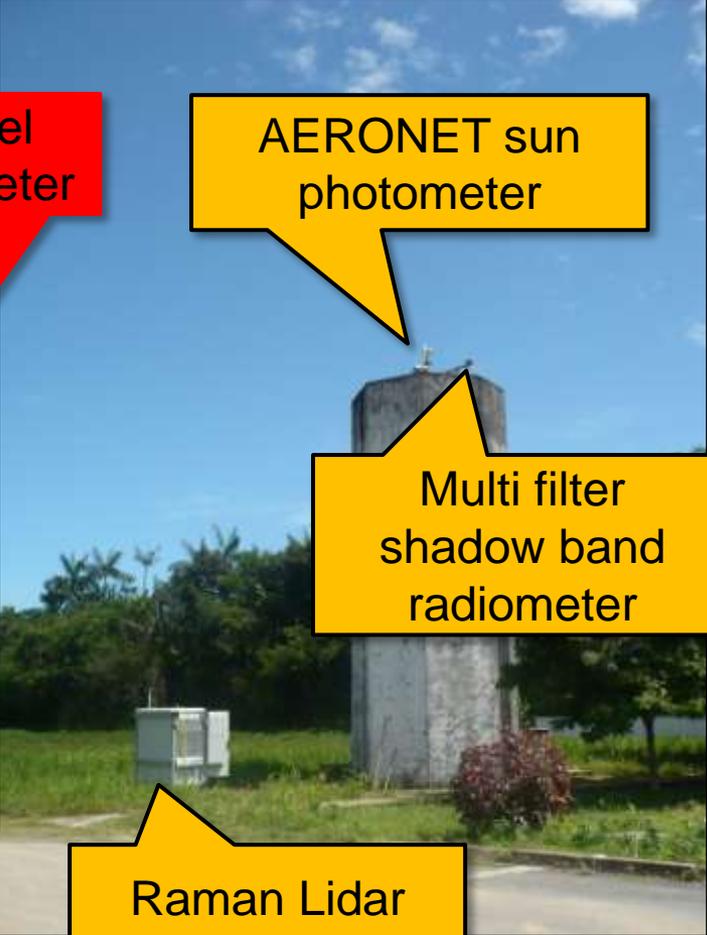
GNSS Trimble



Parsivel disdrometer



AERONET sun photometer

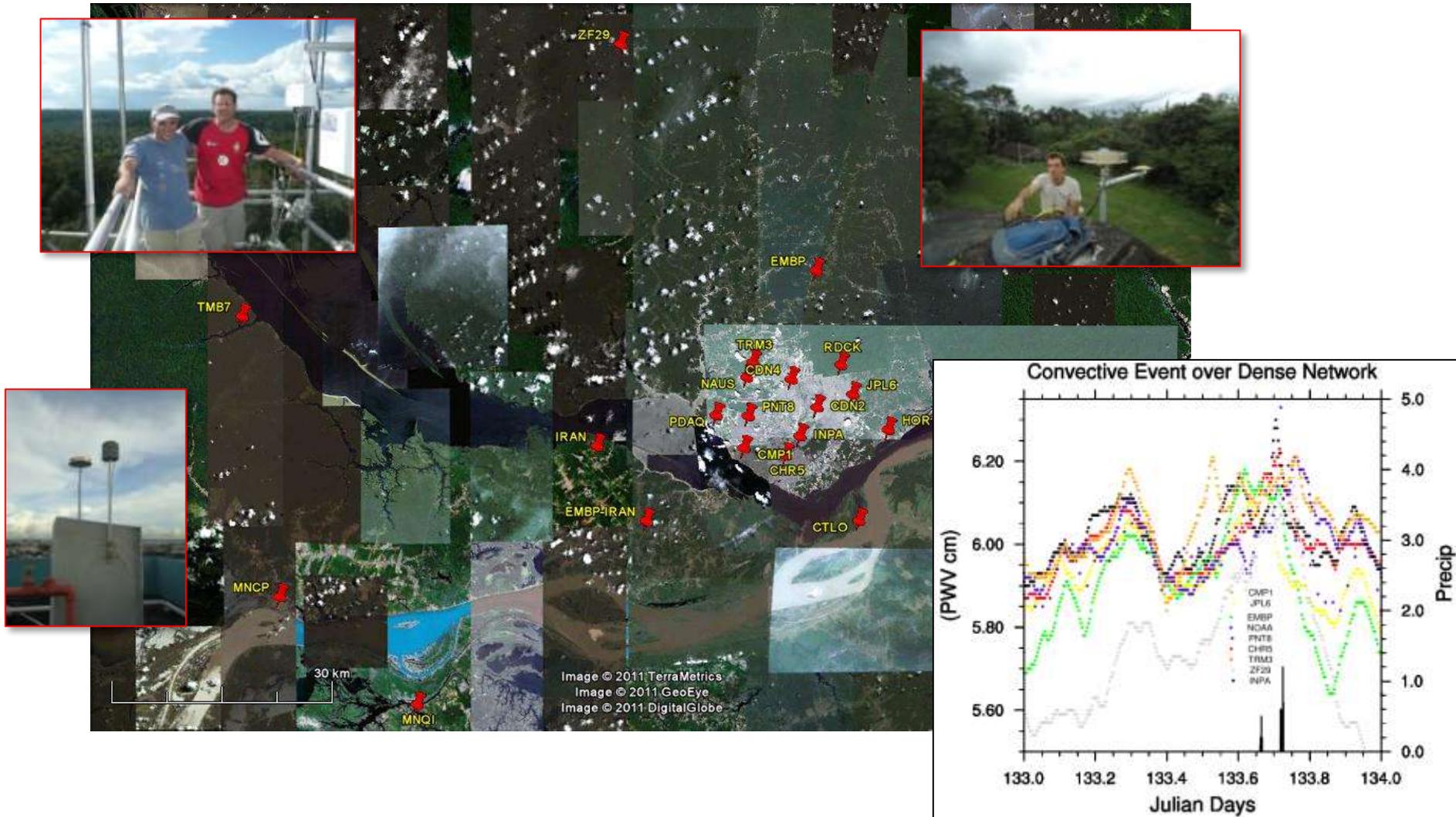


Multi filter shadow band radiometer



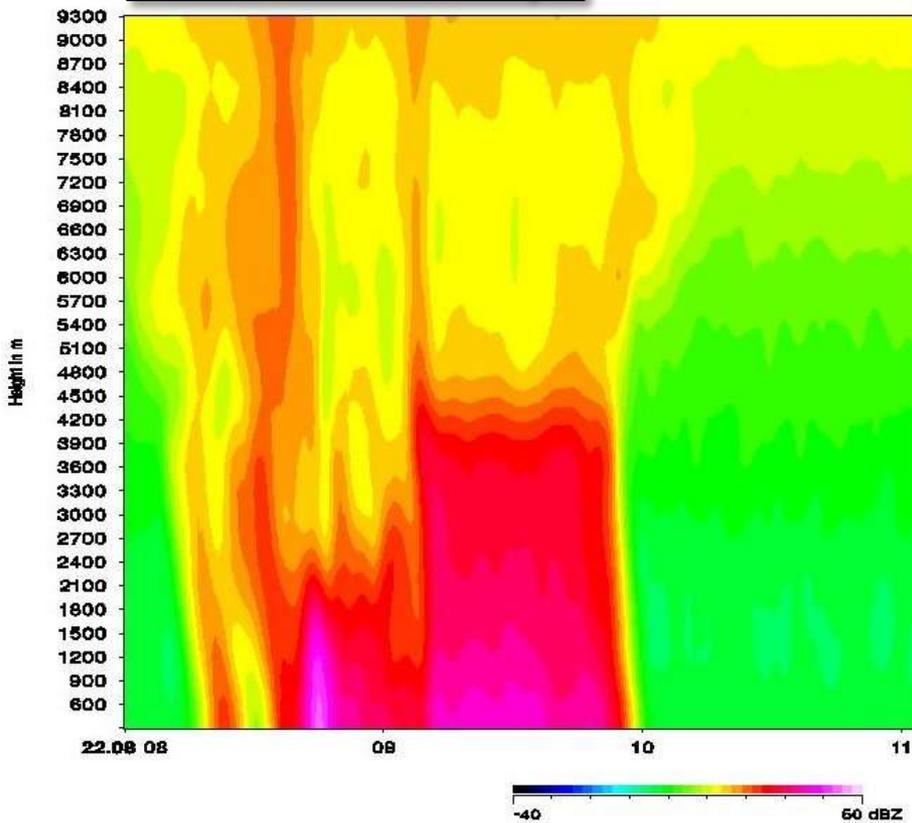
Raman Lidar

GNSS Network Precipitable Water Vapor



Vertical Pointing Radar (MRR) Embrapa - 22nd August 2011

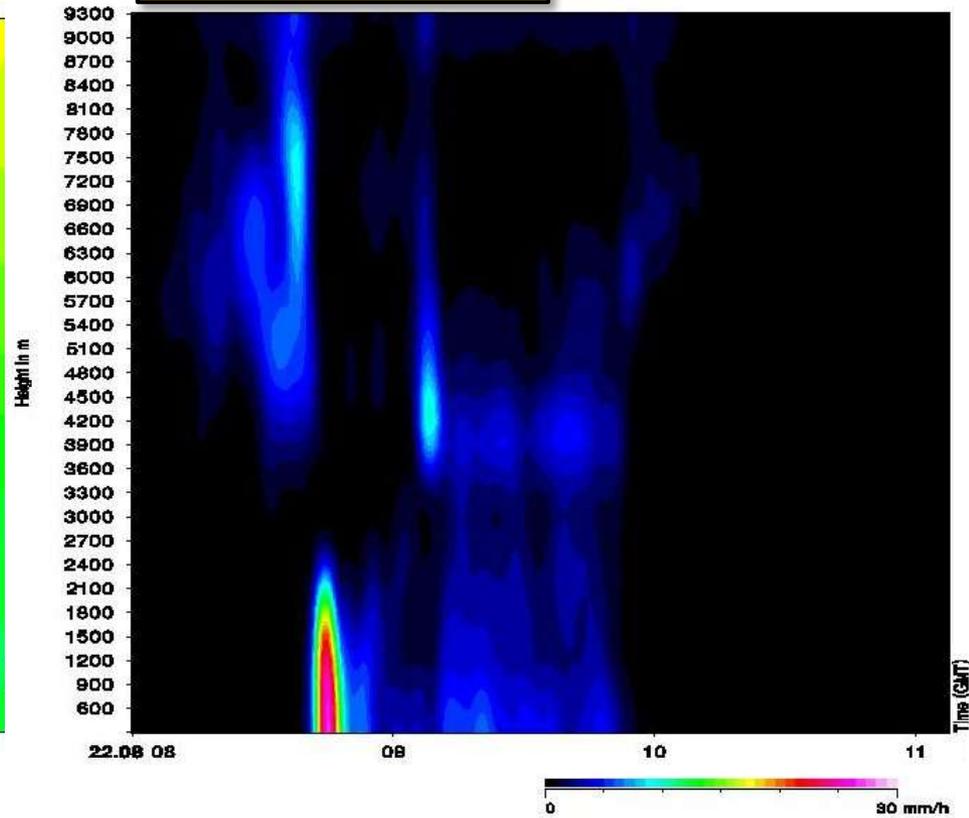
Radar Reflectivity



Sodagram of 1'-Averages of the Radar Reflectivity (Z)

WETEK

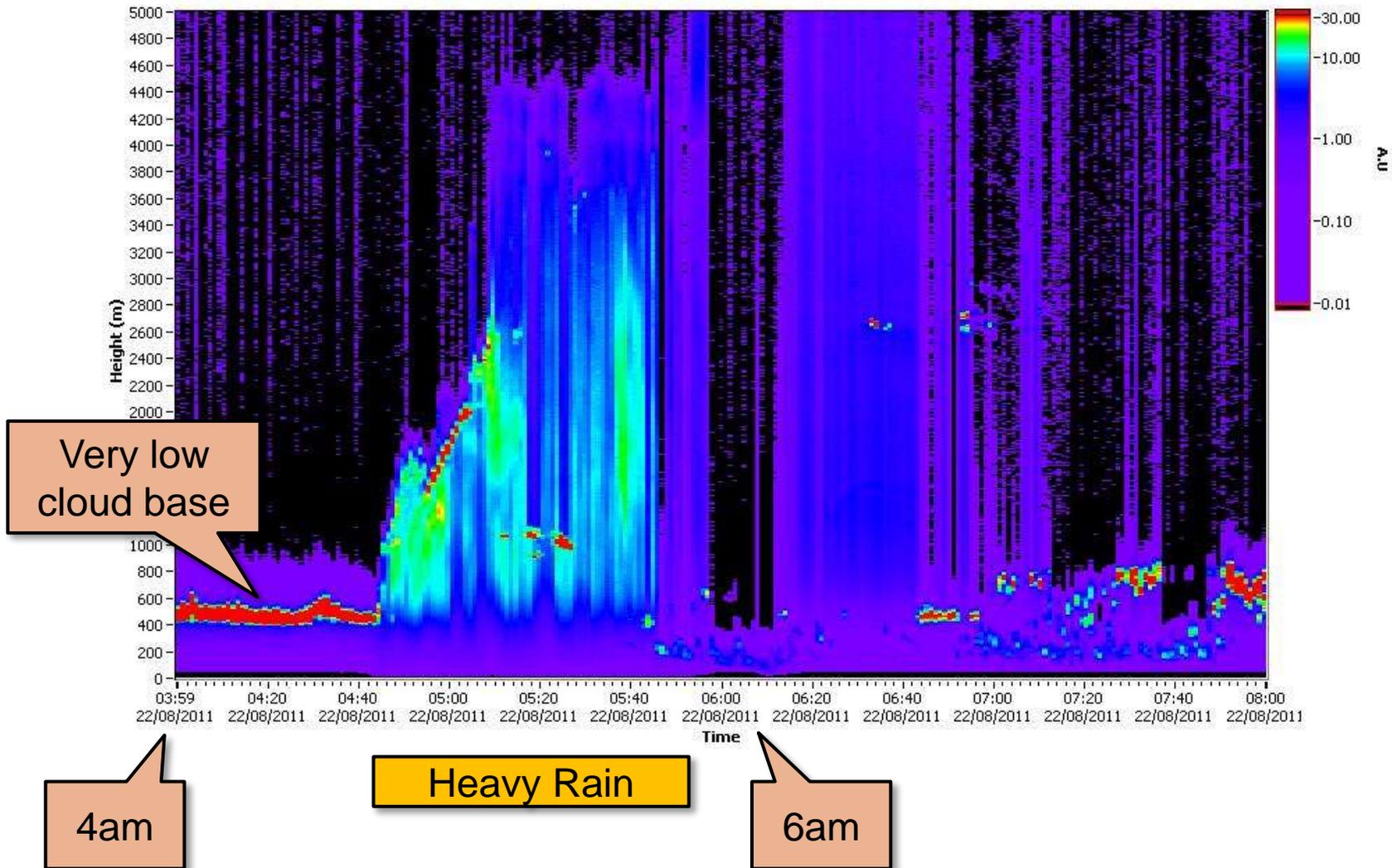
Rain Rate



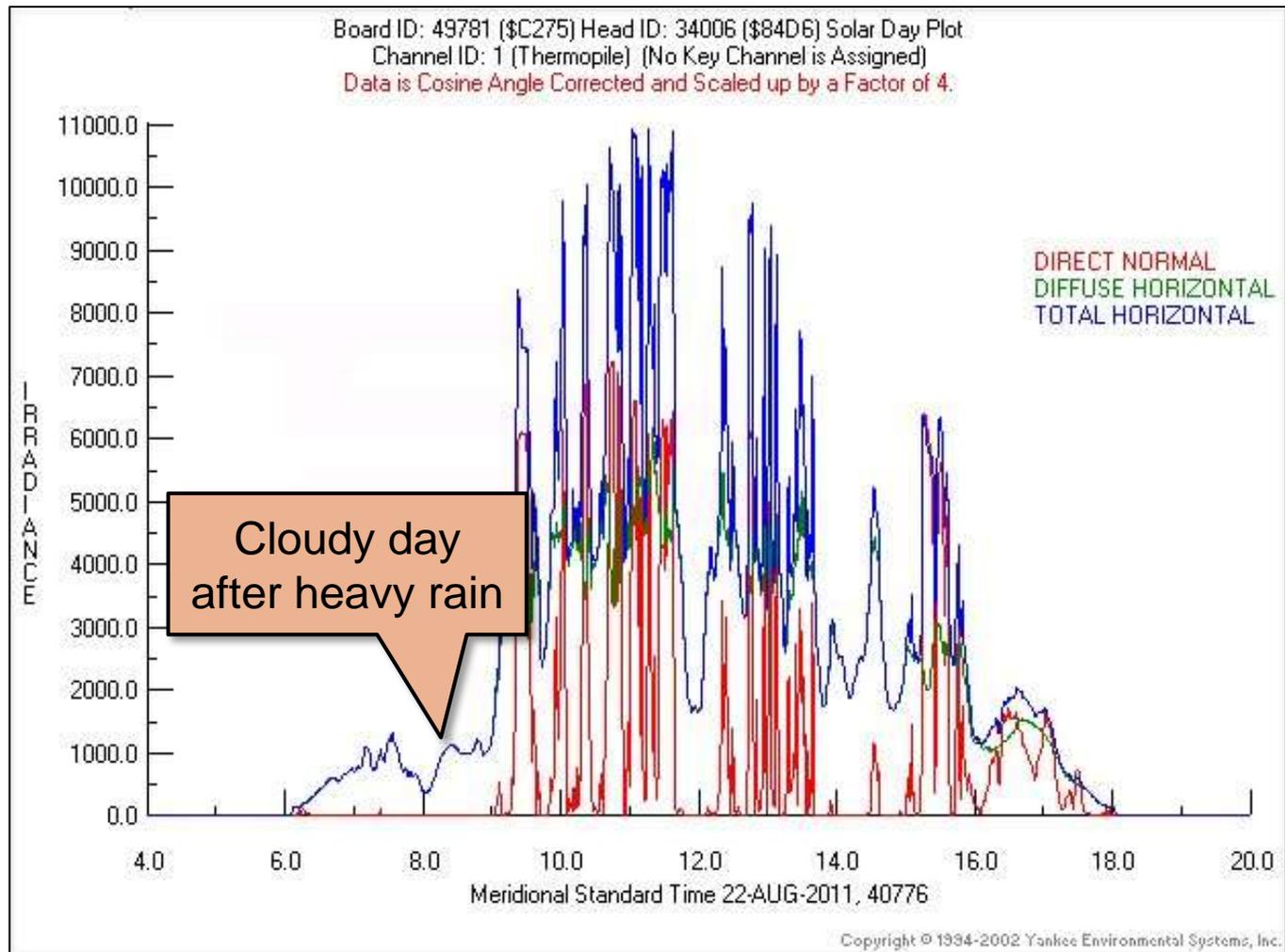
Sodagram of 1'-Averages of the Rain Rate (RR)

WETEK

Lidar Extinction Coefficient Embrapa - 22nd August 2011



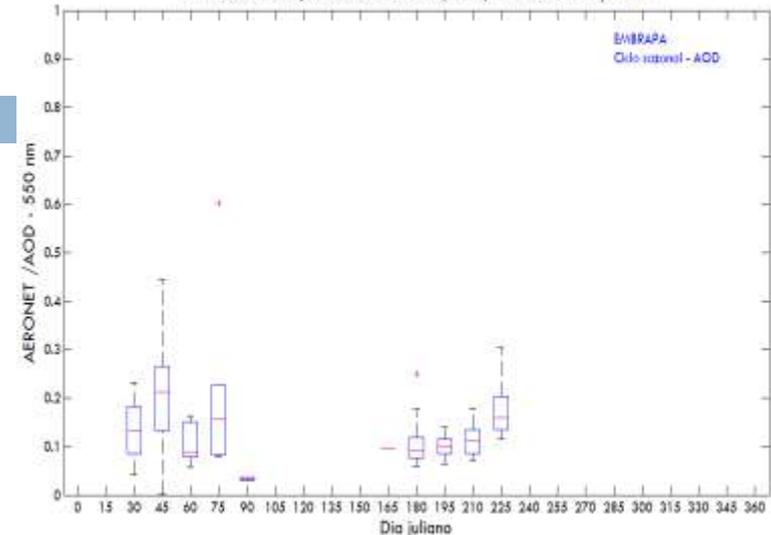
Multifilter Shadow Band Radiometer Embrapa - 22nd August 2011



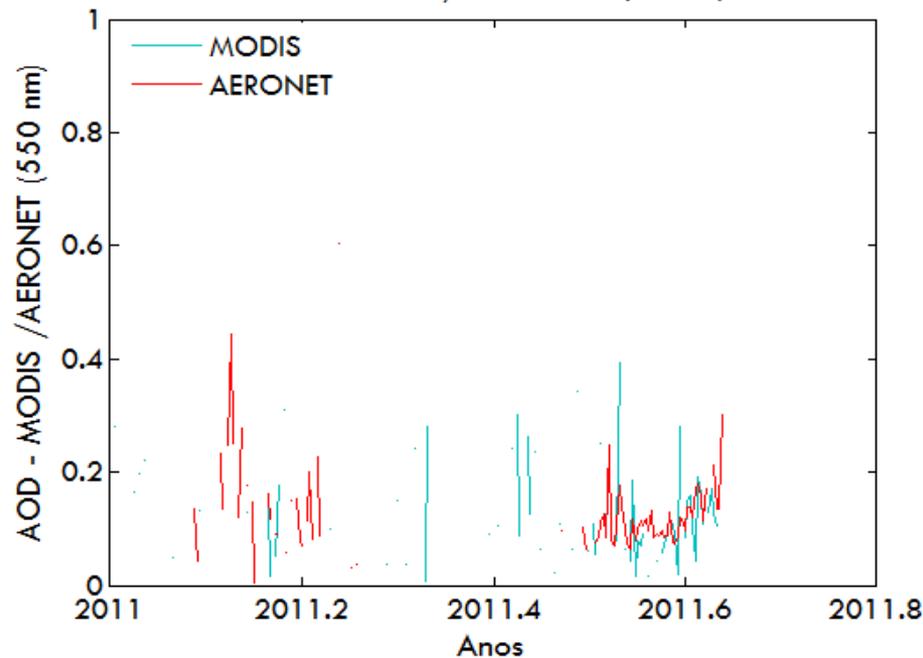
AOD Modis x Aeronet Embrapa - 2011

I am working on the inversion algorithms to compare both to the lidar data

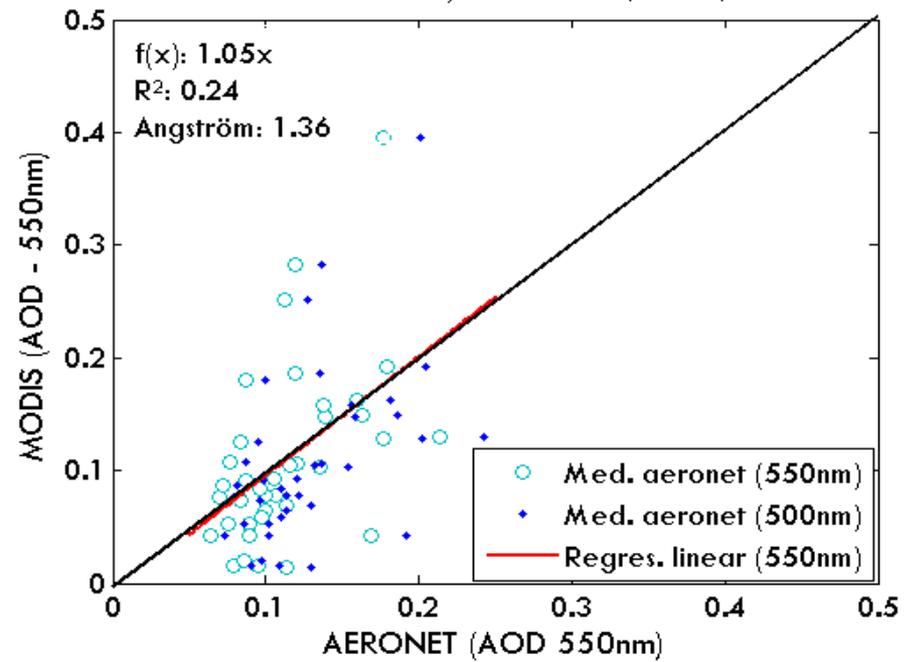
Profundidade óptica de aerossóis (AOD) - Manaus-AM /2011



Manaus-AM /EMBRAPA (2011)



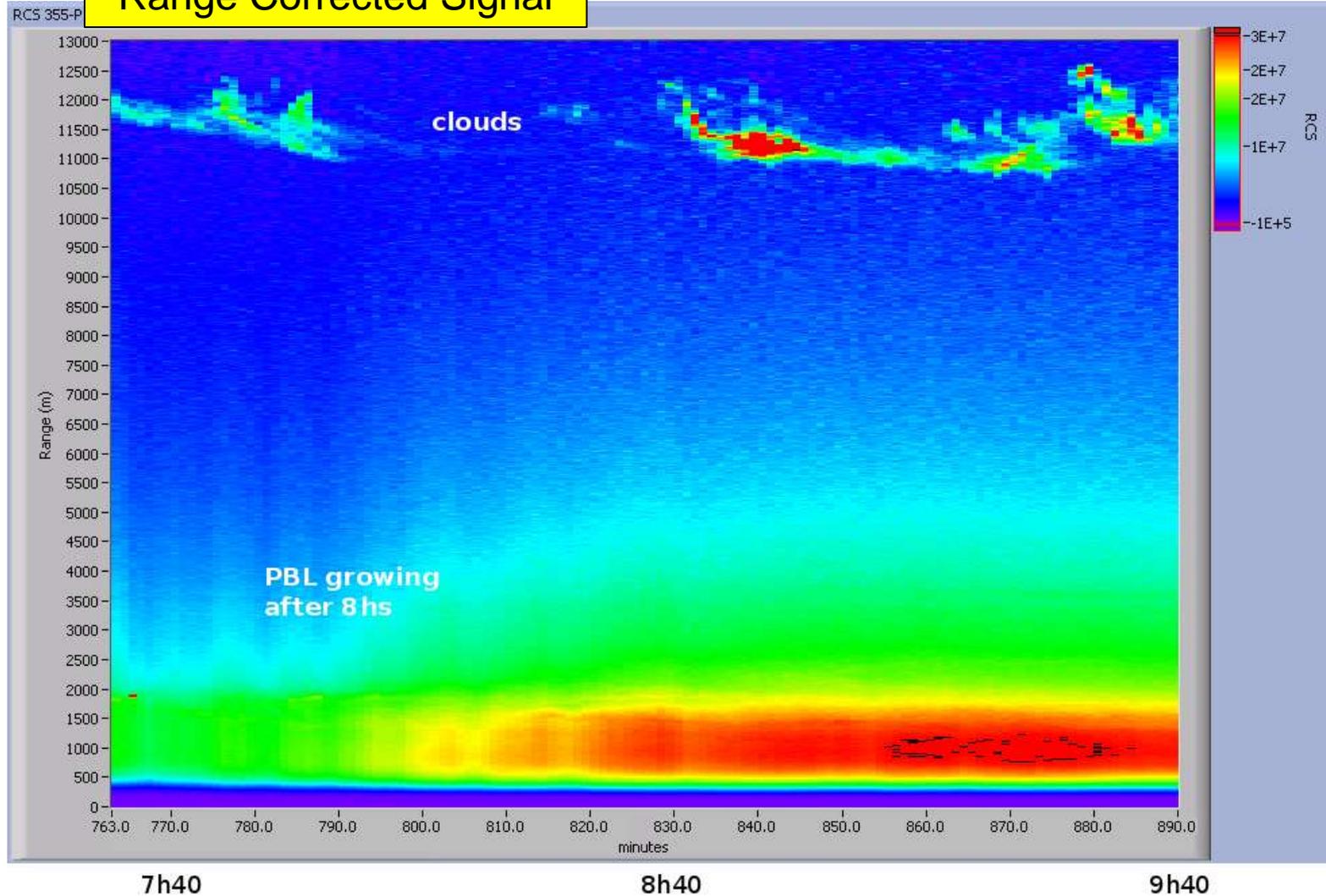
Manaus-AM /EMBRAPA (2011)



PBL Growth and Clouds

Embrapa, July 28th 2011

Range Corrected Signal



Future Perspectives

+ CHUVA
+GoAmazon
+ATTO

In situ
Microphysics



Remote

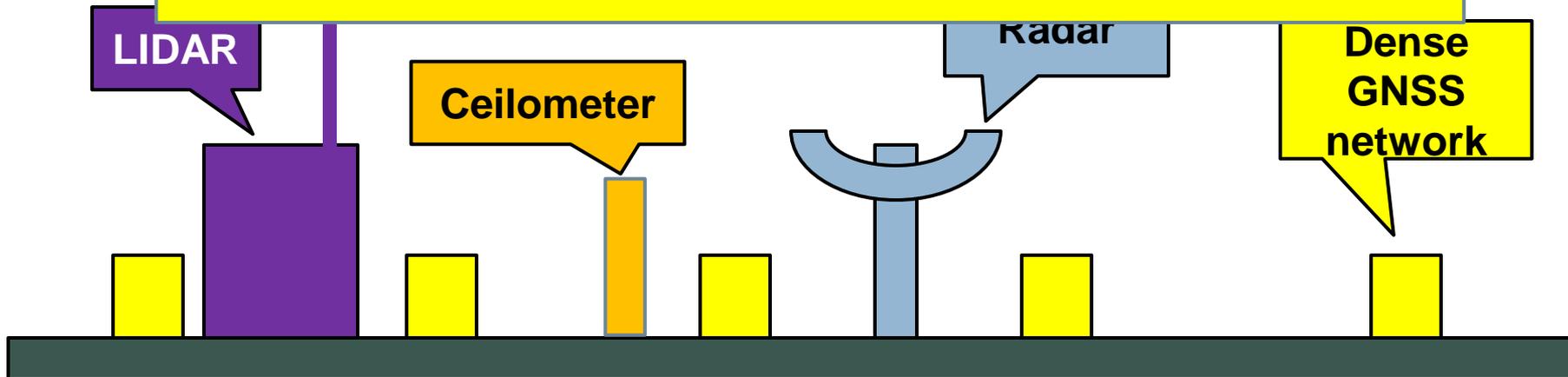
Ideally we will keep the site running for a long time

LIDAR

Ceillometer

Radar

Dense
GNSS
network

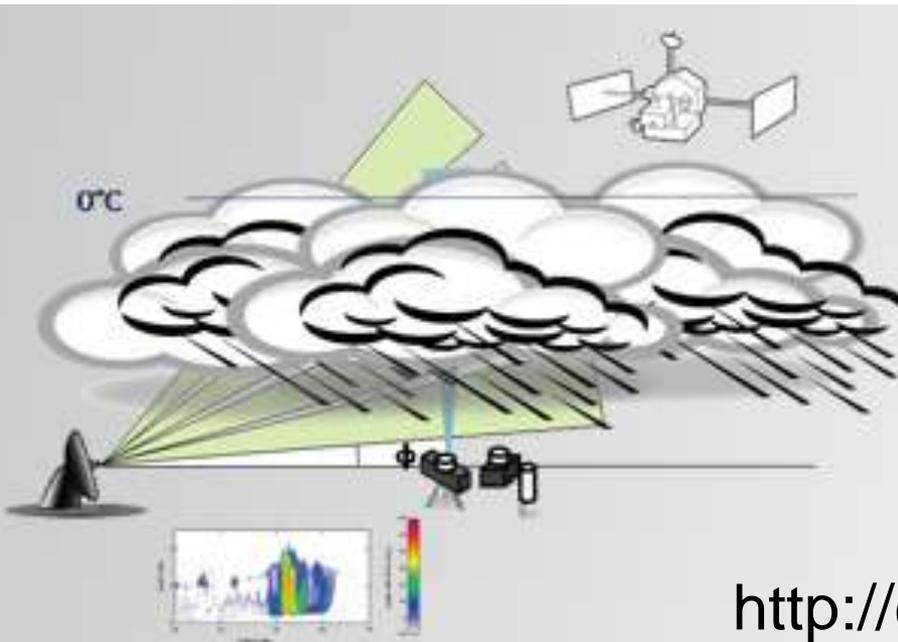


OTHER PROJECTS INTENSIVE CAMPAING



CHUVA Project

PI: Luiz Machado – INPE/Brasil

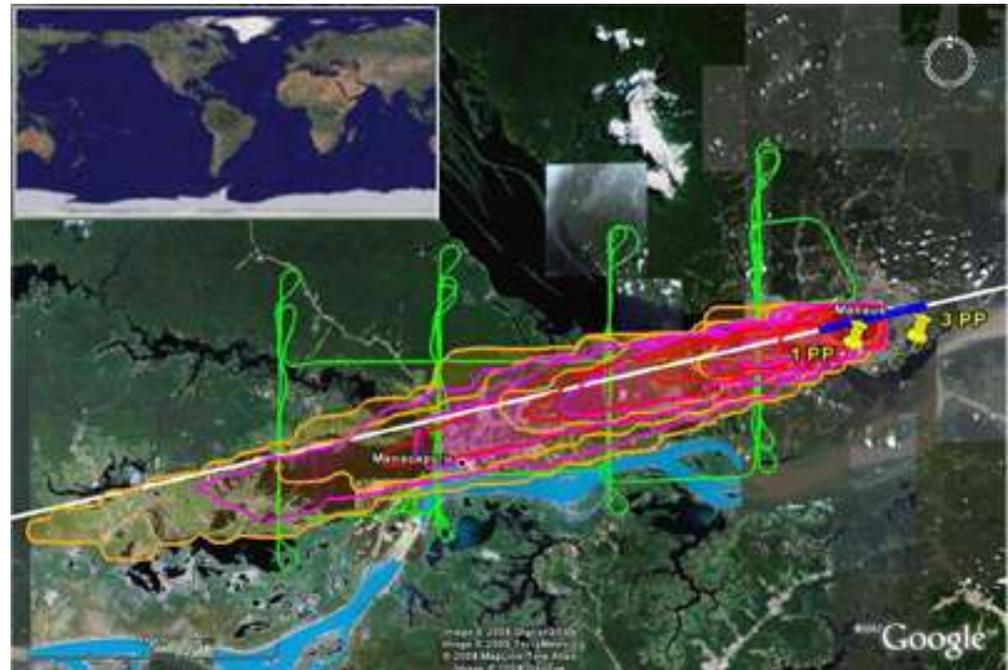


<http://chuvaproject.cptec.inpe.br/portal>

GoAmazon2014

PI: Scot Martin – Harvard/USA

- **The ARM Climate Research Facility in the Amazon Basin.** Led by Scot Martin, are seeking to understand aerosol and cloud life cycles, particularly the effect of aerosols on cloud formation and precipitation.
- To support their research, ARM will deploy its ARM Mobile Facility (AMF), ARM Aerial Facility's Gulfstream-1, and the Mobile Aerosol Observing System within the Amazon Basin from January through December 2014.



ATTO - Amazonian Tall Tower Observatory

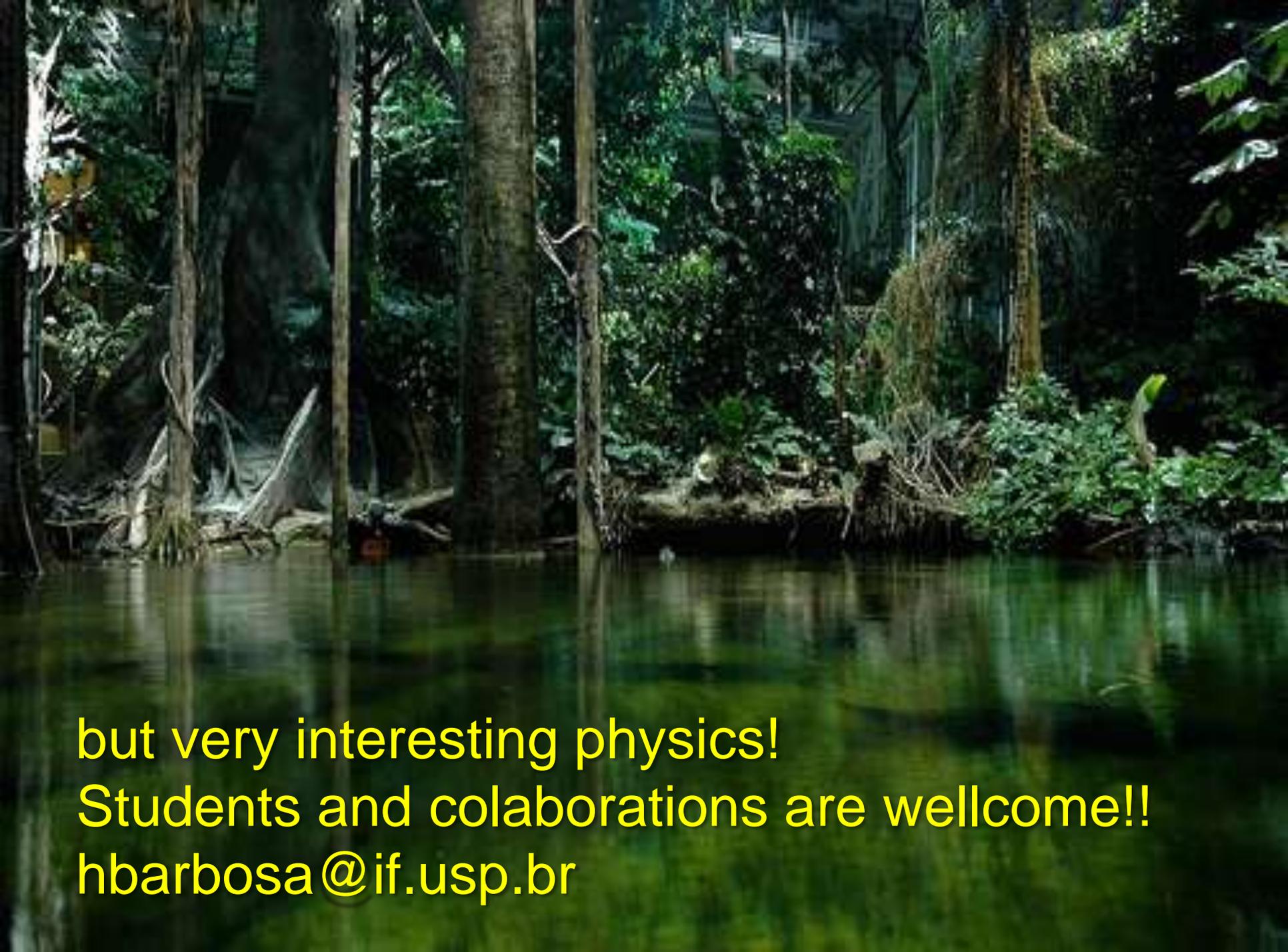
Germany/Brazil partnership



O.125.0.html



4 small
1 tall to



but very interesting physics!
Students and collaborations are wellcome!!
hbarbosa@if.usp.br



hbarbosa@if.usp.br

www.fap.if.usp.br/~hbarbosa