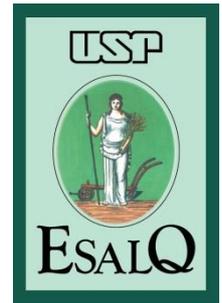




UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA 'LUIZ DE QUEIROZ'  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIODISSISTEMAS  
LEB0495 - Análise Física do Ambiente



# Aspectos termodinâmicos da atmosfera

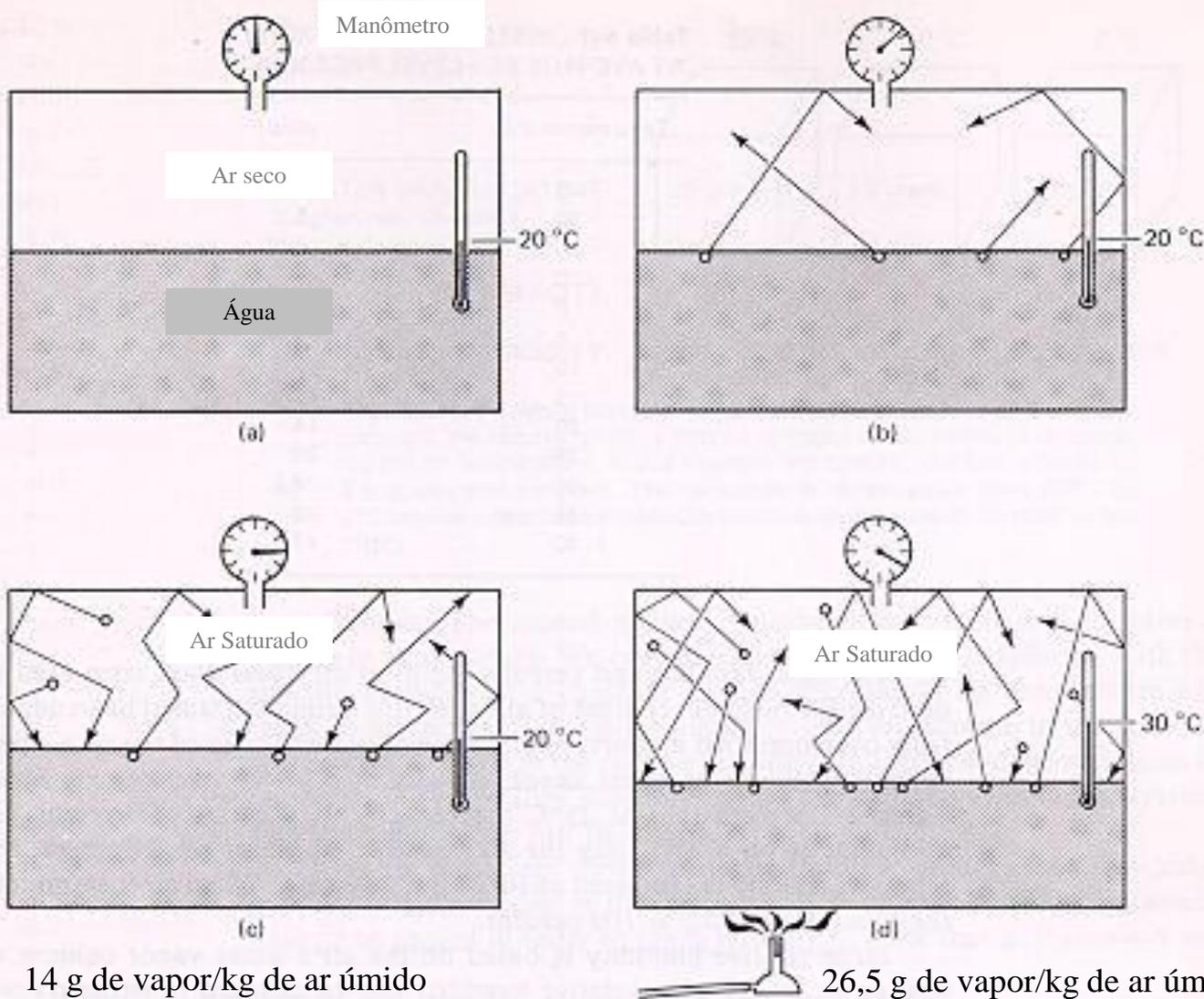
Prof. Felipe Gustavo Pilau

# Definições e Conceitos

O teor de vapor d'água na atmosfera varia de 0 a 4% do volume de ar. Isso quer dizer que numa dada massa de ar, o máximo de vapor d'água que ela pode reter é 4% de seu volume:

- **Caso a umidade corresponda a 0% do volume de ar  $\Rightarrow$  AR SECO**
- **Caso a umidade corresponda a um valor entre 0% e 4% do volume de ar  $\Rightarrow$  AR ÚMIDO**
- **Caso a umidade corresponda a 4% do volume de ar  $\Rightarrow$  AR SATURADO**

Ar Saturado: quando a taxa de escape de moléculas de água de uma superfície líquida para o ar se iguala à taxa de retorno de moléculas de vapor d'água do ar para a superfície líquida. Essa taxa é dependente da temperatura do sistema, a qual determina a capacidade máxima de vapor d'água que o ar pode reter.



Sistema fechado, a 20°C:

- (a) Ar seco;
- (b) à medida que a evaporação ocorre, a pressão exercida pelo vapor d'água aumenta (ar úmido)
- (c) até se atingir a condição de saturação para essa temp.
- (d) com aumento da temp. do sistema, a capacidade máxima de retenção de vapor do ar aumenta..

# Composição da Atmosfera

Gases	% volume
Nitrogênio ( $N_2$ )	78,08
Oxigênio ( $O_2$ )	20,94
Argônio (Ar)	0,93
Dióxido de Carbono ( $CO_2$ )	0,003 (var.)
$O_3$ , $H_2$ , Cr, Xe, Me	traços
<u>Vapor d'água</u>	0 - 4

**Massa molar:** a massa molar de um elemento químico ou substância é numericamente igual à massa atômica desse elemento ou do total das massas atômicas componentes da substância em unidades de massa atômica (*u.m.a.*). Portanto, conhecendo-se a massa atômica do elemento ou elementos que compõem a substância, sabe-se também a sua massa molar (**g mol<sup>-1</sup>**)

✓ Massa Molar da água (H<sub>2</sub>O):

✓ Massa molar do ar (seco): A composição média do ar atmosférico, em volume, é 78,08% de N<sub>2</sub> + 20,94% de O<sub>2</sub> + 0,93% de Ar

*Responda:*

*Qual é a massa de ar(seco), em um local cujas dimensões são de 5m x 3m x 3m?*

# Tabela Periódica dos Elementos

1 1A																	18 O
1 H 1,0	2 2A											13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	2 He 4
3 Li 6,9	4 Be 9											5 B 10,8	6 C 12	7 N 14	8 O 16	9 F 19	10 Ne 20,2
11 Na 23	12 Mg 24,3	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8 7B	9 7B	10 7B	11 1B	12 2B	13 Al 27	14 Si 28,1	15 P 31	16 S 32,1	17 Cl 35,5	18 Ar 39,9
19 K 39,1	20 Ca 40,1	21 Sc 45	22 Ti 47,9	23 V 50,9	24 Cr 52	25 Mn 54,9	26 Fe 55,8	27 Co 58,9	28 Ni 58,7	29 Cu 63,5	30 Zn 65,4	31 Ga 69,7	32 Ge 72,6	33 As 74,9	34 Se 79	35 Br 79,9	36 Kr 83,8
37 Rb 85,5	38 Sr 87,6	39 Y 88,9	40 Zr 91,2	41 Nb 92,9	42 Mo 95,9	43 Tc 97	44 Ru 101,1	45 Rh 102,9	46 Pd 106,4	47 Ag 107,9	48 Cd 112,4	49 In 114,8	50 Sn 118,7	51 Sb 121,8	52 Te 127,6	53 I 126,9	54 Xe 131,3
55 Cs 132,9	56 Ba 137,3	57 La 138,9	72 Hf 178,5	73 Ta 180,9	74 W 183,8	75 Re 186,2	76 Os 190,2	77 Ir 192,1	78 Pt 195,1	79 Au 197	80 Hg 200,6	81 Tl 204,4	82 Pb 207,2	83 Bi 209	84 Po 209	85 At 210	86 Rn 222
87 Fr 223	88 Ra 226	89 Ac 227															

Z — Número atômico  
E —  
A — Massa atômica

58 Ce 140,1	59 Pr 140,9	60 Nd 144,2	61 Pm 145	62 Sm 150,4	63 Eu 152	64 Gd 157,3	65 Tb 158,9	66 Dy 162,5	67 Ho 164,9	68 Er 167,3	69 Tm 168,9	70 Yb 173	71 Lu 175
90 Th 232	91 Pa 231	92 U 238	93 Np 237	94 Pu 242	95 Am 247	96 Cm 247	97 Bk 247	98 Cf 251	99 Es 252	100 Fm 257	101 Md 258	102 No 259	103 Lr 260

De acordo com a **Lei de Dalton**, cada constituinte da atmosfera exerce uma pressão sobre a superfície independente da presença dos outros, e a pressão atmosférica ( $P_{atm}$ ) é igual à soma das pressões parciais exercidas por todos os constituintes atmosféricos. Isso pode ser representado por:

$$P_{atm} = P_N + P_O + \dots + P_{CO_2} + P_{O_3} + P_{H_2Ov}$$

Resumindo:

$$P_{atm} = P_{Ar\ Seco} + P_{H_2Ov}$$

A pressão parcial exercida pelo vapor d'água ( $P_{H_2Ov}$ ) é simbolizada pela letra "e". Para a condição de saturação, ou seja, para o máximo de vapor d'água que o ar pode reter, utilizamos o símbolo "es" e para a condição de ar úmido, ou seja, para a condição real de vapor d'água no ar, utilizamos o símbolo "ea".

"ea" e "es" são expressos em unidade de pressão (atm, mmHg, mb, hPa ou kPa)

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 1013,3 \text{ mb} = 1013,3 \text{ hPa} = 101,33 \text{ kPa}$$

# Umidade Absoluta (UA) e de Saturação (US)

$$P.V = n.R.T$$

$$UA = 2168e_a / T \quad [gH_2O \ m^{-3} \ de \ ar]$$

$$US = 2168e_s / T \quad [gH_2O \ m^{-3} \ de \ ar]$$

$n$  = moles de gás

$mv$  = massa de água (g)

$Mv$  = massa molar da água 18,015 g.mol<sup>-1</sup>

$R$  = const. univ.gases = 8,31.10<sup>-3</sup>kPa m<sup>3</sup> mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>

- ✓ Razão de mistura ( $q$ ): massa de vapor d'água por unidade de massa de ar seco
- ✓ Umidade Específica (UE): massa de vapor d'água por unidade de massa de ar úmido

$$P.V = n.R.T$$

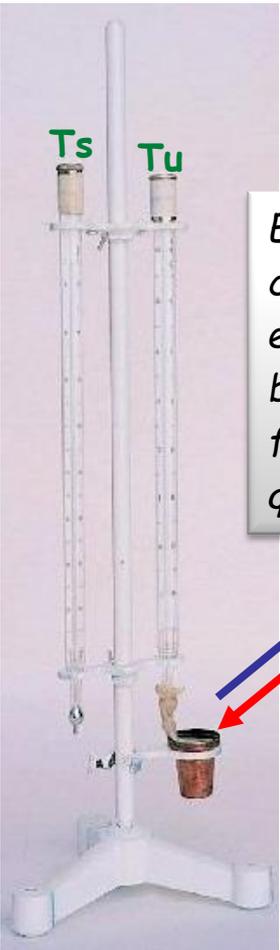
$$q \cong UE = 0,622 \frac{e_v}{P_{atm}} (g_{H_2O} / g_{ar \text{ úmido}})$$

**Pressão Atual ou Parcial de Vapor (ea)** - Pressão exercida pelo vapor d'água na condição de ar não saturado.

É determinada através da **equação psicrométrica**:

$$ea = esu - \gamma.(Ts - Tu)$$

**esu** é a  $e_s$  na temperatura **Tu**;



*Equilíbrio dinâmico: todo calor utilizado na evaporação da água do bulbo molhado seja fornecido apenas pelo ar que flui ao redor.*

$$H = \rho c_p (T_s - T_u) / r_H$$

$$LE = \rho L (q_u - q_s) / r_E$$

Considerando-se  $H = LE$ , tem-se que:

$$c_p (T_s - T_u) = L(0,622e_u/P - 0,622e_s/P), \text{ ou seja}$$

$$(c_p P / L 0,622) (T_s - T_u) = (e_u - e_s)$$

$$(e_u - e_s) = (esu - ea)$$

Portanto:

$$ea = esu - (c_p P / L.0,622) (T_s - T_u)$$

$$(c_p P / L.0,622) = \text{constante psicrométrica} = \gamma$$

$$ea = esu - \gamma (T_s - T_u)$$

A constante psicrométrica,  $\gamma$ , 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:

$$c_p = 0,24 \text{ cal g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\gamma = 0,067 \text{ kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \text{ para psicrômetros ventilados e}$$

$$L = 540 \text{ cal g}^{-1}$$

$$\gamma = 0,081 \text{ kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \text{ para psicrômetros não ventilados}$$

O gráfico psicrométrico expressa a relação positiva entre a temperatura do ar e a pressão de vapor, mostrando quanto de vapor o ar pode reter para cada nível de temperatura do ar. A curva que mostra a relação entre  $T_{ar}$  e "es" pode ser expressa pela seguinte equação:

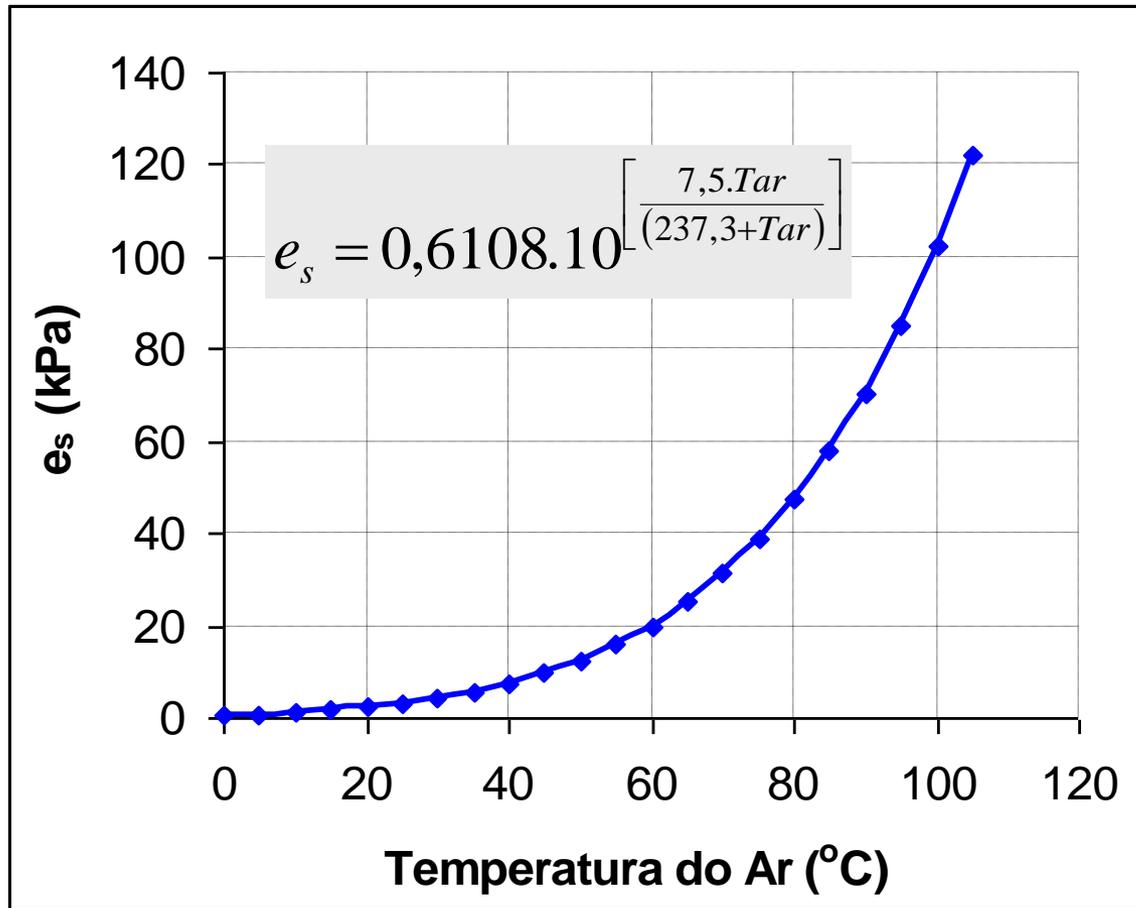
$$e_s = 0,6108 * 10^{[(7,5 * T_{ar}) / (237,3 + T_{ar})]} \text{ (kPa)}$$

Essa equação é denominada de **Equação de Tetens** e com ela pode-se determinar o valor de  $e_s$  para qualquer temperatura do ar. Caso se deseje calcular  $e_s$  em outras unidades, o valor 0,611 deve ser substituído por 4,58 para mmHg ou 6,11 para milibar (mb). O exemplo a seguir mostra a variação de  $e_s$  ao longo do dia, representado por dois horários (7h e 14h):

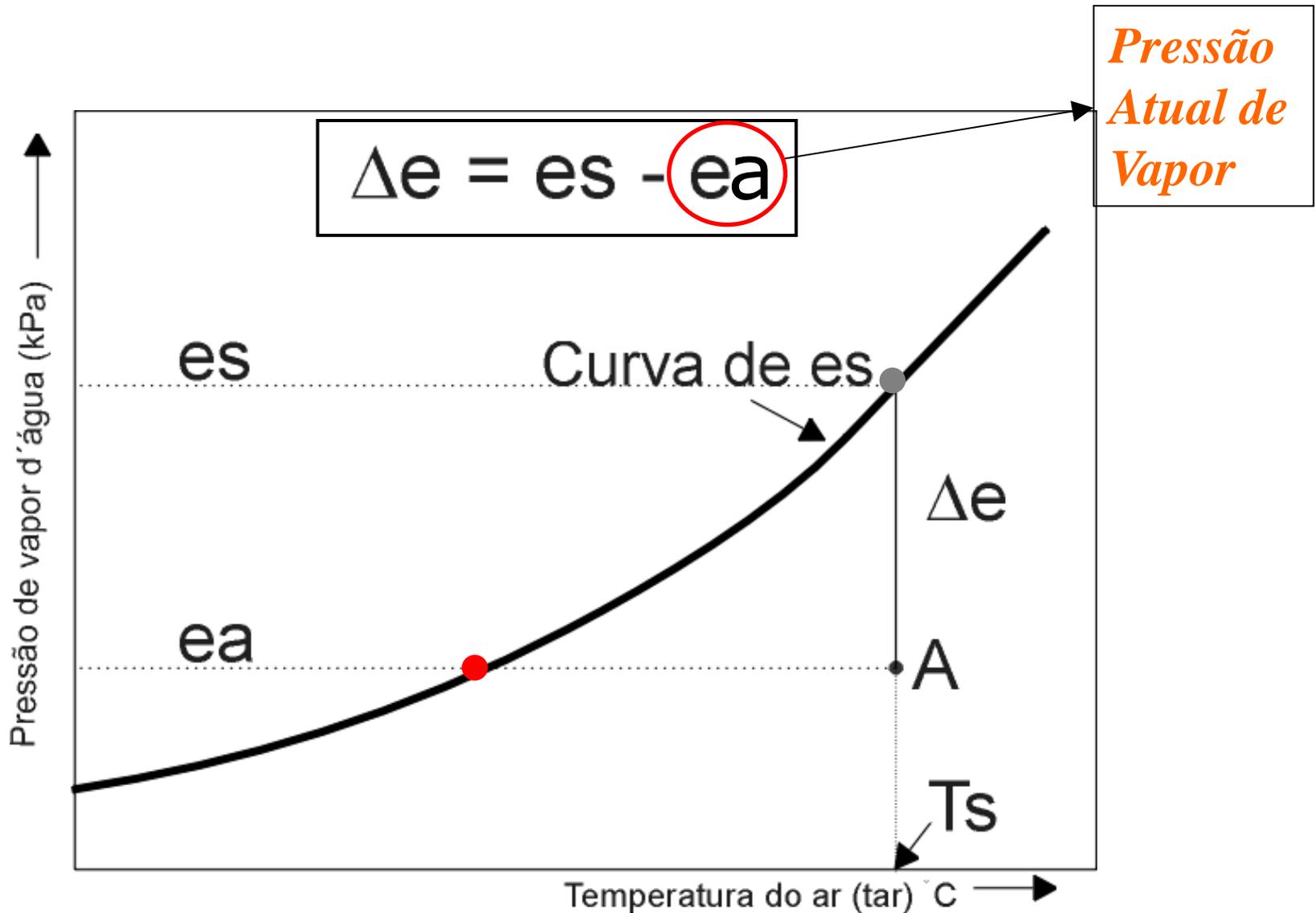
$$7h \Rightarrow T_{ar} = 16^\circ C \Rightarrow e_s = 0,611 * 10^{[(7,5 * 16) / (237,3 + 16)]} = \text{X kPa}$$

$$14h \Rightarrow T_{ar} = 28^\circ C \Rightarrow e_s = 0,611 * 10^{[(7,5 * 28) / (237,3 + 28)]} = \text{X kPa}$$

# Equação de Tetens - Gráfico Psicrométrico



➤ Déficit de Pressão de Vapor (DPV)



**Umidade Relativa do ar (UR)** - relação entre a quantidade de vapor existente no ar e que existiria se o mesmo estivesse saturado na mesma temperatura.

$$UR = \frac{e_a}{e_s} \quad \text{ou} \quad UR = \frac{UA}{US}$$

Estação Convencional:

INMET  $UR_{med} = (UR_{9h} + UR_{máx} + UR_{mín} + 2 \cdot UR_{21h}) / 5$

IAC  $UR_{med} = (UR_{7h} + UR_{14h} + 2 \cdot UR_{21h}) / 4$

Valores Extremos  $UR_{med} = (UR_{máx} + UR_{mín}) / 2$

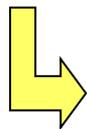
Higrógrafo  $UR_{med} = (\sum UR_i) / 24$



$UR_i$  é a umidade relativa do ar medida a cada intervalo de 1 hora e 24 é o total de observações feitas ao longo de um dia

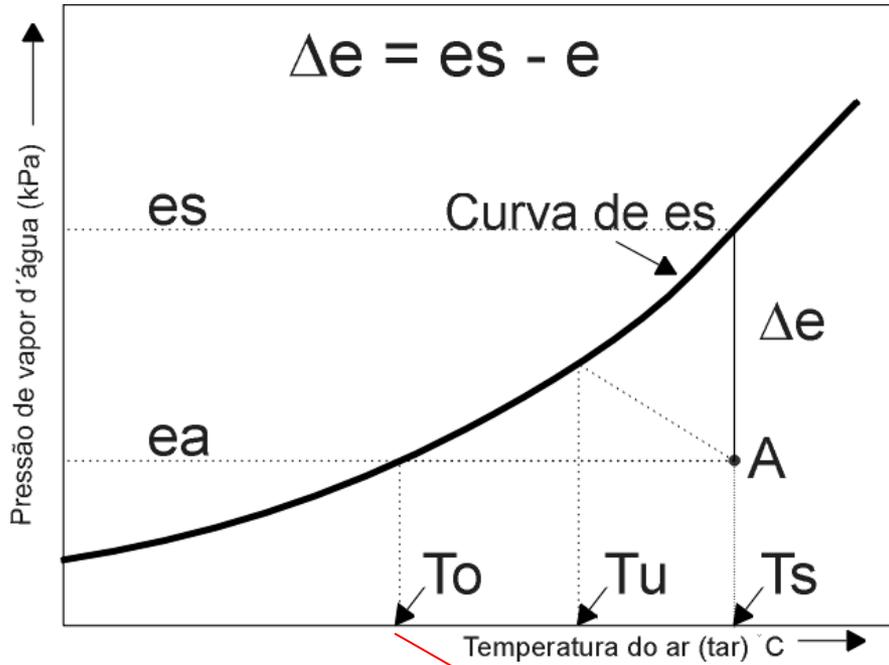
Estação Automática:

Real  $UR_{med} = (\sum UR_i) / n$



$UR_i$  é a umidade relativa do ar medida a cada intervalo de tempo e n é o total de observações feitas ao longo de um dia

## ➤ Temperatura Ponto de Orvalho (Dew Point)

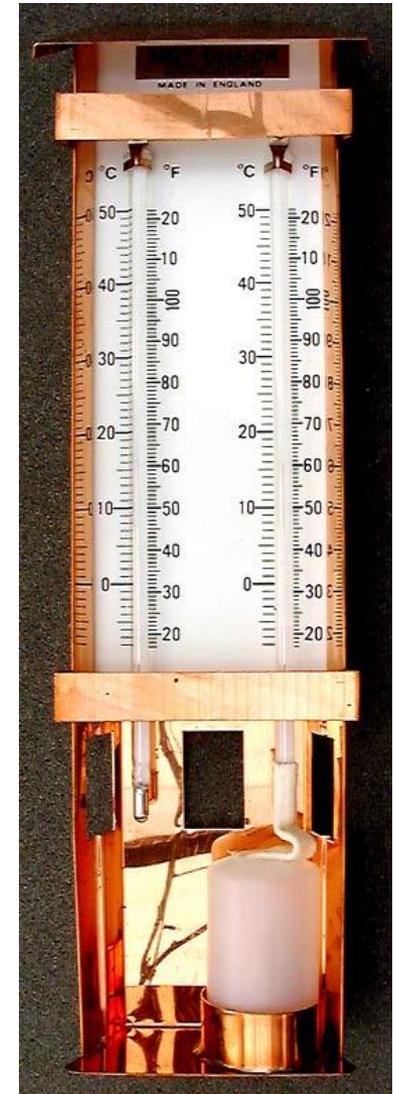
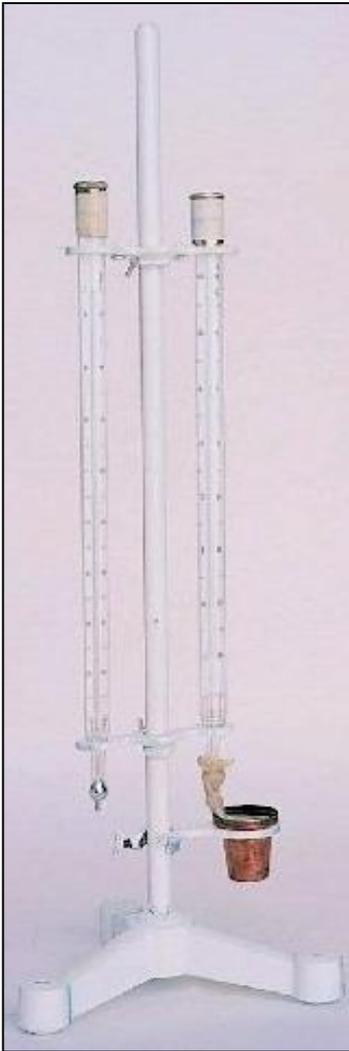


$$T_o = \frac{237,3 \text{Log} \left[ \frac{ea}{0,6108} \right]}{7,5 - \text{Log} \left[ \frac{ea}{0,6108} \right]}$$

# Equipamentos de medida da Umidade do ar

## Conjunto Psicrométrico ou Psicrômetro

O conjunto psicrométrico utiliza as equações apresentadas anteriormente para a determinação de "es" e "ea", que posteriormente são empregados na determinação de UR. Os psicrômetros podem ser de ventilação natural, como os dois apresentados à direita e à esquerda, ou de ventilação forçada, como o da figura abaixo.



# Psicrômetro Assmann



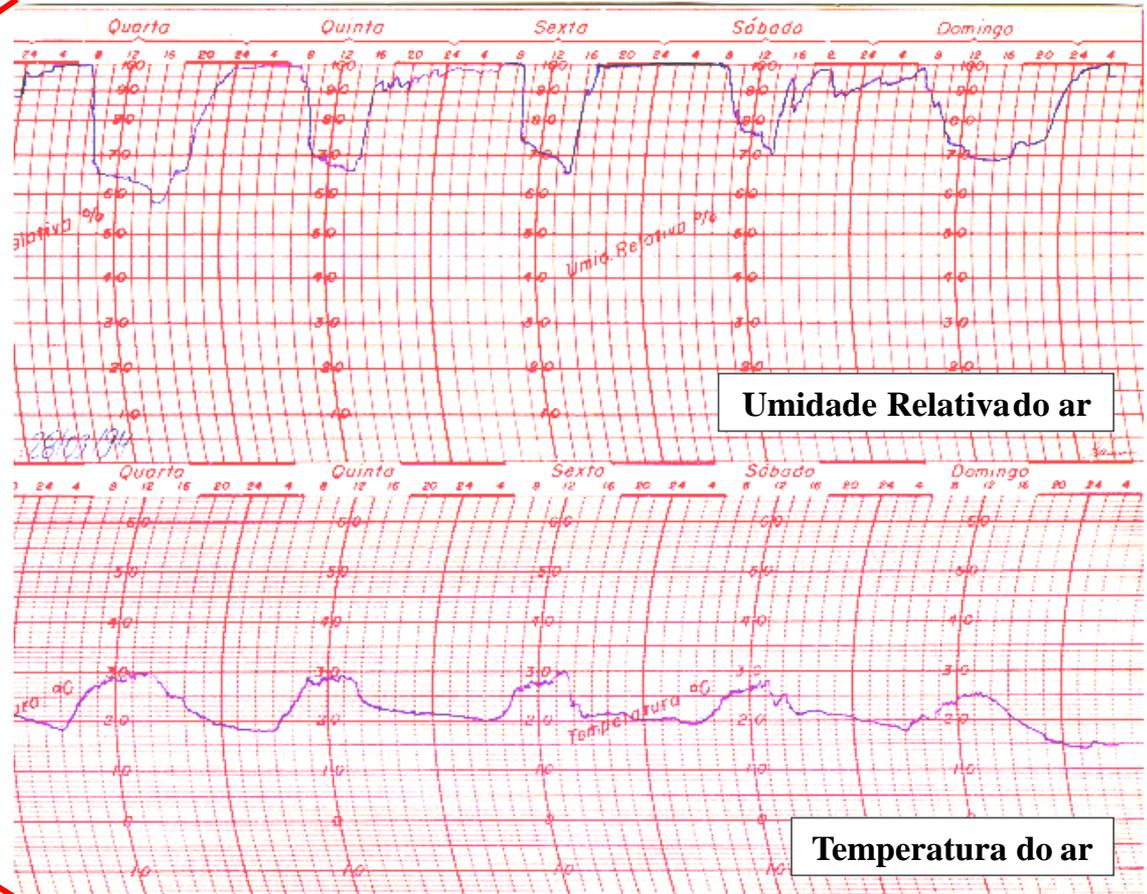
O psicrômetro Assmann é considerado padrão para a medida da umidade do ar. No entanto, este é um equipamento mecânico. Outras versões desse tipo de sensor vem sendo desenvolvidas, mas todas usando o princípio das medidas das temperaturas do bulbo seco e do bulbo úmido.

As versões mais atuais dos psicrômetros envolvem medidas dessas temperaturas com o uso de termopares, em abrigos meteorológicos onde há um fluxo constante de ar. Esses psicrômetros possibilitam medidas automatizadas, o que facilita a determinação da UR.



Figura 2. Instrumentos meteorológicos instalados em cada tratamento: radiação solar global ( $Q_g$ ), radiação fotossinteticamente ativa (PAR), temperatura de bulbo seco ( $T_{bs}$ ) e temperatura de bulbo úmido ( $T_{bu}$ ) (psicrômetro ventilado)

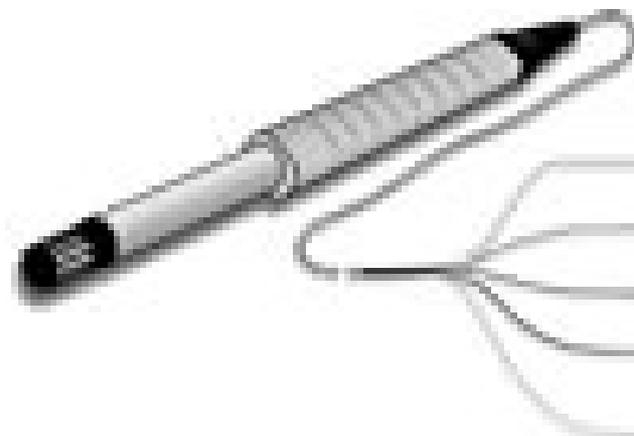
# Higrógrafos mecânicos



Os higrógrafos mecânicos, normalmente associados ao termógrafo bimetálico, usam como elemento sensor, para umidade do ar, o cabelo humano, o qual tem a propriedade de se dilatar e contrair em função da umidade do ar. Esses equipamentos são empregados para a obtenção de medidas contínuas nas estações meteorológicas convencionais e registram os valores de UR no higrograma. Esse equipamento requer calibrações e limpezas freqüentes, pois o cabelo vai perdendo elasticidade com o tempo.

## Sensor capacitivo de UR

Esse sensor é empregado nas estações meteorológicas automáticas. O sensor constitui-se de um filme de polímero que ao absorver vapor d'água do ar altera a capacitância de um circuito ativo. Requer calibração e limpeza periódicas.



## Medida da Umidade do ar em Condições Padrões

Os sensores de UR, para medidas rotineiras, devem ser instalados dentro dos abrigos meteorológicos (1,5 a 2,0 m de altura), tanto nas estações convencionais como nas automáticas

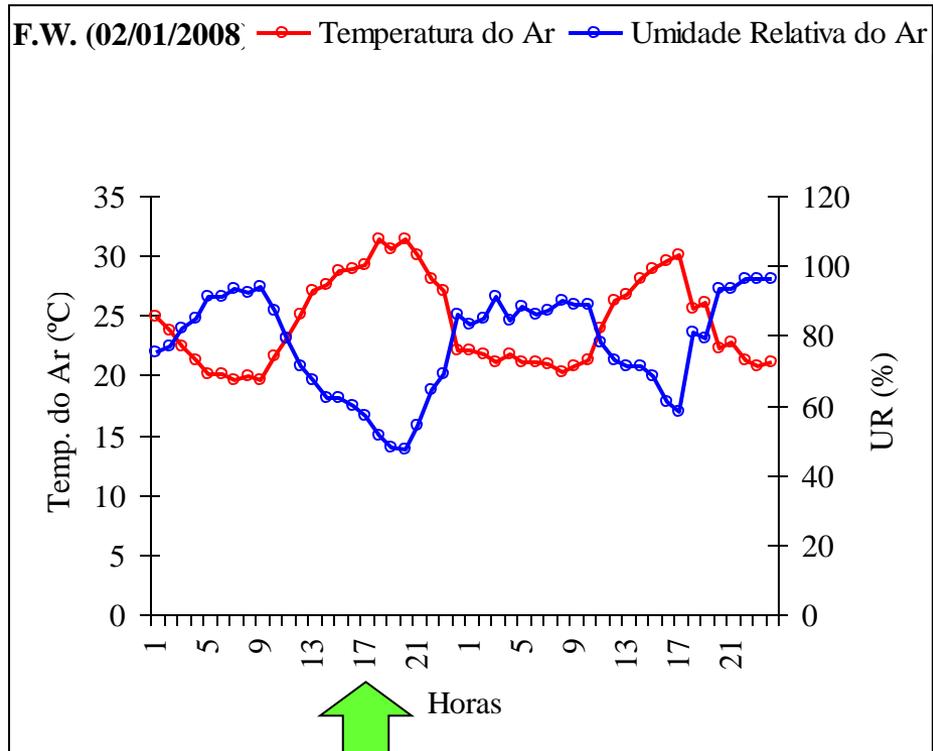


**Abrigos meteorológico – Estação Convencional**



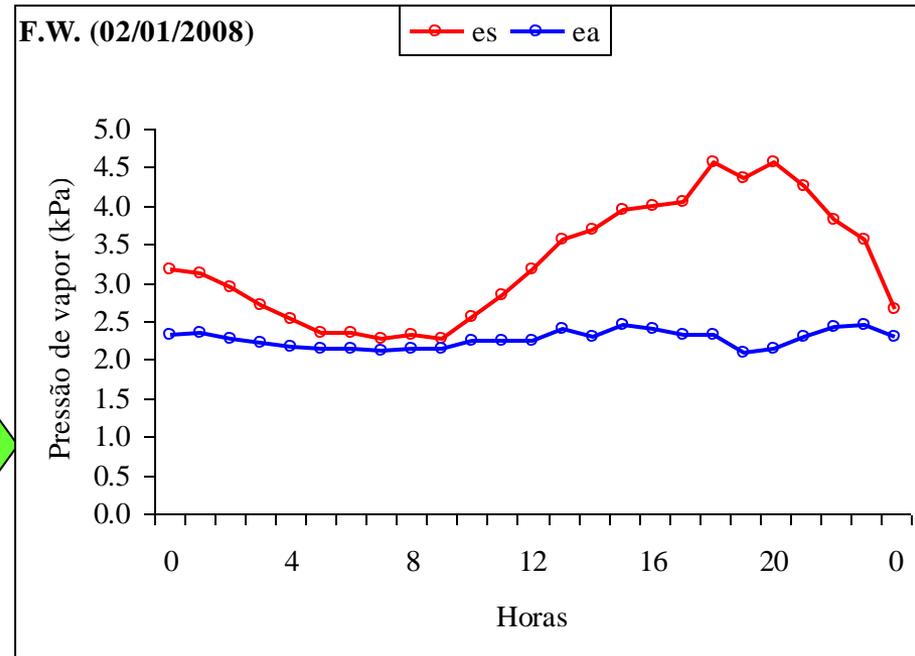
**Abrigo meteorológico – Estação Automática**

# Variação temporal da umidade do ar - escala diária



Na escala diária praticamente não há variação de “ea” ao longo do dia, ao passo que “es” varia exponencialmente com a temperatura do ar. Isso faz com que a UR varie continuamente ao longo do dia, chegando ao valor mínimo no horário de Tmax e a um valor máximo a partir do momento em que a temperatura do ponto de orvalho ( $T_o$ ) é atingida.

Desse modo, a UR tem uma variação inversa à da temperatura do ar ( $T_s$ ), como pode-se observar na figura acima, porém o efeito direto da  $T_s$  é sobre “es”, como pode-se observar na figura ao lado.



## Exercício:

A partir das medidas de um psicrômetro ( $T_s = 33,5^\circ\text{C}$  e  $T_u = 28,7^\circ\text{C}$ ), calcule:

- a)  $e_s$
- b)  $e_a$
- c) Déficit da pressão de vapor (DPV)
- d) UR(%)
- e) US
- f) UA
- g)  $T_o$

# Orvalho: uma variáveis condicionadora das doenças

"Aspectos fisiológicos e físicos":

❖ *Temperatura do ar:*

- Regula a velocidade das reações metabólicas tanto do patógeno (doença) como do hospedeiro (planta) - Taxa de Desenvolvimento (Tb, TB e Tótimo)
- Temperatura de Ponto de Orvalho

❖ *Chuva e Umidade do ar:*

- Condicionam a presença de água livre sobre o tecido vegetal (folhas, frutos, flores e colmos)
- Possibilita a germinação e a penetração dos fungos e bactérias.

❖ *Vento:*

- Responsável pelo secamento foliar e também pela dispersão e propagação dos patógenos a grandes distâncias.

## Determinação da Duração do Período de Molhamento (DPM):

DPM: tempo em que as superfícies vegetais (folhas, frutos, flores e colmo) apresentam água depositada (molhamento), proveniente da condensação de orvalho, chuva ou até mesmo irrigação. É uma variável de extrema importância para a fitossanidade vegetal, pois age como condicionante do processo infeccioso de doenças fúngicas e bacterianas



### Classificações quanto ao tempo de molhamento:

- Curta duração: se  $DPM < 6$  horas
- Média duração: se  $6 \leq DPM \leq 10$  horas
- Longa duração: se  $DPM > 10$  horas



# Medidas das Variáveis Ambientais

- Temperatura do ar: facilmente medida, considerando-se a temperatura do abrigo meteorológico como representativo da temperatura da folhagem vegetal

- A DPM é mais difícil de ser determinada (dependente da cultura e suas características morfológicas e arquiteturas)

A medida é feita através de:

- Instrumentos (princ. mec.) → aspergígrafo
- Sensores (princ. elet.) → sensor de placa



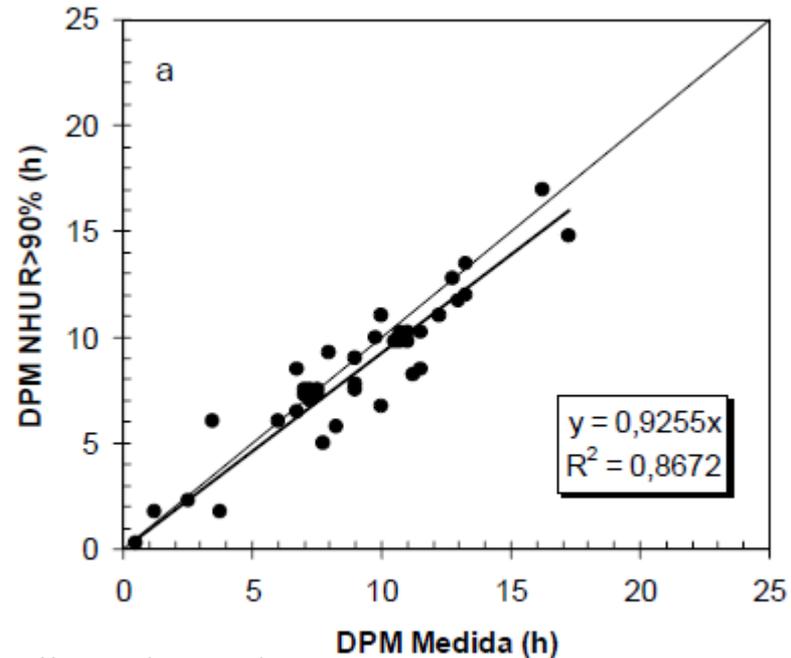
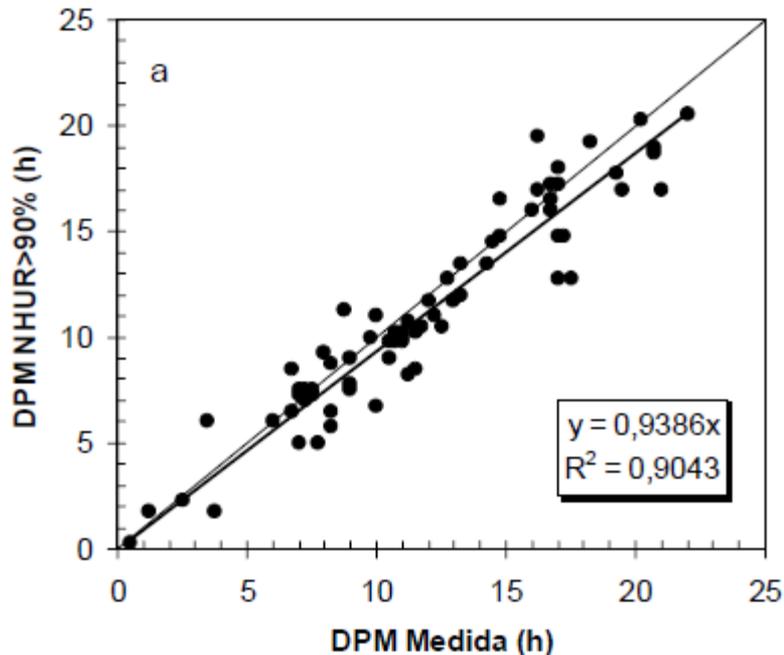
*Umidade do ar, Chuva e Vento → medidas rotineiras*



## Estimativa da DPM (método simples):

- DPM X NHUR% (normalmente relacionada ao número de horas (NH) com umidade relativa  $\geq 85\%$ ,  $\geq 90\%$  ou  $\geq 95\%$ , condições essas em que já pode ocorrer condensação em superfície exposta ao relento.

Ex. Algodão



Fonte: Sentelhas (2004)

**Mal-das-folhas (*Microcyclus ulei*) em seringueira. Em SP, Camargo et al. (1967) verificaram que essa doença só ocorria quando havia mais de 12 noites, no mês, com DPM de 10 ou mais horas.**

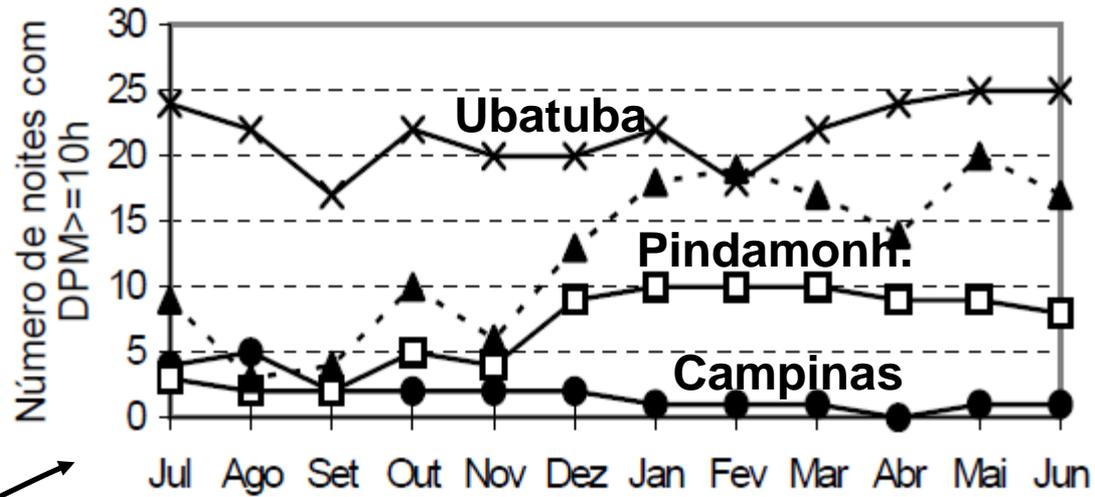
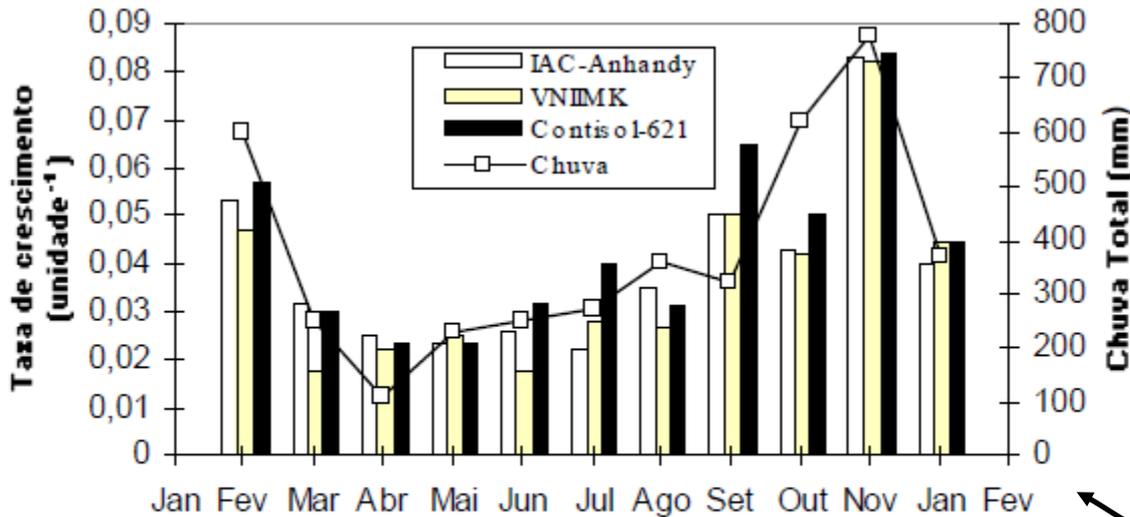


Figura 17.2. Número de noites com DPM maior ou igual a 10h em três locais do Estado de São Paulo. Adaptado de Camargo et al. (1967).



**Mancha de Alternária (*Alternaria helianthi*) em girassol. Taxa de crescimento diretamente relacionada à chuva no seu ciclo (Sentelhas et al., 1996).**

Figura 17.3. Relação entre a chuva total no ciclo da cultura do girassol e a taxa de crescimento da mancha de *Alternaria helianthi*, em diferentes épocas de semeadura. Fonte: Sentelhas et al. (1996).

# Interação Temperatura-Umidade e Fitossanidade

É a combinação temperatura - umidade que irá condicionar o sucesso do processo infeccioso da doença. A temperatura atua como agente moderador/amplificador nessa combinação.

**Ex.1:** Mal-das-folhas da seringueira causado pelo fungo *Microcyclus ulei*, Gasparotto (1988) verificou que:

- se a temperatura for de 24°C, haverá infecção com apenas 6 horas de DPM;
- se a temperatura for de 20°C, haverá infecção se houver de 8 a 10 horas de DPM;
- se a temperatura for de 16°C, não haverá manifestação da doença.
- A combinação que proporcionou a infestação mais intensa foi 24°C e DPM de 16 horas.

**Ex.2: Cercosporiose (*Cercospora arachidicola*) em cultura de amendoim.** Para identificar o nível de desenvolvimento da doença, Jensen & Boyle (1966) desenvolveram um sistema simples baseado na temperatura mínima do ar e no número de horas com UR  $\geq$  95%:

- A uma temperatura qualquer, o potencial de infestação aumenta com o aumento no DPM;
- Com  $T < 17^{\circ}\text{C}$ , o potencial é bastante reduzido, mesmo com alta DPM;
- Com  $T > 24^{\circ}\text{C}$ , o potencial é muito elevado, mesmo com DPM  $< 10$  horas.

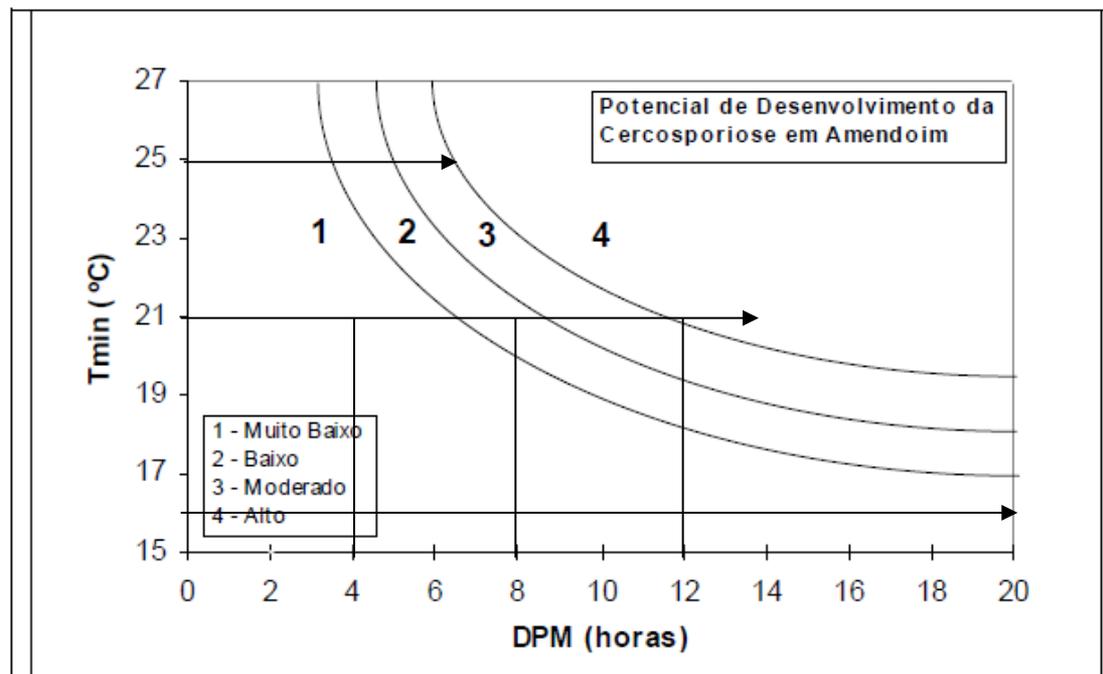


Figura 17.4. Potencial de desenvolvimento de Cercosporiose em amendoim em função da temperatura e da DPM. Adaptado de Jensen & Boyle (1966)  
**Fonte: Pereira et al. (2002)**

# Sistemas de Alerta Fitossanitário

Suplementação de informações, a fim de adaptar sistemas agrícolas a variabilidade climática. Os produtores deveriam ser capazes de planejar suas práticas, dada às recentes condições meteorológicas, através de eventuais planos e ações agrícolas.

Para atingir seu propósito faz-se necessário:

- ✓ Coleta de informações (variáveis) necessárias para fazer a previsão;
- ✓ Análise desses dados para estimar quando se acumularam ou acumularão as condições favoráveis (ou desfavoráveis) à ocorrência de um determinado evento (ex. doença);
- ✓ Análise econômica para identificar se a ação a ser recomendada aos usuários é viável economicamente (estádio de desenvolvimento planta);
- ✓ Expedir o alerta – o boletim deve chegar ao usuário ou produtor de maneira aceitável e compreensível (*um ponto de estrangulamento*).

- ❖ **Sarna da Macieira** (*Venturia inaequalis*): sistema desenvolvido por Mills (1944) considera a temperatura média do período noturno, a DPM, e a presença de ascósporos. Utilizado na região macieira de Santa Catarina. *As pulverizações serão sempre preventivas e feitas quando são satisfeitas as condições da tabela de Mills, que indicam que o clima está favorável ao patógeno.*

Temperatura média semanal do período da DPM (°C)	Intensidade da infecção		
	LEVE	MODERADA	FORTE
	DPM (horas/semana)		
6	30	40	60
10	14	19	29
15	10	13	21
20	9	12	18
25	11	14	21

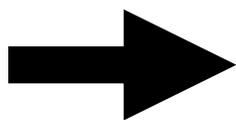
- ❖ **Podridão da Batata** (*Phytophthora infestans*): o sistema também se baseia na tabela de Mills, de uso comum na Holanda e Inglaterra. Além da temperatura e DPM, considera-se chuva.

1º Passo: determinar o grau de severidade durante 7 dias, acumulando-os:

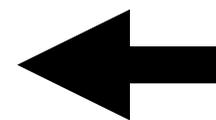
T noturna (°C)	Grau de severidade				
	0	1	2	3	4
	DPM (Horas)				
7 a 12	15	16-18	19-21	22-24	25
12 a 15	12	13-15	16-18	19-21	22
15 a 27	9	10-12	13-15	16-18	19

2º Passo: com grau de severidade acumulado e da chuva, dos sete dias, determina-se o código da mensagem

Nº de dias c/ chuva em 7 dias	Severidade Acumulada em 7 dias					
	<3	3	4	5	6	>6
	Código da mensagem					
< 5	-1	-1	0	1	1	2
> 4	-1	0	1	2	2	2



-1	Não há necessidade de pulverizar
0	Ficar alerta
1	Pulverizar em até 7 dias
2	Pulverizar em até 5 dias



- ❖ Pinta preta do Tomate (*Alternaria solani*) utiliza-se a tabela de Mills, acumulando-se a severidade (S) num período de 7 dias. As pulverizações são recomendadas quando o valor de S acumulado em 7 dias supera 14.

T <sub>med</sub> do período noturno (°C)	Severidade (S)				
	0	1	2	3	4
	DPM (Horas)				
13 a 17	0 a 6	7 a 15	16 a 20	≥ 21	-
17 a 20	0 a 3	4 a 8	9 a 15	16 a 22	≥ 23
20 a 25	0 a 2	3 a 5	6 a 12	13 a 20	≥ 21
25 a 29	0 a 3	4 a 8	9 a 15	16 a 22	≥ 23

### Outros:

- ❖ Míldio da videira (*Plasmopara viticola*) o sistema é fenológico-climatológico, com pulverizações:

Preventivas → na bortação, florescimento e formação do cacho

Curativa → quando a T<sub>min</sub> > 10°C e dois dias seguidos com chuva superando 10mm

- ❖ Míldio do Feijoeiro (*Phytophthora phaseoli*) a pulverização é recomendada sempre que houver dois dias seguidos com: T<sub>med</sub> < 26°C, T<sub>min</sub> > 7°C, e com chuva.

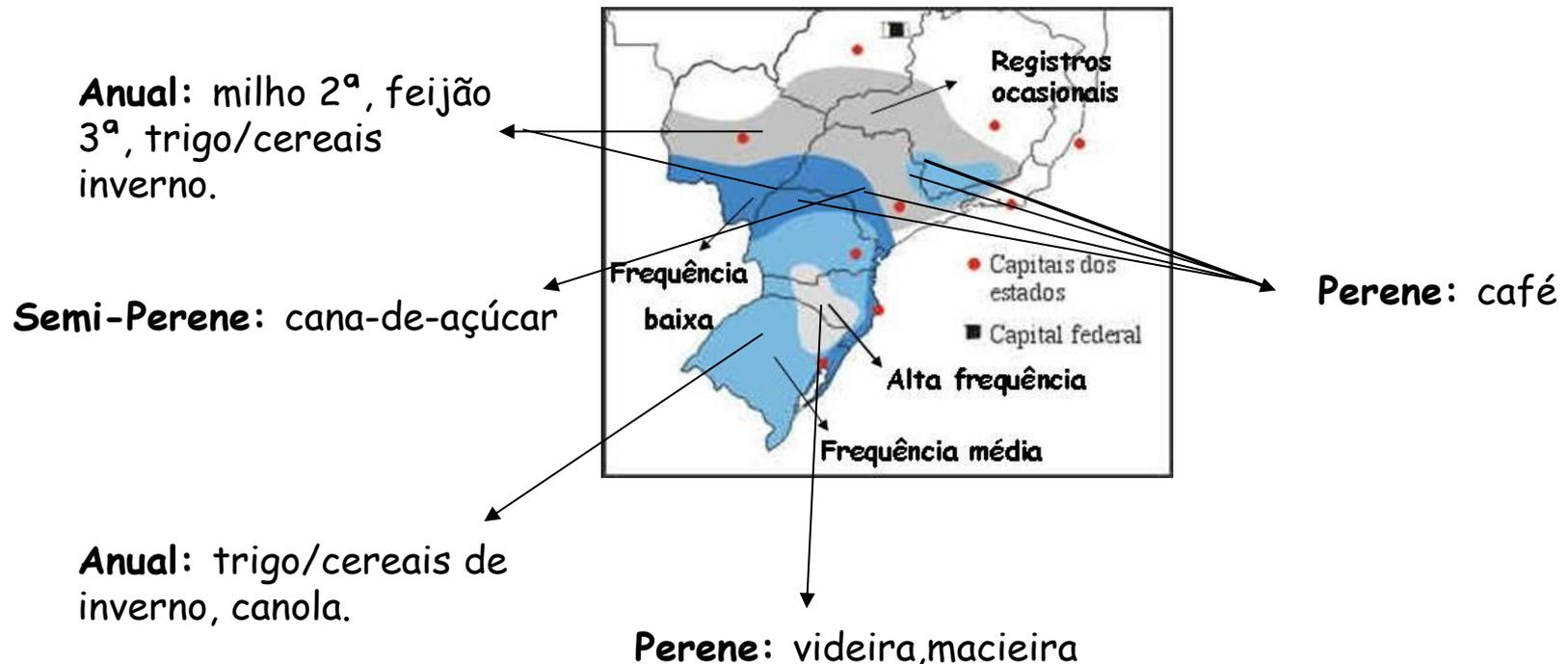
# Geada: agricultura brasileira e seus riscos

Quais são as regiões sujeitas ao fenômeno?

Quais são as estações ou meses do ano que preocupam?

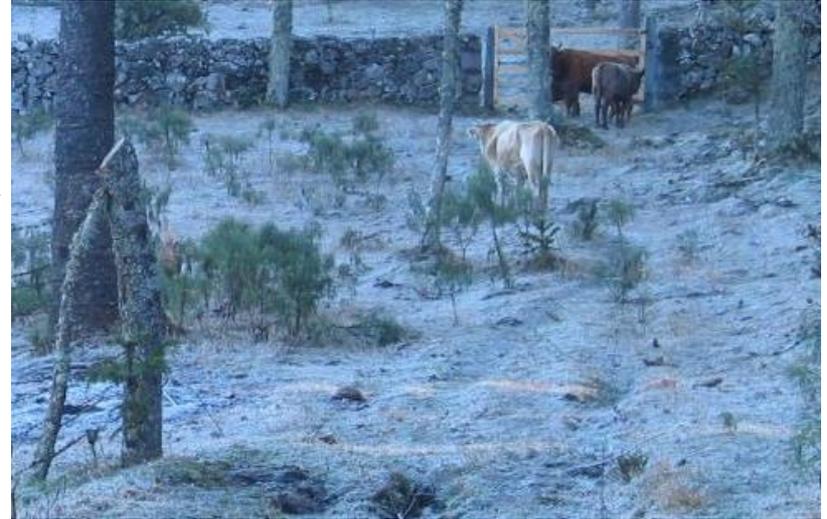
Quais são os cultivos que nos preocupam?

Quais são os estádios de desenvolvimento mais sensíveis?



# Definições de Geada

**Meteorologia:** formação de gelo sobre objetos expostos à radiação noturna (relento). Temperatura da superfície atinge o "ponto de orvalho - depósito de água", congelando-o a 0°C (cristais de gelo).



**Agronomia:** ocorre quando a temperatura do ar desce a temperaturas tão baixas que produzem a morte das plantas ou de suas partes (folhas, ramos, frutos), com ou sem formação de gelo sobre elas.



# Temperatura do ar e da relva



Agronomicamente, tomando-se como referência culturas mais sensíveis ao frio, temperatura do ar de  $2^{\circ}\text{C}$  ou menos já caracterizam geada  $\rightarrow T_{\text{relva}} \leq -2^{\circ}\text{C}$

Temperatura do ar  
(abrigo meteorológico)

1,5m

Diferença média de  
temperatura  $\cong 4^{\circ}\text{C}$

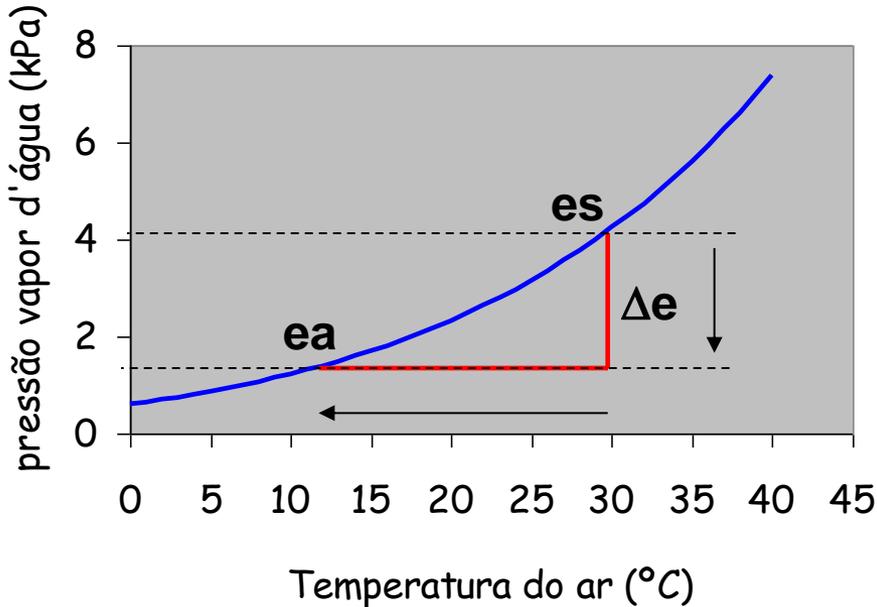
$$T_{\text{relva}} < T_{\text{ar}}$$

Temperatura da relva

A previsão de temperatura de um órgão vegetal é feita através do balanço de energia desse órgão, tarefa não muito simples

# Formação do Orvalho

Quais são as causas da formação do Orvalho?



Fatores que favorecem ou dificultam o resfriamento dos corpos:

- ✓ Grau de nebulosidade
- ✓ Velocidade do vento
- ✓ Grau de exposição a Céu Descoberto
- ✓ Maior densidade do ar frio
- ✓ Poder emissivo dos corpos

# Geada: tipos quanto a gênese

As geadas ocorrem quando uma massa de ar é substituída por outra mais fria (**Geadas de Advecção**), ou quando há acentuado resfriamento noturno, resultante principalmente da falta de nuvens e concomitante baixo valor de radiação da atmosfera (**Geadas de Radiação**).

**Geada de Advecção:** ventos fortes, constantes e com temperatura muito baixa, ressecando a parte que os intercepta, causando à morte do tecido vegetal nessa área. *Uma característica:* ocorrem danos apenas na face da planta batida pelo vento frio.



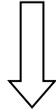
**Geada de Radiação:** balanço noturno da radiação é muito negativo, há pouco vento e a umidade relativa é baixa (domínio de sistemas de alta pressão). O ar em contato com a superfície se resfria mais rapidamente e, devido a pouca agitação da atmosfera, forma-se uma camada de inversão térmica.



# Inversão térmica



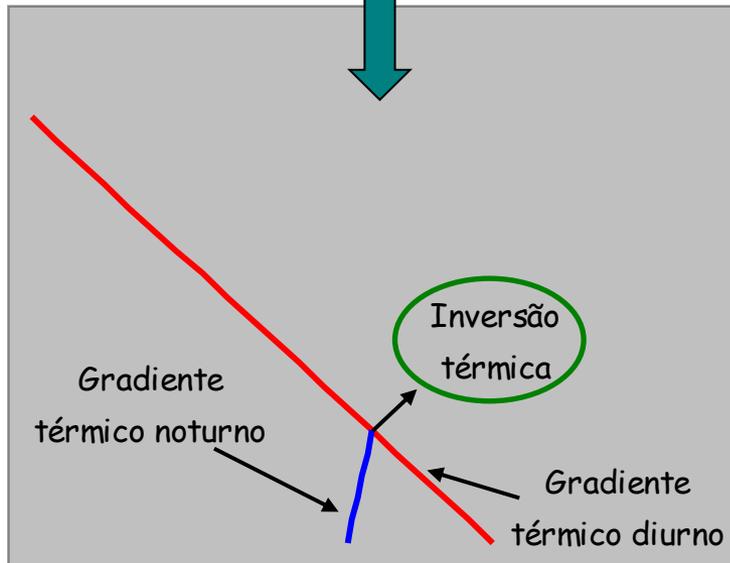
Onda Longa



Noite fria, com nebulosidade, sem formação de geada de radiação



Altitude (m)



1°C

Temperatura do ar (°C)



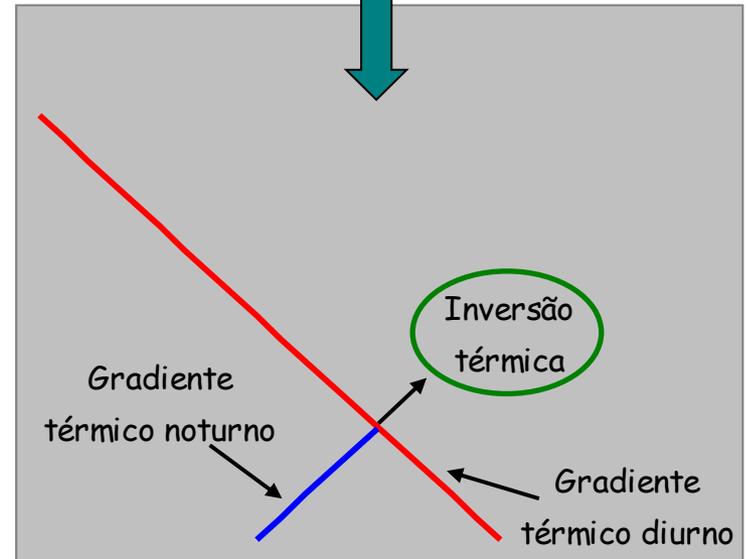
Onda Longa



Condição favorável à geada de radiação



Altitude (m)



-3°C

Temperatura do ar (°C)

# Geada: tipos quanto a gênese

**Geada mista:** é a situação em que ocorrem os dois processos sucessivamente, ou seja, entrada de massa fria e seca, e subsequente estagnação sobre a região permitindo intensa perda radiativa noturna.

**Obs.:** nas regiões brasileiras sujeitas a essa adversidade climática o processo radiativo é crucial para o fenômeno, entretanto há maior probabilidade de ocorrência quando da invasão de massas de ar frio e seco.

**Geada de canela:** na ocorrência de inversão térmica, a temperatura do ar junto ao solo pode atingir valores negativos, enquanto na altura da copa (arbóreas) pode ser 3°C a 4°C superior. Para cafeeiros, com temperatura menor que -2°C, ocorrem danos nos tecidos externos do caule, podendo levar a planta a morte.



# Geada: tipos quanto ao aspecto visual

As geadas podem ser identificadas quanto a aparência, conferindo coloração branca sobre a vegetação (**Geada Branca**) ou devido a alteração da coloração da própria vegetação, que apresenta aspecto escurecido (**Geada Negra**).

**Geada Branca:** é a típica geada de radiação, com deposição de gelo sobre as plantas (superfícies), devido ao congelamento do orvalho (ponto de orvalho ligeiramente acima de  $0^{\circ}\text{C}$ ). Muitas vezes a geada branca não provoca danos para as culturas mais tolerantes, pois embora a água congele a  $0^{\circ}\text{C}$ , a temperatura letal pode estar bem abaixo deste valor.

**Importante:** liberação de calor latente ameniza o resfriamento da planta.



# Geada: tipos quanto ao aspecto visual

As geadas podem ser identificadas quanto a aparência, conferindo coloração branca sobre a vegetação (**Geada Branca**) ou devido a alteração da coloração da própria vegetação, que apresenta aspecto escurecido (**Geada Negra**).

**Geada Negra:** a geada de radiação ocorre com o ar está muito seco. Nessa condição a temperatura letal do vegetal é atingida antes da formação de orvalho (temperatura do ponto de orvalho menor que a temperatura letal). Dessa forma há a morte do tecido sem a formação de gelo sobre ele.

**Importante:** ao contrário da geada branca, não há liberação de calor latente, tornando-a muito mais danosa (valores de temperatura mais baixos).

**18 de Julho de 1975.**



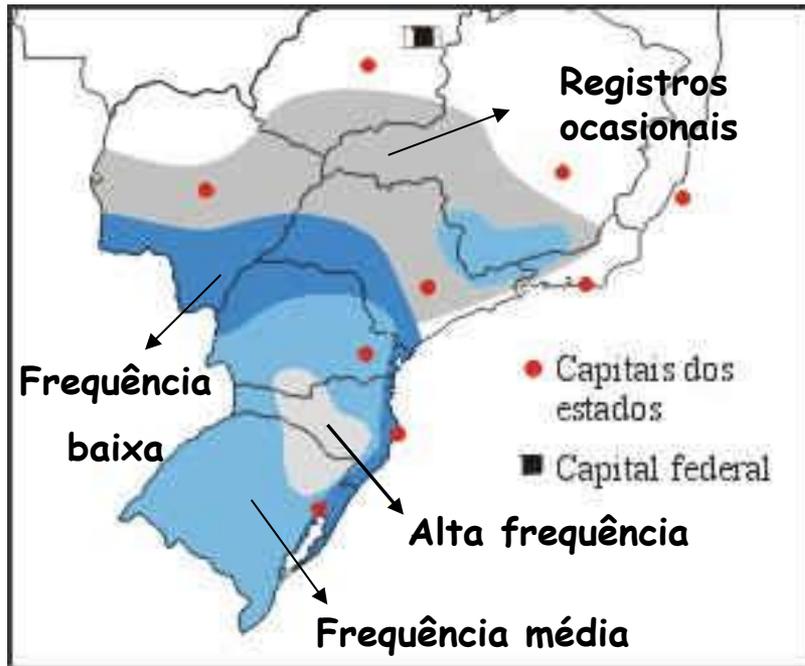
**GEADA ACABA COM CAFÉ NO PARANÁ**

podem vencer a fertilidade do mato e não o diminuir o rendimento do campo paranaense". E, em Curitiba, Próprio, não há quem não queiram "obtemperamente não haver mais", e propõem para a lavra da Junta Sindical do IBC, o presidente do Sindicato Rural, Wilson Raupp, afirmou, em tom dramático:

"Se não houver condições excepcionais por parte do governo aos produtores, haverá uma estratagem em termos de crédito paranaense e Brasil, de onde os produtores, passará a importar café para o consumo interno". Segundo as estatísticas, o IBC e o presidente do Sindicato Rural, Wilson Raupp, afirmam, em tom dramático:

# Fatores de formação das geadas

- **Macroclimáticos:** latitude, altitude, continentalidade/oceanidade, massa de ar polar

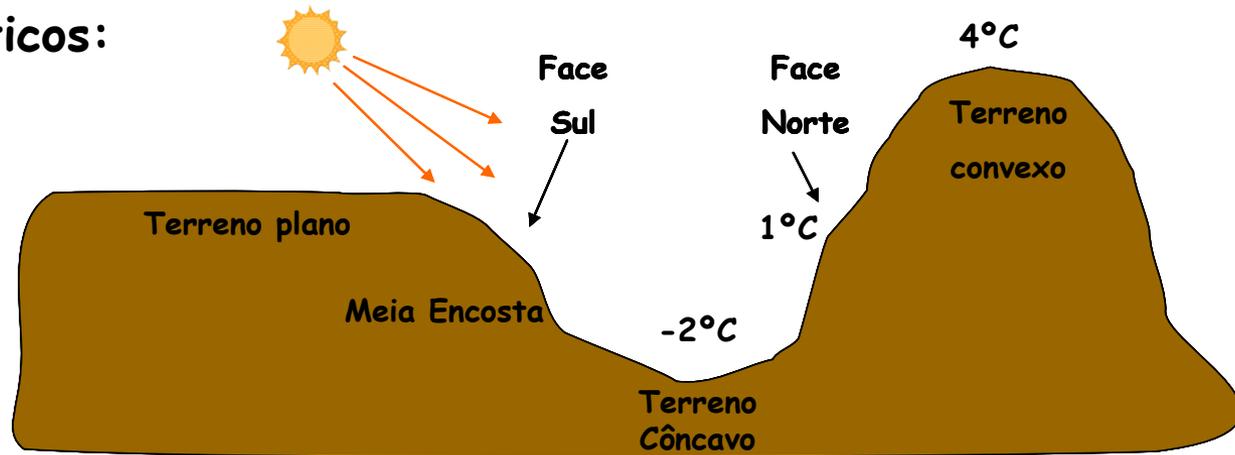


## Geadas no Brasil: "Efeito Latitude"

- ✓  $18^{\circ}$  e  $20^{\circ}$ S: geadas esporádicas e normalmente de fraca intensidade.
- ✓  $20^{\circ}$  e  $23^{\circ}$ S: geadas correm no inverno e com maior frequência nas áreas de maior altitude.
- ✓ Ao nível do mar: geadas somente ocorrem em  $\text{Lat} > 23^{\circ}$ S.
- ✓  $23^{\circ}$  e  $27^{\circ}$ S: geadas somente no inverno (geadas normais).
- ✓  $\text{Lat.} > 27^{\circ}$ S: geadas normais + geadas precoces (outono) e geadas tardias (primavera). Essas duas últimas são as mais prejudiciais.

# Fatores de formação das geadas

## ➤ Topoclimáticos:



## ➤ Microclimático: cobertura do terreno



Cobertura palha



Vegetação rasteira

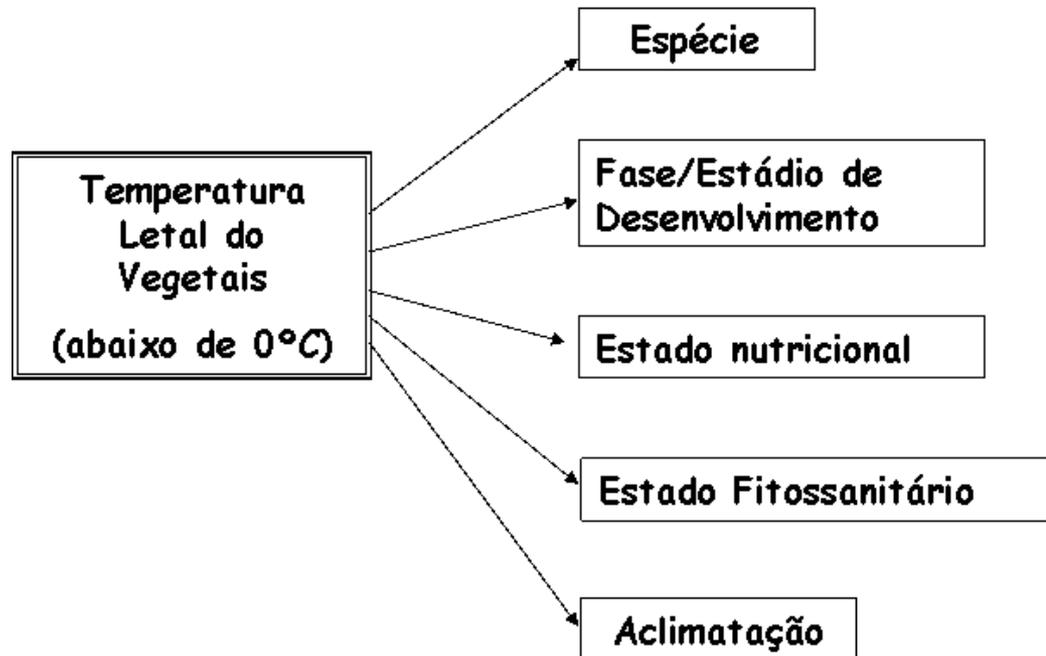


Solo nú

# Efeito da geada nos vegetais

**Solução intra e extracelular** tem determinada concentração de substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas, pelo que o seus pontos de fusão são inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$  (geralmente, inferior a  $-1^{\circ}\text{C}$ ).

**Sobrefusão:** consiste em resfriar um líquido abaixo da sua temperatura de solidificação sem que ele passe para o estado sólido. A água pura congela a  $0^{\circ}\text{C}$ . Sobrefusão dá-se frequentemente até os  $-5^{\circ}\text{C}$ .



**Tabela 1.** Temperatura letal (°C) de culturas anuais em diferentes estádios fenológicos. Fonte: Ventskevich, 1958, citado por Rosenberg et al., 1983

Resistência	Cultura	Germinação		Florescimento		Frutificação	
		Folha	Abrigo	Folha	Abrigo	Folha	Abrigo
Muito alta	Trigo	-9	-5	-2	2	-4	0
	Aveia	-8	-4	-2	2	-4	0
Alta	Feijão	-5	-1	-3	1	-4	0
	Girassol	-5	-1	-3	1	-3	1
Média	Soja	-3	1	-3	1	-3	1
Baixa	Milho	-2	2	-2	2	-3	1
	Sorgo	-2	2	-2	2	-3	1
Muito baixa	Algodão	-1	3	-2	2	-3	1
	Arroz	-0.5	3.5	-1	3	-1	3

**Tabela 2.**  
Temperatura letal (°C) de culturas perenes.

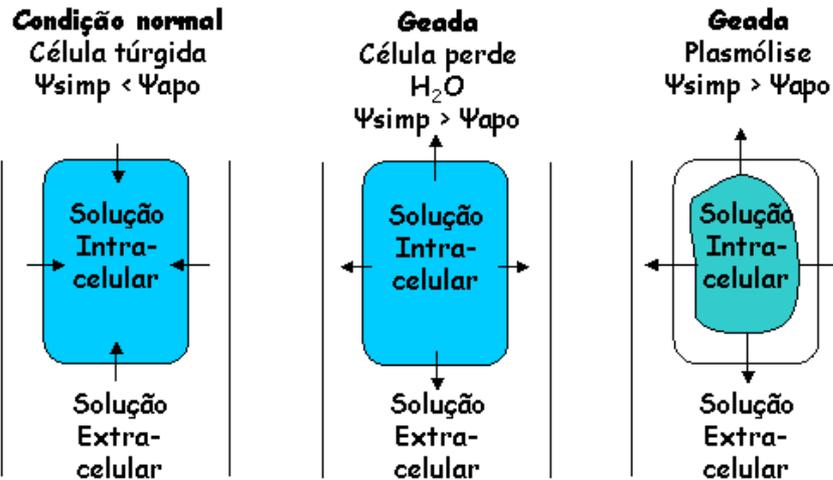
Cultura Perene	Temperatura letal (°C)		Fonte
	Folha	Abrigo	
Café - cv. Catuí	-4,0	0,0	Sentelhas et al. (1995)
Café - cv. Mundo Novo	-4,0	0,0	
Maça - cv. Jonathan	-2,5	1,5	Whiteman (1957) citado por Rosenberg et al. (1983)
Cana-de-açúcar Gemmas apical/laterais	-1,0 a -3,3°/-6,0°C		Bacchi & Souza (1978); Brinholi (1978)

**Efeito térmico:** congelamento da solução extracelular ( $> \psi_{osm}$ ), dando início a formação de cristais de gelo.

**Aumento gradual da temperatura:** desplasmólise na sequência da fusão do gelo, formado em resposta ao gradiente de tensão osmótica. Muitas células com membrana celular rebentada.  
**"Morte do Tecido Vegetal"**

**Abaixamento da temperatura cessa:** o tecido congelado apresenta as células embutidas na massa de cristais de gelo.

**Gradiente tensão vapor:** como a tensão de vapor é menor sobre o gelo do que sobre a água líquida, à mesma temperatura, dá-se a saída de água do protoplasto.



**Saída de água do protoplasto:** permite que o suco celular não congele, pelo aumento da concentração e concomitante abaixamento progressivo do ponto de congelamento.

**Temperatura em baixa:** o processo prossegue apresentando o protoplasto em plasmólise, cada vez mais encolhido entre cristais de gelo que se avolumam: a desidratação prossegue.



**Crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) - danos em folhas e flores.**

**Cultura da melancia danificada pela geada**

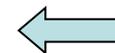


Cultura de melancia também sofreu danos



Cultura do feijão atingida com a geada em Humaitá

**Cultura do feijão danificada pela geada**



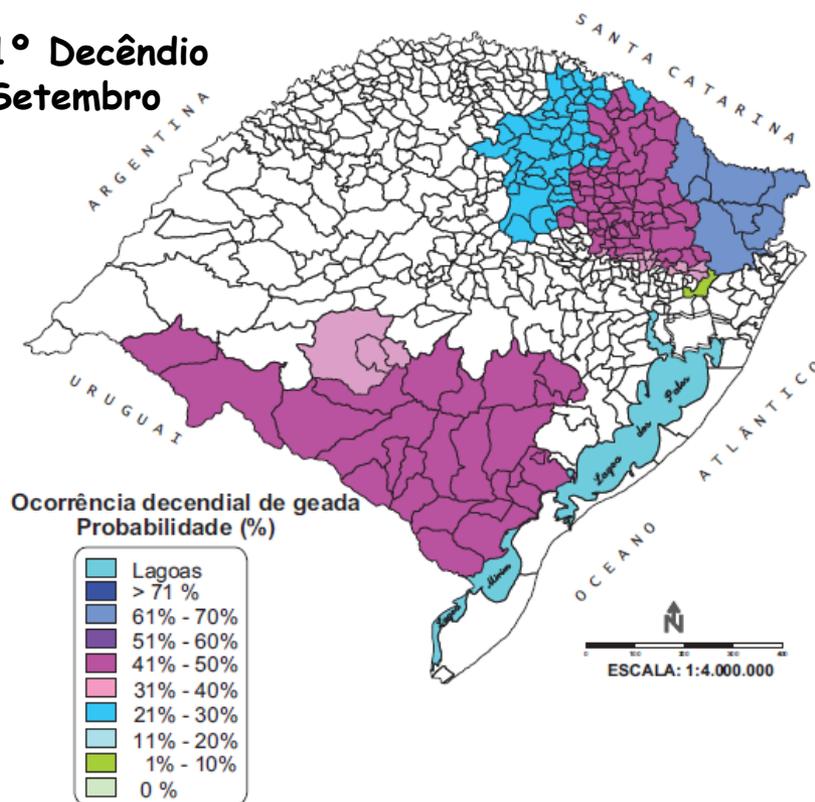
**Cultura do milho danificada pela geada**



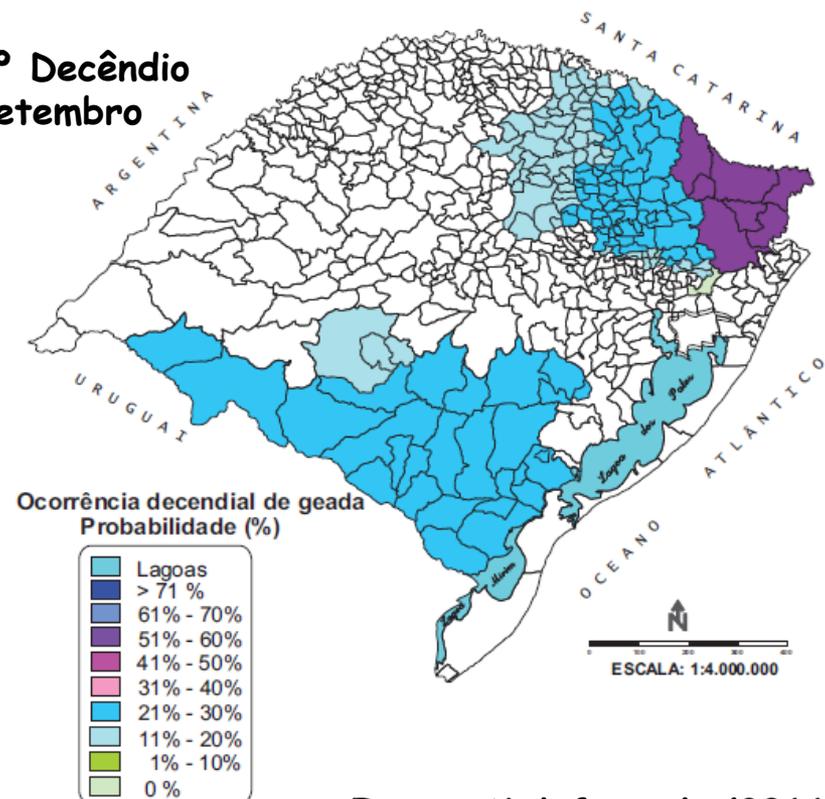
# Medidas para minimizar o efeito das geadas

- **Planejamento:** objetiva a levantar dados climáticos do local e da espécie/variedade a ser cultivada. Dados climáticos de um local possibilitam determinar a probabilidade de ocorrência de geadas. Essa informação é fundamental na avaliação da aptidão climática de uma região e escolha da cultura/variedade.

1º Decêndio  
Setembro



2º Decêndio  
Setembro



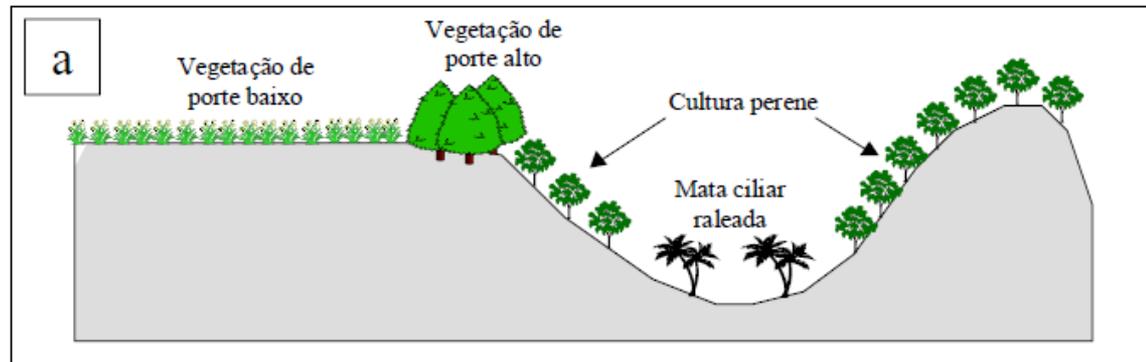
Fonte: Maluf et al. (2011)

- **Data de semeadura:** em referência a culturas anuais de inverno (trigo, canola, demais cereais), a data de semeadura deve ser planejada de modo a se evitar que os estádios de maior sensibilidade à geada (florescimento e o início do enchimento dos grãos) coincidam com o(s) período(s) de maior probabilidade de ocorrência de geadas.
- **Uso de variedades resistente:** como para uma mesma cultura as variedades podem apresentar diferentes tolerâncias ao frio, deve-se optar pelas variedades mais resistentes nos locais onde as geada ocorrem com certa frequência. É uma informação fundamental para planejar a instalação de uma cultura perene.  
Exemplos: Abacateiro: **Cultivar Geada (-4°C) e Cultivar Pollock (-1°C)**

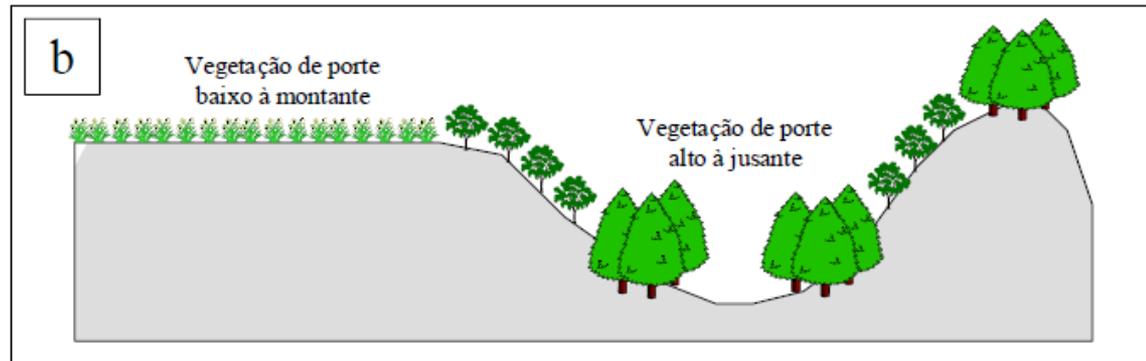


## Medidas Topoclimáticas: localizar corretamente as culturas no campo, considerando sua configuração e exposição.

➤ **Condição ideal (a):** vegetação de porte alto a montante e mata raleada a jusante.



➤ **Disposição evitada (b):** vegetação de porte baixo a montante e mata fechada a jusante.



Fonte: Pereira, Angelocci e Sentelhas, 2002

# Medidas Microclimáticas: aplicação de material ou método que altere o balanço de radiação da cultura ou a proteção do vento.

✓ **Curto prazo:** solo nú nas entre-linhas; eliminar obstáculos para escoar ar frio; cobertura das plantas.

## ENTERRIO



## Cobertura com bambu gigante + terra



## DESENTERRIO



## Retirada da cobertura



## Cobertura com resíduos vegetais

As propriedades que dispõem de resíduos vegetais (palhas) podem utilizar uma cobertura espessa sobre as mudas, a qual é retirada após passado o risco.



Fonte: Caramori

✓ **Longo prazo:** arborização (sistema agroflorestal)

Tabela. Produtividade de cafezais arborizados com *Grevillea robusta* a diferentes espaçamentos, em Terra Boa, PR. Fonte Caramori (1997)

Espaçamento das árvores (m)	Árvores / ha	Prod. café beneficiado kg / ha
8 x 10,5	119	7440
10 X 14	71	8849
12 X 17,5	48	9554
14 X 21	34	9233
16 X 24,5	26	8519
Pleno Sol	0	8744

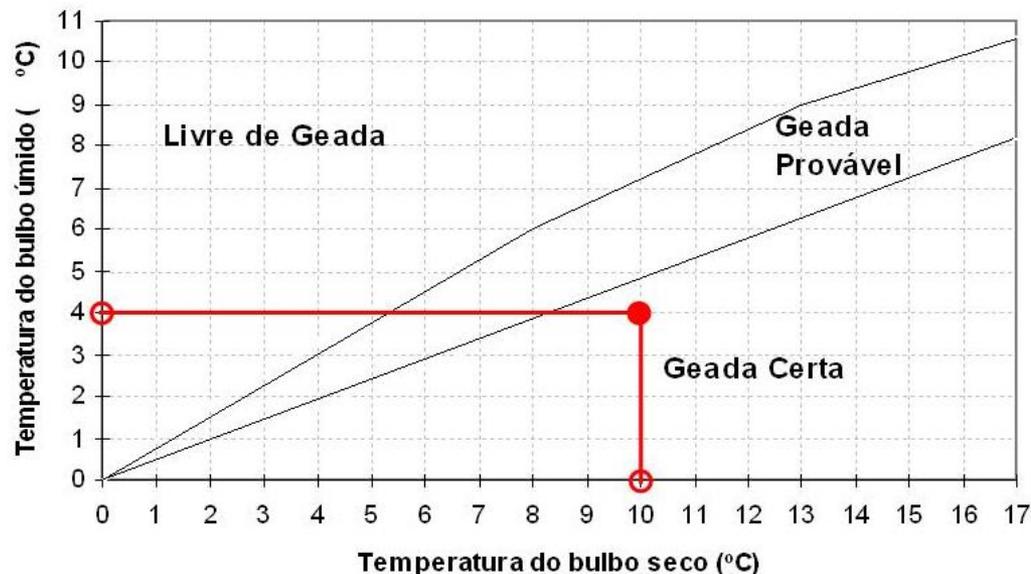
Cafezal  
sombreado  
com Grevílea,  
na Estação  
Experimental de  
Mococa



# Outros métodos de proteção contra geada

- ✓ Nebulização artificial da atmosfera
- ✓ Uso de produtos químicos (Ca e K)
- ✓ Uso de água - irrigação (calor latente de solidificação)
- ✓ Aquecimento artificial (inversão térmica)
- ✓ Ventilação forçada (inversão térmica)

## Escala de Belfort de Matos para previsão de geada

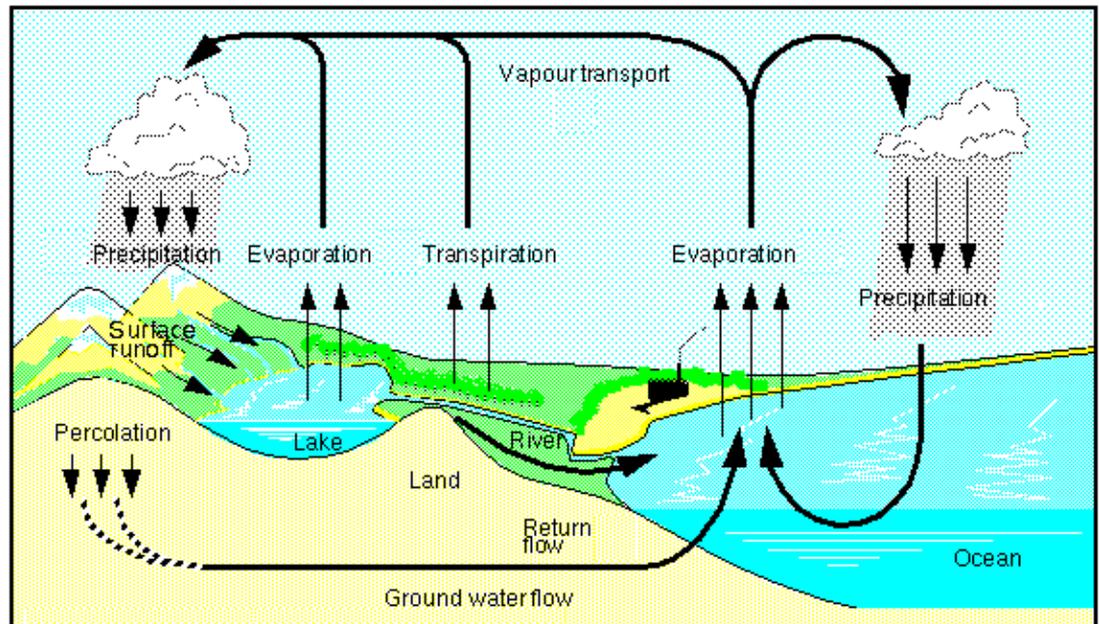


Com os dados das temperaturas do bulbo seco e do bulbo úmido ao pôr do sol ( $\pm 17h30m$ ), determina-se se há condições para a ocorrência de geada na madrugada seguinte. No exemplo, em que  $T_s = 10^\circ C$  e  $T_u = 4^\circ C$ , é certo de que vai ocorrer geada na madrugada seguinte.

# Precipitação Pluvial

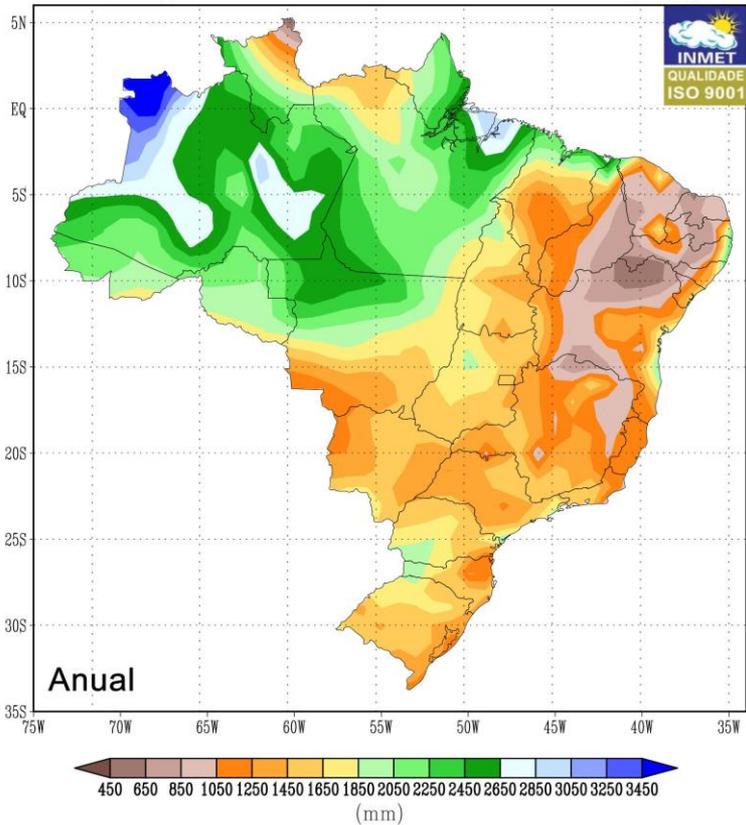
**Nuvens:** "Conjunto visível de partículas minúsculas de água líquida ou de gelo, ou ambas ao mesmo tempo, em suspensão na atmosfera. Este conjunto também pode conter estas partículas em maiores dimensões, assim como outros tipos de partículas, como as procedentes, por exemplo, de vapores industriais, fumaça e poeiras (OMM)."

**Ciclo Hidrológico** →

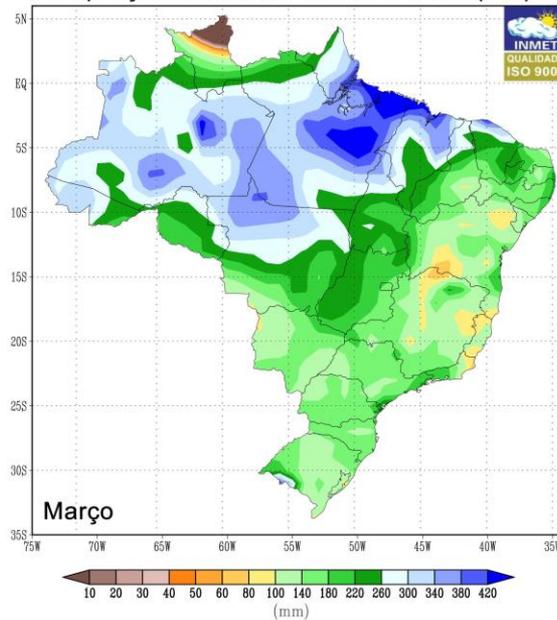


Courtesy Erich Roeckner, Max Planck Institute for Meteorology

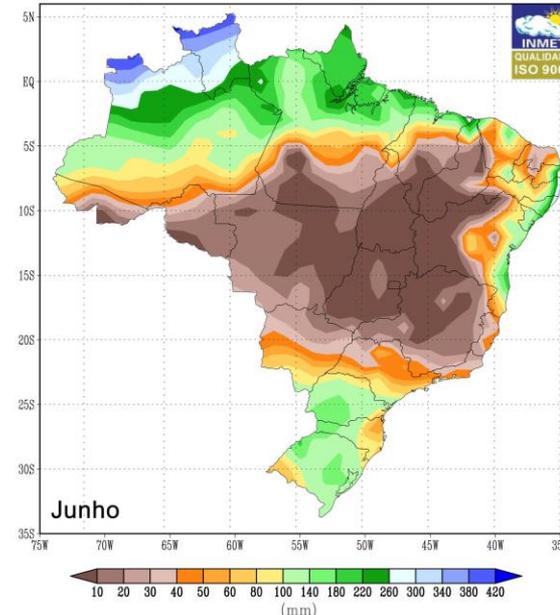
## Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 Precipitação acumulada mensal e anual (mm)



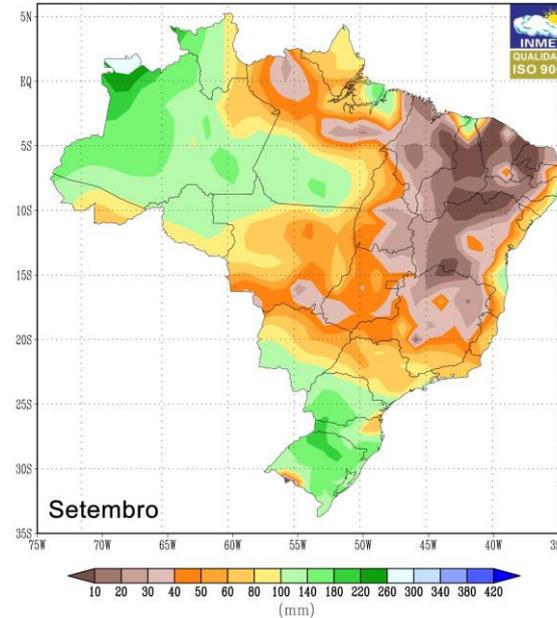
## Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 Precipitação acumulada mensal e anual (mm)



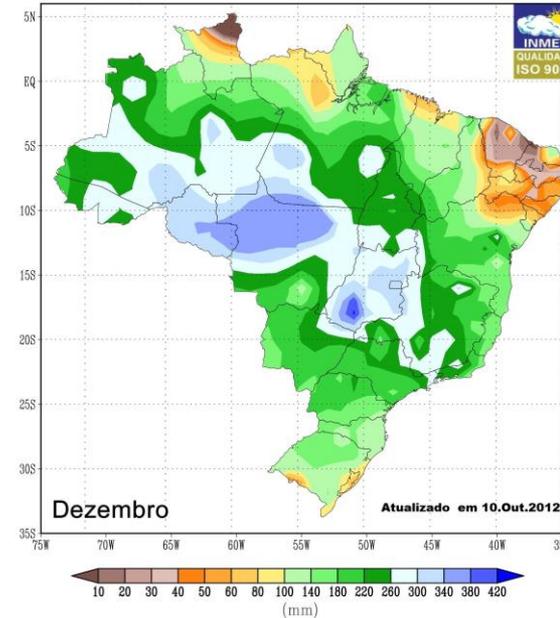
## Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 Precipitação acumulada mensal e anual (mm)



## Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 Precipitação acumulada mensal e anual (mm)



## Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 Precipitação acumulada mensal e anual (mm)



# Condensação na Atmosfera

- ✓ Resfriamento e saturação da massa de ar:

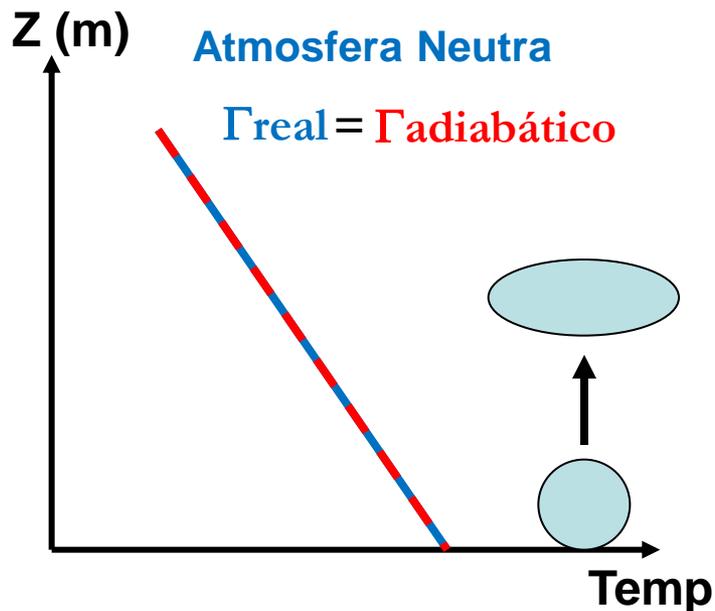
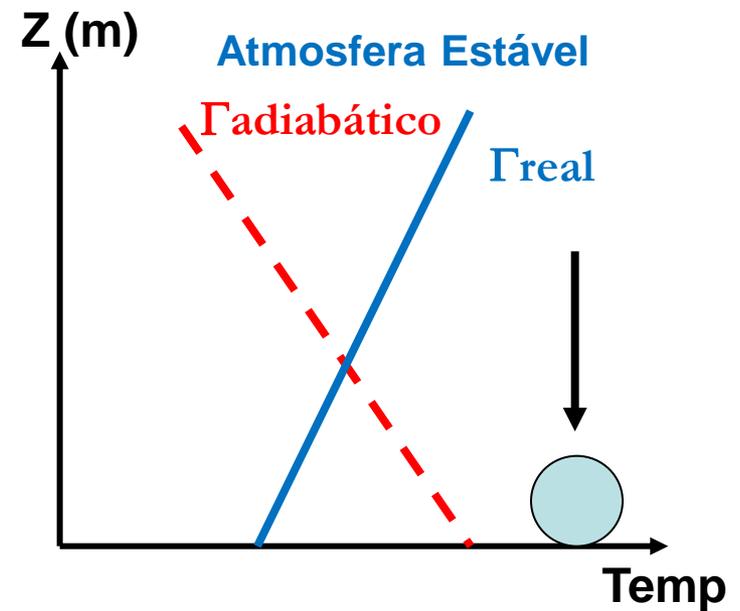
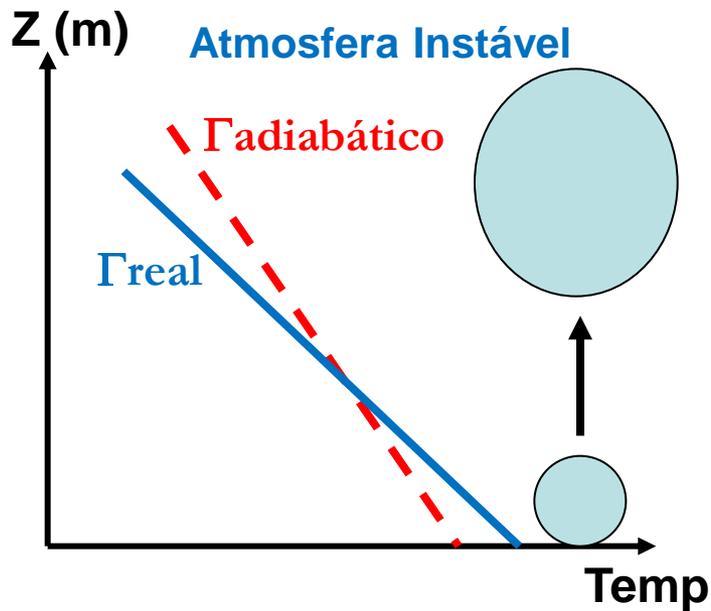
## GRADIENTE ADIABÁTICO ( $\Gamma$ ):

$$\Gamma_{\text{ar seco}} = - 0,98^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$$

$$\Gamma_{\text{ar saturado}} = - 0,4^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$$

$$\Gamma_{\text{ar úmido}} = - 0,6^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$$

- ✓ Núcleos de condensação: São partículas em torno das quais o vapor de água se condensa. Geralmente são substâncias higroscópicas como o sal marinho (cloreto de sódio, NaCl), os produtos de combustão que contém ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) e ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ou pequenas partículas de poeira ou pólen.



Essas figuras exemplificam o que ocorre com os movimentos convectivos nas três condições atmosféricas: instável, estável e neutra. Observe que na condição estável a ascensão da parcela de ar é inibida, não havendo, portanto, possibilidade de formação de nuvens. Nas outras condições há movimentos ascendentes, sendo mais intensos na condição de instabilidade atmosférica.



# Tipos de Chuvas: Frontais

## **Características das chuvas frontais**

**Distribuição: generalizada na região**

**Intensidade: fraca a moderada, dependendo do tipo de frente**

**Predominância: sem horário predominante**

**Duração: média a longa (horas a dias), dependendo da velocidade de deslocamento da frente.**

# Tipos de Chuvas: Convectivas



- Distribuição:** localizada, com grande variabilidade espacial
- Intensidade:** moderada a forte, dependendo do desenvolvimento vertical da nuvem
- Predominância:** no período da tarde/início da noite
- Duração:** curta a média (minutos a horas)

# Tipos de Chuvas: Orográficas

Santos – P = 2153 mm/ano

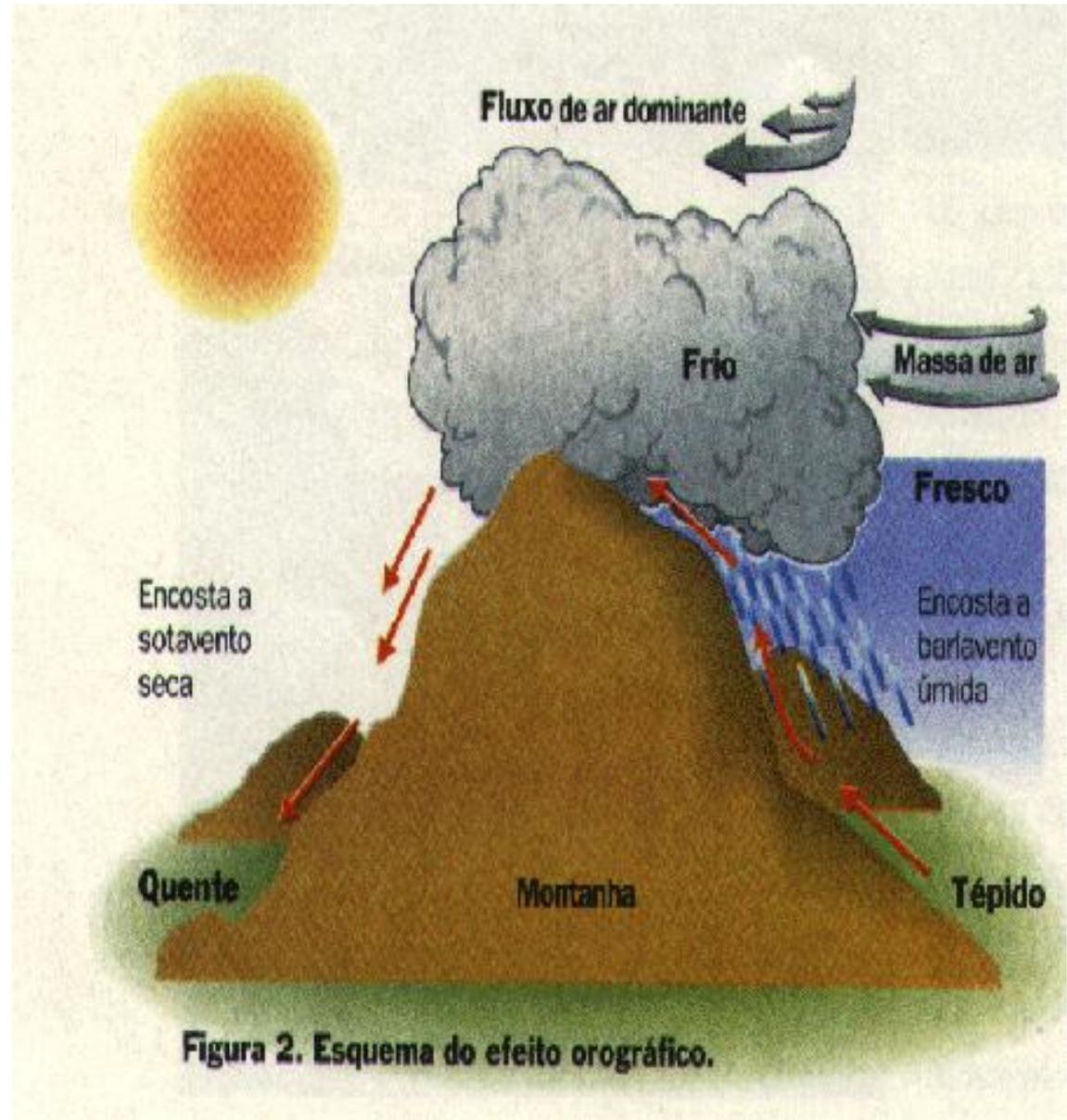
Cubatão – P = 2530 mm/ano

Serra a 350m – P = 3151mm/ano

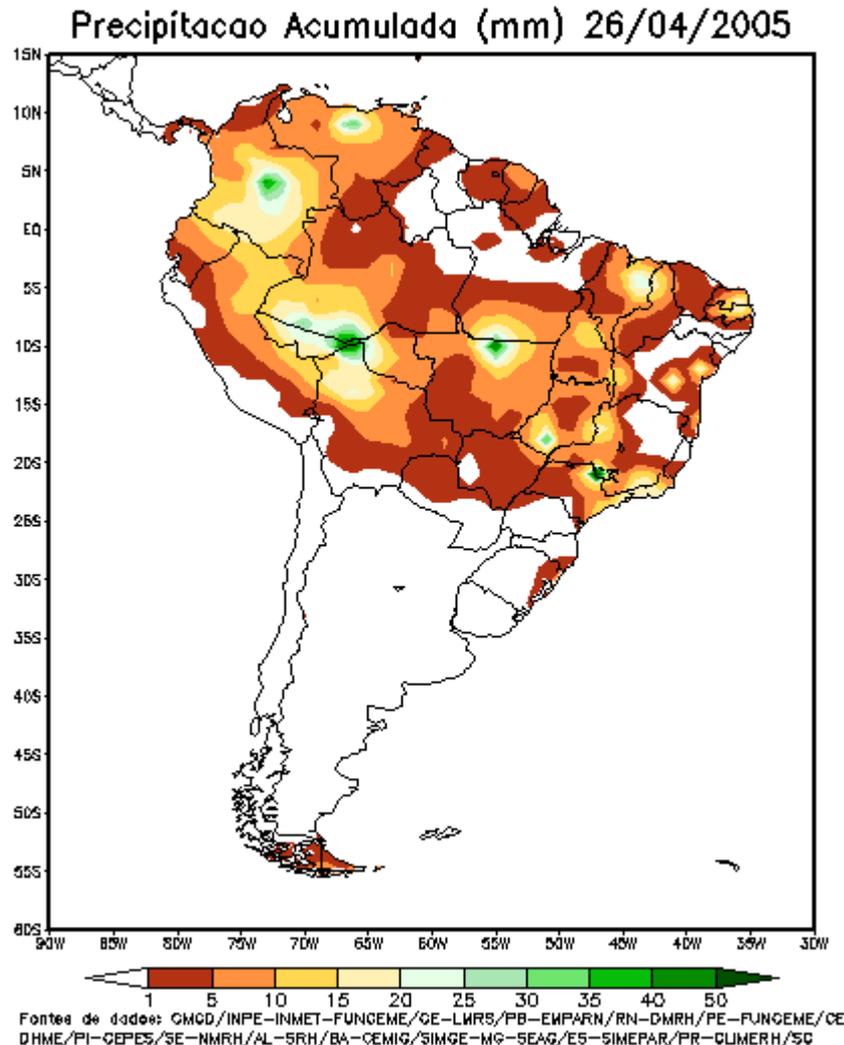
Serra a 500m – P = 3387 mm/ano

Serra a 850m – P = 3874 mm/ano

S.C. do Sul – P = 1289 mm/ano

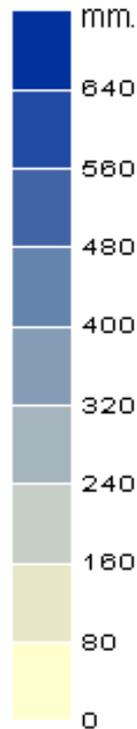
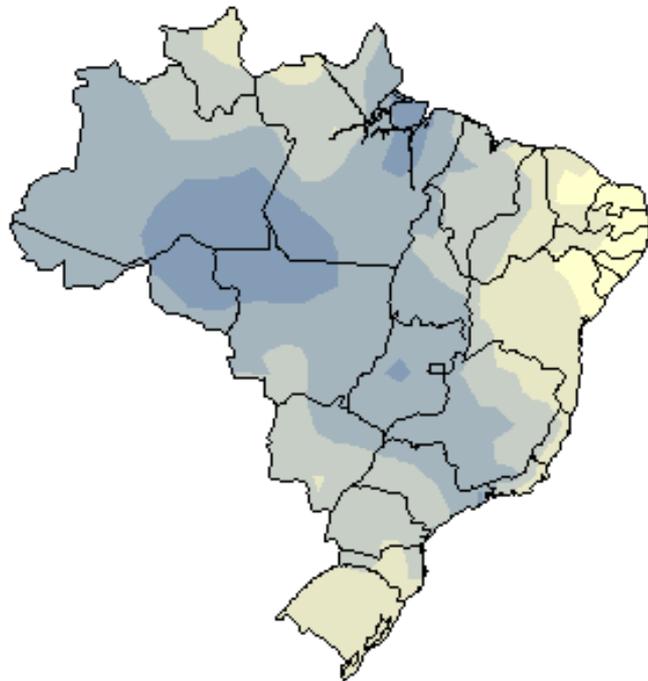


# Variabilidade espaço-temporal da chuva



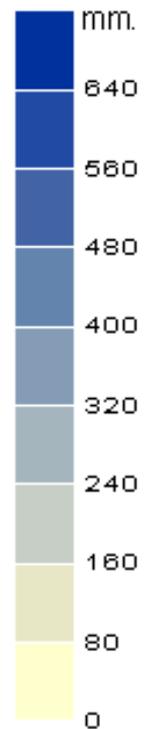
# Variabilidade espaço-temporal da chuva

PRECIPITAÇÃO - JANEIRO



Fonte: INMET 1931/1990

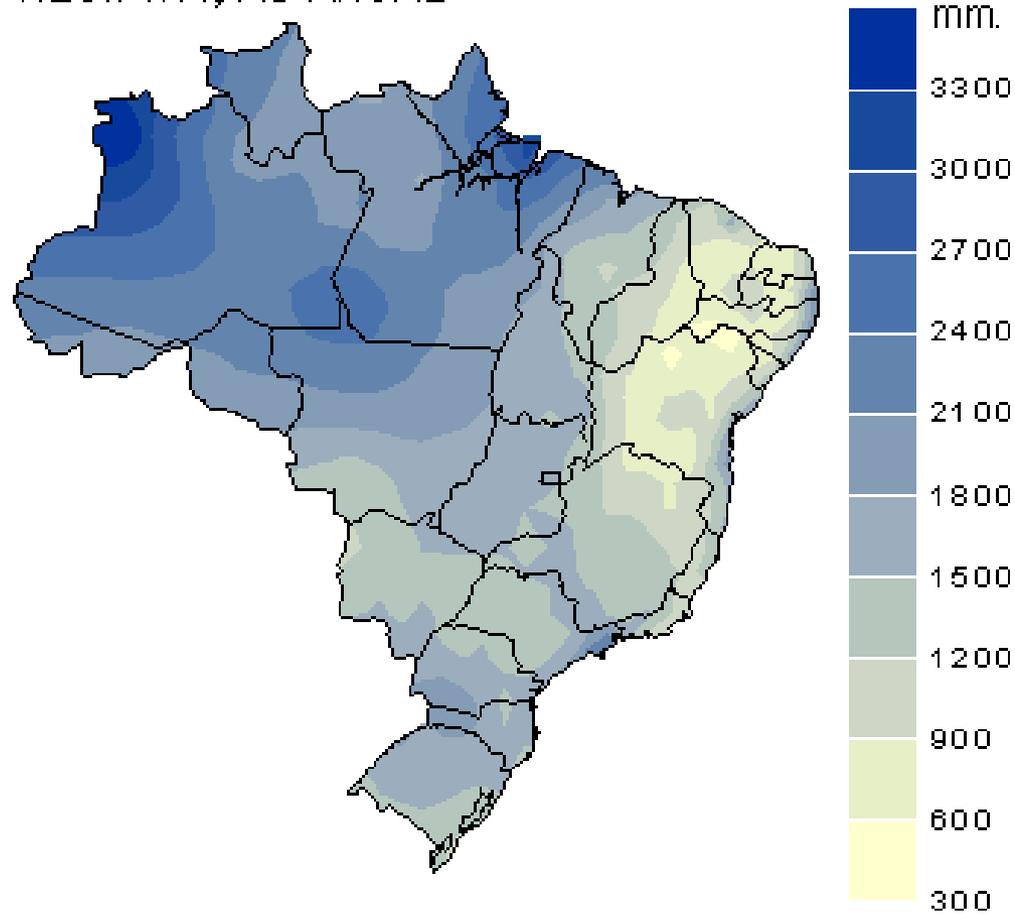
PRECIPITAÇÃO - AGOSTO



Fonte: INMET 1931/1990

# Variabilidade espaço-temporal da chuva

PRECIPITAÇÃO ANUAL



Fonte: INMET 1931/1990

# Medida da Chuva

$h = \text{volume precipitado} / \text{área de captação}$

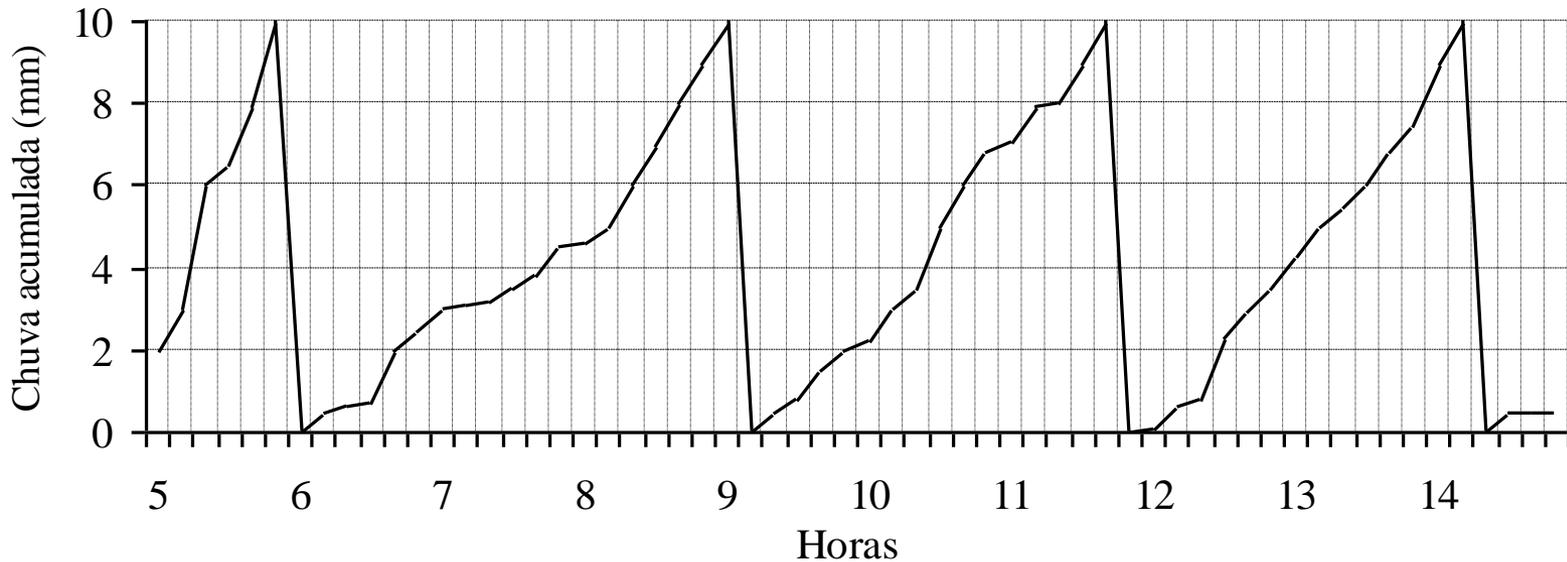
$h = 1\text{L} / 1\text{m}^2 = 1.000 \text{ cm}^3 / 10.000 \text{ cm}^2 = 0,1 \text{ cm} = 1\text{mm}$



# Intensidade da Chuva

$$I = \frac{h \text{ (vol.precipitado / área de captação)}}{t \text{ (tempo)}}$$

$$I = \frac{h \text{ (L / m}^2\text{)}}{t \text{ (hora)}} \longrightarrow I = \frac{h \text{ (mm)}}{t \text{ (hora)}}$$



**Ilustração de um pluviograma: registro de chuva de um pluviógrafo. Fonte: Marin et al. (2008)**

# Exercício

1. Uma massa de ar que está ao nível do solo, a  $30^{\circ}\text{C}$  e com UR de 40%, eleva-se na atmosfera, com uma taxa de resfriamento de  $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  (gradiente adiabático úmido). Calcule:
  - a) qual é a  $e_s$  e  $e_a$  da parcela ao nível do solo?
  - b) em que altitude (m) e com que temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) a parcela de ar, devido ao resfriamento adiabático, atingirá a saturação, dando início ao processo de formação de nuvens?
  
2. Um pluviômetro, cujo raio da área de captação é de 11,35 cm, coletou, em 10 horas, um total de 1,2L de água da chuva. Calcule:
  - a) a altura pluviométrica (h)?
  - b) A intensidade da chuva (i), em mm/hora?

# Interceptação da chuva pela vegetação

- ✓ Redistribuição da chuva ao interagir com a vegetação

Ao interagir com a vegetação a chuva é redistribuída em diferentes tipos de precipitação. A parte que fica retida por folhas, ramos e tronco, denomina-se de precipitação armazenada pela vegetação ( $P_{ARM}$ ). O restante, que chega ao solo, chama-se precipitação interna ( $P_{INT}$ ), que é composta pelos seguintes componentes:

- Precipitação direta ( $P_{DIR}$ ): atinge a superfície sem interagir com a vegetação;
- Precipitação indireta ( $P_{IND}$ ): interceptada pelas folhas e escoada à superfície;
- Precipitação escoada pelo caule ou tronco ( $P_{CAULE}$ ): que é interceptada pela vegetação e chega à superfície escoada pelo caule ou tronco.

$$P_{TOT} = P_{INT} + P_{ARM}$$

$$P_{INT} = P_{DIR} + P_{IND} + P_{CAULE}$$

$$P_{TOT} = P_{DIR} + P_{IND} + P_{CAULE} + P_{ARM}$$

$P_{ARM}$  depende de uma série de fatores, que podem ser resumidamente representados por um coeficiente de armazenamento ( $C$ ):

$$P_{ARM} = C.P_{TOT}$$

Portanto:

$$C = [P_{TOT} - (P_{DIR} + P_{IND} + P_{CAULE}) / P_{TOT}]$$

# Nevoeiro e Neblina

Definição: suspensão de minúsculas gotículas de água ou cristais de gelo numa camada de ar próxima à superfície da Terra. Ou seja, trata-se de uma nuvem cuja base está em contato com o solo.

- ✓ **Nevoeiro:** quando a visibilidade horizontal no solo é inferior a 1 km;
- ✓ **Neblina:** quando a visibilidade horizontal no solo é superior a 1 km.



Nevoeiro



Neblina

# Tipos de nevoeiro

## Nevoeiro de radiação:

- Resfriamento radiativo da superfície e do ar adjacente
- Noite de céu limpo, ventos fracos e umidade relativa alta
- Tende a escoar para áreas mais baixas, portanto, é mais espesso em valores.
- Dissipasse em 1 a 3 horas após o nascer do solo.

## Nevoeiro de advecção:

- Quando o ar quente e úmido passa por uma superfície fria, se resfria (contato e mistura), até saturar.
- Ventos entre 10 e 30 km h<sup>-1</sup> são usualmente associados com nevoeiros de advecção.
- Persistentes.

## Nevoeiro orográfico

- Movimento ascendente com resfriamento adiabático (ar quente e úmido sobe terreno inclinado - enconstas de colinas ou montanhas - e se o ponto de orvalho for atingido, pode se formar.

## Nevoeiro de vapor

- Quando o ar frio se move sobre água mais quente, a água evapora, aumentando a razão de mistura do ar que, com suficiente evaporação, pode atingir a UR = 100%.
- Ocorre sobre lagos e rios.