



Escola Politécnica

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental



Universidade de São Paulo

PHA3307
HIDROLOGIA APLICADA

Monitoramento hidrometeorológico

Aula 4

Prof. Dr. Arisvaldo Vieira Mélo Júnior
Prof. Dr. Joaquin I. Bonnacarrere Garcia
Doutorando João Rafael B. Tercini
Doutorando William Dantas Vichete

LabSid

Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões
Recursos Hídricos e Meio Ambiente

Estação meteorológica

- Temperatura do Ar
- Pressão atmosférica
- Evaporação
- Radiação solar
- Umidade relativa do ar
- Ventos
- Precipitação



Guide to Instruments and Methods of Observation

Volume I – Measurement of Meteorological Variables

2018 edition

WEATHER CLIMATE WATER



WORLD
METEOROLOGICAL
ORGANIZATION

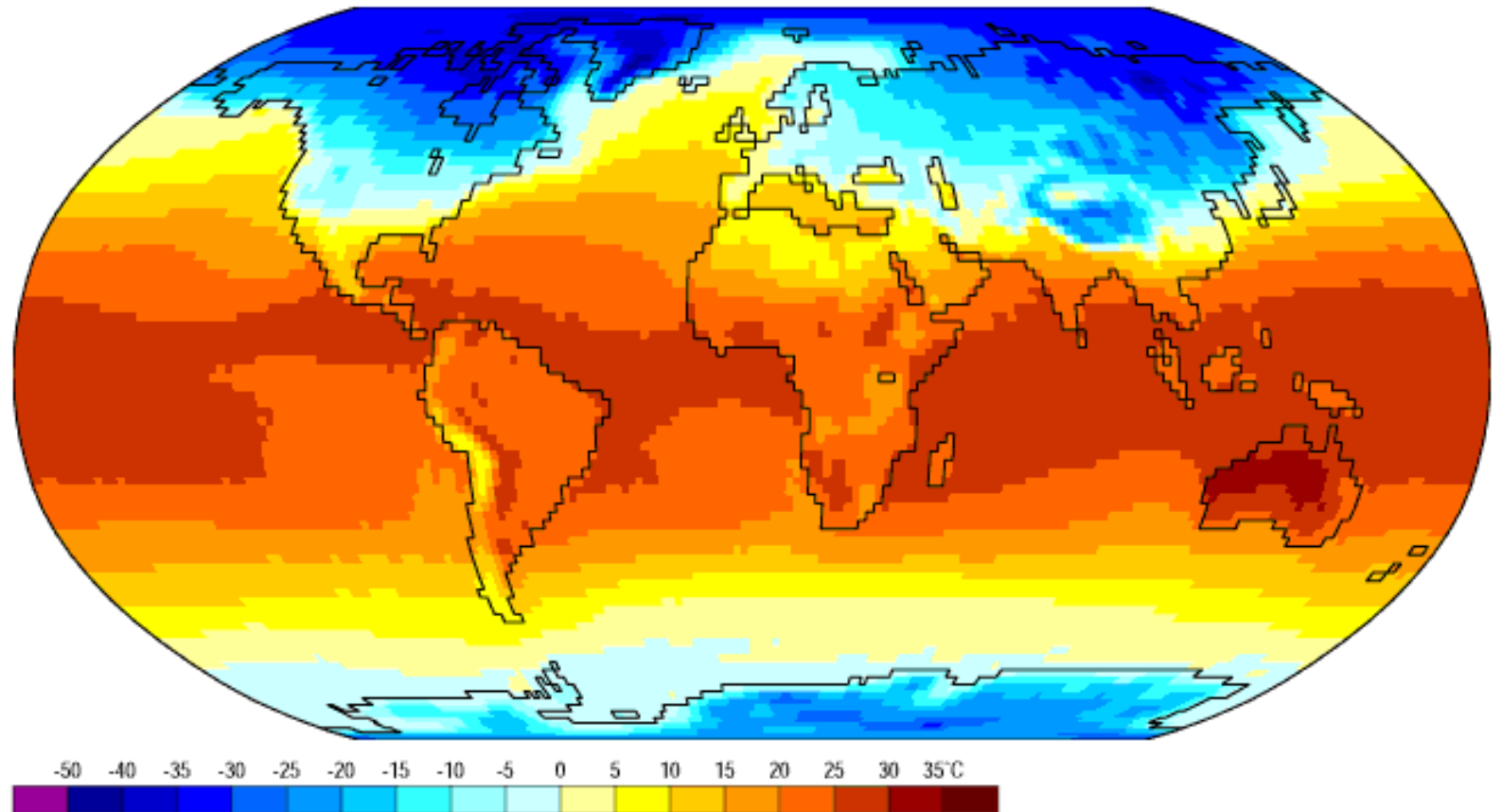
WMO-No. 8

Sazonalidade da temperatura no globo

- Variação no tempo
 - Estação do ano
 - Hora do dia
- Variação no espaço
 - Latitude e altitude
 - Vegetação
 - Presença de massas de água

Air Temperature

Jan

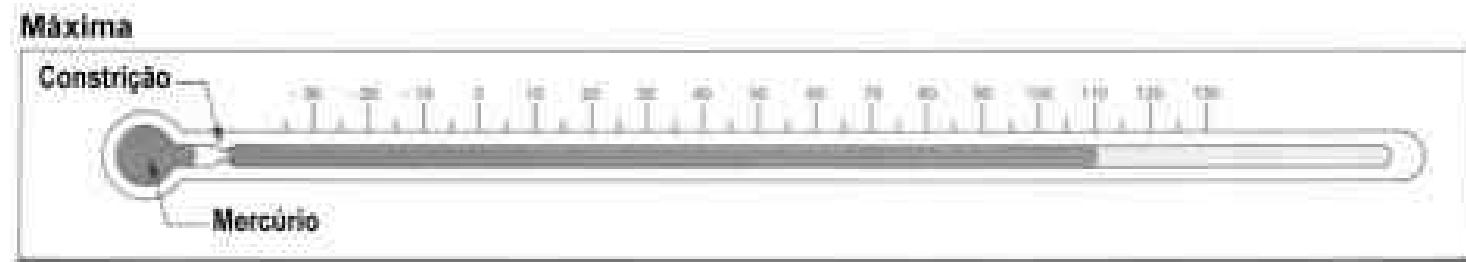


Data: NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies
Animation: Department of Geography, University of Oregon, March 2000



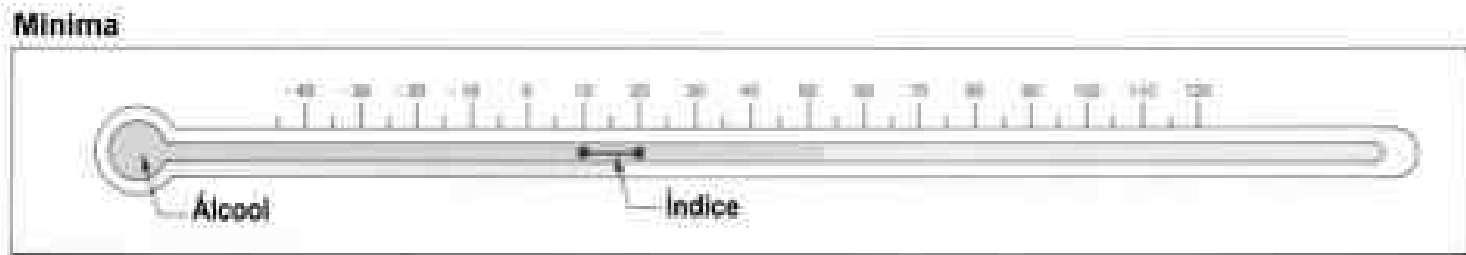
■ Termômetro de máxima

- coluna de mercúrio dilata quando temperatura aumenta. Na redução de temperatura a coluna é rompida por uma constrição do bulbo. Escala $+10^{\circ}\text{C}$ a $+50^{\circ}\text{C}$

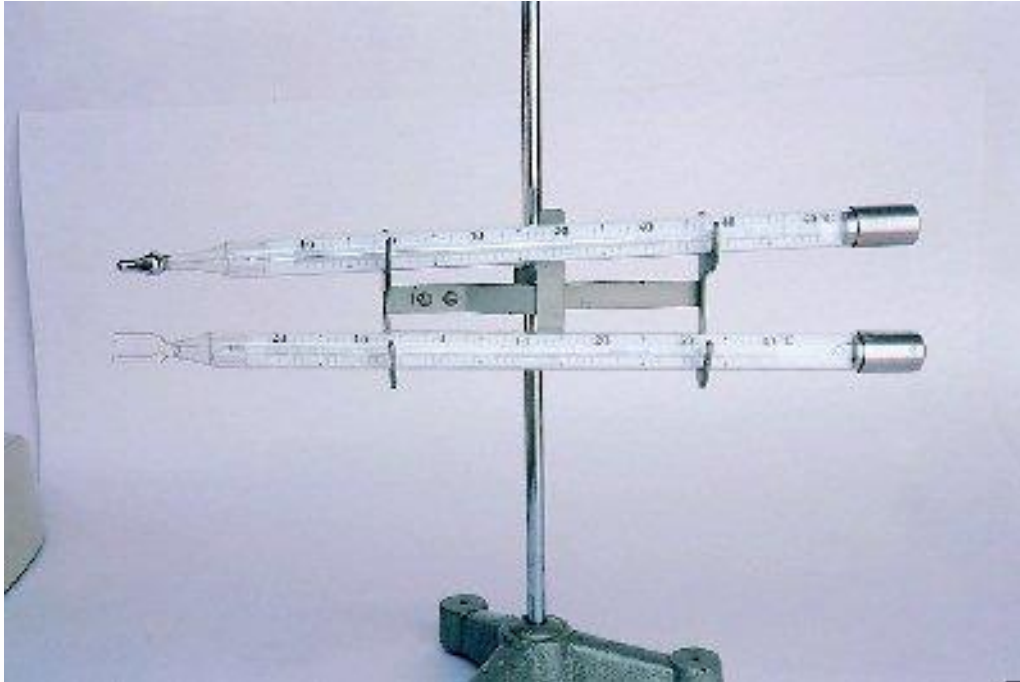


■ Termômetro de mínima

- coluna de álcool se retrai quando temperatura diminui. Na subida o halteres se fixa na posição. Escala -20°C a $+40^{\circ}\text{C}$



Termômetro de máxima e de mínima



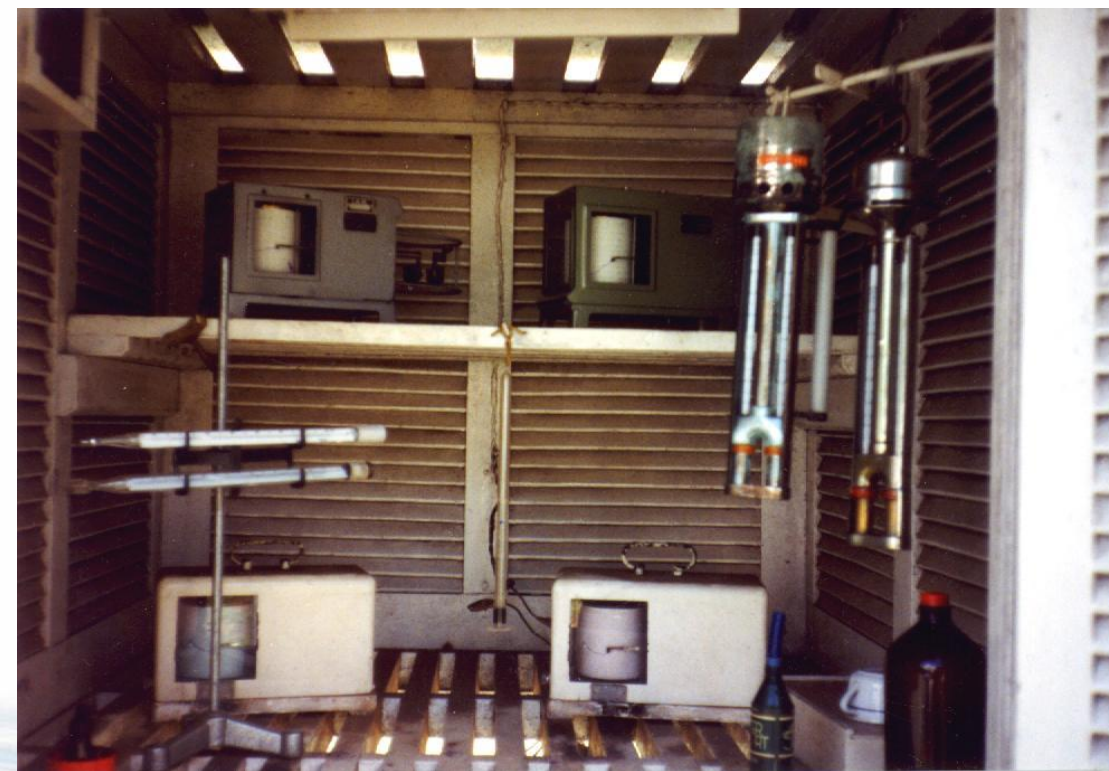
Termômetro infravermelho

■ Termógrafo

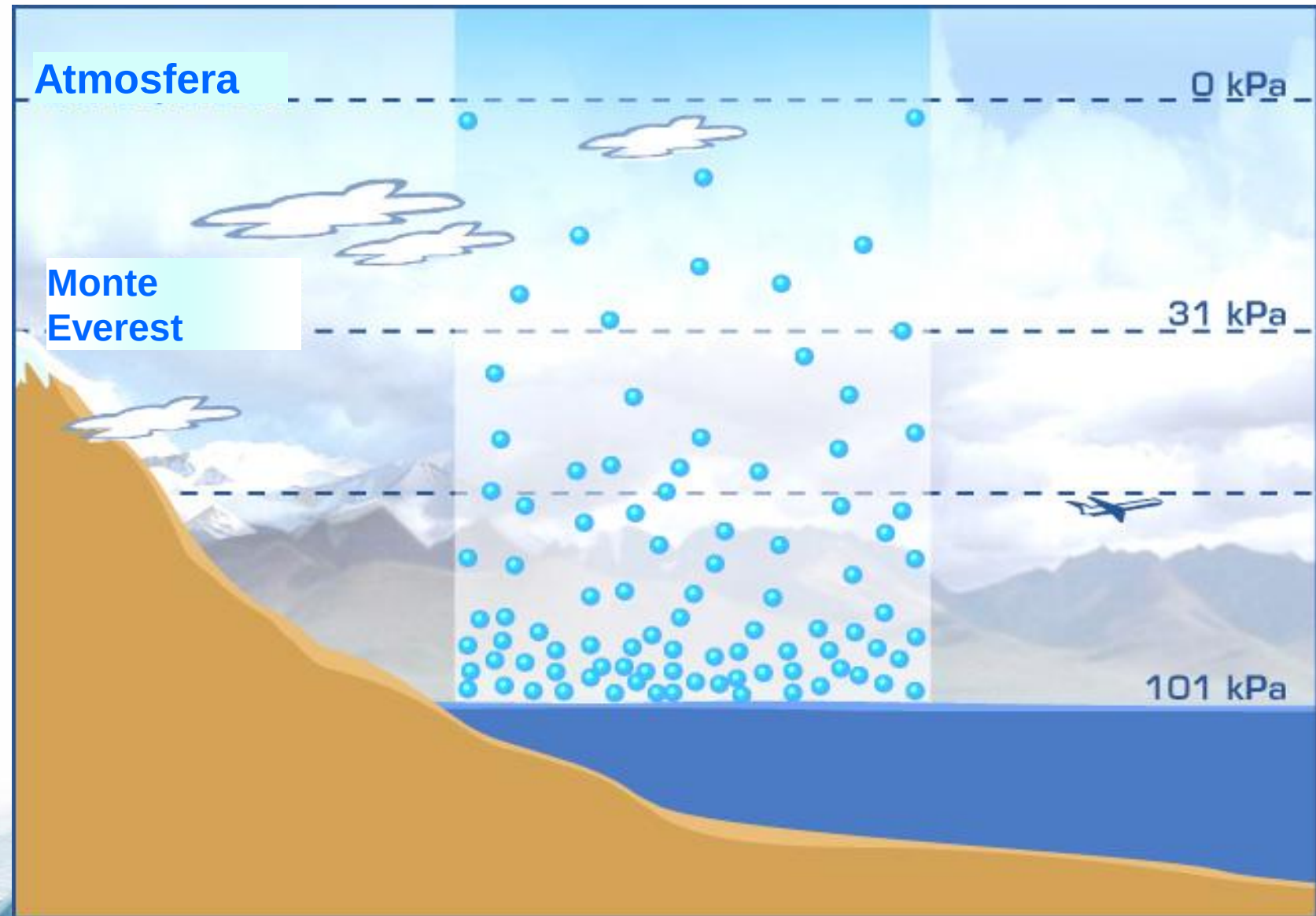
- um par solidário bi-metálico com coeficientes de dilatação térmica diferentes se deforma com a variação da temperatura. A deformação é conduzida a um registrador gráfico
- Frequência de leituras: 7, 9, 15, 21 horas
- Local de instalação: abrigo ventilado



Abrigo de termômetros

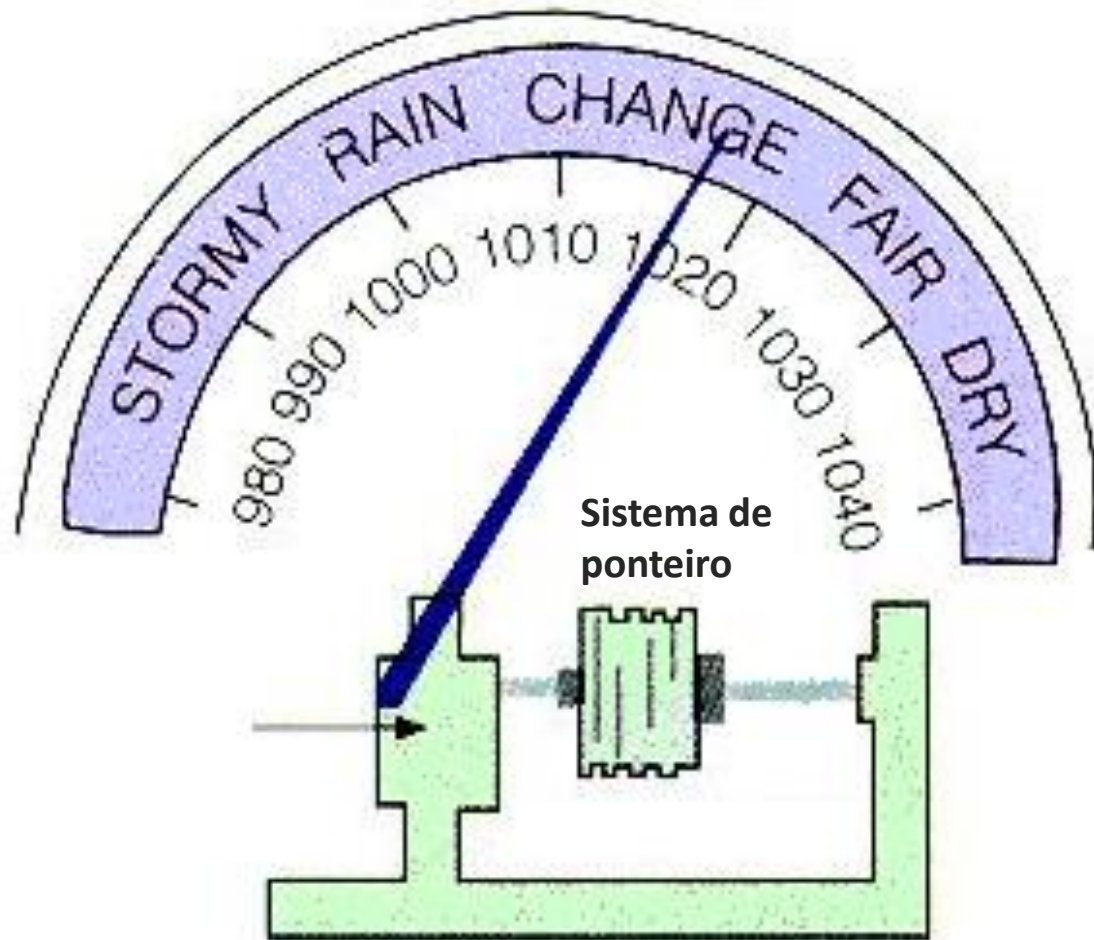


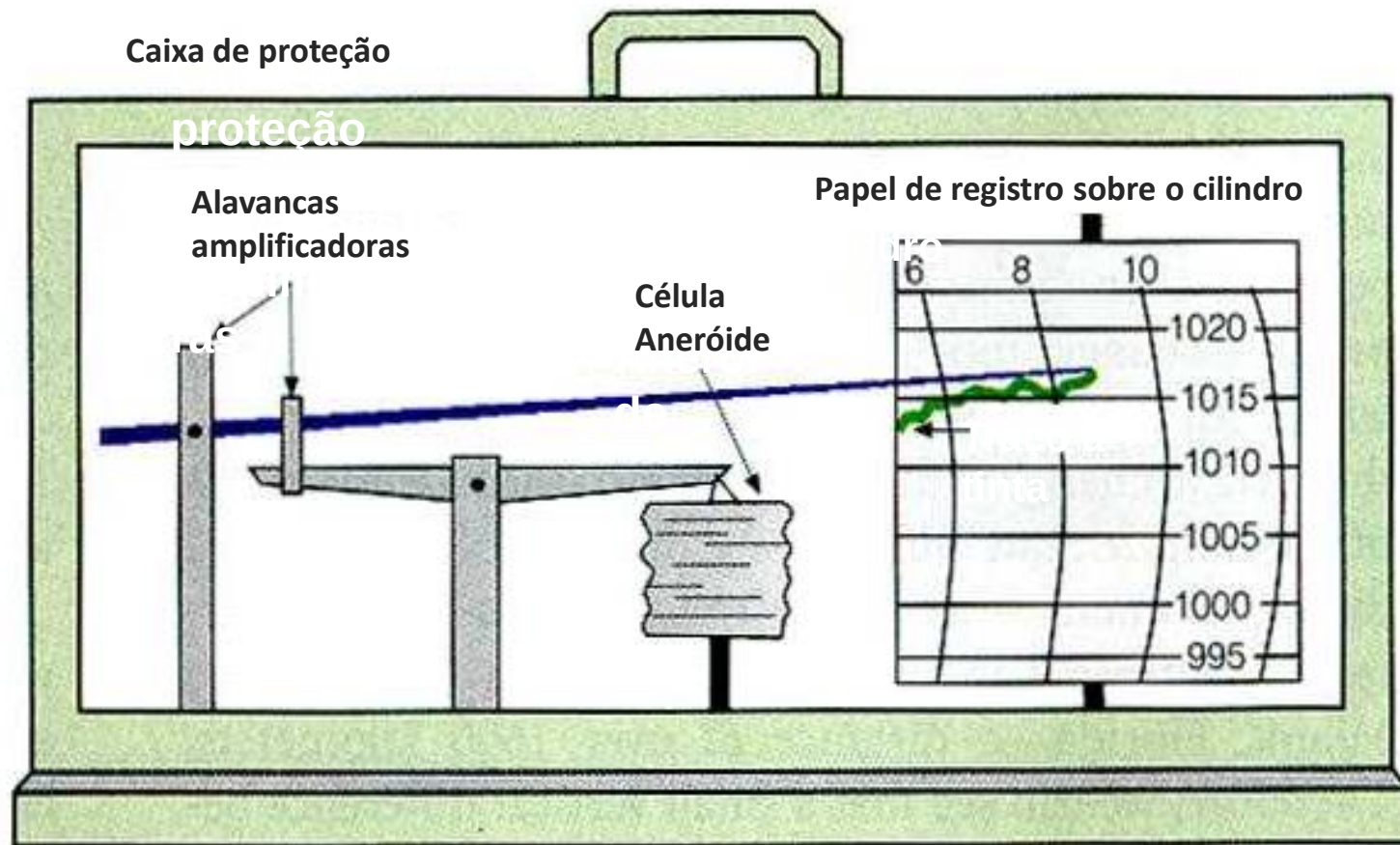
- Variação com
 - Altitude
 - Umidade do ar
- Medida com
 - Barômetros
 - Barógrafos



Barômetro aneróide

9



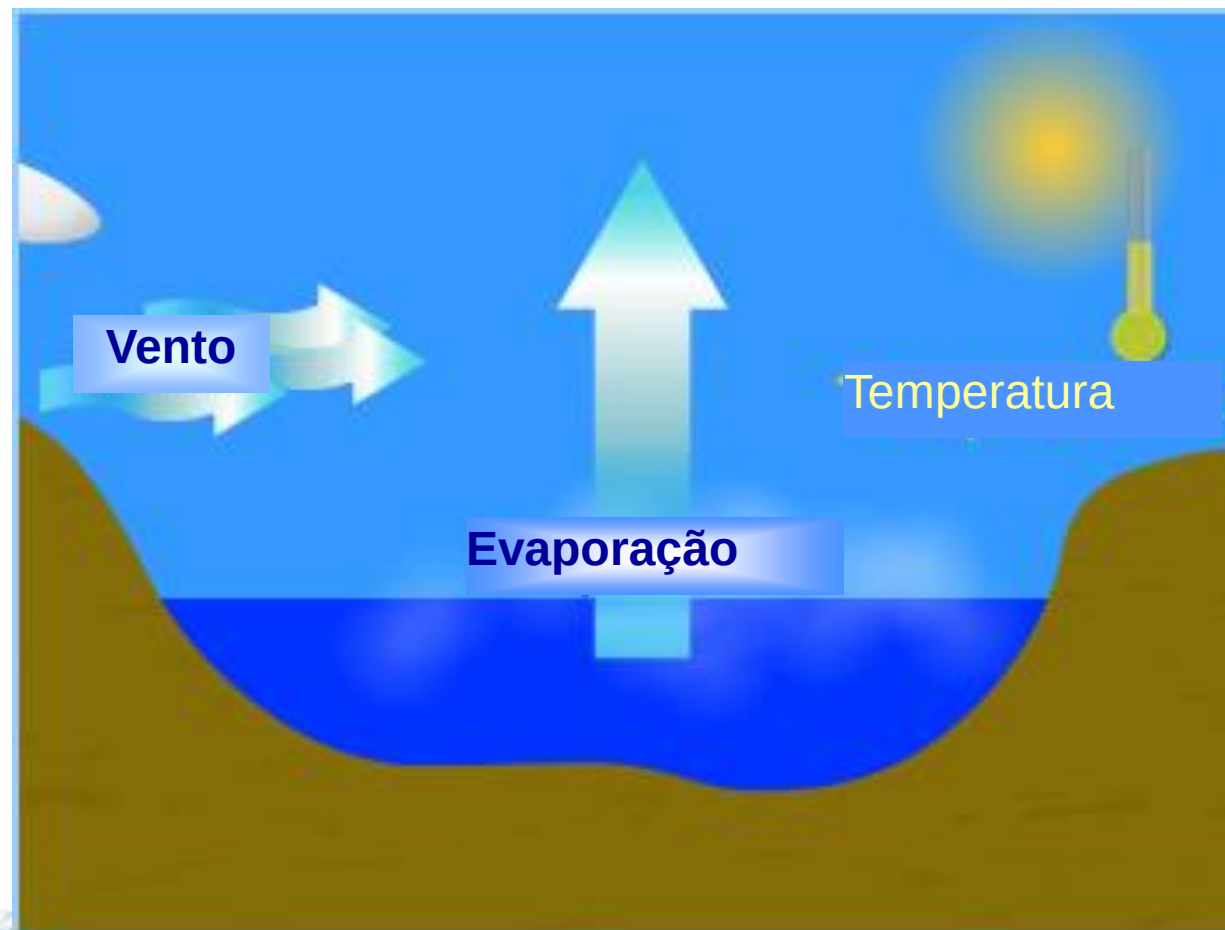


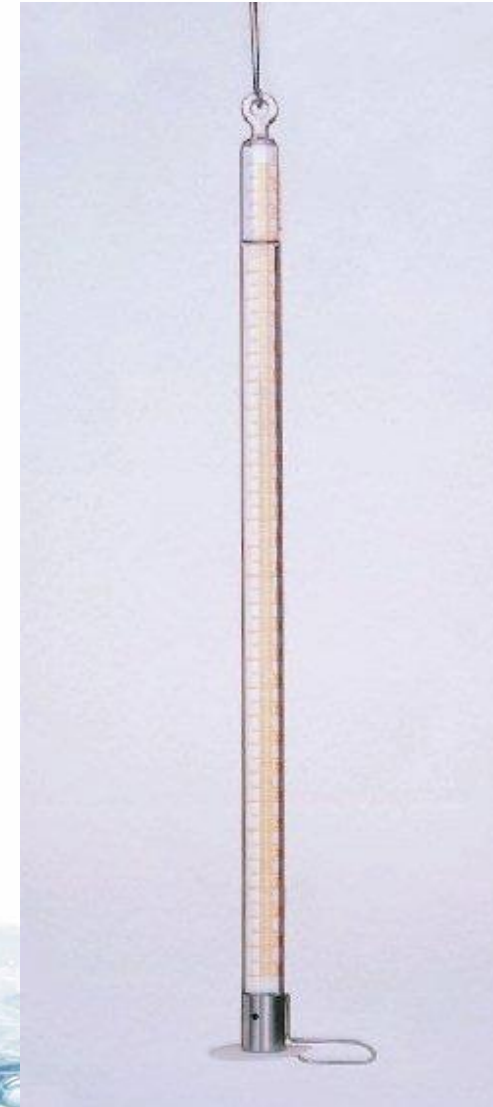
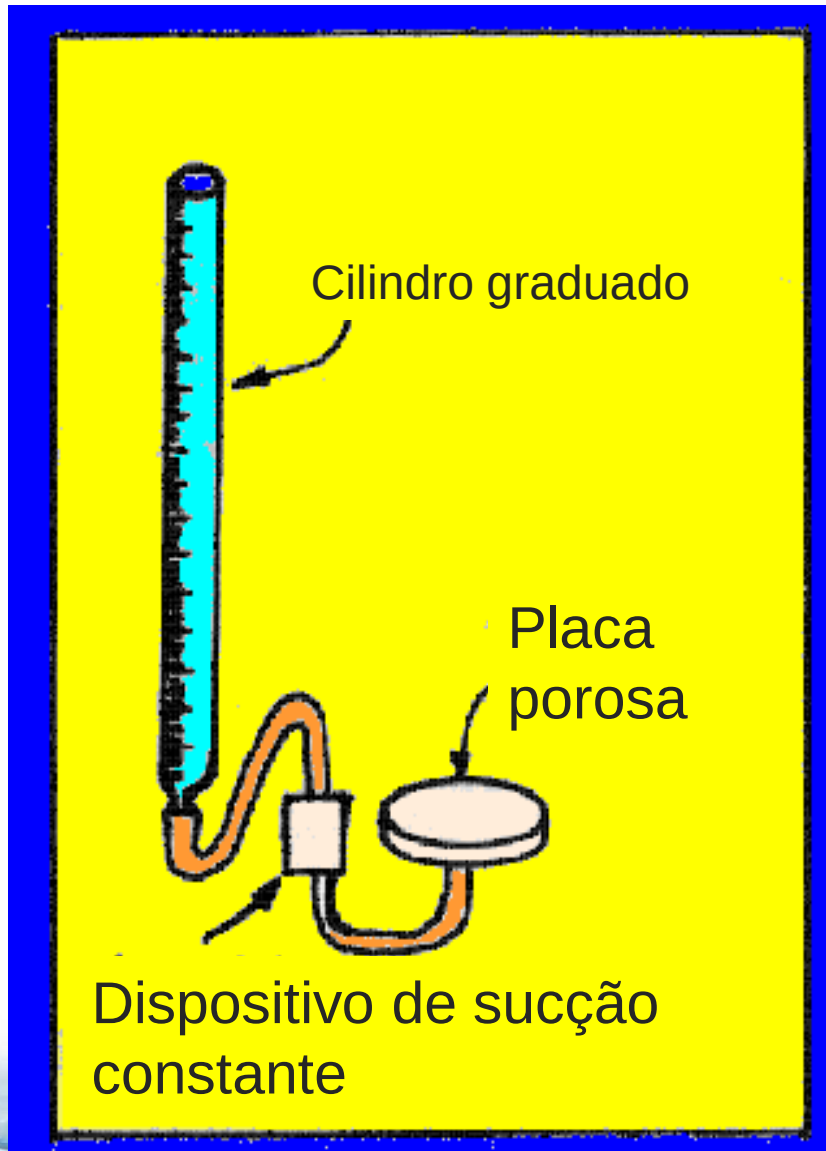
Variação com

- ❑ Presença de massas de água
- ❑ Temperatura
- ❑ Ventos
- ❑ Umidade do ar

Instrumentos de medida da evaporação

- Tanque Classe A
- Tanque enterrado (GGI)
- Tanque de 20 m²
- Tanque flutuante
- Evaporígrafo de balança
- Atmômetros





Atmômetro de
Piché



Termômetro Flutuante e Micrômetro



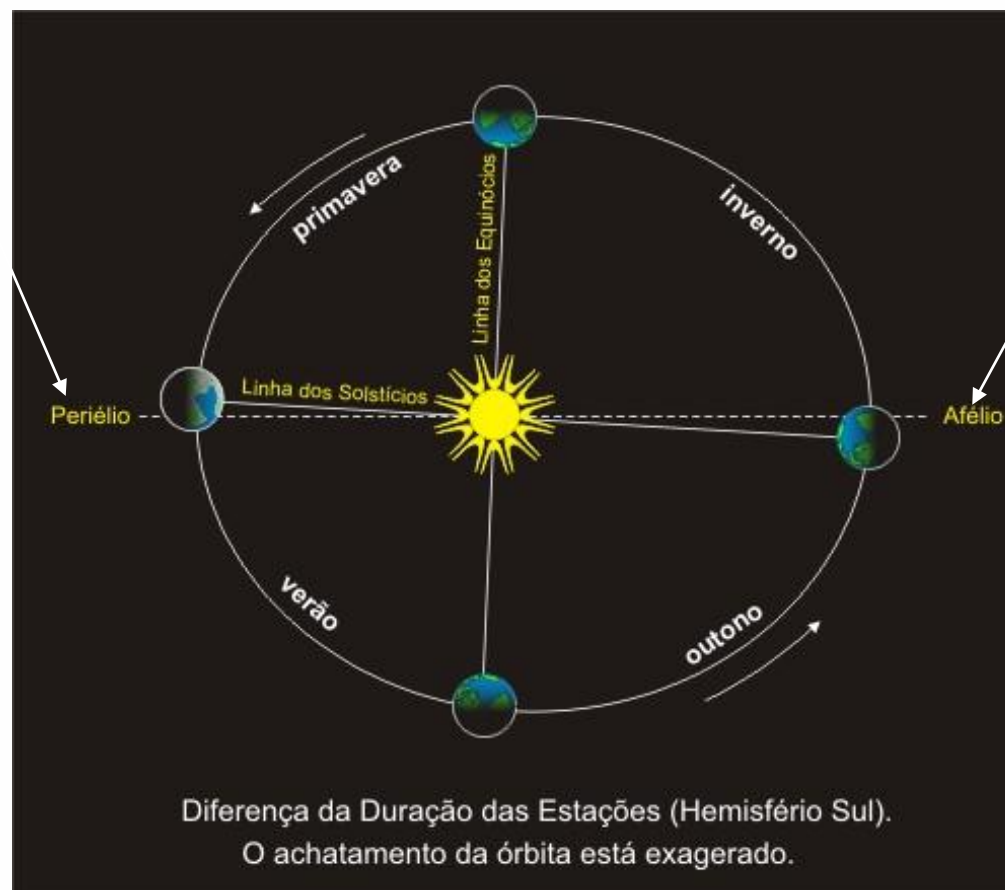


- Um dos fatores determinantes do tempo e do clima
- Afeta processos físicos (aquecimento e evaporação), biofísicos (transpiração) e biológicos (fotossíntese)
- Instrumentos de medição
 - Heliógrafo: Esfera de Cristal que mede a duração da insolação local
 - Actinógrafo: Mede o nível de energia incidente no solo



Distância Terra-Sol
(D) $\approx 1,47 \cdot 10^8$ km

Grego
"peri" = próximo
"helio" = sol



Distância Terra-Sol
(D) $\approx 1,52 \cdot 10^8$ km

Grego
"af" = distante

Como a distância Terra-Sol varia continuamente ao longo do ano, a irradiância solar extraterrestre também variará.

Unidades de radiação

- Valores instantâneos

- $\text{W/m}^2 = \text{J/m}^2.\text{s} \Rightarrow \text{SI}$

- $\text{cal/cm}^2.\text{min} \Rightarrow \text{ST}$

- Valores diários

- $\text{MJ/m}^2.\text{dia} \Rightarrow \text{SI}$

- $\text{cal/cm}^2.\text{dia} \Rightarrow \text{ST}$

1 cal = 4,18 J

1 $\text{cal/cm}^2.\text{min}$ = 696,67
 W/m^2

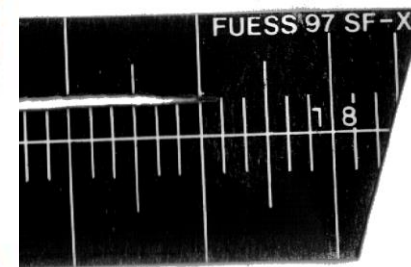
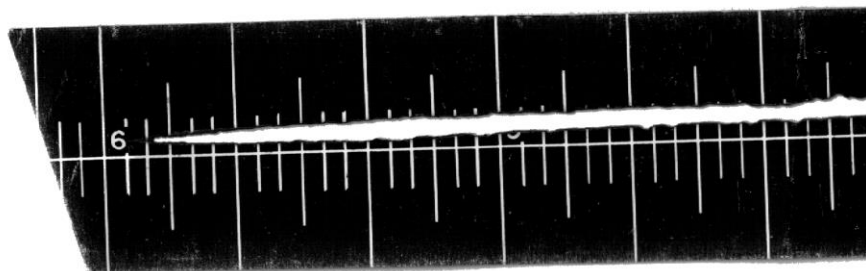
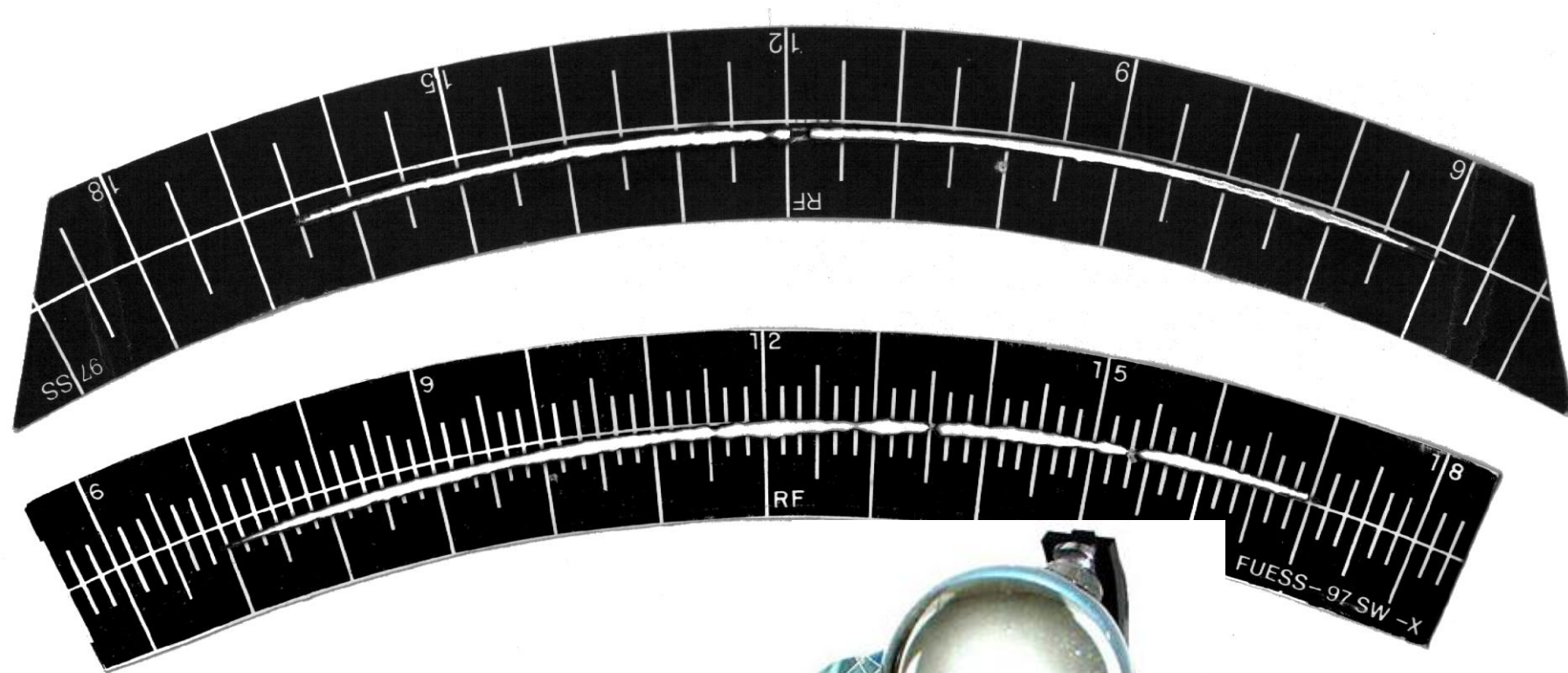
1 Langley = 1 cal/cm^2

1 $\text{MJ/m}^2.\text{dia}$ = 23,923 $\text{cal/cm}^2.\text{dia}$

Heliógrafo

- ❑ Registram o número de horas de insolação (horas em que o sol realmente brilhou)
- ❑ Constituído de uma esfera de vidro transparente, suspensa nas extremidades de um arco metálico
- ❑ Os raios solares são convergidos pela esfera sobre o **heliograma** (tira de cartolina especial fixada na concha metálica), queimando-o.





- Actinógrafo (ou solarímetro):
 - Registram a quantidade de energia solar incidente na superfície da terra (radiação global)
 - Constituídos de placas bimetálicas (negras e brancas) que absorvem radiação, dilatando-se diferentemente
 - A dilatação é amplificada e transmitida por um sistema de alavancas que aciona uma pena que registra o movimento no diagrama (actinograma) fixo em um mecanismo de relojoaria

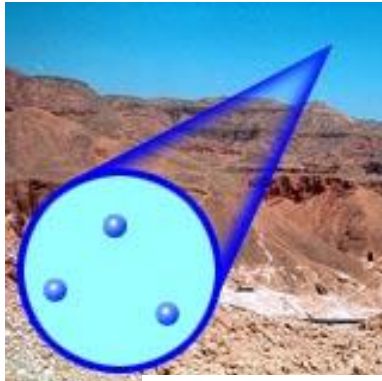


Sistema de
registro mecânico

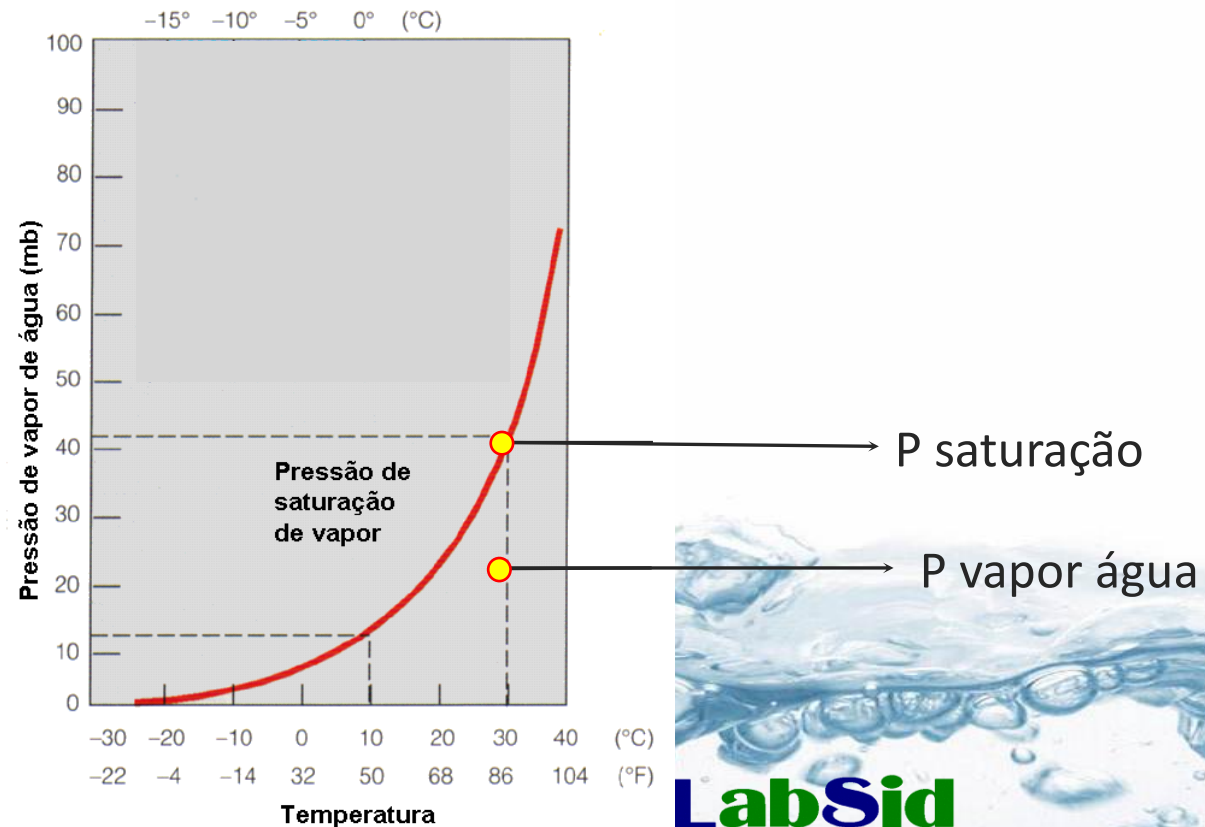
Placas bimetálicas,
cobertas por uma cúpula
de vidro ou quartzo, que
impede que as ondas
longas atinjam as placas

- Definição
 - Pressão de vapor local / Pressão de saturação
- Medida com
 - Psicrômetro: termômetros de bulbo seco e úmido
 - Higrógrafos



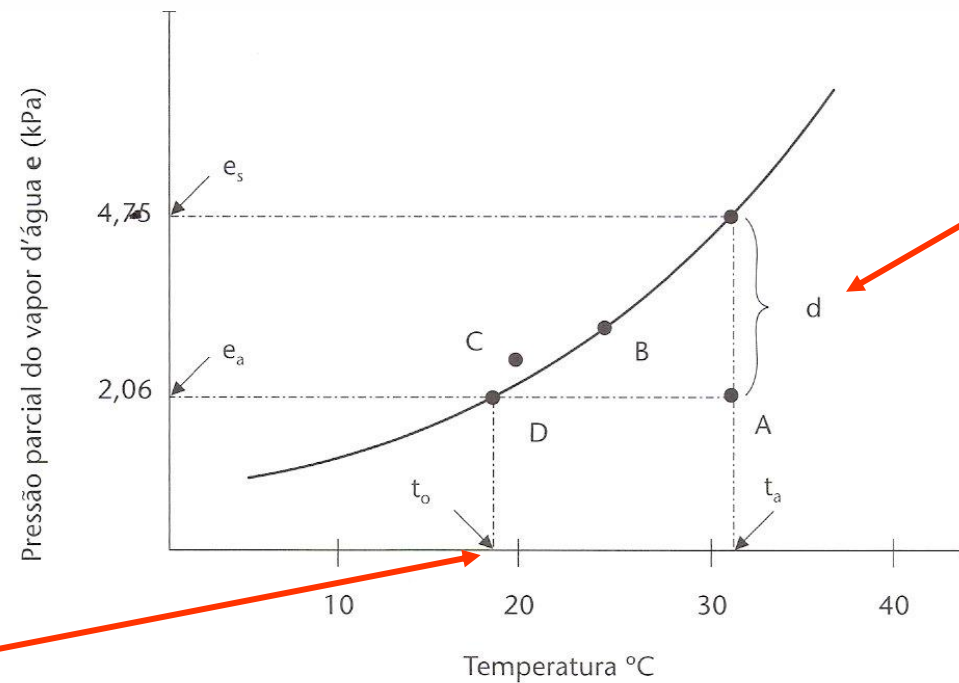


Umidade relativa de um volume de ar é a relação entre a quantidade de vapor de água que ele contém e o que conteria se estivesse saturado.



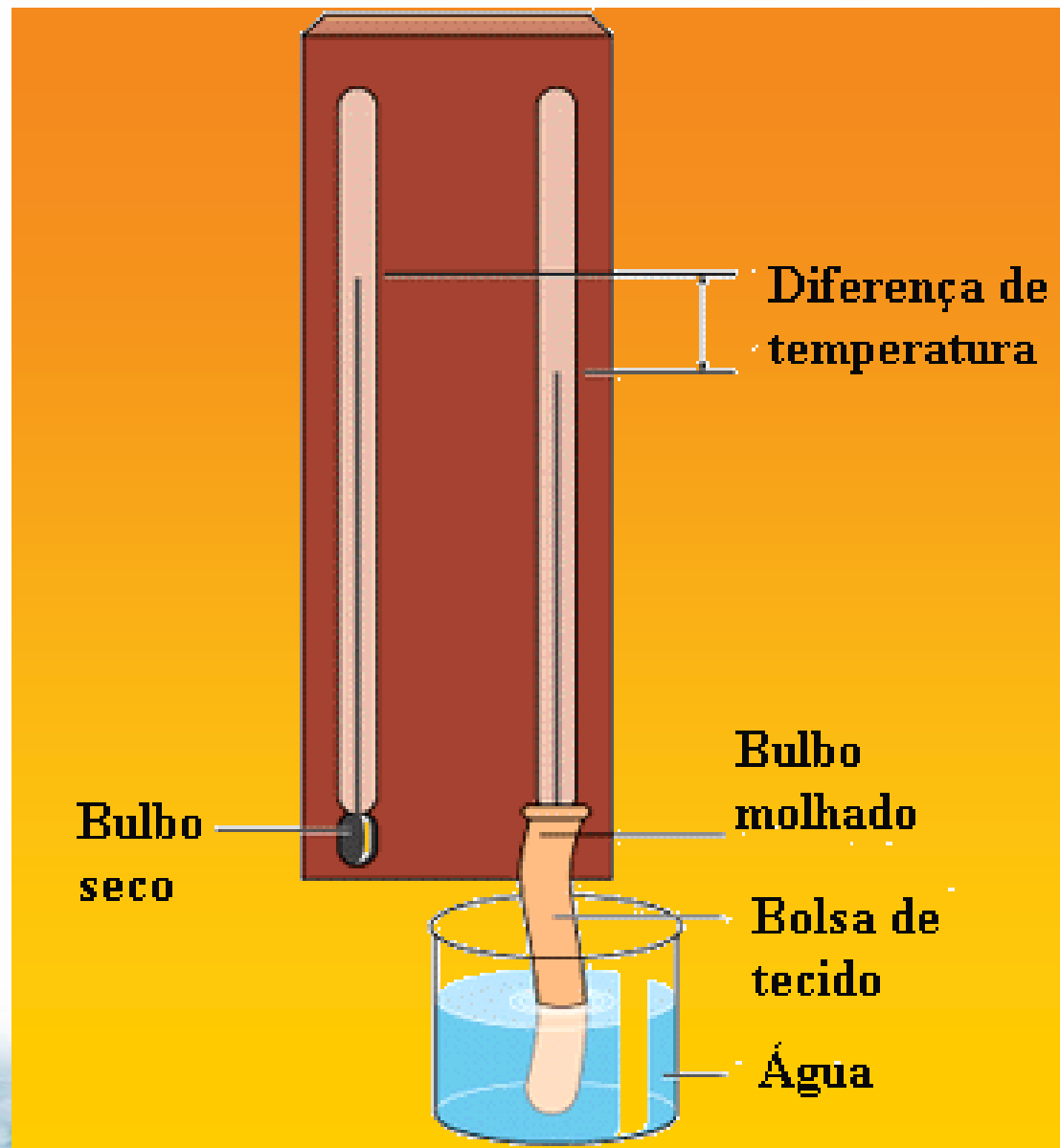
$$UR = \frac{P_{\text{vapor}}}{P_{\text{sat}}}$$

$$e_s = 0,61078 \cdot \exp\left(\frac{17,269 \cdot T}{T + 237,3}\right)$$



Déficit de saturação ($e_s - e_a$)

Temperatura do ponto de orvalho



$$UR = \frac{e_a}{e_s} \cdot 100$$

- Obtida com o psicrômetro
 - Termômetro de bulbo seco (t)
 - Termômetro de bulbo úmido (tu)
- A água da fase evapora subtraindo energia do bulbo úmido (tu < t)

$$e_a = e_{su} - \lambda(t - t_u)$$

e_a – pressão parcial atual do vapor de água do ar, kPa

e_{su} – pressão parcial de saturação à temperatura do termômetro úmido (tu), kPa

t – temperatura do ar (termômetro seco), °C

tu – temperatura do bulbo úmido, °C

λ - constante psicrométrica: 0,062 kPa/°C para psicrômetros ventilados e 0,074 kPa/°C para psicrômetros não ventilados

- As temperaturas de um psicrômetro não ventilado, em determinado local foram $t = 25,3^{\circ}\text{C}$ e $t_u = 19,8^{\circ}\text{C}$. Qual a UR?

$$e_s = 0,61078 \cdot \exp\left(\frac{17,269 \cdot T}{T + 237,3}\right)$$

$$e_a = e_{su} - \lambda(t - t_u)$$

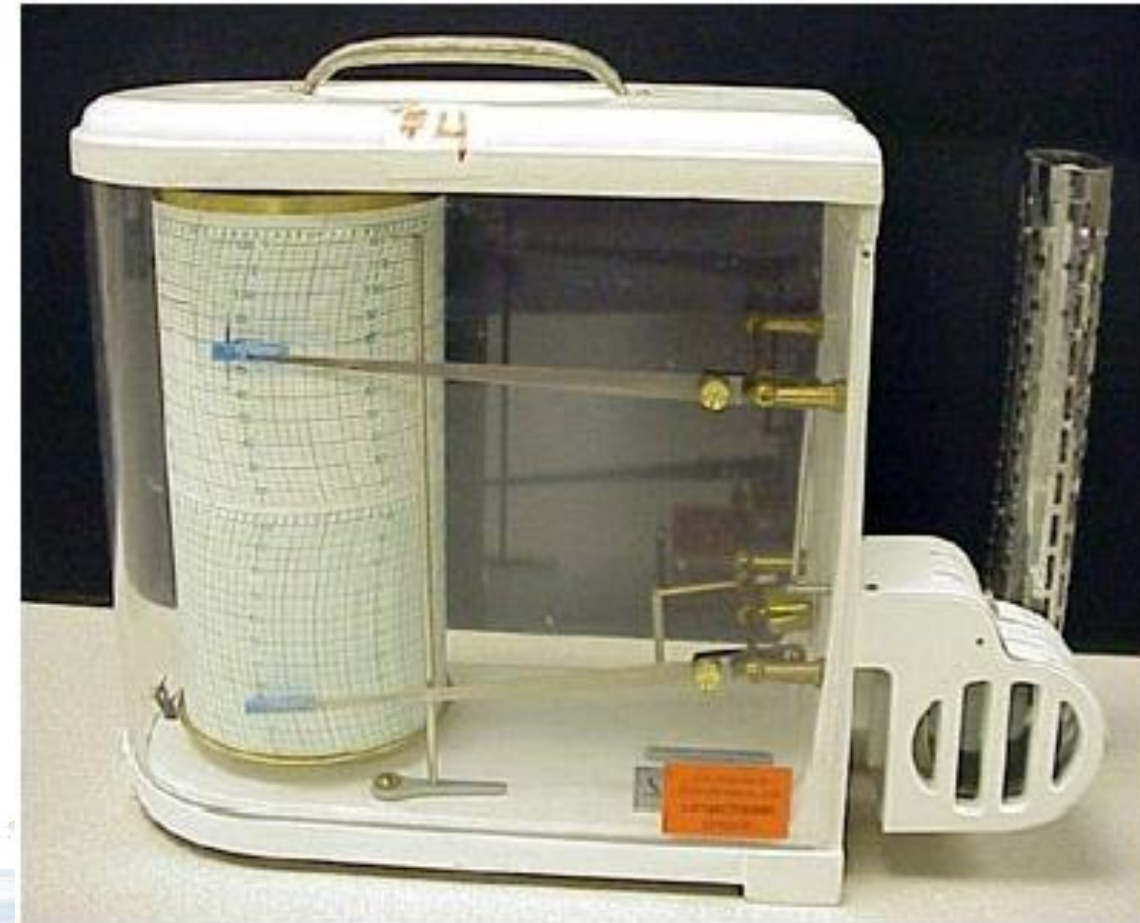
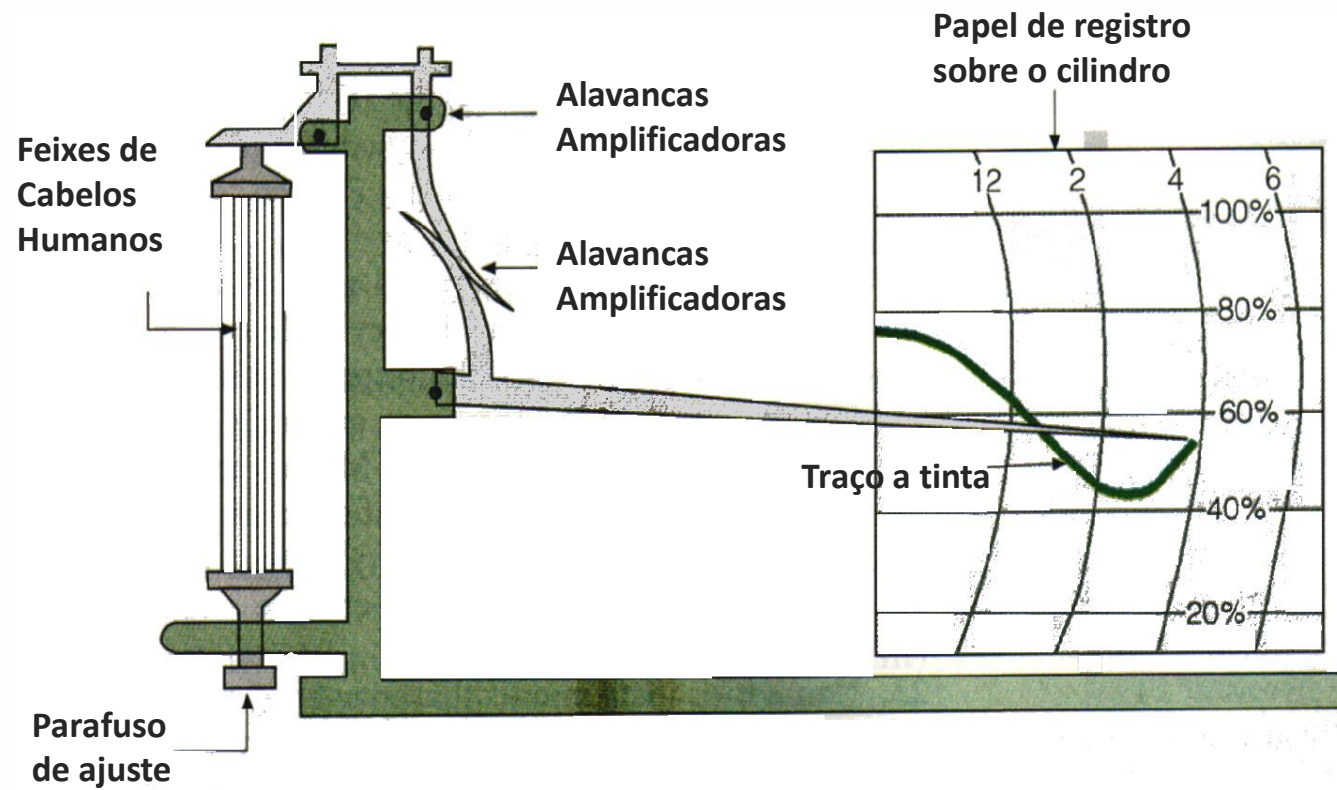
$$UR = \frac{e_a}{e_s} \cdot 100$$

$$e_s = 0,61078 \cdot \exp\left(\frac{17,269 \cdot 25,3}{25,3 + 237,3}\right) = 3,22 \text{ kPa}$$

$$e_{su} = 0,61078 \cdot \exp\left(\frac{17,269 \cdot 19,8}{19,8 + 237,3}\right) = 2,31 \text{ kPa}$$

$$e_a = 2,31 - 0,074 \cdot (25,3 - 19,8) = 1,9 \text{ kPa}$$

$$UR = \frac{1,9}{3,22} \cdot 100 = 59,1\%$$





Importante para

- ❑ Monitoramento e previsão do tempo
- ❑ Aproveitamento energético
- ❑ Esforços em grande estruturas
- ❑ Ondas em reservatórios
- ❑ Estimativa de evaporação
- ❑ Dispersão de poluentes no ar

Medição com

- ❑ Anemômetros: mede só velocidade
- ❑ Anemógrafos: mede velocidade e direção dos ventos

■ Velocidade horizontal:

- ❑ Incerteza de medição necessária de $0,5 \text{ m s}^{-1}$ para velocidade abaixo de 5 m s^{-1} e melhor que 10% para velocidade acima de 5 m s^{-1}

■ Direção

- ❑ Medida no sentido horário a partir do norte geográfico (norte verdadeiro) baseado no Sistema de Referência de Coordenadas WGS84





Sensor de direção e
velocidade ultrassônico



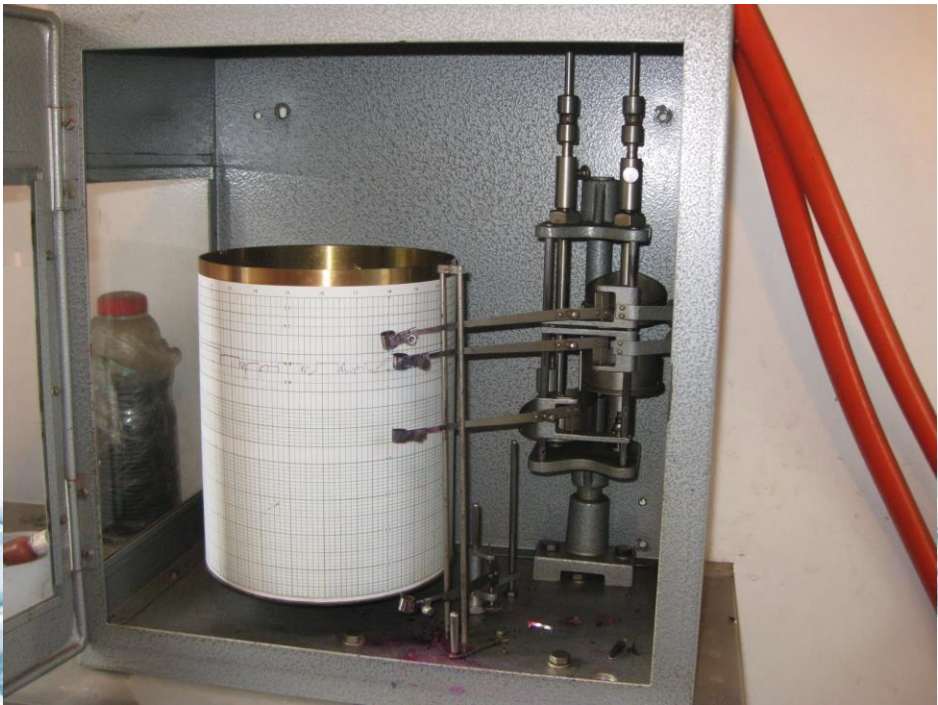
Com sensores



Registro do anemógrafo



Anemograma





Plástico

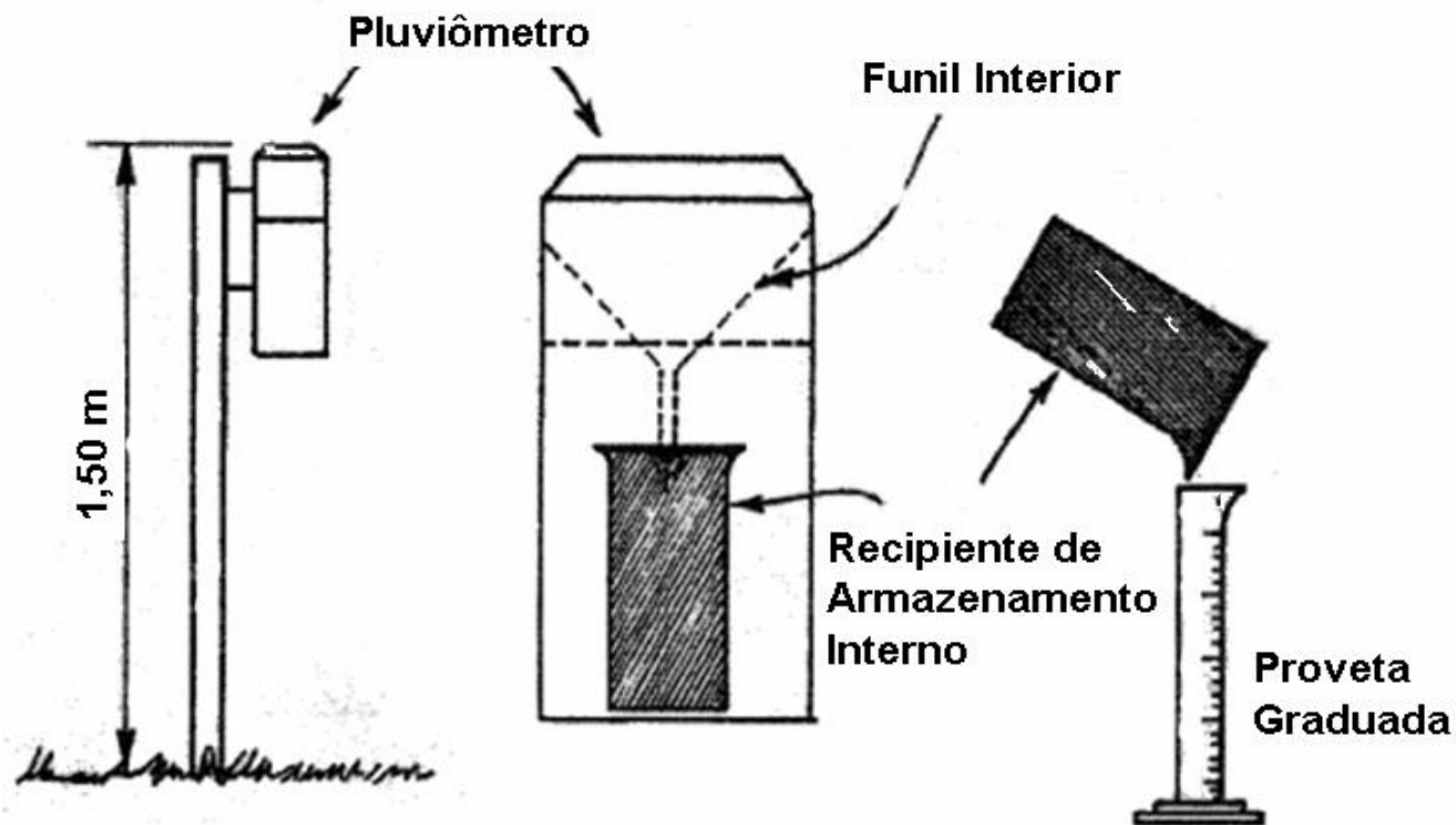


Paulista



Pluviógrafo de boia (semanal)





Características básicas de um pluviômetro.

Instalação



Pluviômetro de Bâscula



Abrigo de Instrumentos



Painel de controle



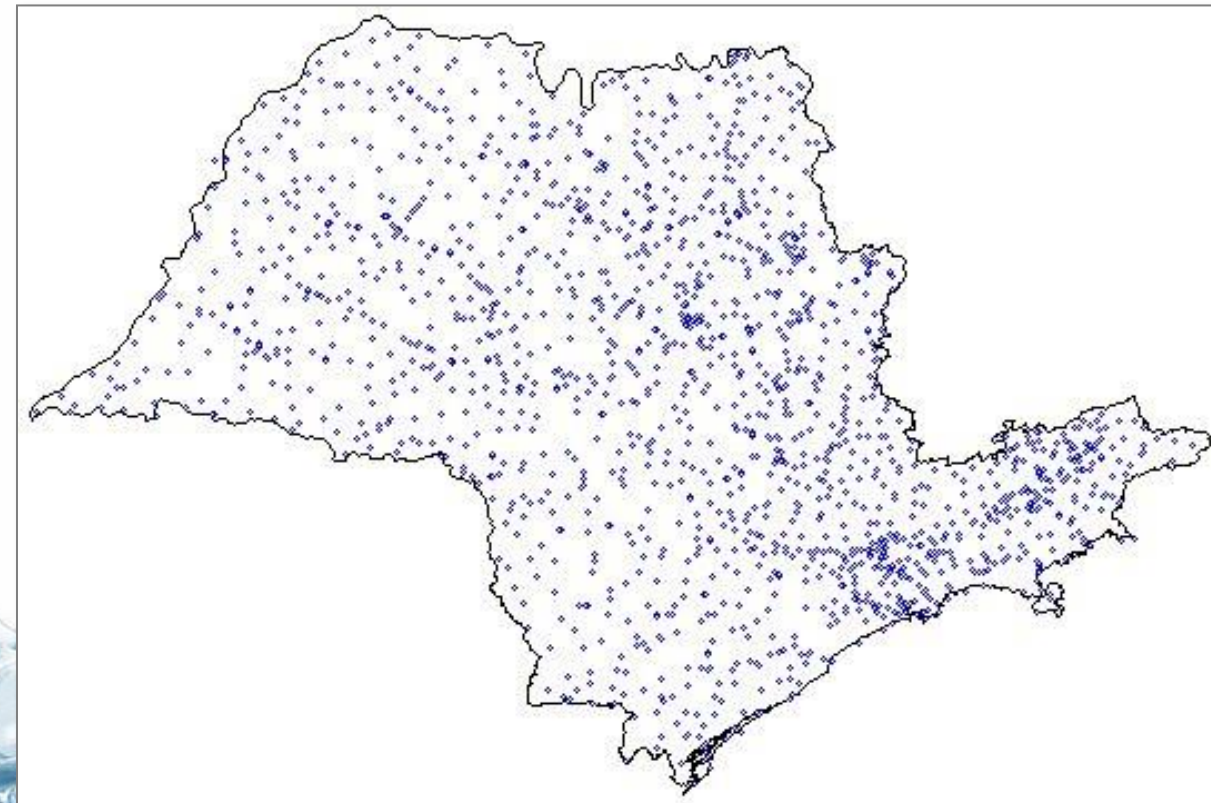
Rede telemétrica (Esquema da Estação)



Desde 1951 o DAEE/CTH opera a Rede Hidrológica Básica do Estado de São Paulo, sendo ela constituída por estações fluviométricas e pluviométricas abrangendo o território estadual.

Postos pluviométricos do estado de São Paulo

- 2164 postos Pluviométricos (Hidroweb, 2021)
- 123 postos PLU telemétricos (Hidroweb, 2021)
- 1235 postos Fluviométricos (Hidroweb, 2021)
- 123 postos FLU telemétricos (Hidroweb, 2021)
- 240 estações meteorológicas
 - 161 Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO) – IAC
 - 32 Centro de Emergências climáticas da Prefeitura de São Paulo
 - 1 Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP
 - 46 Instituto Nacional de Meteorologia (38 automática)



Fonte:
Hidroweb. <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>> Acesso em 26 abr. 2021.
IAC. <<http://www.iac.sp.gov.br/noticiasdetalhes.php?id=1018>> Acesso em 26 abr. 2021.
CGE. <<https://www.cgesp.org/v3/index.jsp>> Acesso em 26 abr. 2021.
Inmet. <<https://mapas.inmet.gov.br/>> Acesso em 26 abr. 2021.

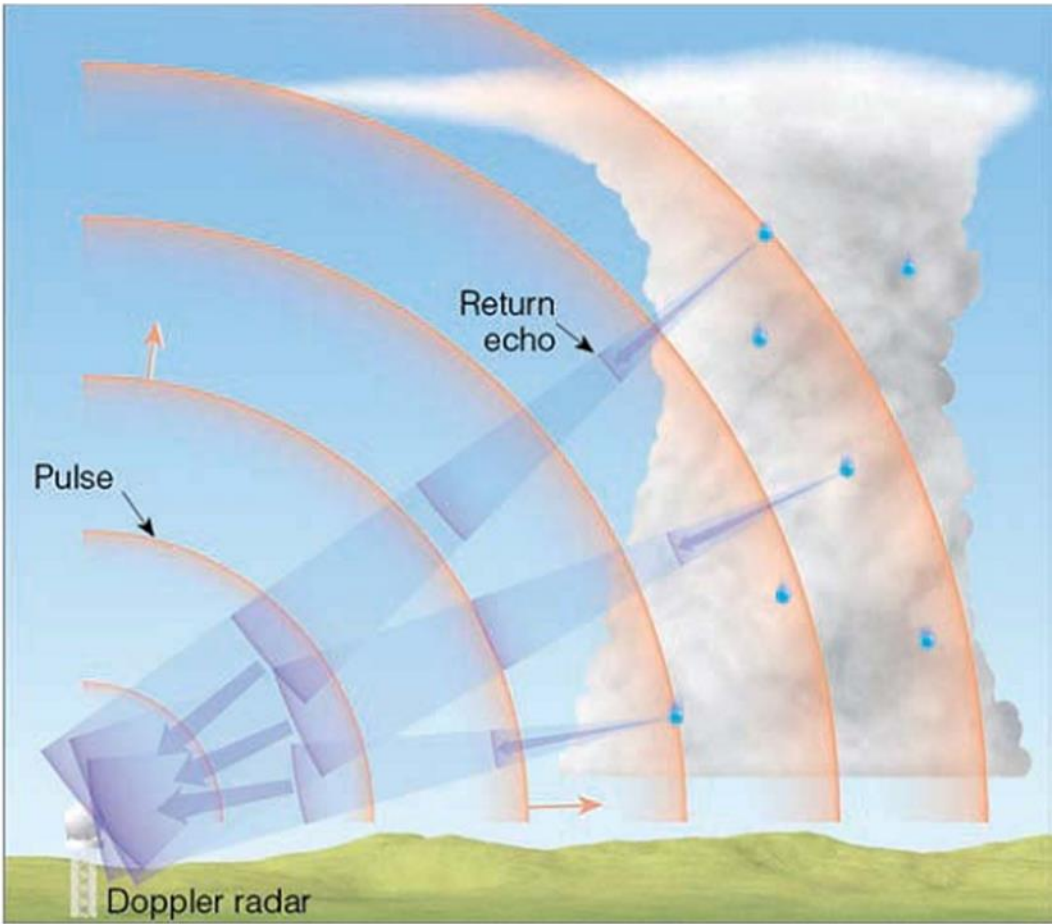
- Foi implementado no ano de 1977, com o objetivo de monitoramento automático de chuvas e níveis dos principais rios da bacia do Alto Tietê
- Redes operadas pelo Sistema de Alerta a Inundações do Estado de São Paulo – SAISP (FCTH)
- Principais redes
 - Rede Telemétrica do Alto Tietê: 42 postos
 - Rede Telemétrica Cubatão: 7 postos
 - Rede Telemétrica SABESP: 31postos
 - Rede Telemétrica Piracicaba (Bacia PCJ): 15 postos
 - Estações Meteorológicas: 21 postos
 - Piscinões SIURB: 4 postos
 - Piscinões DAEE: 42 postos

Instalado no ano de 1988, na Barragem de Ponte Nova (município de Biritiba-Mirim), cabeceira do Rio Tietê.



Fonte:
SAISP/FCTH

Radar meteorológico (RAdio Detection And Ranging)



Comprimento de onda: 1 cm → gotas pequenas ($F \cong 30$ GHz)
3 a 10 cm → gotas grandes ($F \cong 10$ a 3 GHz)

Ahrens, C.D. Meteorology today; an introduction to weather, climate, and the environment. 9 Ed. Brooks/Cole, Cengage learning, Belmont, 2009.

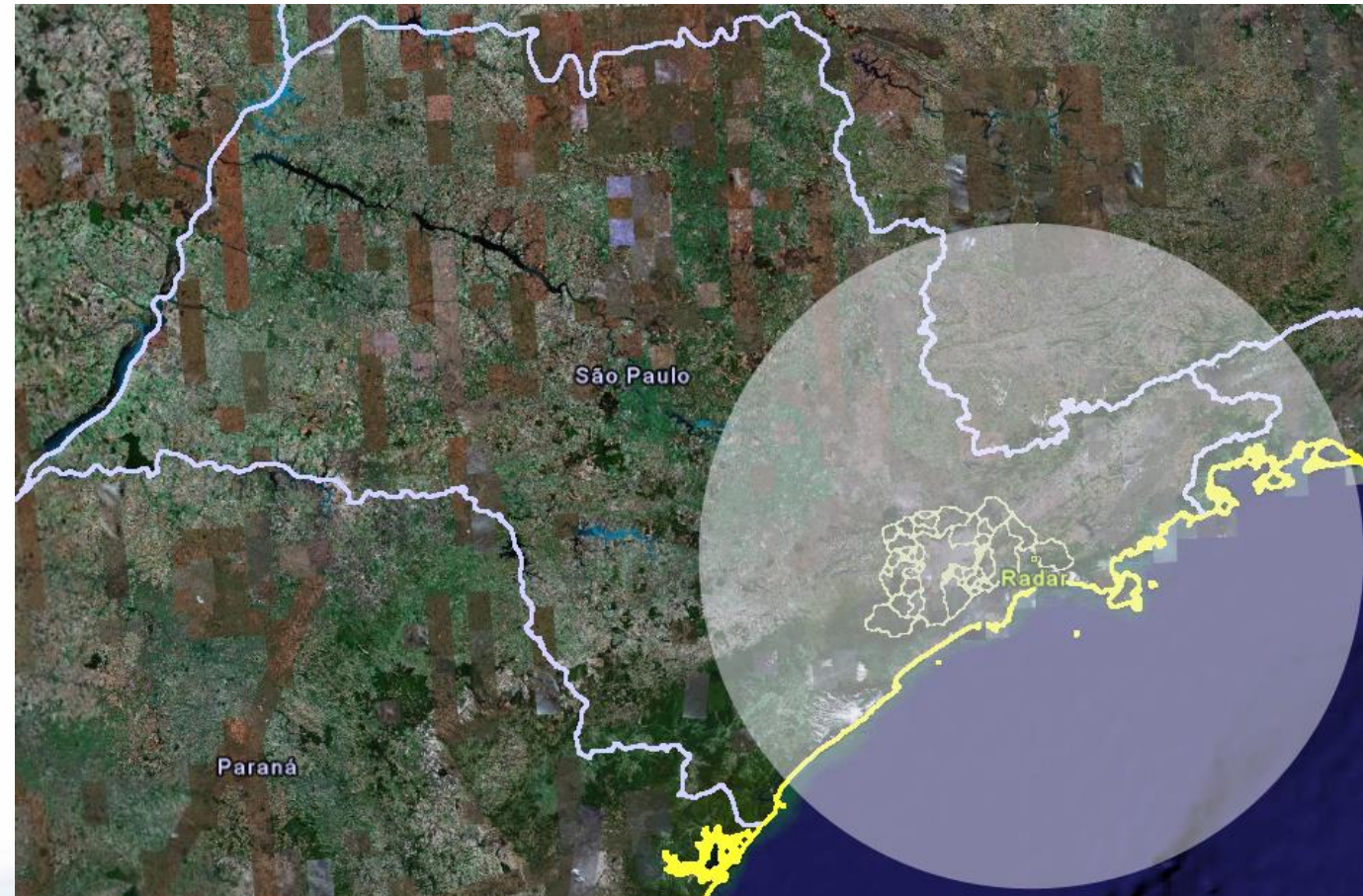
- A refletividade possui uma relação física com o espectro de gotas observado
- Pode-se determinar a partir deste espectro uma relação entre a refletividade do radar ($Z - \text{mm}^6/\text{m}^3$ ou dBZ) e a taxa de precipitação ($R - \text{mm/h}$) correspondente
- a e b específicos para cada radar e sua configuração

$$Z(\text{dBZ}) = 10 \cdot \log Z(\text{mm}^6/\text{m}^3) \quad Z = a \cdot R^b \quad \Rightarrow \quad R = \left(\frac{Z}{a}\right)^{1/b}$$

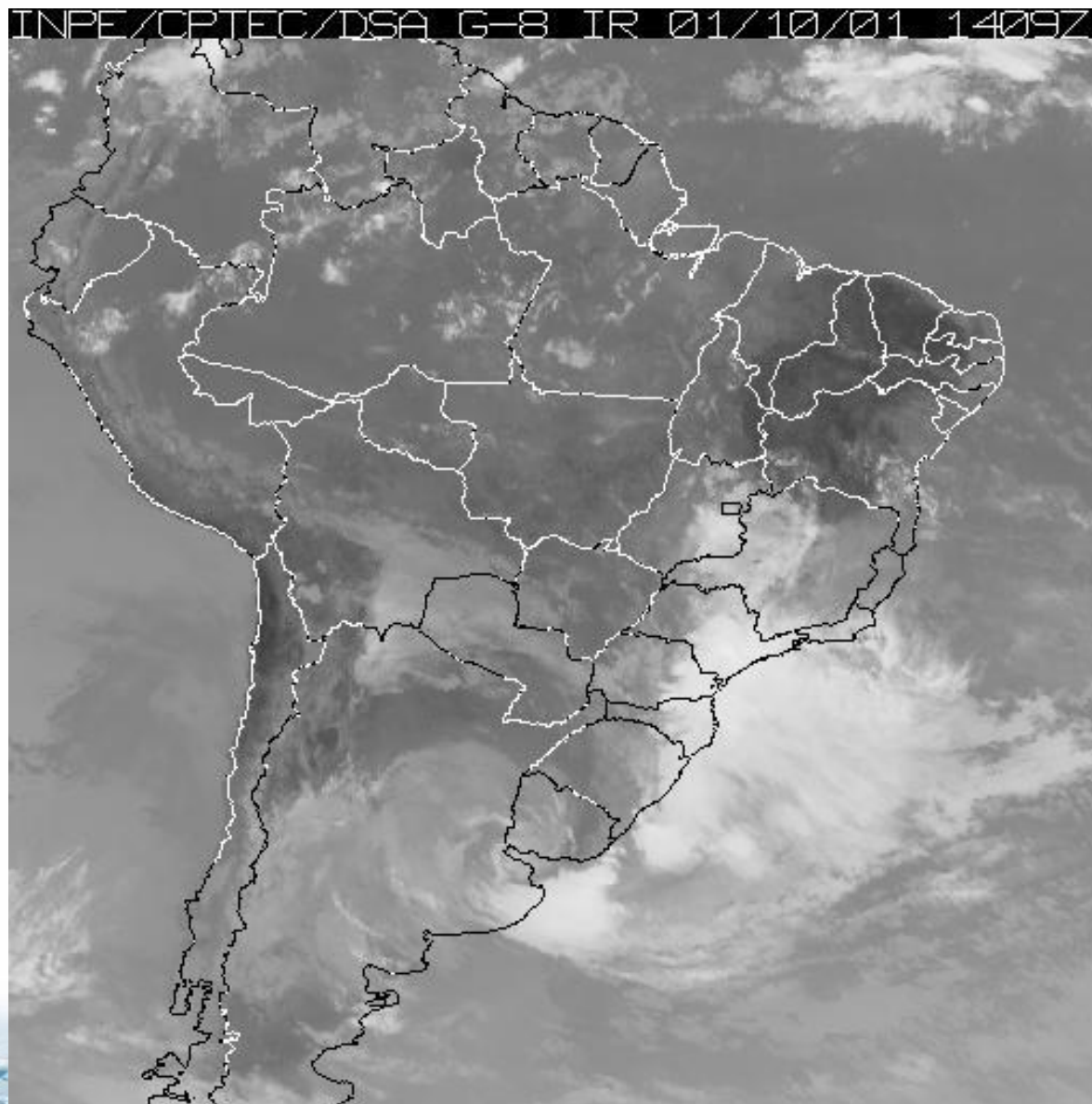
$Z = aR^b$	a	b	Tipo de precipitação
Marshal e Palmer (1948)	200	1,6	Homogêneas e eventos estratiforme
Blanchard (1953)	31	1,37	Orográficas
Jones (1956)	486	1,37	Convectivas
Joss e Walvogel (1967)	230	1,4	Médias
Joss e Walvogel (1967)	400	1,3	Processos convectivos intensos
Joss e Walvogel (1967)	100	1,4	Processos frontais (gotas muito pequenas)
Smith et al. (1975)	155	1,88	Convectivas (presença de granizo)
Calheiros e Zawadzki (1987)	32	1,65	Radar de Bauru, SP

Miguel, B.H. Uso de dados de radar meteorológico em modelo hidrológico SCS-CN para estimativa de escoamento superficial. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018.

Raio de cobertura do radar é de 240 km, com resolução de 2x2 km ou com raio de 120 km com resolução de 1x1km

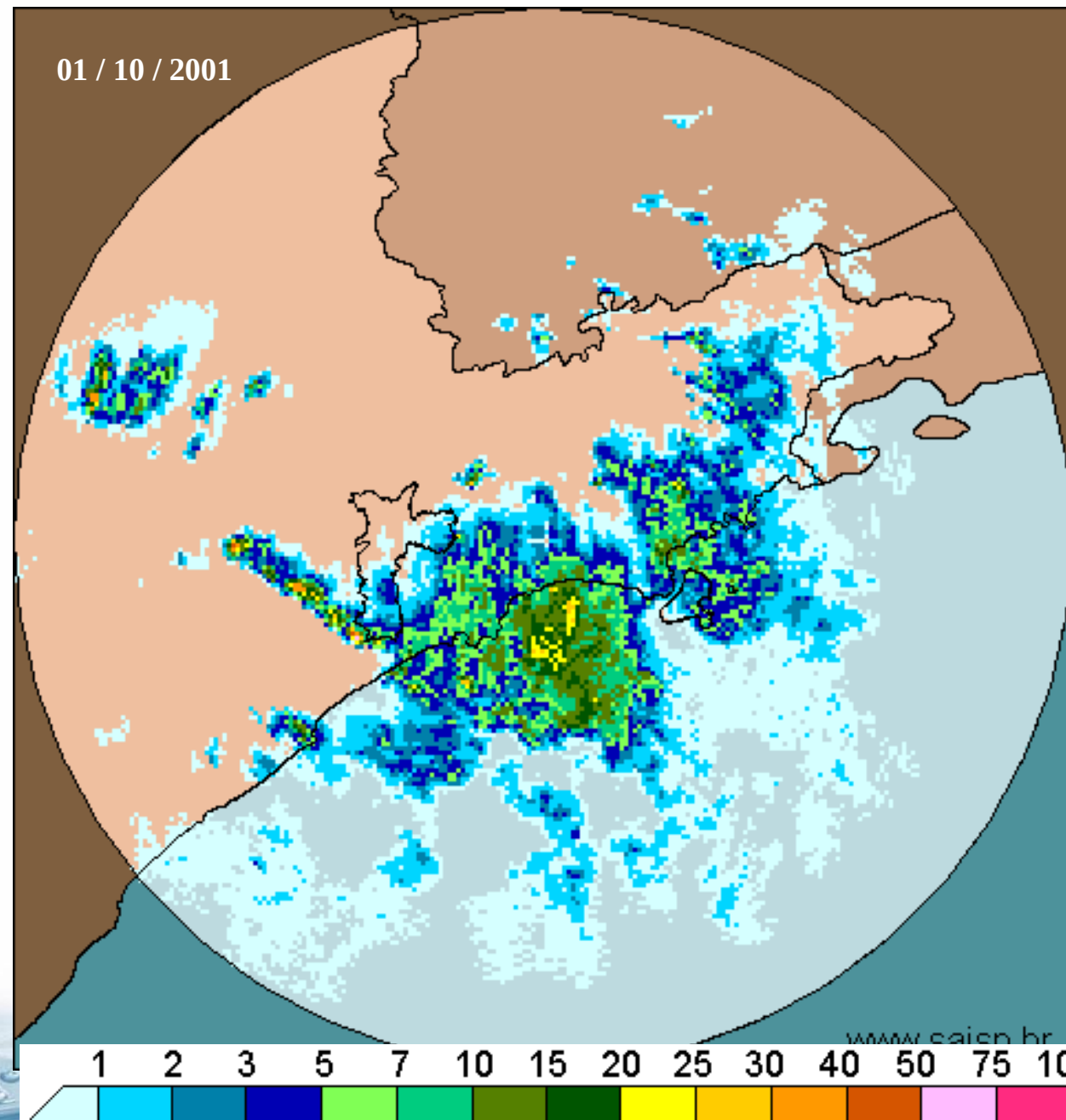


Fonte: SAISP/FCTH



Evento de chuva

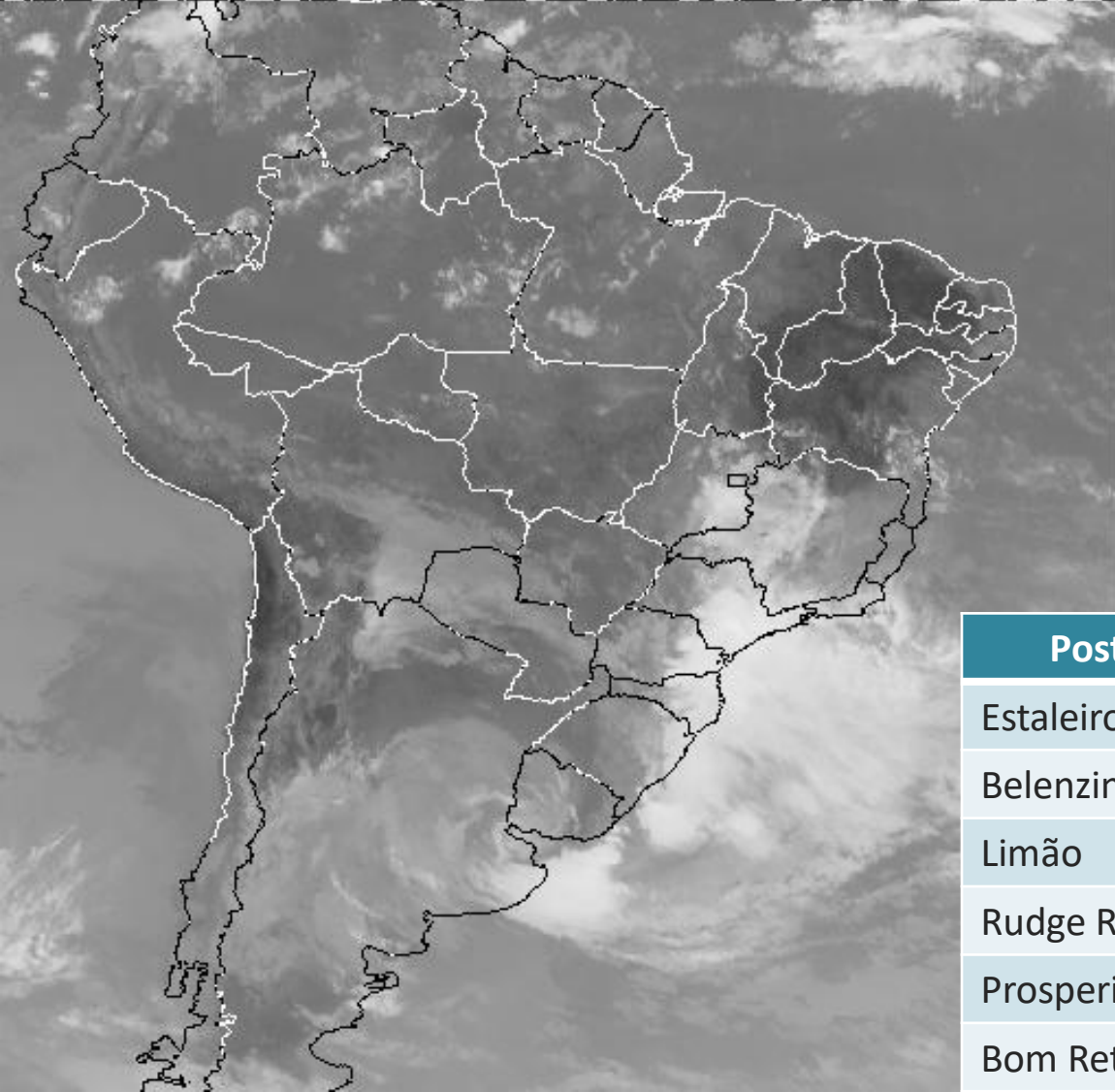
45



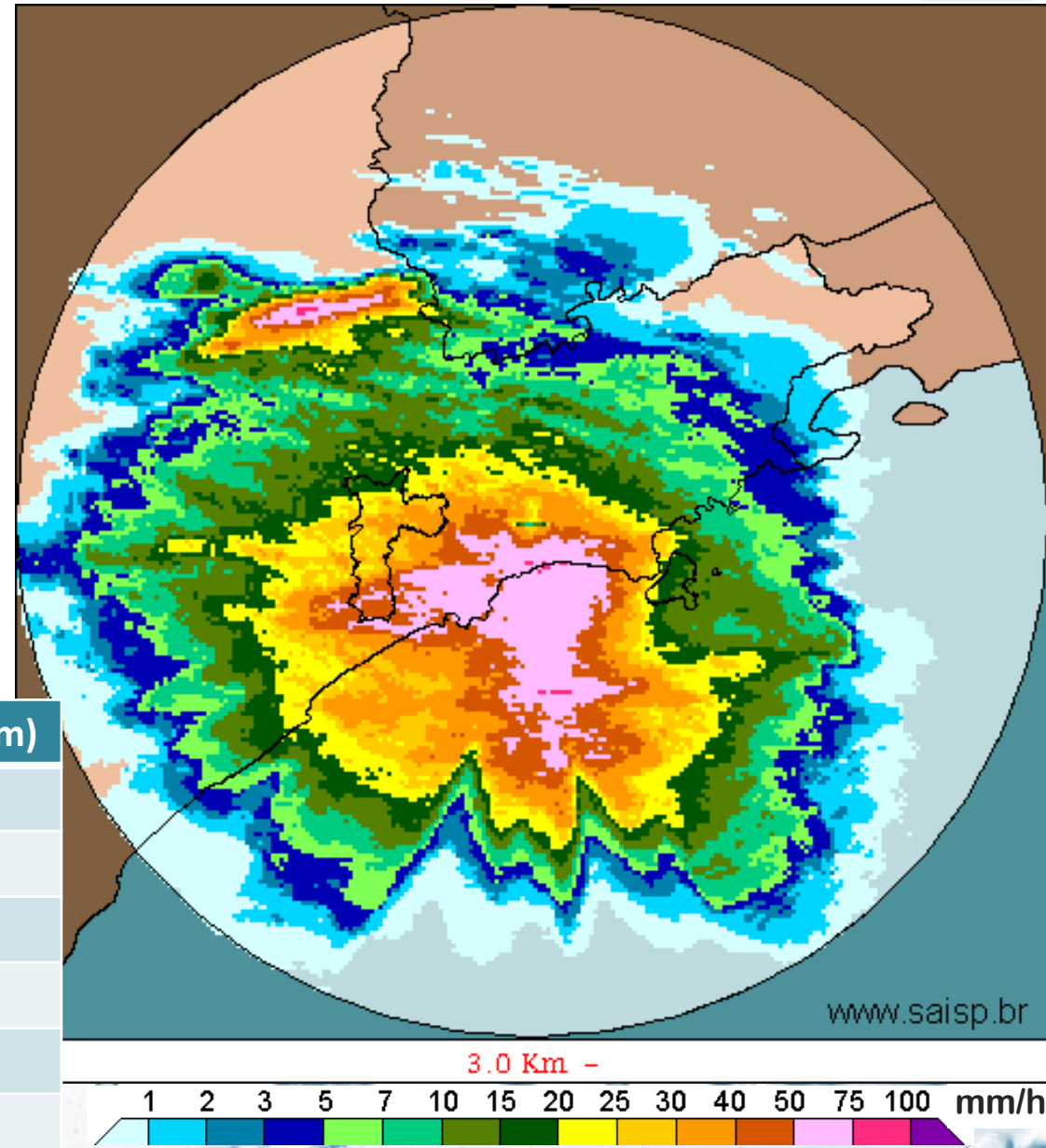
Precipitação acumulada, Imagens de satélite e radar

01/10/2001

INPE/CPTEC/DSA G-8 IR 01/10/01 1409Z



Posto	PLU (mm)
Estaleiro	47
Belenzinho	42,3
Limão	45,4
Rudge Ramos	66,3
Prosperidade	47,8
Bom Retiro	55,3





Fim

LabSid