

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
Disciplina: Climatologia Geográfica I**

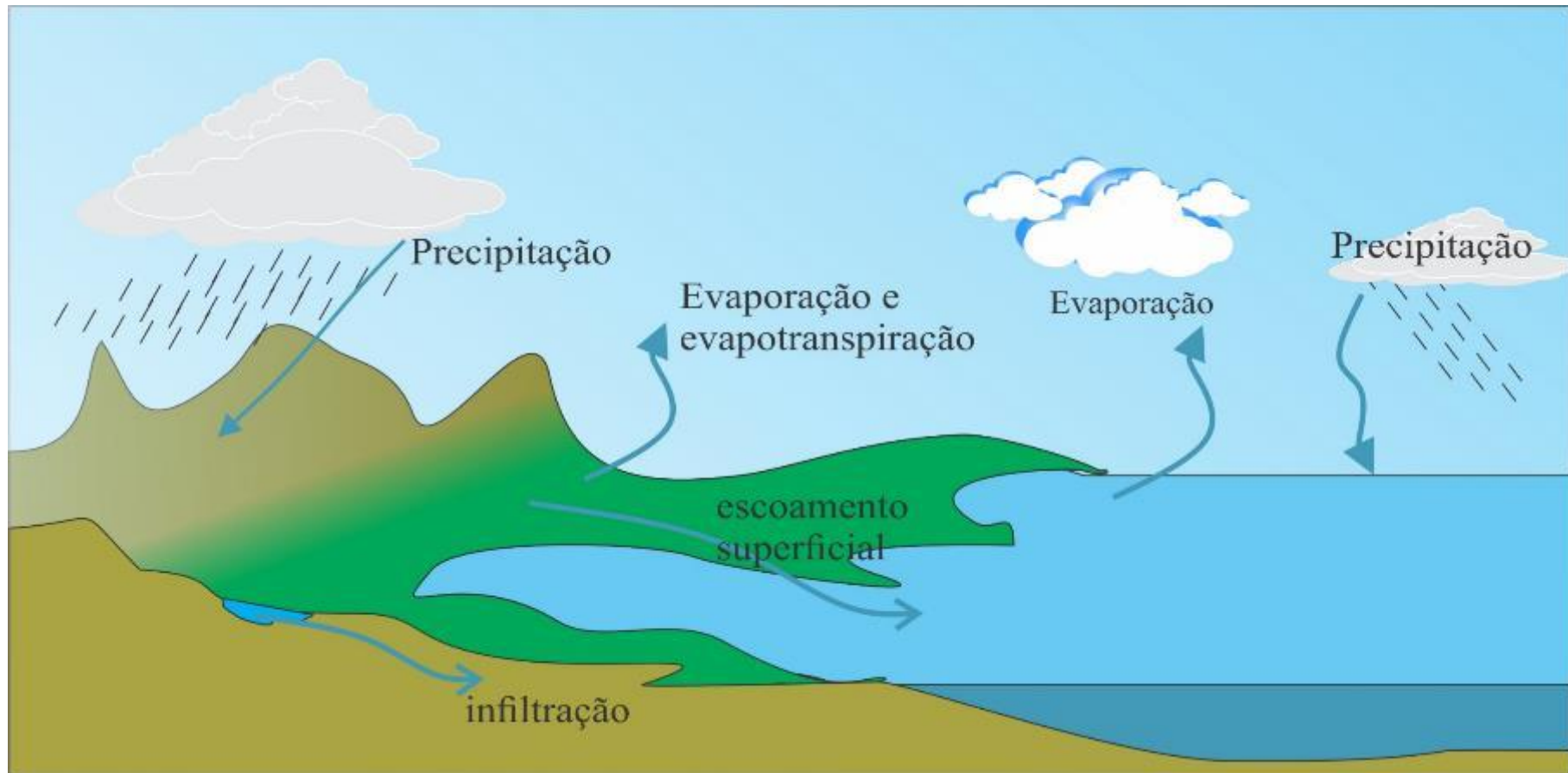
# Unidade IV e V

## Umidade do ar e processos adiabáticos

Patricia M. P. Trindade; Waterloo Pereira Filho.

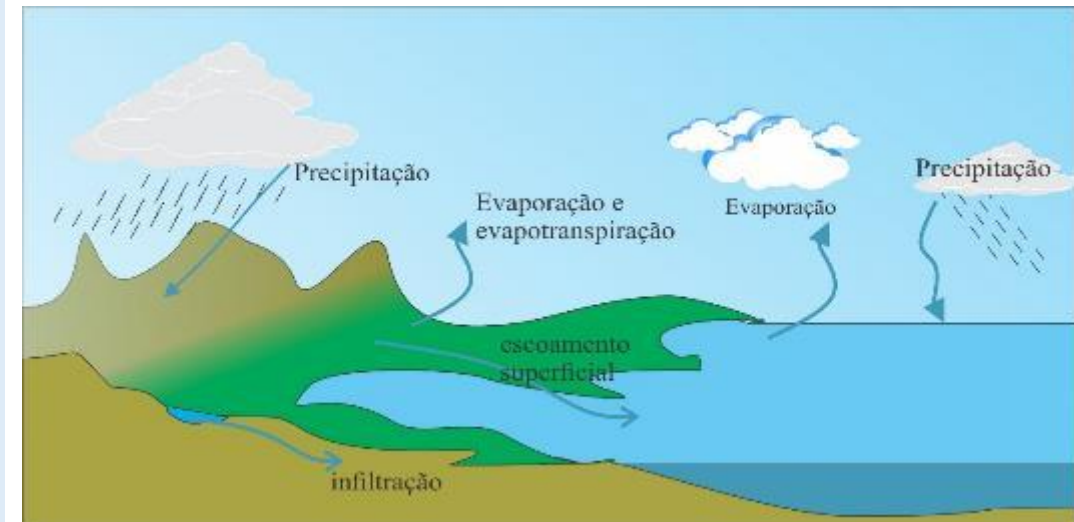
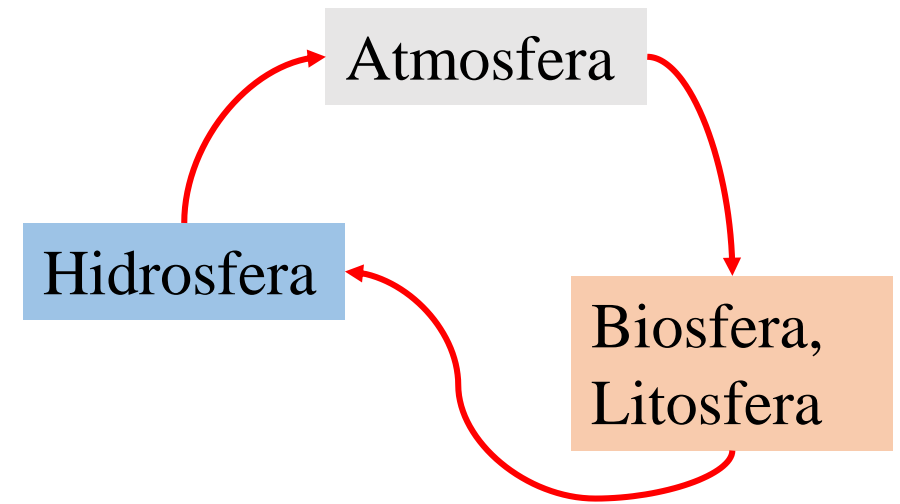
# Água nos processos atmosféricos: Ciclo Hidrológico

❖ O **ciclo hidrológico** pode ser definido como o movimento contínuo da água dos corpos hídricos para a atmosfera, da atmosfera para a terra e da terra novamente para os corpos hídricos.



# Água nos processos atmosféricos: Ciclo Hidrológico

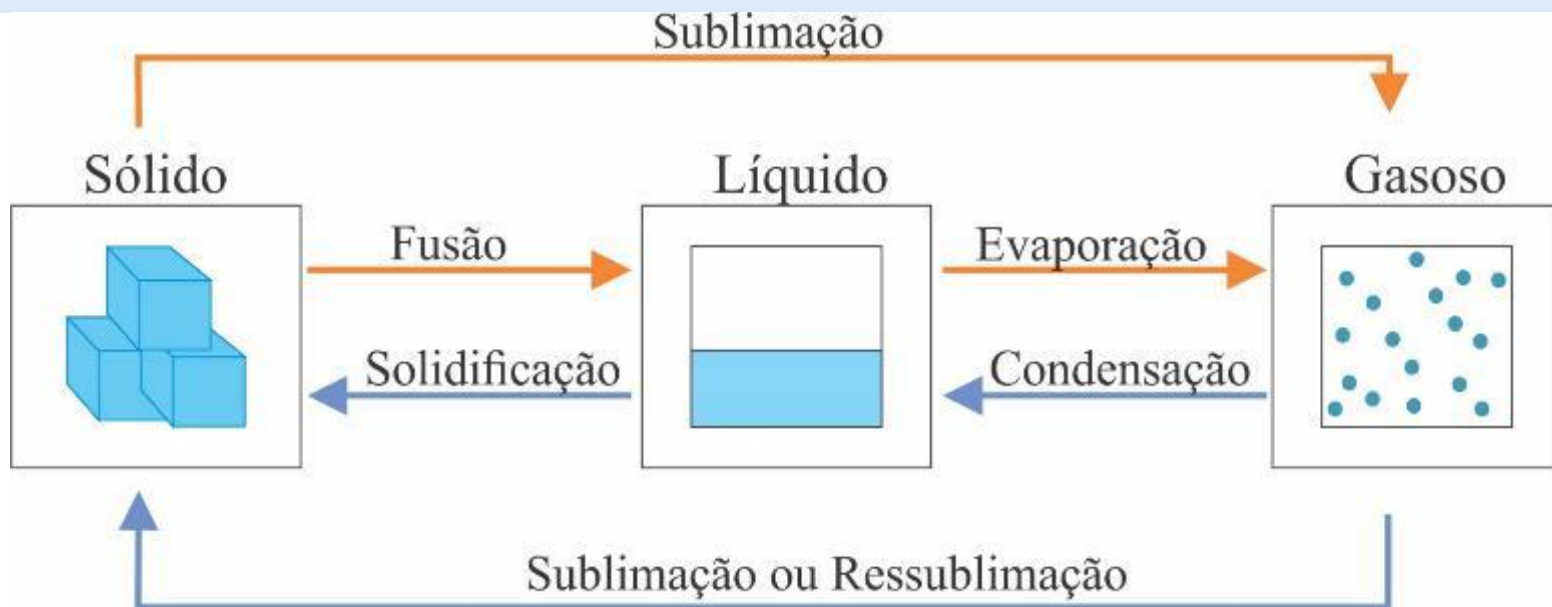
- A quantidade de água da hidrosfera é sempre constante;
- Áreas de armazenamento: oceanos, corpos de água doce, neve e gelo glacial, subsolo da Terra, plantas e animais, e atmosfera;
- O ciclo hidrológico é um sistema fechado, mas seus subsistemas são abertos, havendo troca de energia e matéria.



# Água nos processos atmosféricos: estados físicos da água

- **Gasoso:** vapor d' água (umidade propriamente dita);
- **Sólido:** neve, granizo, geada;
- **Líquido:** chuva, orvalho, nuvens, nevoeiro, neblina.

Para mudança de estado é necessário que calor seja liberado ou absorvido!!



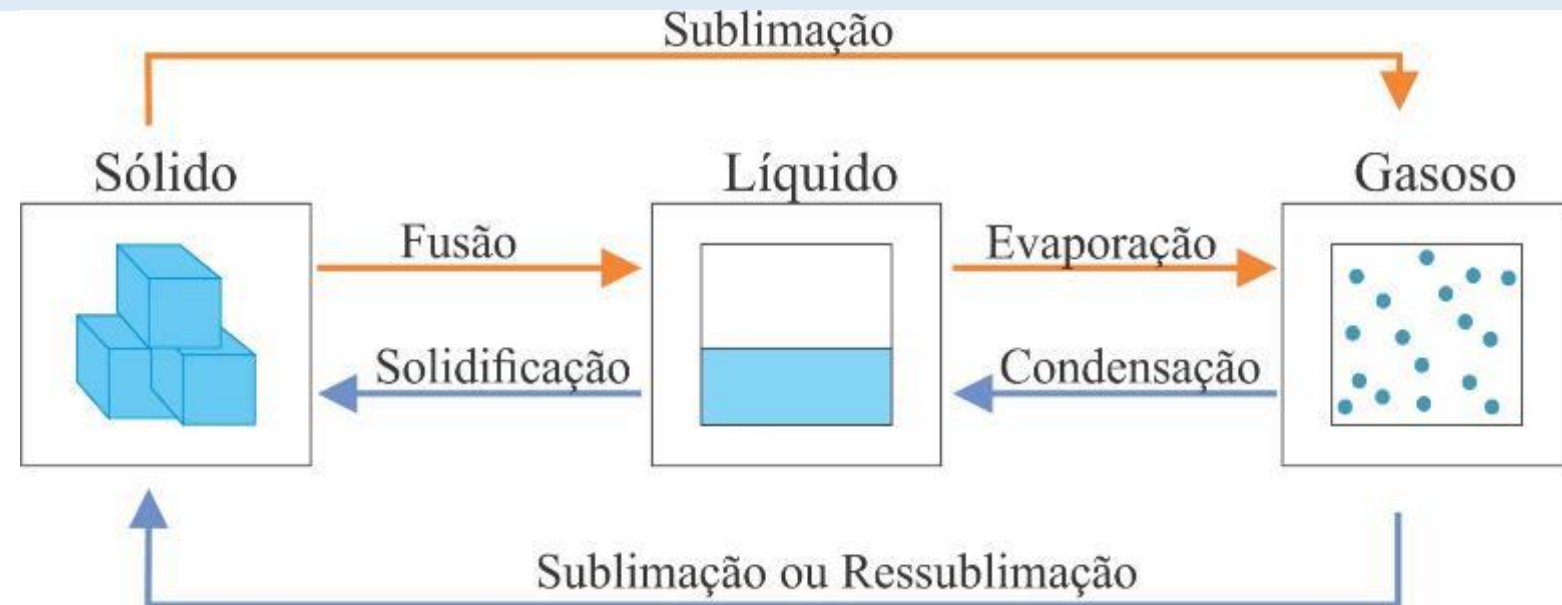
# Água nos processos atmosféricos: estados físicos da água

Evaporação  
Fusão  
Sublimação (S -> G)

Água absorve calor do ar  
↓  
Água aquece e o ar resfria-se

Condensação  
Sublimação  
Solidificação

Água libera calor para o ar  
↓  
Água resfria-se, o ar aquece



# Água nos processos atmosféricos: condições para evaporação

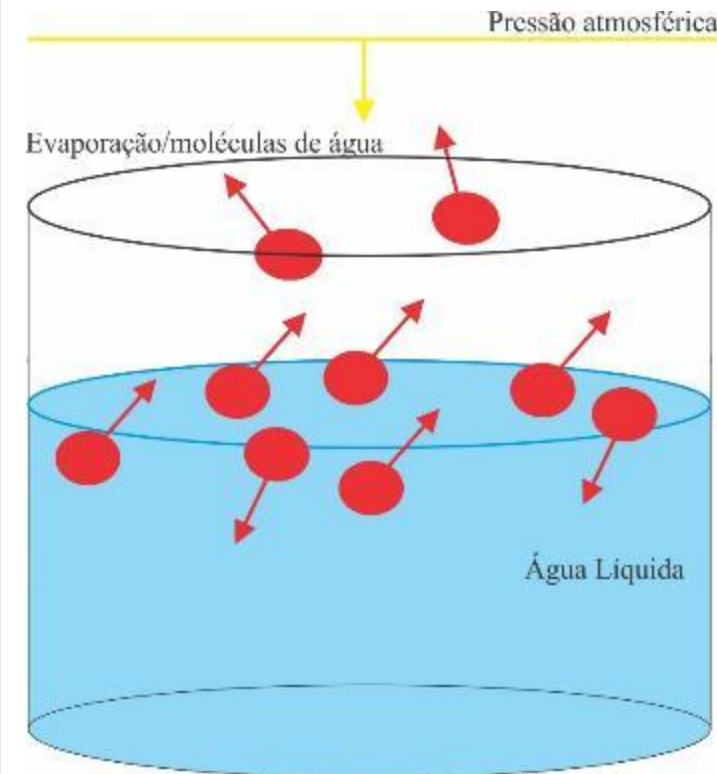
**Evaporação:** determina a presença de vapor d' água no ar.

Condições:

- Disponibilidade de água
- Capacidade da atmosfera de vaporizar a água e de remover e transportar o vapor d' água para cima e à distância.

**Evaporação:** corpos de água, solos, gotículas de umidade sobre a vegetação, dos veículos, pavimentos...

**Evapotranspiração:** evaporação + transpiração, **plantas** perdem umidade para o ar.



# Água nos processos atmosféricos: condições para evaporação

## Evaporação depende:

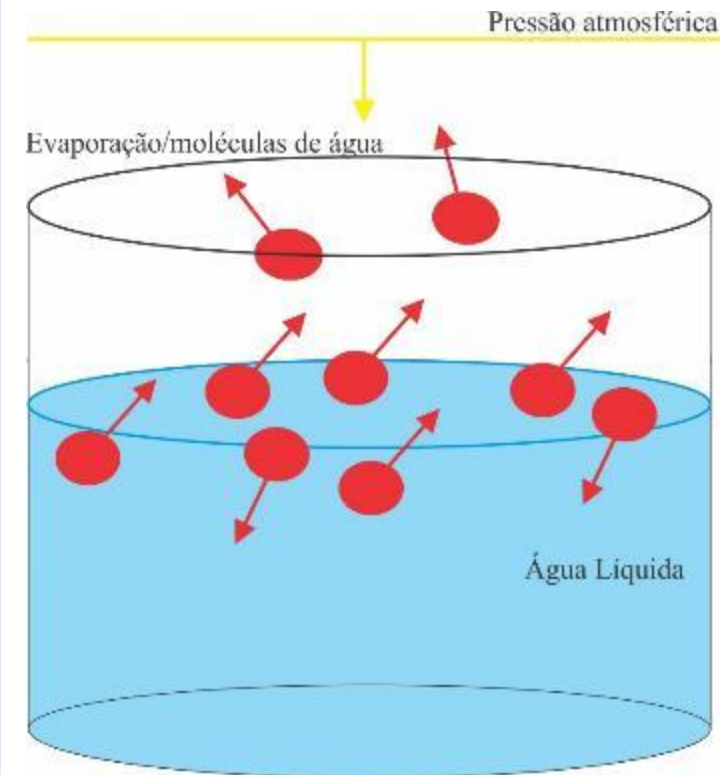
**Tamanho da área de evaporação** – quanto maior a área mais depressa a água vai evaporar, pois possui uma superfície maior pela qual as moléculas de água podem escapar;

**Temperatura** – quanto maior a temperatura mais depressa as moléculas de água se movem, assim passam pela camada superficial de água e escapam para o ar;

**Pressão atmosférica** – o ar sobre a superfície líquida atua como barreira à evaporação. Assim, quanto menor a pressão atmosférica mais depressa a água evapora;

**Umidade do ar** – quanto menor a umidade do ar mais depressa a água evapora;

**Vento** – o vento possibilita a troca de ar úmido que está sobre a superfície por ar seco, dando continuidade a evaporação.



# Umidade

- A umidade é o **vapor d' água** disponível na atmosfera, o qual representa apenas 2% de sua massa, no entanto, é o componente mais importante que determina o tempo e o clima.
- O vapor d'água absorve tanto a radiação solar quanto a terrestre, assim, desempenha papel de regulador térmico na interação Terra-atmosfera.
- O calor latente está presente no vapor d' água, sendo liberado quando ocorre a condensação;
- A distribuição vertical do vapor d' água influencia a estabilidade do ar, a taxa de evaporação e evapotranspiração.

# Umidade

A umidade depende:

- Depende diretamente da temperatura do ar - quanto maior a temperatura menor a densidade do ar e maior a capacidade do ar conter umidade; quanto menor a temperatura menor a capacidade do ar conter umidade;
- Pressão atmosférica - quanto maior pressão atmosférica menor umidade;

Para cada temperatura do ar há um limite na quantidade de vapor d' água que esse ar pode conter!!

Ponto de saturação: limite na quantidade de vapor d' água no ar.

# Umidade

Critérios de medida:

Umidade absoluta  
Umidade específica  
Temperatura do ponto de orvalho  
Pressão de vapor  
Umidade relativa

# Umidade

**Umidade absoluta (UA)** – massa de vapor d' água existente em determinado volume de ar. ( $\text{g}/\text{m}^3$ ).

Depende da temperatura.

- Altas temperaturas = alta UA
  - Baixas temperatura = baixa UA
  - Altas altitudes = baixa UA
  - UA = mais elevada nas horas mais quentes do dia;
- 
- Mede a quantidade de vapor d' água, variando conforme movimentos verticais que alteram o volume da massa de ar.

A UA é maior na faixa equatorial do globo devido às temperaturas mais elevadas nesta região, como consequência mais chuvas.

# Umidade

**Umidade específica (UE)** – relação entre a massa de vapor d' água e a massa de ar úmido. (g/Kg)

Caracteriza a umidade na região de origem.

Não varia com a temperatura, mas pode variar com a movimentação de um lugar para outro. Tende a diminuir com a altitude.

A UE muda apenas com a variação da quantidade de vapor d' água.

# Umidade

**Pressão de vapor** – cada gás na atmosfera exerce uma pressão parcial que contribui para o total da pressão atmosférica. Assim, o vapor d'água, sendo um gás, também contribui com pressão parcial, chamada de pressão de vapor. Desta forma, aumenta ou diminui a pressão atmosférica.

A pressão de vapor juntamente com outros fatores como, temperatura, vento...determina a taxa de evaporação das superfícies;

Quando a pressão de vapor atinge seu máximo valor para determinada temperatura, quer dizer que o ar está saturado de umidade.

# Umidade

**Temperatura do ponto de orvalho** – temperatura que o ar deve ter para que ocorra a saturação.

Ocorre quando o ar com determinada temperatura armazena toda umidade que pode.

Quando uma massa de ar não saturada é resfriada, pode atingir uma temperatura que o ar fique saturado. Essa temperatura é o ponto de orvalho, ocorrendo a condensação.

Temperatura (°C)	Conteúdo de umidade (g/m <sup>3</sup> )
-15	1,6
-10	2,3
- 5	3,4
0	4,8
10	9,4
15	12,8
20	17,3
25	22,9
30	30,3
35	39,6
40	50,6

Valores de umidade no ponto de saturação para diferentes temperaturas (Gates, 1972). Fonte: Ayoade, 1998.

# Umidade

**Umidade relativa (UR)** - proporção entre a quantidade de vapor d' água no ar em uma dada temperatura e o máximo de vapor d' água que o ar pode ter na mesma temperatura. Ou seja, é a relação entre a quantidade de vapor d' água no ar e a necessária para sua saturação. (%)

Depende da evaporação e temperatura:

Quanto maior a evaporação por causa da maior temperatura menor a UR.

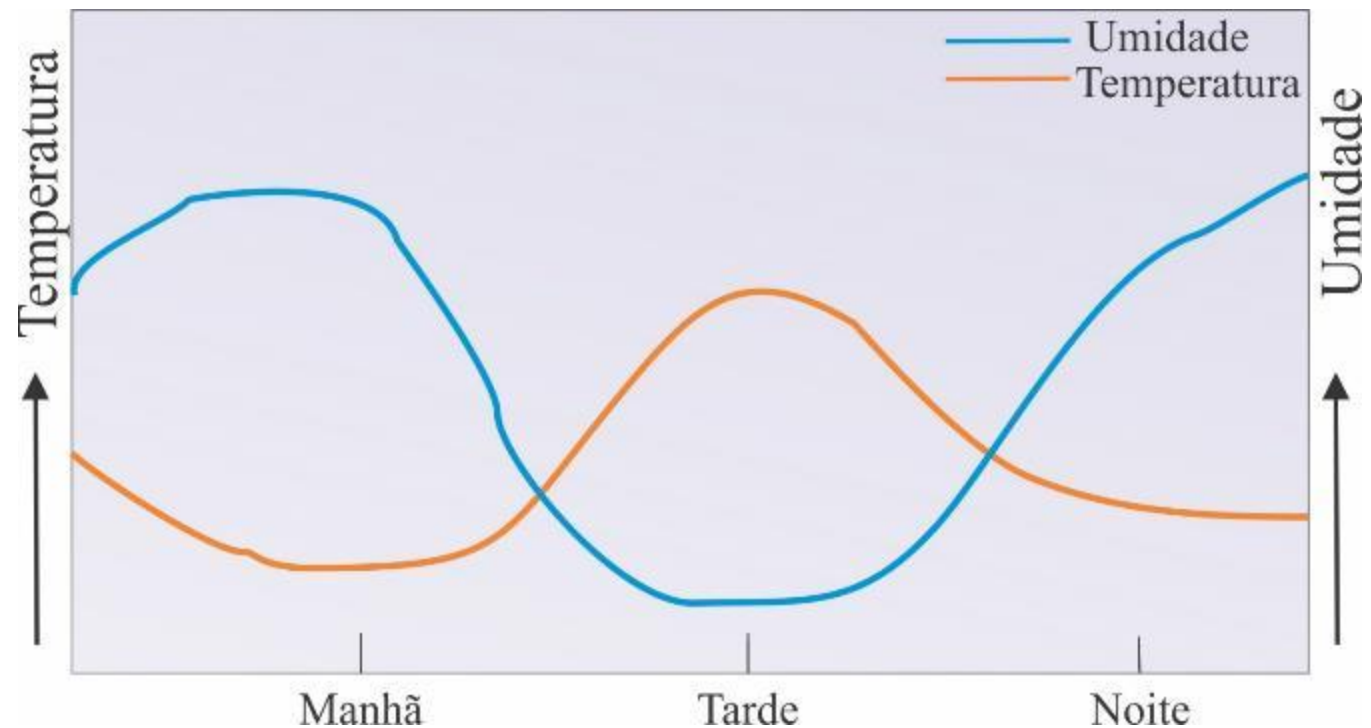
E: UR de 45% = faltam 55 % a +

Indica o quão perto o ar está da saturação.

# Umidade

## Umidade relativa (UR):

- Variações sazonais são menores no Equador e aumentam em direção as maiores latitudes;
- Varia conforme o ciclo térmico diário;
- Conforme a temperatura do ar aumenta, a umidade relativa diminui, pois o ar mais quente retém maior quantidade de vapor d'água.



# Umidade

## Curiosidade!

A pele humana elimina a água que o corpo produz a partir da transpiração. Assim, quando a UR está em **100%**, existe maior **dificuldade do suor evaporar**. Desta forma, o tempo parece mais quente do que a verdadeira temperatura do ar.

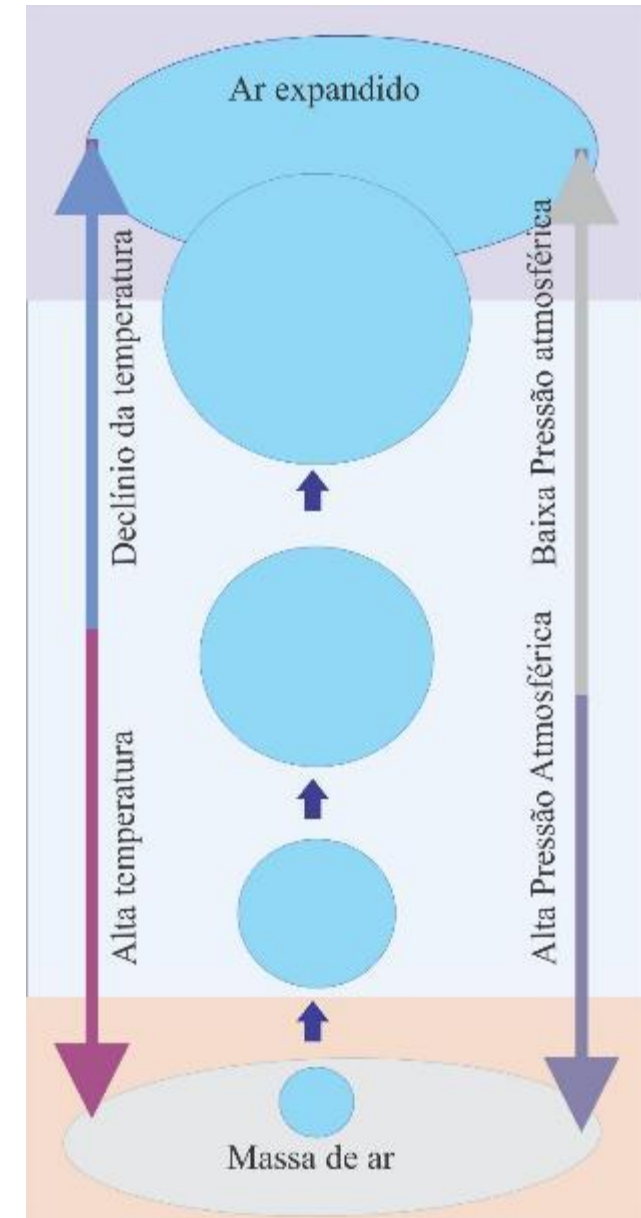
Em contrapartida, quando a **UR está baixa**, o **suor evapora rapidamente** e nosso corpo se resfria. Assim, sentimos que a temperatura está abaixo da temperatura real do ar.

Então, quando a UR está muito baixa, devemos ficar atentos!! Pois tal situação pode provocar a desidratação. Por isso, **não** é recomendado praticar **exercícios** nas horas mais quentes do dia, porque a **UR é mais baixa**.



# Processos adiabáticos

- O ar deve resfriar para que a saturação aconteça.
- A medida que o ar quente eleva-se, em bolhas, encontra níveis com menor pressão atmosférica. Assim, o ar se expande;
- Quando o ar se expande, a temperatura diminui, porque vai ser preciso distribuir a mesma quantidade de calor por maior volume de ar;
- Tal processo é denominado **resfriamento por expansão adiabática**, porque a temperatura do ar diminuiu sem trocar calor com o ar circunvizinho.



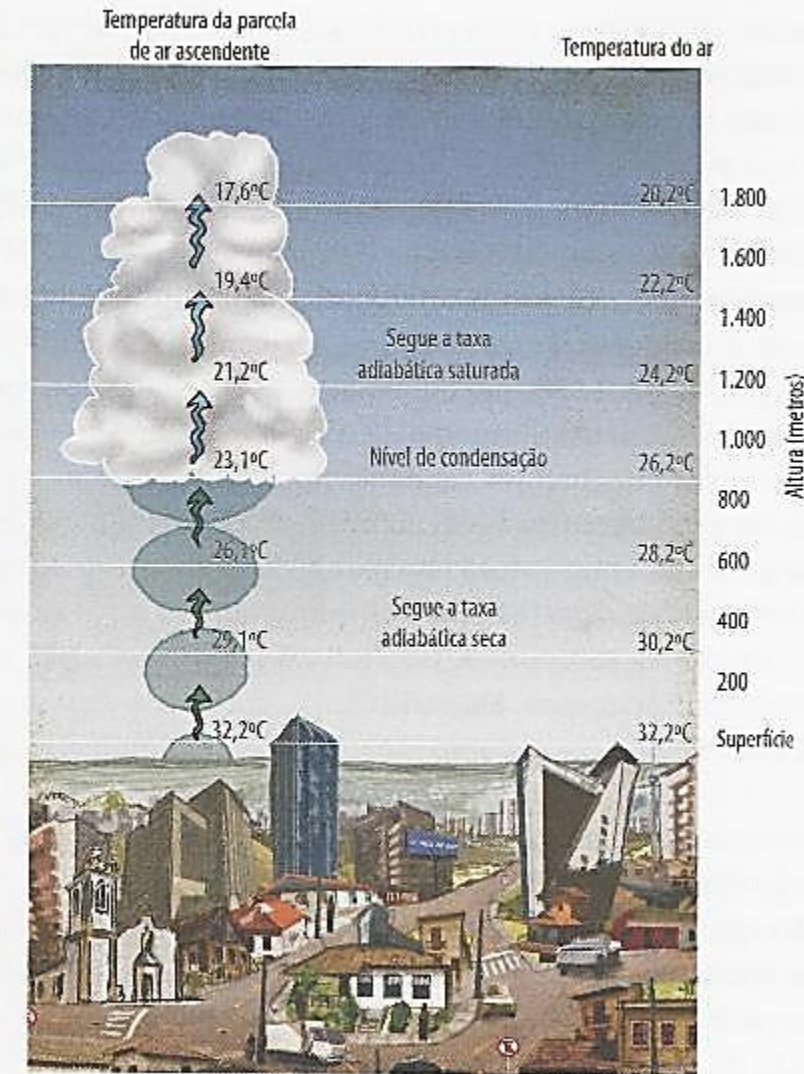
# Processos adiabáticos

- As taxas de variação vertical da temperatura do ar (TVVT) são chamadas de taxa adiabática seca e taxa adiabática saturada.
- **Taxa adiabática seca** – diminuição de  $10^{\circ}\text{C}/\text{Km}$  até ocorrer a condensação. Não confundir com o gradiente ambiental que é  $6,5^{\circ}\text{C}/\text{Km}$ .
- **Taxa adiabática saturada** - a queda de temperatura levará à condensação quando a temperatura do ponto de orvalho for atingida. Na condensação ocorrerá a liberação de calor latente diminuindo o índice de queda da temperatura com o ar que está subindo. O ar se resfria mais devagar, assim, tem-se a taxa adiabática saturada a qual não é constante. Varia com a temperatura e umidade.

# Processos adiabáticos

A figura ao lado apresenta o gradiente ambiental, taxa adiabática seca e saturada.

- Lado direito da figura: diminuição da temperatura com a altitude,  $6,5^{\circ}\text{C}/\text{Km}$ ;
- Lado esquerdo da figura: o ar que sobe resfria-se à taxa de  $10^{\circ}\text{C}/\text{Km}$  – Taxa adiabática seca;
- Acima do nível de condensação, o ar continua subindo e resfriando-se, mas a taxa de resfriamento diminui,  $6^{\circ}\text{C}/\text{Km}$  – Taxa adiabática saturada.



Fonte: Steinke, 2012.

# Concepções sobre estabilidade e instabilidade do ar

- As condições atmosféricas irão determinar a ascensão de uma parcela de ar. Assim, quando tais condições favorecem os movimentos ascendentes, ou seja, a formação de nuvens, a atmosfera está **instável**.
- Já quando as condições são desfavoráveis à formação de nuvens, a atmosfera está **estável**.
- As massas de ar que sobem são mais quentes que a atmosfera circundante, sendo consideradas instáveis. A massa de ar mais fria que atmosfera circundante tende a descer, sendo considerado estável.

# Concepções sobre estabilidade e instabilidade do ar

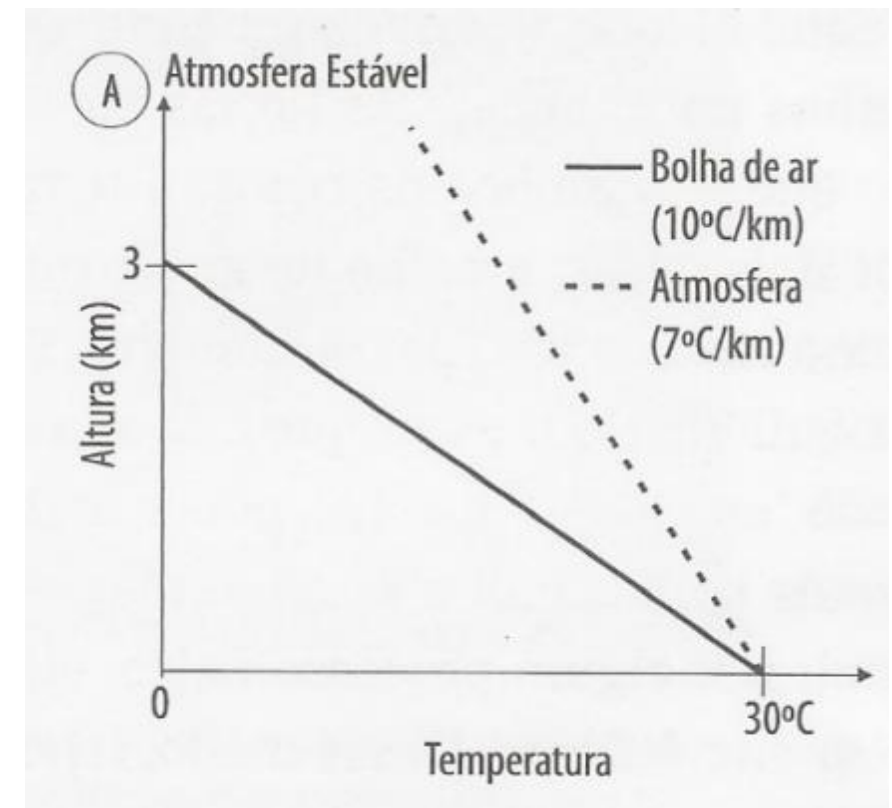
- A estabilidade instabilidade e do ar estão relacionadas ao resfriamento ou aquecimento do ar na superfície da Terra.
- Também estão relacionados à pressão atmosférica:
- Em regiões com predomínio de **alta pressão**, o ar é estável e é mantido com o ar que **desce** aos poucos;
- Em regiões com predomínio de **baixa pressão** o ar é instável, causada pela tendência do ar **subir**.

# Concepções sobre estabilidade e instabilidade do ar

Tomamos como exemplo os gráficos de Steinke (2012), em que uma bolha de ar é usada para verificar a estabilidade e instabilidade do ar. Considerando que a temperatura junto a superfície seja de  $30^{\circ}\text{C}$ . Taxa adiabática seca de  $10^{\circ}\text{C}/\text{Km}$ .

- Caso 1: ar ambiente apresenta uma taxa de variação de temperatura de  $7^{\circ}\text{C}/\text{Km}$  (menor que a taxa adiabática seca), o ar é considerado estável, pois ao subir apresentará temperaturas mais baixas que o ar circundante.

Assim, ar mais frio e denso, tenderá a retornar à posição anterior.

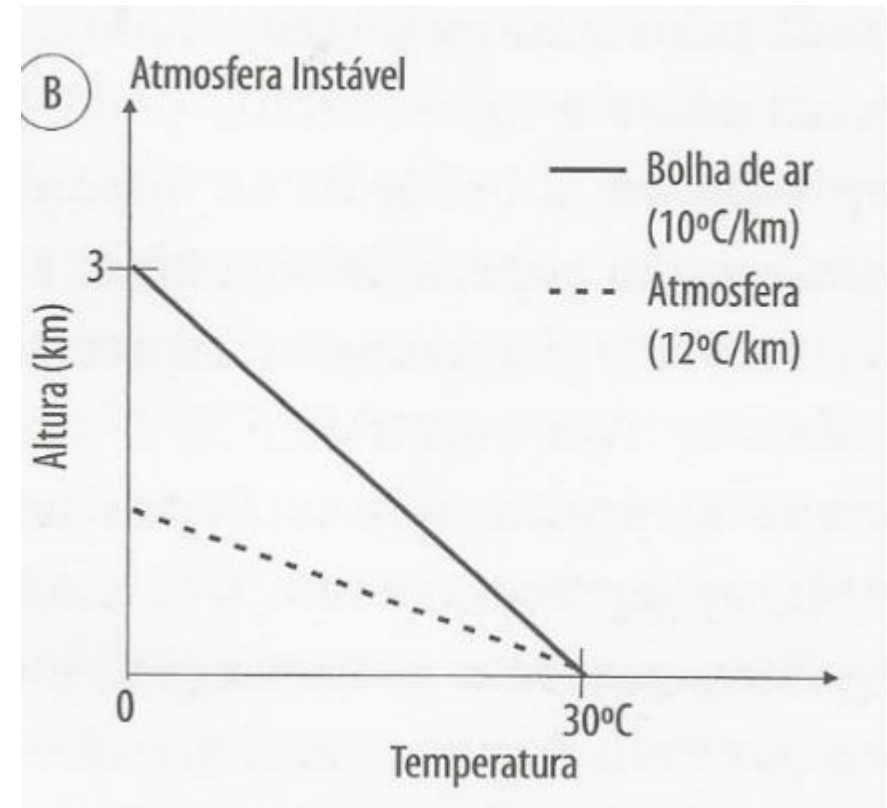


Fonte: Steinke, 2012.

# Concepções sobre estabilidade e instabilidade do ar

Tomamos como exemplo os gráficos de Steinke (2012), em que uma bolha de ar é usada para verificar a estabilidade e instabilidade do ar. Considerando que a temperatura junto a superfície seja de  $30^{\circ}\text{C}$ . Taxa adiabática seca de  $10^{\circ}\text{C}/\text{Km}$ .

- Caso 2: o ambiente apresenta uma taxa de variação de temperatura de  $12^{\circ}\text{C}$  (maior que a taxa adiabática seca), a atmosfera é instável, pois a bolha terá temperatura mais elevada ao subir. Assim, o ar será mais quente que o circundante. O ar instável continua subindo, formando as nuvens.



Fonte: Steinke, 2012.

# Condensação junto a superfície e nuvens

**Condensação:** processo em que o vapor d' água é transformado em água líquida. Depende da mudança nos seguintes fatores: temperatura, volume de ar, pressão atmosférica, umidade...

A **condensação** ocorre:

- O ar resfria-se até seu ponto de orvalho, mesmo que o volume seja constante;
- O volume do ar aumenta, e resfria-se por expansão adiabática;
- Variação na temperatura e volume do ar reduz a capacidade de retenção de umidade.

# Condensação junto a superfície e nuvens

O método normal para o ar atingir saturação e condensar é a partir do resfriamento.

O **resfriamento** ocorre quando:

- Resfriamento por contato – ar perde calor por condução para uma superfície fria;
- Mistura com ar mais frio;
- Resfriamento adiabático – elevação do ar.

Além do resfriamento são necessários os núcleos de condensação.

Os núcleos de condensação são partículas atmosféricas sobre as quais a condensação pode ocorrer: sal marinho, poeira, fumaça, pólen, partículas químicas das indústrias.

# Condensação junto a superfície e nuvens

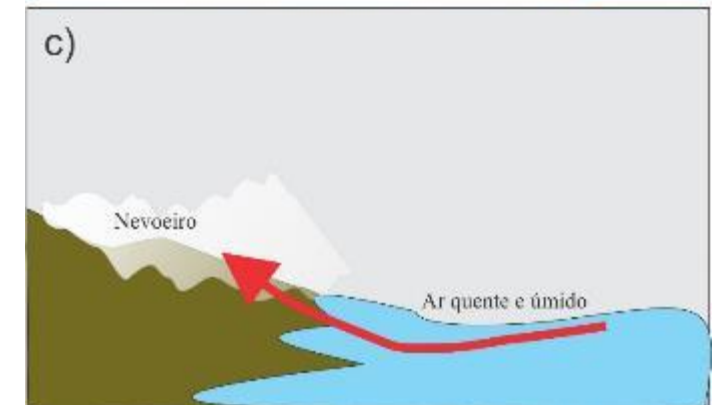
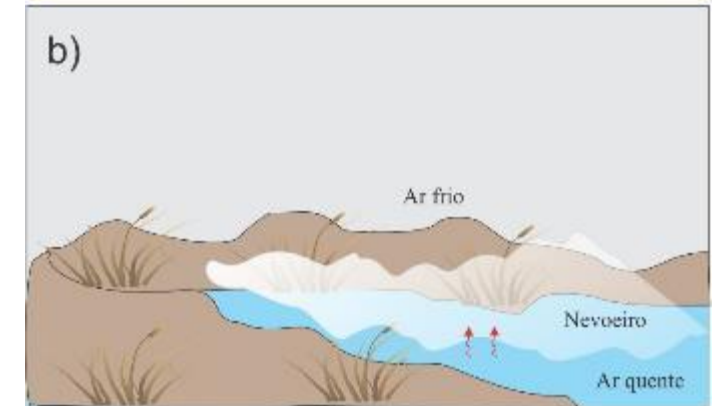
**Orvalho e Nevoeiro** – se dá pelo resfriamento por contato.

- **Orvalho** – quando a condensação se dá a partir do contato entre o ar quente e úmido com uma superfície fria. Forma-se quase ao amanhecer, deixando superfícies frias como, capô de carros e grama, recobertas por pequenas gotas de água. Quando o ar se resfria muito, ocorre a formação de **geada**.
- **Nevoeiro** – ocorre quando o ar é resfriado próximo à superfície. Caracteriza-se por uma massa de minúsculas gotículas de água suspensas na atmosfera muito próximas à superfície da Terra. O nevoeiro pode reduzir a visibilidade horizontal. Pode ser chamado de cerração ou neblina.

# Condensação junto a superfície e nuvens

Existem três tipos de nevoeiro:

- **Nevoeiro de encosta:** ocorre nas encostas das montanhas (a barlavento). (a)
- **Nevoeiro de radiação:** resfriamento por radiação. Pode ser chamado de nevoeiro de inversão térmica; (b)
- **Nevoeiro advectivo:** o ar quente e úmido movimentar-se sobre uma superfície mais fria. (c)



# Condensação junto a superfície e nuvens



**Nuvens** – são compostas por minúsculas gotículas de água e/ou cristais de gelo que permanecem suspensos na atmosfera.

- As nuvens são fonte de precipitação, mas nem todas as nuvens produzem precipitação.
- As nuvens podem ser brancas, cinzas e até pretas. Quanto mais espessa, mais absorve e bloqueia a luz solar e aparecerá mais escura.

# Condensação junto a superfície e nuvens



São classificadas quanto a altura e forma:

## Altura:

- Estrato – nuvens baixas;
  - Alto – altura média;
- Cirros – nuvens altas.

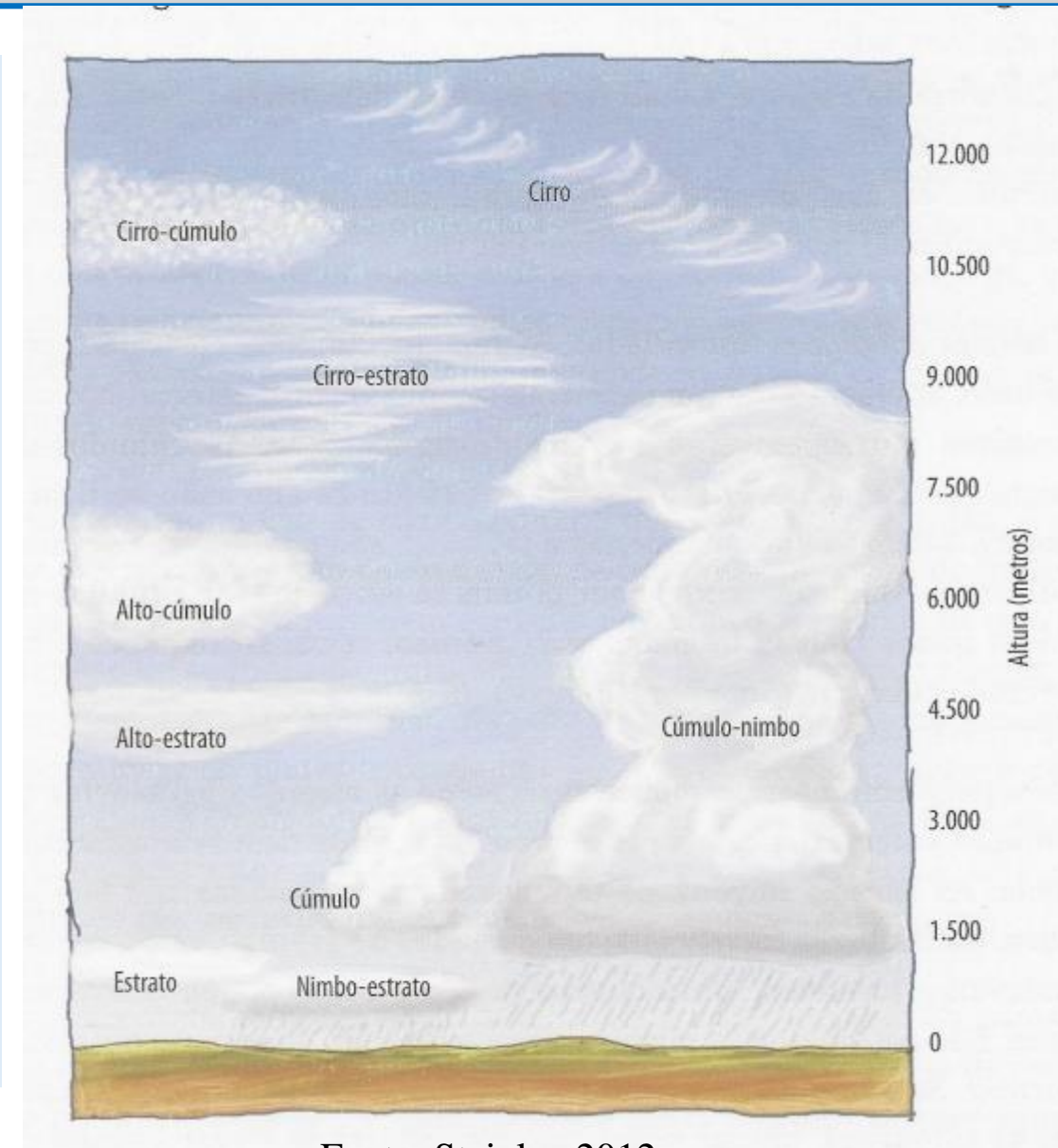
## Forma:

- Cirros
- Estratos
- Cúmulos.

# Condensação junto a superfície e nuvens

## Nuvens

- **Cirros:** em altas altitudes (6 a 10 mil metros). São finas e leves compostas por cristais de gelo. Quando associadas a tempo bom, apresentam-se como machas esbranquiçadas.
- **Cúmulos:** altitude de 500 a 12000 metros. Desenvolvem-se verticalmente. Ocorrem em atmosfera instável. São arredondadas com base reta.

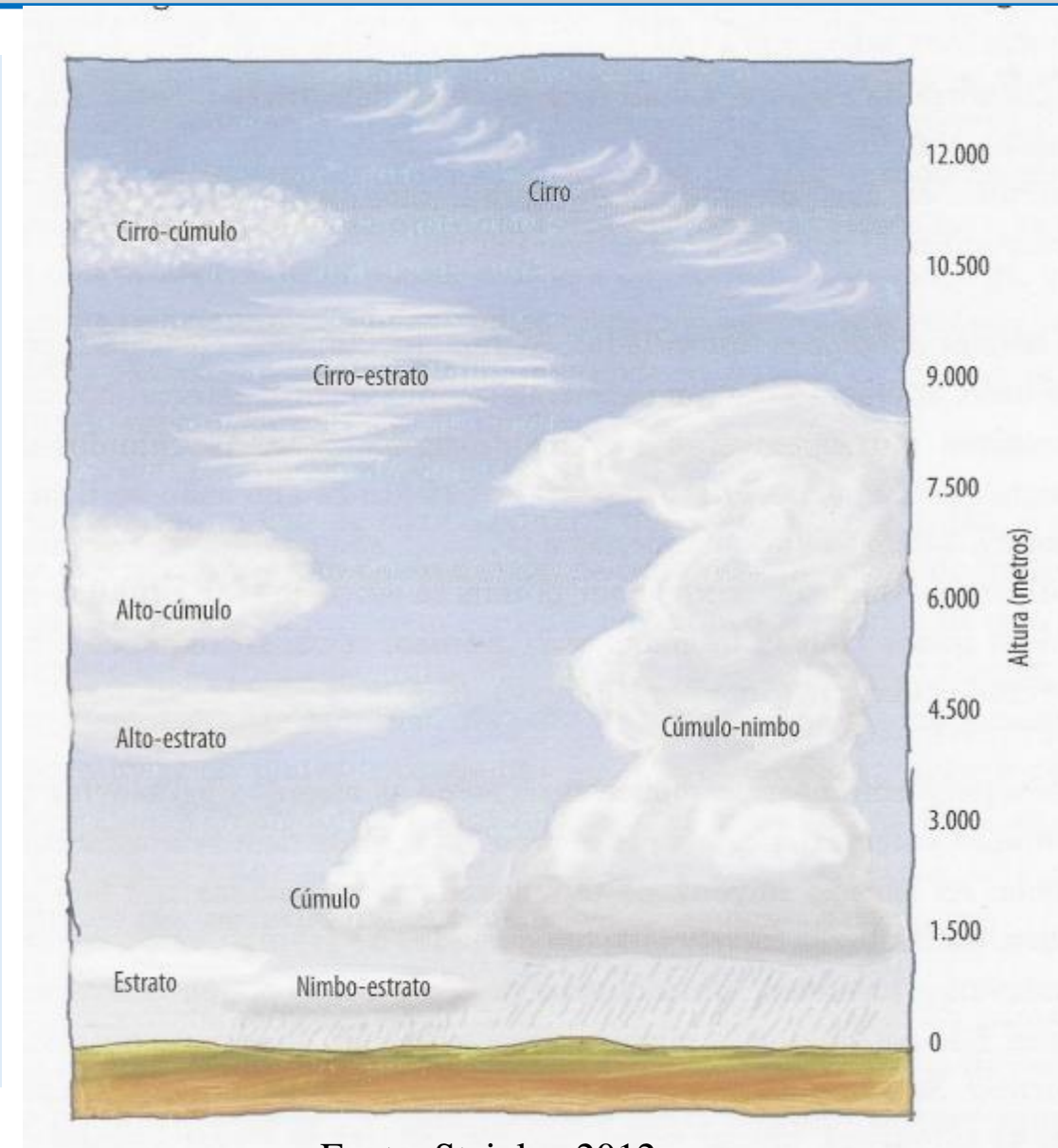


Fonte: Steinke, 2012.

# Condensação junto a superfície e nuvens

## Nuvens

- **Estratos:** baixas altitudes (até 6000 metros). Possuem aspecto horizontal em camadas. Espessura uniforme quando a atmosfera é estável. Em atmosfera instável podem permanecer por dias, com precipitação leve e persistente;
- **Nimbo:** significa precipitação. A nuvem *nimbo-estrato* pode trazer garoa de longa duração.
- **Cúmulo-nimbo:** nuvem de tempestade. Apresenta-se mais espessa e escura conforme cresce, bloqueando a luz solar.



Fonte: Steinke, 2012.

# Condensação junto a superfície e nuvens

## Precipitação

- As **gotas** de água que flutuam dentro das nuvens só **não caem** porque são muito **pequenas** e a gravidade não consegue vencer a resistência do ar para derrubá-las. Assim, a precipitação só vai ocorrer quando as **gotas** de água se tornarem **pesadas** demais para continuarem flutuando e caem como **chuva**.
- Existem duas teorias para explicar a ocorrência da precipitação: processo de **colisão-coalescência** para nuvens quentes e o processo de **Bergeron** (ou cristais de gelo) para nuvens frias.

# Condensação junto a superfície e nuvens

## Precipitação

- **Colisão-coalescência:** as gotículas de água ao colidirem dentro da nuvem, tendem a coalescer até ficarem pesadas o suficiente para cair. Na queda as gotas maiores capturam as menores, aumentando de tamanho. Ocorre nas nuvens quentes.
- **O processo de Bergeron (ou de cristais de gelo)**- inicia em altitude elevadas. A água muito gelada tende a congelar. Assim, os cristais de gelo servem como *núcleos de congelamento* onde a água supergelada congela e forma cristais de gelo maiores.

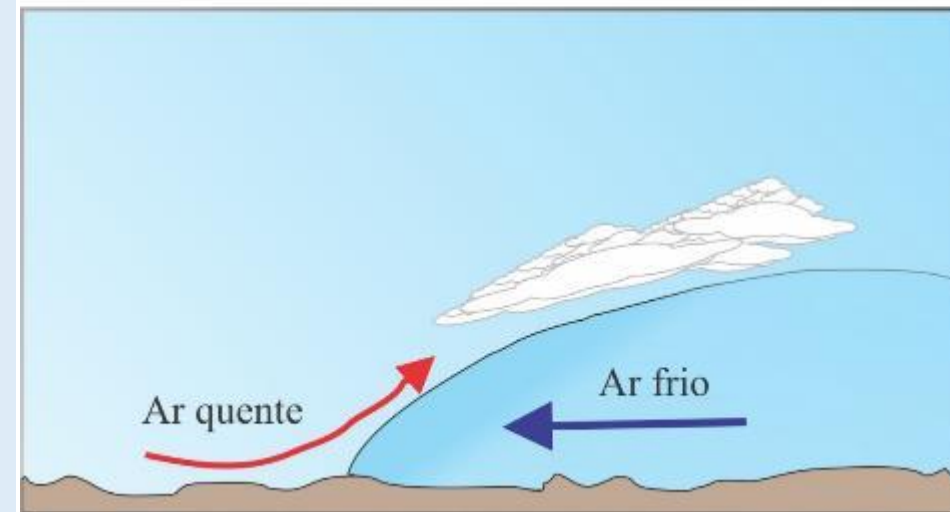
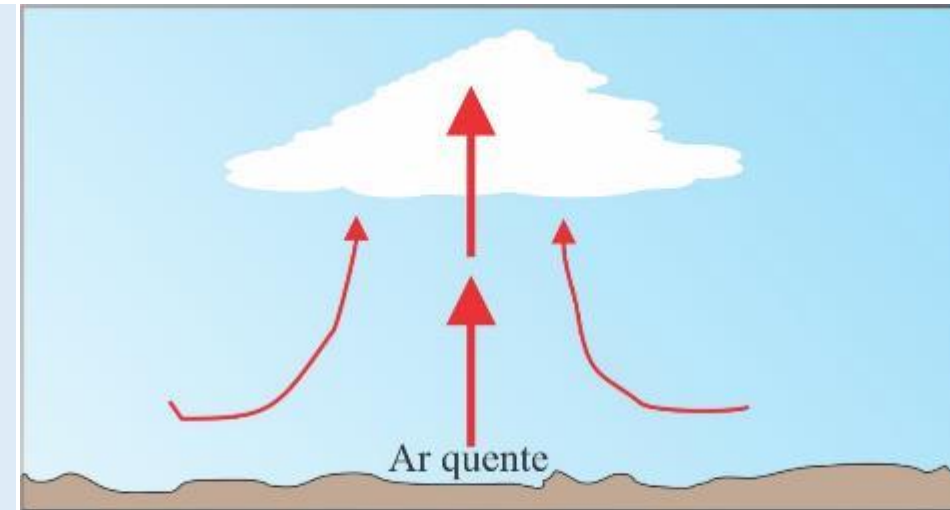
# Condensação junto a superfície e nuvens

## Tipos de Precipitação

- **Chuva** – água líquida, sendo a forma mais comum de precipitação. Gotas com 2 a 5 mm de diâmetro. Quando a temperatura da massa de ar é um pouco abaixo do ponto de orvalho, as gotas tendem a ser menores, formando a garoa;
- **Neve** – ocorre quando vapor d' água passa para o estado sólido, forma cristais de gelo ao redor dos núcleos de congelamento, e assumem a forma dos flocos de neve.
- **Granizo** – pedras de gelo iguais ou maiores que 5 mm de diâmetro. Forma-se em nuvens cúmulo-nimbos. Conforme os cristais de gelo circulam, eles colidem com as gotículas de água geladas que se transforma em gelo.

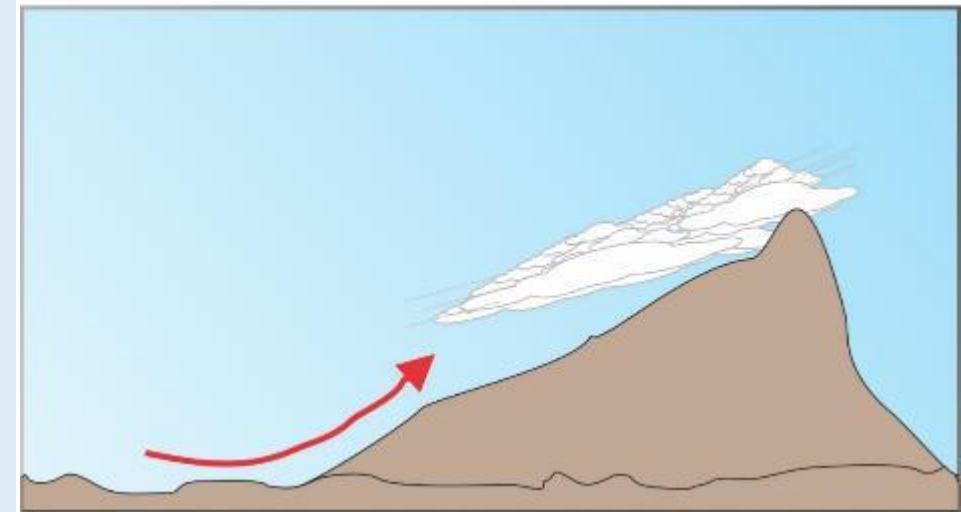
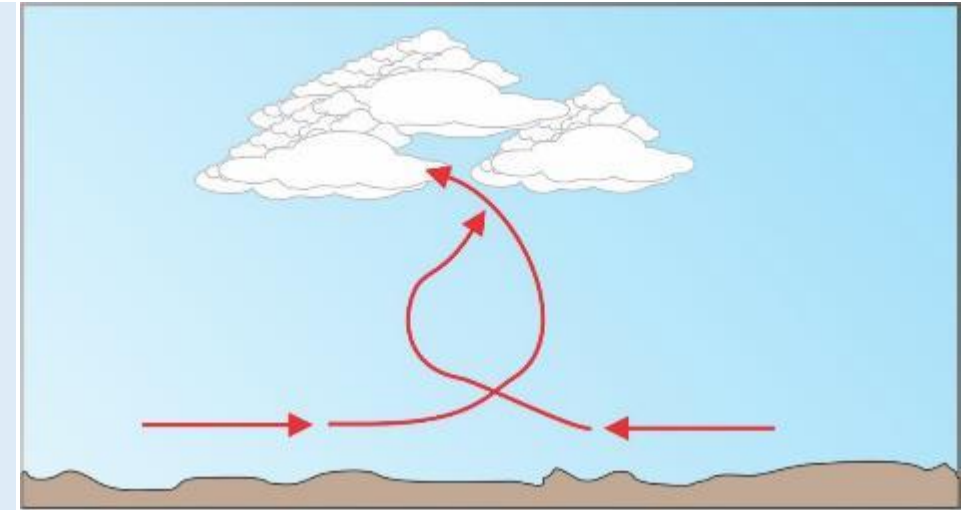
# Condensação junto a superfície e nuvens

- **Precipitação convectiva:** formada a partir da convecção térmica. Os movimentos verticais são resultado do aquecimento do ar úmido, que se expande, ascende para níveis superiores da atmosfera. A medida que o ar sobe, ele se resfria, atinge o ponto de saturação e condensa.
- **Precipitação frontal:** ocorre quando duas massas de diferentes temperaturas, densidade e umidade se chocam, a massa mais quente é levantada acima da massa mais fria. Com a elevação o ar se resfria e produz condensação.

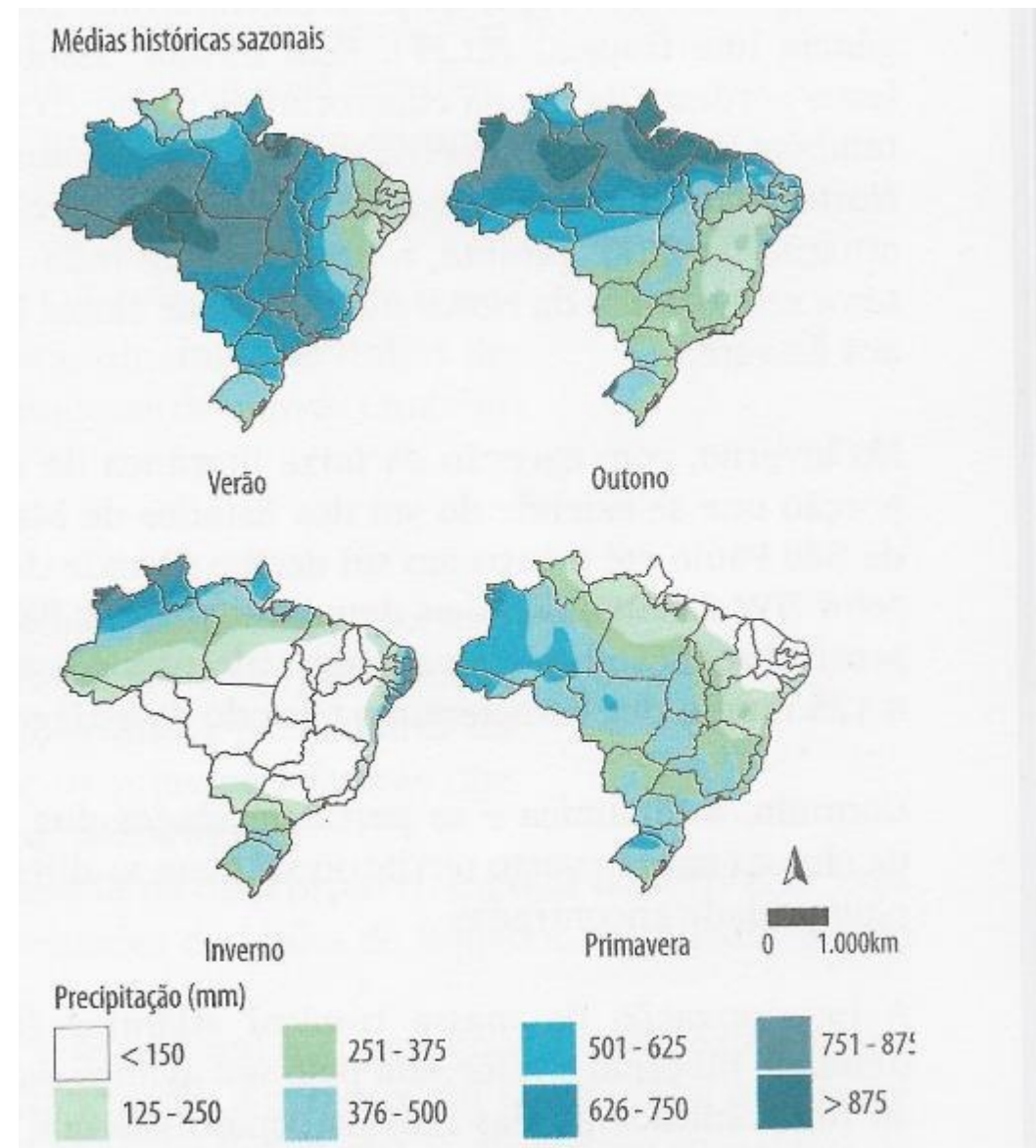
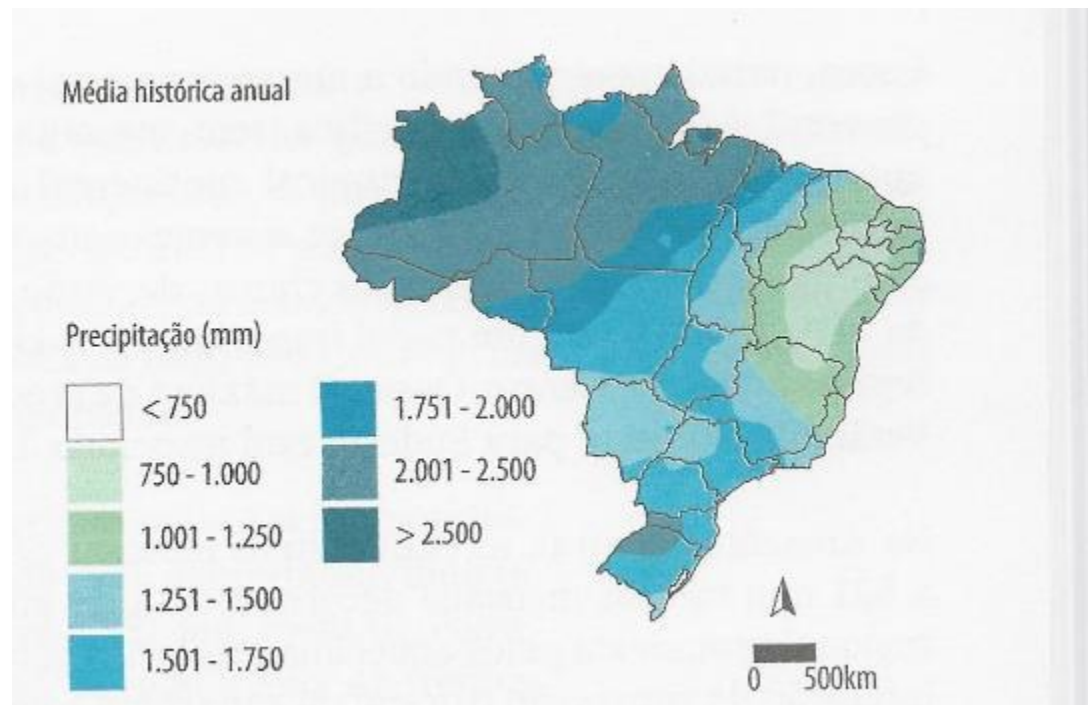


# Condensação junto a superfície e nuvens

- **Precipitação ciclônica:** ocorre a partir da interação do ar com uma célula de baixa pressão. O ar corre em todas as direções sendo empurrado para dentro do sistema de baixa pressão de forma circular.
- **Precipitação orográfica:** ocorre quando barreiras naturais, como montanhas, estão no caminho dos ventos. Assim, o ar é forçado a subir acima das barreiras, o ar é resfriado e por expansão ocorre a condensação.



# Concepções sobre estabilidade e instabilidade do ar



Pluviosidade média anual e sazonal para o Brasil (INMET).

Fonte: Mendonça e Oliveira, 2007.

# Referências

- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Tradução: Maria Juraci Zani dos Santos. ed.5ª, Rio de Janeiro: Bertrand, 1998.
- INPE. Fenômenos ENOS. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: abril 2018.
- MENDONÇA, F. **Climatologia**: noções básicas e climas no Brasil. São Paulo: Oficina de textos, 2007.
- PETERSEN, J. F.; SACK, D.; GABLER, R. E. **Fundamentos de Geografia Física**. Tradução: Marina Vicente Vieira. São Paulo: Cengage Learning, 2014.
- SARTORI, M. G. B. **Notas de aula**. s/d.
- STEINKE, E. T. **Climatologia Fácil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. 2ª versão digital. Recife, 2006.