

Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC



Fatores que afetam o clima e previsibilidade climática

Gilvan Sampaio
Chefe da Divisão de Operações
INPE/CPTEC
gilvan.sampaio@inpe.br

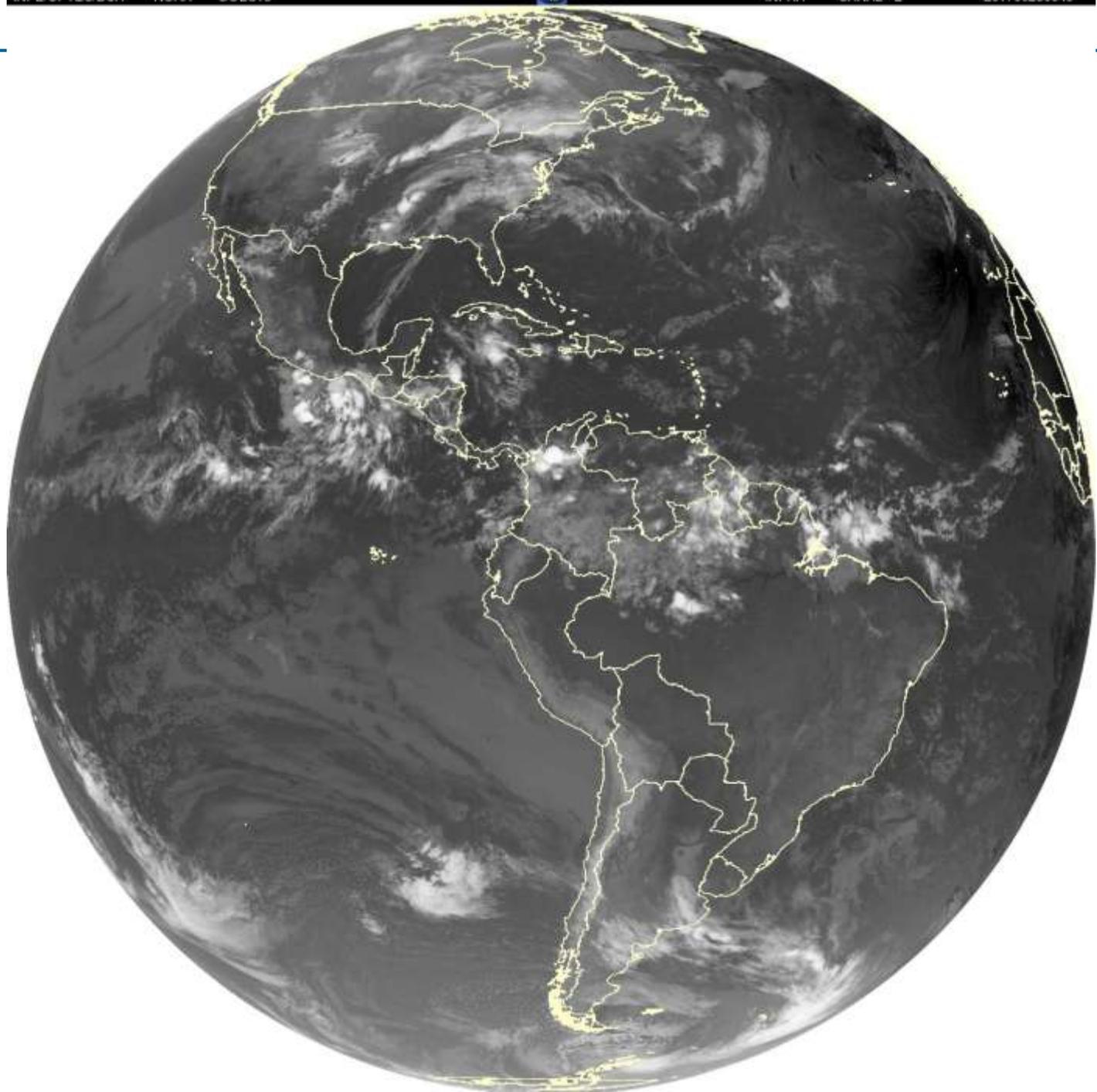
AQUAENERGY Fórum e Mostra Tecnológica
Vitória – ES – 23 de junho de 2017



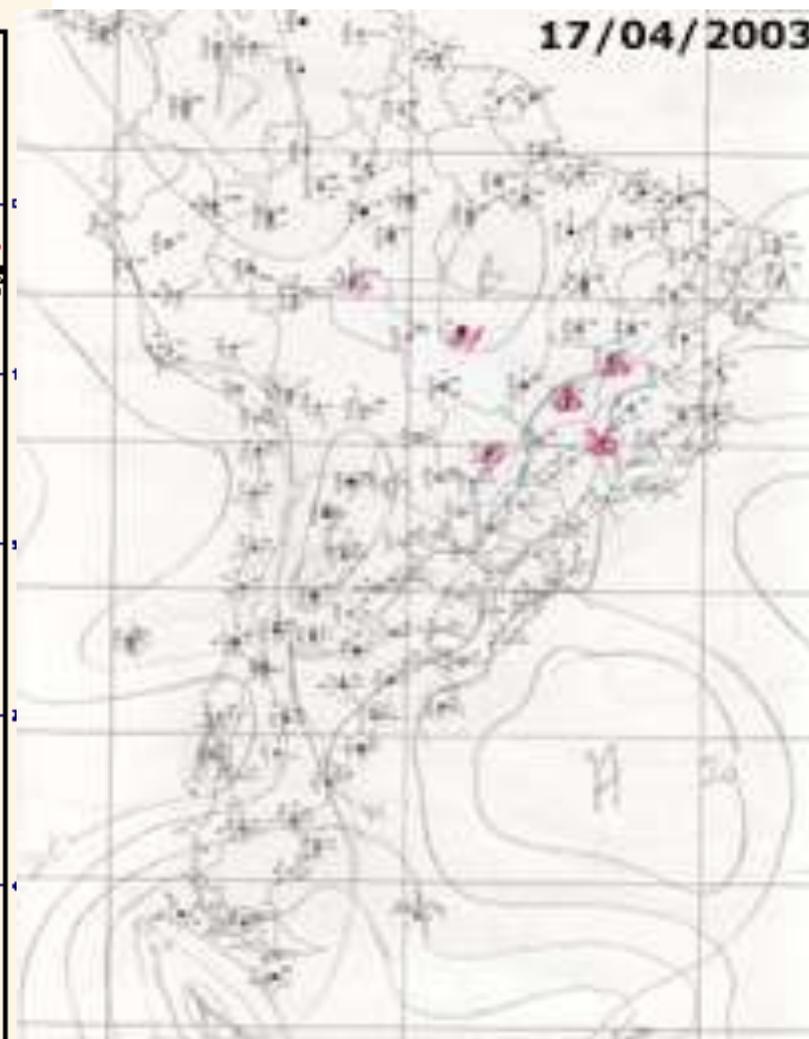
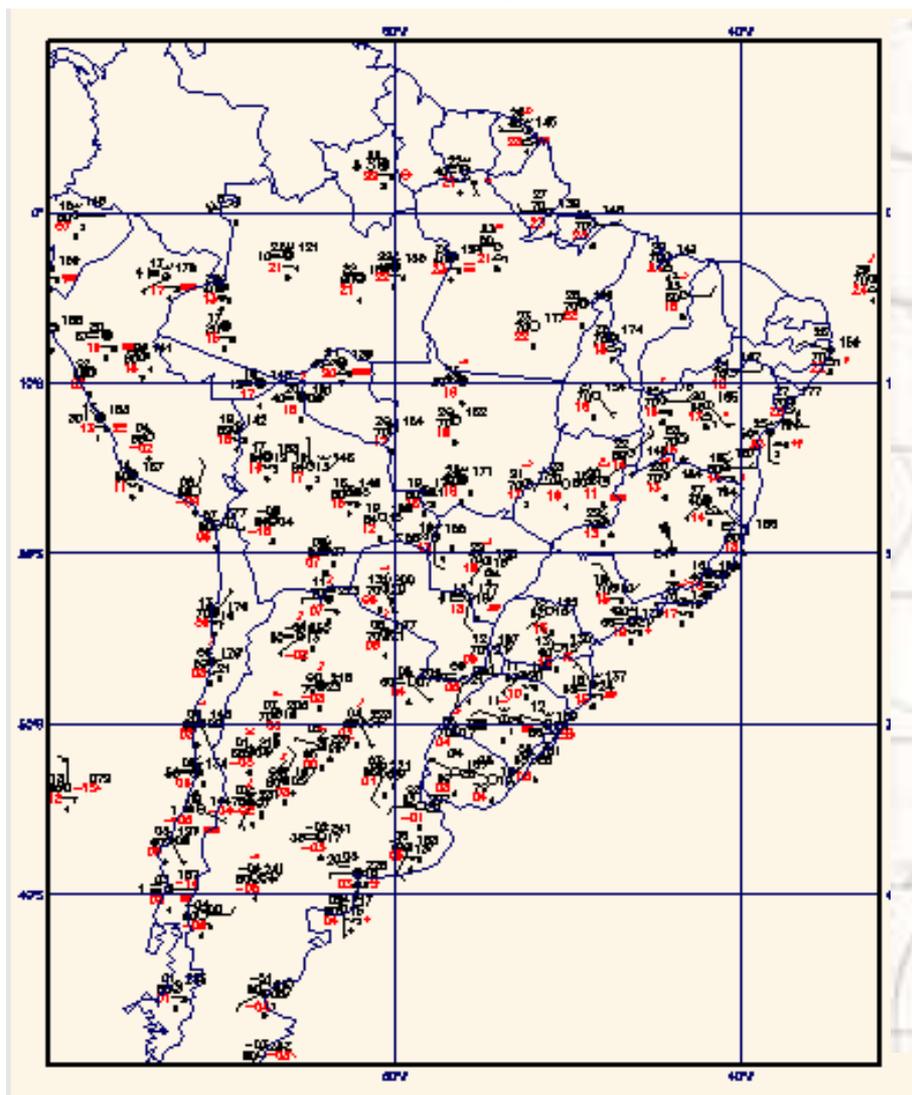
PREVISÃO DE TEMPO E DE CLIMA

As flutuações da atmosfera são previsíveis?

Em que escala de tempo?



ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

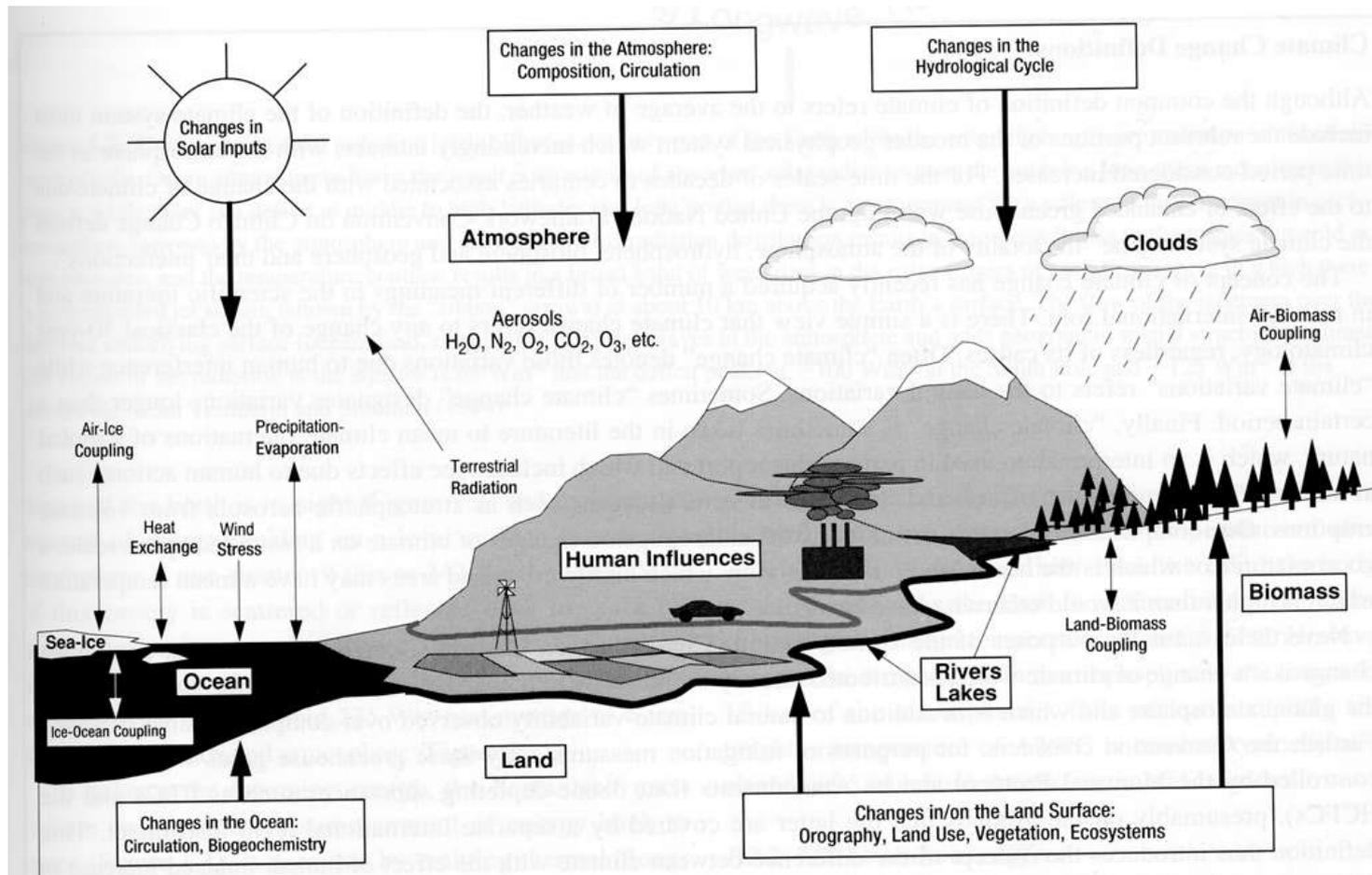






Sistema Climático

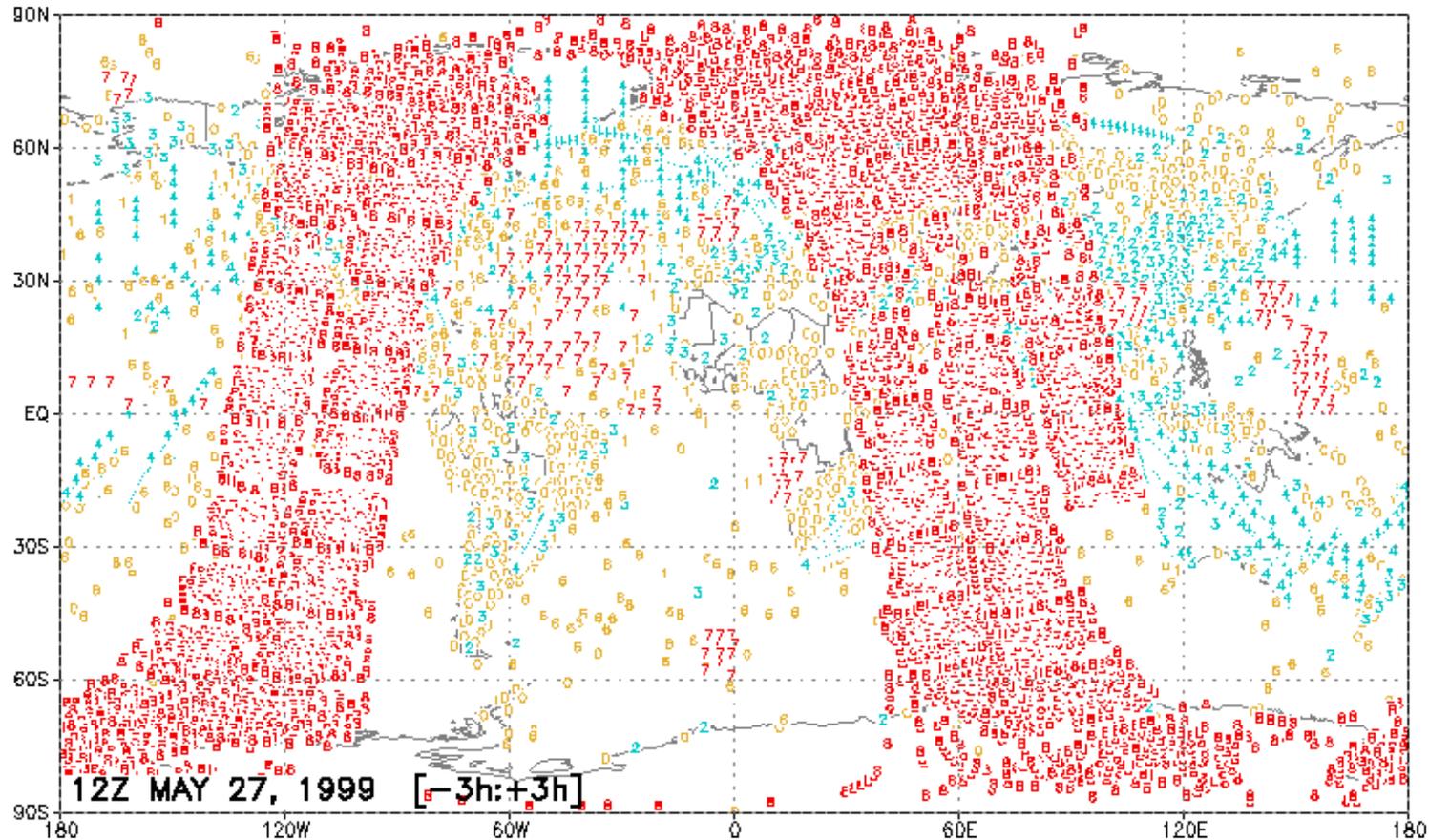
Resultado de complexas interações entre diversos subsistemas



DADOS DE TODO O GLOBO

OBSERVATIONAL DATA COVERAGE

SURFACE 5329
UPPER-AIR 5392
SATELLITE 10234

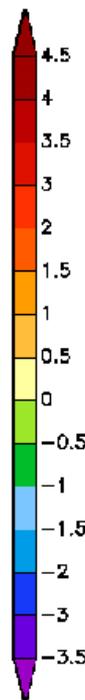
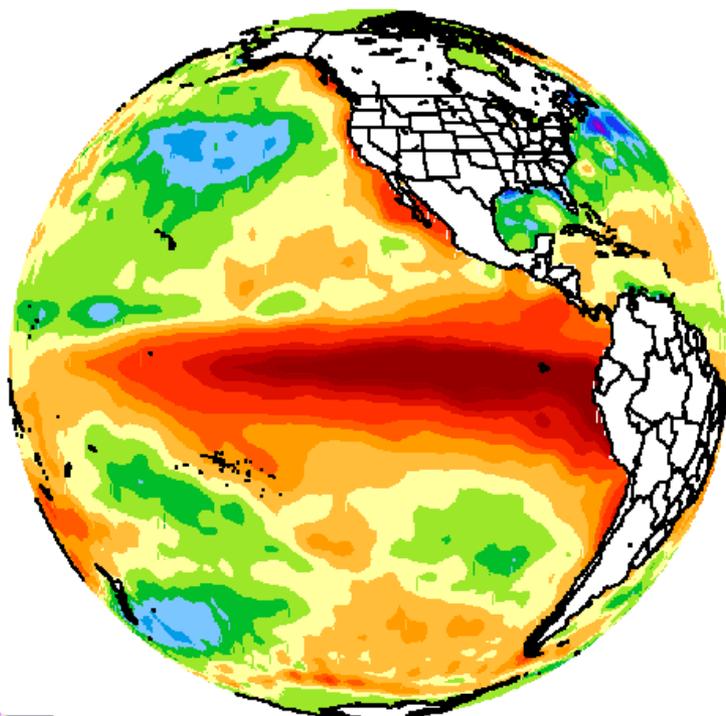


0-SYNOP 2-TEMP 4-AIREP 6-BUOY 8-TV120
1-SHP 3-PLOT 5-SATEM 7-SATOB

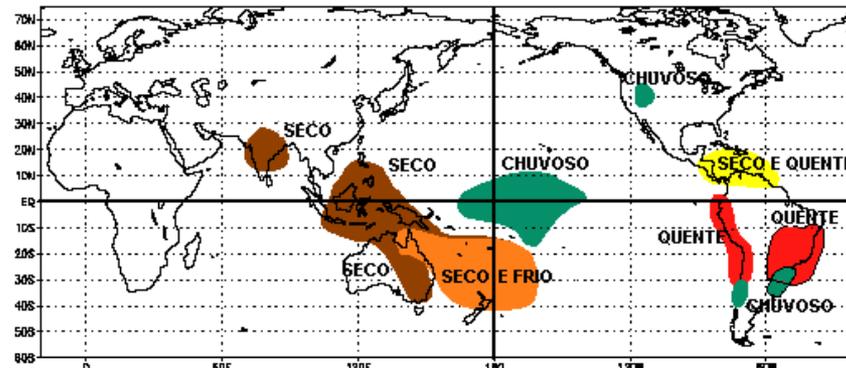
Monitoramento do fenômeno *El Niño* e seus impactos

EL NIÑO

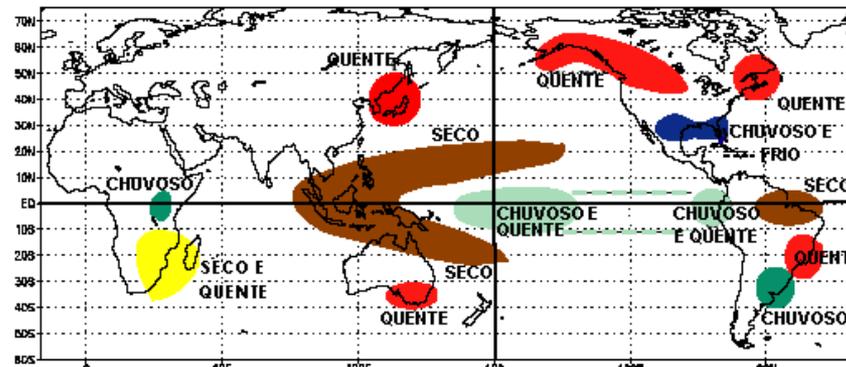
Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar (Celsius)



EL NIÑO - JUNHO - AGOSTO

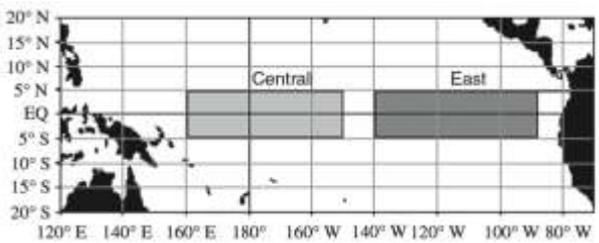


EL NIÑO - DEZEMBRO - FEVEREIRO



Fonte de dados: NCEP

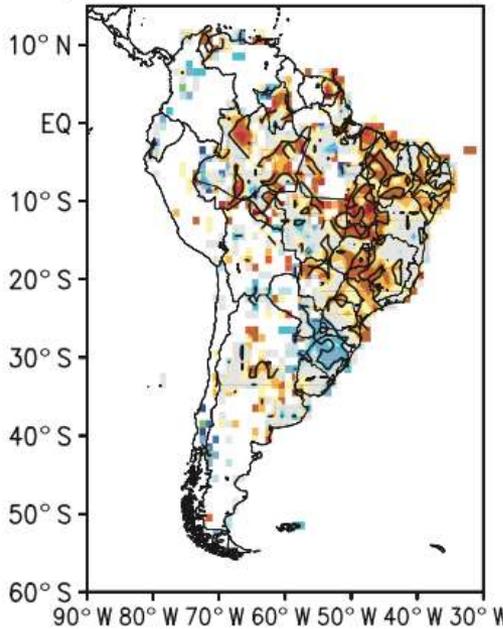
Diferença na frequência de eventos extremos de precipitação (eventos/mês) entre o ENSO Central e Leste em relação a anos normais



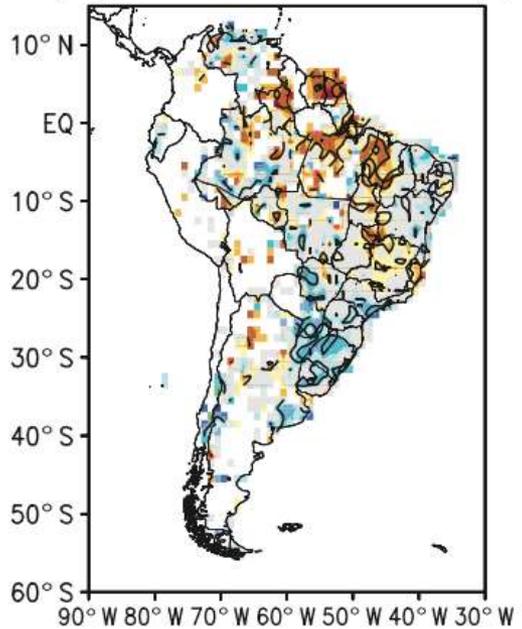
Observações: 1960-2005

(Tedeschi, Grimm and Cavalcanti, 2015)

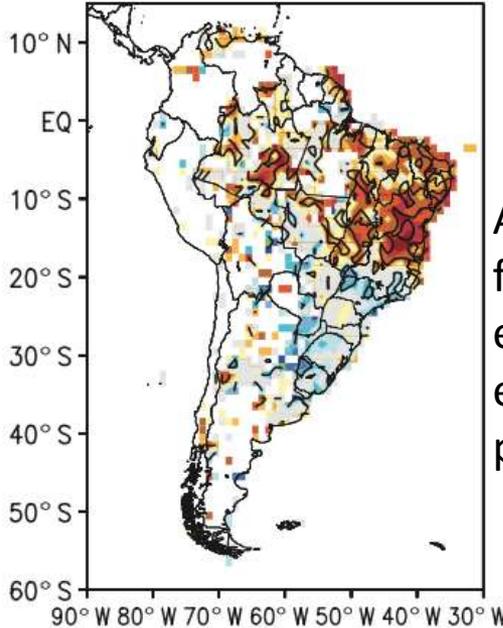
(a) CEN-Neutral - SON(0)



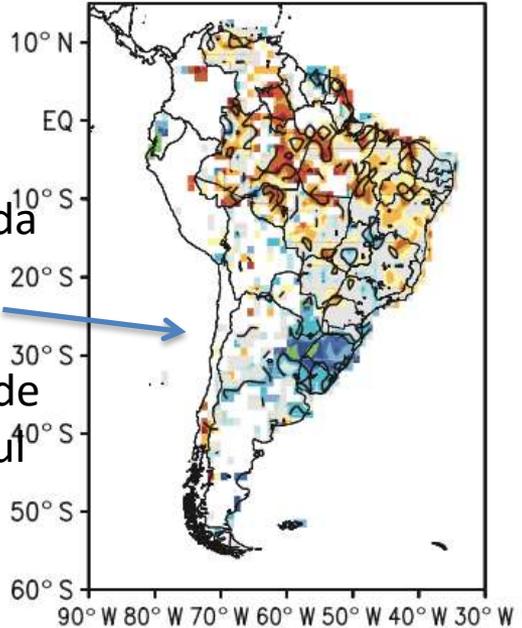
(b) EEN-Neutral - SON(0)



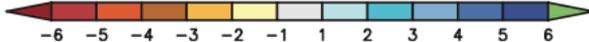
(d) CEN-Neutral - D(0)JF(+)



(e) EEN-Neutral - D(0)JF(+)



Aumento da freq. de eventos extremos de prec. no Sul



Avanços na Previsão de Tempo

* Pre-história

O homem primitivo primeiro meteorologista

* Antigos Gregos s.V a c.

Especulações sobre a atmosfera

* Antigos Marinheiros

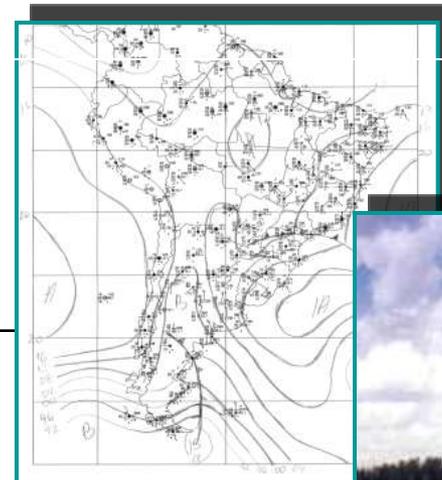
Observação da natureza

* S XVIII

Cálculo diferencial
Leis da Física

★ Segunda Guerra

- Sistematização da Previsão do Tempo
- Invenção do Radar
- Sondagens atmosféricas
- Descobrimto da circulação dos altos níveis
- Teorias sobre movimento e evolução



★ 1950s

- Radar Meteorológico
- Primeiros computadores
- Primeiros modelos atmosféricos

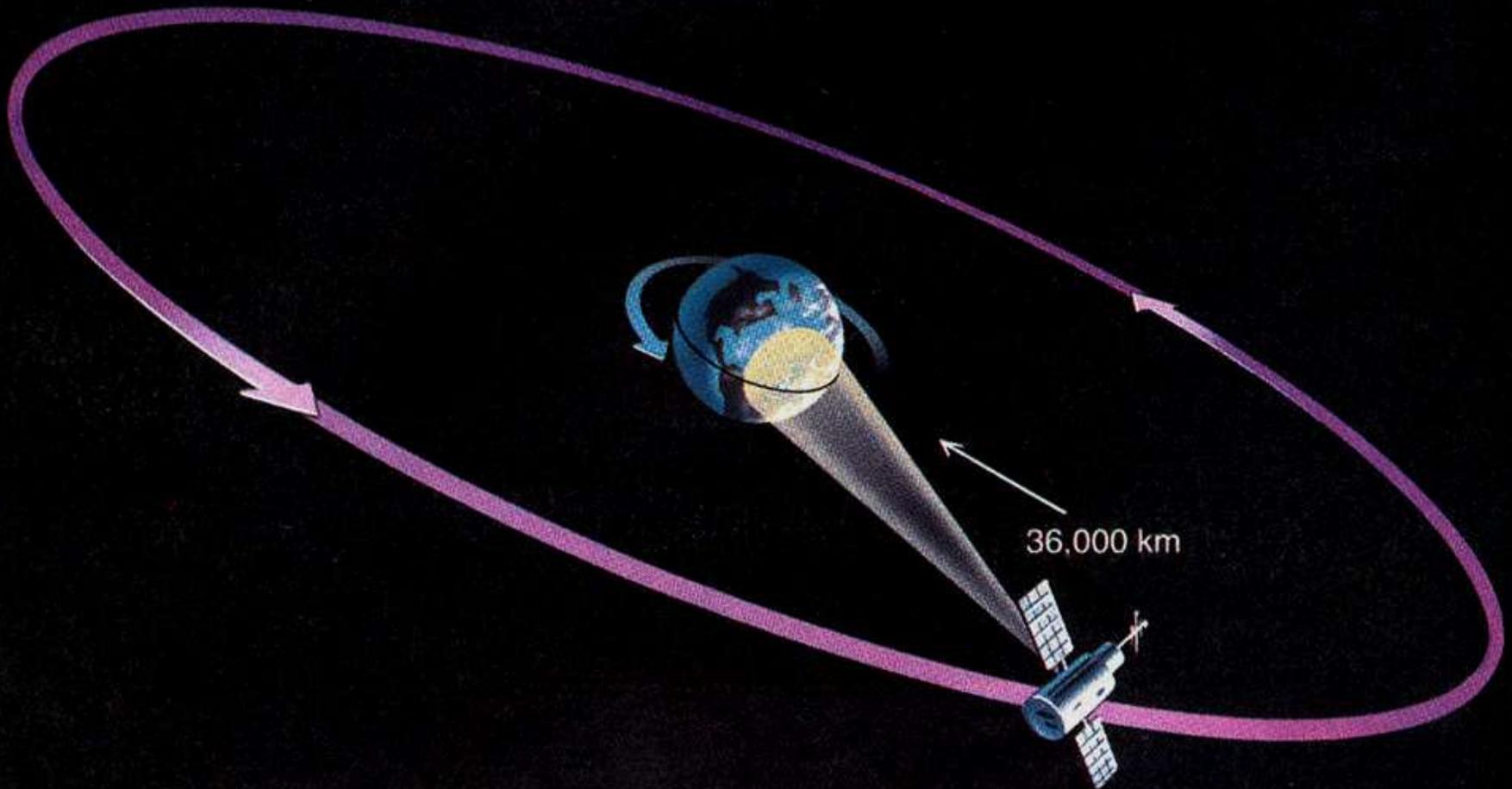
★ 1960-1970s

- Satélite Meteorológico
- Desenvolvimento de melhores modelos dinâmicos



Satélites Geoestacionários

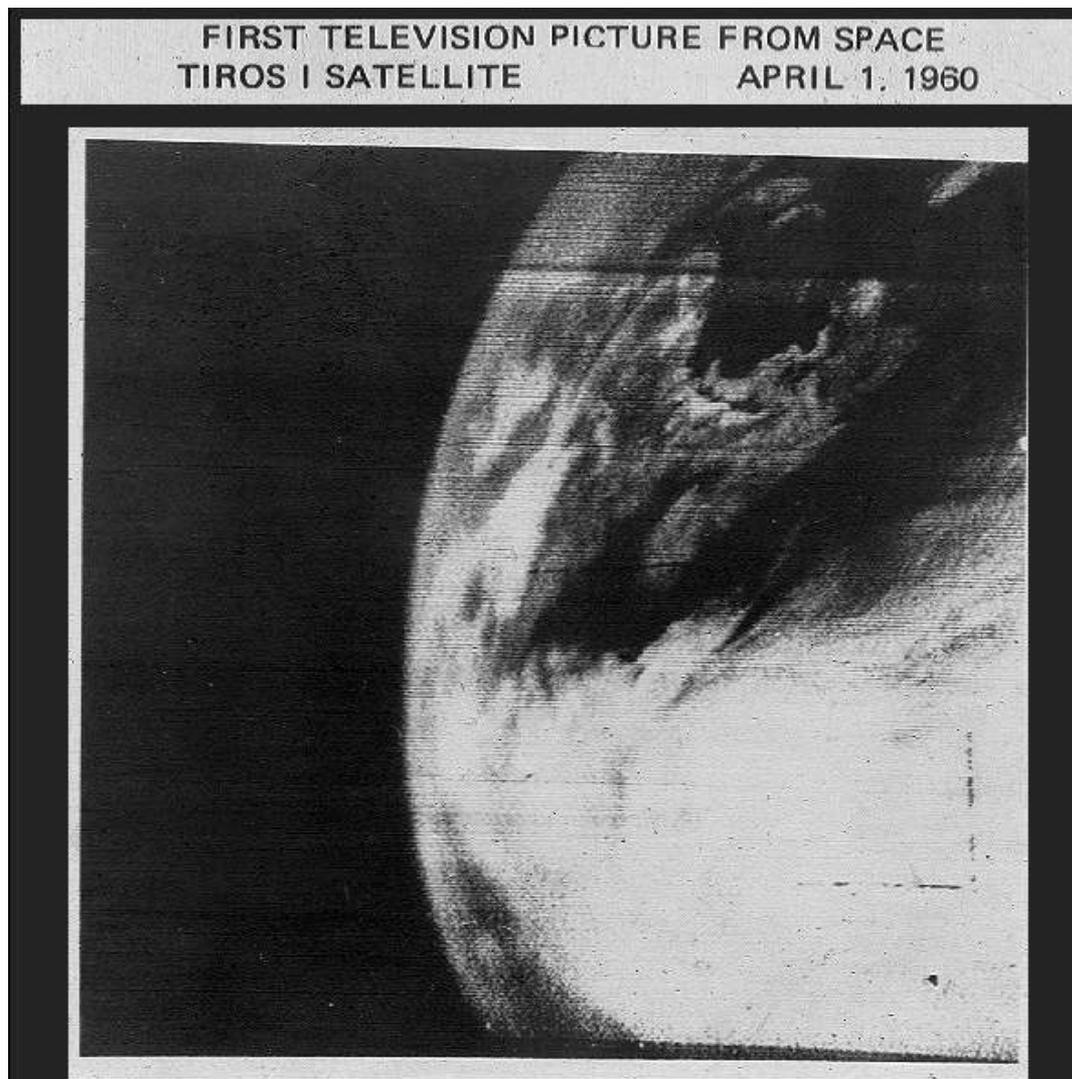
- **ALTITUDE: ~36.000 km**
- **Área de observação é sempre a mesma**
- **Meteorológicos e de Comunicação**



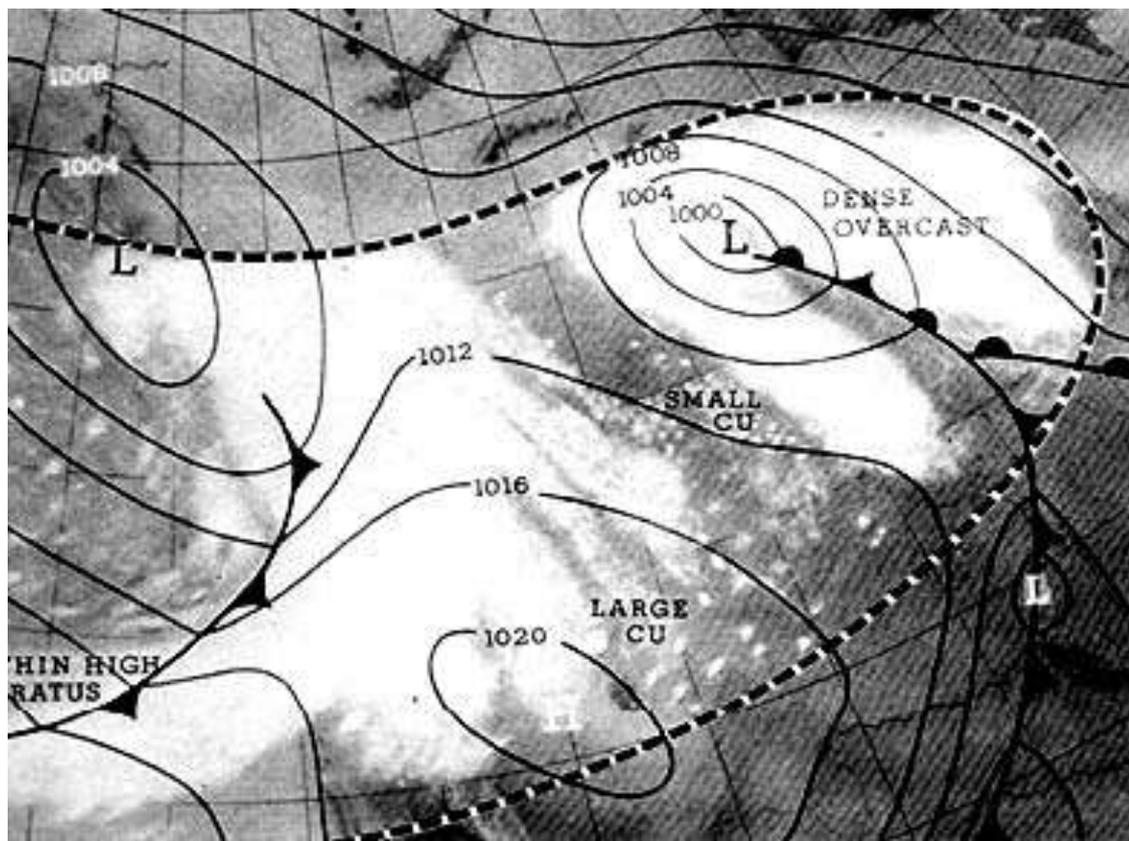
Sensoriamento remoto via satélite



Satélite TIROS (Television Infrared Observation Satellite) e primeira imagem de sensoriamento via satélite
Fonte: NOAA

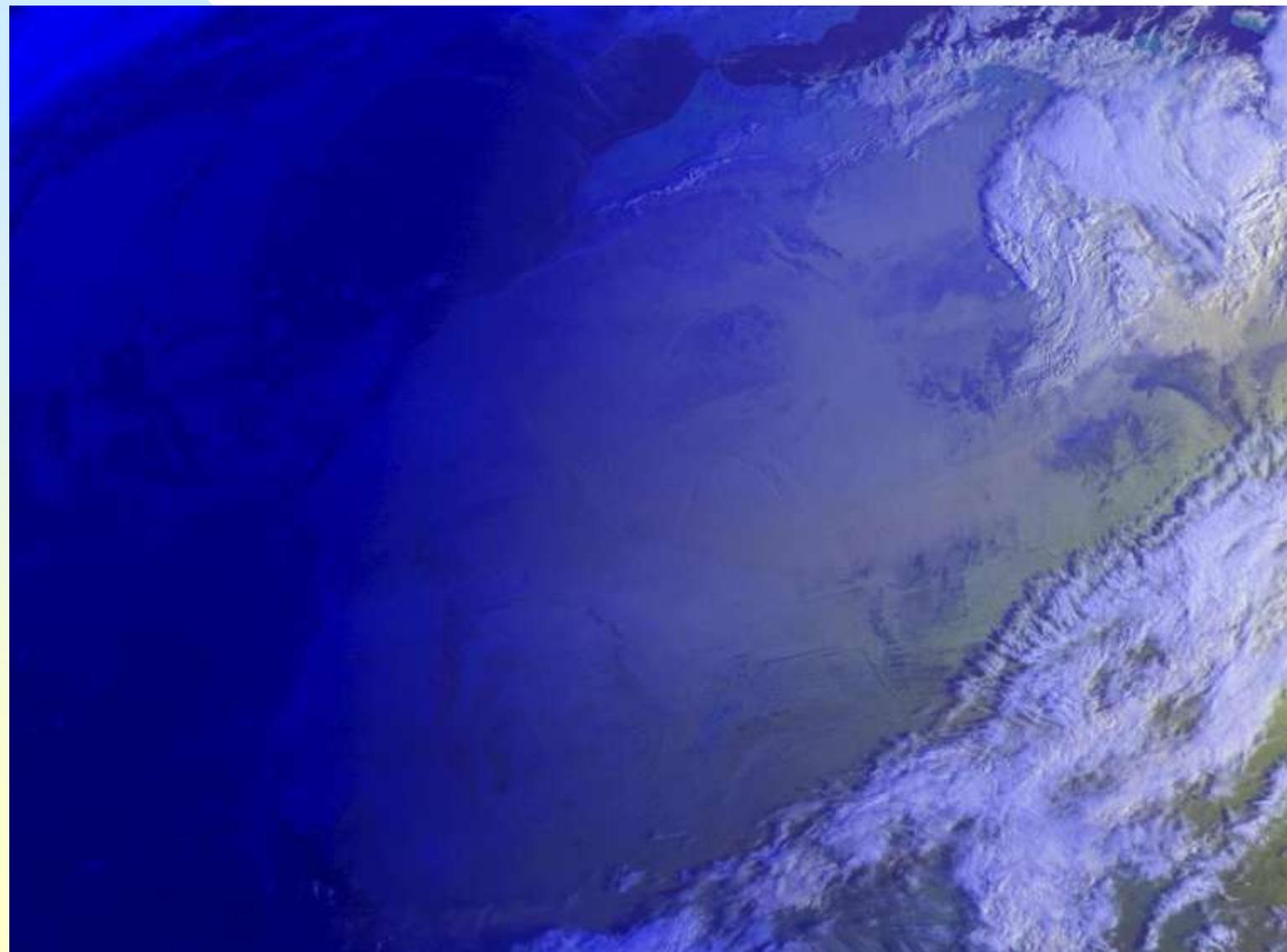


Sensoriamento remoto via satélite



Satélite TIROS e uma das primeiras previsões meteorológicas a partir de imagens de satélite

Sensoriamento remoto via satélite

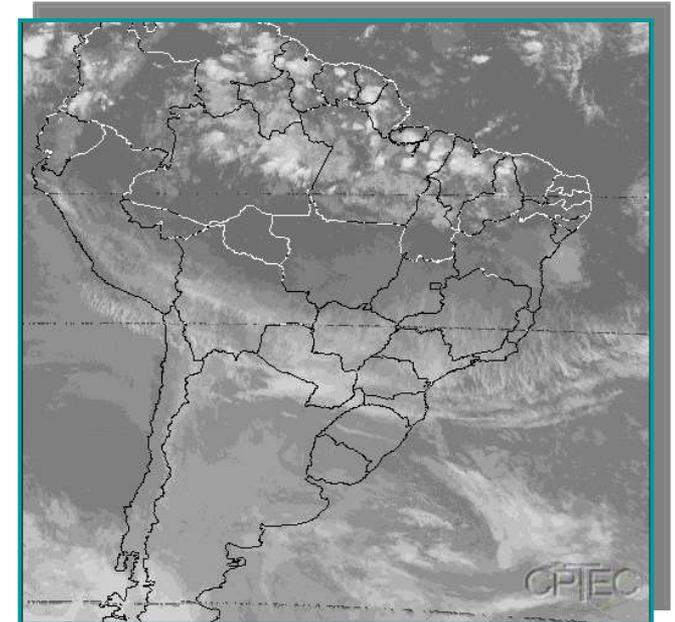
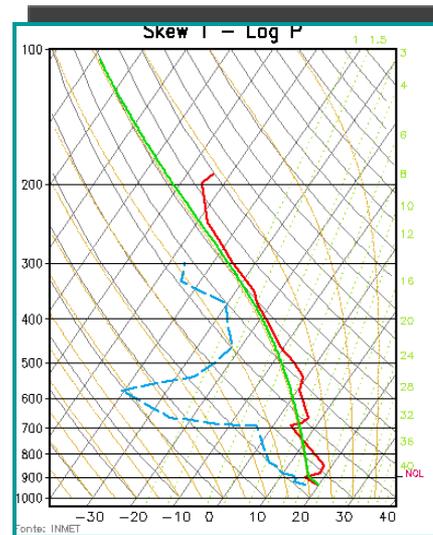
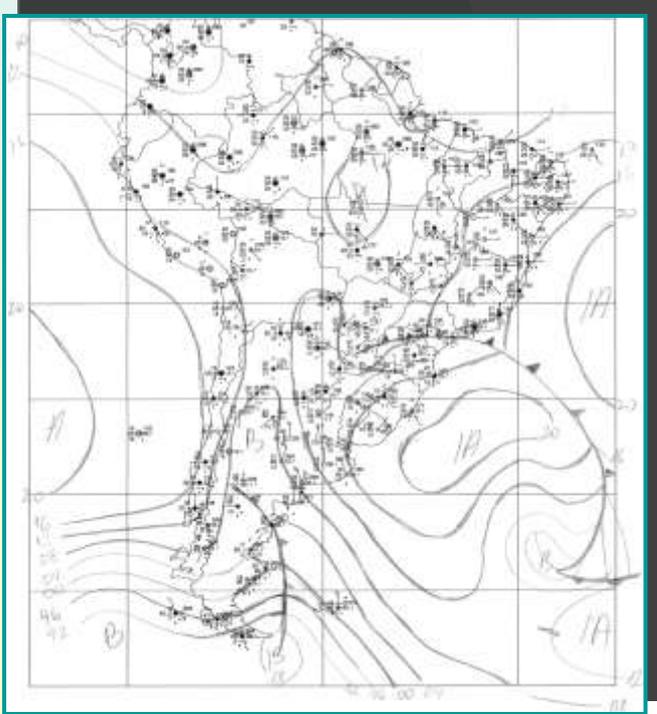


MSG

Meteosat Second Generation

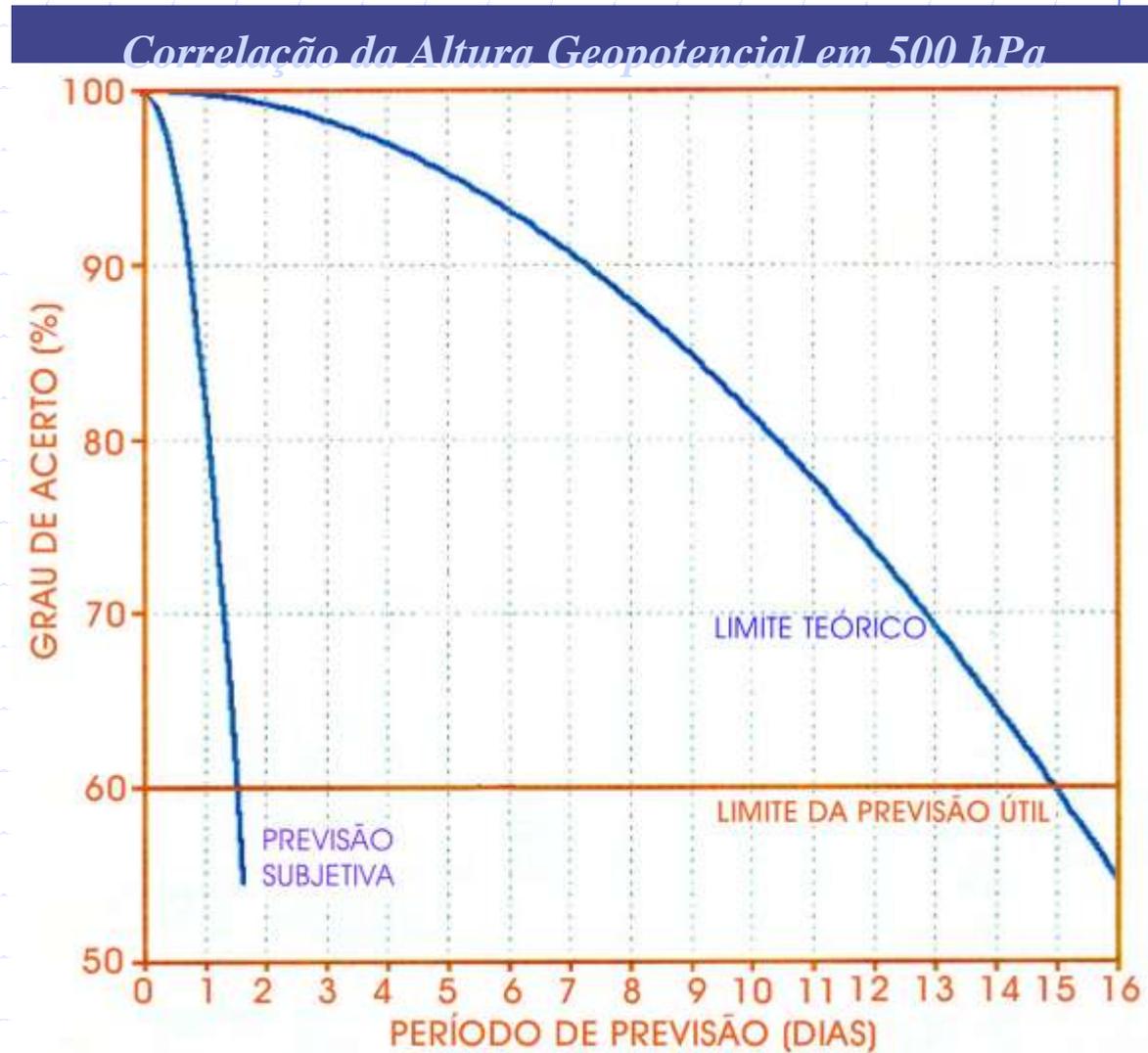
PREVISÃO DE TEMPO (até 1994 - Brasil)

- ★ Dados de superfície coletados através das estações convencionais, sondagens, bóias, navios, etc. e transmitidas via radio teletipo (TELEX).
- ★ Cartas plotadas manualmente (mapa da América do Sul) a cada 3 horas.
- ★ Imagens de satélites impressas em FAXSIMILE
- ★ Informações de radiossondagens (altos níveis).
- ★ Aplicação de regras gráficas para prever o deslocamento dos sistemas principais.
- ★ Recepção de saídas de modelos dinâmicos rodados no exterior

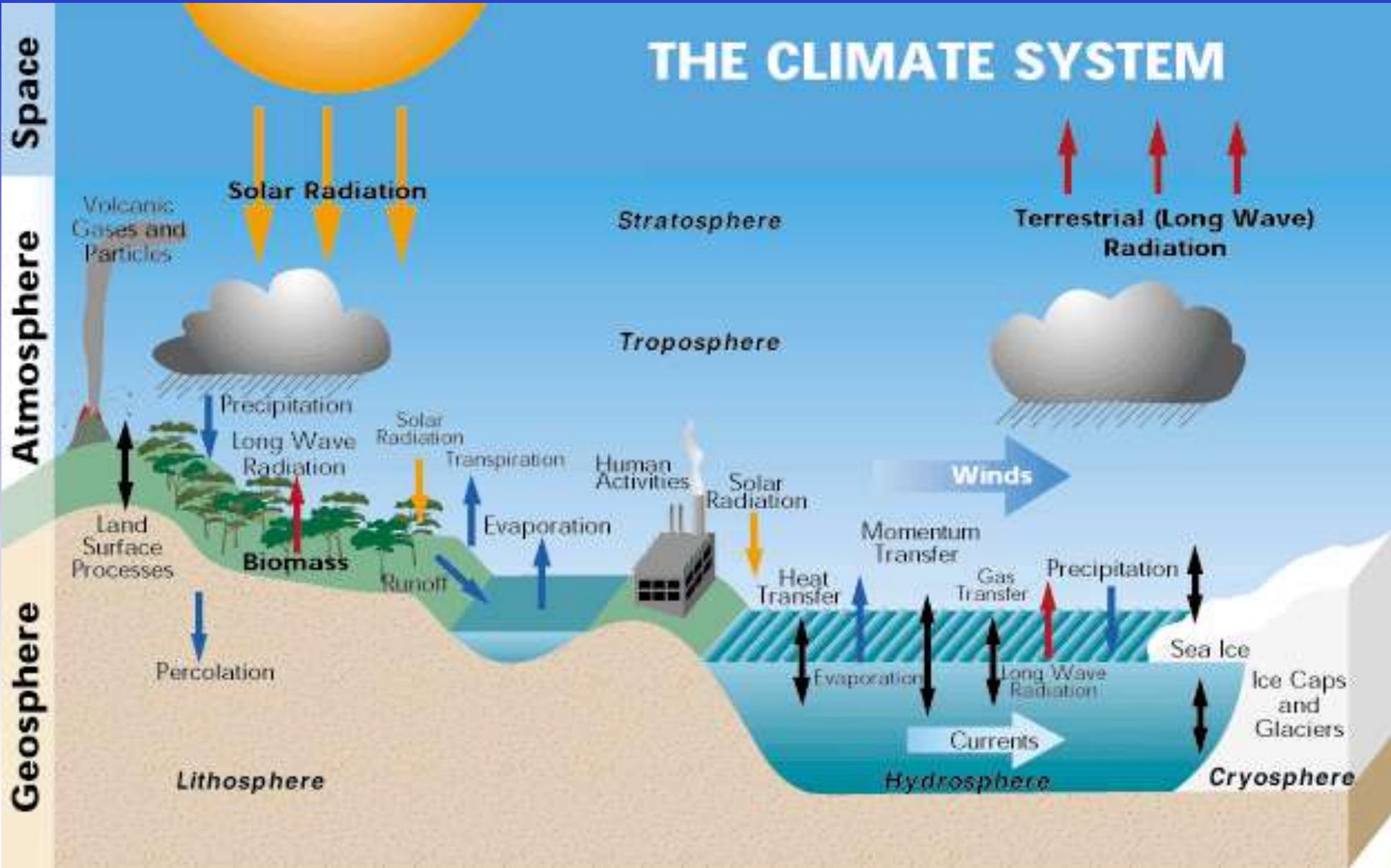


A Meteorologia Operacional do Brasil em 1990

Em 1990, a meteorologia operacional era praticamente a mesma da década de 60; entretanto, as bases para o avanço já vinham sendo construídas também desde a década de 60: o desenvolvimento de uma comunidade científica atuante baseada na Pós-Graduação e ativa colaboração com centros avançados no Exterior.



THE CLIMATE SYSTEM



MODELAGEM NUMÉRICA

Representação aritmética aproximada das equações matemáticas que regem os movimentos da atmosfera e suas interações com a superfície terrestre

Supercomputadores

NEC SX-6



768 bilhões de
contas por
segundo

NEC SX-3



NEC SX-4



CENAPAD Ambiental



Tupã

Com velocidade máxima de 258 Teraflops, equivalente a 258 trilhões de cálculos por segundo, o Tupã, na época de sua instalação, era o 29º mais rápido supercomputador do mundo, de acordo com a lista Top 500 - Novembro de 2010, e o 3º mais poderoso entre os supercomputadores dedicados à previsão numérica operacional de tempo e de clima sazonal.



Modelo Numérico Atmosférico (Oceânico)

“Código computacional complexo (mais de 150 mil linhas de instrução), com representações numéricas aproximadas das equações matemáticas que representam as Leis da Física, as quais governam os movimentos na atmosfera (oceanos) e as interações com a superfície”

“Atmosfera é dividida em alguns milhões de volumes discretos (~20 km x 20 km x 0,5 km) e, em cada um desses volumes, computa-se a temperatura e umidade do ar, vento e pressão para instantes de tempo futuros (previsão)”.

Sistema de equações em coordenada η

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} \mathbf{v} \right) + \nabla_{\eta} \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} \mathbf{v} \mathbf{v} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} \dot{\eta} \mathbf{v} \right) + \frac{\partial p}{\partial \eta} \left(f \mathbf{k} \times \mathbf{v} + \nabla_{\eta} \Phi + \frac{R_d T_v}{p} \nabla_{\eta} p + F \right) = 0$$

$$\omega \equiv \frac{dp}{dt} = - \int_0^{\eta} \nabla \cdot \left(\mathbf{v} \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) d\eta + \mathbf{v} \cdot \nabla p$$

Mov Vert

Momento

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \eta} = - \frac{R_d T_v}{p} \frac{\partial p}{\partial \eta}$$

Hidrost

$$\frac{dT}{dt} + \kappa \frac{T \omega}{p} = 0$$

$k = R/C_p$

Termod

$$\frac{dq}{dt} + q' = S$$

$$\frac{1}{\eta_s} \frac{\partial p_s}{\partial t} + \nabla_{\eta} \cdot \left(\mathbf{v} \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\dot{\eta} \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) = 0$$

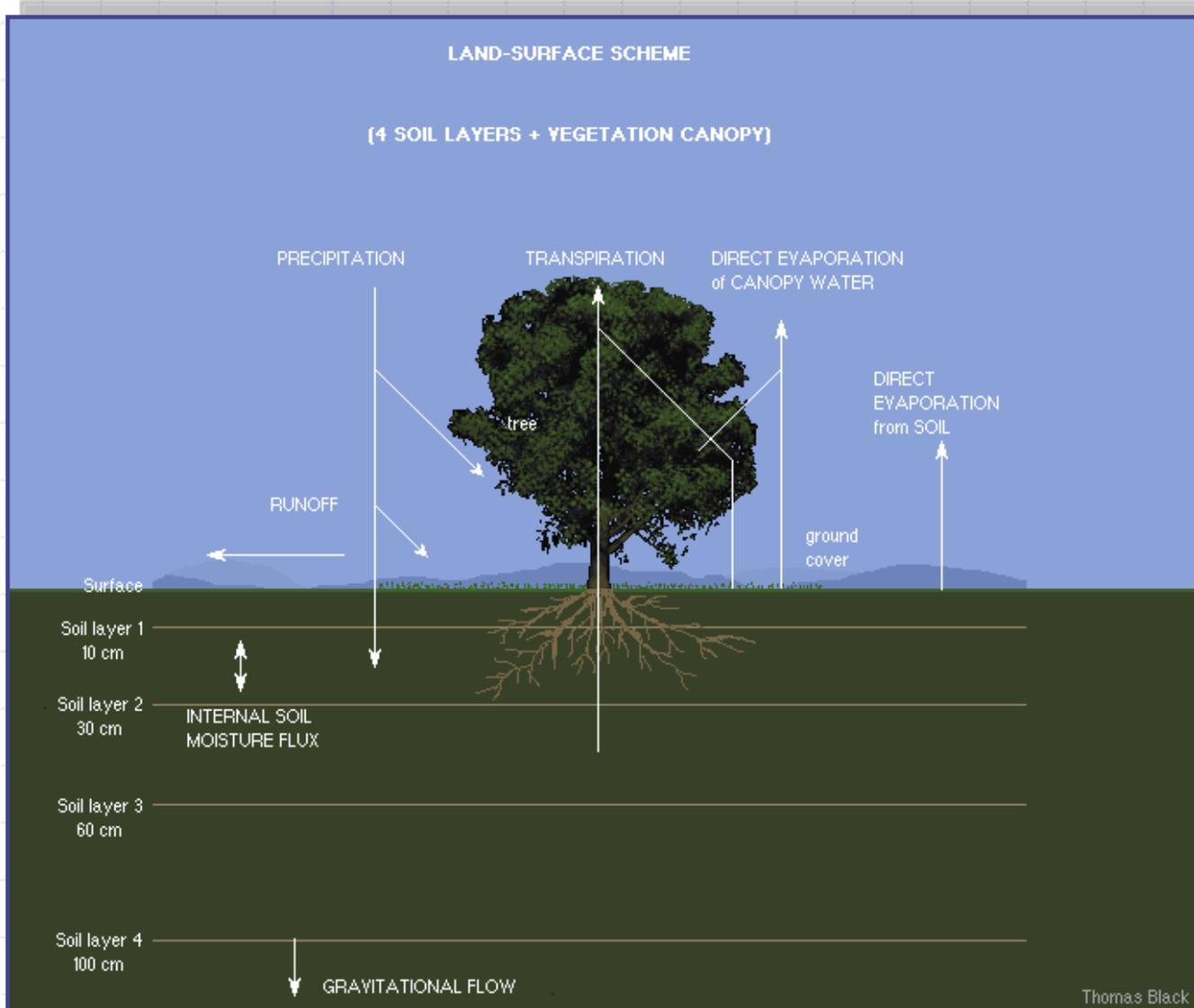
$$\frac{\partial p_s}{\partial t} = - \int_0^{\eta_s} \nabla_{\eta} \cdot \left(\mathbf{v} \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) d\eta$$

Continuidade

$$\dot{\eta} \frac{\partial p}{\partial \eta} = - \frac{\eta}{\eta_s} \frac{\partial p}{\partial t} - \int_0^{\eta} \nabla_{\eta} \cdot \left(\mathbf{v} \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) d\eta$$

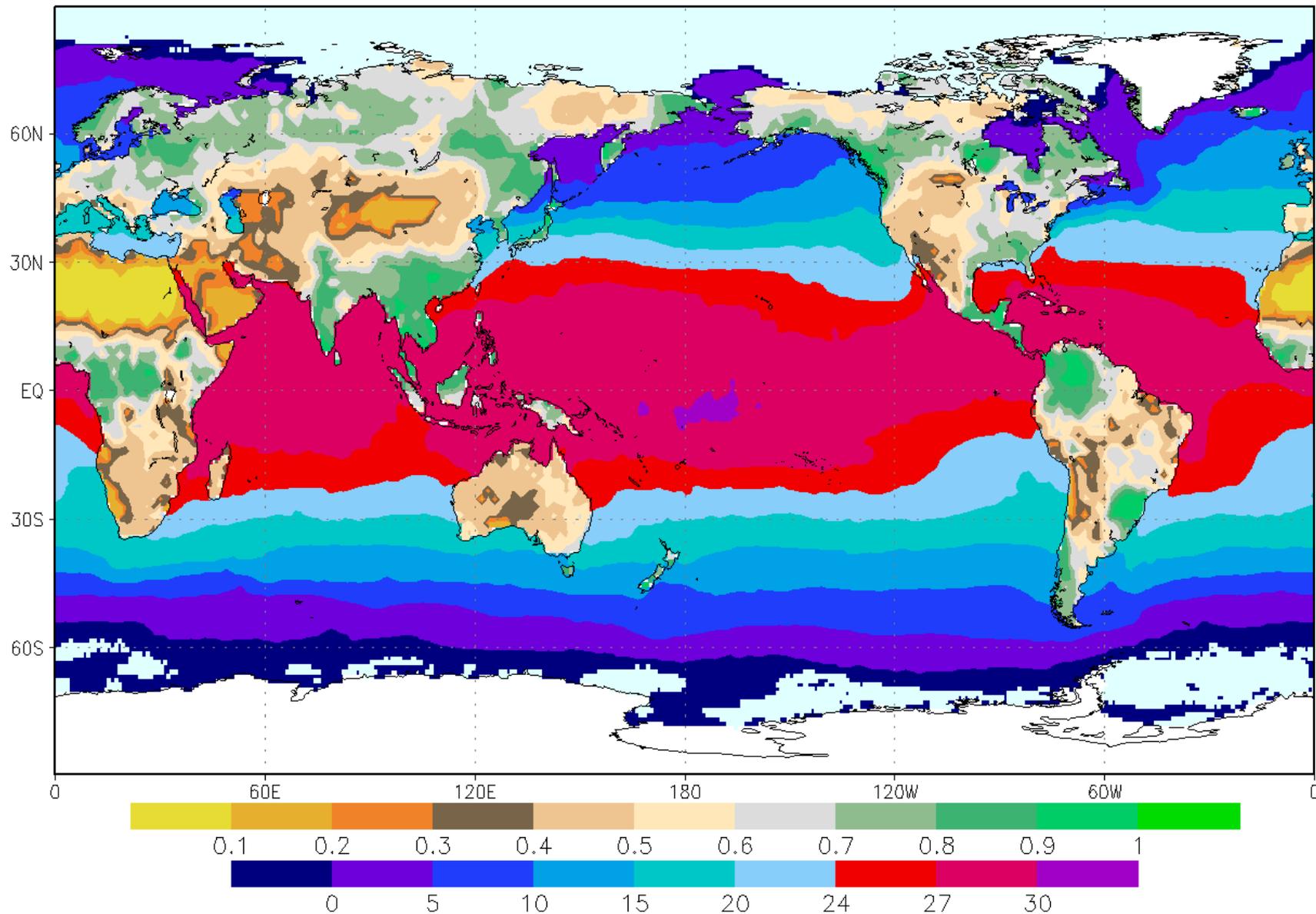
Modelo de solo

OSU Model (Oregon State University)

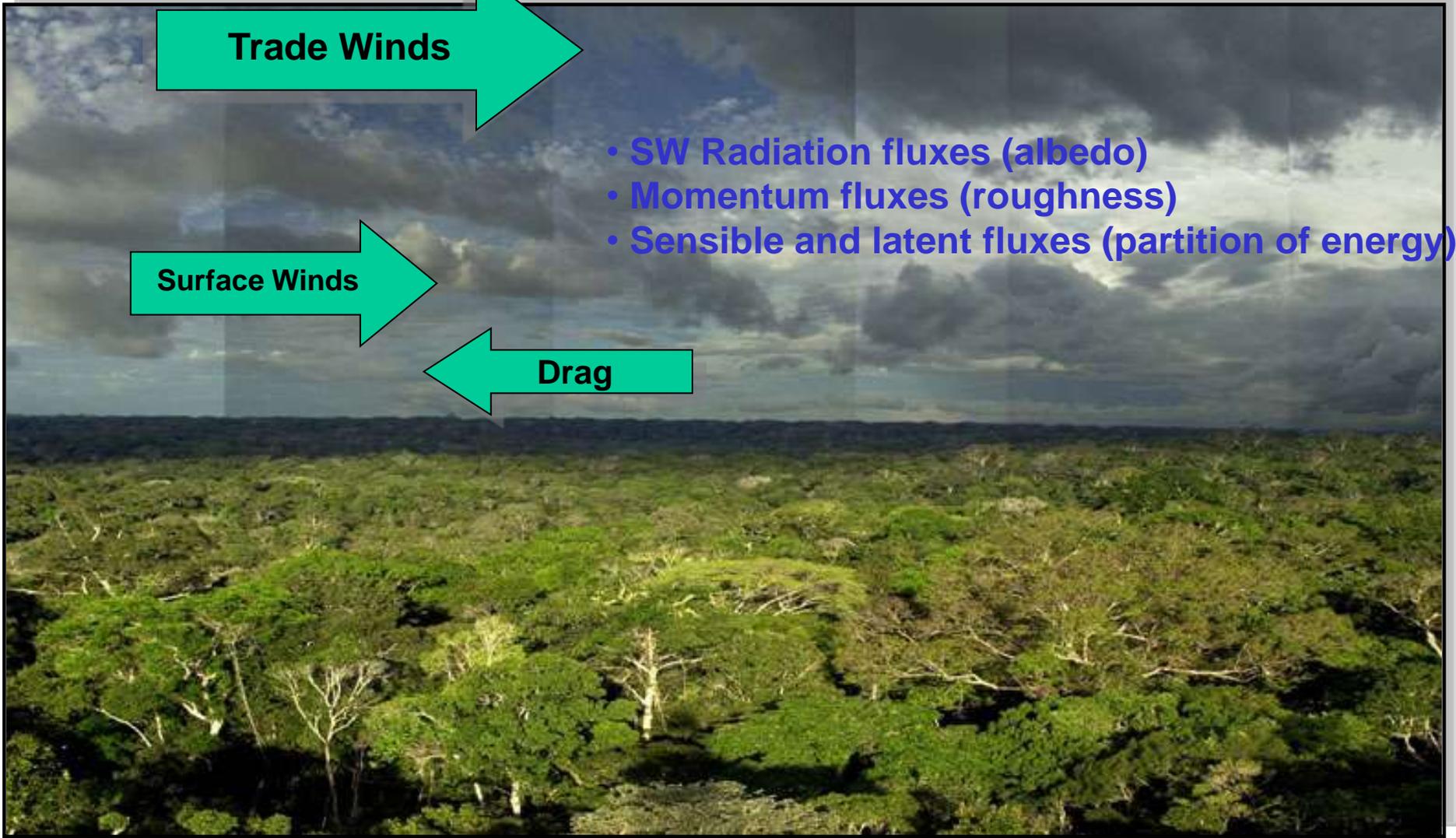


É um modelo de evapotranspiração potencial acoplado a um modelo de solo e a um modelo de canopia vegetal

GOLD soil wetness (fraction) & HADISST SST ($^{\circ}\text{C}$) for November 1997



Vegetation – Atmosphere Interactions at the Surface:



Trade Winds

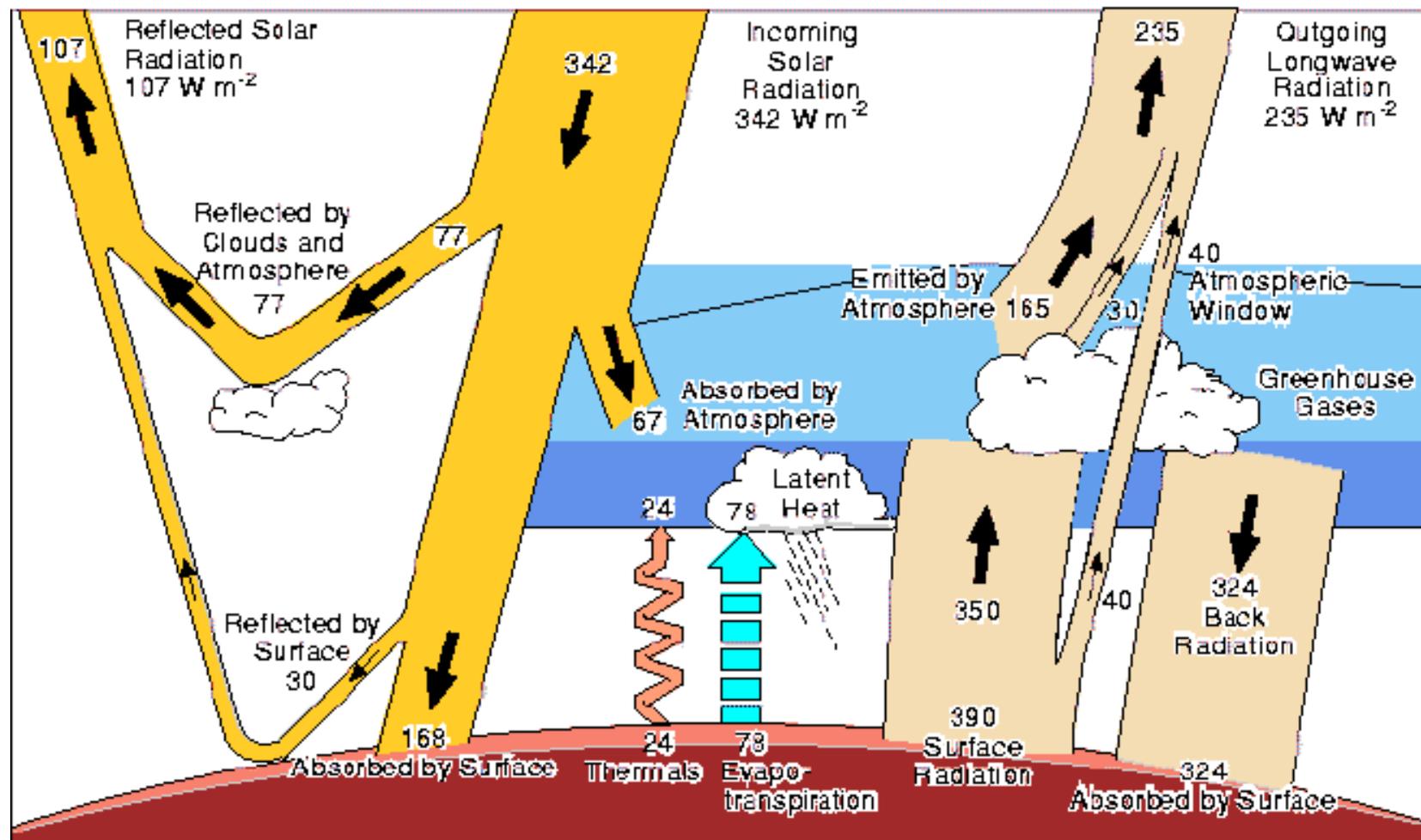
Surface Winds

Drag

- SW Radiation fluxes (albedo)
- Momentum fluxes (roughness)
- Sensible and latent fluxes (partition of energy)

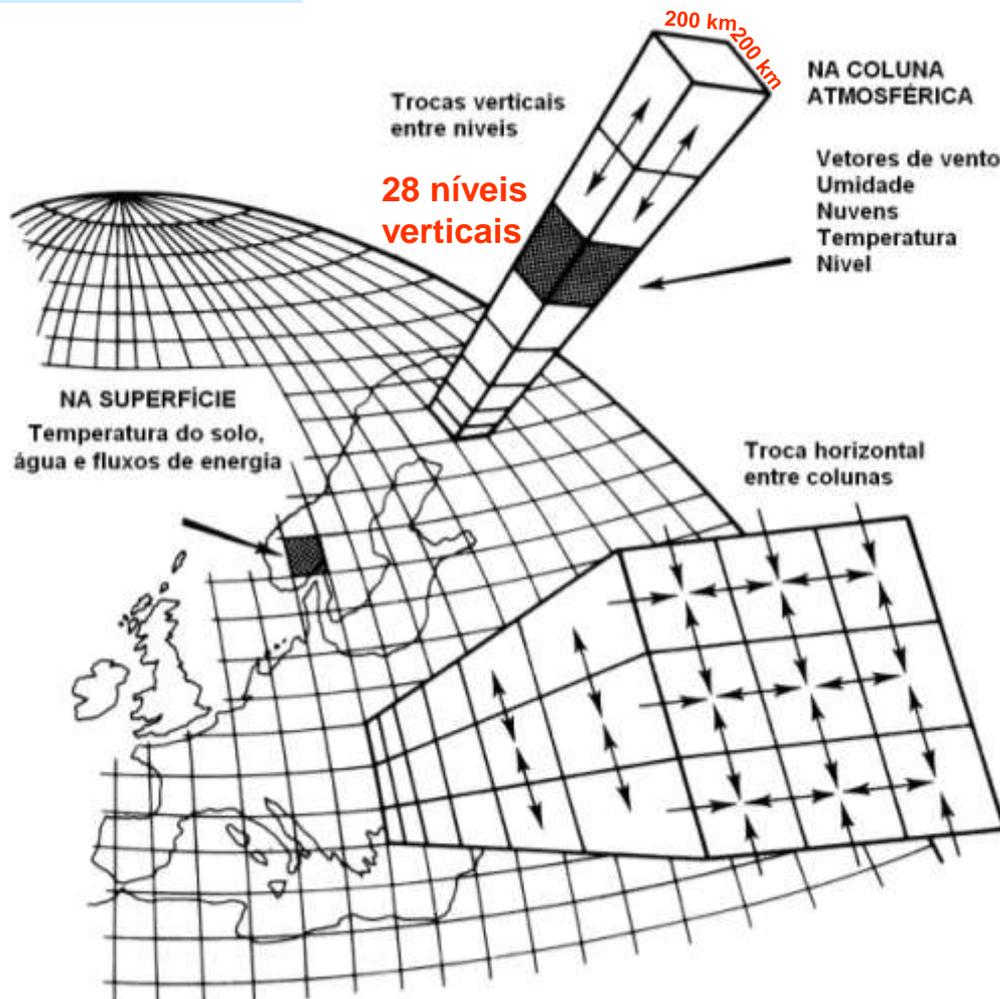
Radiation

Global Heat Flows



Modelo Atmosférico Global

Código computacional (centenas de milhares de linhas de código) que representa aproximações numéricas de equações matemáticas, equações estas representativas das Leis Físicas que regem os movimentos da atmosfera e as interações com a superfície; o cálculo é feito para até 15 dias de previsão.



Número de elementos:

$$2000 \times 1000 \times 64 \times 15 = 1,92 \text{ bilhões}$$

E-W N-S Vertical

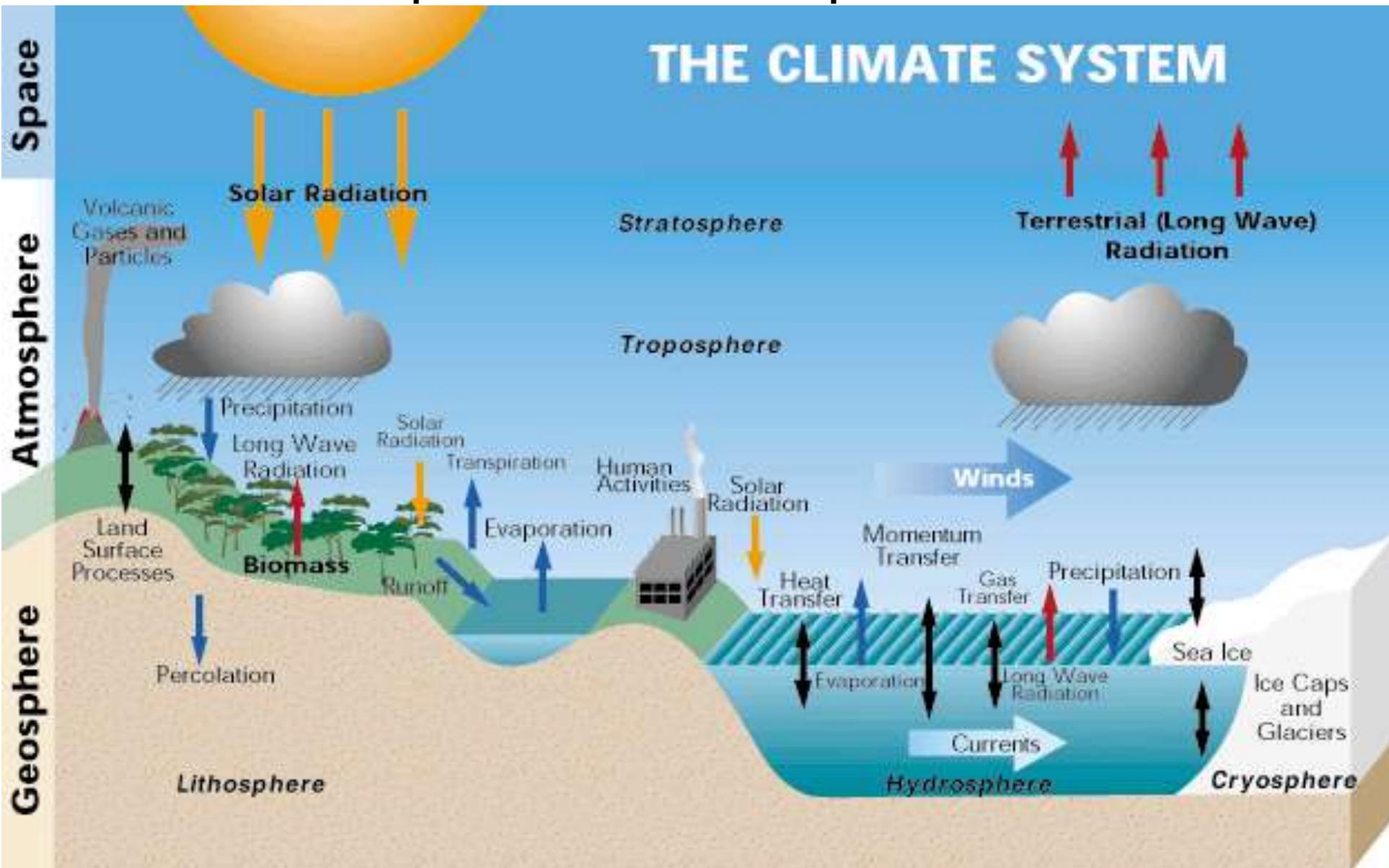
Calcula-se para cada um destes volumes:

Temperatura, umidade, direção e velocidade do vento, altura geopotencial.

Domínio Geográfico



Os modelos devem representar todos os componentes do Sistema Climático



Entretanto, muitos destes componentes não são representados (por exemplo: erupções vulcânicas) ou são representados através de parametrizações.

Modelos climáticos – são códigos computacionais baseados nas equações matemáticas fundamentais do movimentos, termodinâmica e transferência radiativa.

Os modelos climáticos são extensões dos modelos de previsão de tempo.

Estas equações governam:

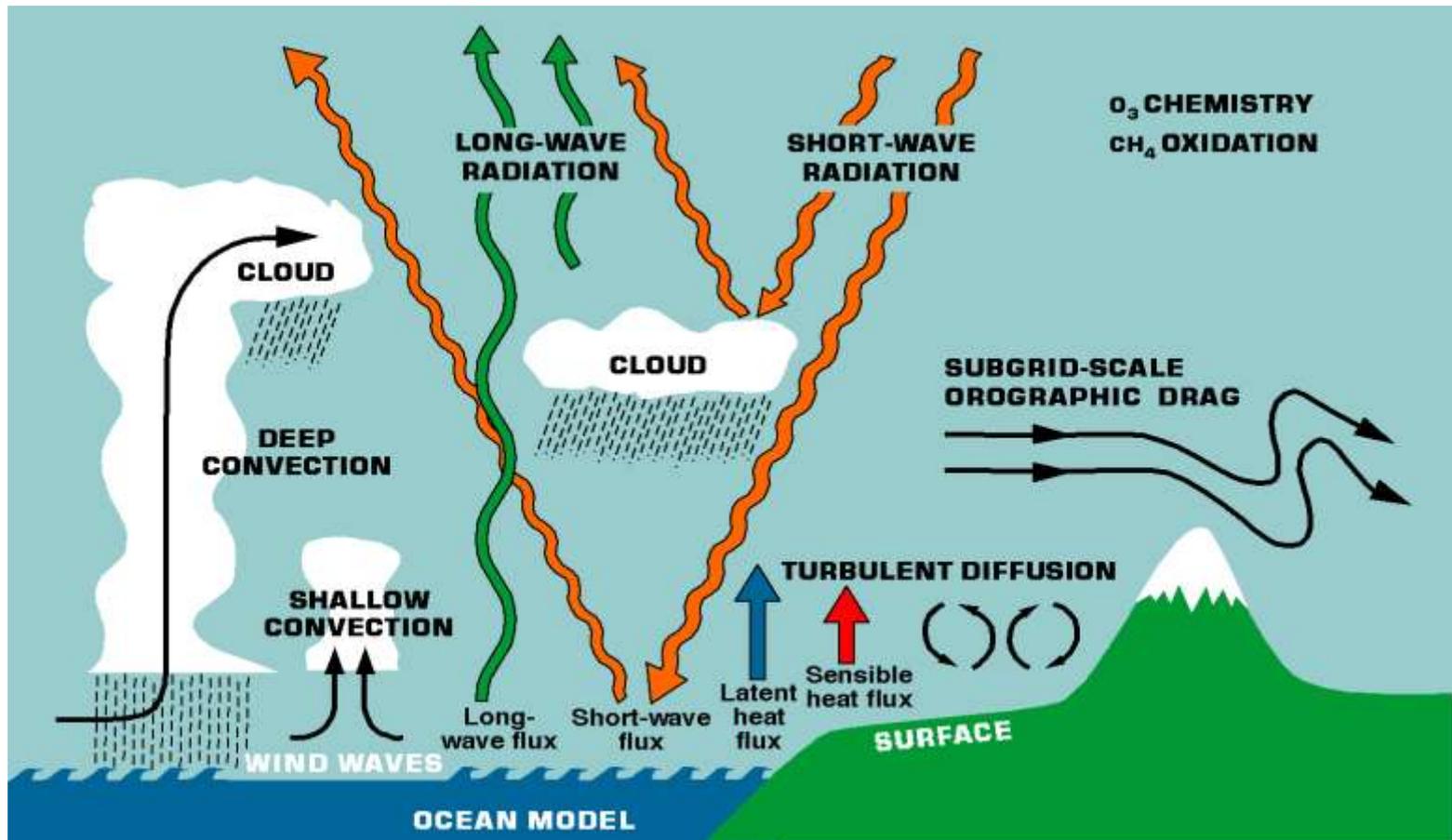
- Fluxos de ar e água – ventos na atmosfera, correntes nos oceanos.
- Trocas de calor, água e momentum entre a atmosfera e a superfície terrestre.
- Liberação de calor latente por condensação durante a formação de nuvens e gotas de chuva.
- Absorção da radiação solar e emissão da radiação térmica (infravermelha).

Processos que ocorrem na escala sub-grid são modelados por **parametrizações**.

Tais parametrizações podem contribuir para incertezas!

Parametrizações físicas nos modelos atmosféricos

Processos que não são explicitamente representados pelas variáveis básicas dinâmicas e termodinâmicas nas equações básicas (dinâmica, continuidade, termodinâmica, equação do estado) na grade do modelo precisam ser incluídas por parametrizações.



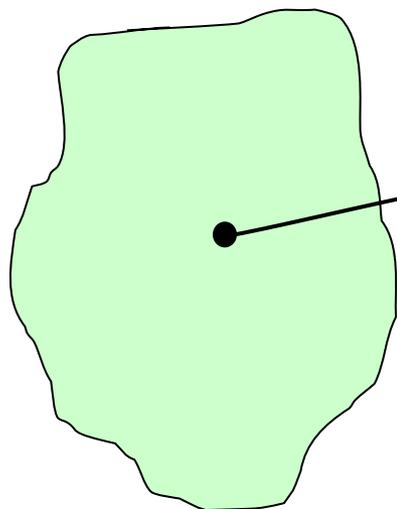
Fontes de incertezas



- Erros sistemáticos dos modelos acoplados
- Modelos não acoplados não são apropriados para simular a Natureza em algumas regiões/estações: **O CLIMA É UM PROCESSO ACOPLADO.**
- As respostas da atmosfera não são lineares
- Distinção entre as diversas variabilidades do sistema climático.
- Parametrizações – o ideal é representar explicitamente os processos físicos.
- Condições iniciais e de contorno provenientes das observações: melhorar resoluções espaciais e temporais e utilização de novas aplicações de satélites.
- IPCC 2007: Os modelos usados até agora não abrangem as incertezas no processo de realimentação entre o clima e o ciclo do carbono nem compreendem todos os efeitos das mudanças no fluxo do manto de gelo, porque falta uma base nas publicações científicas.

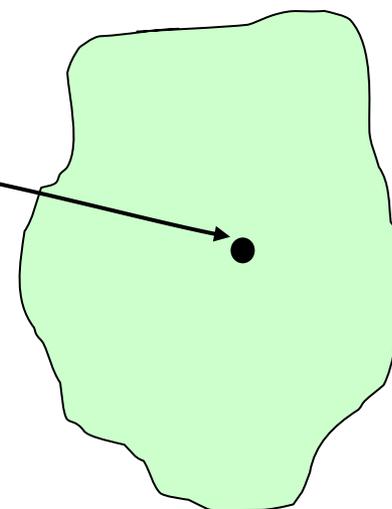
PREVISÃO DE TEMPO

Condição Inicial



**Observações
Meteorológica**

Condição Final



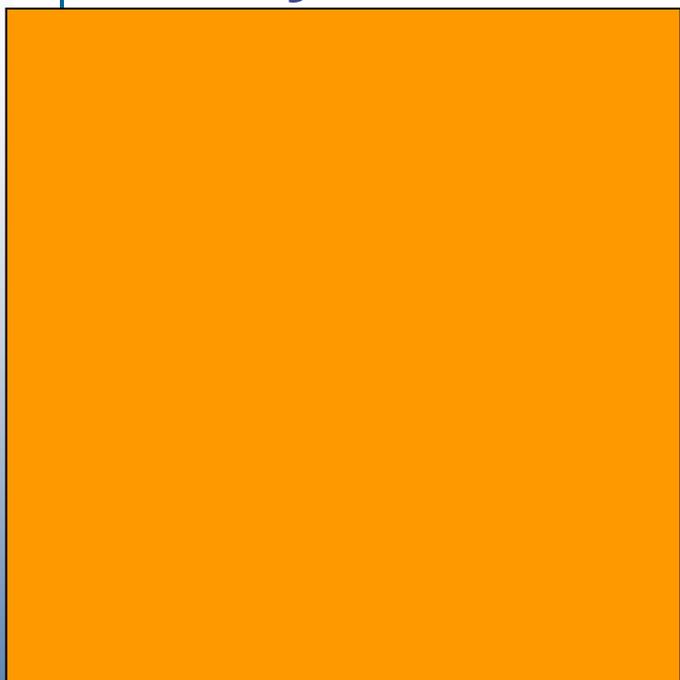
Previsão

Modelo Numérico de

Previsão de Tempo

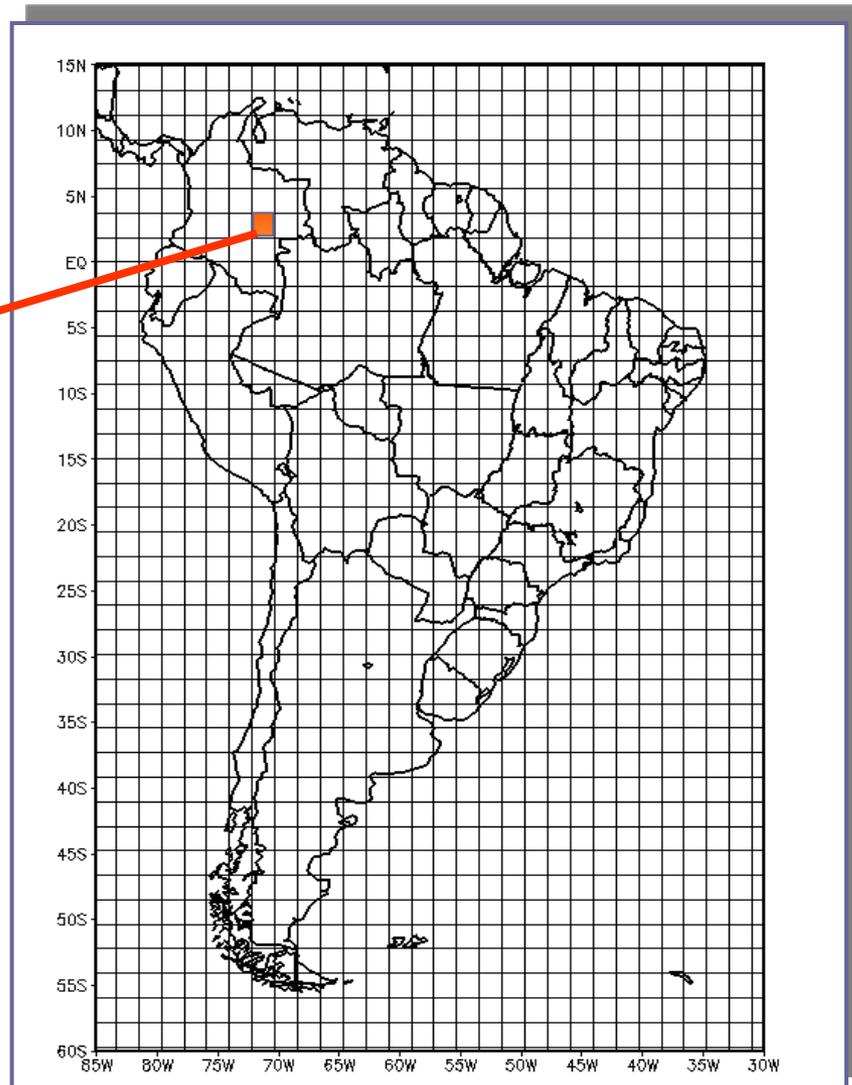


Evolução da Resolução do Modelo Global do CPTEC



200 km
1994-SX3

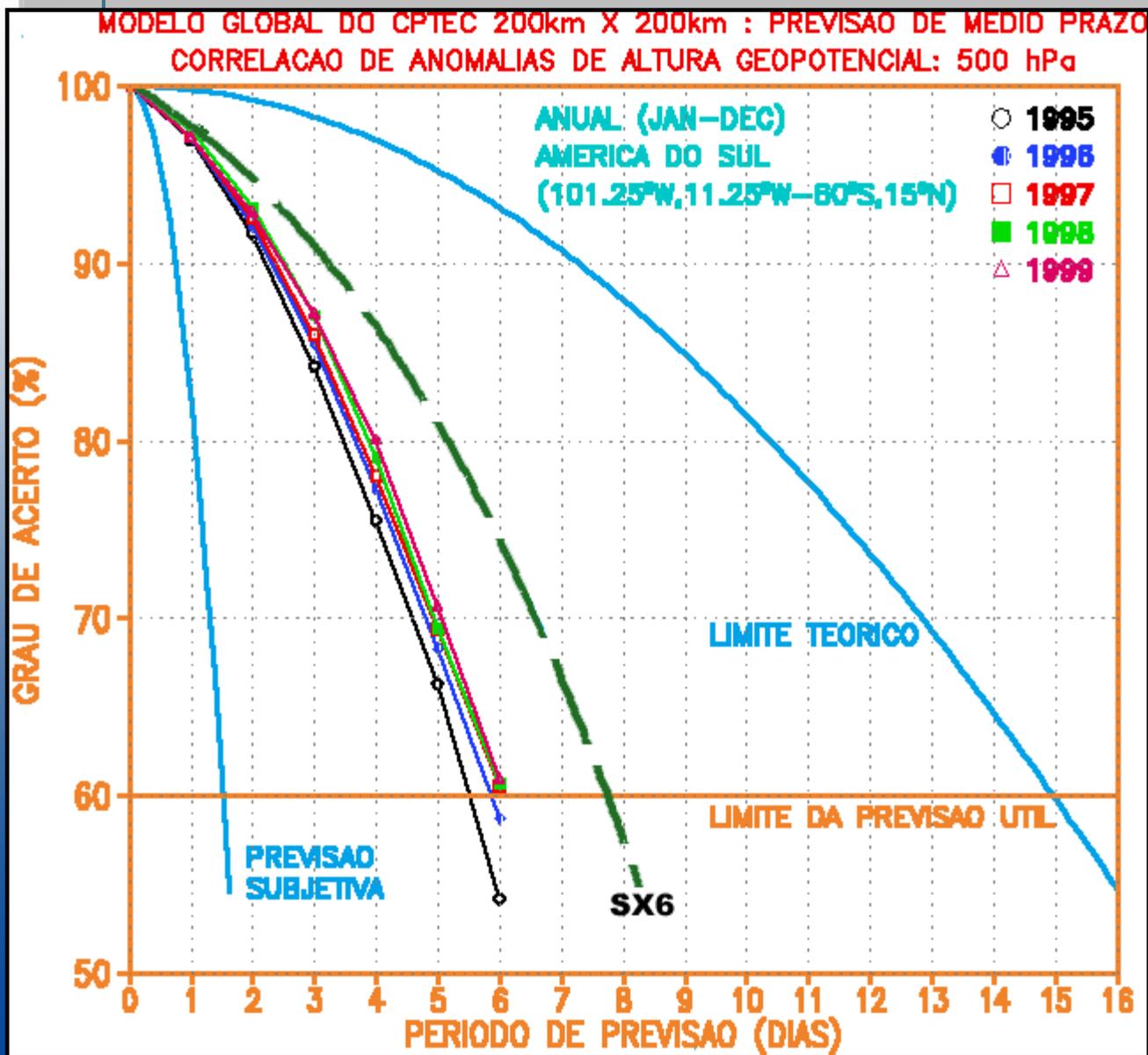
200 km



2017 – 18 km – global
1 km – regional



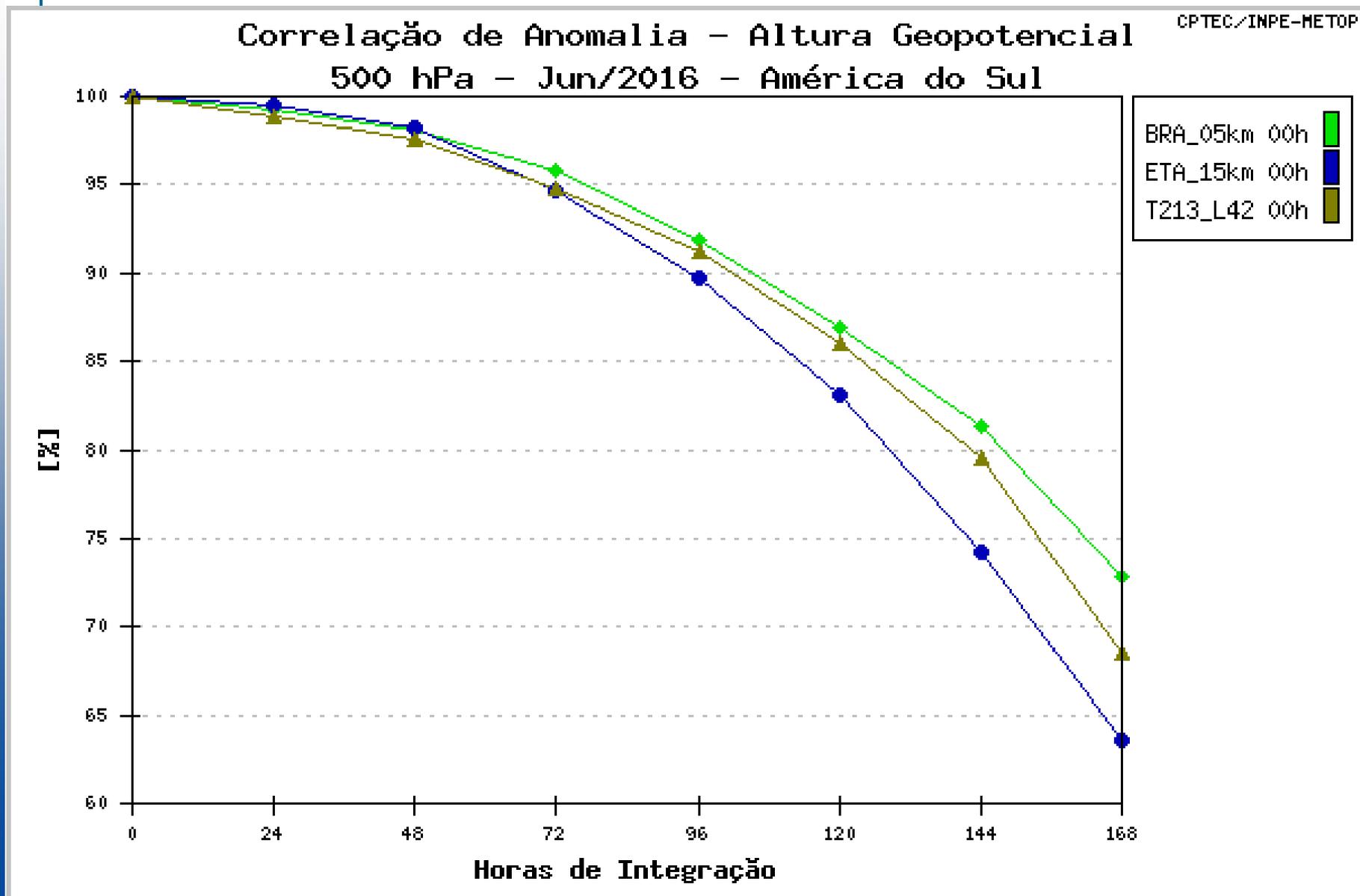
Grau de Acerto das previsões do Modelo Global do CPTEC



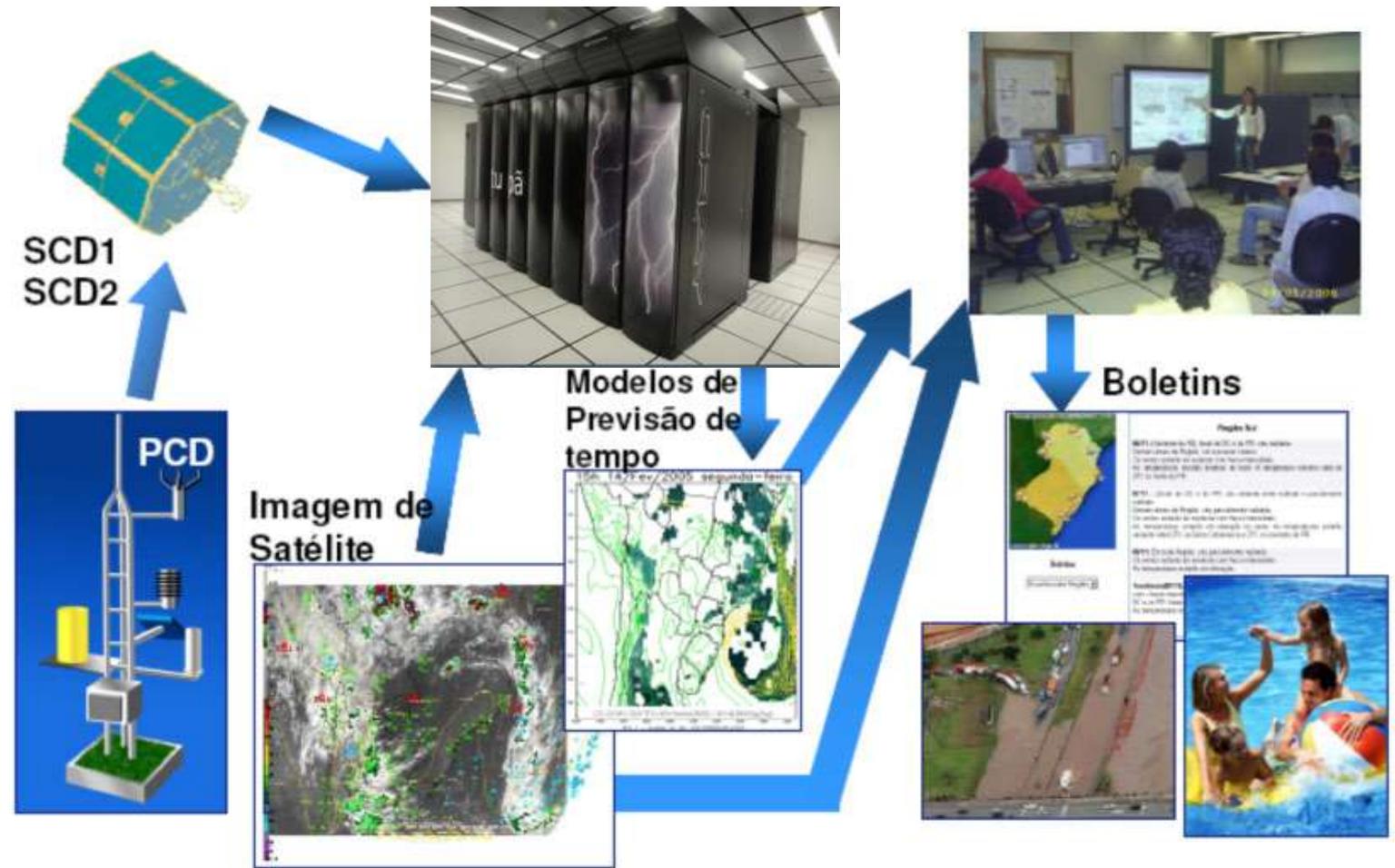
CPTEC apresenta índices de acerto comparáveis aos maiores Centros de Previsão do Mundo



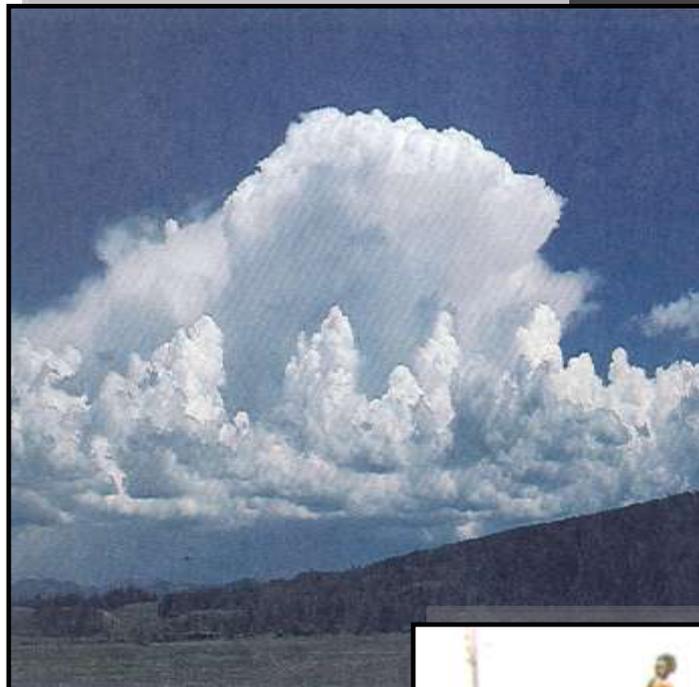
Grau de Acerto das previsões do Modelo Global do CPTEC



Sistema de Previsão de Tempo do CPTEC



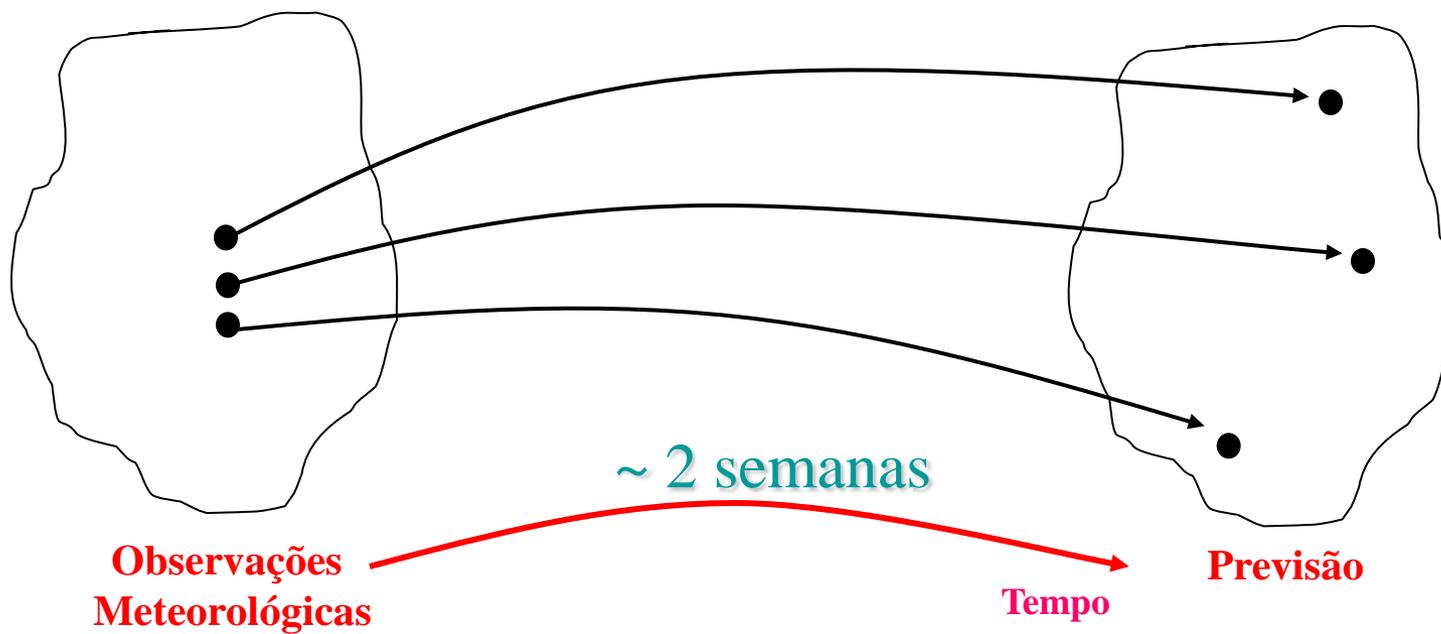
- Sistemas de escala pequena
- Sistemas de desenvolvimento rápido
- Nível de detalhamento espacial e temporal
- Prazo
- Intensidade dos fenômenos
- Tipos de fenômenos/épocas do ano/região



A atmosfera é
CAÓTICA
para prazos de
previsão superiores a
cerca de 2 semanas.

Condição Inicial

Condição Final



PARADOXO APARENTE DA PREVISÃO

- “As flutuações atmosféricas são caóticas (imprevisíveis) em escalas de tempo superiores a 2 semanas”

mas

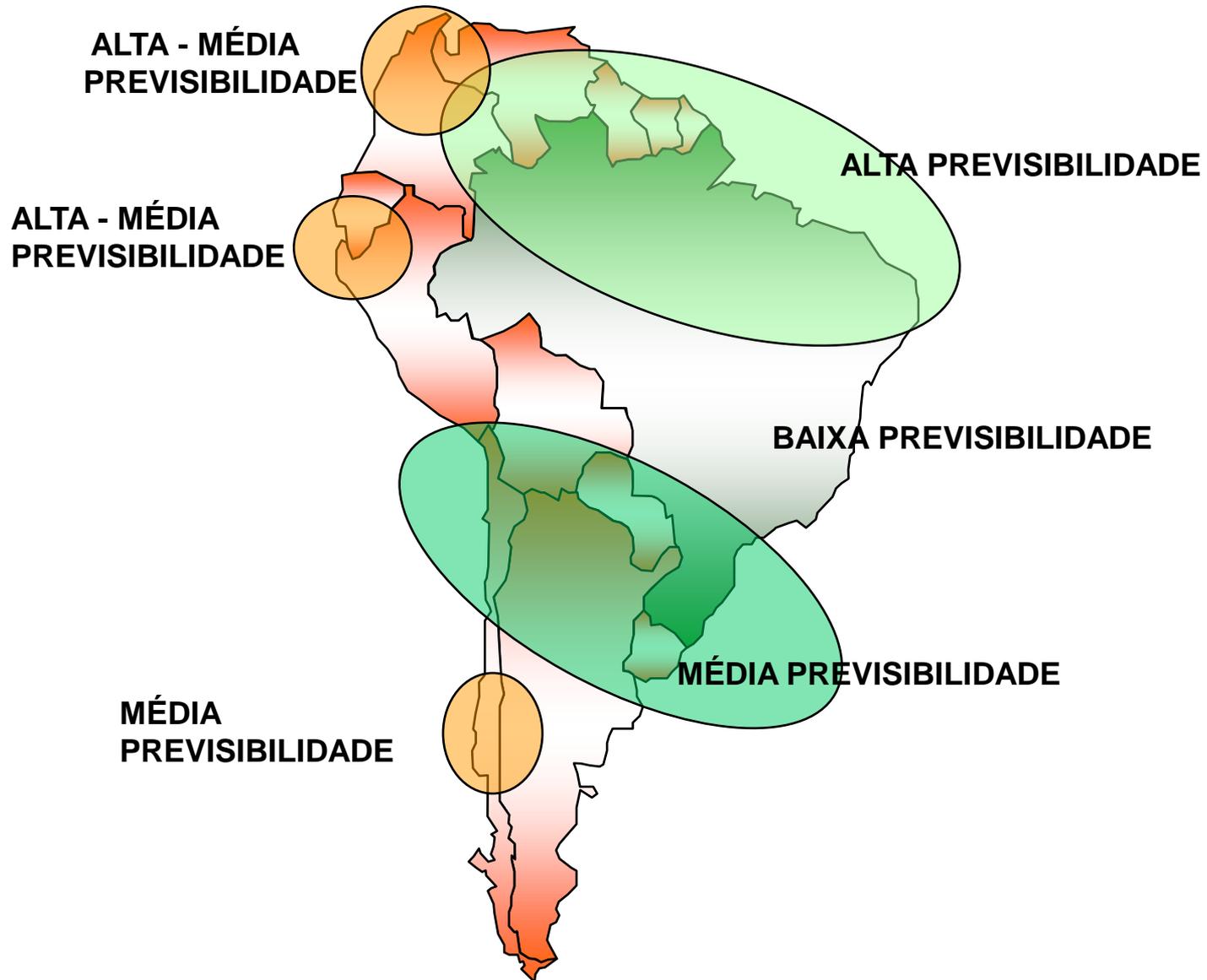
- “Para algumas regiões do planeta, principalmente tropicais, o **estado médio** da atmosfera (clima) é previsível com meses de antecedência”

Porque?

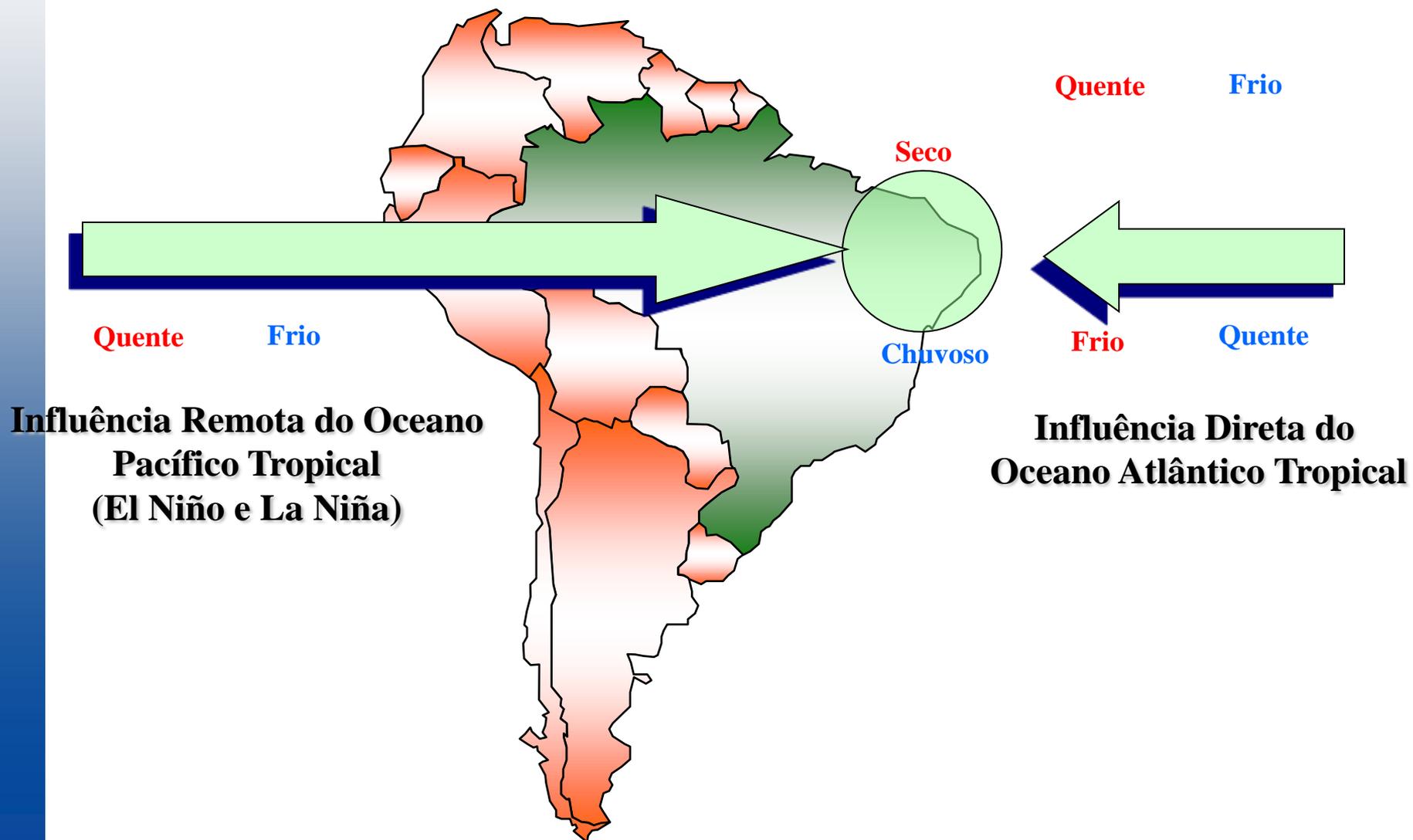
REFERENCIAL TEÓRICO PARA PREVISÃO CLIMÁTICA SAZONAL

“O estado médio da atmosfera é previsível para aquelas regiões onde as variações climáticas sazonais são controladas pelas lentas variações das temperaturas da superfície dos oceanos tropicais”

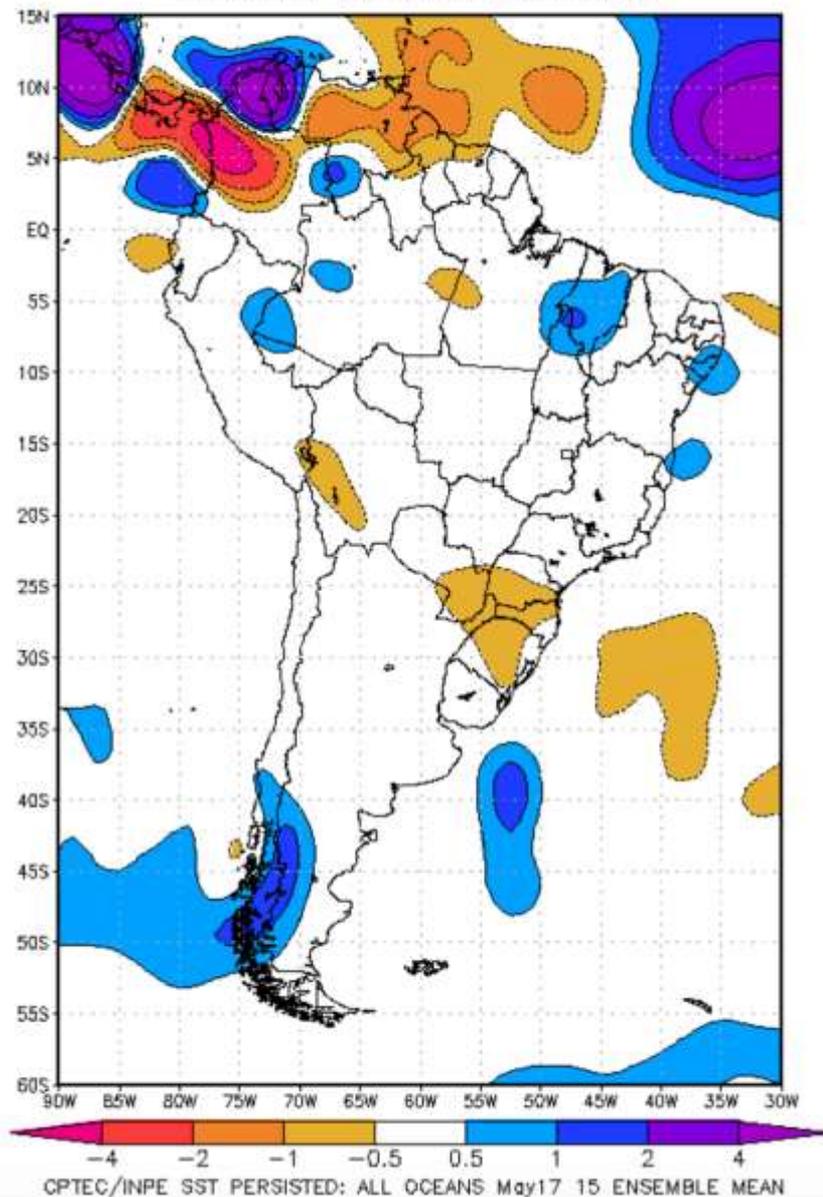
Previsibilidade Climática Sazonal



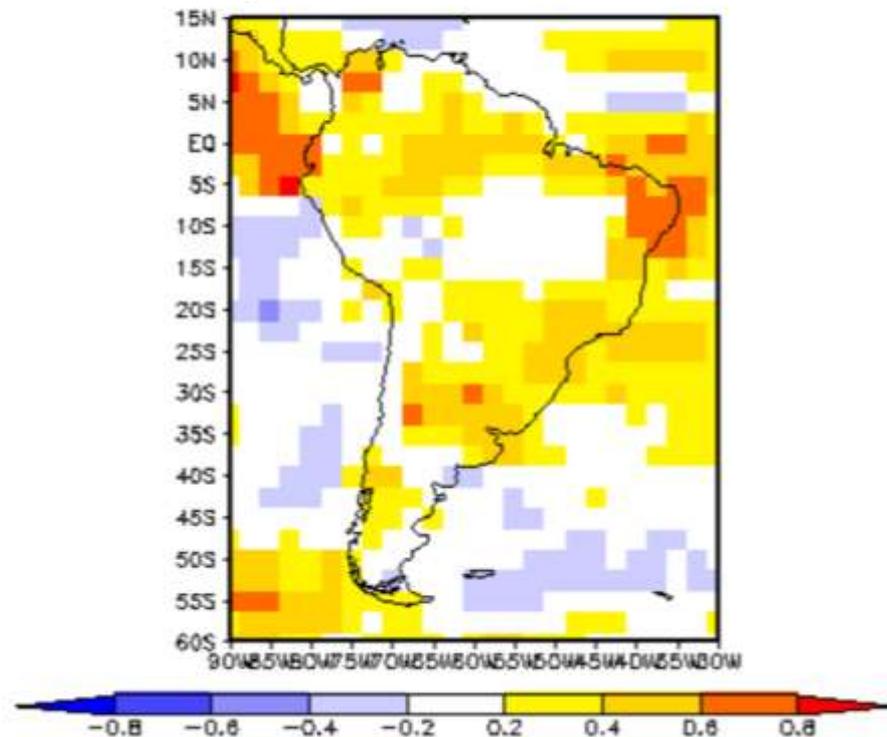
PREVISIBILIDADE CLIMÁTICA SAZONAL PARA O NORTE DO NORDESTE



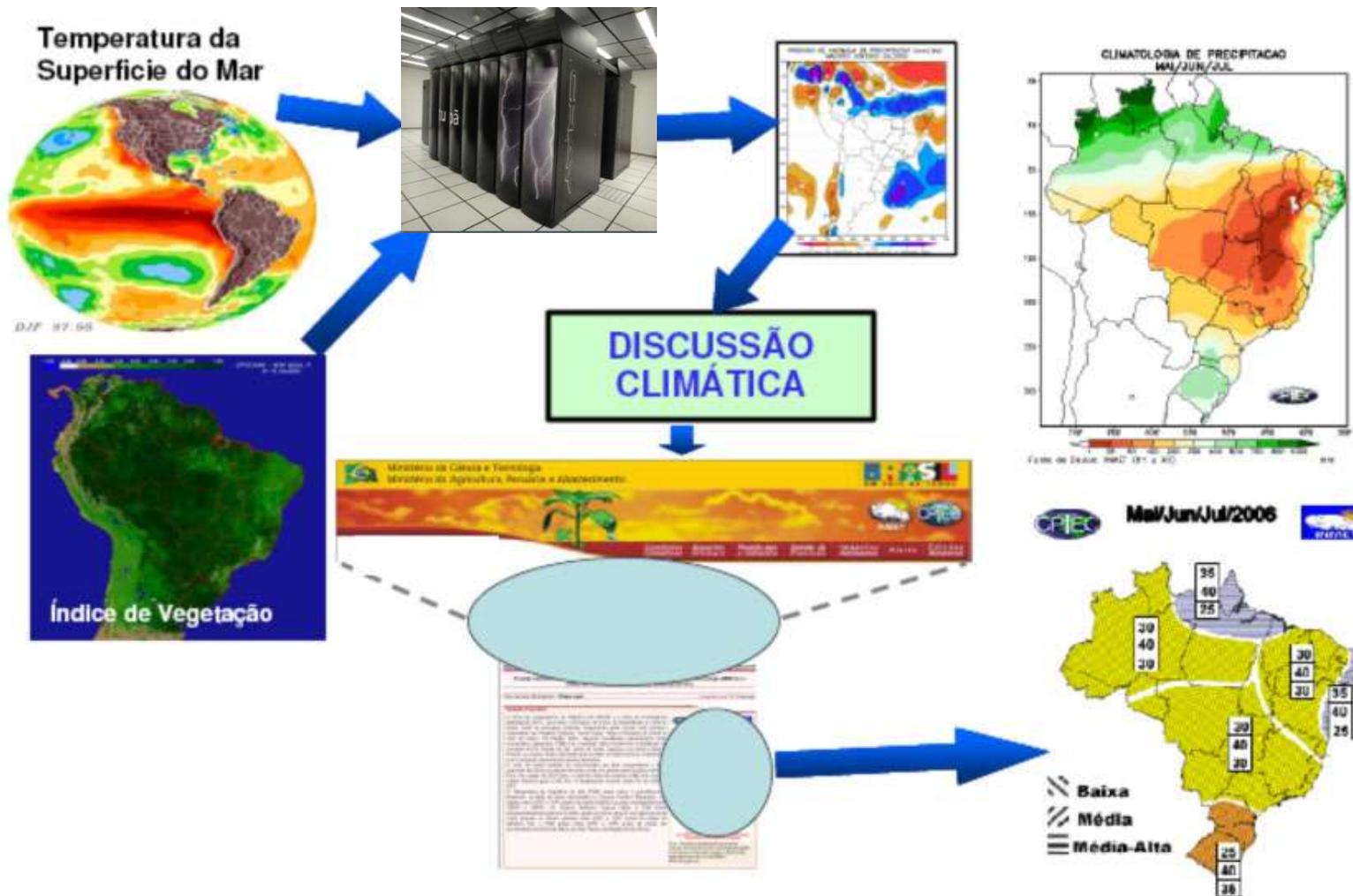
ANOMALY PRECIPITATION (mm/day) - kuo
 JUL2017 AUG2017 SEP2017



Correlation between forecast and obs. anomaly
 CPTEC: Precipitation (1979-2001) - Data: GPCP V 2.1
 Issued: Jun Valid for JAS
 Region: South America



Sistema de Previsão Climática Sazonal do CPTEC



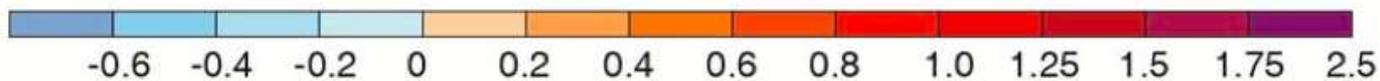
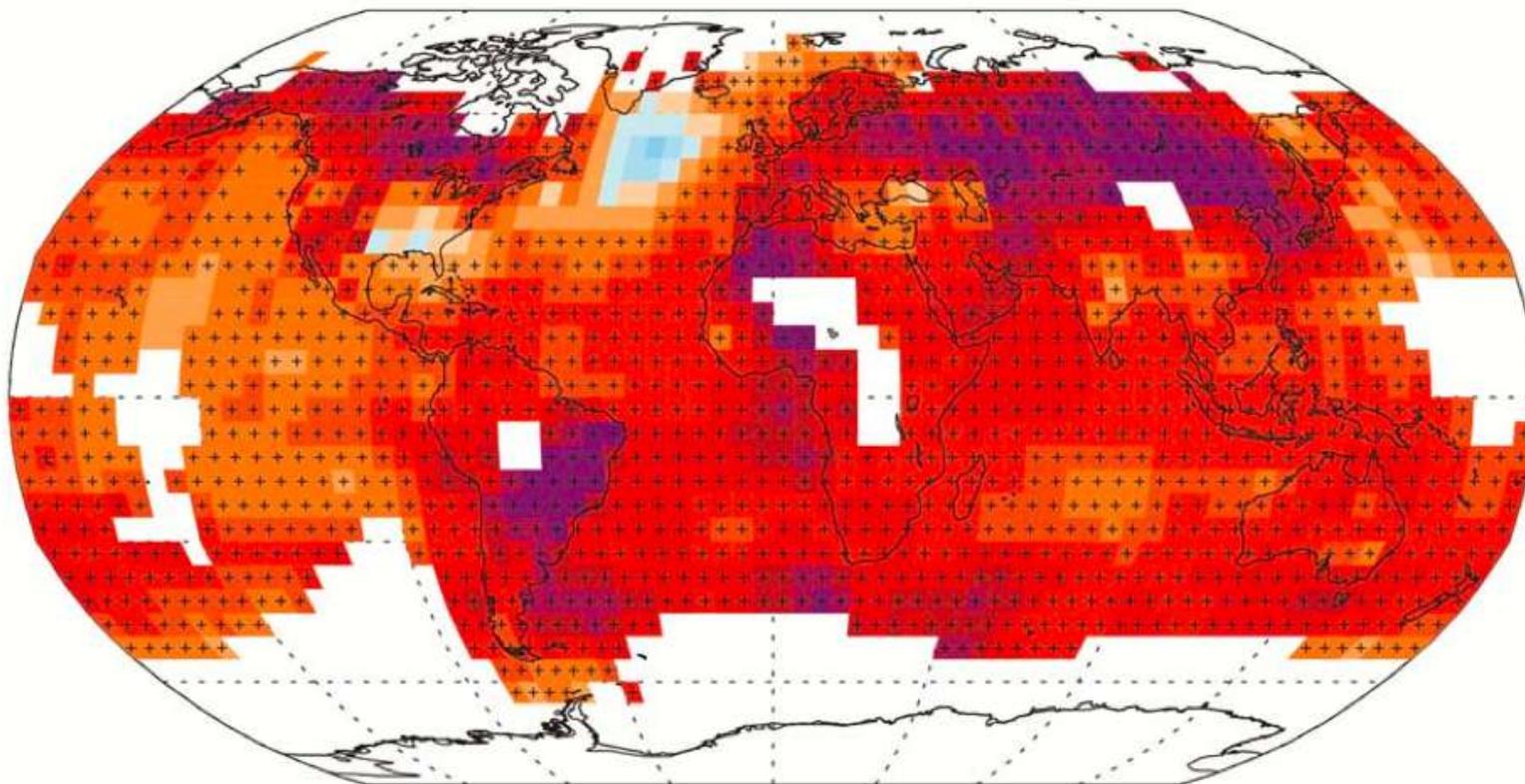
Limitações da Previsão Climática



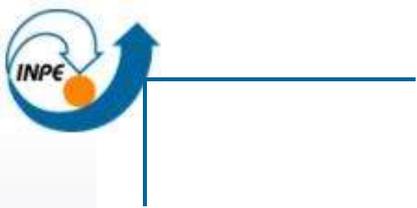
- **Nível de detalhamento Espacial e temporal**
- **Prazo**
- **Intensidade dos fenômenos**
- **Tipos de fenômenos/épocas do ano/região**



Mudança observada na temperatura média entre 1901 e 2012



Tendência (°C no período)

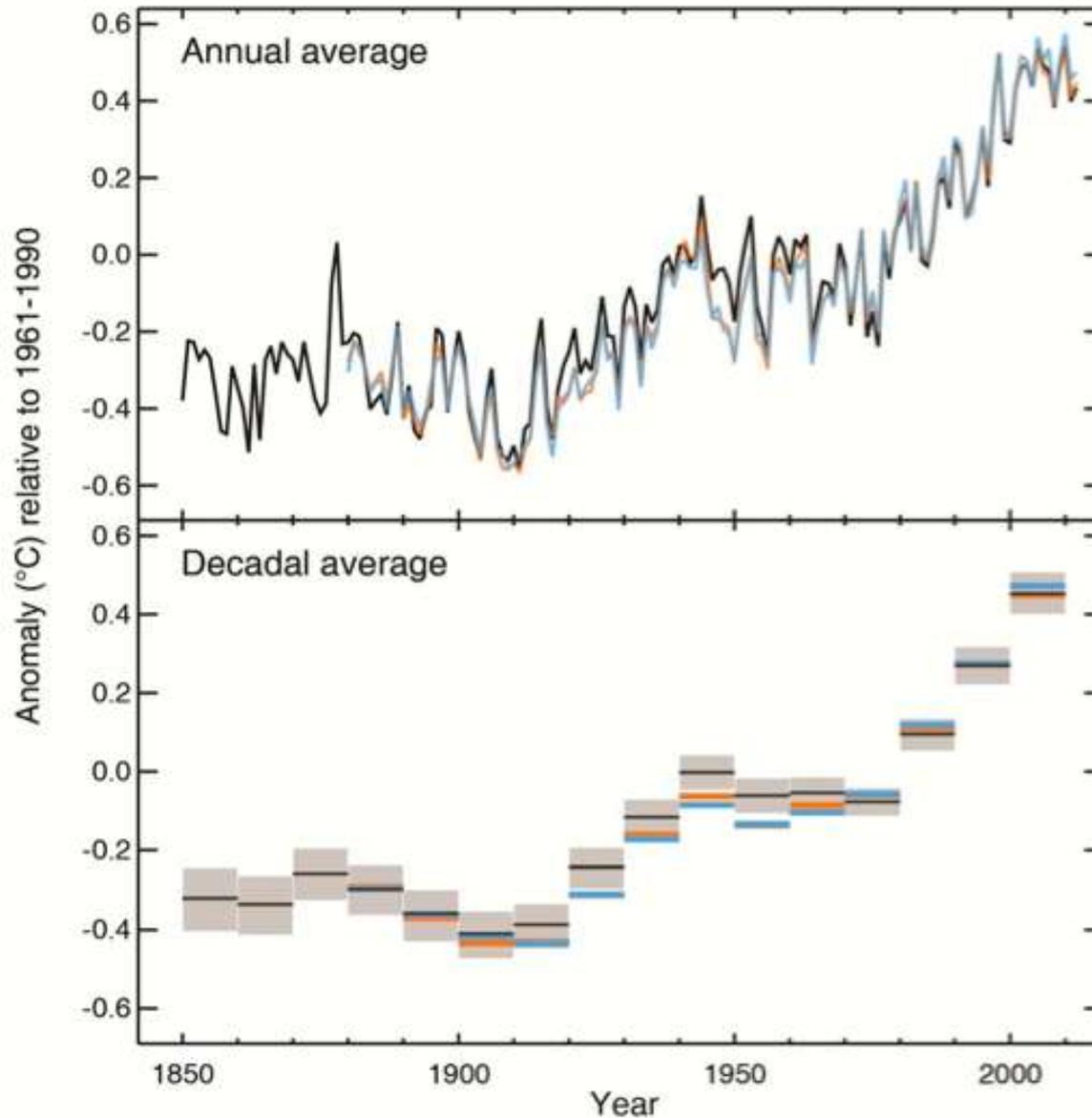


(a)

Observed globally averaged combined land and ocean surface temperature anomaly 1850–2012



Aumento de temperatura médio de 0,85°C entre 1880 e 2012.



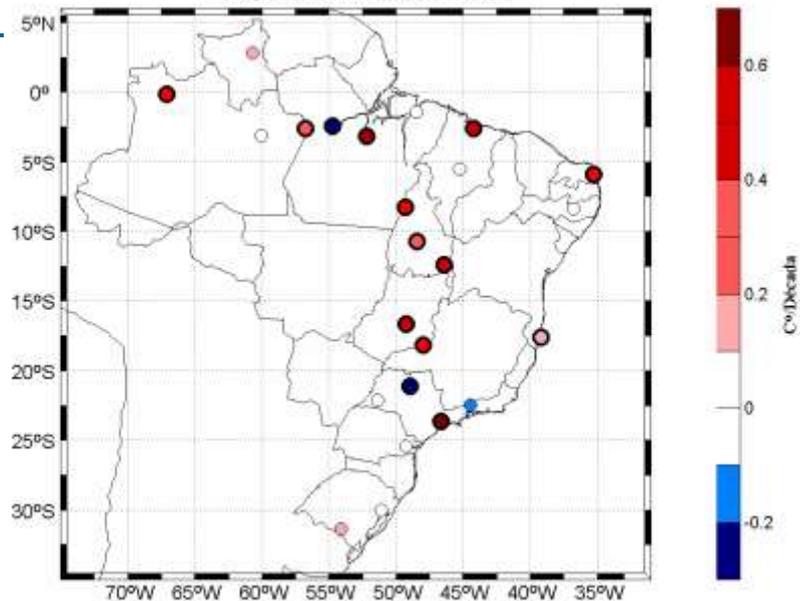


PBMC

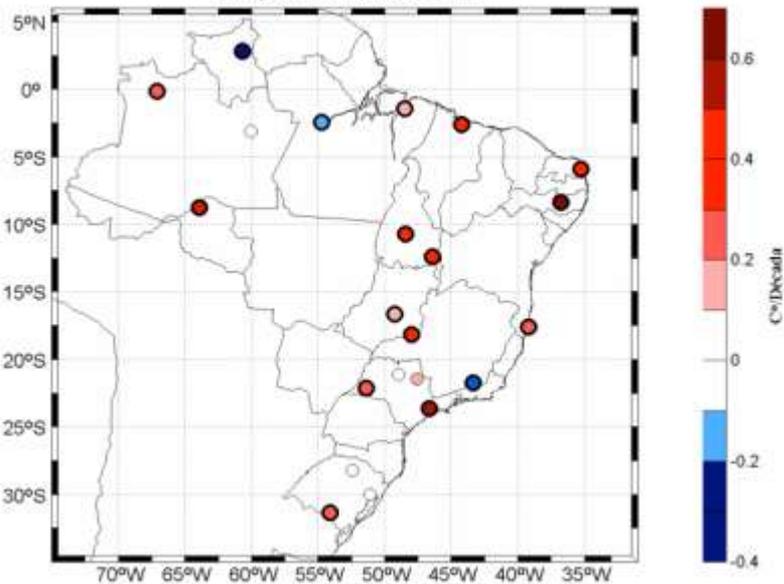
Tendência da temperatura anual

Período 1961-2000

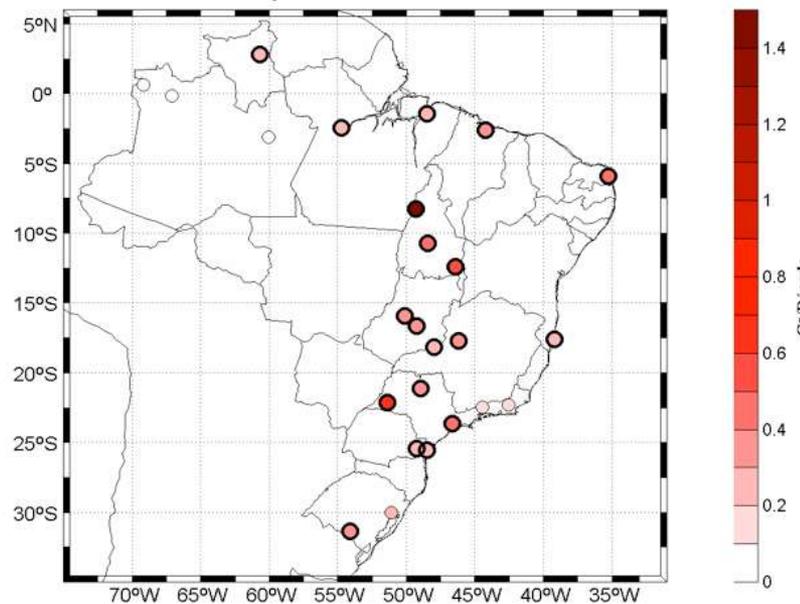
Temperatura Máxima - Anual



Temperatura Média-Anual



Temperatura Mínima-anual



A Conexão entre Aquecimento Global e o Ciclo Hidrológico



Experiência do INPE na ciência meteorológica e climática no Brasil

23 anos de experiência no desenvolvimento de Modelagem Numérica de Tempo (PNT), Previsão Numérica Climática Sazonal (PNC), Modelagem de Mudança Climática Global e Regional, Previsão de Qualidade do Ar e modelagem climática em geral.

Países do Mundo com sistemas de Previsão Numérica de Tempo

Previsão Regional

- Brasil
- Canadá
- EUA
- Argentina
- Alemanha
- França
- Inglaterra
- Austrália
- Japão
- México
- Rússia
- China
- Índia
- Itália
- Espanha
- Iugoslávia
- Bulgária
- África do Sul
- Israel
- Singapura
- Escandinávia
- Malásia
- Coreia do Sul

Previsão Global

- Brasil - CPTEC
- Canadá
- EUA
- Alemanha
- França
- Inglaterra
- África do Sul
- Austrália
- Japão
- Coreia do Sul
- Rússia
- China
- Índia

Países do Mundo com sistemas de Previsão Numérica Global de Clima

WMO Global Producing Centres of Long-Range Forecasts



- Brasil - CPTEC
- Canadá
- EUA
- Alemanha
- França
- Inglaterra
- Rússia
- África do Sul
- Austrália
- Japão
- Coréia do Sul
- China

Países do Mundo com sistemas de Previsão Numérica de Mudanças Climáticas

Simulação Numérica de Mudanças Climáticas Futuras e Passadas

- Canadá
- EUA
- Alemanha
- França
- Inglaterra
- Austrália
- Japão
- Coréia do Sul
- China
- Brasil (CPTEC-2003)



- Previsão de Tempo
- Energia
- Imagens de Satélites
- Precipitação por Radar
- Precipitação por Satélite
- Aeroportos
- Queimadas
- Agricultura
- Radiação UV
- Plat. de Coleta de Dados
- InfoClima
- El Niño e La Niña
- Quem é quem
- Supercomputação
- Sobre o CPTEC
- Pós - Graduação
- Links Indicados
- Pesq. e Desenvolvimento
- Fale Conosco
- Trabalhe Conosco
- Perg. Frequentes (pdf)
- Fenômenos Naturais
- Biblioteca
- Serviços ao Usuário (pdf)
- Extranet



Sede:
 Rodovia Dutra, km 39
 Cachoeira Paulista - SP
 CEP 12630-000
 Brasil
 Tel: 55 (12) 3185-8400



Inverno

Conheça as características da nova estação que se apro...

São Paulo-SP Atualizado 26.06.2016

Segunda-feira 27.06	Terça-feira 28.06	Quarta-feira 29.06
Parcialmente Nublado	Variação de Nublado	Parcialmente Nublado
14°C 26°C	14°C 26°C	15°C 27°C

Cidades: Digite no mínimo as 3 letras

WEB TV - VÍDEOS



Previsão Diária Inverno Evento Extremo ocorrido na Ondas de Frio

» vídeos online

AVISO IMPORTANTE

Os produtos apresentados nesta página não podem ser usados para propósitos comerciais, copiados integral ou parcialmente para a reprodução em meios de divulgação, sem a expressa autorização do CPTEC/INPE.

AVISOS METEOROLÓGICOS

Condições especiais de Tempo

APLICATIVOS & INFORMAÇÕES

Previsão no seu Site Previsão por E-mail Twitter RSS Sigma Google Earth

DIFUSÃO DO CONHECIMENTO

Agenda Cursos e Workshops

Agenda 2016 Agenda de cursos e eventos para 2016

ESTAÇÕES DO ANO

Outono Inverno Primavera Verão

Fonte: INPE/USP Vídeos Softwares *Não corrigida para Horário de Verão

Clipes em: [instalação](#) [dóbytes](#) maiores informações

PROJETOS ESPECIAIS

- Antártica
- BRAMS
- Cenapad
- CHUVA
- EtaModel
- Eurobrisa
- LBA
- LMA
- LPB
- MARSP
- Mud. Climáticas
- MUSA
- NRIDALN
- ProClima
- Serra do Mar
- SONDA

www.cptec.inpe.br

Muito

Obrigado !





Contato

Gilvan Sampaio
INPE/CPTEC
Rodovia Dutra, km 39
12630-000
Cachoeira Paulista
São Paulo, Brasil

gilvan.sampaio@inpe.br

www.cptec.inpe.br