

4 – Hidrometeorologia

- Revisar alguns conceitos da meteorologia importantes para entendimento da variabilidade espacial e temporal do ciclo hidrológico

Hidrometeorologia

4

- Aplicações na área de recursos hídricos
 - Caracterização climatológica de BH – em estudos de implantação de usinas hidrelétricas;
 - Determinação da precipitação máxima provável (PMP) em estudos de cheias e de implantação de usinas hidrelétricas;
 - Modelos de previsão de vazões:
 - em tempo real e sistemas de alerta contra enchentes - radares meteorológicos;
 - de longo prazo;

- Aplicações na área de Engenharia Civil em geral:
 - Estudos energéticos envolvendo energias alternativas;
 - Localização de indústrias;
 - Conforto térmico de residências;
 - Execução de obras (atrasos no cronograma)
 - Projetos de obras viárias

A - Atmosfera

Definição:

Camada gasosa, com muitos quilômetros de espessura, que envolve a Terra e a acompanha em seus movimentos.

Partes principais:

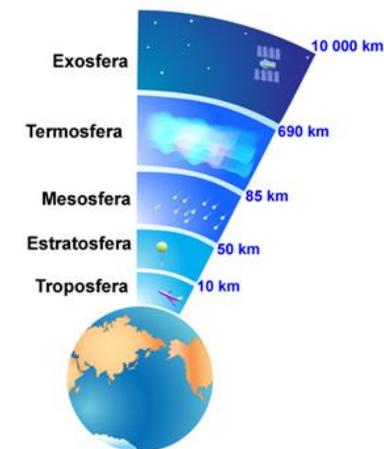
- Ar seco (mistura de gases)
- Vapor de água (0-4%)
- Aerossóis = partículas em suspensão
 - As de origem inorgânica: Responsáveis pela condensação do vapor → formação de nuvens

Propriedades do ar:

- Compressibilidade
- Elasticidade
- Expansibilidade

Composição normal do ar:

	% Volume
Nitrogênio (N ₂)	78,08
Oxigênio (O ₂)	20,94
Argônio (Ar)	0,93
Gás carbônico (CO ₂)	0,003 (var.)
O ₃ , H ₂ , Cr, Xe, Me	Traços
Vapor de água	0-4



Pressão atmosférica

4

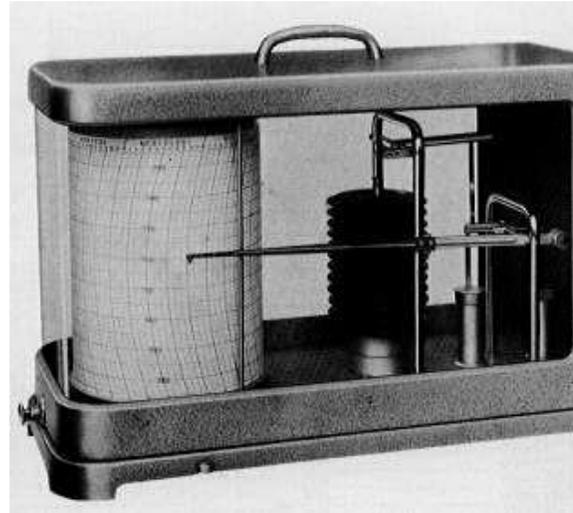
Pressão atmosférica: força por unidade de área exercida pelo peso da atmosfera.

Unidades: N/m^2 ou Pascal (SI), milibar ou mm Hg.

Medição: Barômetros/Barógrafos



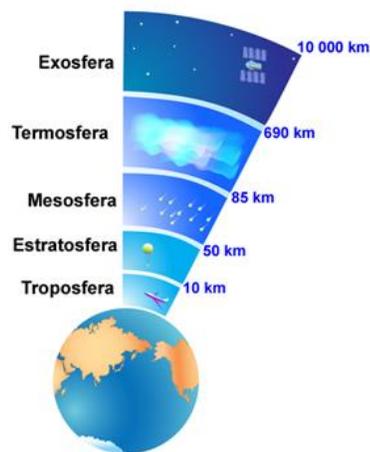
Barômetro de mercúrio



Barógrafo (com cápsulas aneróides)



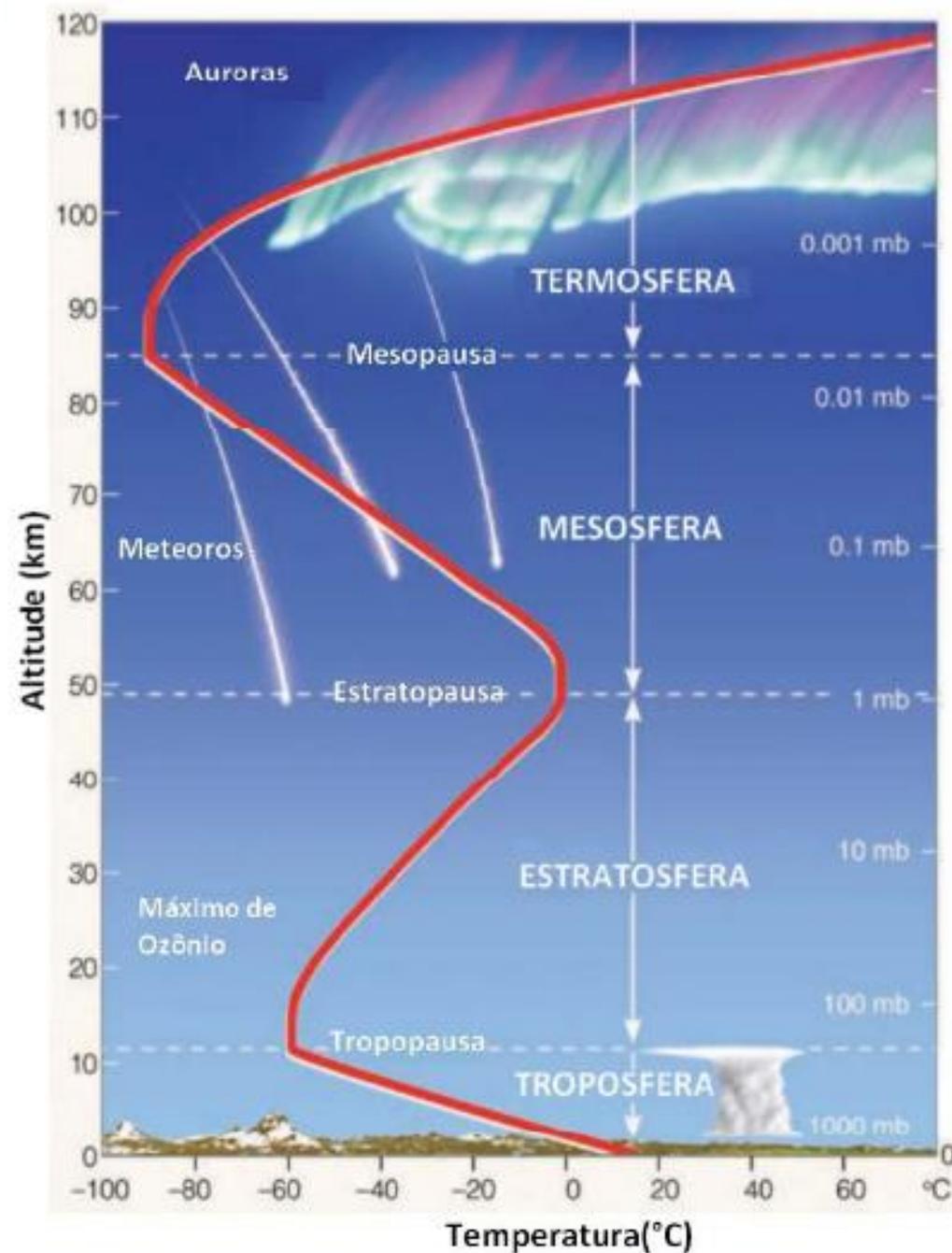
Experiência dos hemisférios de Magdeburgo (1654)



Camada e perfil de temperatura

Atmosfera
Mistura complexa de gases que varia com:

- Tempo
- Situação geográfica
- Altitude
- Estação do ano



Troposfera e Estratosfera

Perfis de umidade, temperatura e pressão

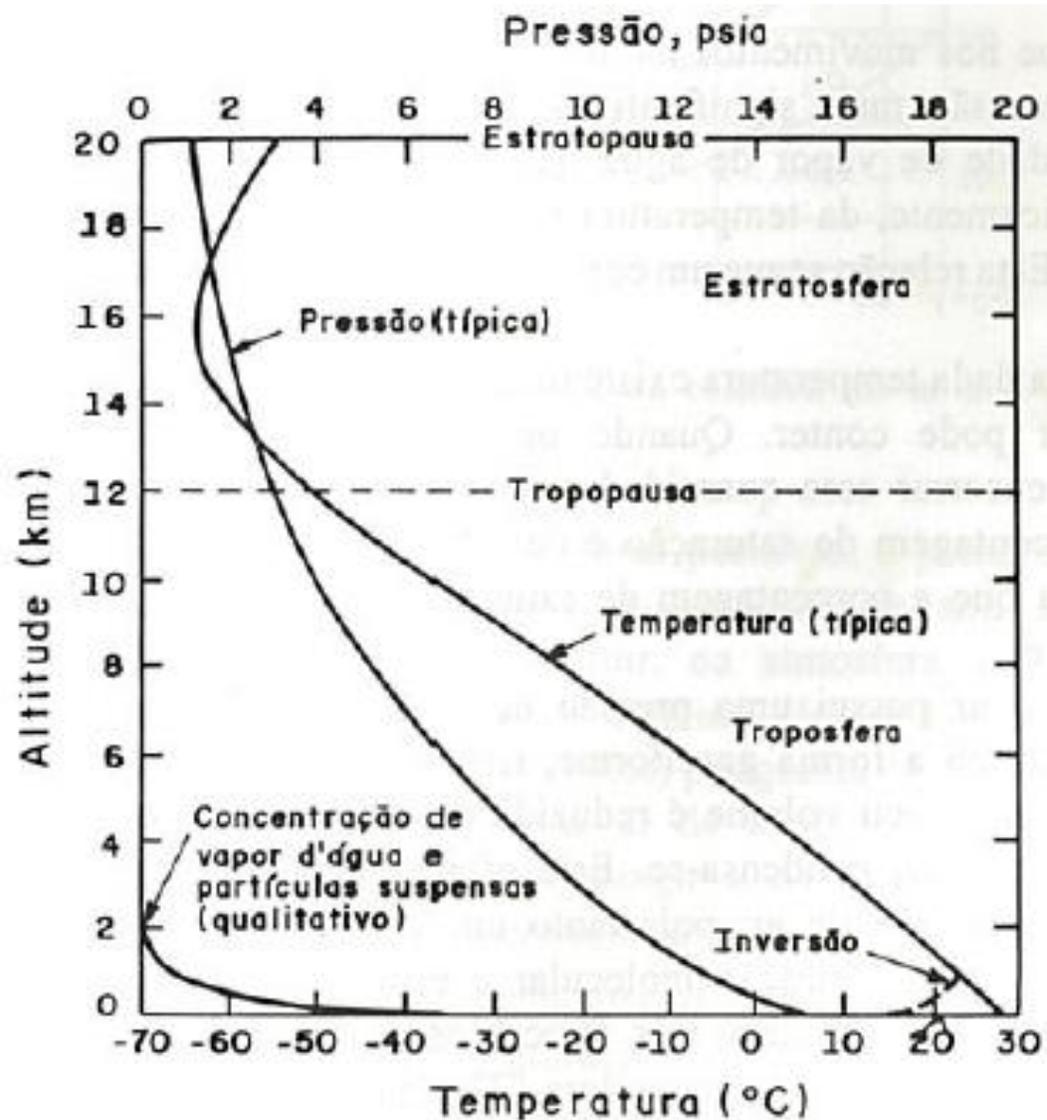


Figura 3.1. Perfil físico típico da atmosfera (Eagleson,1970)

Temperatura e transporte de energia

Radiação, condução e convecção

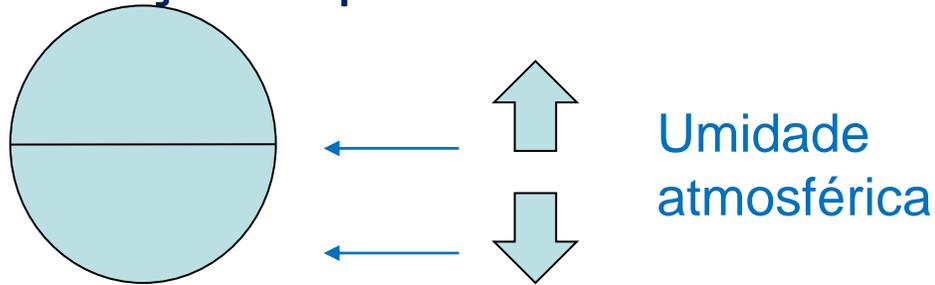
- Distribuição vertical
 - Decréscimo da T com aumento da altitude de $6,5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ na troposfera
 - Grad vertical de T \rightarrow estabilidade/instabilidade da atmosfera
- Distribuição geográfica
 - Normalmente:  Latitude \rightarrow T 
 - porém influenciada por:
 - Distribuição de terras e mares:
 - No verão \rightarrow No continente:  T que em regiões costeiras
 - No inverno \rightarrow “  “
 - Topografia:  Altitude \rightarrow T 
 - Vegetação: Áreas vegetadas: Intervalo de tempo da variação da T é maior ou menor?

- Distribuição temporal
 - Ao nascer do sol: T mín → T começa a elevar
 - 13-15h → atinge máx(varia com cobertura do céu)

Umidade atmosférica

Quantidade de vapor de água contido na atmosfera

- **Variação espacial**



– Sobre oceanos → umidade atmosférica



– Sobre continente → umidade atmosférica



– ↑ elevação → ↓ umidade atmosférica

– Áreas vegetadas → umidade atmosférica



– Áreas de solo estéril → umidade atmosférica



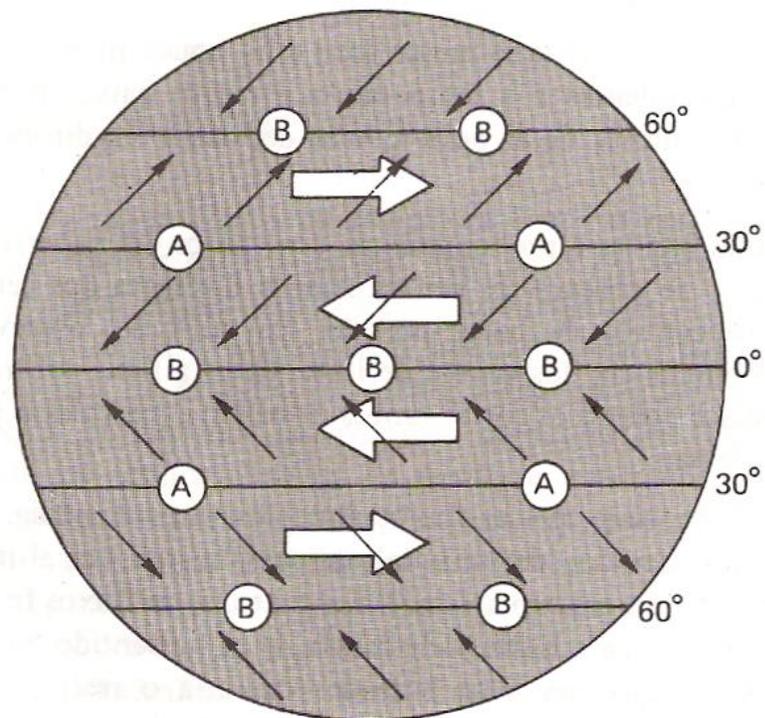
- Variação temporal

- Verão → umidade atmosférica mín ou máx?
- Inverno → umidade atmosférica mín ou máx?
- Nascer do sol → umidade atmosférica mín ou máx?
- Meio dia → umidade atmosférica mín ou máx?

Circulação geral da atmosfera e ventos

4

- Fenômenos meteorológicos que interessam a Hidrologia se processam na troposfera:
 - da superfície até 18 km - no Equador
 - da superfície até 9 km – nos Pólos
- Movimento de ar:
 - Sentido horizontal → vento
 - Sentido vertical → corrente de ar
- Sistema dinâmico com certa correlação entre vento e pressão

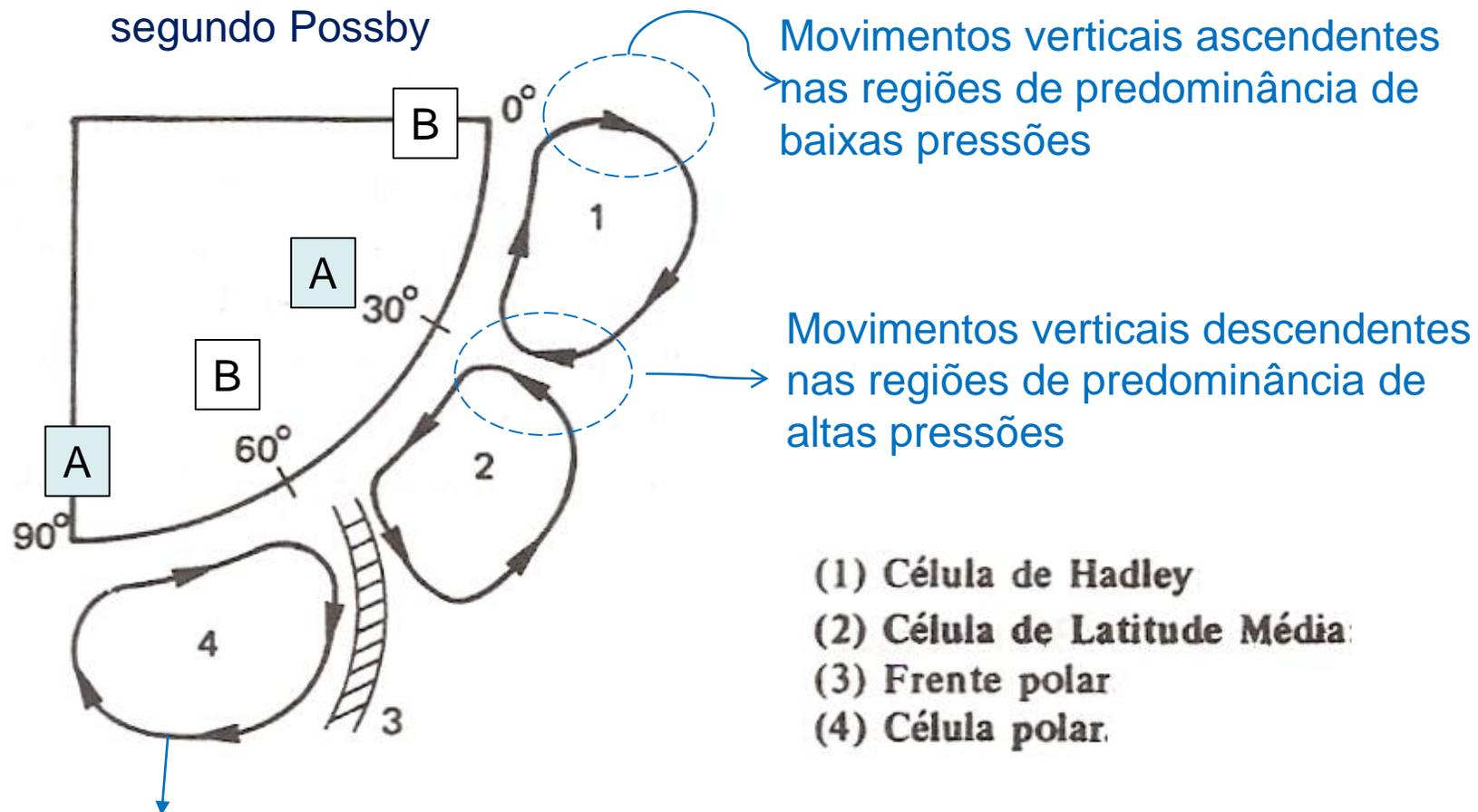


Globo terrestre
Distribuição da pressão e vento

Fonte: Villela & Mattos (1975)

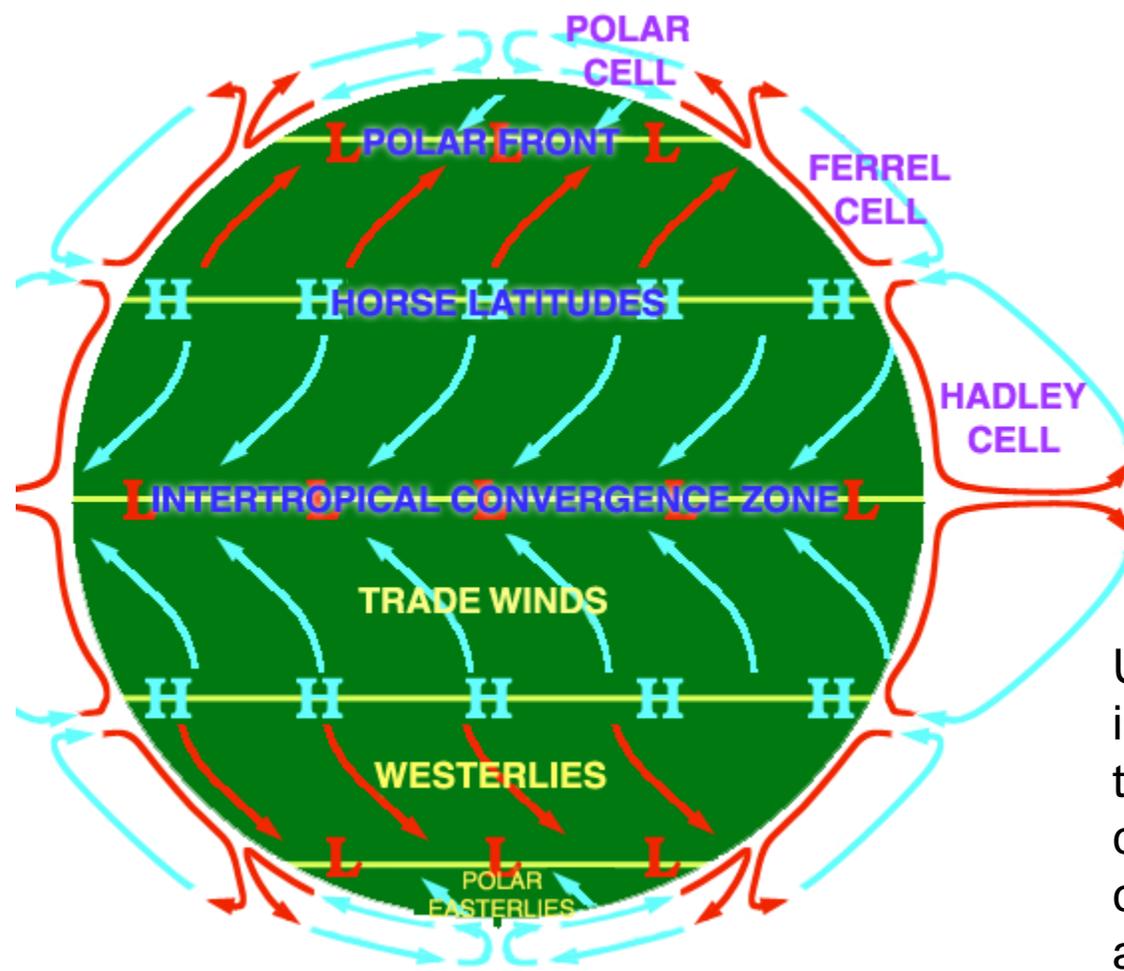
	umidade	Precipitação	Temperatura
Faixa equatorial de baixas pressões	↑	↑	↑
Faixa subtropical de altas pressões	↓	↓	
Faixa polar de baixas pressões	Clima variável, grandes tempestades		
Calotas polares de altas pressões	↓	↓	↓

Circulação meridional segundo Possby



Células de circulação

Fonte: Villela & Mattos (1975)



Uma vista idealizada das três grandes células de circulação atmosférica

B - Caracterização Climatológica

4

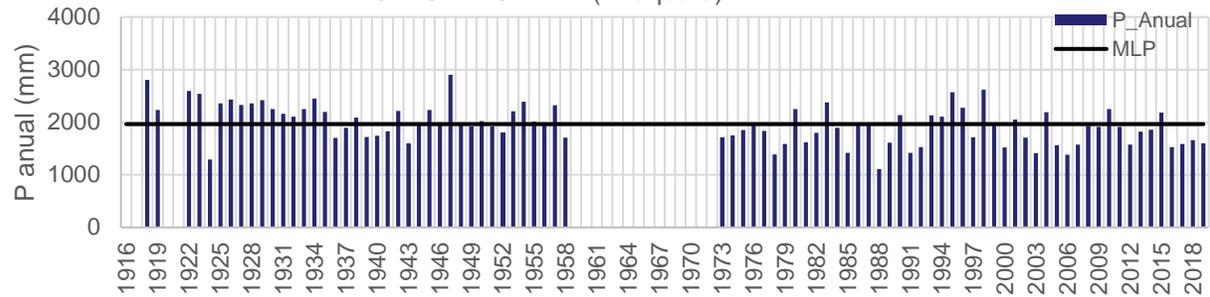
Algumas variáveis meteorológicas

- Radiação solar;
- Insolação;
- Temperatura;
- Umidade;
- Vento;
- Precipitação;
- Evaporação/Evapotranspiração

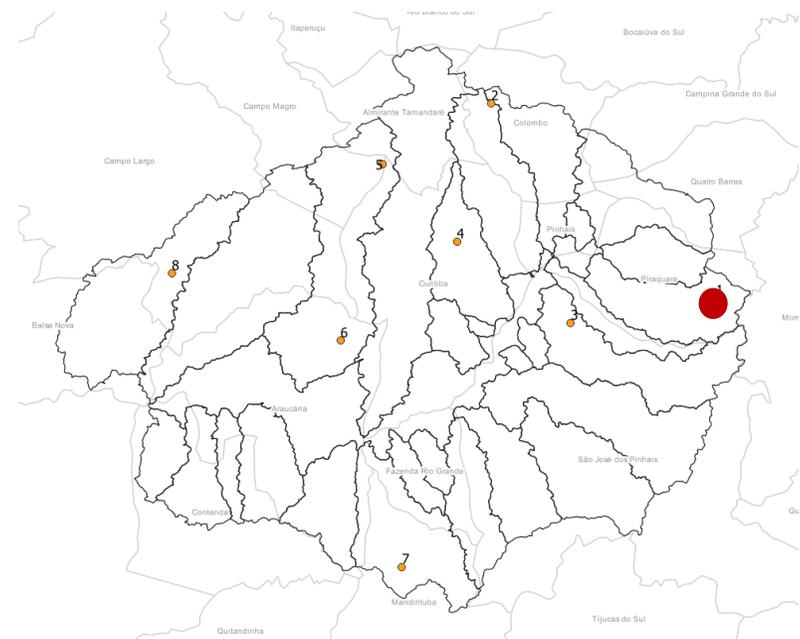
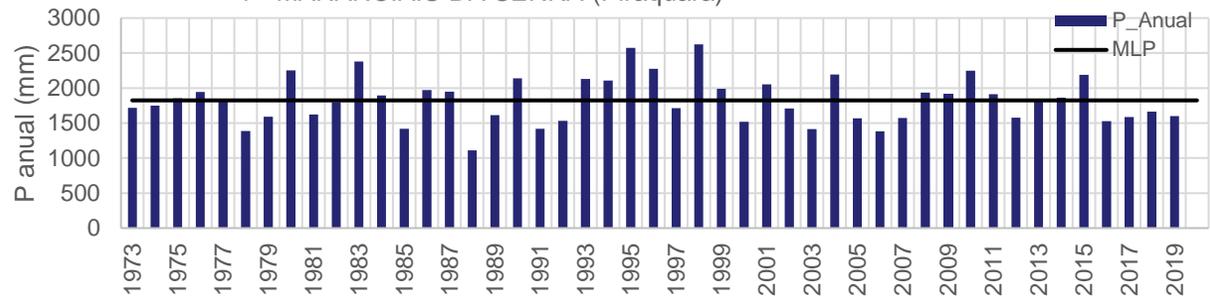
Valores característicos

- Médias anuais de longo período;
- Médias mensais de longo período;
- Extremos máximos e mínimos;
- Análise de variação ao longo dos anos;
- Análise de variação intra-ano

1 - MANANCIAIS DA SERRA (Piraquara)

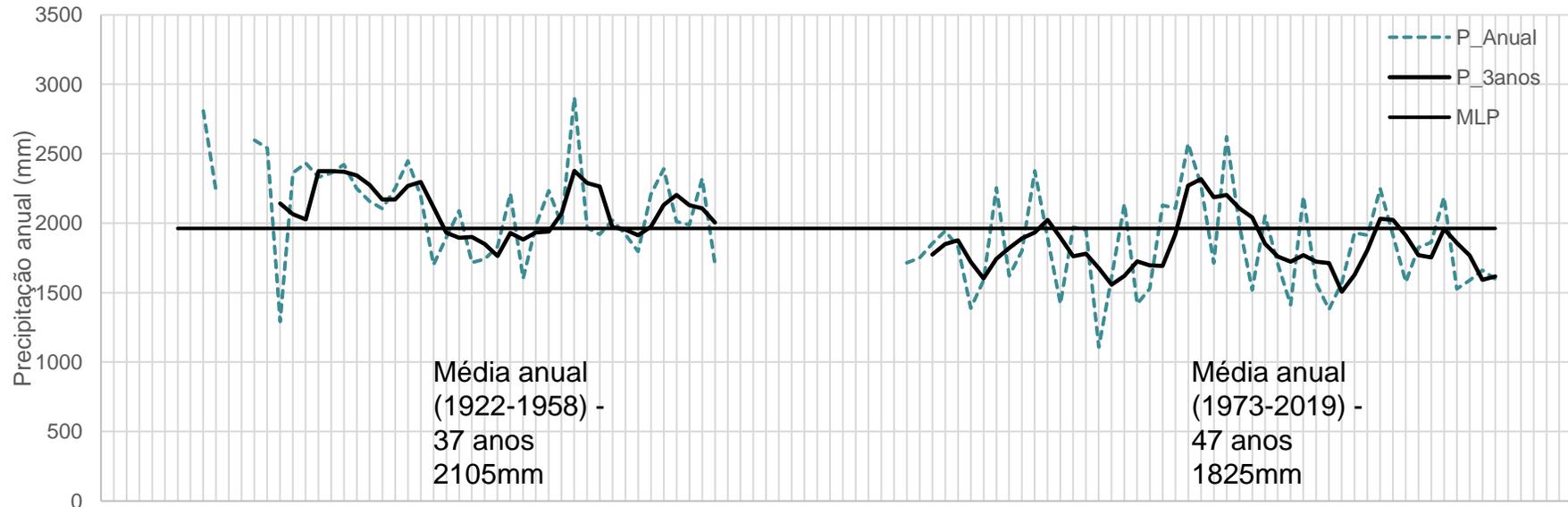
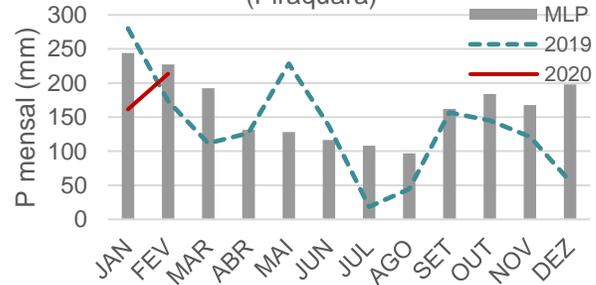


1 - MANANCIAIS DA SERRA (Piraquara)



1 - MANANCIAIS DA SERRA (Piraquara)

1 - MANANCIAIS DA SERRA (Piraquara)



C – Conceitos importantes

4

- Ar Saturado: está no seu máximo estado de umidade. A partir deste ponto pode ocorrer a precipitação
 - A máxima quantidade de vapor de água que pode existir em dado espaço é função da **temperatura**
 - \uparrow Temperatura do ar \rightarrow \uparrow Quantidade de vapor de água que a atmosfera pode conter
- Tensão de Vapor (e): pressão exercida pelo vapor de água (tensão real de vapor)
- Tensão de saturação (e_s): Tensão de vapor quando a massa de ar está no limite da saturação (tensão máxima de vapor)

Relação entre Vapor de Água e Temperatura do Ar

↑ **Temperatura do ar**
↑ **Quantidade de vapor de água que a atmosfera pode conter**

Para uma dada temperatura EXISTE uma quantidade máxima de vapor de água que a atmosfera pode conter.

VALOR DE ÁGUA: TENSÃO DE SATURAÇÃO (mbar) EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA (°C)

4

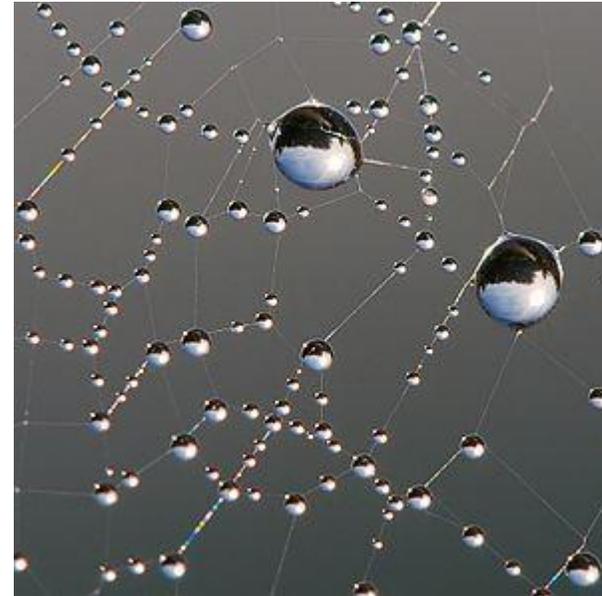
t	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	6,108	6,153	6,198	6,243	6,288	6,333	6,380	6,426	6,473	6,519
1	6,566	6,614	6,662	6,711	6,759	6,807	6,857	6,906	6,956	7,005
2	7,055	7,106	7,157	7,209	7,260	7,311	7,364	7,417	7,469	7,522
3	7,575	7,630	7,684	7,739	7,793	7,848	7,904	7,960	8,017	8,073
4	8,129	8,187	8,245	8,304	8,362	8,420	8,480	8,540	8,599	8,659
5	8,719	8,781	8,843	8,904	8,966	9,028	9,092	9,156	9,219	9,283
6	9,347	9,413	9,478	9,544	9,609	9,675	9,742	9,809	9,876	9,943
7	10,01	10,08	10,15	10,22	10,29	10,36	10,43	10,50	10,58	10,65
8	10,72	10,79	10,87	10,94	11,02	11,09	11,17	11,24	11,32	11,39
9	11,47	11,55	11,63	11,71	11,79	11,87	11,95	12,03	12,11	12,19

1 mbar = 100 N/m² = 100 Pa

$$e_s = 6,11 \exp \frac{17,27T}{237,3+T}$$

- Ponto de orvalho (t_0): é a temperatura mínima na qual se obtém saturação em uma massa de ar (sem condensação ou neblina)

Temperatura à qual o vapor de água presente no ambiente passa ao estado líquido na forma de pequenas gotas



Orvalho formado em uma teia de aranha - by Luc Viatour

TABELA PARA DETERMINAÇÃO DO PONTO DE ORVALHO (°C)													
TEMPERATURA (°C)	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)												
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
-5	-19	-17	-16	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-8	-7	-6
0	-14	-12	-11	-10	-8	-7	-6	-5	-5	-4	-3	-2	-1
5	-10	-9	-7	-6	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
10	-7	-5	-3	-2	0	1	2	3	5	6	7	7	8
15	-3	-1	1	3	4	6	7	8	9	10	12	13	13
16	-2	-1	1	4	5	7	8	10	11	11	13	14	14
17	-2	0	2	4	6	8	9	11	12	12	13	15	15
18	-1	1	3	5	7	8	10	12	13	13	15	16	16
19	0	2	4	6	8	9	11	12	13	14	16	16	17
20	1	3	5	7	9	10	12	13	14	15	17	17	18
21	2	4	6	8	10	11	13	14	15	16	18	18	19
22	2	5	7	9	11	12	13	15	16	17	18	19	20
23	3	5	8	10	12	13	14	16	17	18	19	20	21
24	4	6	9	11	12	14	16	17	18	19	21	21	22
25	5	7	10	12	13	15	16	17	19	20	21	22	23
26	6	8	11	13	14	16	17	18	19	21	22	23	24
27	7	9	12	14	15	17	18	19	21	22	23	24	25
28	8	10	12	14	16	18	19	20	22	23	24	25	26
29	9	11	13	15	17	18	21	21	23	24	26	26	27
30	9	12	14	16	18	19	21	22	22	25	26	27	28
31	10	12	15	17	18	20	22	23	25	26	27	28	29
32	11	13	16	18	19	21	23	24	26	27	28	29	30
33	12	14	16	19	20	22	24	25	27	28	29	30	31
34	13	15	17	20	21	23	26	26	28	29	29	31	32
35	14	16	18	20	22	24	25	27	28	30	31	32	33
36	15	16	19	21	23	25	27	28	30	31	32	33	34
37	16	17	20	22	24	26	28	29	31	32	33	34	35
38	17	18	21	23	25	27	29	30	32	33	34	35	36
39	18	19	22	24	26	28	30	31	33	34	35	36	37
40	18	20	23	25	27	29	31	32	34	35	36	37	38

- Umidade Relativa: Relação entre a quantidade de vapor de água existente em uma amostra de ar úmido e a quantidade máxima de vapor em que o mesmo ar poderia reter na mesma temperatura.

Vapor de saturação

$$u(\%) = \frac{e}{e_s} \cdot 100$$

Vapor real

- Déficit de saturação: é outra forma de medir a umidade relativa. É uma diferença entre tensões de vapor.

$$d = e_s - e$$

Unidades de medida de pressões:

1 mbar (“milibária”) = 100 N/m² = 100 Pa

Pressão atmosférica (padrão) = 1000 mbar (ao nível do mar)

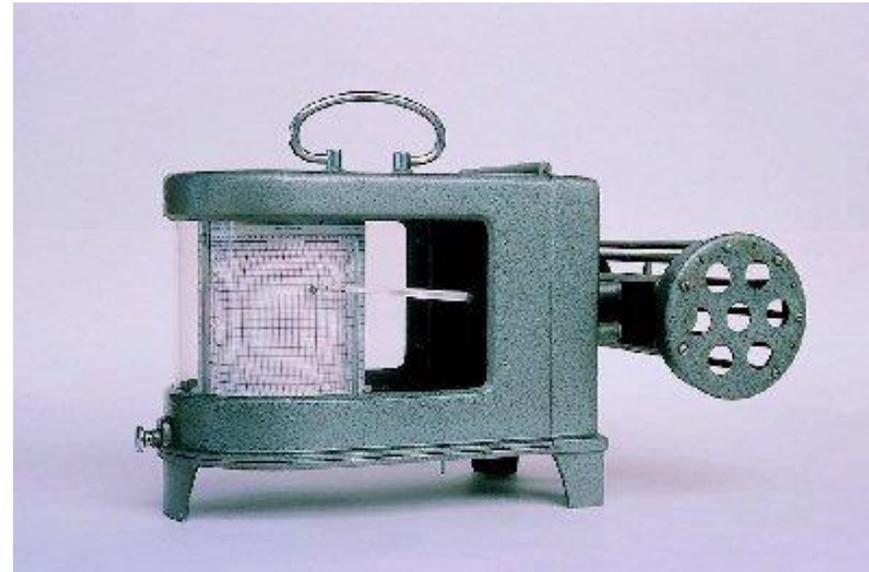
D - Umidade relativa

4

Umidade relativa: porcentagem que expressa a quantidade real de vapor no ar em relação ao vapor de saturação para uma mesma temperatura

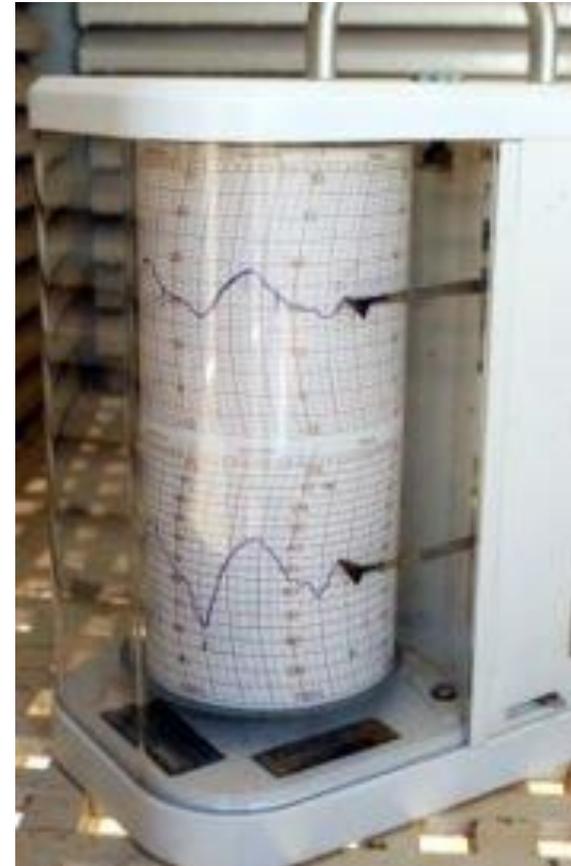
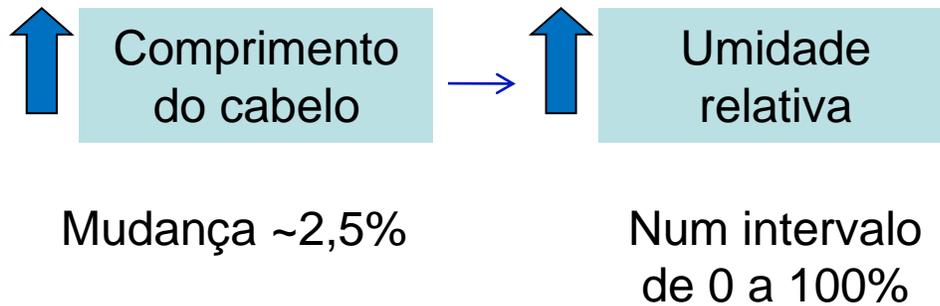
Unidade: % (porcentagem).

Medição: Higrômetros, Higrográfos e psicrômetros.



Higrógrafo de cabelo

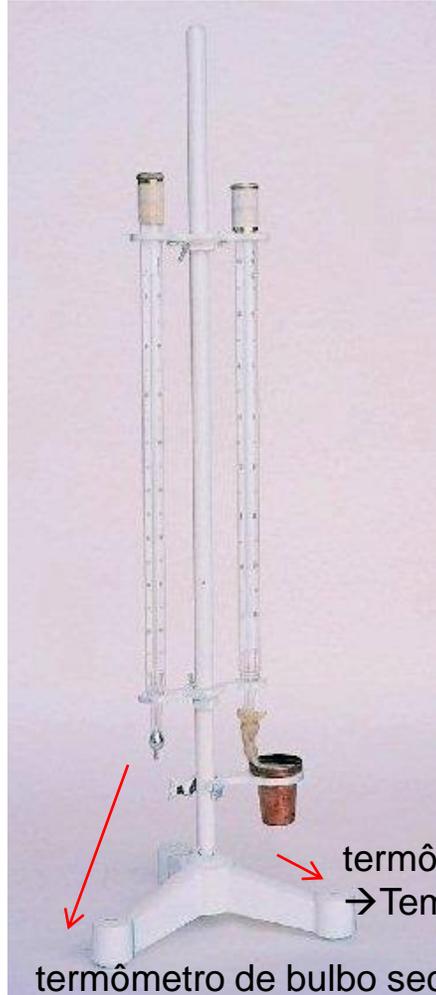
4



Psicrômetro

4

Psicrômetro sem movimentação de ar

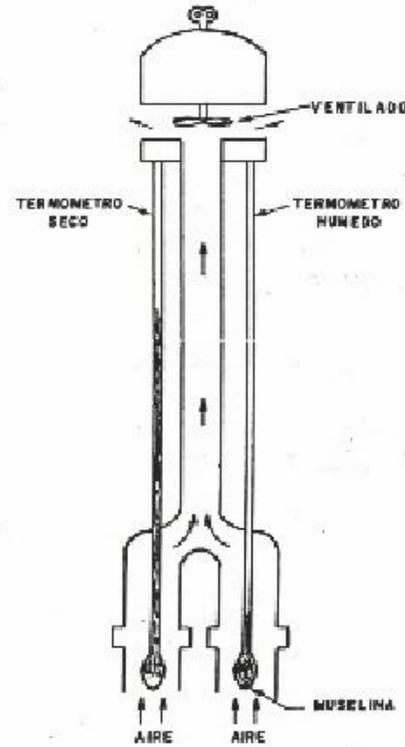


termômetro de bulbo seco
→ Temperatura t

termômetro de bulbo úmido
→ Temperatura t_u

$t_u < t$

Psicrômetro com ventilação



γ - Constante psicrométrica

$$\gamma = 8 \cdot 10^{-4} P_{\text{atm}} / ^\circ\text{C} \text{ (psicrômetro sem movimentação de ar)}$$

$$\gamma = 6,7 \cdot 10^{-4} P_{\text{atm}} / ^\circ\text{C} \text{ (psicrômetro com ventilação)}$$

Relações matemáticas

4

Cálculo da tensão de vapor real

$$e_u - e = \gamma(t - t_u)$$

e = tensão de vapor real (mbar);

e_u = tensão de saturação para a temperatura t_u (mbar);

t = temperatura do bulbo seco (°C);

t_u = temperatura do bulbo úmido (°C);

γ = constante psicrométrica

$\gamma = 8 \cdot 10^{-4} P_{\text{atm}} / ^\circ\text{C}$ (psicrômetro sem movimentação de ar)

$\gamma = 6,7 \cdot 10^{-4} P_{\text{atm}} / ^\circ\text{C}$ (psicrômetro com ventilação)

Cálculo da umidade relativa

$$u(\%) = 100 e / e_s$$

u = umidade relativa (%);

e = tensão de vapor real (mbar);

e_s = tensão de saturação para a temperatura t (mbar);

t = temperatura do bulbo seco (°C).

		DEPRESSÃO DE BULBO ÚMIDO ($T_d - T_w$)																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
TEMPERATURA DE BULBO SECO (°C)	-20	28																			
	-18	40																			
	-16	48	0																		
	-14	55	11																		
	-12	61	23																		
	-10	66	33	0																	
	-8	71	41	13																	
	-6	73	48	20	0																
	-4	77	54	32	11																
	-2	79	58	37	20	1															
	0	81	63	45	28	11															
	2	83	67	51	36	20	6														
	4	85	70	56	42	27	14														
	6	86	72	59	46	35	22	10	0												
	8	87	74	62	51	39	28	17	6												
	10	88	76	65	54	43	33	24	13	4											
	12	88	78	67	57	48	38	28	19	10	2										
	14	89	79	69	60	50	41	33	25	16	8	1									
	16	90	80	71	62	54	45	37	29	21	14	7	1								
	18	91	81	72	64	56	48	40	33	26	19	12	6	0							
	20	91	82	74	66	58	51	44	36	30	23	17	11	5	0						
	22	92	83	75	68	60	53	46	40	33	27	21	15	10	4	0					

Constante psicrométrica
 Representa o balanço entre o calor sensível ganho pela passagem do fluxo de ar no termômetro de bulbo úmido e calor sensível transformado em calor latente.

Exercício 1

4

Sendo 18°C e 15°C as temperaturas fornecidas pelos termômetros de bulbo seco e bulbo úmido, respectivamente, de um psicrômetro com ventilação, determinar, para uma pressão atmosférica de 1.000 mbar:

- a) tensão de saturação correspondente à temperatura do termômetro de bulbo úmido (e_u);
- b) tensão de vapor real (e);
- c) tensão de saturação (e_s);
- d) umidade relativa do ar (u);
- e) ponto de orvalho (t_o).

Exercício 2

4

Em determinado local, a pressão atmosférica é de 1000 mbar, a temperatura é de 20°C, e a umidade relativa do ar é de 70%. Determinar:

- a) tensão de saturação (e_s);
- b) tensão de vapor real (e);
- c) temperatura do bulbo úmido (t_u);
- d) ponto de orvalho (t_o);
- e) déficit de saturação (d).

E – Radiação Solar

4

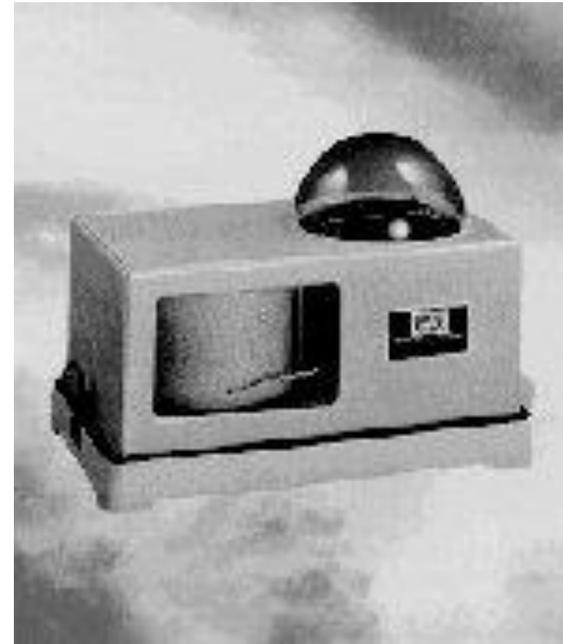
Radiação solar: energia motora do ciclo hidrológico.

Unidade: Watt/m² (SI).

Medição: Piranômetro/Piranógrafo, pireliômetro, radiômetro*

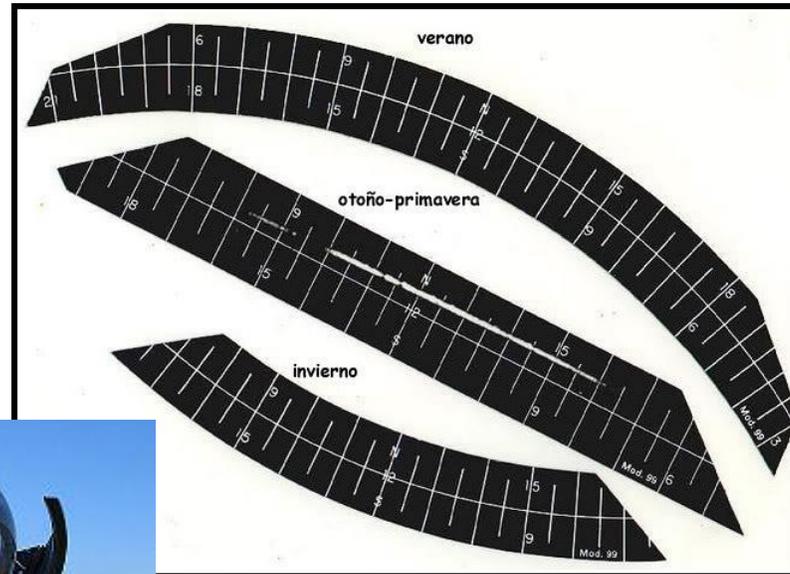


Pireliômetro



F - Insolação

Heliógrafo: Instrumento usado para observar o número de horas de brilho solar em determinada localidade e dia do ano à superfície, referida como insolação.



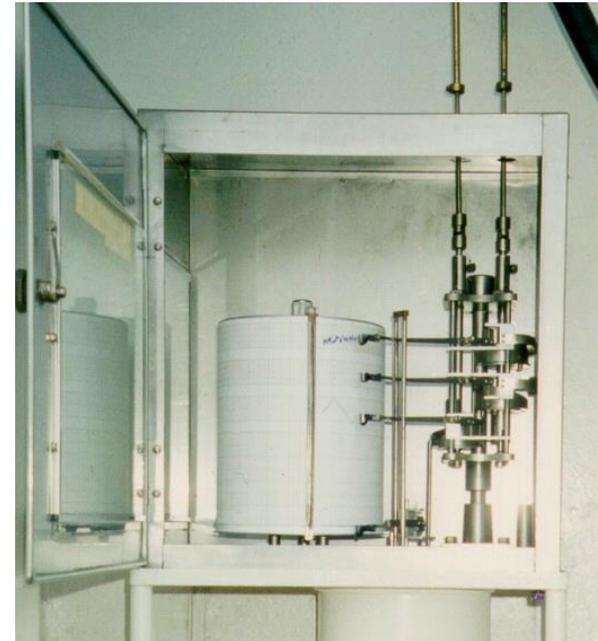
G - Vento

4

Vento: aumentam as taxas de evaporação. Deslocamento de massas de ar.

Unidades: m/s (SI) ou knots.

Medição: catavento tipo Wild, anemômetros de caneca e anemógrafos.



H – Temperatura do ar

4

Temperatura do ar: aumentam as taxas de evaporação. Deslocamento de massas de ar.

Unidade: graus Celsius (SI).

Medição: Termômetro, Termógrafo e Termômetro de máximas e mínimas.



Termômetro de máxima (em cima) e Termômetro de mínima (em baixo)



Termógrafo

Termógrafo e Higrógrafo



I - Termômetro de relva

Termômetro de mínima na relva. Deve instalar-se num canteiro de relva, horizontalmente, tocando de leve na relva destina-se a obter informação sobre a **geada**.

<http://www.esac.pt/estacao/instrumentos.htm>

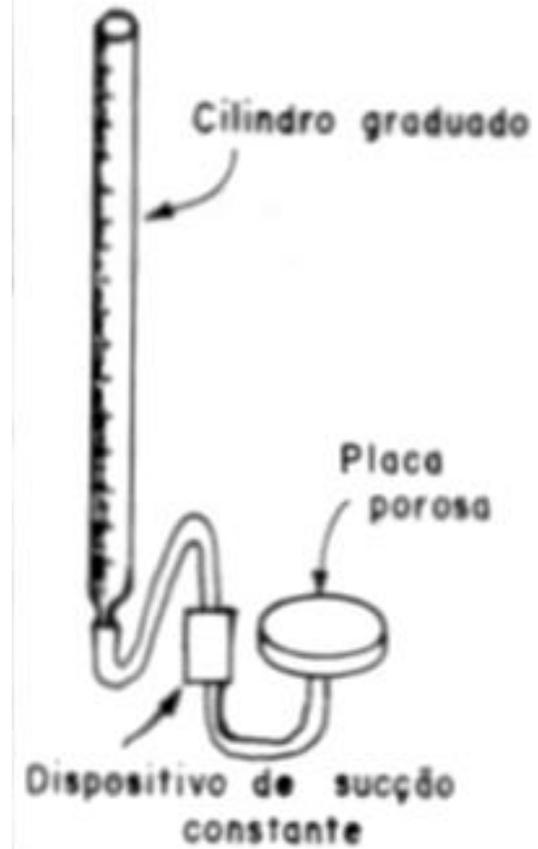


J - Tanque Classe A

4



K – Evaporímetro de Piche



Abrigo meteorológico

4



L - Rede de monitoramento

4

- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento)
 - <http://www.inmet.gov.br/portal/>
- Instrumentos
 - http://www.inmet.gov.br/html/informacoes/sobre_meteorologia/instrumentos/

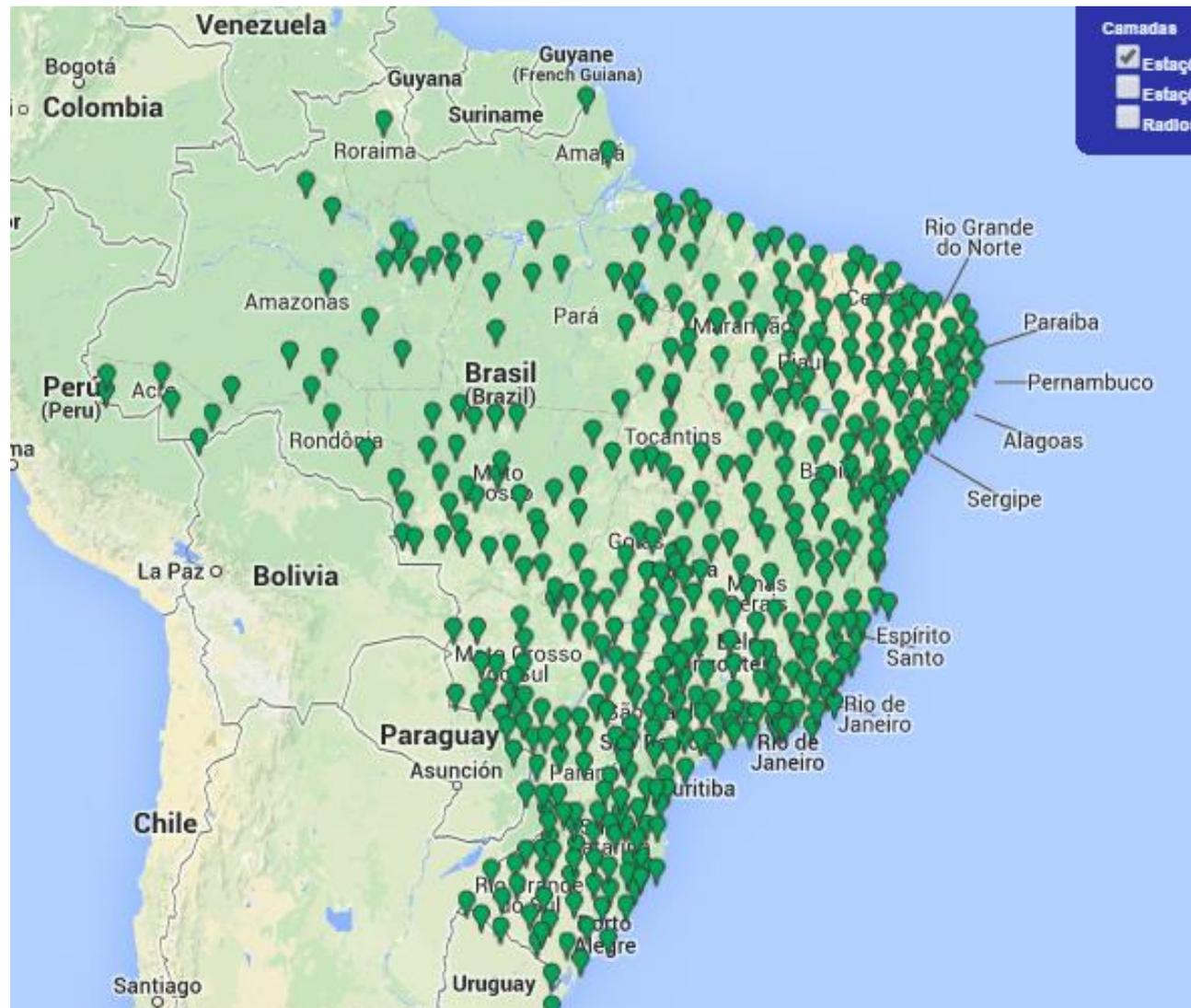
Rede de estações convencionais - INMET

4



Rede de estações automáticas - INMET

4



4

