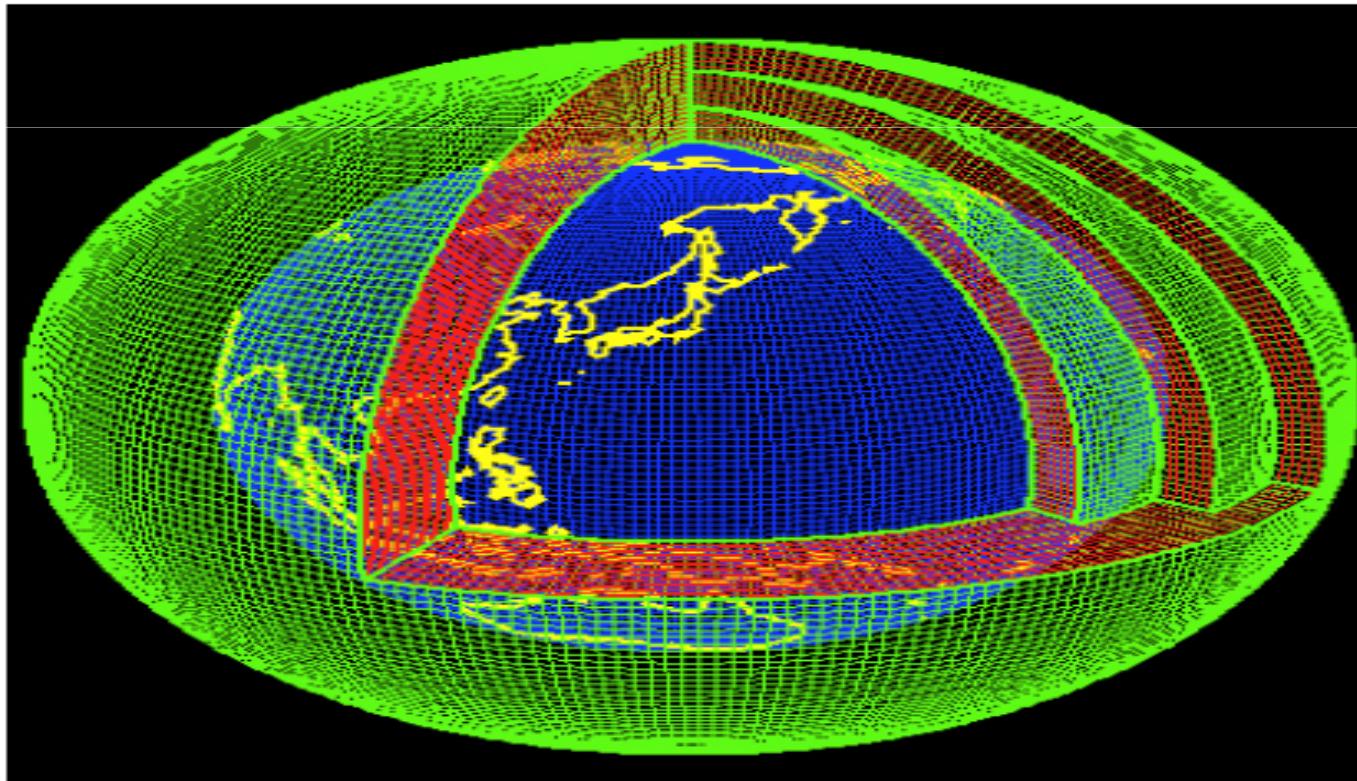


Modelagem em Previsão do tempo e clima

Cláudio Moisés Santos e Silva

Semestre 2015.2

PPGCC/UFRN



Sobre o curso....

Objetivo: mostrar de forma teórica e prática os aspectos gerais sobre modelagem dinâmica da atmosfera

Ementa:

Parte 1: Fundamentos de modelagem dinâmica da atmosfera;

Parte 2: Prática com o modelo regional ReGCM4

Parte 3: Elaboração de relatório das simulações

Avaliação:

Avaliação 1: Seminário 1 (sobre a Parte 1)

Avaliação 2: Seminário 2 (Sobre a parte 2)

Avaliação 3: Trabalho escrito (sobre a parte 3)

Referências (livros básicos):

1. HOLTON, J. An Introduction to dynamic meteorology. 4º Ed. Academic Press, 2006, 529 p.
2. JAKOBSON, M.Z. Fundamentals of atmospheric modeling. 2º Ed. Cambridge University Press, 1997, 813p.
3. KALNAY, E. Atmospheric modeling, data assimilation, and predictability. Cambridge University Press, 2003, 341p.
4. RANDALL, D. An Introduction to Atmospheric Modeling. AT604 Department of Atmospheric Science Colorado State University, 2004.
5. RICHARDSON, L. Weather Prediction by Numerical Processes. Cambridge Mathematical Library, 1922.
6. WALLACE, J. HOBBS, P. Atmospheric Science: An introductory survey. 2º Ed. Elsevier, 2006, 483p.

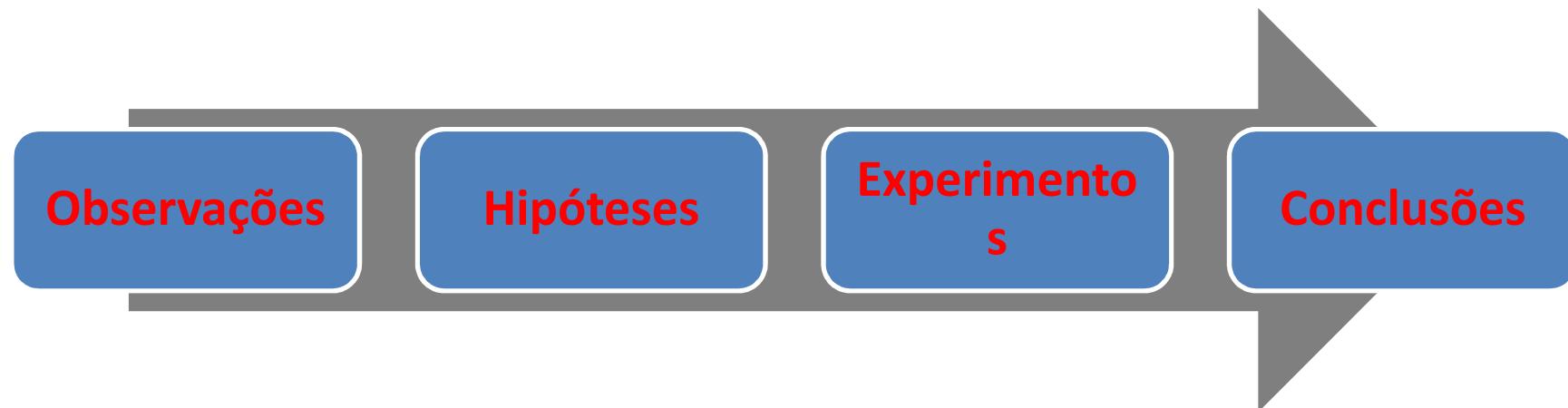
Parte 1: Fundamentos de modelagem dinâmica da atmosfera

1. Contextualização;
2. Objetivos da previsão dinâmica da atmosfera;
3. Pré processamento: observações e análises;
4. Processamento: equações dinâmicas do modelo, métodos numéricos, parametrizações, previsão por conjunto;
5. Pós processamento: verificação subjetiva e objetiva.

Contextualização

Aristóteles (339a.c.) escreveu o tratado “Meteorologica (latim)”, em que apresenta sua compreensão sobre diversos fenômenos naturais, tais como a evaporação, fenômenos meteorológicos, terremotos etc. Basicamente é feita uma descrição dos fenômenos associados aos quatro elementos: fogo, ar, água e terra.

René Descartes (1596-1650) na obra “Discurso do Método” (1637) lança, de fato, os fundamentos do método científico:



Contextualização

Termômetro (1631): Galileu Galilei

Barômetro (1643): Torricelli

Mapa sinótico: 1820

Telégrafo: 1845

Era empírica
1860-1919

Era de transição
1919-1950

Era científica
a partir de 1950

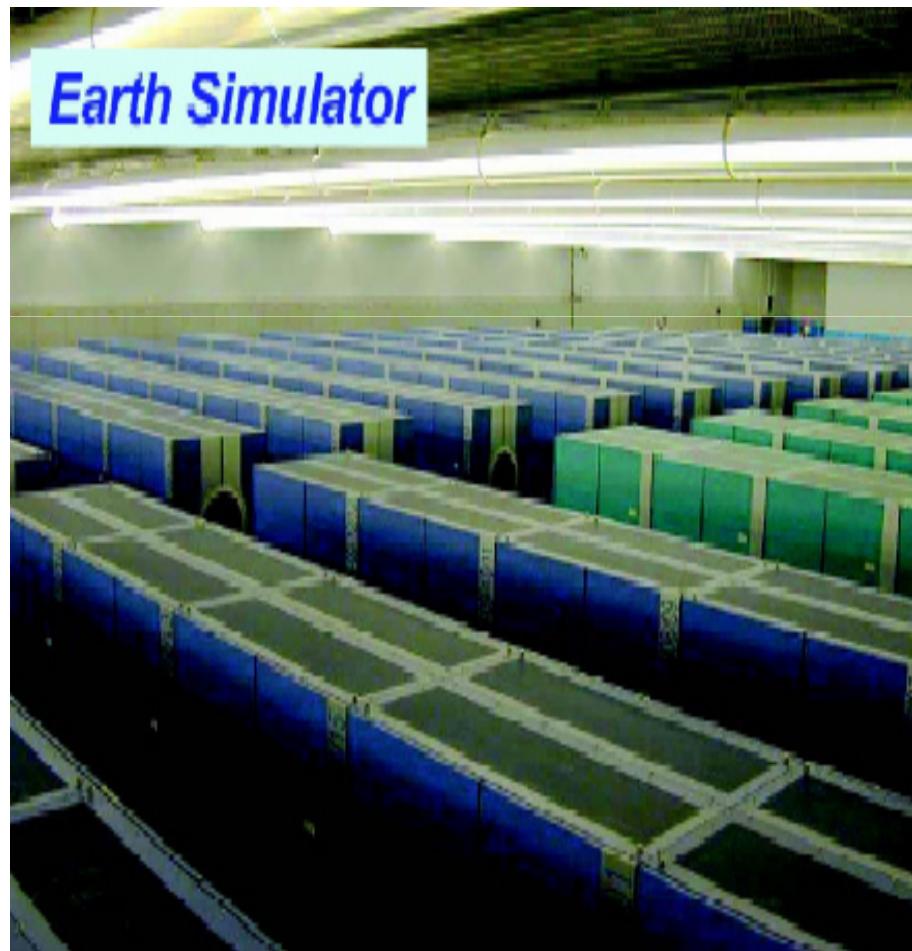
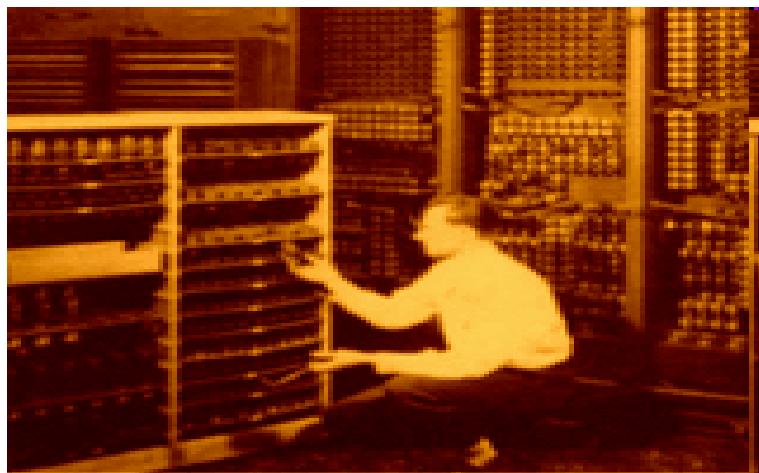
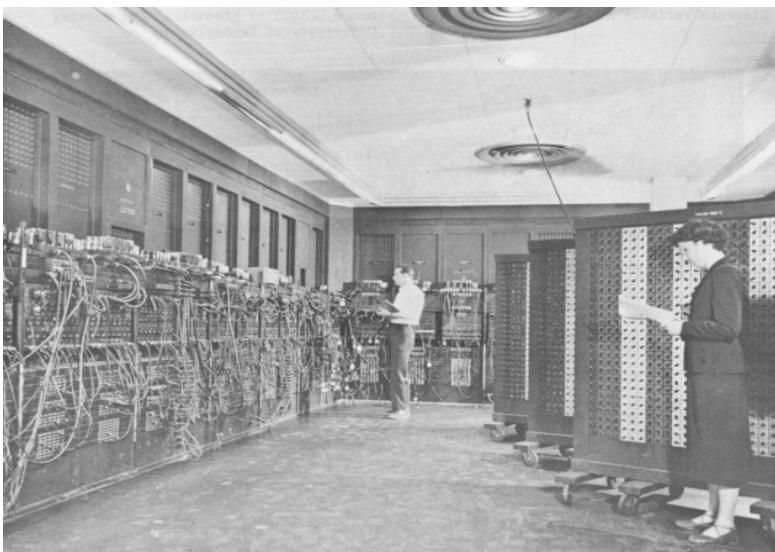
- 1º alerta meteorológico: 1860
- Análise da pressão e temperatura
- Primeiro sistema de classificação de nuvens
- Leis da Mecânica e Termodinâmica são aplicadas à meteorologia

- redes de estações
- radiossondagens (1930)
- RADAR meteorológico.
- rádio em transmissão de dados
- Bjerknes (1919): “On the Structure of Moving Cyclones”
- Richardson (1922): Weather prediction by numerical processes
- Charney et al. (1949)

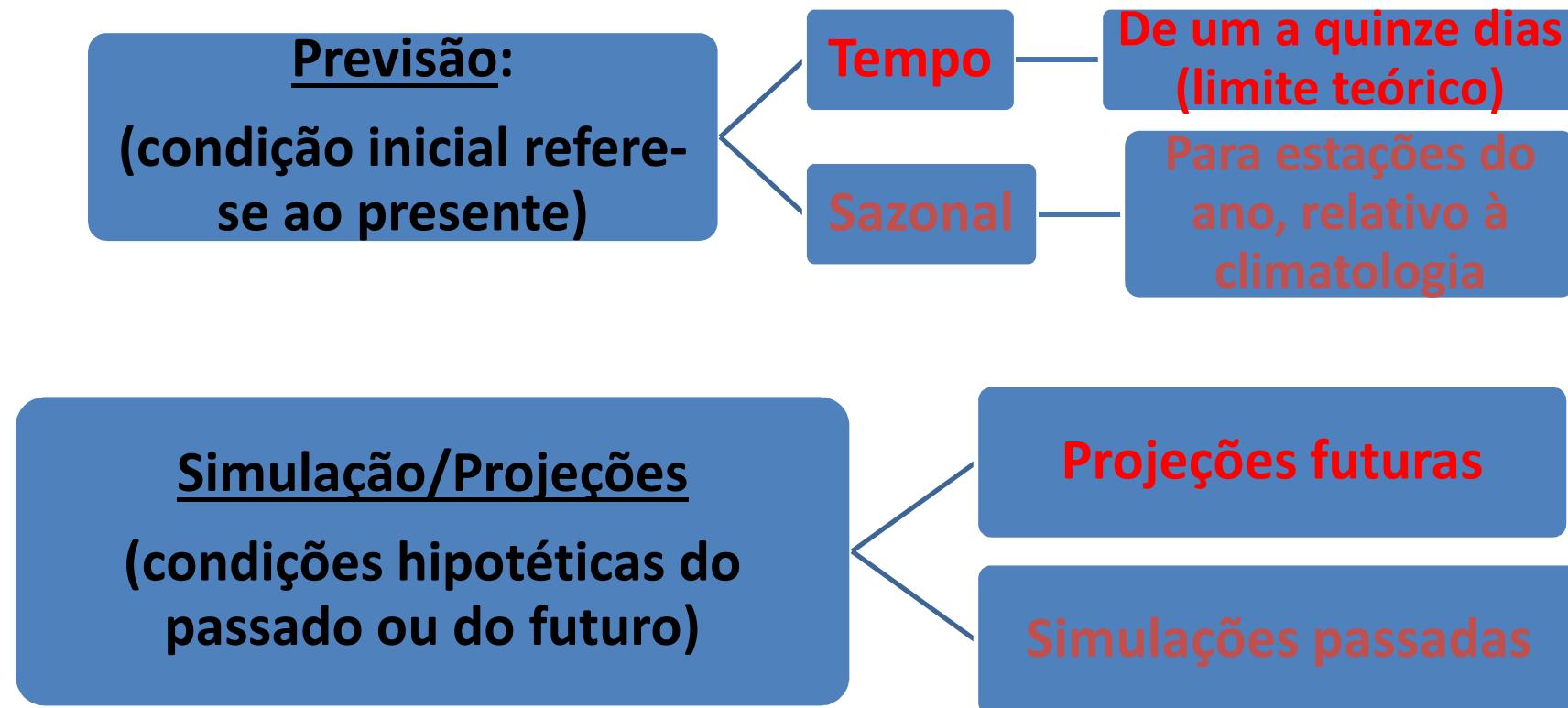
- capacidade computacional.
- processos físicos, químicos e dinâmicos previsões passam de 1 para 5 dias
- evolução do sistemas de assimilação de dados
- satélite
- supercomputadores
- ...

Evolução da capacidade computacional

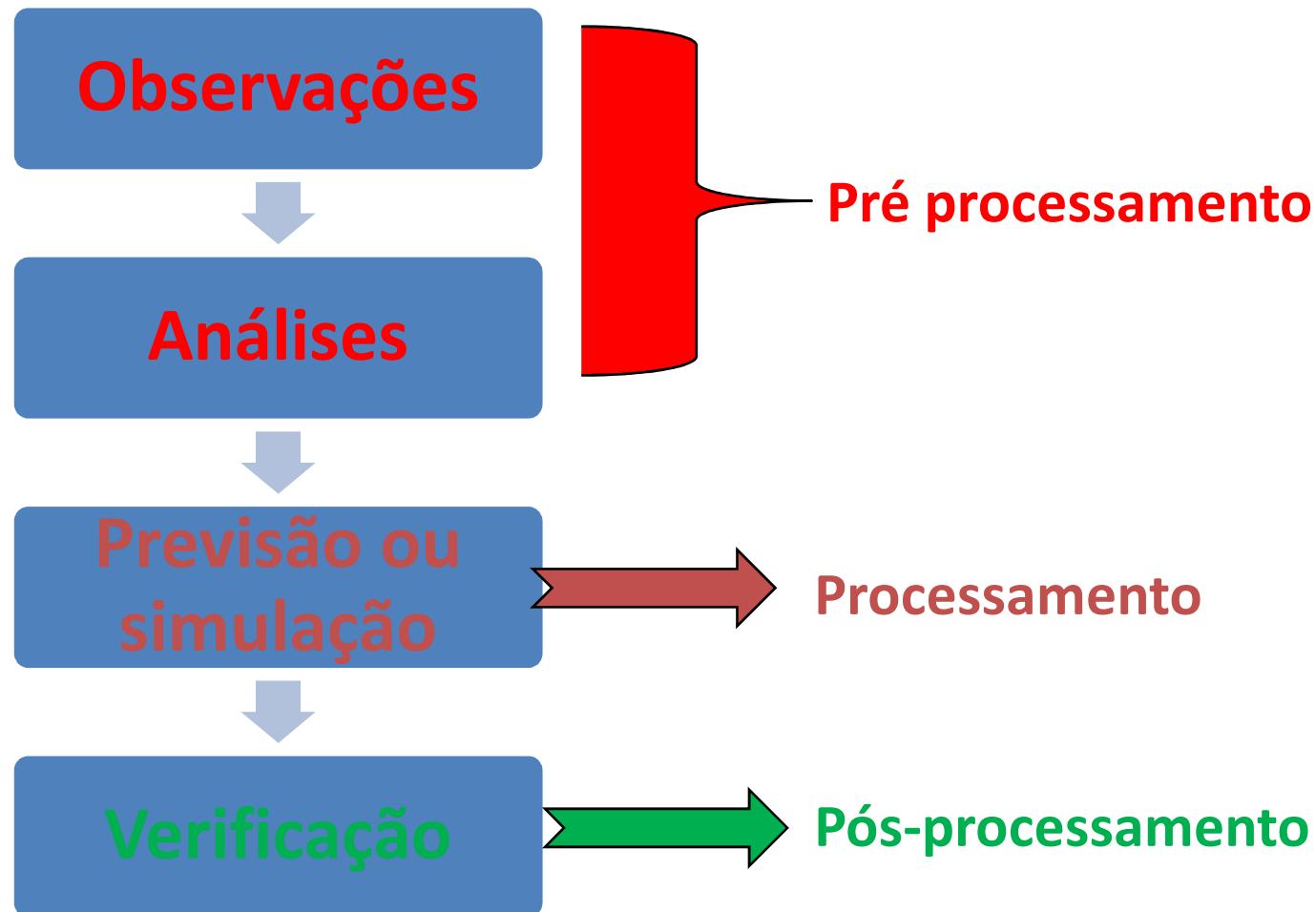
Electrical Numerical Integrator And Calculator
ENIAC (1946)



Objetivo da modelagem dinâmica da atmosfera: prever o estado futuro da atmosfera a partir de um estado inicial, utilizando um conjunto de equações que descrevem os processos físicos e dinâmicos da atmosfera.



“Elementos” ou “Estágios” para a execução da modelagem dinâmica em meteorologia



Observações



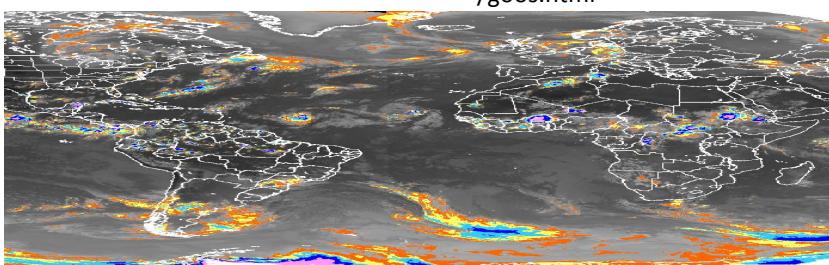
Fonte: <http://chuaproject.cptec.inpe.br/portal/>
<https://www.flickr.com/photos/armgov/sets/72157628390811069-with/12842524504/>



<http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>



<https://www.mar.mil.br/secirm/portugues/goos.html>

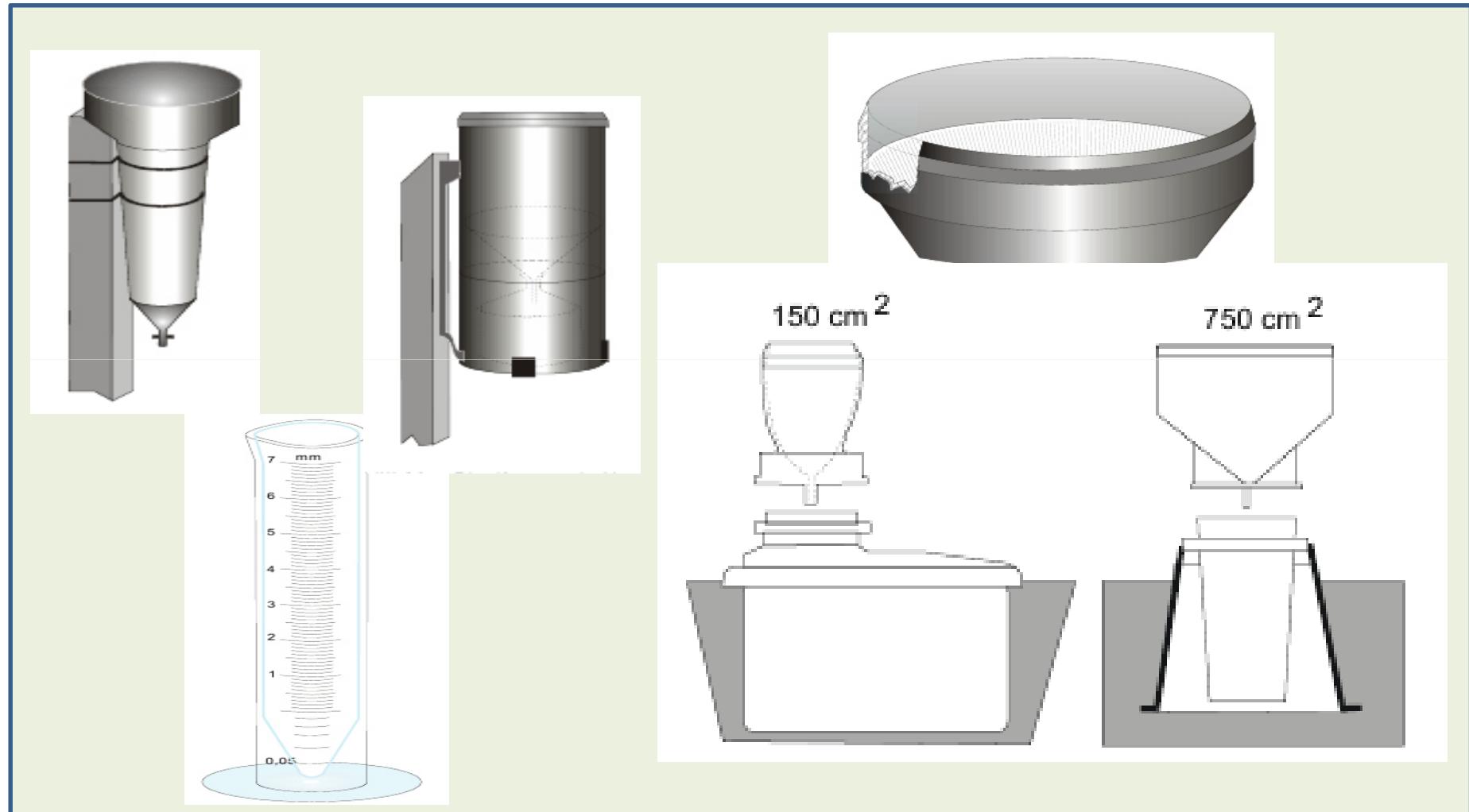


<http://satelite.cptec.inpe.br/home/novoSite/index.jsp>



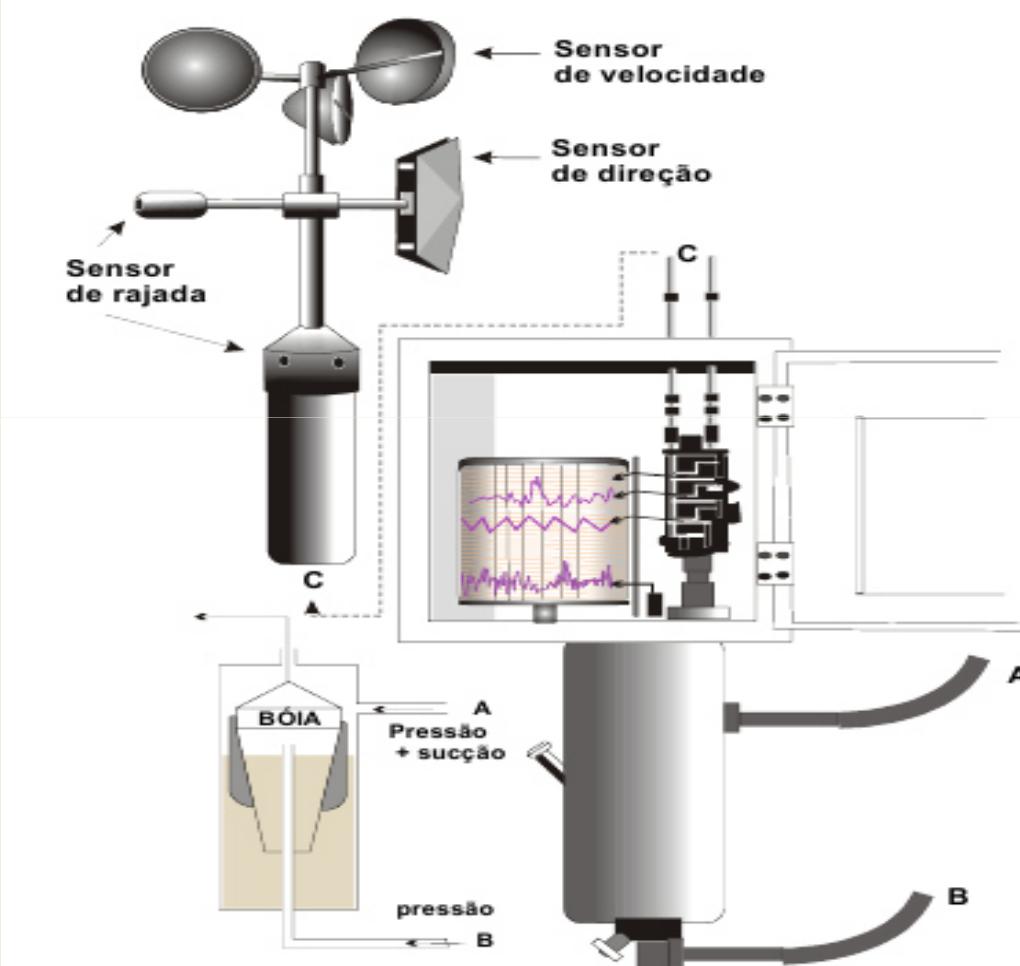
http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=2414 9

Variáveis medidas



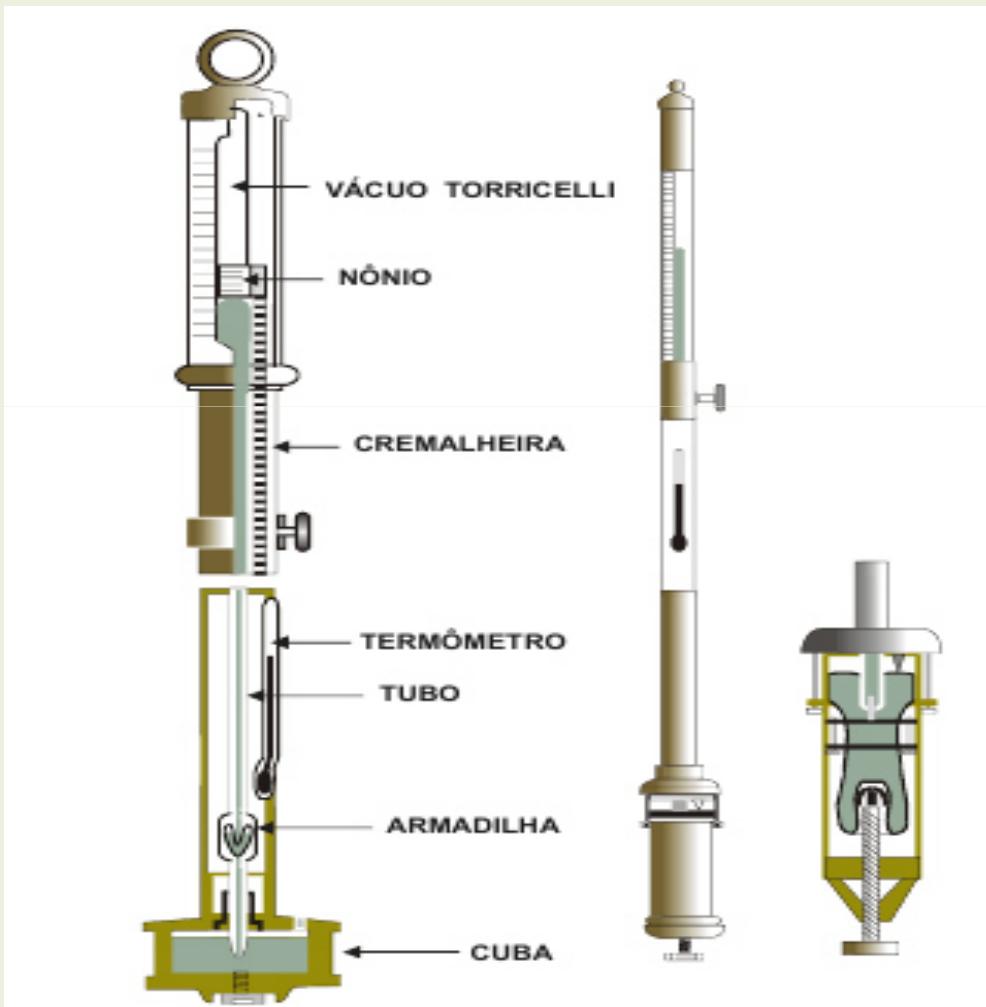
Fonte: Varejão-Silva (2006)

Variáveis medidas



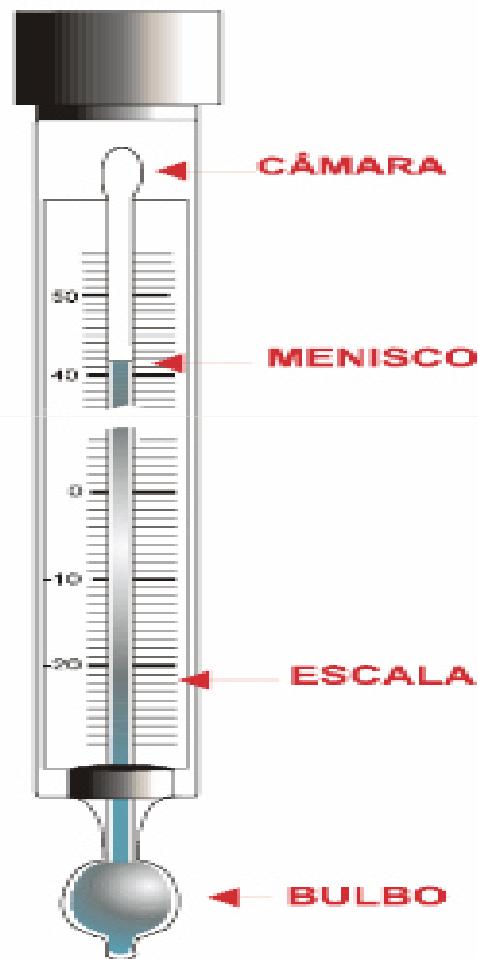
Fonte: Varejão-Silva (2006)

Variáveis medidas



Fonte: Varejão-Silva (2006)

Variáveis medidas



Fonte: Varejão-Silva (2006)

Variáveis medidas

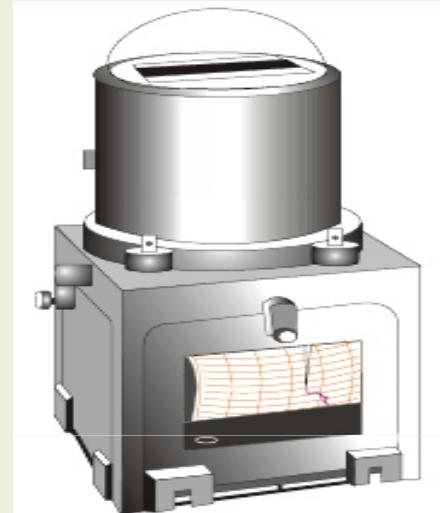


Fonte: Varejão-Silva (2006)

Variáveis medidas



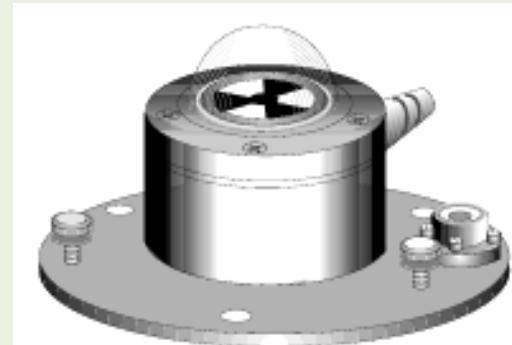
Pireliômetro



Actinógrafo



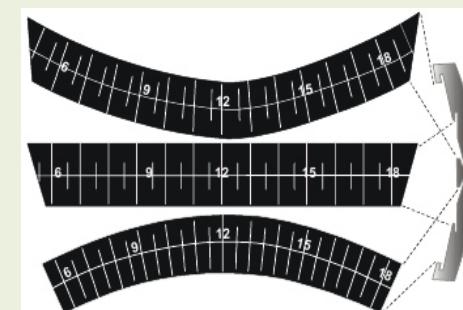
Heliógrafo



Piranômetro



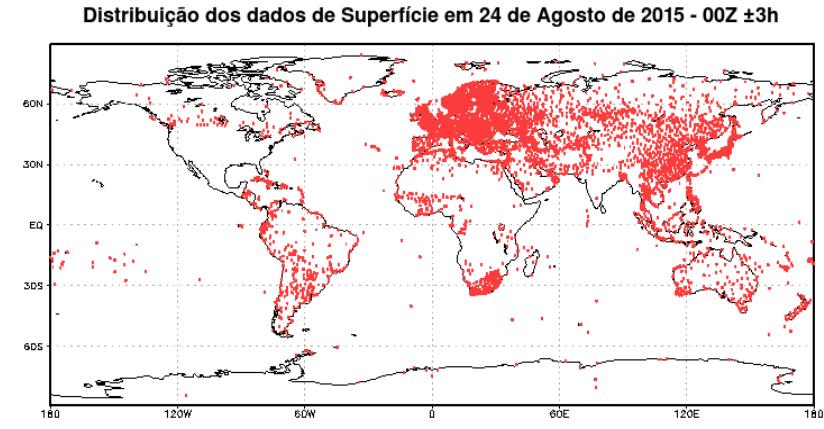
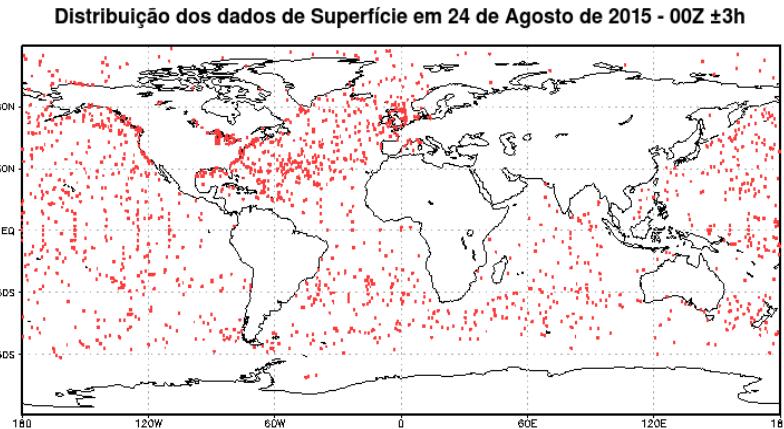
Saldo radiômetro



Heliogramas

Fonte: Varejão-Silva (2006)

Cobertura global de observações



Fonte: www.cptec.inpe.br

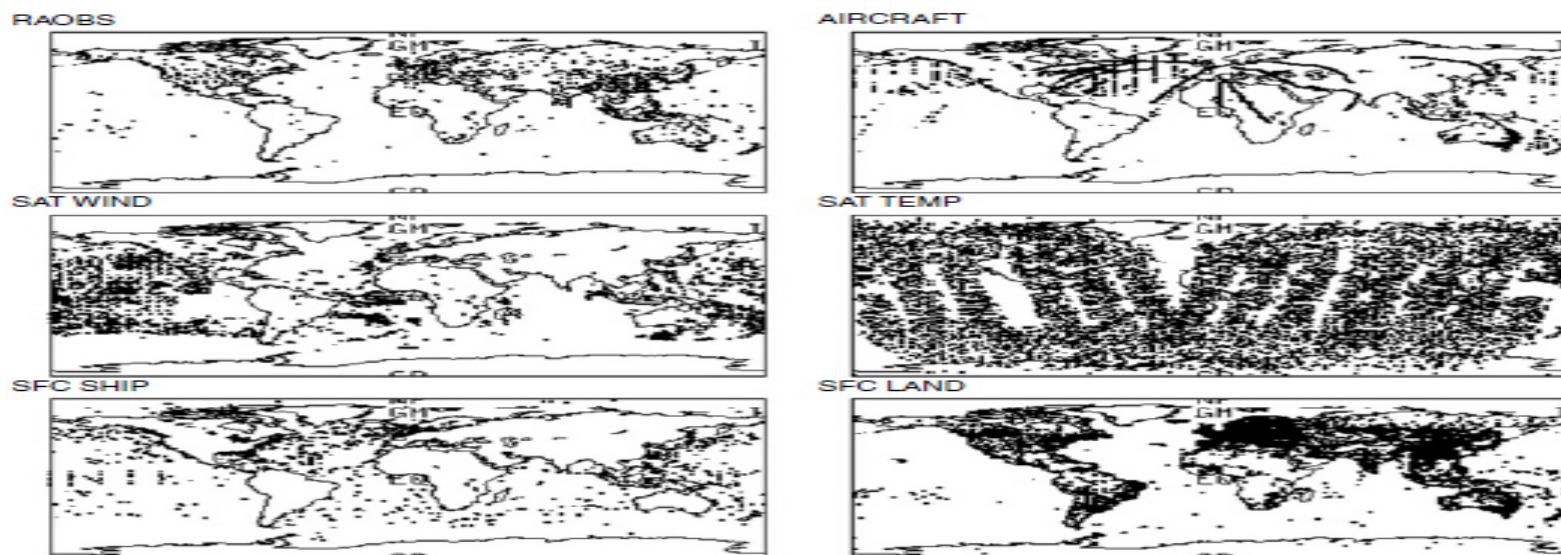


Figure 1.4.1: Typical distribution of observations in a ±3-h window.

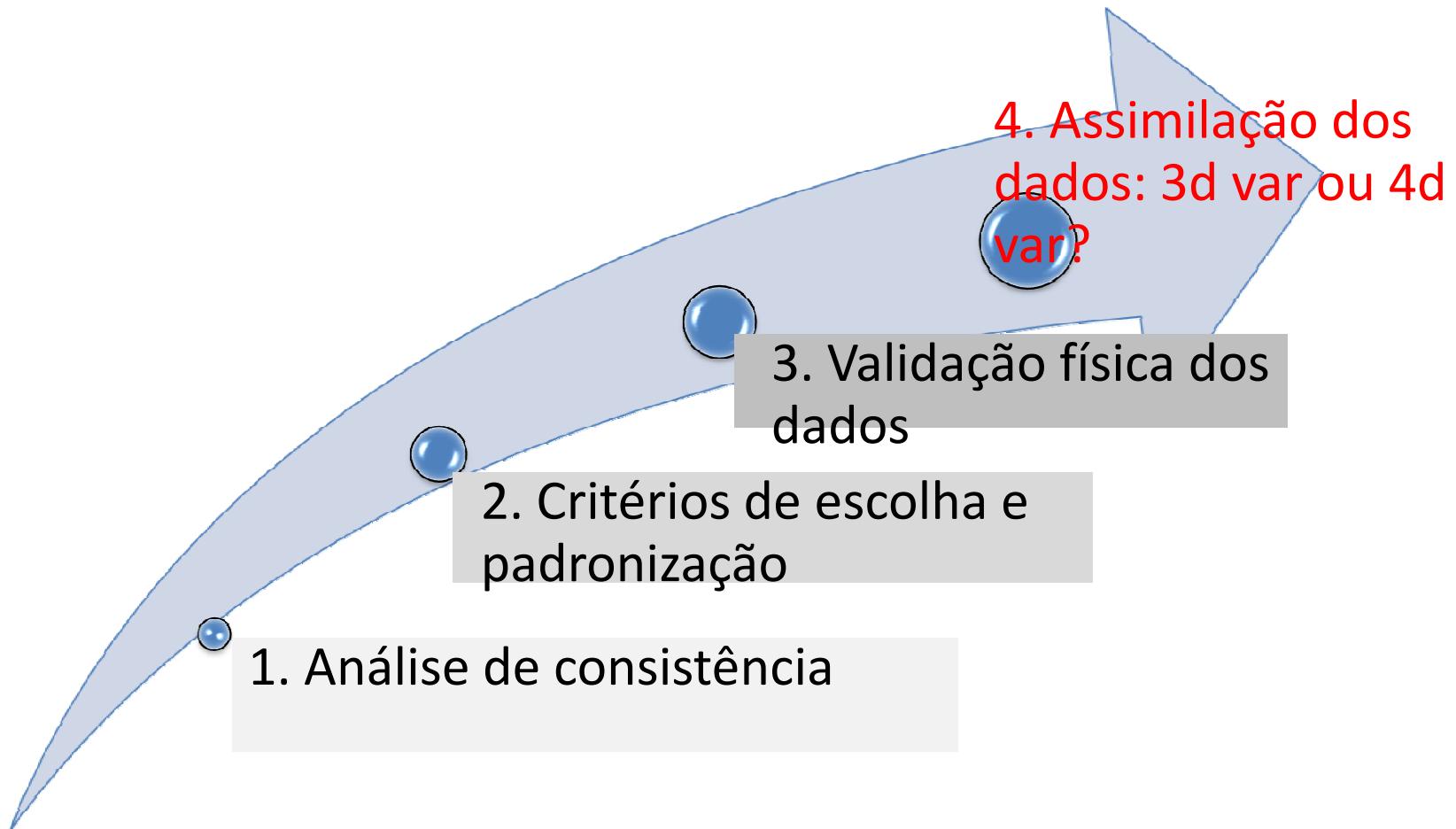
Fonte: Kalnay (2003)

Questões importantes:

- Os sistemas de coleta de dados são diferentes: entre países, metodologias, horários etc;
- A distribuição de dados é irregular: em geral maior na América do Norte e Europa Ocidental e muito menor na América do Sul e África;
- Existem muitas zonas “escuras” de dados, especialmente sobre os oceanos. Ver no site: <http://bancodedados.cptec.inpe.br/>
- Existe carência de dados em altitude: radiossondagens, balão cativo, SODAR, LIDAR ...
- Os satélites são uma alternativa importante; porém, necessitam de validação.

Análises

Verificações estatísticas e físicas a fim de se obter uma condição inicial e de contorno adequada para uma previsão ou simulação.



1. Análise de consistência: tratamento estatístico

- **Permite** excluir dados espúrios, evitando erros causados por falhas na aquisição dos dados. Exemplo: temperaturas abaixo de zero no equador!
- **Dificuldades:** quantidade de dados a serem analisados é demasiadamente elevado;
- **Importância:** uma vez que a previsão dinâmica é um problema de valor inicial (PVI), os erros não verificados nessa fase vão se propagar ao longo da previsão/simulação;
- **Situação ideal:** um sistema muito eficiente de obtenção de dados e um grande número de pessoas experientes trabalhando conjuntamente na análise inicial desses;
- **Situação real:** sistema de aquisição de dados não muito eficiente, poucas (ou nenhuma) pessoa trabalhando exclusivamente nessa etapa;
- **Solução viável:** métodos estatísticos para controle de qualidade.

2. Critérios de escolha e padronização

- A padronização de unidade de medidas faz-se necessária, pois as equações da dinâmica e as parametrizações são resolvidas da mesma forma para todos os pontos de grade do modelo;
- Não é possível assimilar toda a quantidade de dados que se observa; porém, é necessário não excluir informações importantes: relação custo versus benefício;
- Situação ideal: todos os países usassem o mesmo sistema de unidades e, se possível, as variáveis meteorológicas principais fossem coletadas no maior número possível de locais;
- Situação real: a Organização Meteorológica Mundial regulamenta os horários (UTC) e as unidades de medidas, que seguem o Sistema Internacional

3. Validação física dos dados: “balanço dinâmico”

- As leis da mecânica Newtoniana, da Termodinâmica, da continuidade e a equação de gases perfeitos não podem ser violadas após os dois primeiros passos;
- Leis de conservação (de massa e energia) devem ser satisfeitas;
- Deve haver consistência entre os dados pós pré-processamento e a natureza dos sistemas meteorológicos observados.

Assimilação dos dados: condições iniciais e de contorno

Primeiro é preciso entender a diferença entre condição inicial e condição de contorno sob o ponto de vista de modelagem dinâmica da atmosfera.

- Condições de contorno: identificação das características geomorfológicas, distribuição de água e terra e tipos de biomas (uso do solo).

Exemplo: temperatura da superfície do mar (TSM), relevo, mapa de vegetação etc.

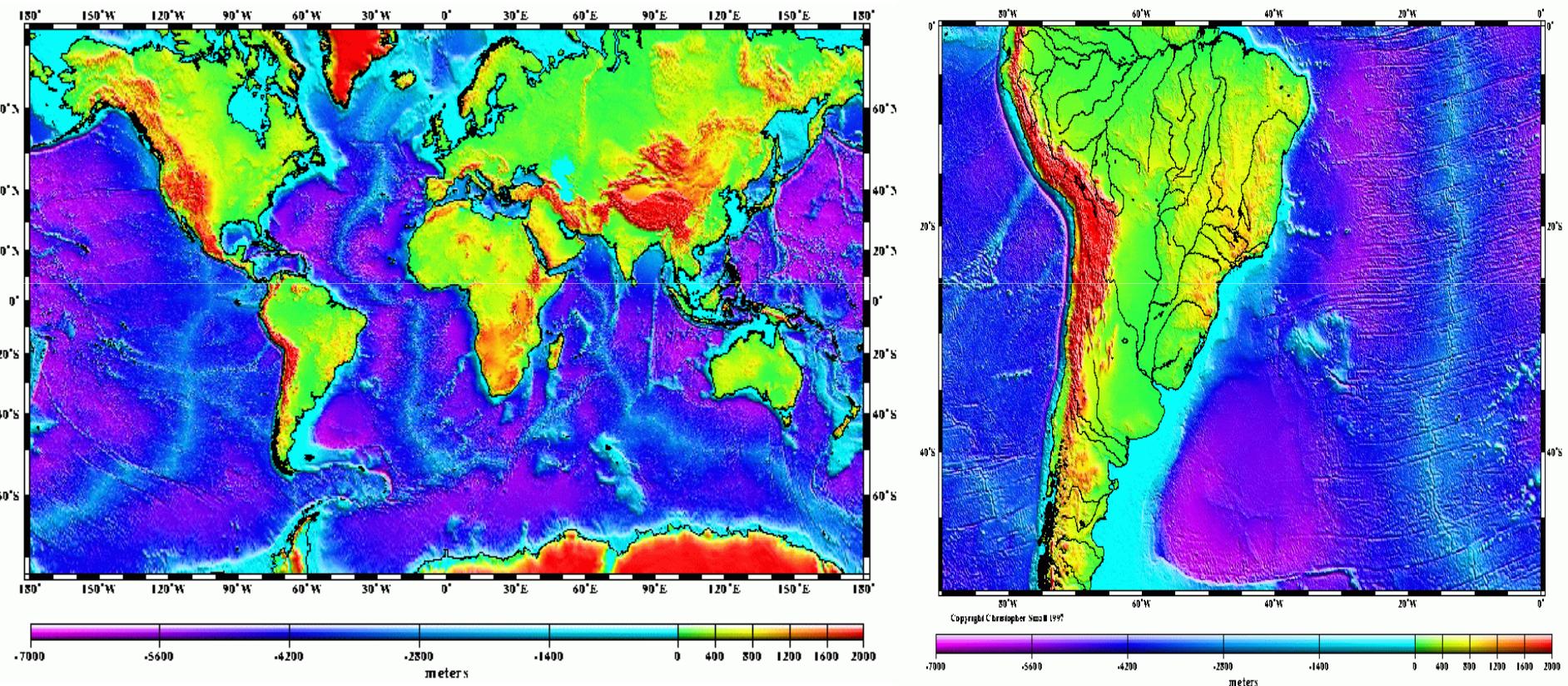
- Condições iniciais: informações das variáveis meteorológicas distribuídas em 3 ou 4 dimensões.

- em três (3d var): x, y, z
- em quatro (4d var): x, y, z, t

Exemplo: temperatura á superfície, vento em altitude para dias diferentes, chuva de um radar meteorológico etc.

Condições de contorno

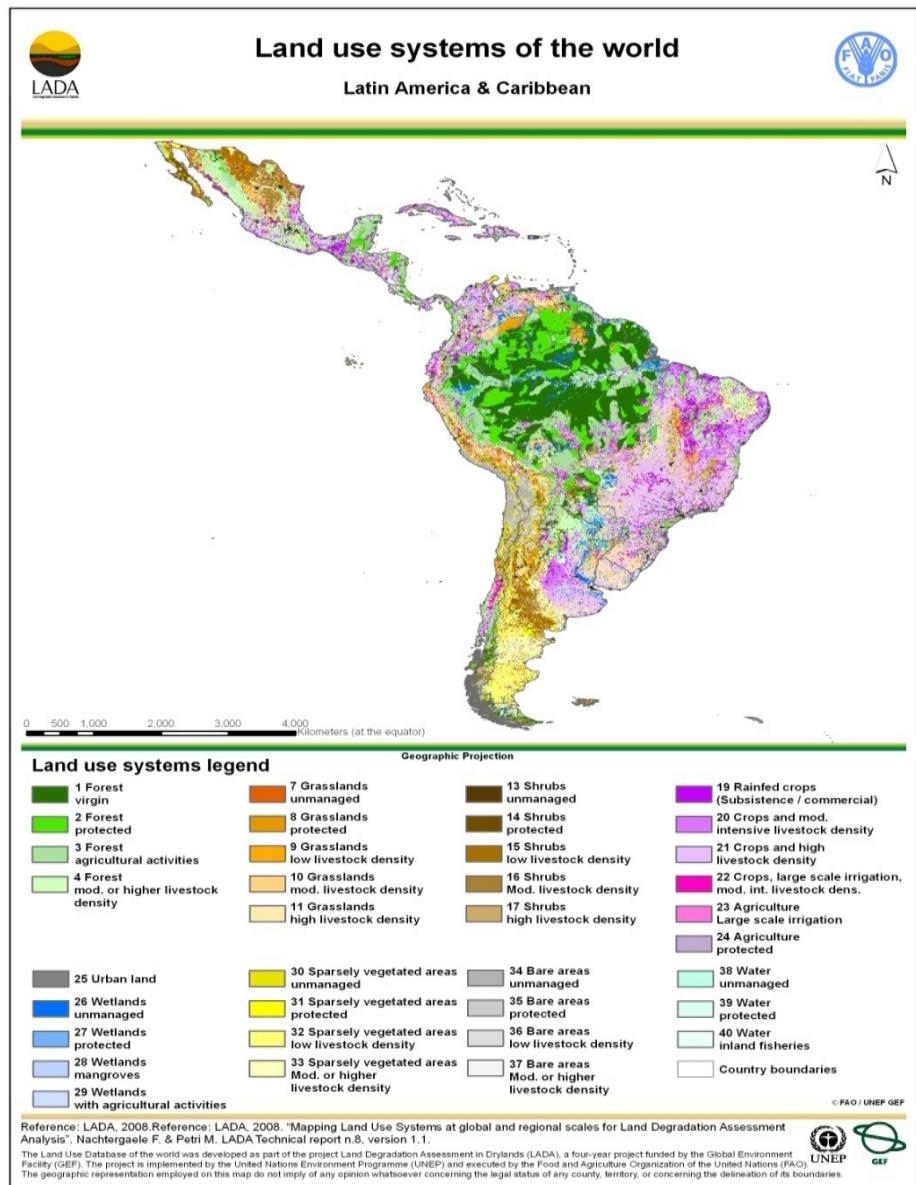
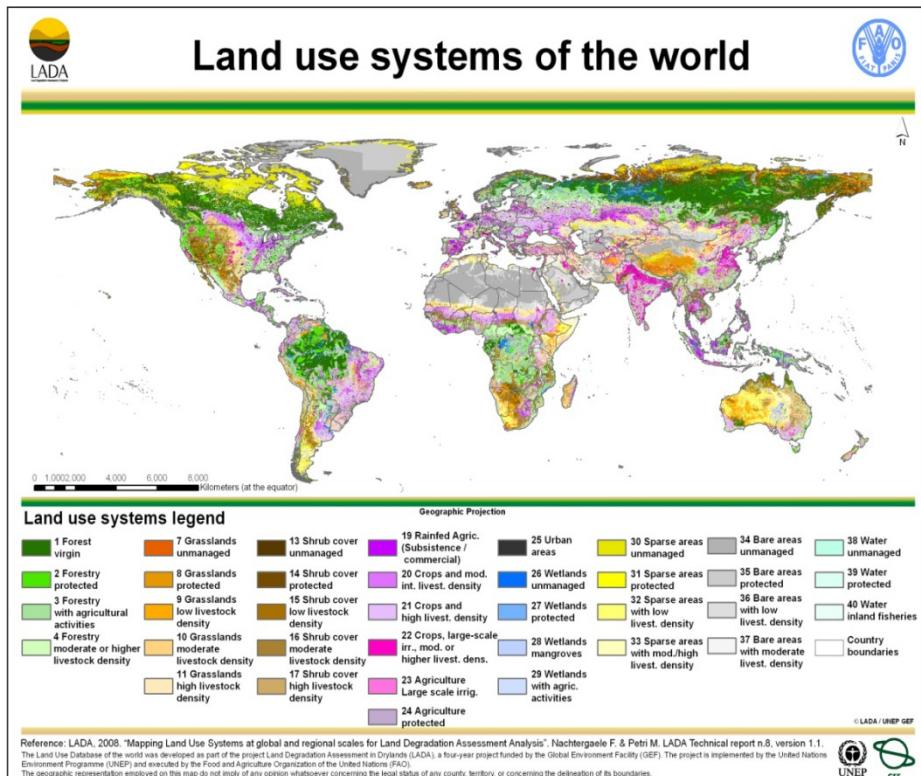
Topografia



Fonte: <https://www.ldeo.columbia.edu/~small/GDEM.html>

Condições de contorno

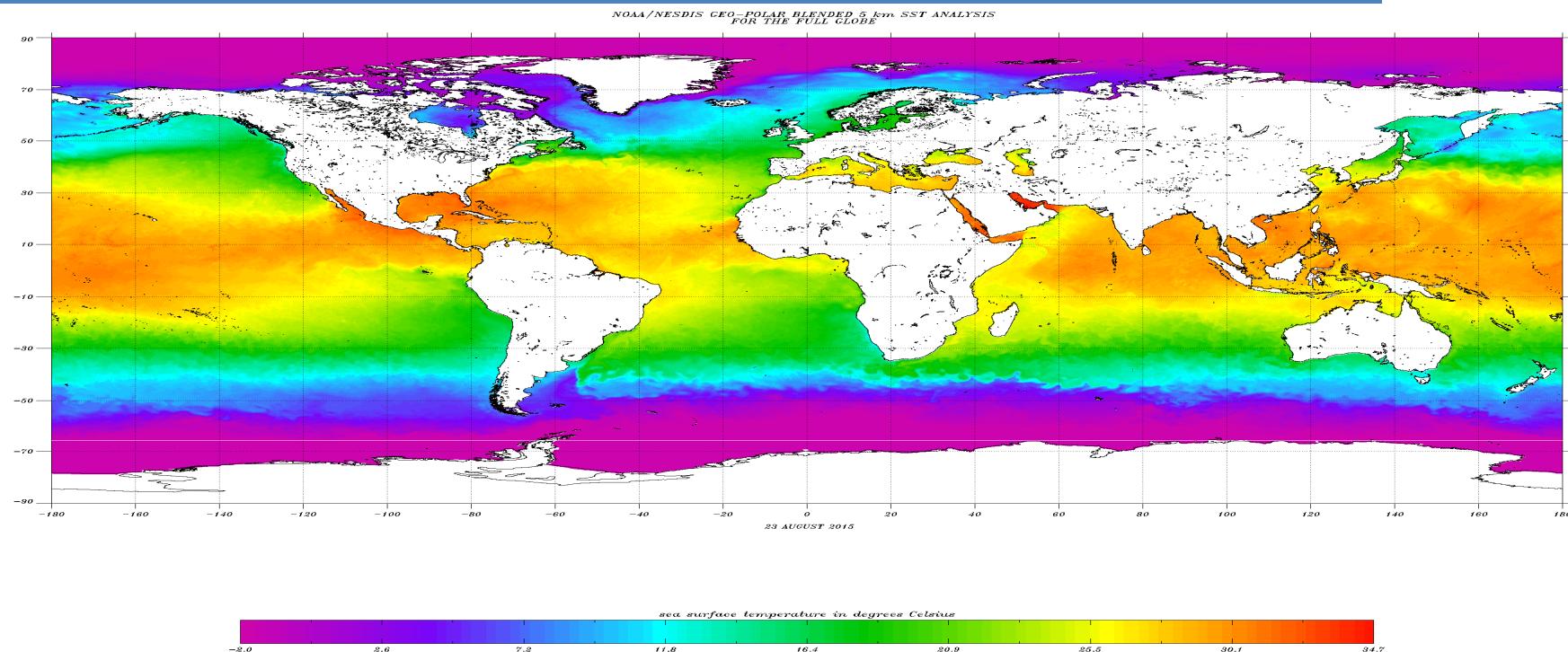
“Uso da terra”



Fonte: http://www.fao.org/nr/lada/index.php?option=com_content&view=article&id=154&Itemid=184&lang=en

Condições de contorno

Temperatura da superfície do mar (TSM) ou “sea surface temperature (SST)”



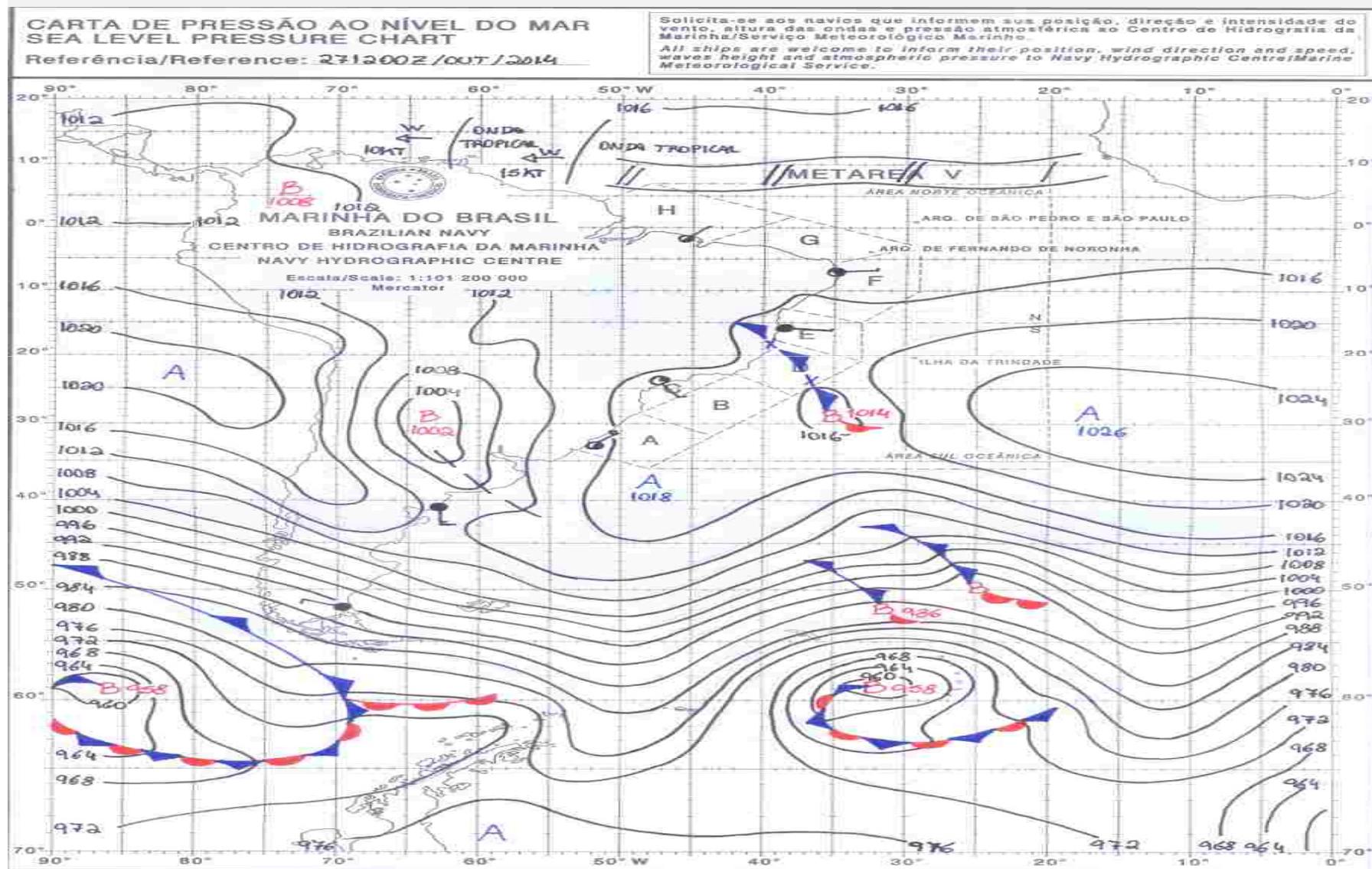
Fonte: <http://www.ospo.noaa.gov/Products/ocean/sst/contour/>

Questões sobre as condições de contorno:

- Elas podem mudar durante uma previsão? De tempo ou sazonal?
- Elas podem mudar durante uma projeção?

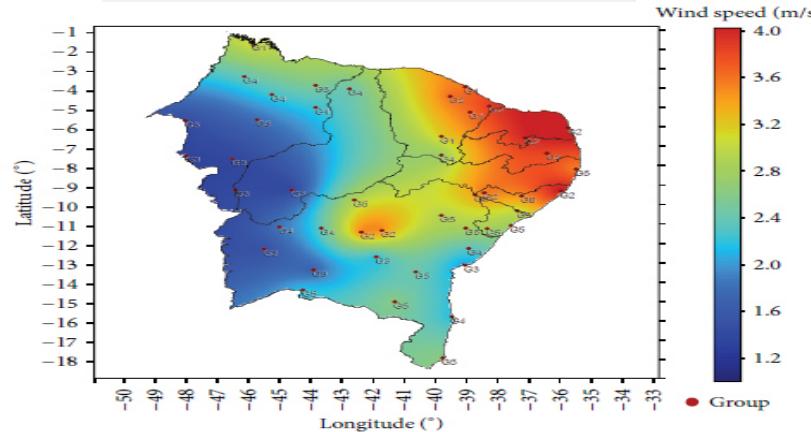
Condições iniciais

Dados meteorológicos organizados em um mapa correspondente a um horário específico:
Carta sinótica



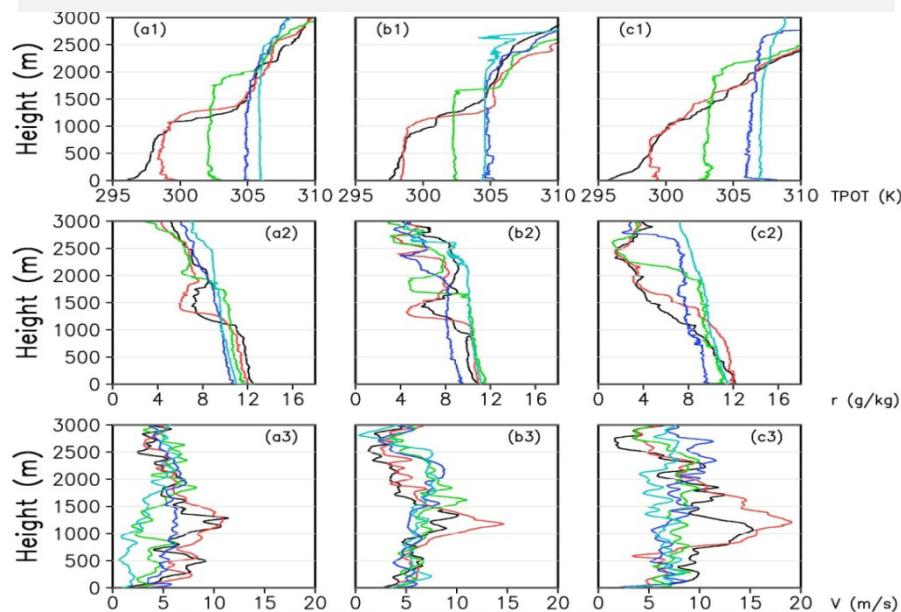
Fonte: <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm>

Ex.: velocidade do vento



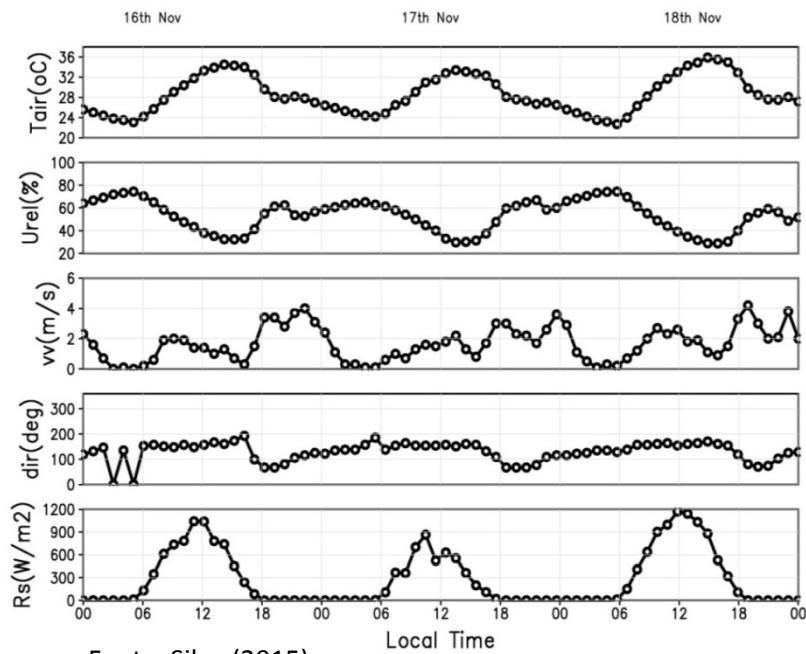
Fonte: Santos e Santos (2013)

Perfis de diferentes variáveis em um só ponto de observação



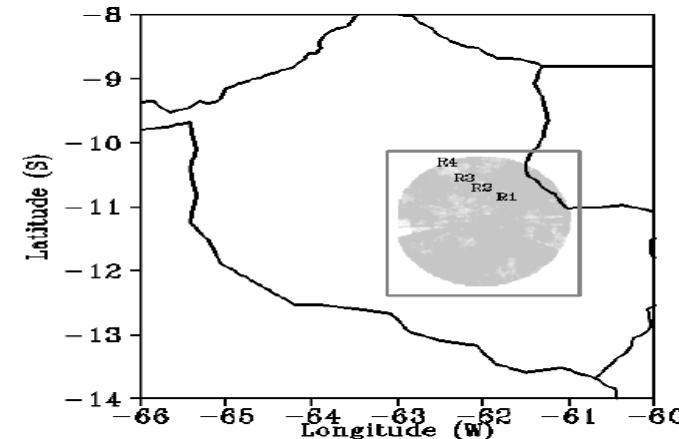
Fonte: Silva (2015)

Diferentes variáveis em um só ponto de observação



Fonte: Silva (2015)

Informações de radar meteorológico

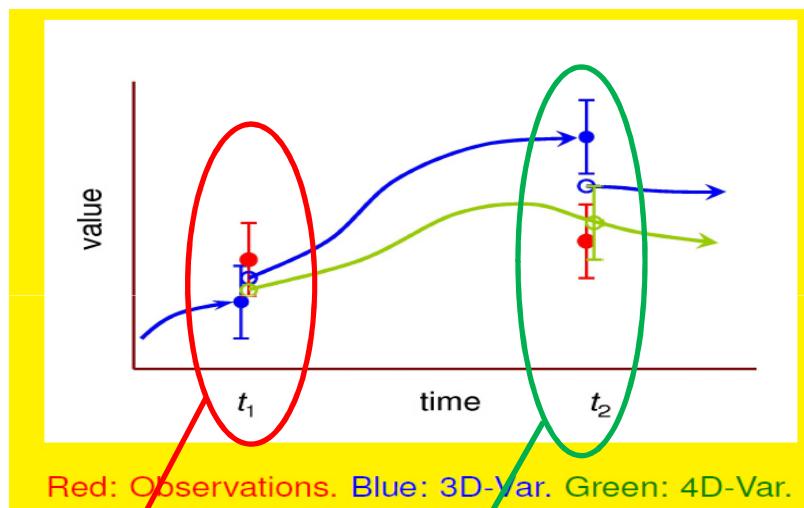


Fonte: Santos e Silva et al. (2009)

Condições iniciais

O fluxo e a diversidade de informações influenciam na forma de assimilar os dados

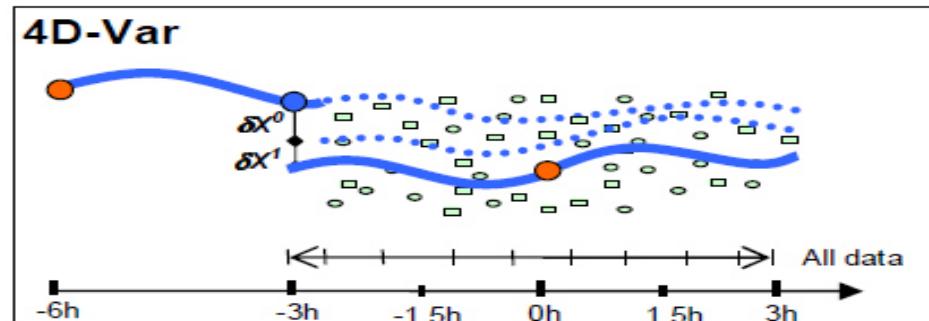
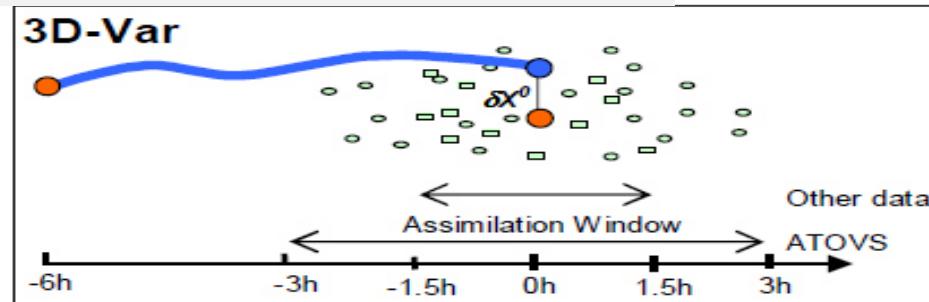
3d-var versus 4d-var: ideia básica!



Kepert (2009): 4d-var for dummies

t1 = tempo inicial (start) de uma simulação

t2 = tempo posterior



- Analysis
- Trial field
- ATOVS
- Other data



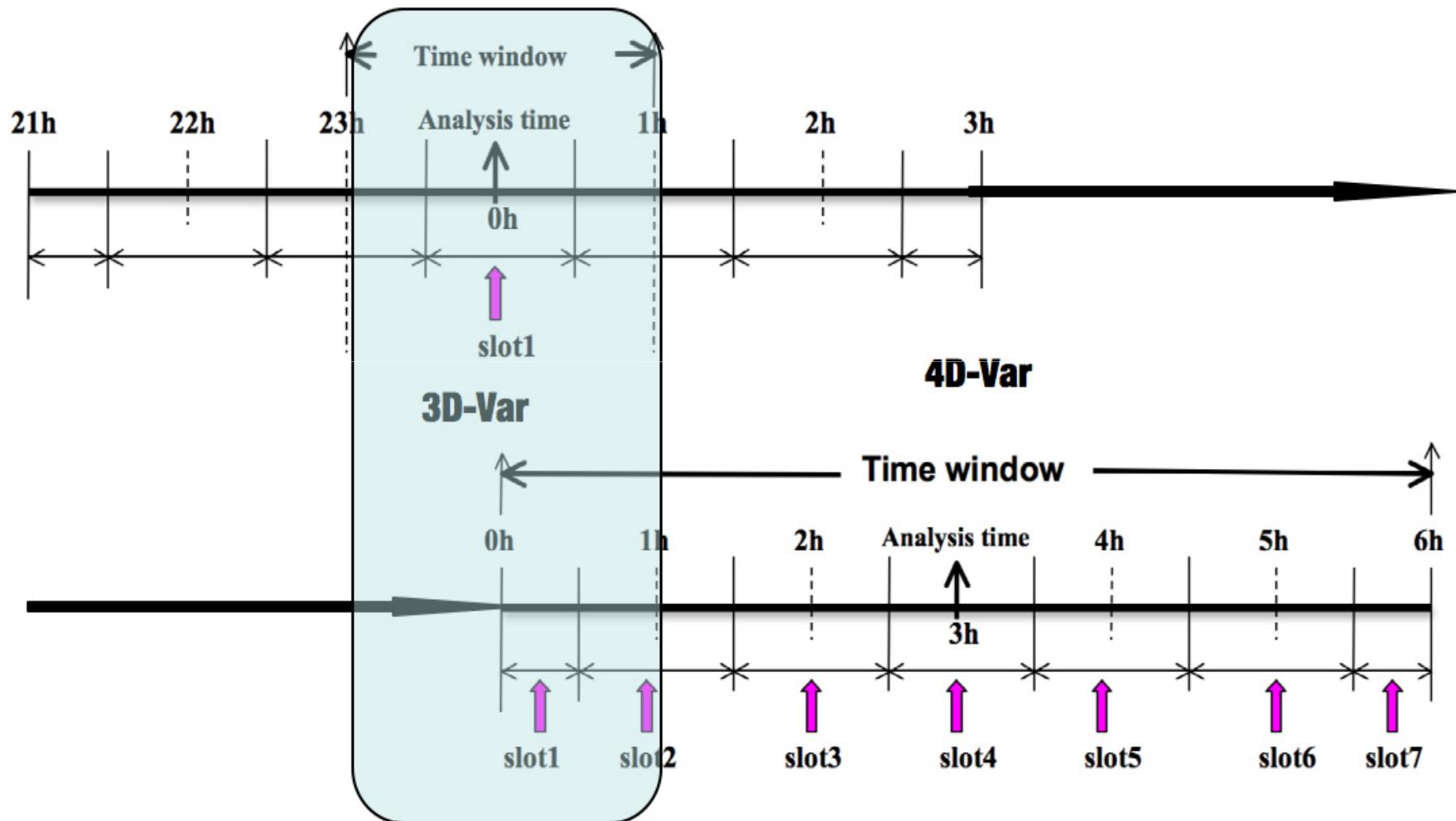
Full-resolution trajectory of the final analysis.

Updated trajectories for the calculation of innovations at the appropriate time.

Laroche et al.

http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/PUBLI/DATA_ASSIM_Prague/NUMERICAL%20WEATHER%20PREDICTION/Oral/S%20Laroche.pdf

A “janela de assimilação” do método 3d-var é fixa, enquanto a 4d-var é contínua.



Fonte: Zhang (2000), WRF 4d-var

Questões importantes

- A literatura científica mostra clara vantagem do sistema 4d-var em relação ao 3d-var. Entretanto a implementação do 4d-var é mais complicada;
- Em ambos, previsão ou simulação, as condições iniciais e de contorno são necessárias;
- Para a previsão do tempo: a condição inicial é crucial;
- Para previsão sazonal: condição de contorno, especialmente a TSM, é crucial;
- Para projeções de longo prazo as condições de contorno são cruciais;
- Situação ideal: assimilação 4d-var para tempo; SST observada para previsão sazonal; Modelo de Vegetação Potencial para simulações de longo prazo.