



Modelagem Numérica da Atmosfera no **Laboratório de Meteorologia de Mesoescala**

Aula-Extra- ACA115-2022

Prof. Ricardo Hallak

DCA/IAG/USP

Junho de 2022

Modelagem Numérica da Atmosfera no Laboratório de Meteorologia de Mesoescala

✓ **Introdução**

✓ **Avaliação**

✓ **Assimilação de Dados**

✓ **Exemplos:**

➤ **Simulações Numéricas Conceituais**

➤ **Simulações Numéricas Realísticas**

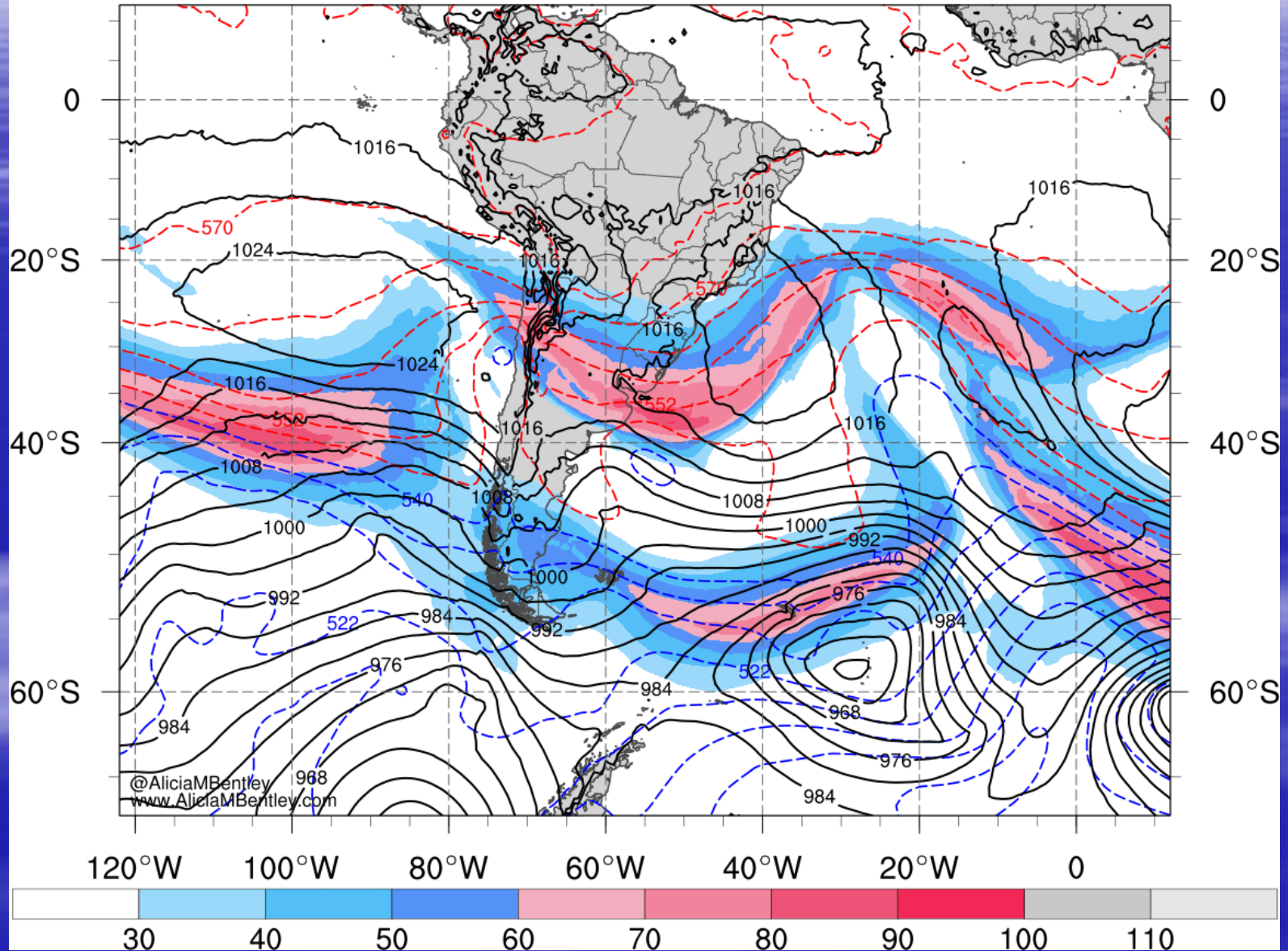
✓ **Discussão Final**

Escalas do Movimento Atmosférico

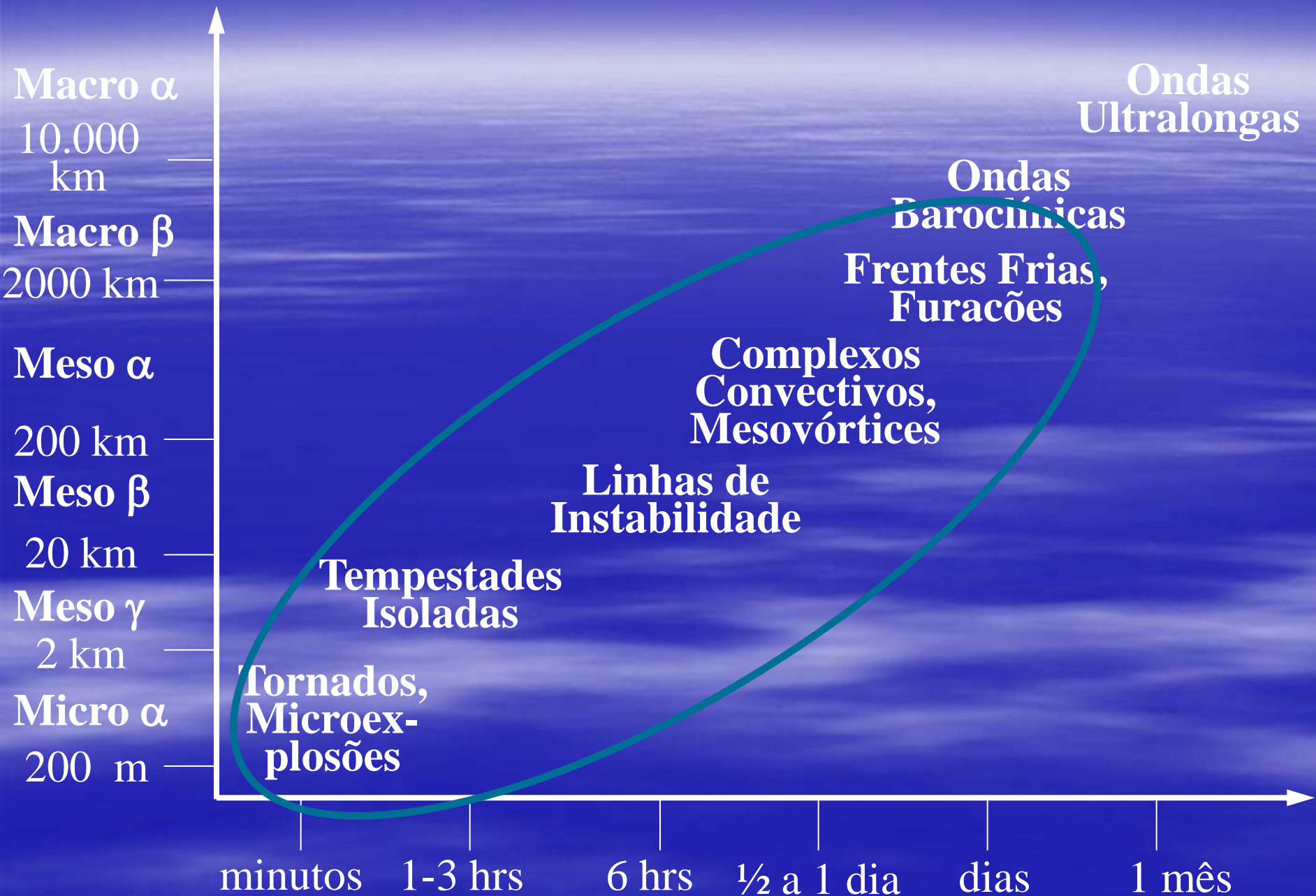
Ondas na Atmosfera...

MSLP (black, hPa), 1000-500-hPa thickness (red/blue, dam), 250-hPa wind speed (shaded, m/s)

Initialized: 1800 UTC 27 Jun 2022 | Forecast hour: 0 | Valid: 1800 UTC 27 Jun 2022



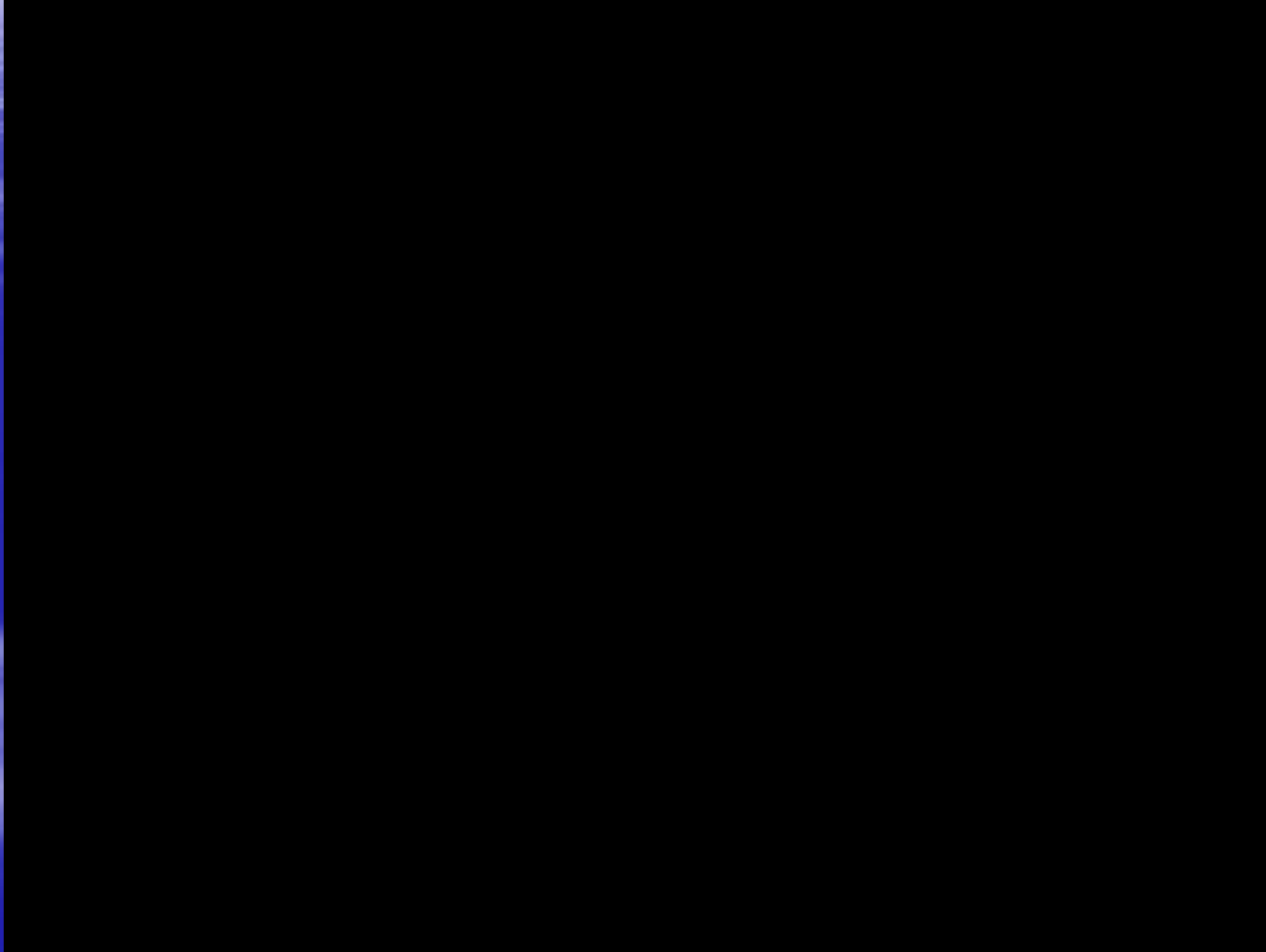
Divisão Racional de Escalas Espaço-Temporais [Orlanski (1975)]



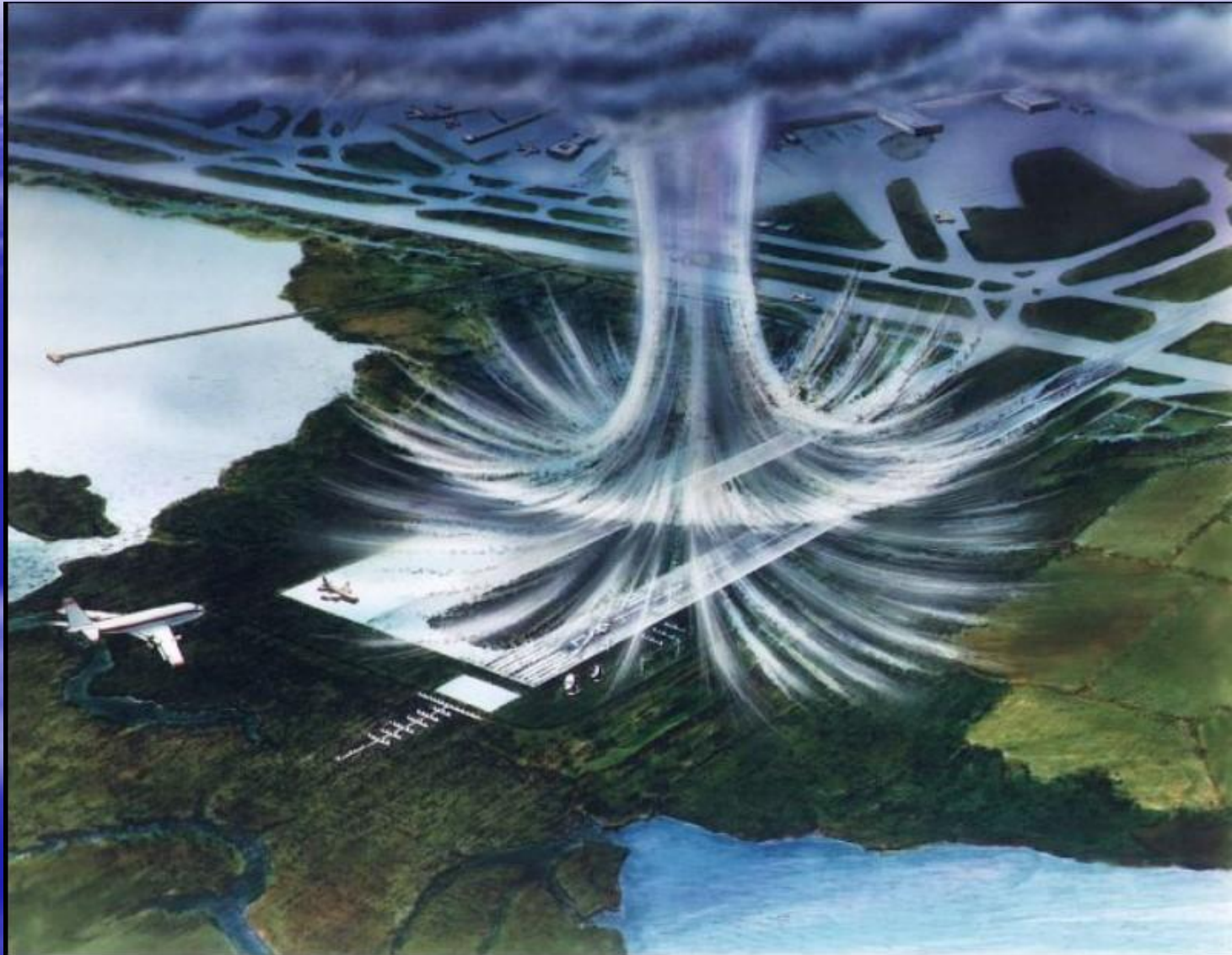
Tornados



Exemplo de Microexplosão



Microexplosão: Modelo Conceitual



Microexplosão: Modelo Conceitual

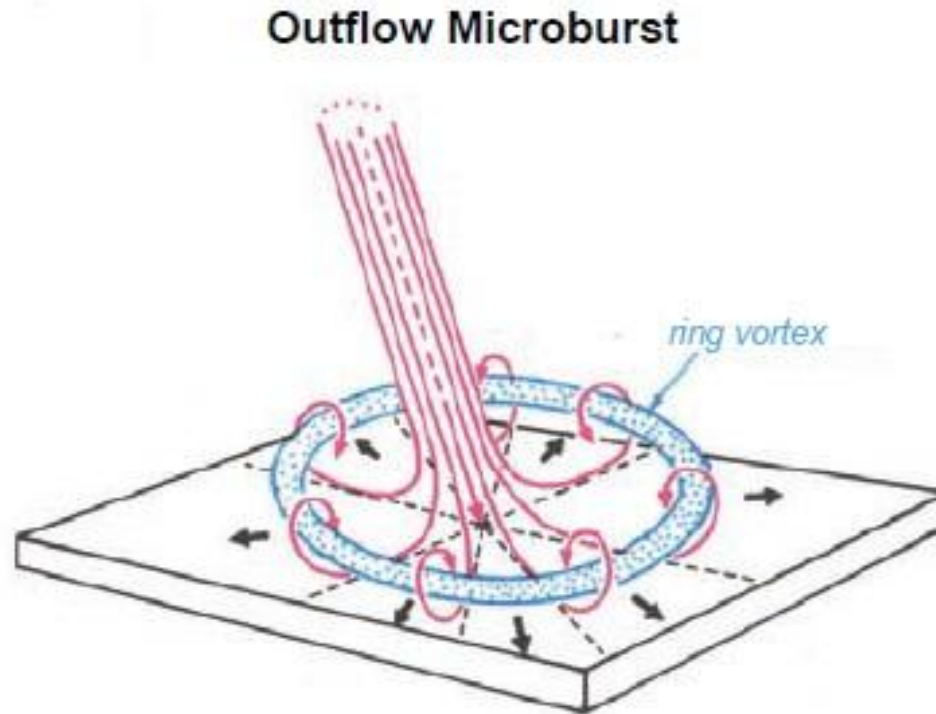


Figure 10.25 Fujita's conceptual model of a microburst, which can be viewed as an intense vortex ring intercepting the ground. (From Fujita [1985].)

**Modelagem Numérica Global da Atmosfera
(Escala Planetária e Escala Sinótica)**

**Modelagem Regional da Atmosfera
(Mesoescala- α e β)**

**Modelagem Local da Atmosfera
(Mesoescala- γ)**

**Simulação de Grandes Turbilhões
(Large Eddy Simulation – LES)
(Micrometeorologia)**

Modelagem Numérica Global da Atmosfera

2022: 72 anos de PNT

The ENIAC Computations of 1950— Gateway to Numerical Weather Prediction¹

George W. Platzman
The University of Chicago
Chicago, Illinois 60637

Abstract

The first numerical weather prediction was made on the ENIAC computer in 1950. This lecture gives some of the historical background of that event and a partially narrative account of it.

Victor P. Starr

Victor Starr began his academic career in the autumn of 1940 as an instructor and charter member of the University of Chicago's Institute of Meteorology. He had arrived in Chicago less than a year before as a Weather Bureau employee, in company with Horace Byers who had been deputized by Carl Rossby to test the fertility of the midwestern academic soil. Rossby was then on leave from M.I.T. to the Weather Bureau as an assistant chief for research, and was casting about for a new base of operations. The destiny of the new Institute was altered precipitously by the attack on Pearl Harbor. Meteorology

room have been inspired, as I was, by his intense absorption with the natural world and the sheer intellectual joy of man's understanding of it. Above all Victor Starr had an unerring intuition for the workings of seemingly complex phenomena and the capacity to analyze such phenomena with simple yet powerful methods. Those who came under the spell of this gentle man could not fail to find through him a deeper understanding of the meaning of science and a lasting appreciation of its importance in the development of the human intell

306

Prologue

Dr. Lorenz, Mrs. Rose Starr: it is a particular satisf for me to have this opportunity not only to memc Victor Starr but also to join you in observing th anniversary of academic meteorology at M.I.T. department and mine at the University of Chicag

BAMS (1979), V. 60, 302-312.

Vol. 60, No. 4, April 1979

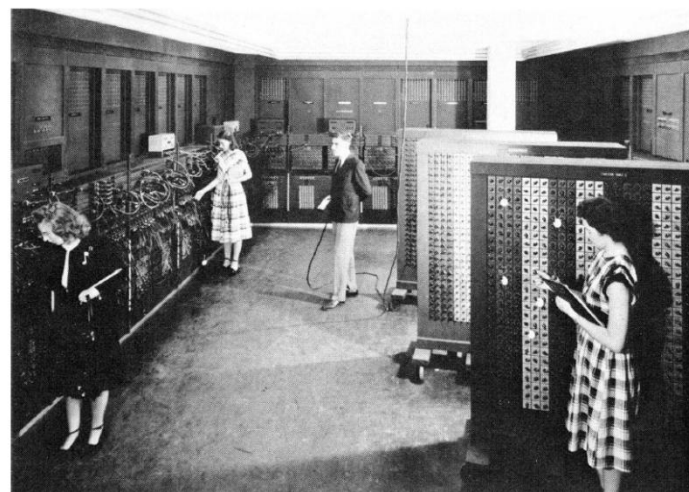
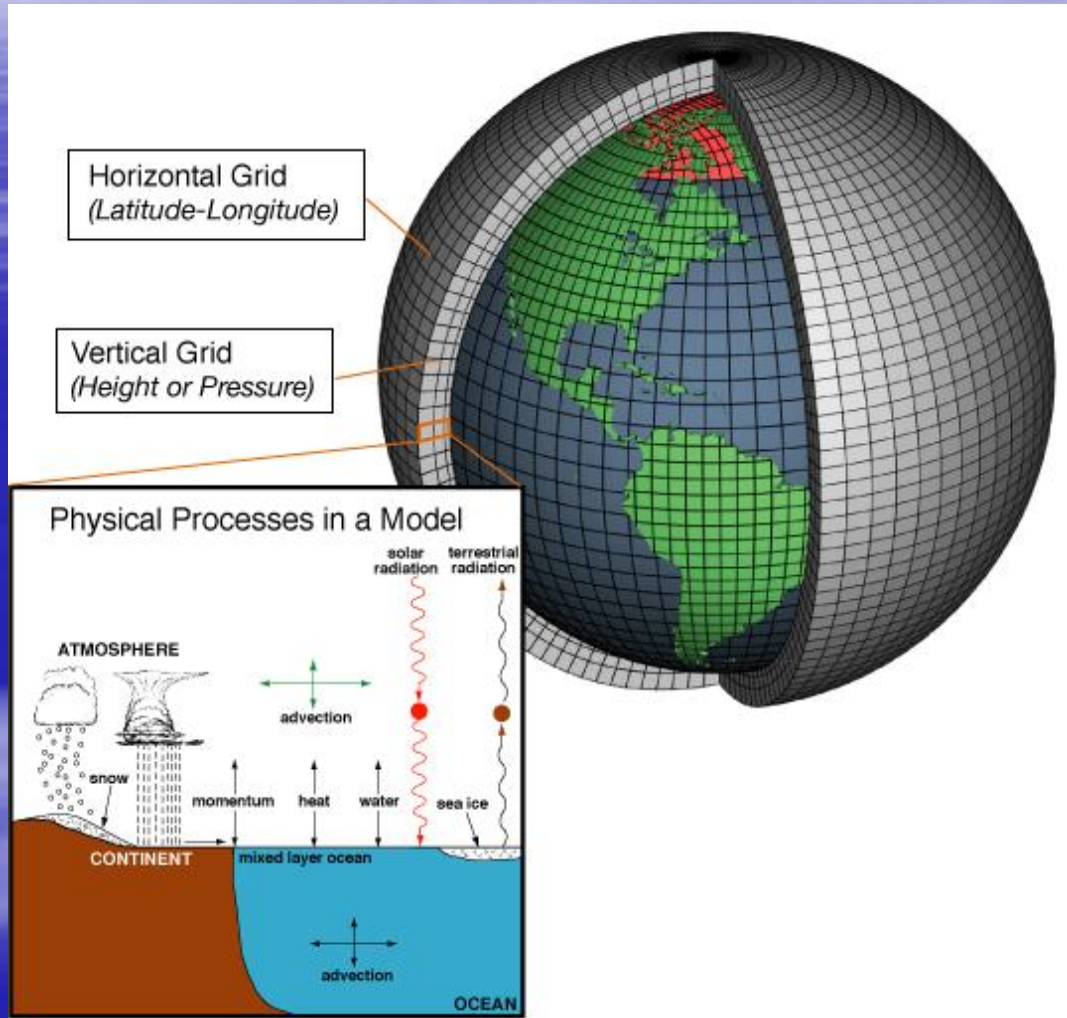


FIG. 4. Electronic Numerical Integrator and Computer (ENIAC), 7 July 1948. Ballistic Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, Aberdeen, Maryland.

Modelagem Numérica Global da Atmosfera

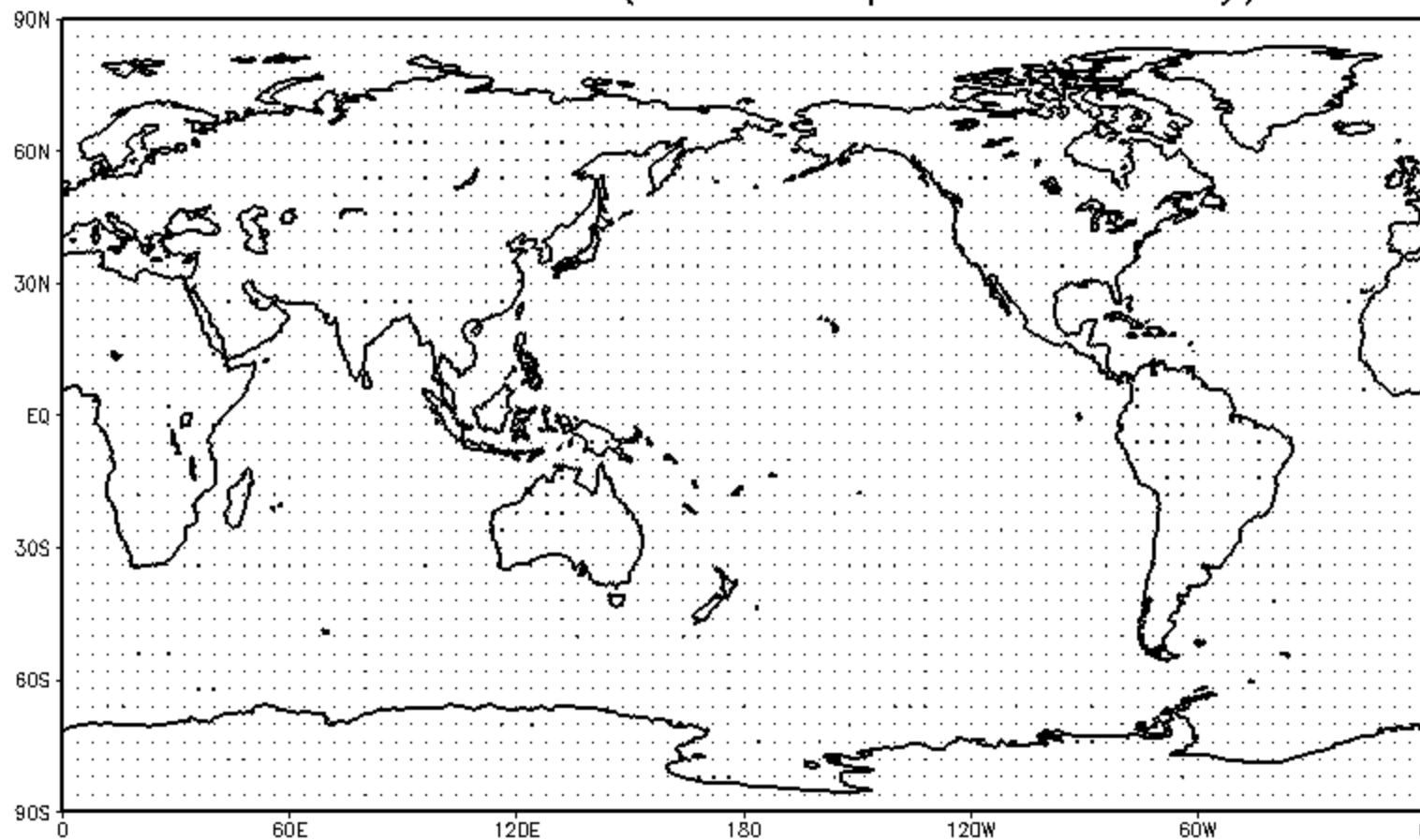


Processos Físicos

- Radiação de Onda Curta
- Radiação de Onda Longa
- Fluxo de Calor Sensível
- Fluxo de Calor Latente
- Fluxo de Momento
- Processos Advectivos
- Processos da CLP
- Características da Superfície
- Características do Solo
- Modelo de Solo (Acoplado)
- Modelo Dinâmico de Oceanos
- Precipitação (Param. Cúmulos)
- Etc, etc

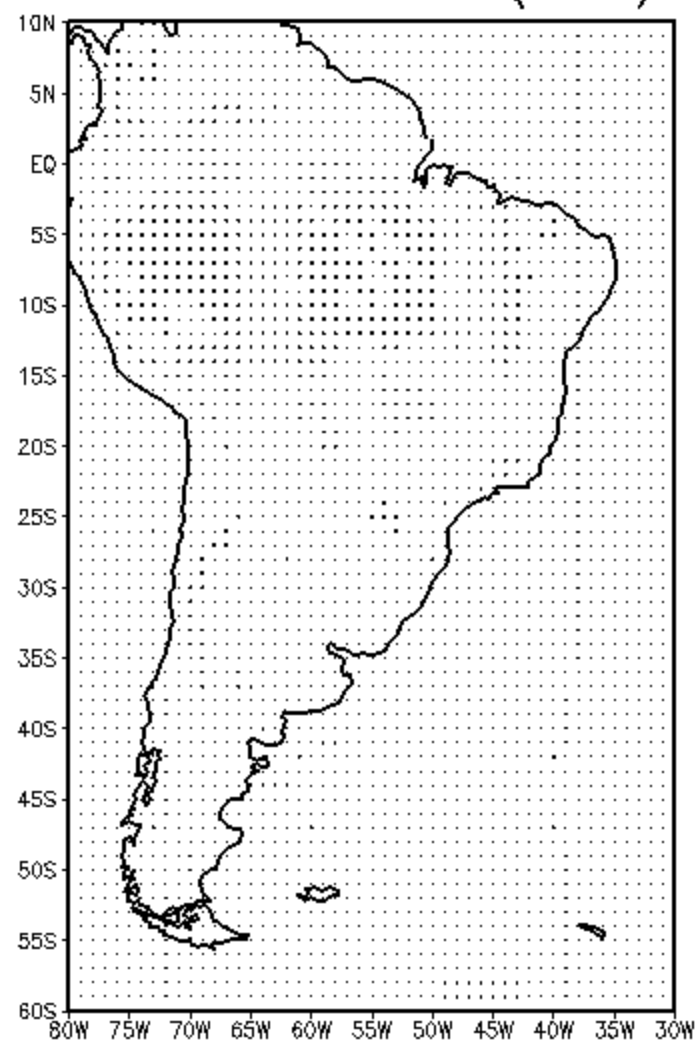
Planificação Cartesiana de um Único Nível do Modelo Global

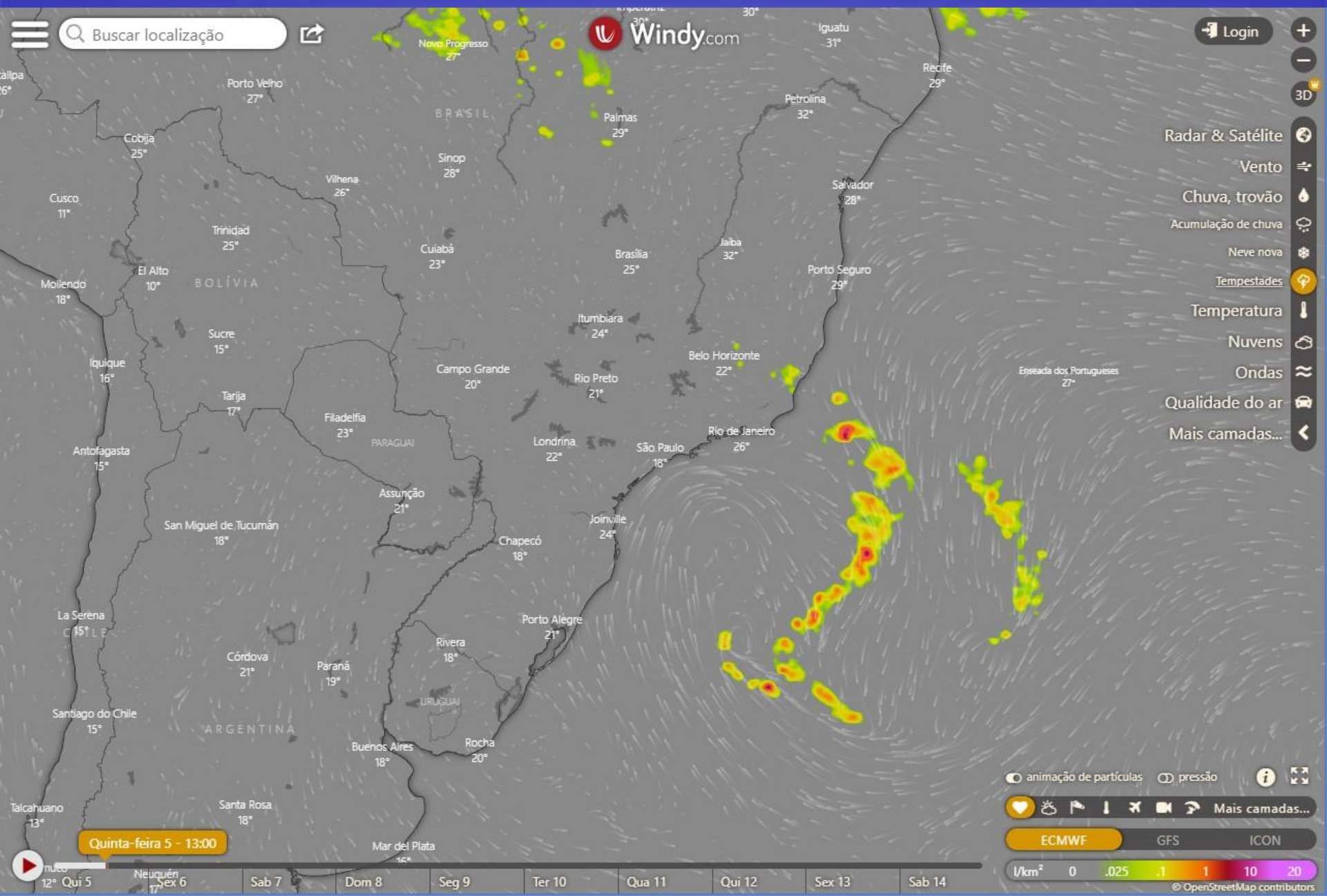
Pontos de Grade (a cada 4 pontos em x e y)



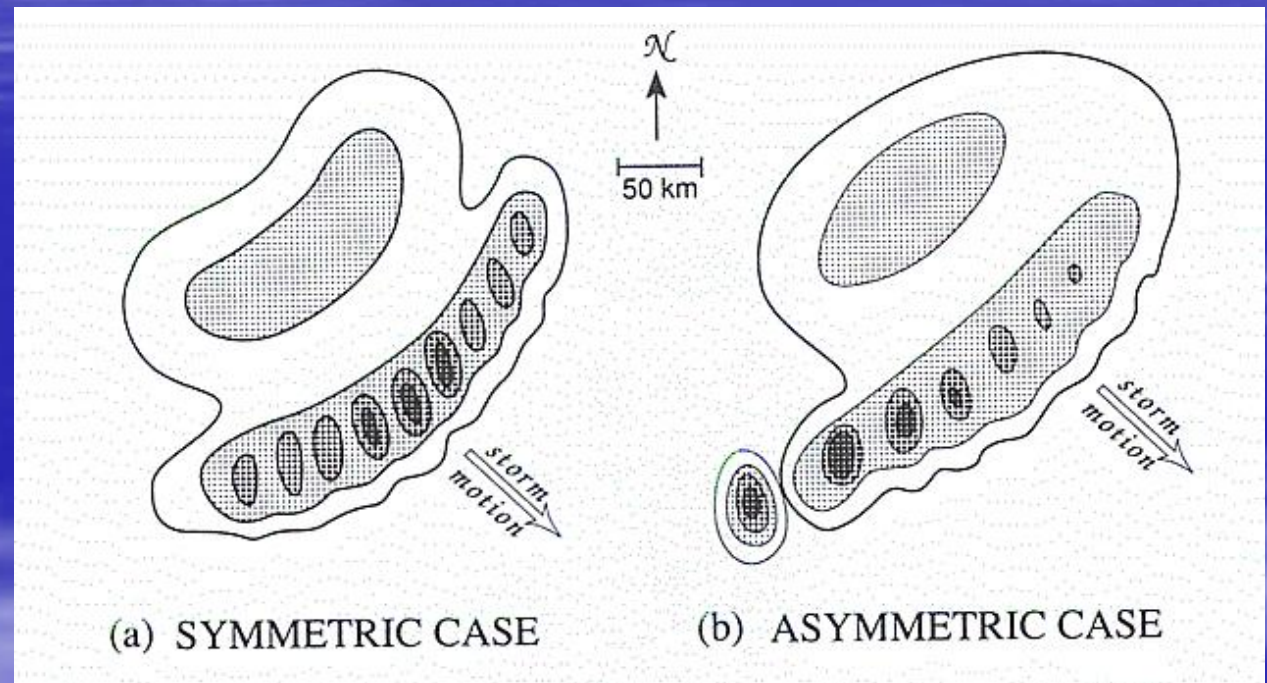
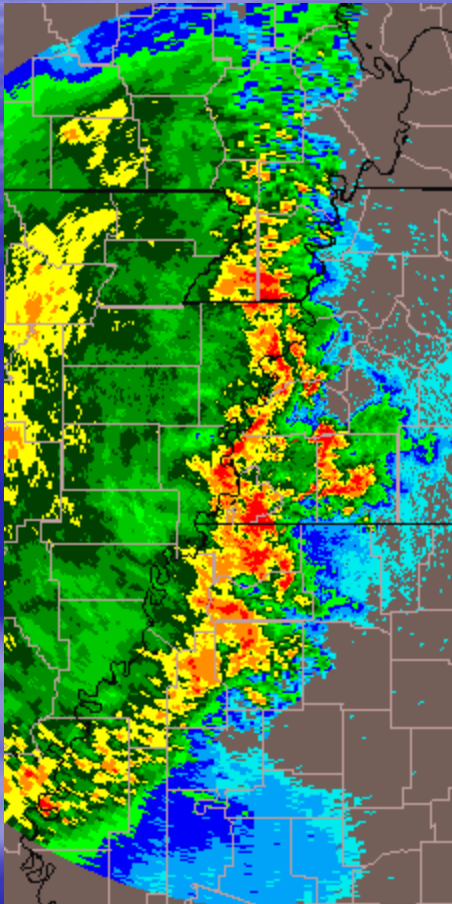
Modelagem Regional da Atmosfera

Pontos de Grade (Total)





Linha de Instabilidade



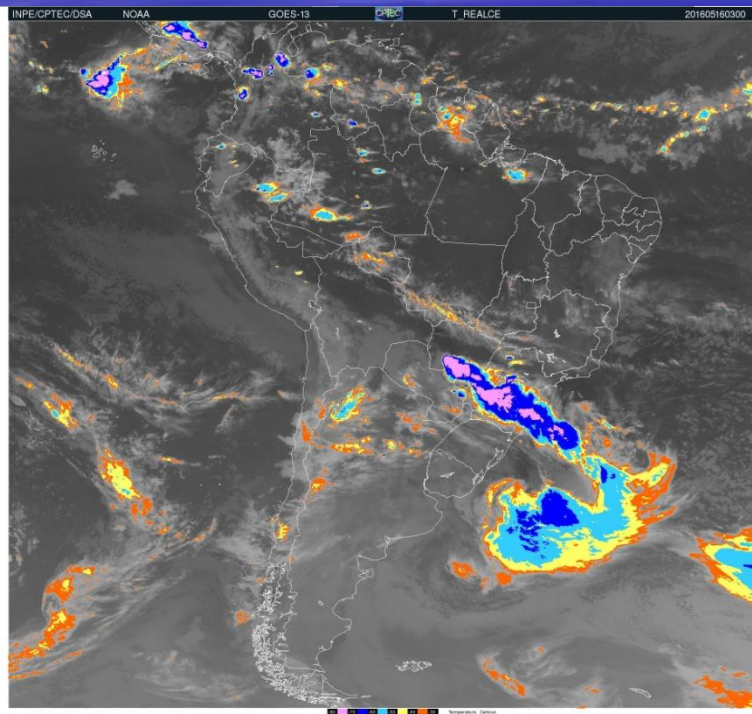
Houze, R. A., Jr. (2014): Cloud Dynamics, 2^a. Edição. Elsevier, 432 pp.

Cumulonimbos Isolado

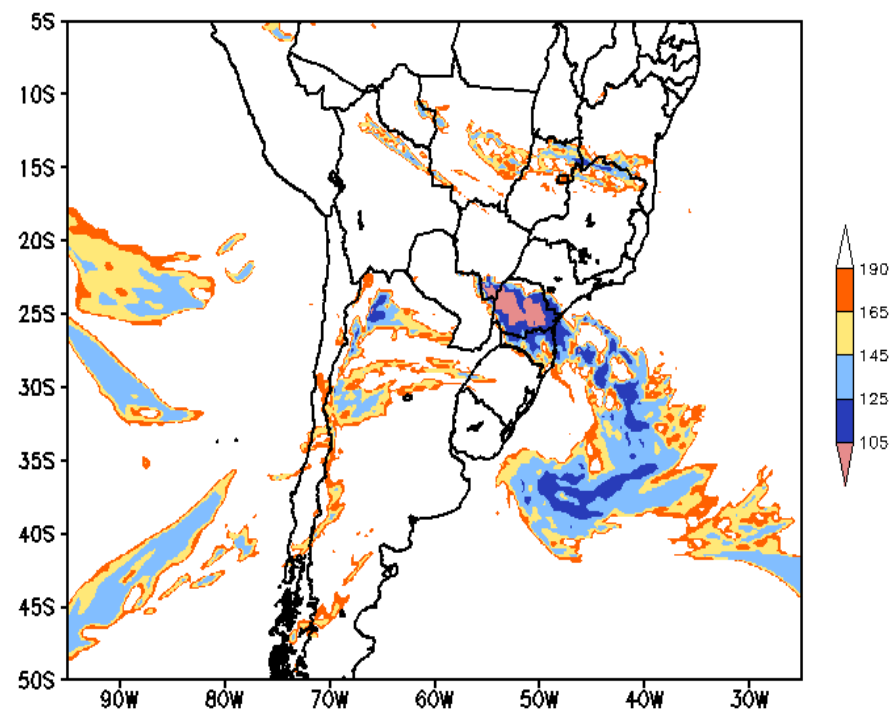


Sistemas Convectivos Embebidos em Frentes Frias (2016-05-16 0300 UTC)

GOES13 IV Canal 4
Temperatura de Brilho



Radiação de Onda Longa
Emergente (W m^{-2})

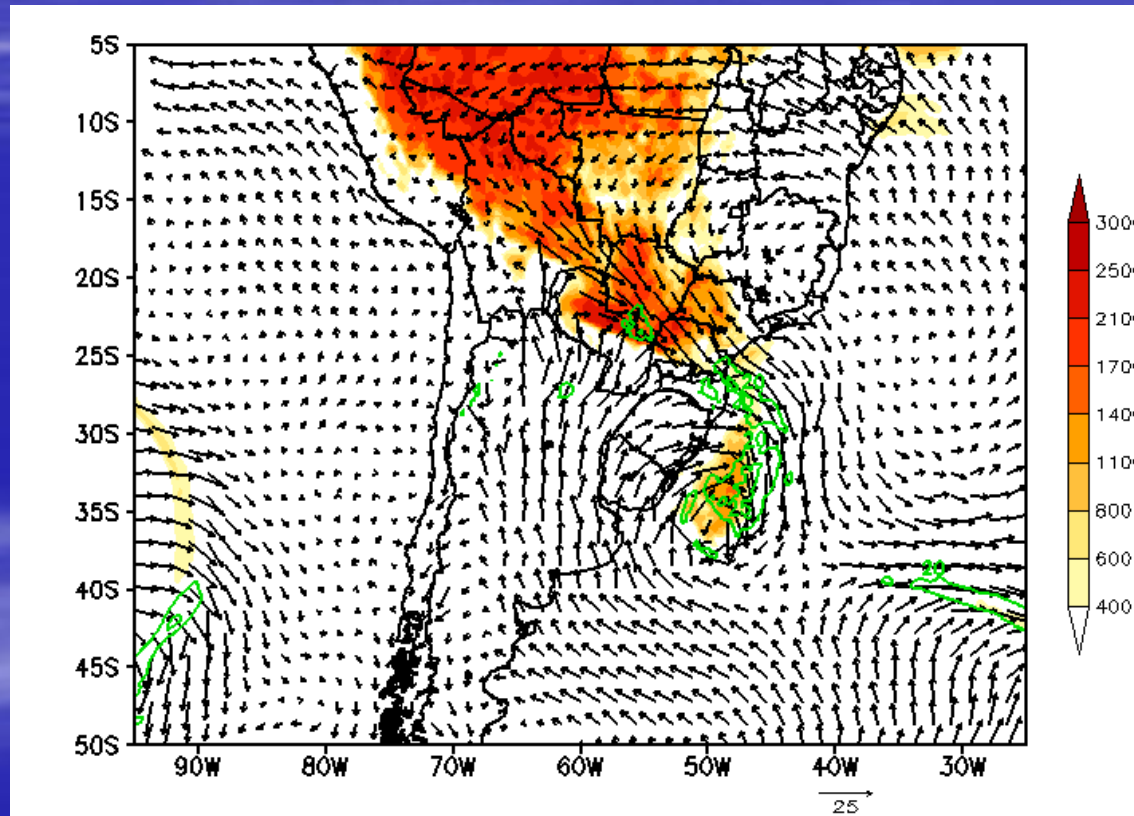


Cassol, F., 2019: O papel do transporte de umidade pelo Jato de Baixos Níveis da América do Sul pela observação e simulação com o modelo WRF de uma banda frontal continental. Dissertação de mestrado (IAG/USP).

Sistemas Convectivos Embebidos em Frentes Frias (2016-05-16 0000 UTC)

Reanálise ERA-Interim

Campo de Vento (m s^{-1}) e CAPE (J kg^{-1})



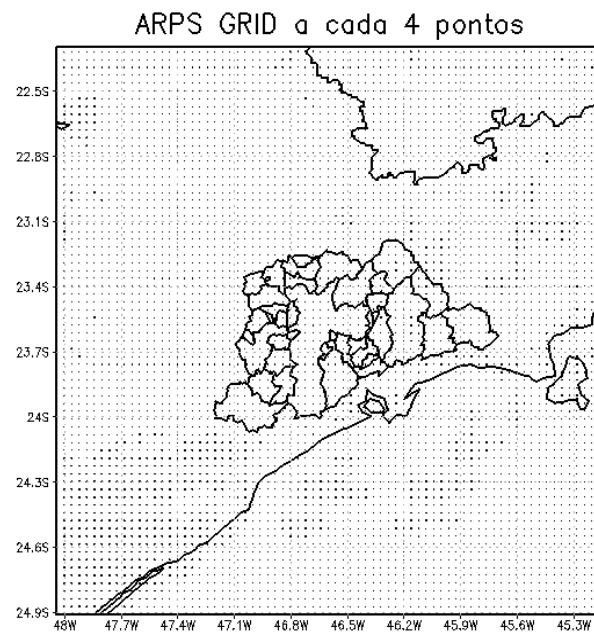
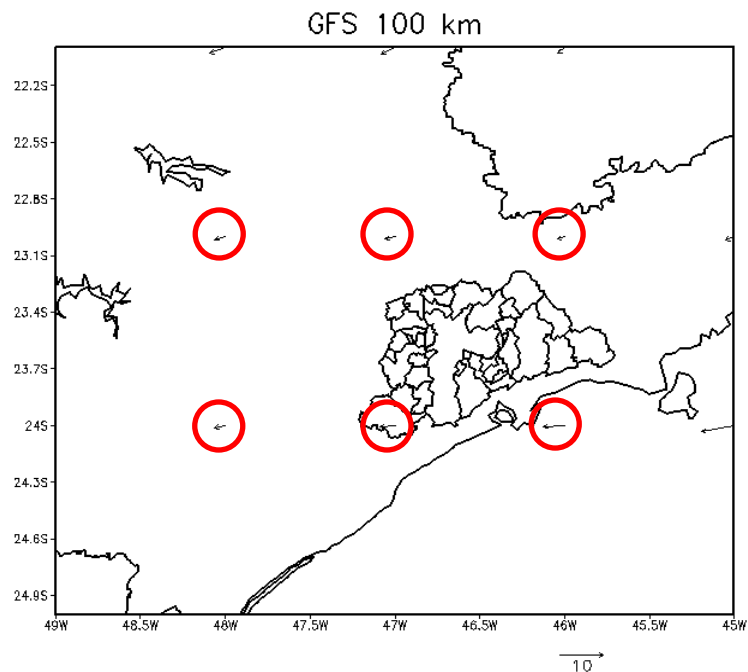
WRF

Powers, J.G., Klemp, J. B., Skamarock, W. C., Davis, C. A., Dudhia, J., e grupo, (2017). The Weather Research and Forecasting Model: Overview, System Efforts, and Future Directions. BAMS, V. 98, 1717-1737.

Modelagem Local da Atmosfera

Densidade de Pontos de Grade

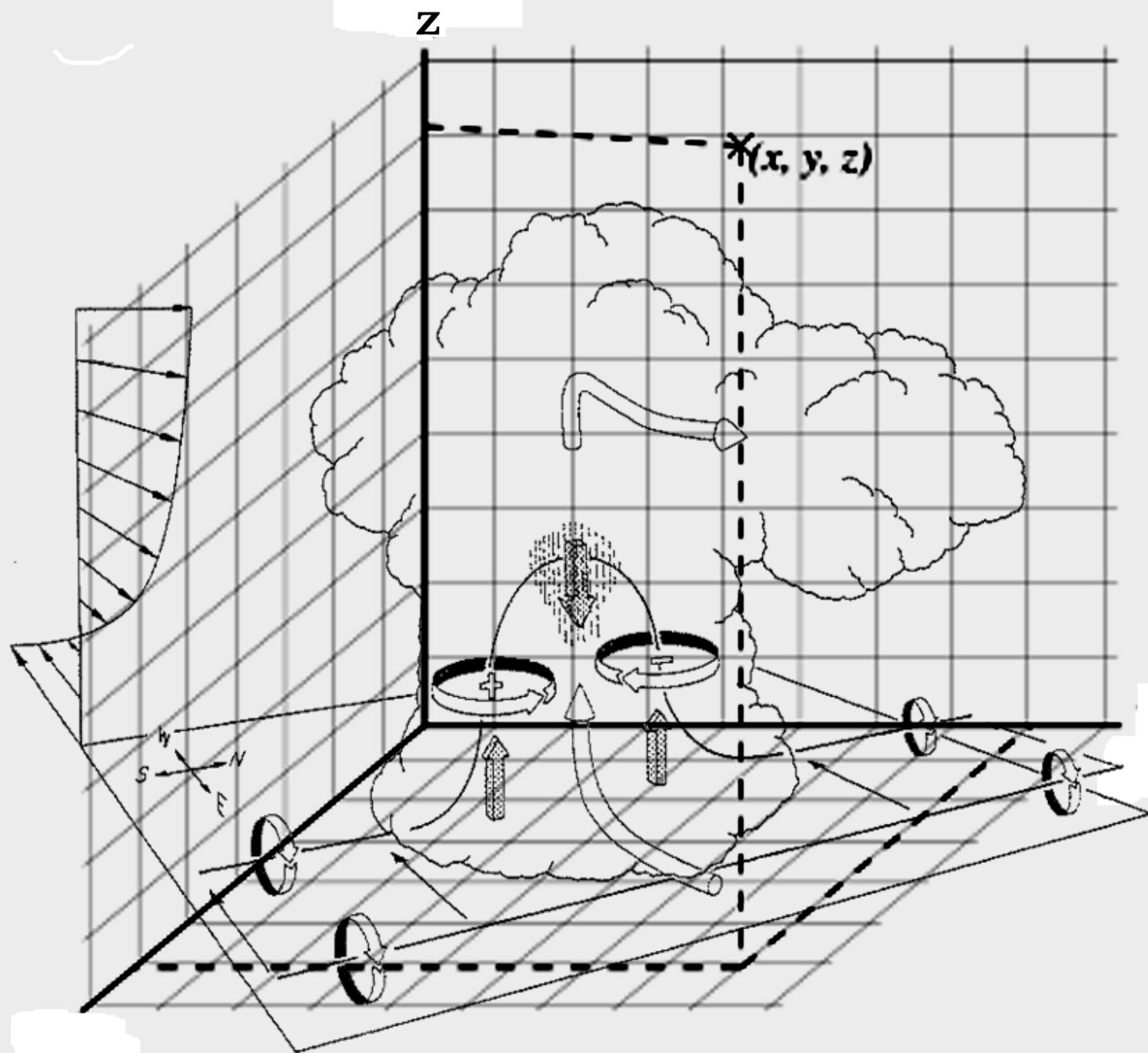
GFS (100 km) x Modelo Regional





- Células convectivas ordinárias
- Supercélulas





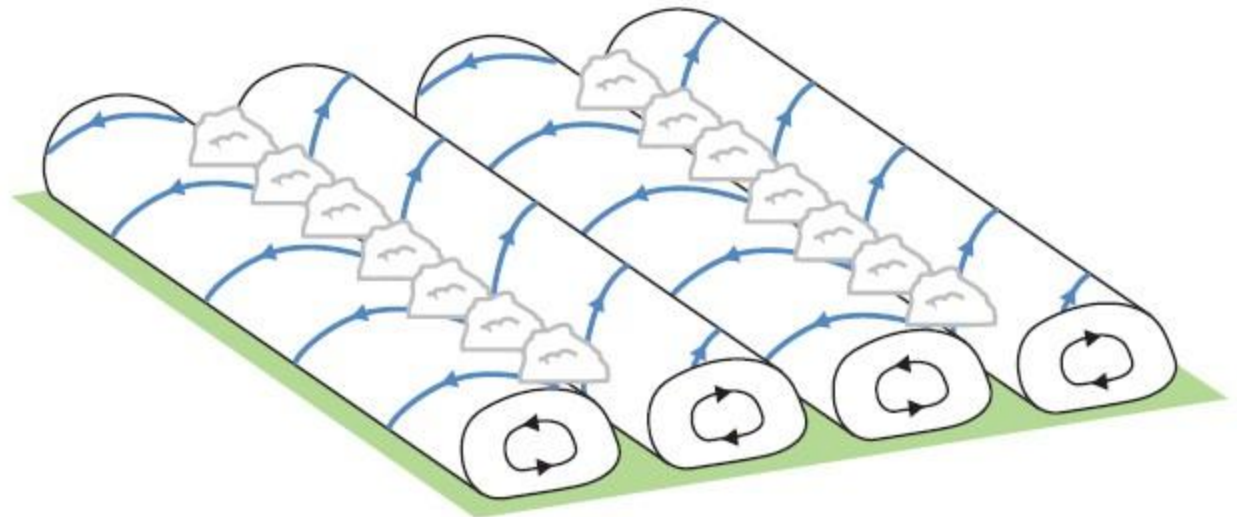
Circulações de Camada Limite Planetária

Exemplo: Rolos Convectivos Horizontais



Figure 4.14 Cloud streets (a manifestation of HCRs) viewed from an airplane. Photograph by Joel Gratz.

Markovisky, P. and Richardson, Y (2010): Mesoscale Meteorology in Midlatitudes. Wiley-Blackwell, 407 pp.



Avaliação de Erros na Simulação Numérica de Tempestades

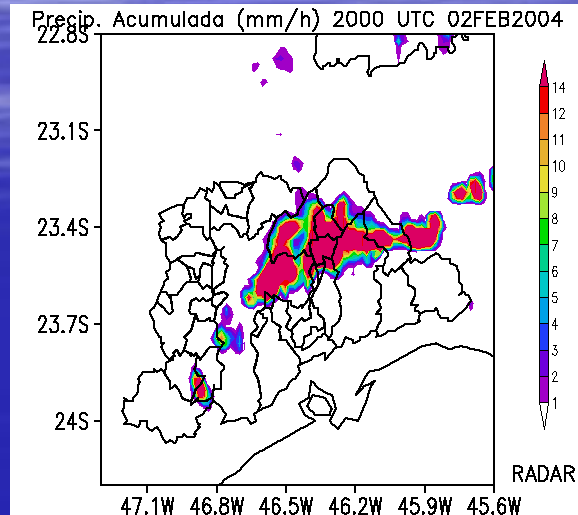
Três ERROS Principais

- Fase (no tempo: defasagem)
- Fase (no espaço: posicionamento)
- Amplitude (quantidade)

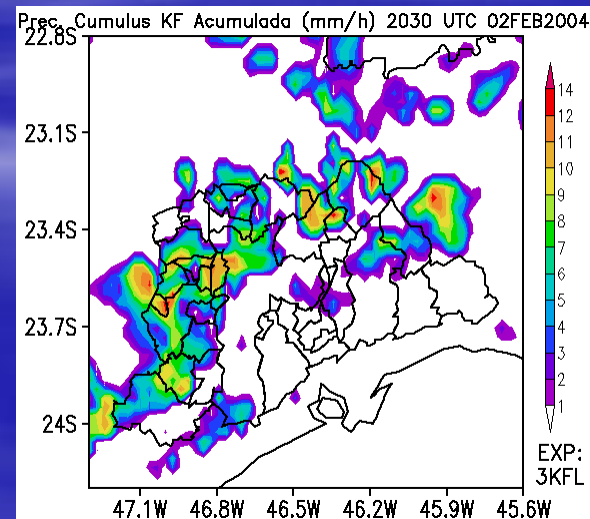
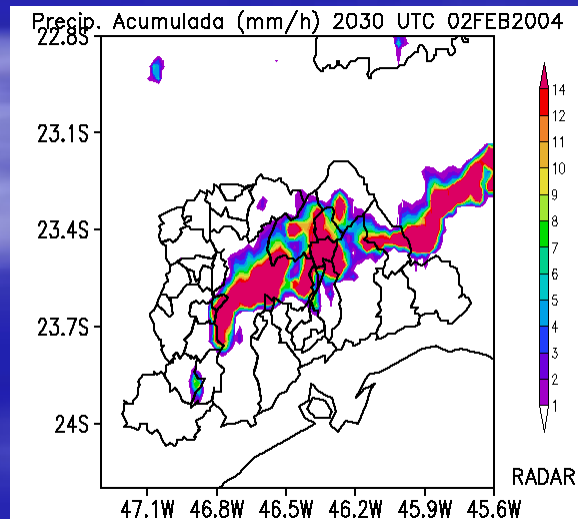
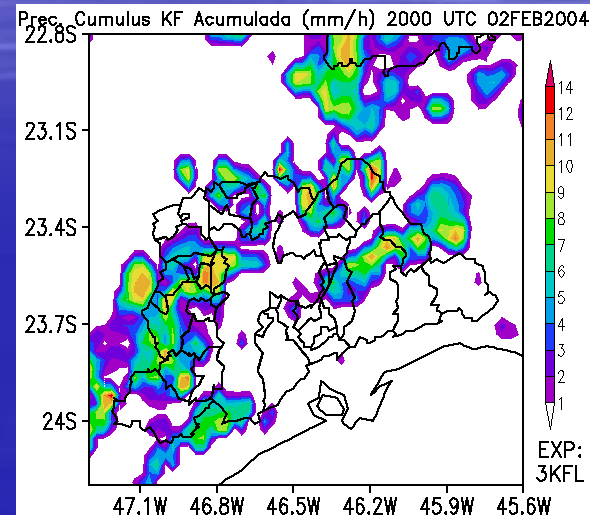
Exemplo:

Precipitação Acumulada em 1 h

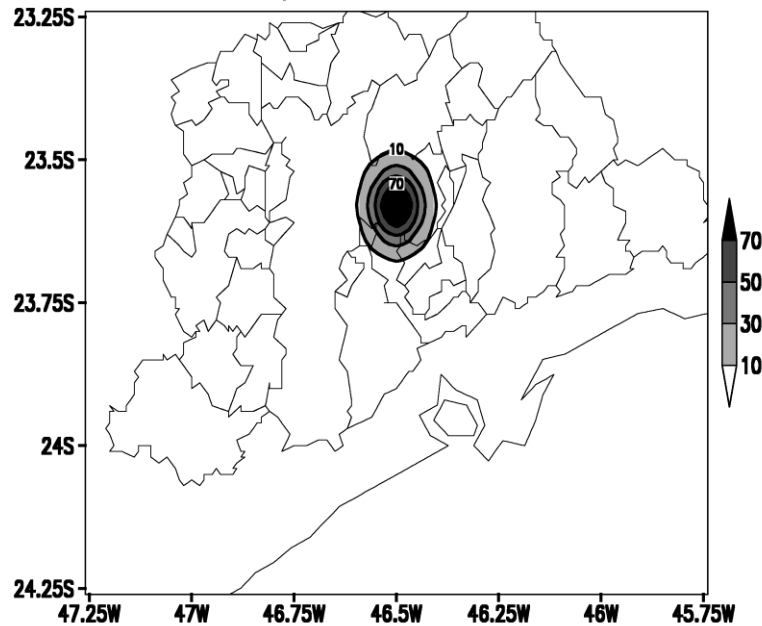
RADAR



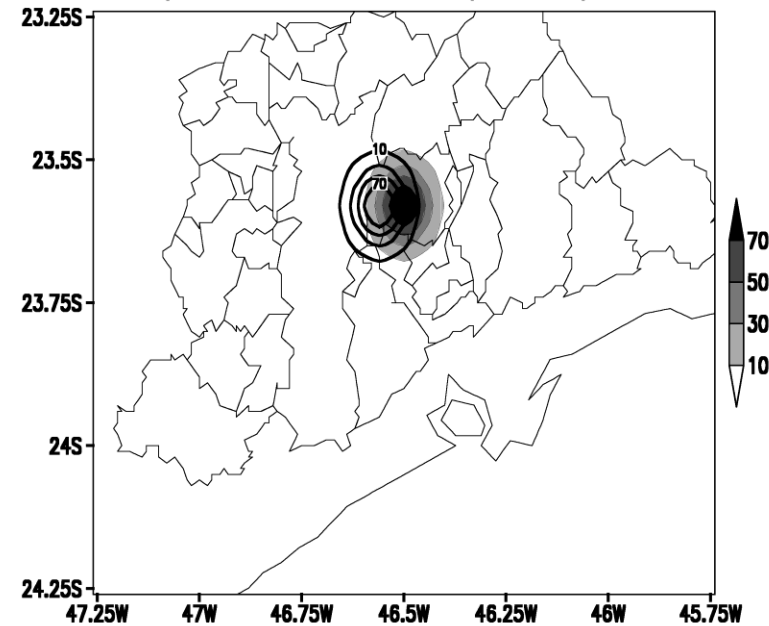
SIMULADO



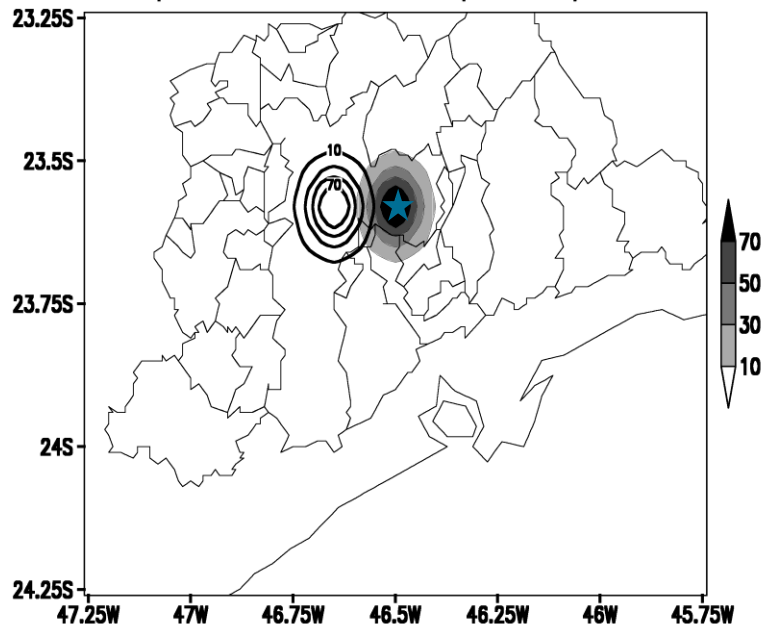
Precip. Acumulada em 1 Hora (mm)
Fonte Hipotetica Sem LAG



Precip. Acumulada em 1 Hora (mm)
Fonte Hipotetica LAG: 2 pontos para oeste



Precip. Acumulada em 1 Hora (mm)
Fonte Hipotetica LAG: 5 pontos para oeste



Precip. Acumulada em 1 Hora (mm)
Fonte Hipotetica LAG: 4 W, AMPL: 0.50 p

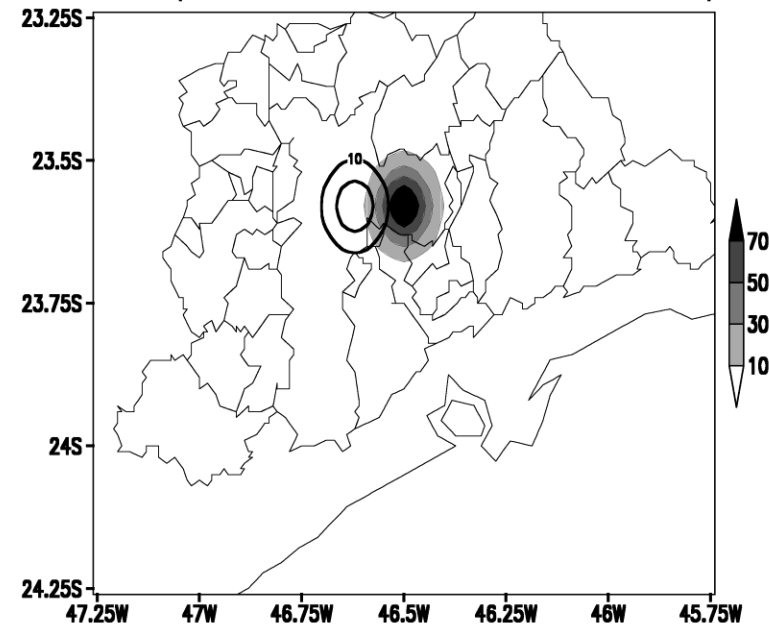


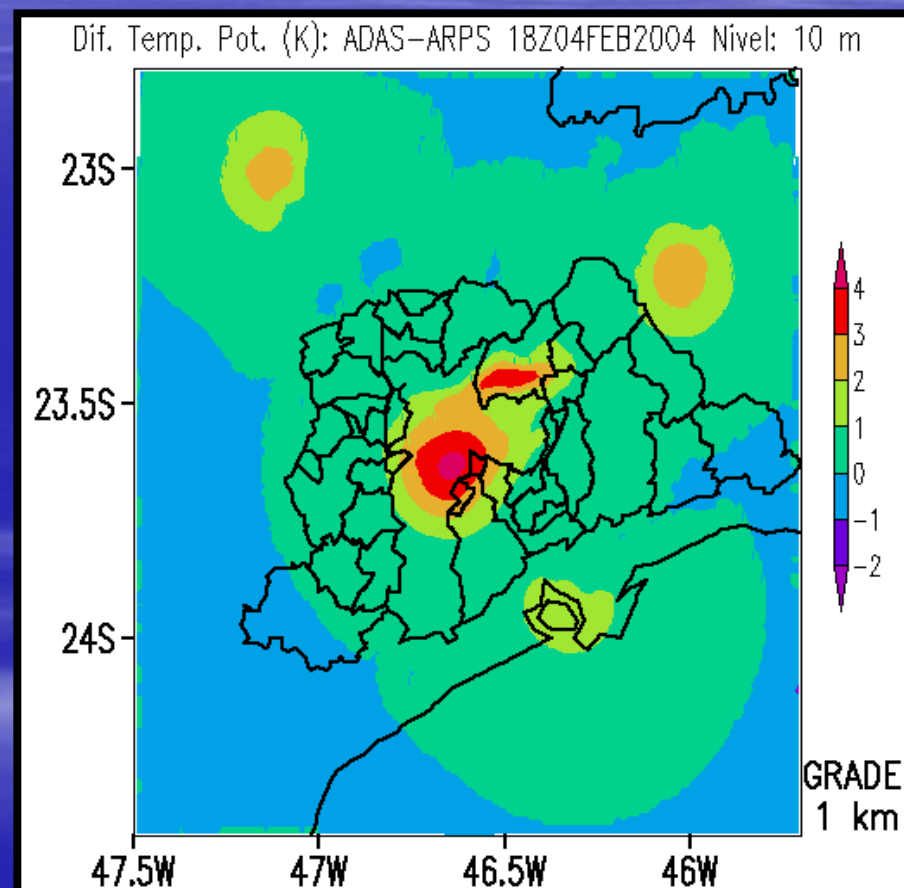
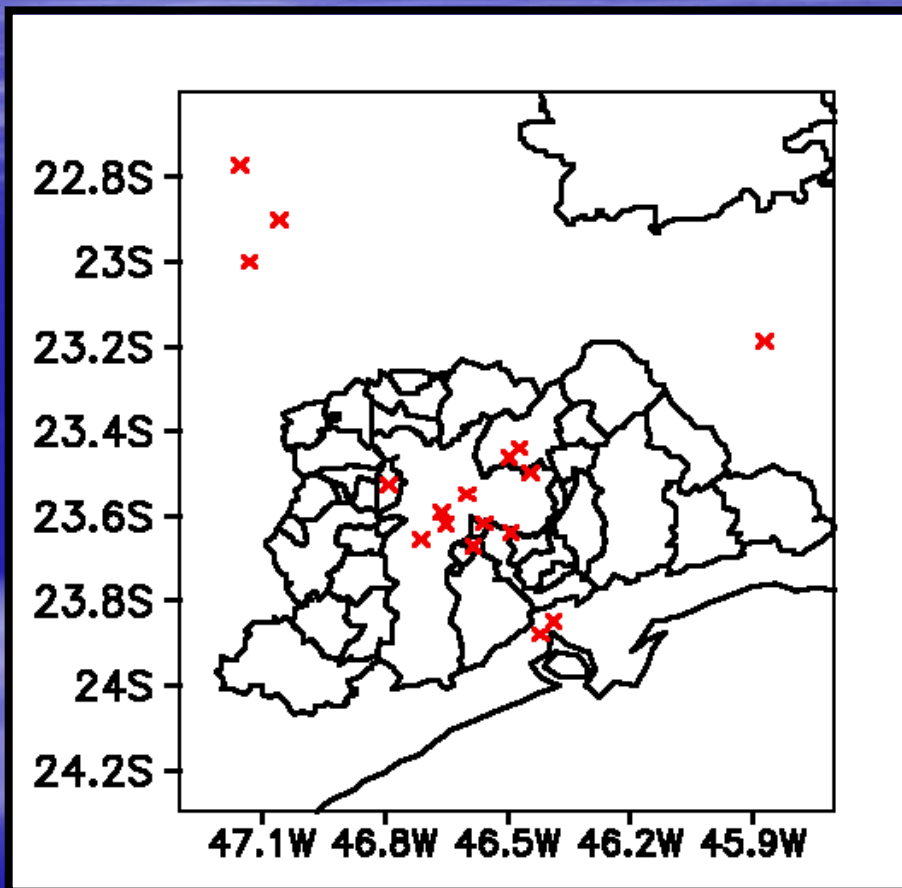
Tabela com métricas comuns de avaliação

Erros e Escores (Caso Hipotético)				Defasagem do campo observado para oeste + Diferença em amplitude								
<u>Lag</u> + %p	Viés	E _{ABS}	σ_s	<u>σ_o</u>	<u>σ_s/σ_o</u>	RMSE	RMSEB	<u>MSE_{Amp}</u>	<u>MSE_{Fase}</u>	ρ	IC	SKILL
0 + 0.00p	0.000	0.000	3.747	3.747	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000
1 + 0.75p	-0,071	0,141	2.810	3.747	1.333	1.785	1.784	0.939	1.518	0.890	0.921	1.317
1 + 0.50p	-0,141	0,16	1.874	3.747	2.000	2.251	2.247	1.879	1.239	0.890	0.831	2.774
1 + 0.25p	-0,212	0,213	0.937	3.747	4.000	2.952	2.944	2.818	0.876	0.890	0.589	7.054
2 + 0.75p	-0,071	0,255	2.810	3.747	1.333	2.950	2.949	0.939	2.796	0.628	0.752	2.034
2 + 0.50p	-0,141	0,236	1.874	3.747	2.000	2.957	2.954	1.879	2.283	0.628	0.668	3.593
2 + 0.25p	-0,212	0,24	0.937	3.747	4.000	3.248	3.241	2.818	1.614	0.628	0.455	8.104
4 + 0.50p	-0,141	0,358	1.874	3.747	2.000	3.927	3.924	1.879	3.448	0.153	0.220	4.690
4 + 1.50p	0,141	0,586	5.621	3.747	0.667	6.260	6.259	1.879	5.972	0.153	0.252	2.576

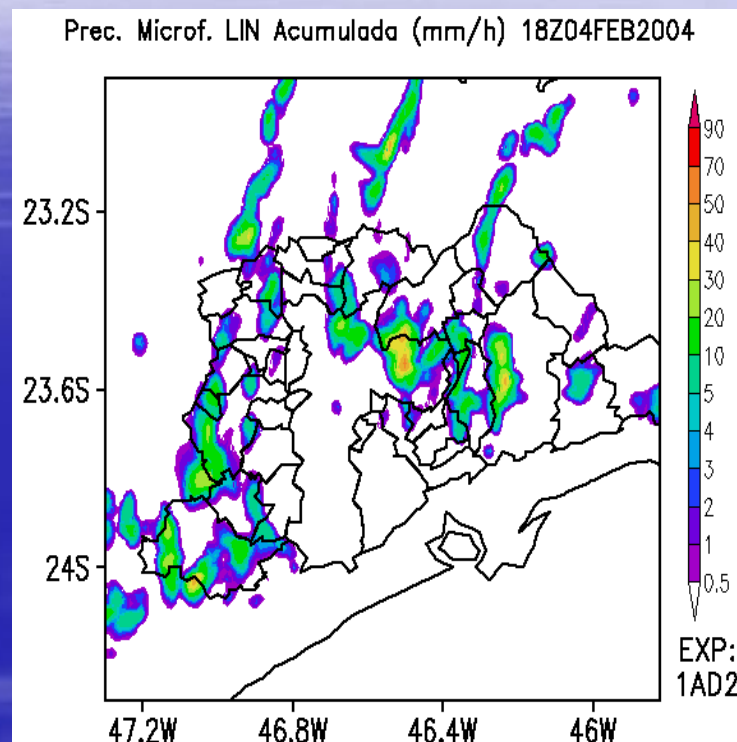
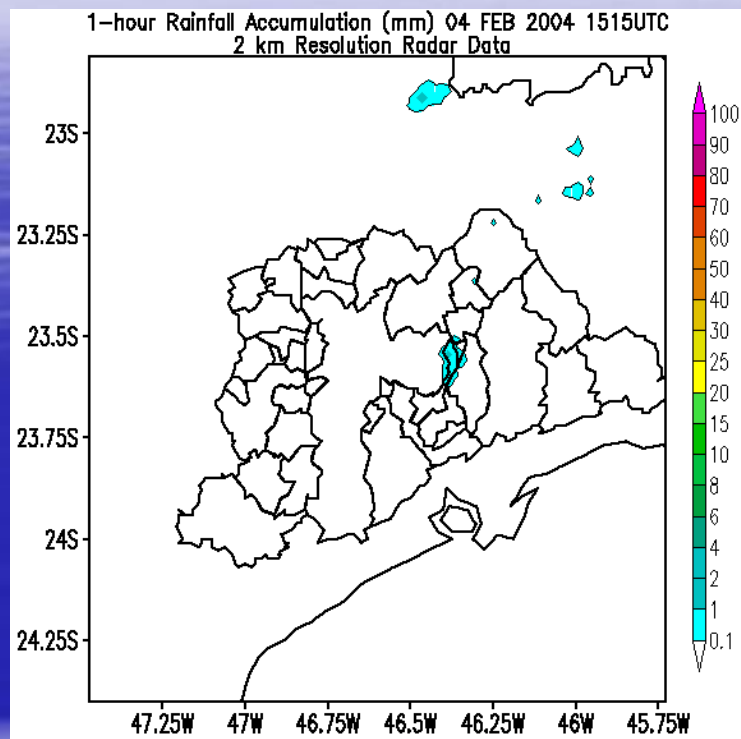
Hallak, R., Pereira Filho, A. J. (2011): Metodologia para análise de desempenho de simulações de sistemas convectivos na Região Metropolitana de São Paulo com o modelo ARPS: sensibilidade a variações com os esquemas de advecção e assimilação de dados. Rev. Bras. Meteorologia, v.26, n.4, 591-608 .

Assimilação de Dados na Simulação Numérica de Tempestades

Estações de superfície (METAR + CETESB + IAG)



Consequências para as Simulações



Alagamentos, Enchentes, Escorregamentos, Granizo, Vendavais, Etc.

02 de Fevereiro de 2004



Alagamentos, Enchentes, Escorregamentos, Granizo, Vendavais, Etc.

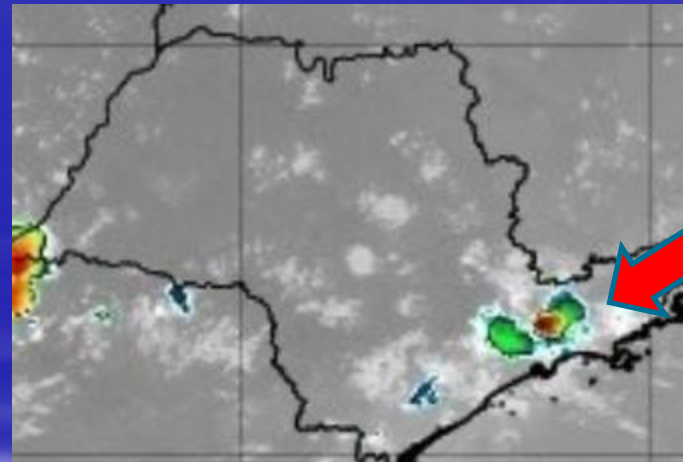
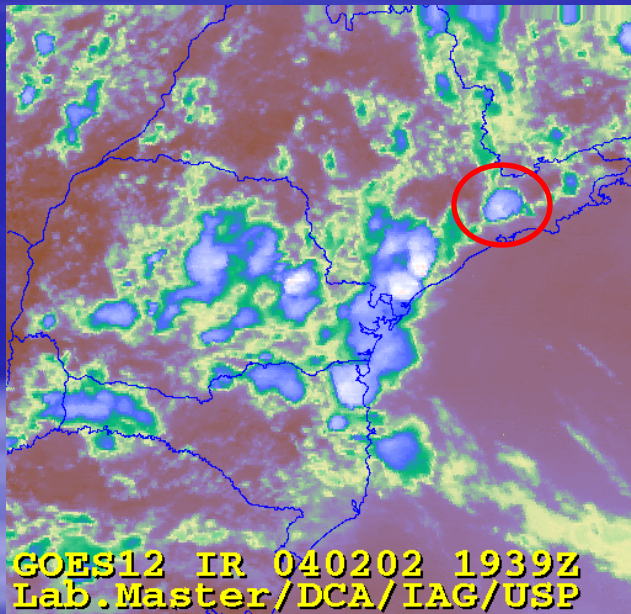
02 de Fevereiro de 2004



2018



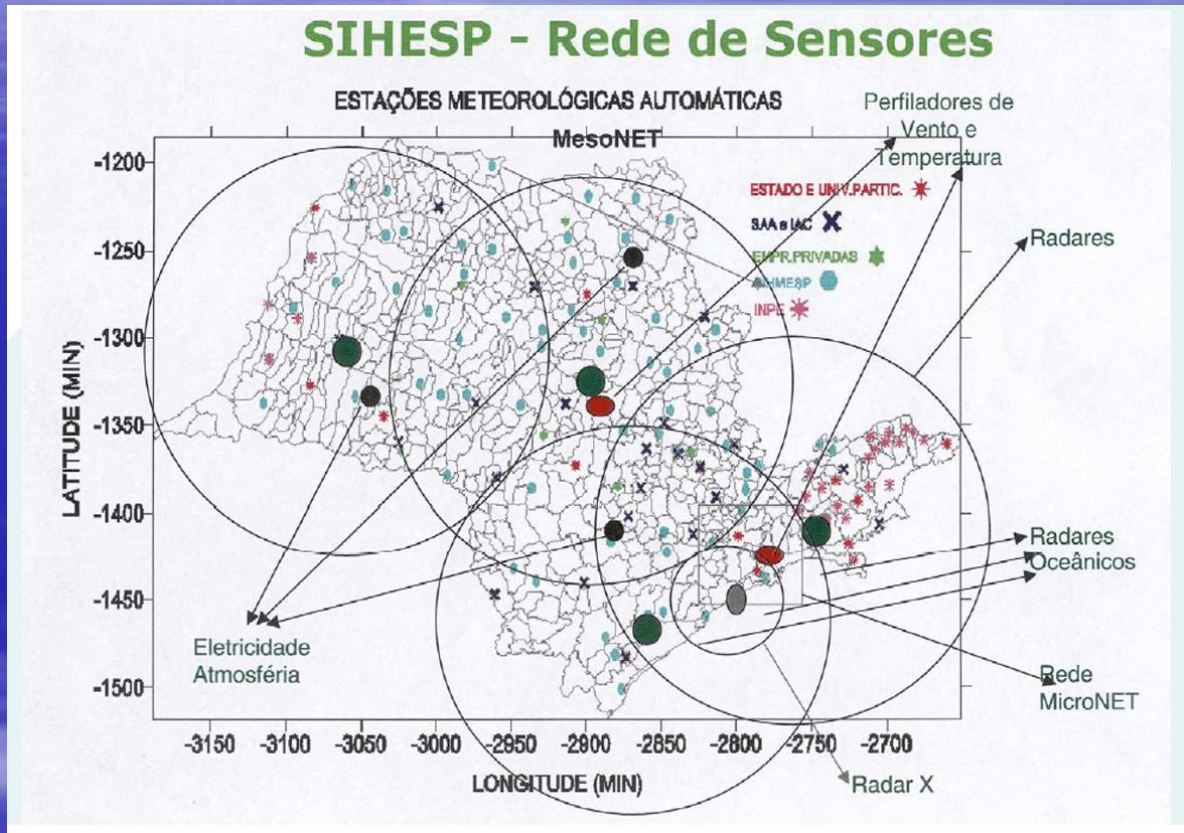
2022 → ...



GOES16 IR 2018/03/12
2030 UTC
(DSA/CPTEC/INPE)

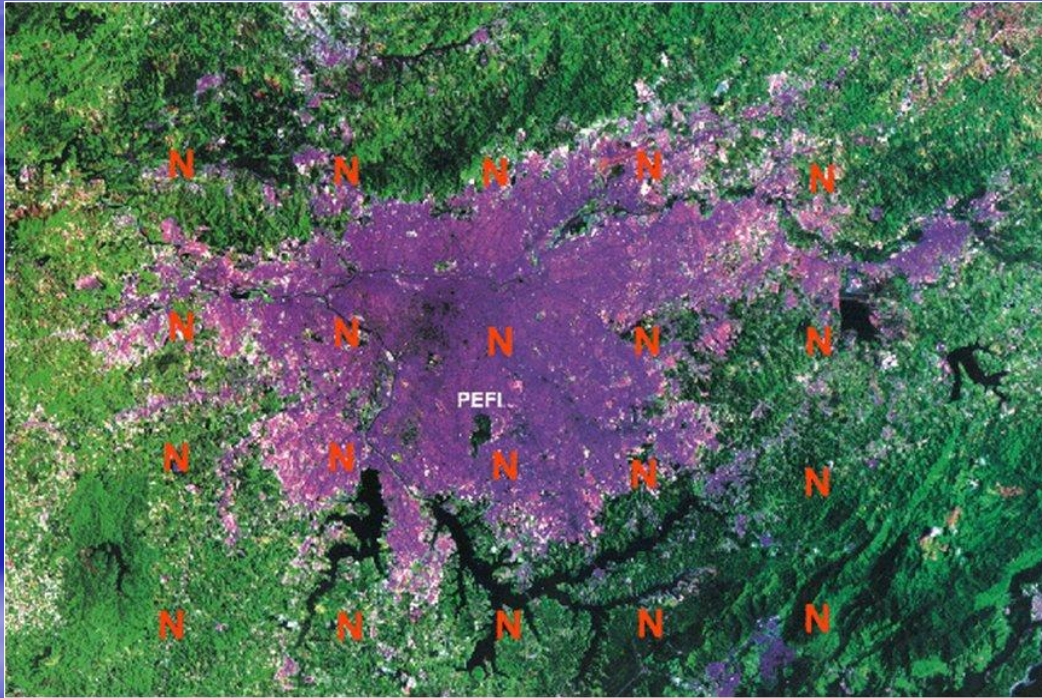
PROJETO SHIESP/FAPESP

- Mesonet (IAC)
- Micronet (IAG/USP)
- MXPOL (LABHIDRO/IAG/USP)
- Sistema ARPS (LABHIDRO)
- Recepção de Imageamento METEOSAT Nova Geração (LABHIDRO)



- A. J. Pereira Filho, O. Massambani, H. A. Karam, R. Hallak, R. Haas, F. Vemado: "Sistema de Previsão Hidrometeorológica para a Bacia do Alto Tietê". Boletim da SBMET, v. 32, **2008**.

Estações Automáticas de Superfície

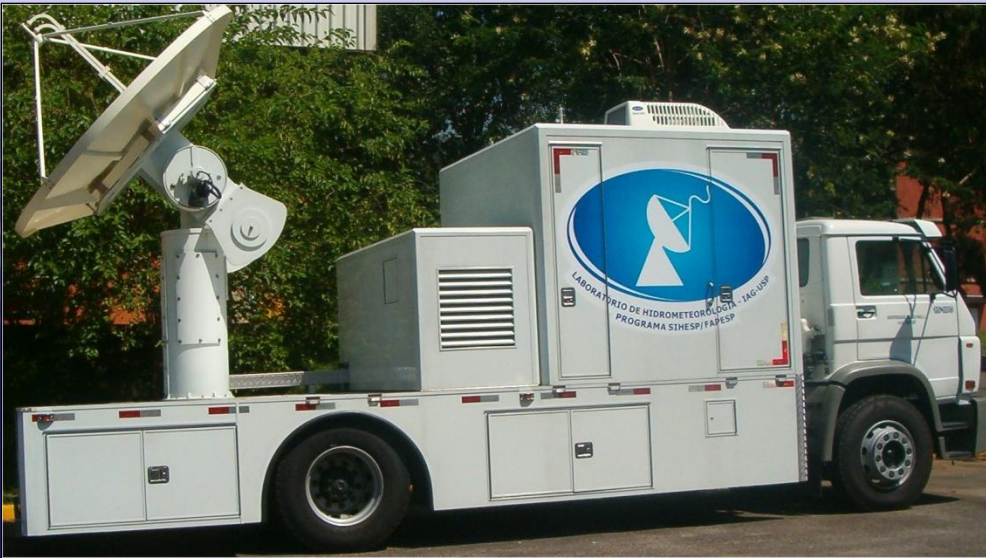


Rede Micronet



Estação Meteorológica IAG/USP

Radar MXPOL (Universidade de São Paulo)



Móvel (M)

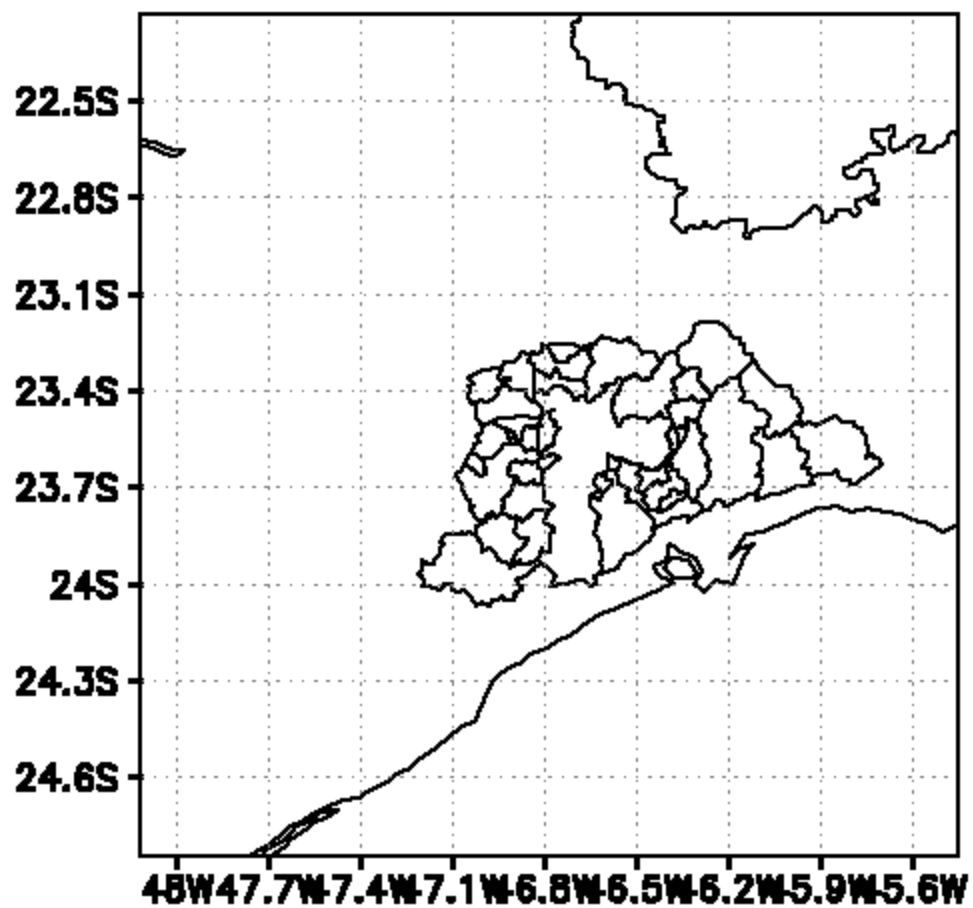
Banda X (X)

Polarimétrico (POL), com
dupla polarização (Feixes
verticais e horizontais)

BARUERI – Polícia
Civil Metropolitana

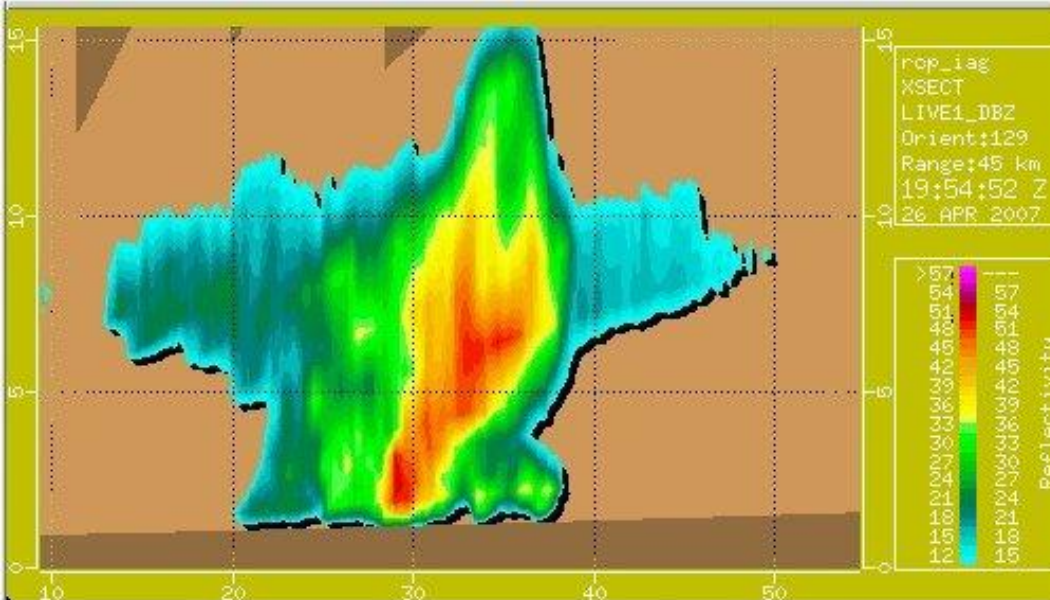


Radar MXPOL (Varredura Azimutal)



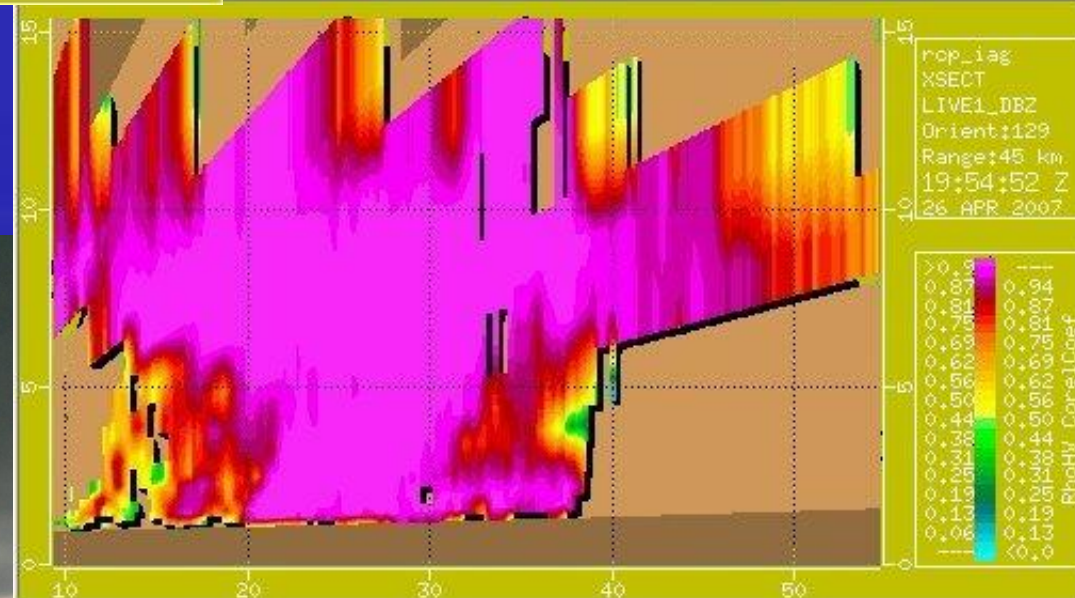
Experimento em Praia Grande (2007)

Coeficiente de Correlação ρ_{hv}



Refletividade Z (dBZ)

Northward view of squall line's anvil at 19:16 UTC on 26 April 2007



Simulações Numéricas

Conceituais

Características básicas da simulação

(SISTEMA ARPS)

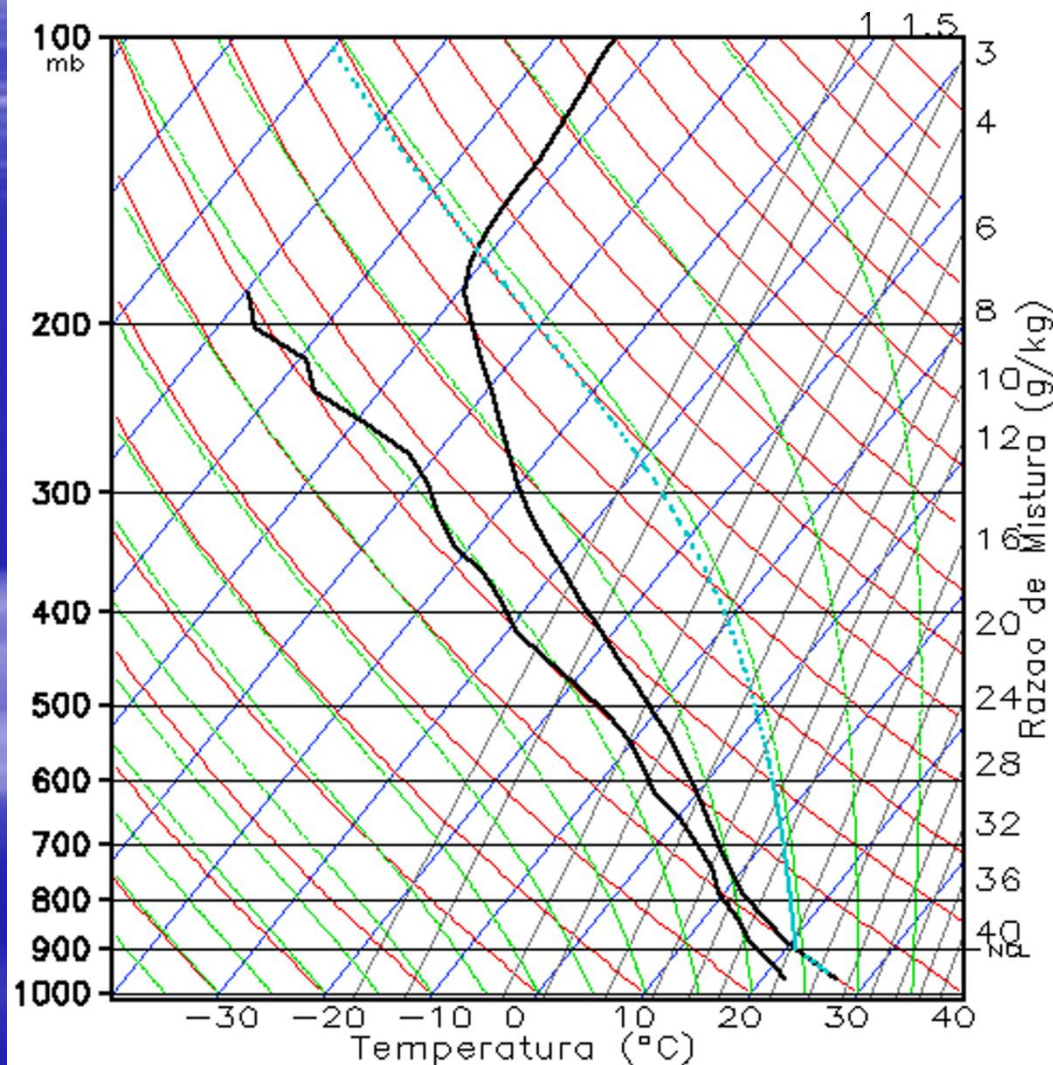
GRADE:

- número de pontos: 100 x 100 na horizontal e 72 na vertical
- resolução espacial horizontal: 1000 m x 1000 m
- resolução espacial vertical: 300 m em média e 50 m nos 8 primeiros níveis do modelo
- área total: 10^4 km² na horizontal e topo em 21 km

INICIALIZAÇÃO:

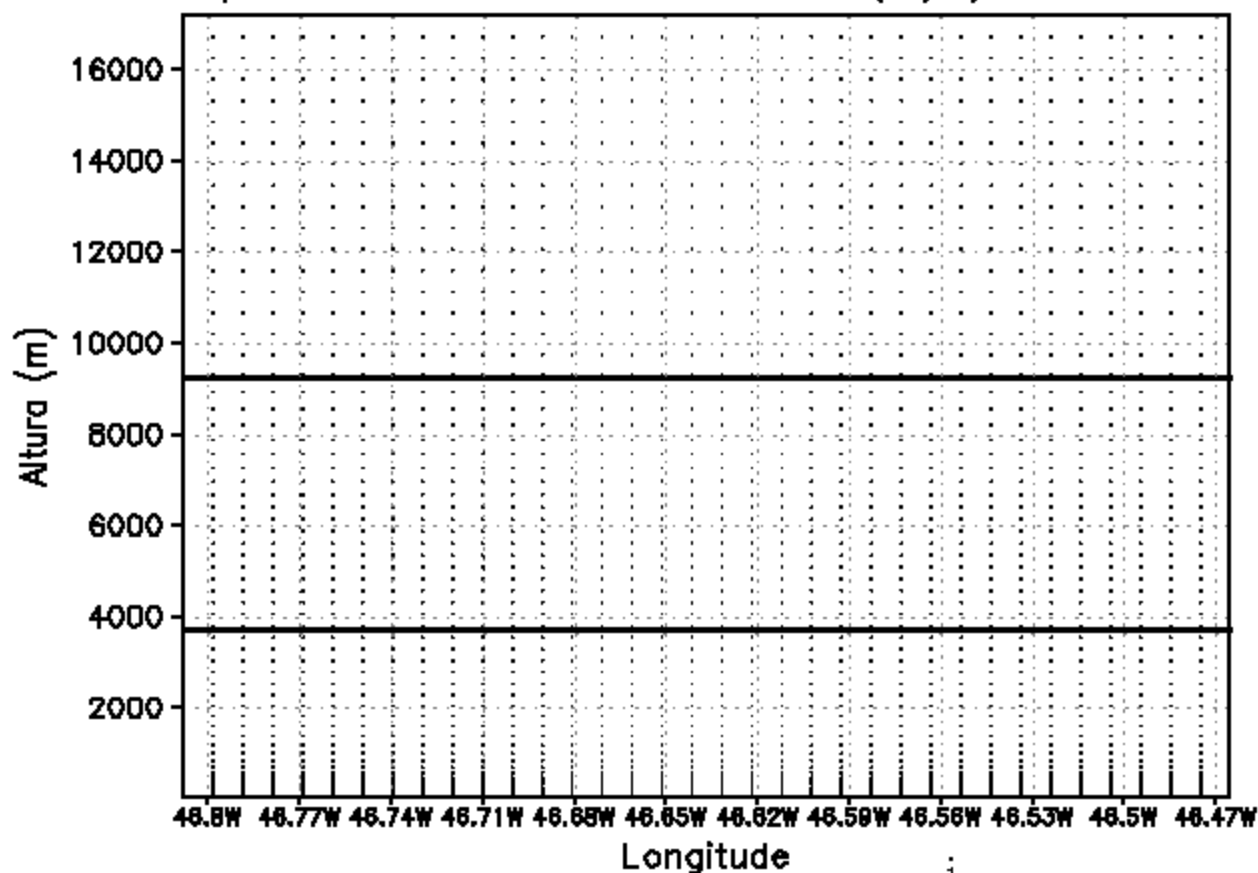
- homogênea na horizontal, com valores iniciais obtidos por sondagens verticais reais da atmosfera
- forçante térmica por meio de inserção de uma “bolha de ar quente” de formato elipsóide com centro no ponto central da grade do modelo. Dimensões da bolha: 15 km x 15 km na horizontal e 1500 m na vertical e perturbação inicial de 1.6 K

Sondagem Fortemente Instável



K	39
TTotals	52
AgPrec(cm)	3.99
Superfície	
Temp(°C)	28.7
Td(°C)	22
$\theta_e(K)$	383
Ind. Lev.	-7
CAPE(J)	3942
InibConv(J)	0
Mais Instável	
Pres.(mb)	985
$\theta_e(K)$	358
IndLay	-10
CAPE(J)	4120
InibConv(J)	0

Razao de Mist. Agua de Nuvem + Gelo (g/kg) [Param. de Microf.]
Componentes u e w do Vetur Vento (m/s) 12Z02FEB2004



Resumo de eventos no caso mais instável

t = 0 min: todas as variáveis têm distribuição homogênea na horizontal, com a isolinha de $T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ em $z \approx 3800\text{ m}$

t = 20 min: nuvem quente atinge altura de $T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

t = 28 min: nuvem atinge altura de $T = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ em meio a um crescimento rápido explosivo

t = 31 min: $w_{\text{máx}} \approx 50\text{ m s}^{-1}$

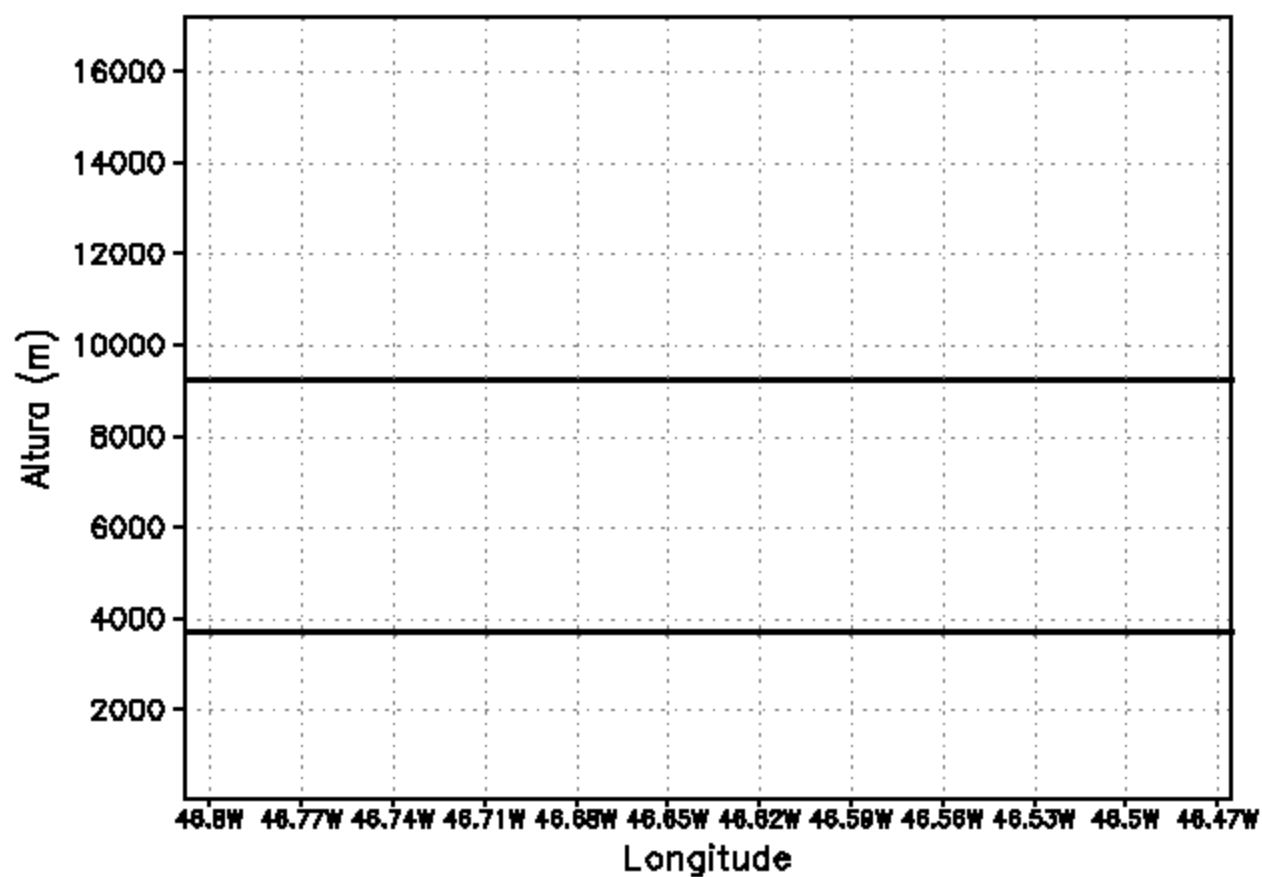
t = 35 min: início da formação de bigorna em altos níveis pelos cristais de gelo

t = 38 min: pode-se identificar efeito de entranhamento em altos níveis

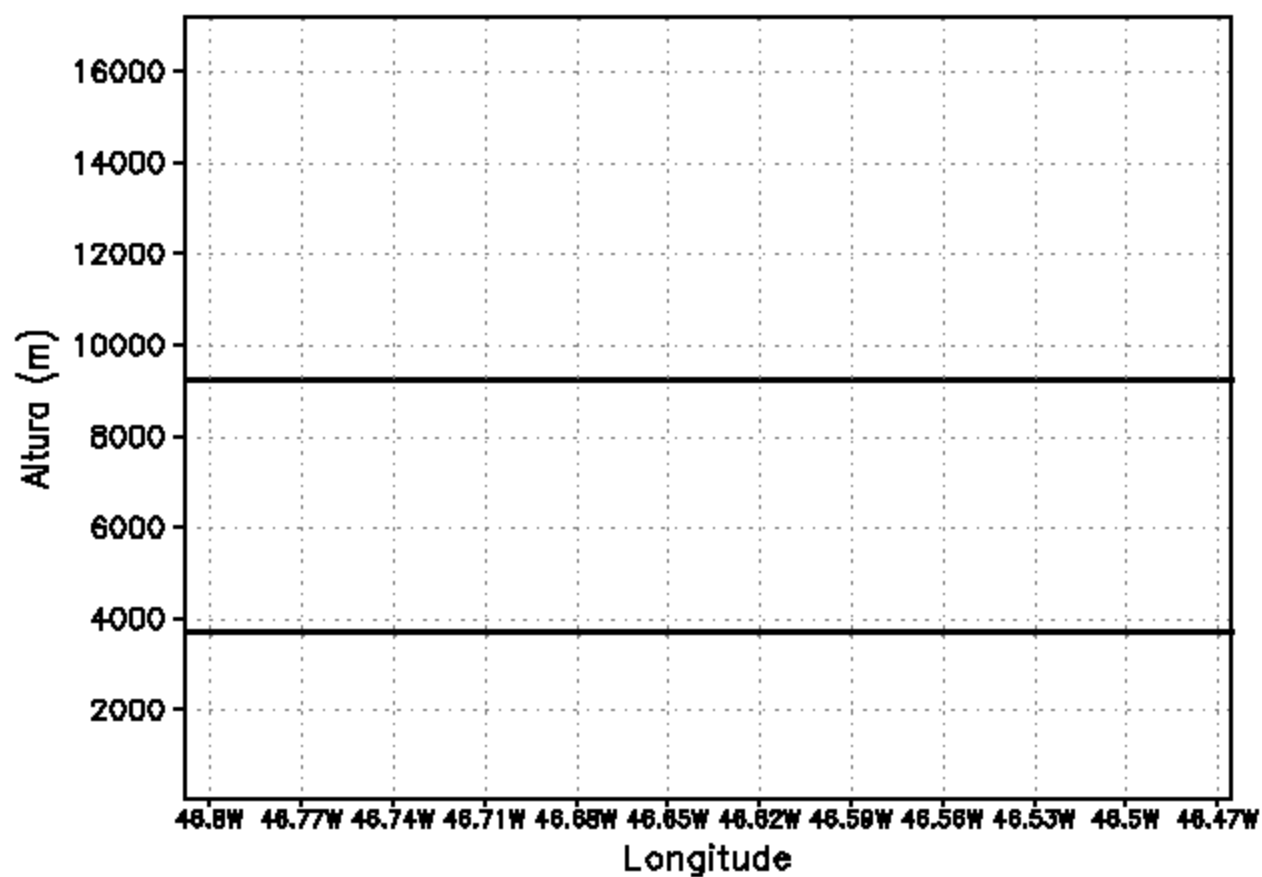
t = 44 min: novos pulsos de movimento vertical reforçam o Cb

t = 60 min: início da perda de simetria e início da fase de lento decaimento

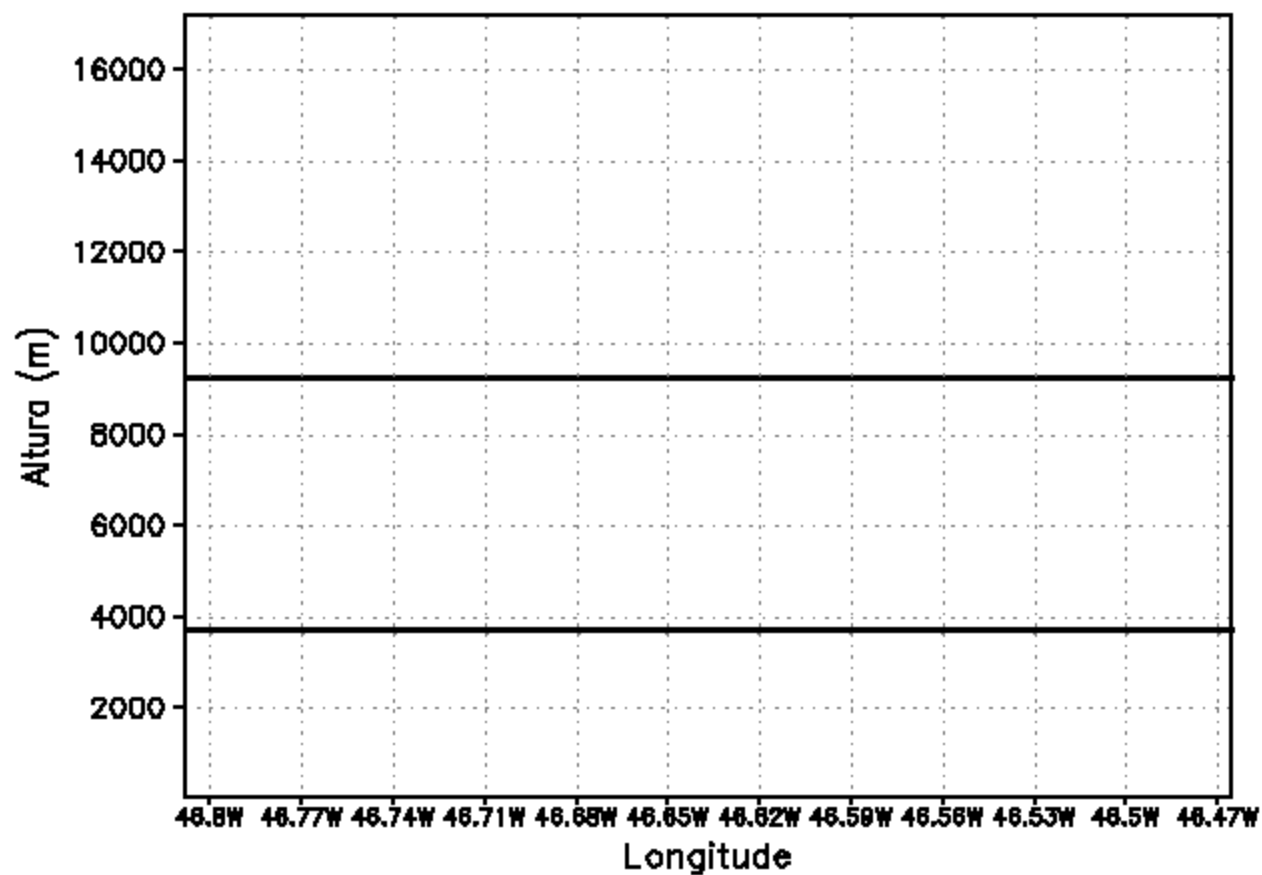
Razao de Mist. Agua de Nuvem (g/kg) [Param. de Microf.]
12Z02FEB2004



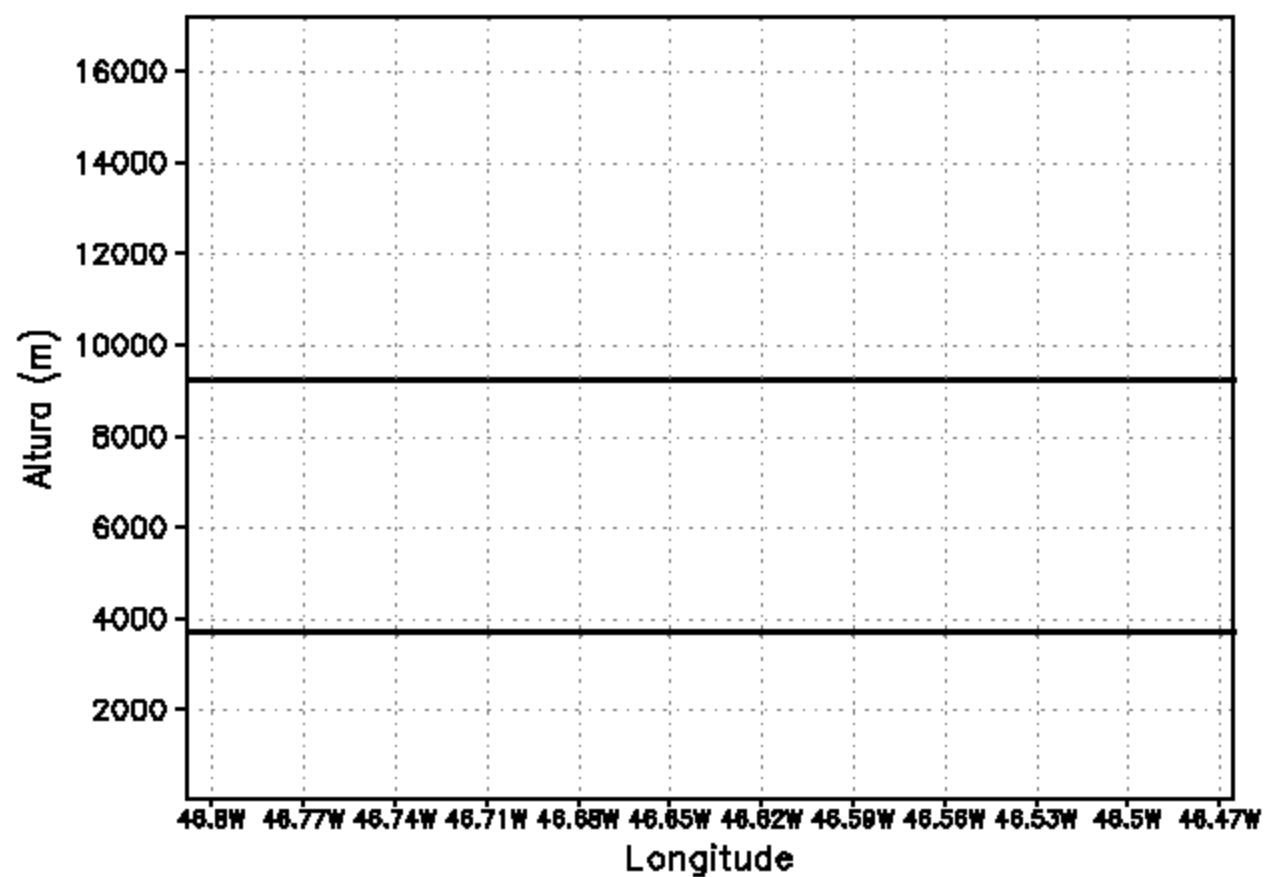
Razao de Mist. Cristais de Gelo (g/kg) [Param. de Microf.]
12Z02FEB2004



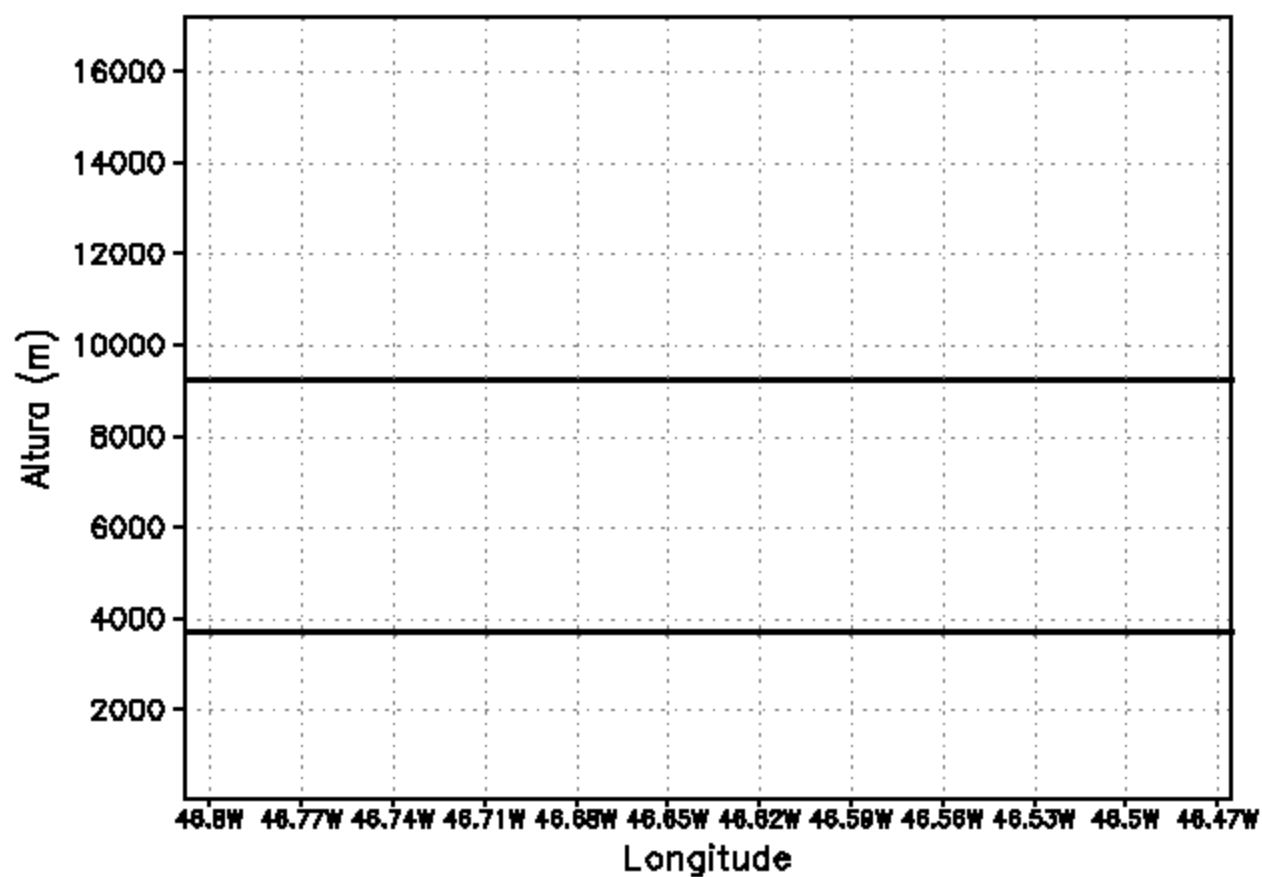
Razao de Mist. Neve (g/kg) [Param. de Microf.]
12Z02FEB2004



Razao de Mist. Granizo (g/kg) [Param. de Microf.]
12Z02FEB2004



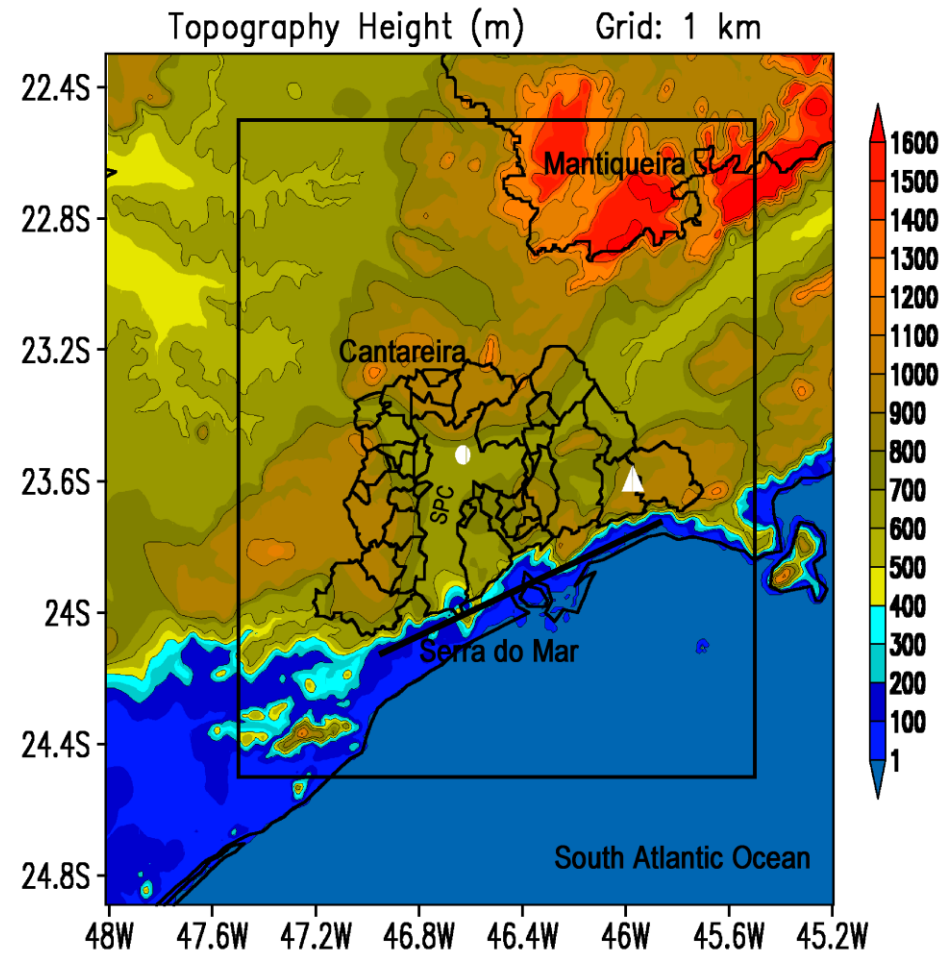
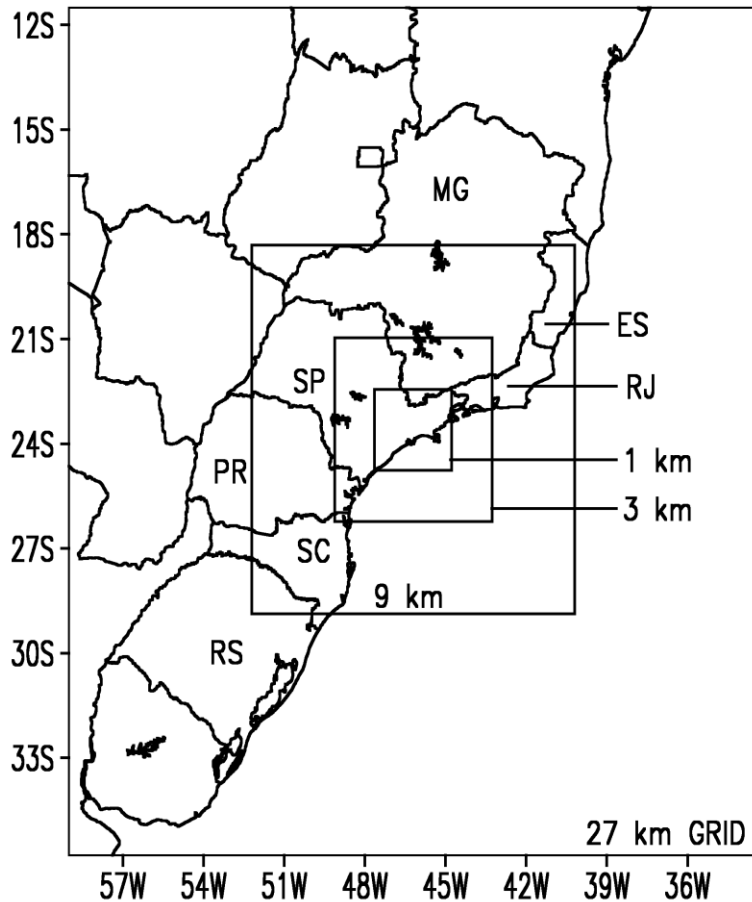
Razao de Mist. Agua de Chuva (g/kg) [Param. de Microf.]
12Z02FEB2004



Simulações Numéricas

Realísticas de Tempestades

Exemplo de Definição de Domínios de Grades Aninhadas



Modelagem da Convecção (Modelo Numérico ARPS)

Características Gerais dos Experimentos	Espaçamento Horizontal das Grades			
	27 km	9 km	3 km	1 km
Nome da Grade	Exp27km	Exp9km	Exp3km	Exp1km
Pontos na Horizontal	147 x 147	147 x 147	195 x 195	291 x 291
Níveis na Vertical	72	72	72	72
Primeiro Nível	40 m	20 m	10 m	10 m
Topo do Modelo	~ 30 km	~ 29 km	~ 28 km	~ 28 km
Tempo de Integração	78 h	54 h	42 h	30 h
Passo de Tempo	30 s	10 s	6 s	2 s
Cond. Iniciais/Contorno	GFS (1º)	Exp27km	Exp9km	Exp3km
Topografia (USGS)	900 m	900 m	900 m	900 m
Paramet. de Cúmulos	Sim	Sim	Não	Não
Paramet. de Microfísica	Sim	Sim	Sim	Sim
Modelo de Solo	2 Camadas	2 Camadas	2 Camadas	2 Camadas
Tipo de Solo	Heterogêneo	Heterogêneo	Heterogêneo	Heterogêneo
Tipo de Vegetação	Heterogêneo	Heterogêneo	Heterogêneo	Heterogêneo

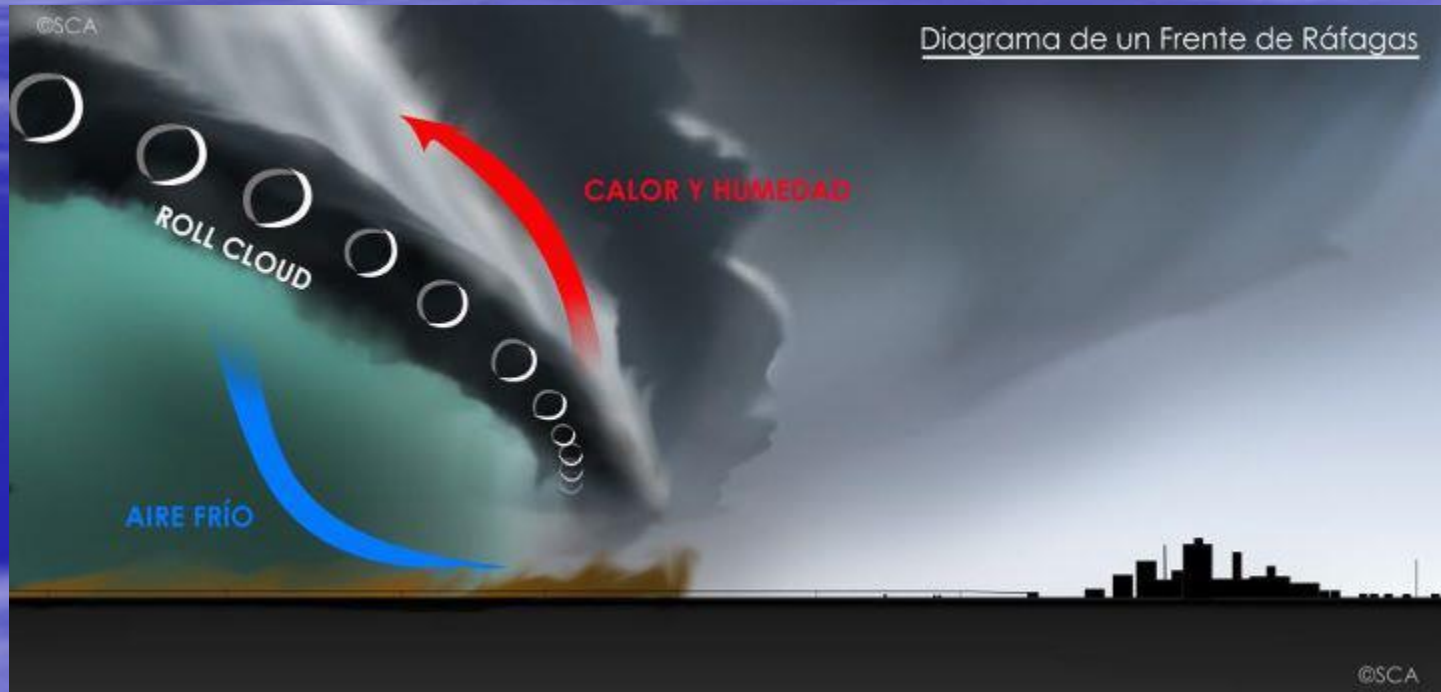
Frentes de Rajada



Canoas – RS (05FEV2012)



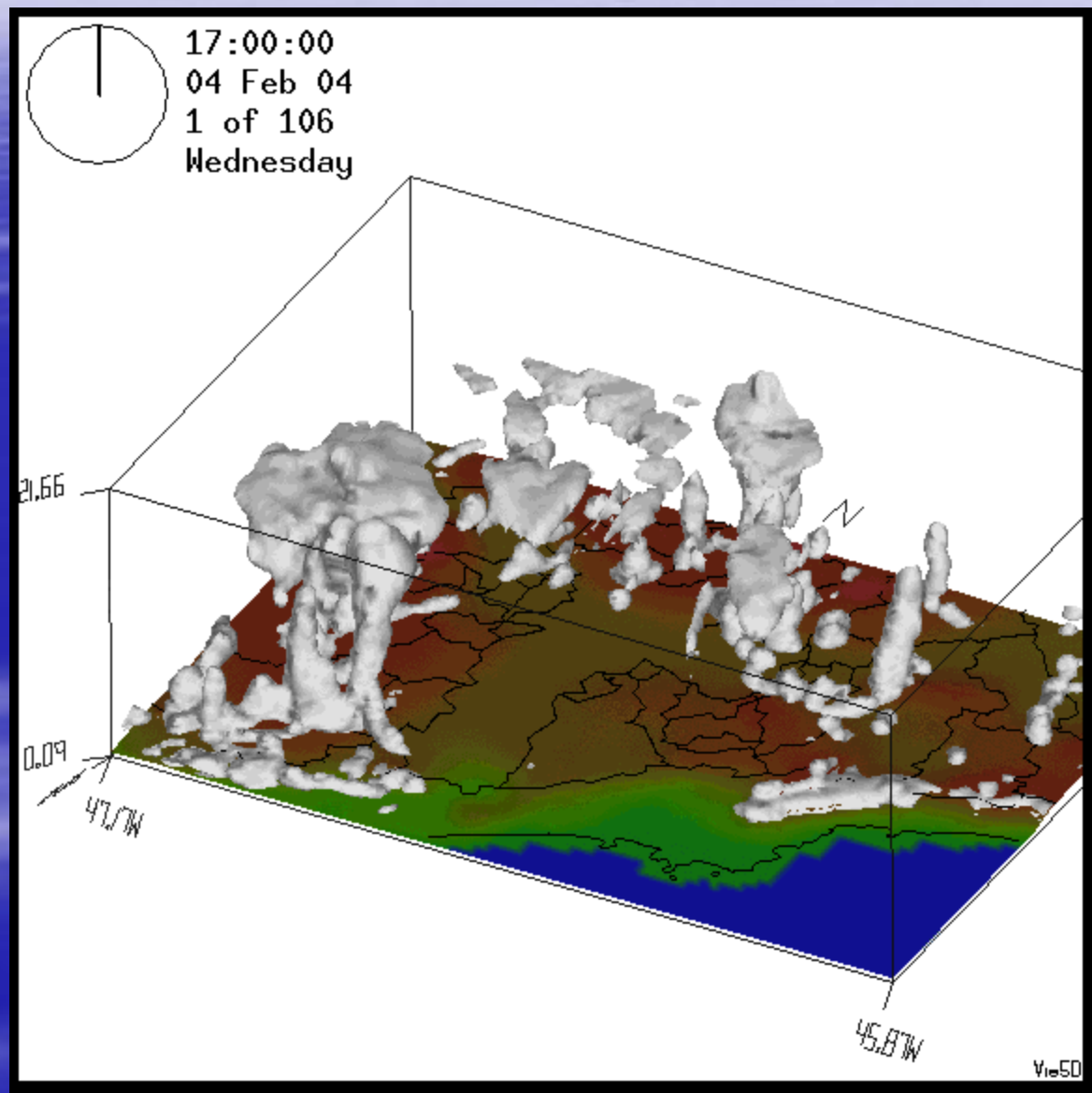
Frentes de Rajada



Grades Horizontais < 3.0 km



ARPS (Grade de 1 km)



...

E muito mais...

FIM