
Processos Hidrológicos

CST 318 / SER 456

Tema 2 - Precipitação
ANO 2017

Camilo Daleles Rennó
Laura De Simone Borma
<http://www.dpi.inpe.br/~camilo/prochidr/>

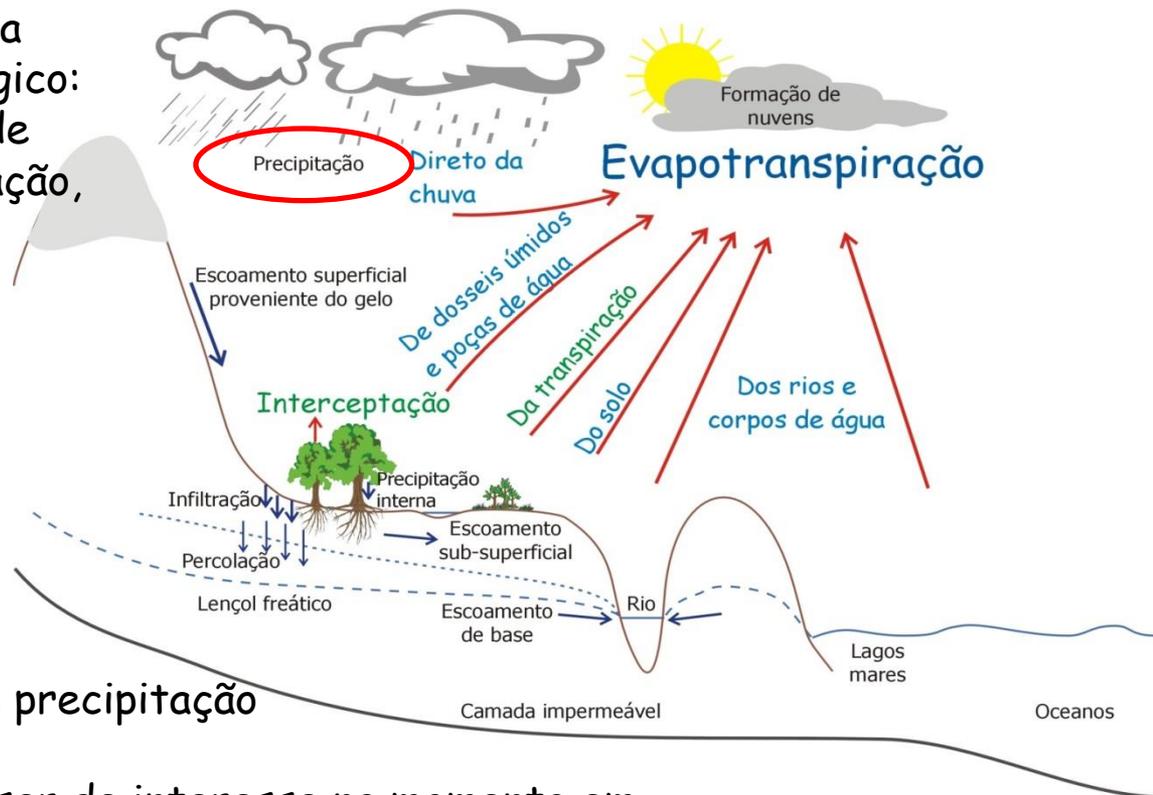
Conteúdo da aula

1. Revisão:
 - ciclo hidrológico
 - balanço hídrico
 - alguns conceitos usados no estudo da precipitação
2. Mecanismos de formação de nuvens e chuva
3. Tipos de precipitação
4. Medidas da precipitação
5. Tratamento de dados
6. Fonte de dados

Ciclo Hidrológico

A precipitação é formada por toda a água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície da terra, incluindo chuva, granizo, orvalho e neve

É o fenômeno alimentador (*input*) da fase terrestre do ciclo hidrológico: desencadeador dos processos de escoamento superficial, infiltração, evapotranspiração, recarga de aquíferos, vazão de rios, etc.



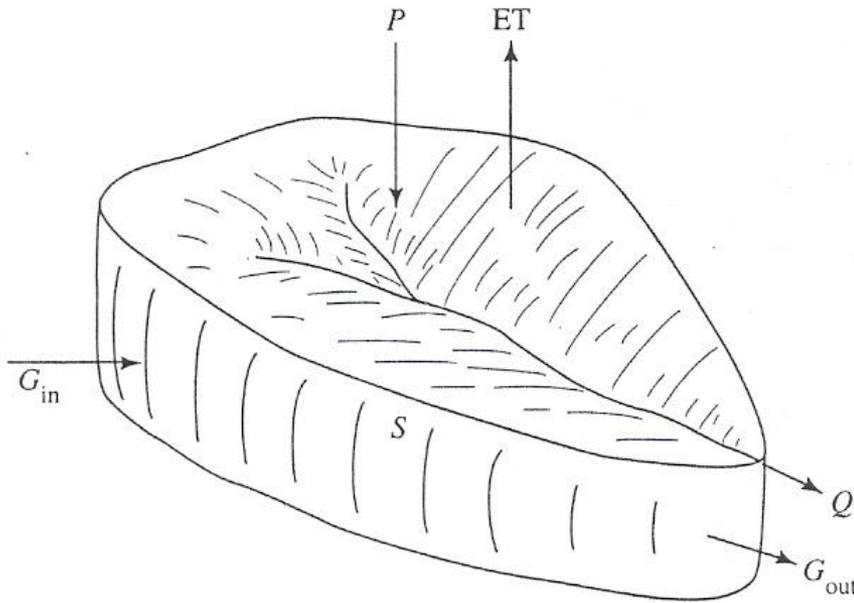
• **Meteorologia** - estudo detalhado da precipitação

• **Hidrologia** - a precipitação passa a ser de interesse no momento em que ela atinge a superfície do terreno

Formas de precipitação

Formas de precipitação	Características
Chuvisco ou garoa (<i>drizzle, mizzle</i>)	<ul style="list-style-type: none">• Precipitação uniforme consistindo de gotas de diâmetro inferior a 0,5mm, de intensidade geralmente baixa (inferior a 1mm/h)• parte evapora antes de chegar ao chão• Ocorre em oceanos e em regiões subtropicais, cobrindo grandes áreas
Chuva (<i>rain</i>)	<ul style="list-style-type: none">• Precipitação na forma líquida, cujas gotas apresentam diâmetro superior a 0,5mm• Leve: < 2,5 mm/h• Moderada: 2,5 - 7,6 mm/h• Intensa: > 7,6 mm/h
Granizo (<i>hail</i>)	Fragmentos irregulares de gelo (> 5mm), formados pelo congelamento instantâneo de gotículas, produzido por forte ascensão atmosférica. Ocorre durante as tempestades
Orvalho (<i>dew</i>)	Forma de precipitação na qual a água contida sob a forma de vapor, na atmosfera, sofre condensação e precipita nas diferentes superfícies. Isso ocorre porque corpos sólidos perdem calor mais rápido para a atmosfera
Neve (<i>snow</i>)	Cristais de gelo formados a partir do vapor d'água, quando a temperatura do ar é de 0° C ou menos (nuvens muito frias)
Geada (<i>frost</i>)	Formação semelhante à do orvalho. Mas, no caso da geada, há um processo de sublimação e a água precipita diretamente na forma sólida (gelo)

Balanço hídrico



$$P + G_{in} = ET + \frac{dS}{dT} + Q + G_{out}$$

P - precipitação

G_{in} - fluxo subsuperficial de entrada

ET - evapotranspiração

Q - fluxo superficial de saída (vazão)

G_{out} - fluxo subsuperficial de saída

dS/dT - variação da água armazenada

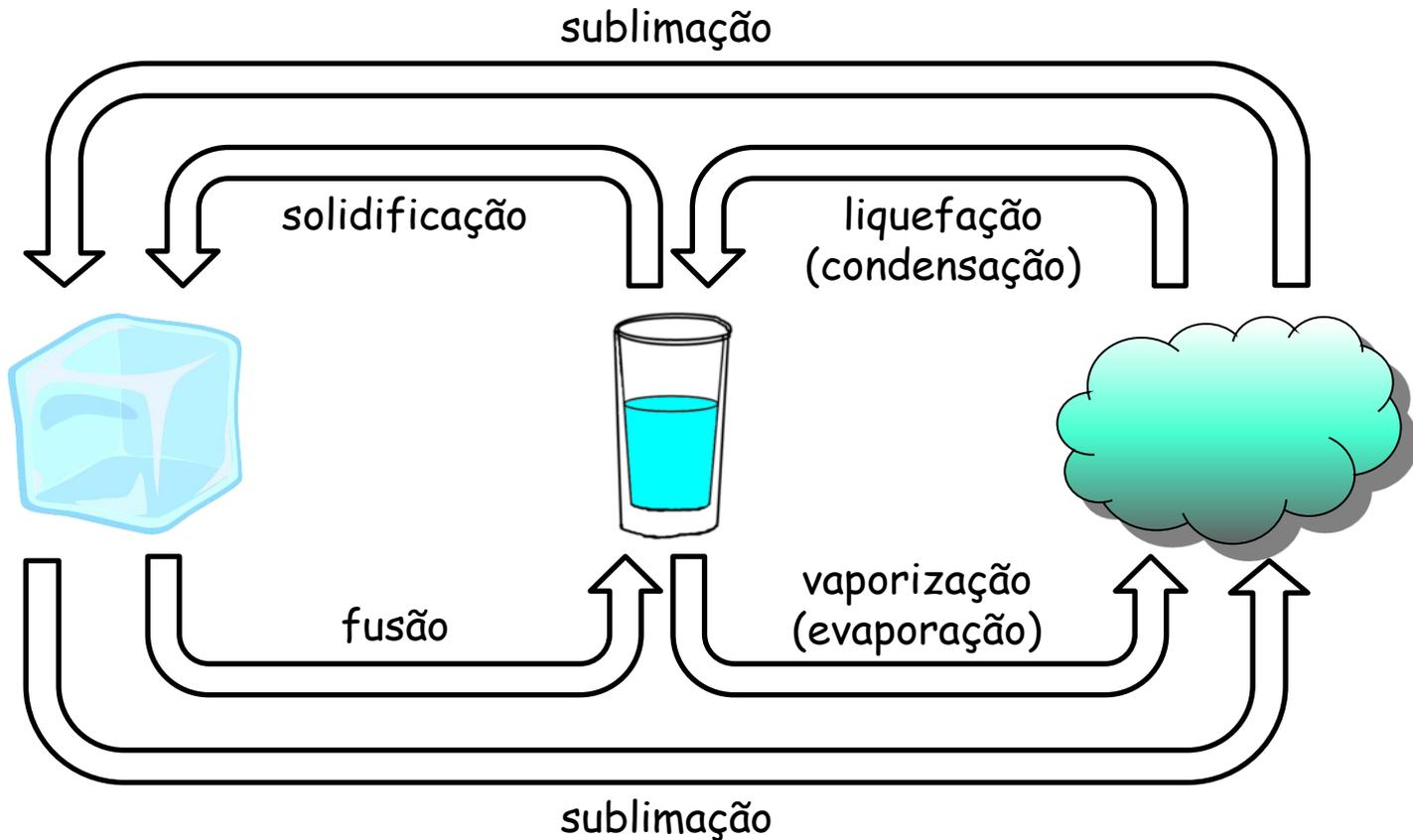
$$P = ET + \frac{dS}{dT} + Q \text{ para bacias "fechadas"}$$

- Através do balanço hídrico, calculam-se as entradas e saídas do sistema
- É o princípio de funcionamento dos modelos hidrológicos de base física
- Baseia-se na lei de conservação de massa aplicada geralmente a uma bacia hidrográfica

Conceitos Básicos

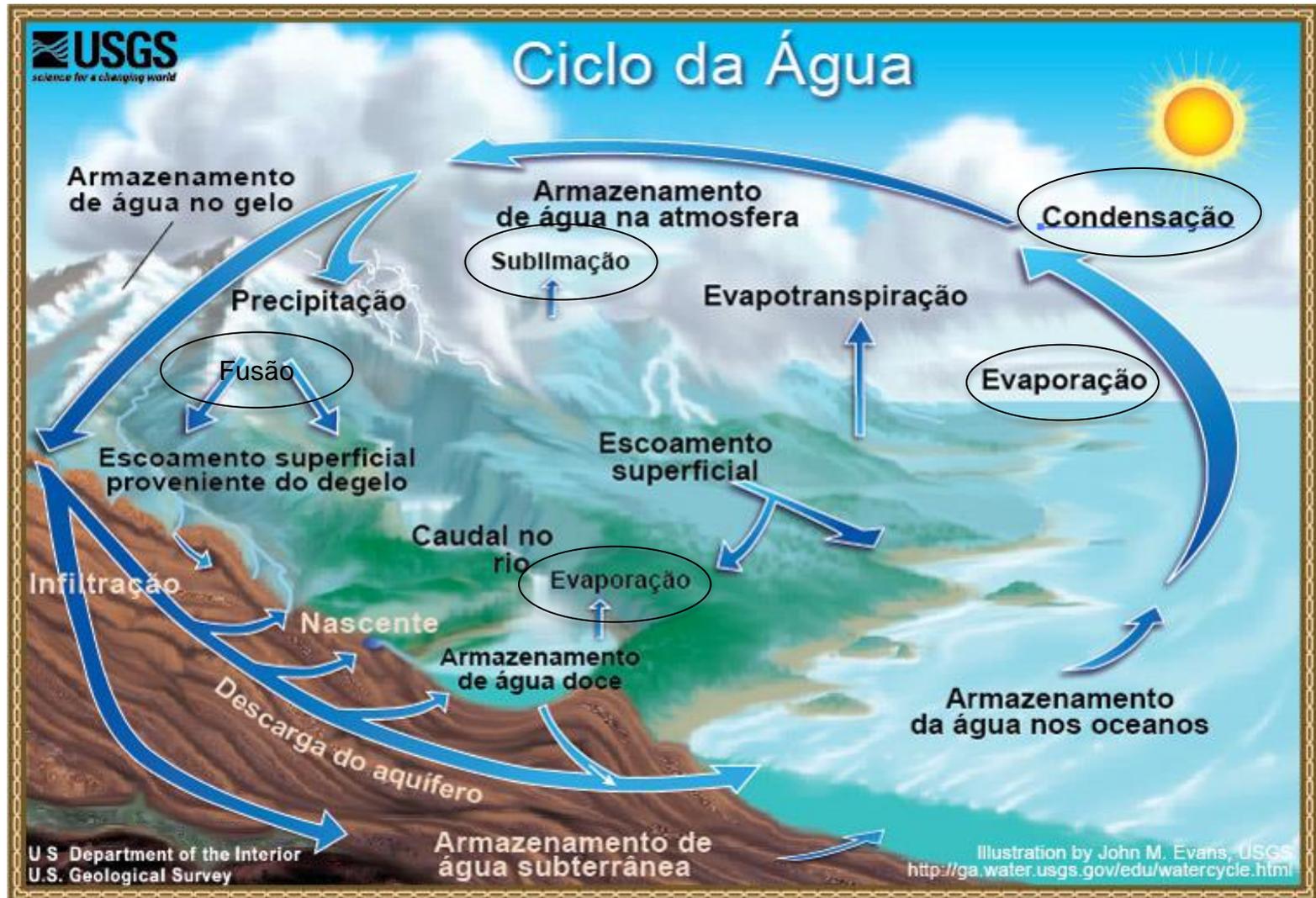
- Mudança de estado da água
- Saturação do ar
- Medidas da umidade do ar (vapor atmosférico)

Mudanças de estado da água

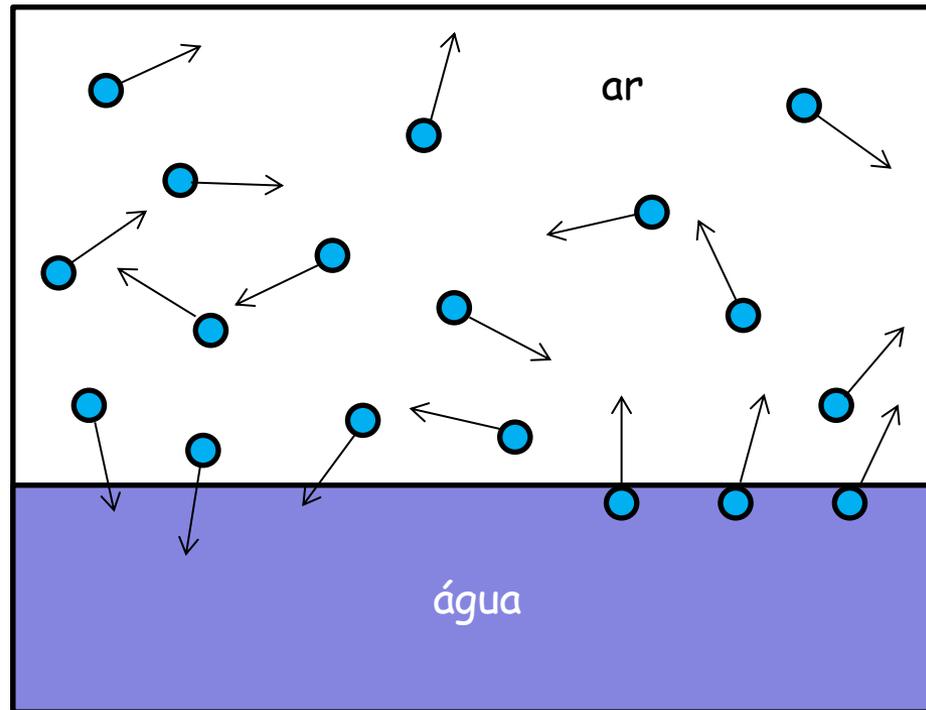


As mudanças ocorrem devido a uma variação na temperatura ou na pressão atmosférica

Mudanças de estado da água na atmosfera

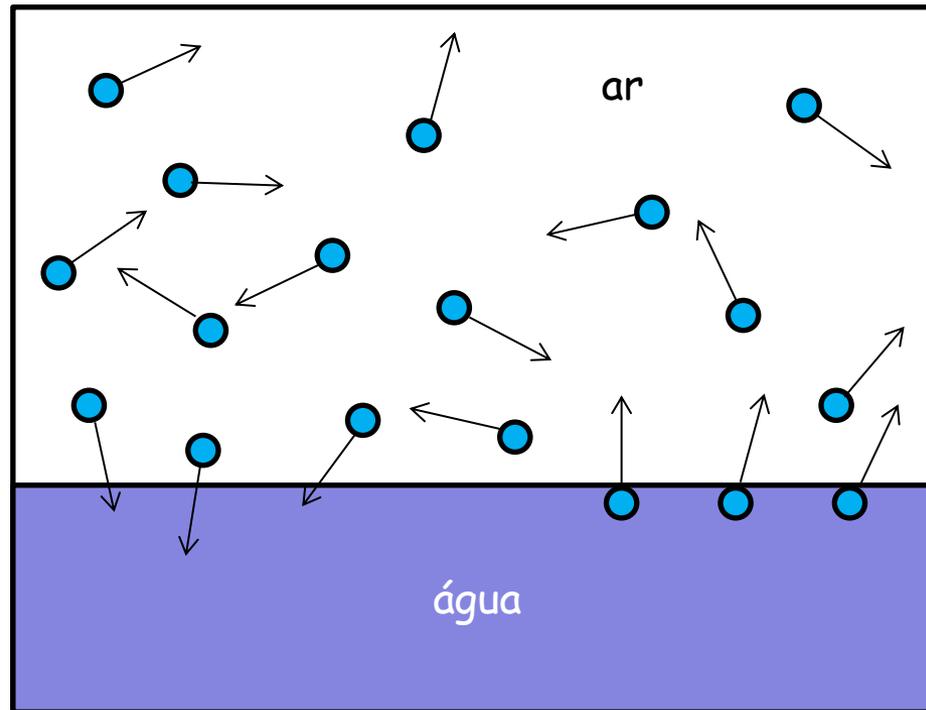


Evaporação e condensação



Na interface entre água e ar (ou entre gelo e ar) ocorre a troca de moléculas nos dois sentidos, ou seja, as moléculas de água estão em contínuo fluxo entre as fases líquida e gasosa. Na evaporação, mais moléculas passam para a fase vapor, enquanto na condensação um número maior de moléculas retorna à fase líquida.

Evaporação e condensação

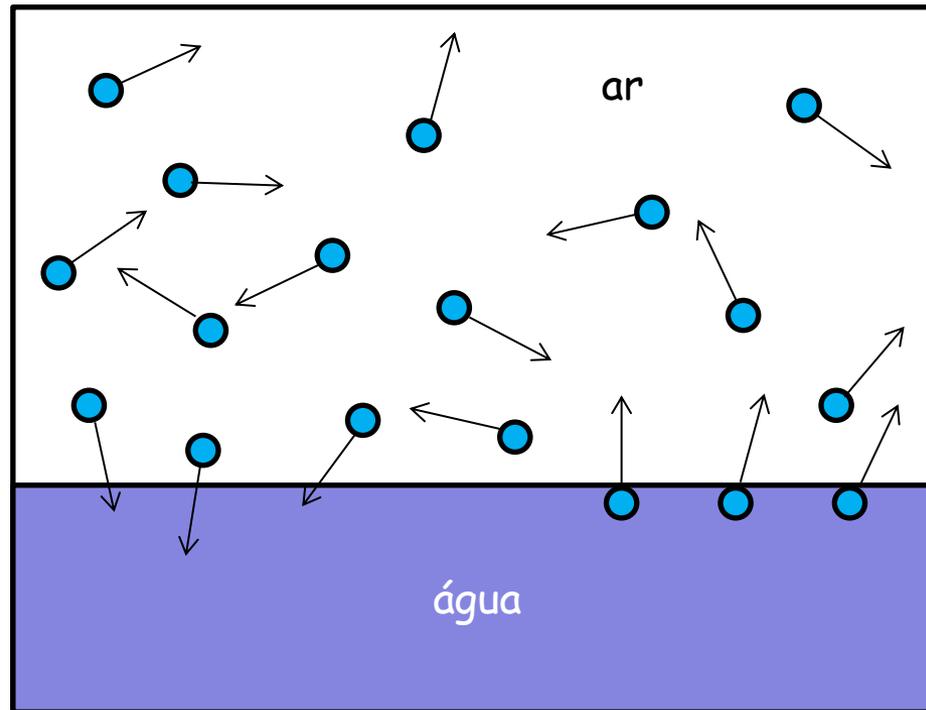


Taxa de evaporação: número de moléculas que passam da fase líquida para gasosa em um determinado período

Taxa de condensação: número de moléculas que passam da fase gasosa para líquida nesse mesmo período

- ↓ umidade na atmosfera: ↑ taxa de evaporação
- ↑ umidade na atmosfera: ↑ taxa de condensação

Evaporação e condensação



O estado de equilíbrio dinâmico é atingido quando as moléculas de água passam com a mesma taxa entre as fases líquida e gasosa. Neste estado, a pressão exercida pelo vapor d'água é chamada de pressão de saturação de vapor.

A saturação pode ser atingida introduzindo-se mais vapor na atmosfera ou diminuindo-se a temperatura (caso mais comum)

Pressão de vapor d'água

Composição do ar seco à temperatura de 15°C e pressão de 101,325 kPa (1 atm)

Molécula	Símbolo	fração de moles n_i/n (%)
Nitrogênio	N ₂	78
Oxigênio	O ₂	21
Argônio	Ar	1

Se o ar tiver 4% de vapor d'água, então

Molécula	Símbolo	fração de moles n_i/n (%)
Nitrogênio	N ₂	$78 * 0,96 = 74,88$
Oxigênio	O ₂	$21 * 0,96 = 20,16$
Argônio	Ar	$1 * 0,96 = 0,96$
Vapor d'água	H ₂ O	4

Pela lei de Dalton, a pressão total é igual a soma das pressões parciais de cada componente.

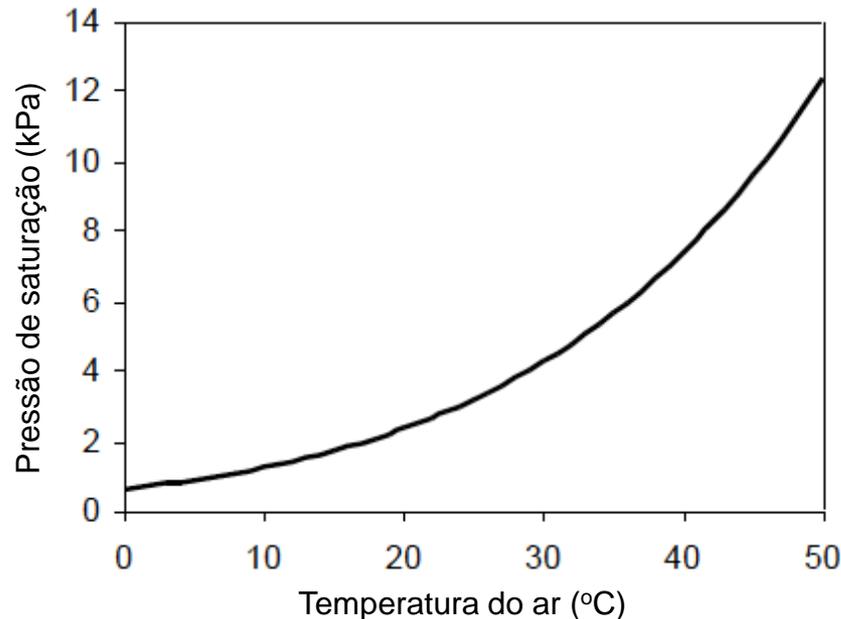
Assim, a pressão de vapor d'água é:

$$e = 101,325 \cdot 0,04 = 4,053 \text{ kPa}$$

Pressão de saturação de vapor d'água

A pressão de saturação de vapor não é constante, mas varia com a temperatura

$$e_s = 0,611 \exp\left(\frac{17,27T}{T + 237,7}\right) \quad [\text{kPa}]$$



Quanto maior a temperatura, maior a quantidade de vapor d'água que 'cabe' na parcela considerada da atmosfera e, portanto, maior é a pressão de saturação de vapor

Medida da umidade na atmosfera

- **Umidade absoluta:** massa de vapor d'água/volume de ar

$$UA = \frac{m_{vapor}}{V_{ar}} \quad [g \cdot m^{-3}]$$

volume varia com a temperatura e pressão (lei dos gases)

- **Razão de mistura:** massa de vapor d'água/massa de ar seco

$$w = \frac{m_{vapor}}{m_{ar\ seco}} \quad [g \cdot kg^{-1}]$$

não podem ser medidas diretamente

- **Umidade específica:** massa de vapor d'água/massa de ar

$$UE = \frac{m_{vapor}}{m_{ar\ seco} + m_{vapor}} \quad [g \cdot kg^{-1}]$$

Umidade relativa (UR)

- **Umidade relativa:** razão entre pressão de vapor (e) e pressão de saturação de vapor (e_s)

$$UR = 100 \frac{e}{e_s} \quad [\%]$$

Não indica a verdadeira concentração de vapor, mas diz quão perto a atmosfera está da saturação.

O que ocorrerá se mais umidade for adicionada após a saturação?

Se a atmosfera fosse completamente limpa, sem superfícies ou partículas, a UR teria que exceder em muito os 100% para que houvesse formação de gotículas de água.

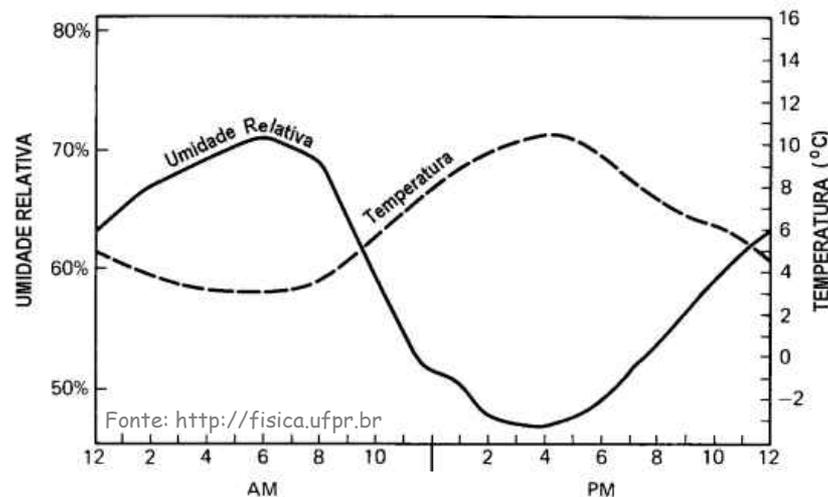
Na atmosfera real, esta situação não ocorre, de modo que o excesso de vapor d'água se condensa em condições apenas levemente supersaturadas (UR ~ 101%)

Indicador de ocorrência de chuva: UR ~ 100%



Temperatura x Umidade Relativa

Se o conteúdo de vapor d'água na atmosfera permanecer constante, um decréscimo na temperatura aumentará a umidade relativa (UR) e um aumento na temperatura diminuirá a UR



Ponto de orvalho é a temperatura na qual o ar deveria ser resfriado à pressão constante para tornar-se saturado. Este termo surge do fato de que, durante a noite, objetos próximos à superfície frequentemente se resfriam abaixo da temperatura de ponto de orvalho. O ar em contato tornar-se saturado e a água condensa-se na forma de orvalho sobre esta superfície.

Quando a temperatura de ponto de orvalho está abaixo da temperatura de congelamento, o vapor d'água é depositado como geada.

Medida do vapor d'água

Os higrômetros são instrumentos compostos, em sua maioria, de substâncias com capacidade de absorver a umidade atmosférica (por exemplo, o cabelo humano e sais de lítio).

No higrômetro construído com cabelo humano, uma mecha de cabelos é colocada entre um ponto fixo e outro móvel. O comprimento do cabelo varia de acordo com a umidade. O movimento provocado é transmitido a um ponteiro que se desloca sobre uma escala, na qual estão os valores da umidade relativa.



Já o higrômetro de sais de lítio baseia-se na variação de condutividade desses sais, os quais apresentam uma resistência variável de acordo com a água absorvida. Um amperímetro com, escala devidamente calibrada, fornece os valores de umidade do ar.



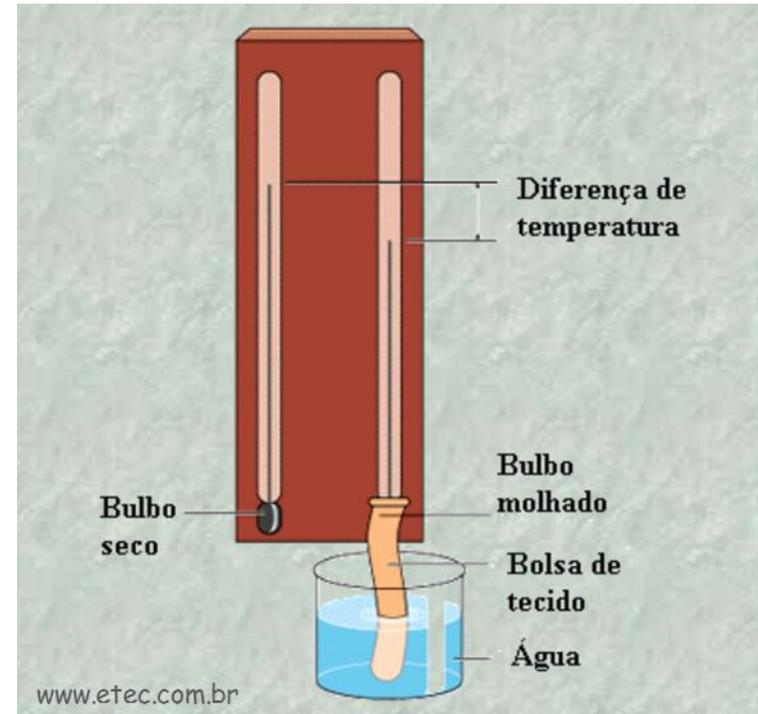
Medida do vapor d'água

A umidade relativa também pode ser obtida através de psicrômetros.

Consiste num conjunto de dois termômetros idênticos, sendo que o bulbo de um deles é recoberto por gaze umedecida. A temperatura do termômetro de bulbo úmido é sempre inferior à do termômetro de bulbo seco.

A menor temperatura do bulbo úmido é induzida pelo resfriamento provocado pela evaporação. Quanto mais seco o ar (menor UR), maior a evaporação e conseqüentemente maior o resfriamento (maior a diferença de temperatura entre os termômetros).

A partir da diferença de leitura entre os dois termômetros, obtém-se a umidade relativa através de tabelas.



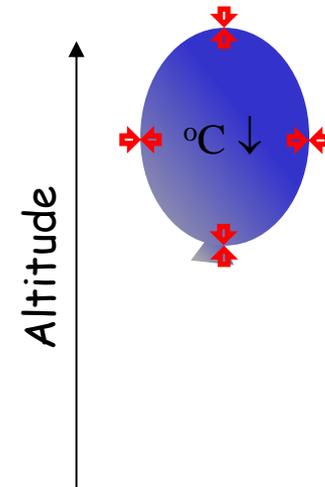
Processo de Formação de Nuvens

O principal processo responsável pela formação de nuvens na atmosfera está relacionado às correntes ascendentes e descendentes de ar e pode ser considerado um exemplo de processo adiabático.

Para entender os processos adiabáticos na atmosfera é usual pensar nessas correntes como se fossem compostas de unidades discretas de massa, chamadas parcelas de ar isoladas termicamente do ambiente, com a mesma pressão do ar ambiente no mesmo nível (equilíbrio hidrostático) e movendo-se lentamente (energia cinética desprezível).

Quando sobe na atmosfera, a pressão sobre a parcela de ar cai, fazendo-a expandir "empurrando" o ar em sua volta, realizando trabalho (positivo). A energia para o trabalho de expansão é retirada da energia interna da parcela de ar, e com isso a temperatura cai.

A taxa de variação da temperatura que uma parcela de ar seco sofre quando sobe ou desce na atmosfera é chamada taxa adiabática seca que cerca de $10^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (a taxa real é muito menor que isso: $6,5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ na troposfera)

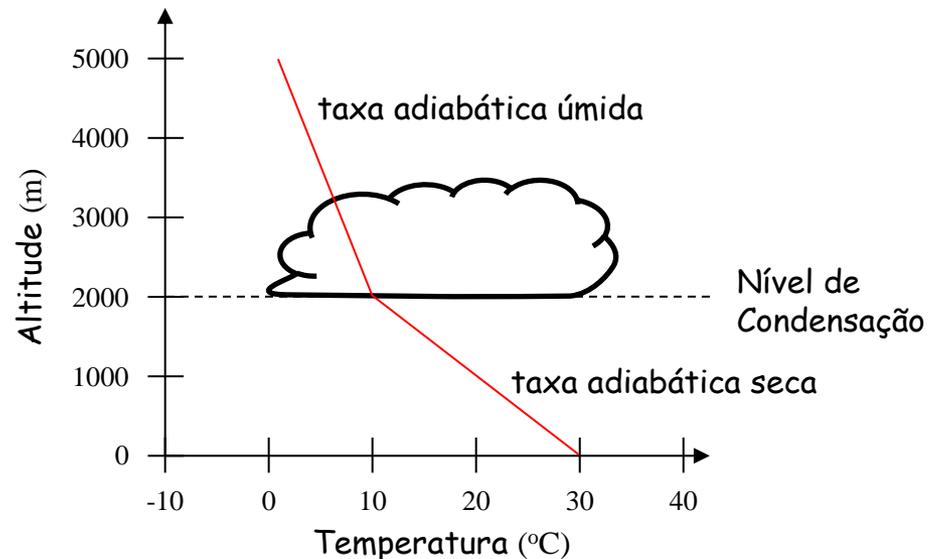


Processo de Formação de Nuvens

Conforme a parcela sobe, seu resfriamento aumenta a umidade relativa até resultar na condensação. O nível em que isto ocorre é chamado de nível de condensação.

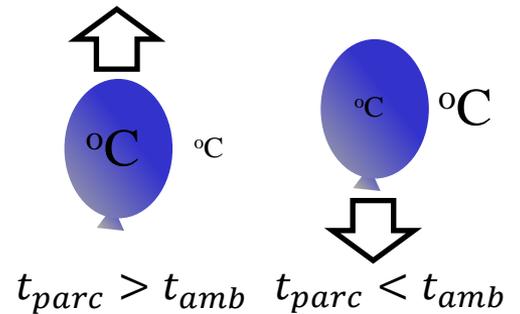
A partir deste nível, o calor latente de condensação é liberado. Caso esta parcela continue subindo, a taxa de resfriamento é reduzida pela liberação de calor latente. Esta taxa de resfriamento menor é chamada de taxa adiabática úmida ou saturada, podendo variar de $3^{\circ}\text{C}/\text{km}$ para ar muito úmido, a $9^{\circ}\text{C}/\text{km}$ para ar com pouca umidade.

Resumindo: parcelas ascendentes não saturadas se resfriam à taxa adiabática seca. Após atingirem a saturação no nível de condensação, o resfriamento se dá segundo a taxa adiabática úmida ou saturada.



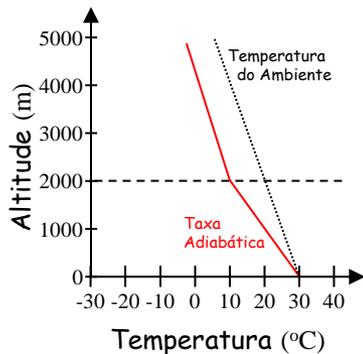
Estabilidade atmosférica

Uma parcela de ar sofre forças de flutuação (empuxo) que a fazem deslocar-se verticalmente. Se o ar da parcela for mais quente (e portanto, menos denso) que o ar ambiente, ela tende a subir. Se o ar da parcela for mais frio (mais denso) que o ar ambiente, ela tende a descer.

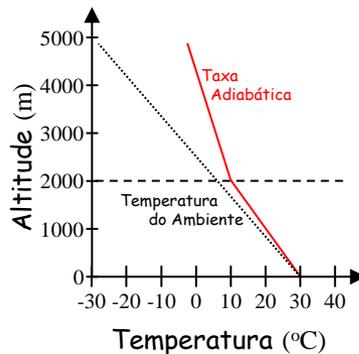


Numa camada de ar estável, uma parcela de ar ascendente torna-se mais fria que o ar ambiente ou uma parcela de ar descendente torna-se mais quente que o ar ambiente. Tanto num caso como no outro a parcela é forçada a retornar à sua altitude original.

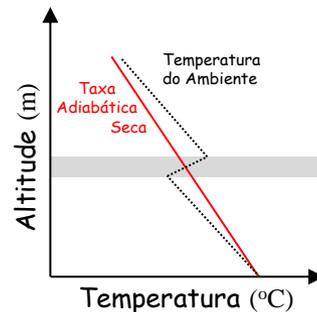
Numa camada de ar instável, uma parcela de ar ascendente torna-se mais quente que o ar ambiente e continua a subir ou uma parcela de ar descendente torna-se mais fria que o ar ambiente e continua a descer.



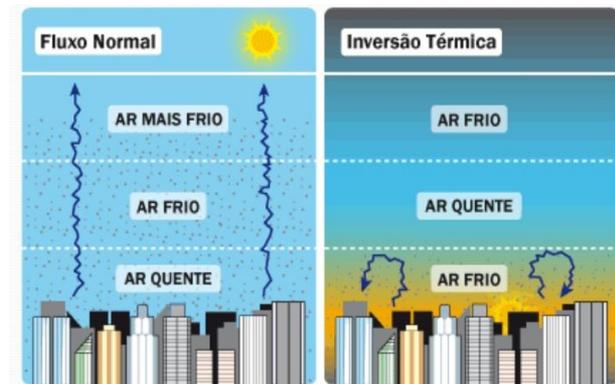
Estabilidade



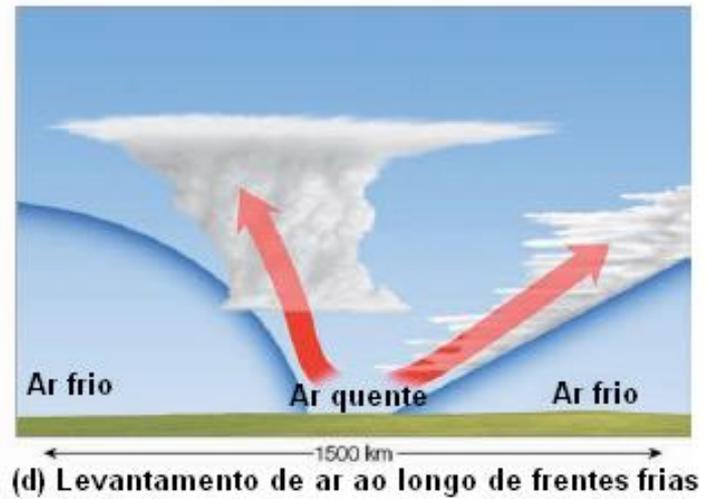
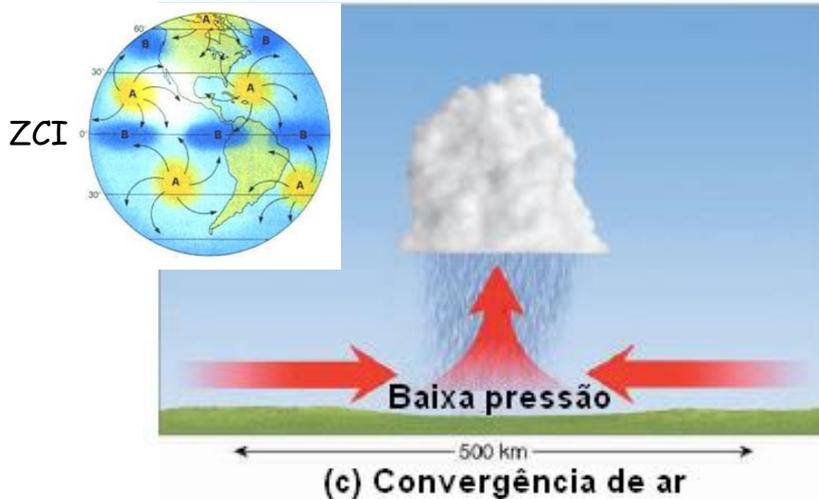
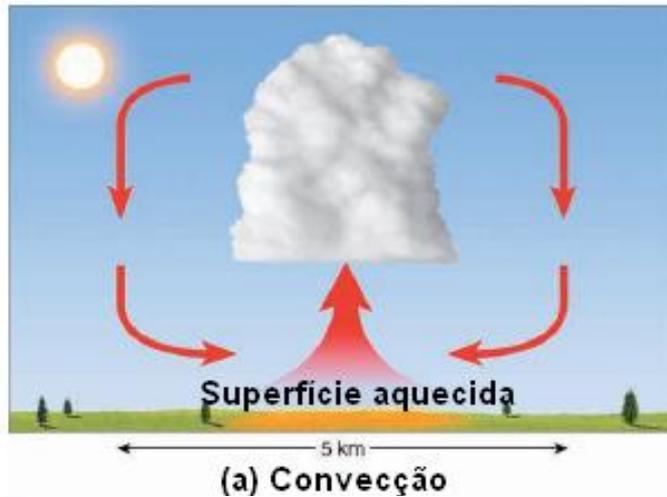
Instabilidade



Inversão Térmica



Mecanismos de ascensão do ar úmido e formação de nuvens



Mecanismos de formação de chuva

Três passos principais

1) Aumento da umidade da atmosfera
vapor d'água proveniente da evaporação
e evapotranspiração



2) Resfriamento das massas de ar
condensação do vapor d'água em água
líquida (formação de nuvens)



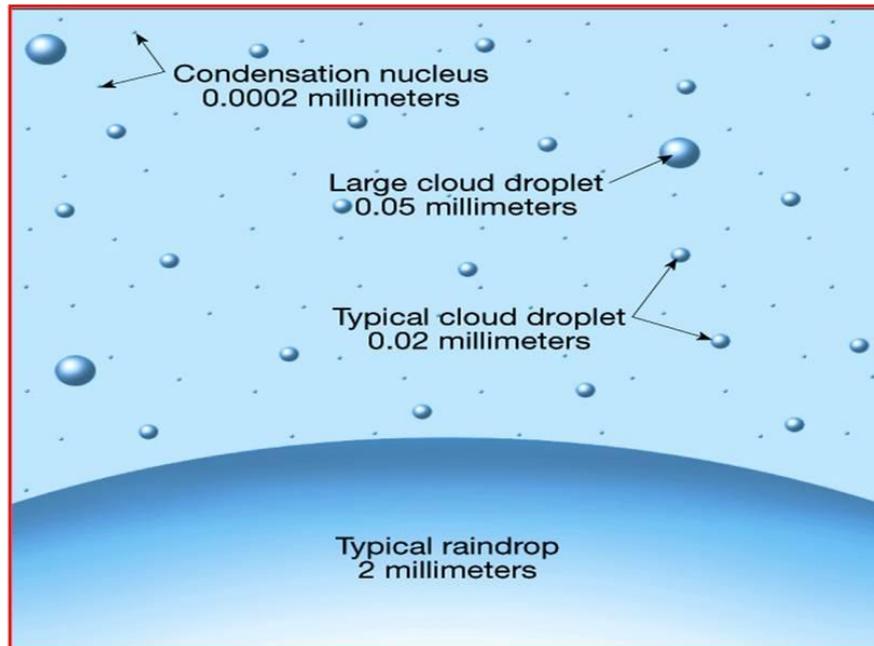
3) Crescimento das gotículas por
colisão e coalescência
precipitação



Formação de nuvens

Em geral, as nuvens são formadas quando o ar está saturado e desde que haja uma superfície sobre a qual o vapor d'água possa condensar. Quando a condensação ocorre no ar acima da superfície, minúsculas partículas conhecidas como núcleos de condensação servem como superfície sobre a qual o vapor d'água condensa

Os núcleos de condensação são partículas com diâmetro maior que $1\mu\text{m}$ e são formadas por poeira, fumaça ou fuligem, sais e sulfatos. Em geral, possuem propriedades higroscópicas



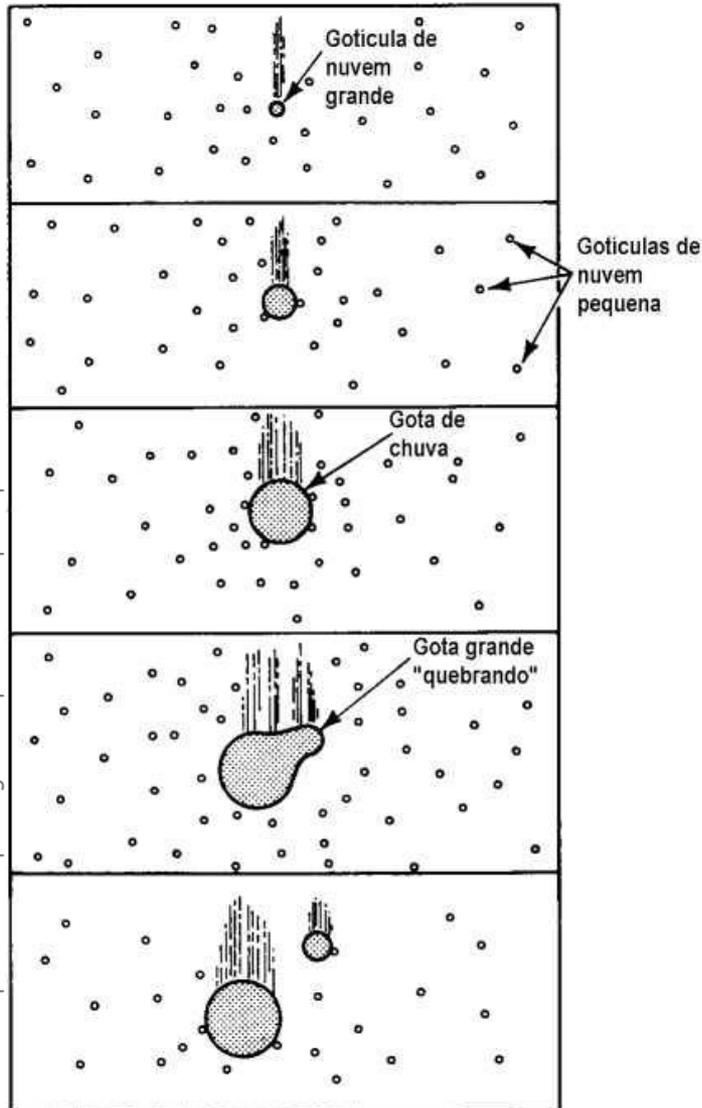
Nucleação homogênea

- Ocorre em ambiente de ar limpo (puro)
- Gotículas são formadas por colisão das moléculas de vapor d'água
- Requer condição de supersaturação ($UR > 110\%$ - inexistente na natureza)

Nucleação heterogênea

- Ocorre na presença de Núcleos de Condensação de Nuvens (*Cloud Condensation Nuclei*)
- Requer valores de umidade de 1 a 3% acima do valor de saturação

Formação das gotas de chuva



Fonte: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap6/cap6-3-2.html>

As nuvens são inteiramente compostas de gotículas de água líquida e precisam conter gotículas com diâmetros maiores que $20\mu\text{m}$ para que se forme precipitação.

Essas gotículas caem rapidamente, colidem com as gotículas menores e mais lentas e coalescem (combinam) com elas, tornando-se cada vez maiores. Tornando-se maiores, elas caem mais rapidamente e aumentam suas chances de colisão e crescimento. Correntes ascendentes também ajudam, porque permitem que as gotículas atravessem a nuvem várias vezes.

As gotas de chuva podem crescer até 6 mm de diâmetro, quando sua velocidade terminal é de 30km/h. Neste tamanho e velocidade, a tensão superficial da água, que a mantém inteira, é superada pela resistência imposta pelo ar, que acaba "quebrando" a gota. As pequenas gotas resultantes recomeçam a tarefa de anexar gotículas de nuvem.

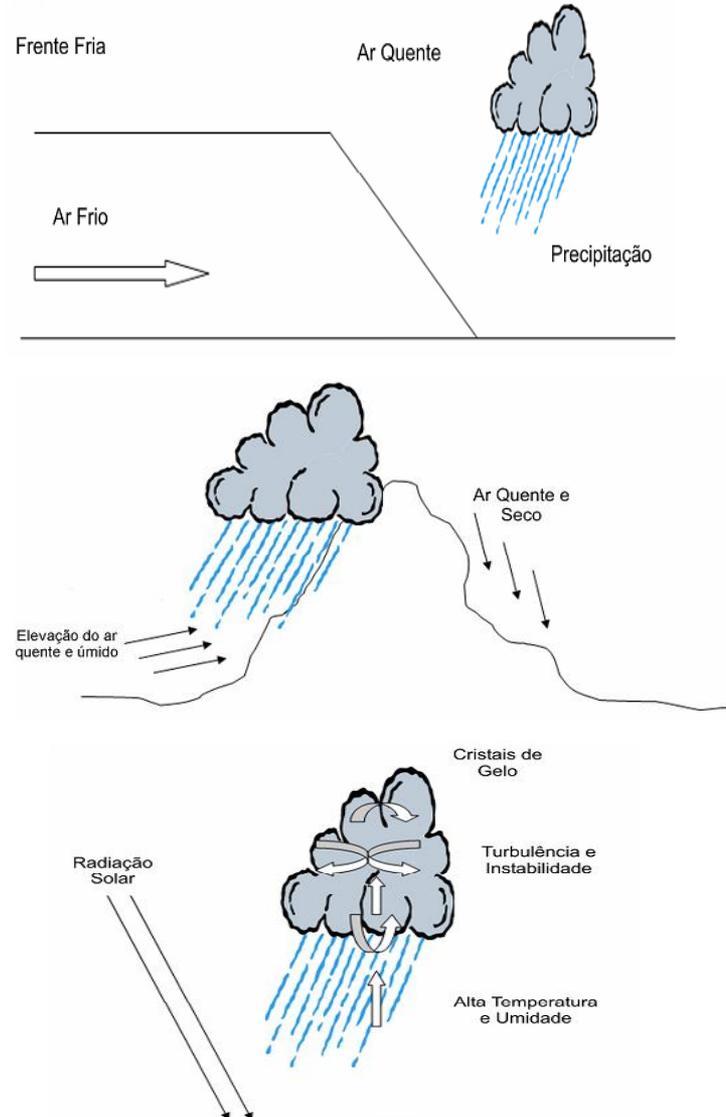
Tipos de precipitação

- Precipitações ciclônicas ou frontais
- Precipitações orográficas
- Precipitações convectivas



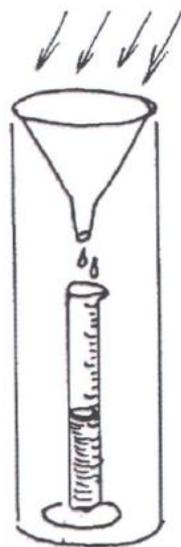
Ciclônica ou frontal

- **Ciclônica ou frontal:** compreende a maior parte do volume de água precipitado em uma bacia. Pode ocorrer por vários dias, apresentando pausas com chuviscos. Longa duração e média/forte intensidade, podendo ser acompanhadas de ventos fortes.
- **Orográfica:** muito efetiva em causar precipitação numa mesma área ou região, ano após ano, ou mesmo continuamente durante longos períodos de tempo. São comuns nas regiões montanhosas próximas ao mar. Baixa intensidade e longa duração
- **Convectivas:** podem variar de leve a pesadas, dependendo das condições de umidade e do contraste atmosférico. Tempestades com trovão, que despejam grande volume de água em curto período de tempo e sobre uma área relativamente pequena. *Típico das regiões tropicais, onde os ventos são fracos e a circulação de ar é essencialmente vertical.* Intensas e de curta duração - chuvas de verão

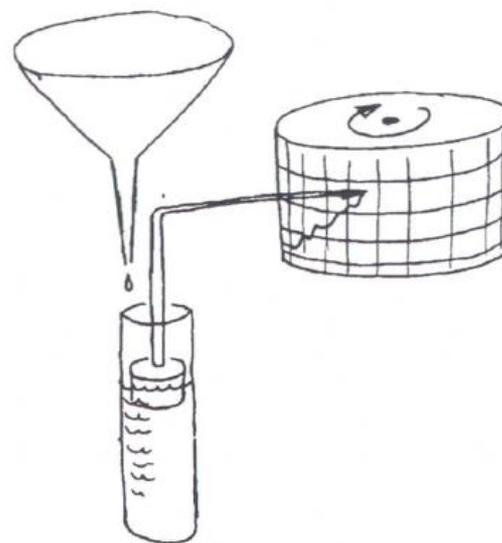


Medidas da precipitação

- Usualmente, a chuva é quantificada em termos de volume por unidade de área considerando-se um determinado período de tempo.
- A unidade mais comumente utilizada é milímetros que corresponde a espessura da lâmina d'água formada ao distribuir 1 litro d'água sobre 1 m² de superfície. Portanto, 1 mm = 1 l.m⁻².
- A quantidade de chuva precipitada é coletada em recipientes denominados pluviômetros ou pluviógrafos

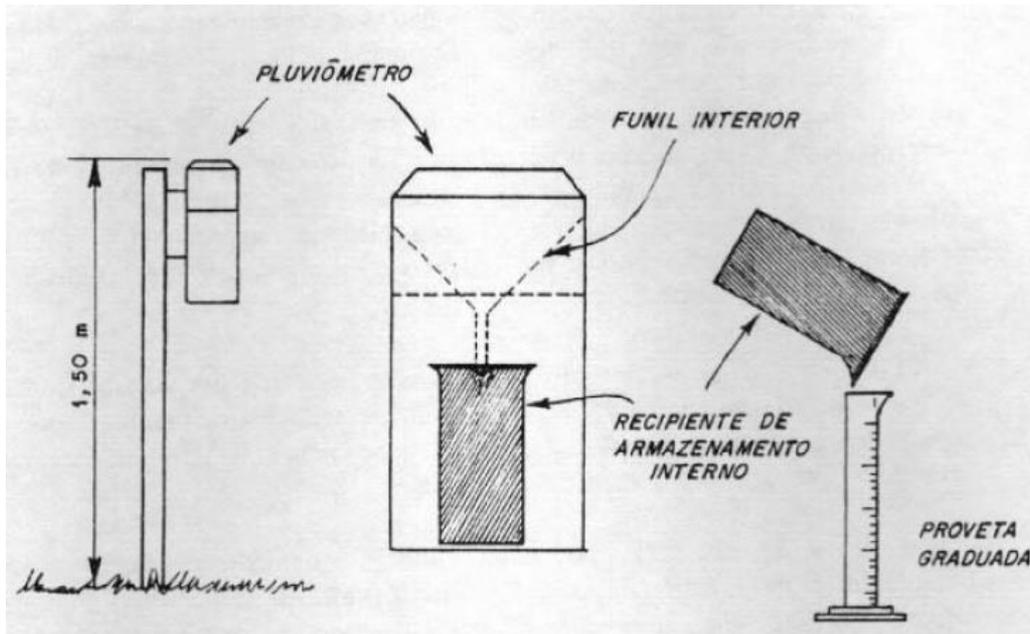


pluviômetro



pluviógrafo

Pluviômetro



$$P = 10 \frac{V}{A}$$

Onde:

P – precipitação (mm)

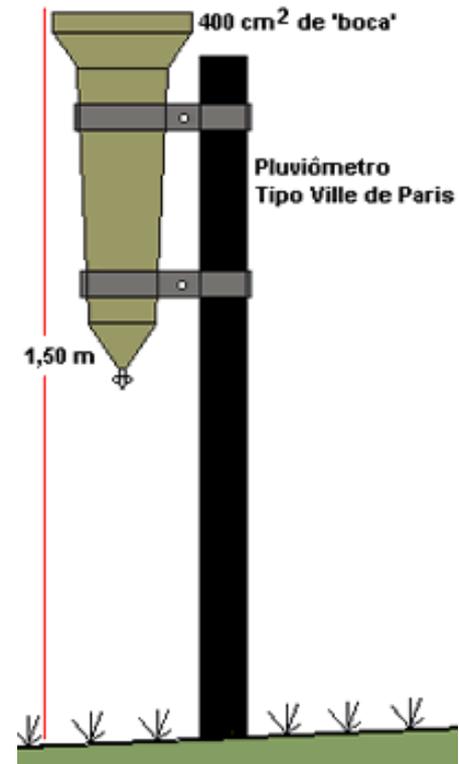
V – volume recolhido (cm³)

A – área de captação do anel (cm²)

- Cilindro receptor de água com medidas padronizadas
- O funil protege a água coletada contra radiação solar, diminuindo as perdas por evaporação
- Uma torneira colocada na base do recipiente permite a coleta do volume de água precipitada
- A coleta é feita diariamente, sempre à mesma hora

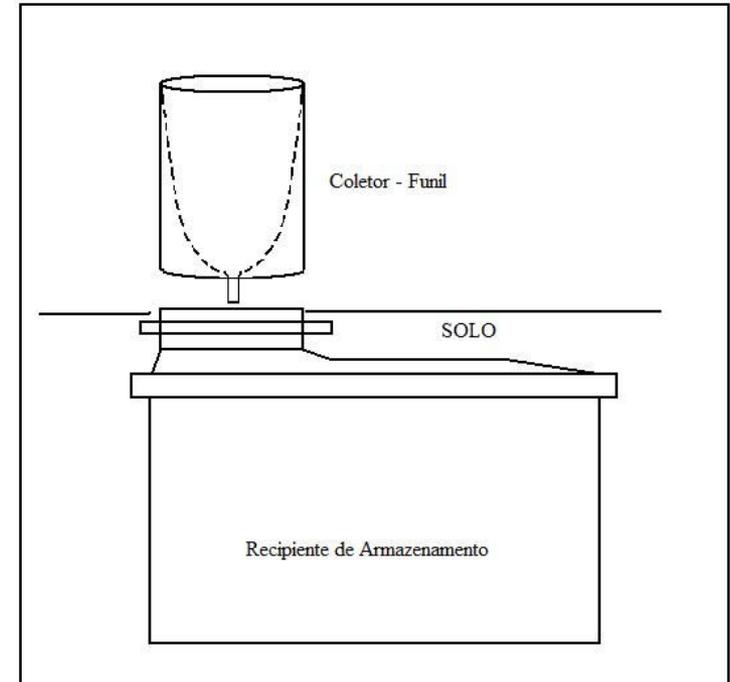
Pluviômetro Ville de Paris

Nas estações meteorológicas são usados pluviômetros padronizados. O mais utilizado no Brasil é o padrão francês, conhecido como "Ville de Paris". Possui uma "boca" padronizada de 400 cm^2 , e um reservatório com uma torneirinha para descarregar a água em uma proveta para medição. São fornecidas provetas especiais de 7, 10, 25 e 80 mm já graduadas para este tamanho da área coletora, de modo a evitar os cálculos.



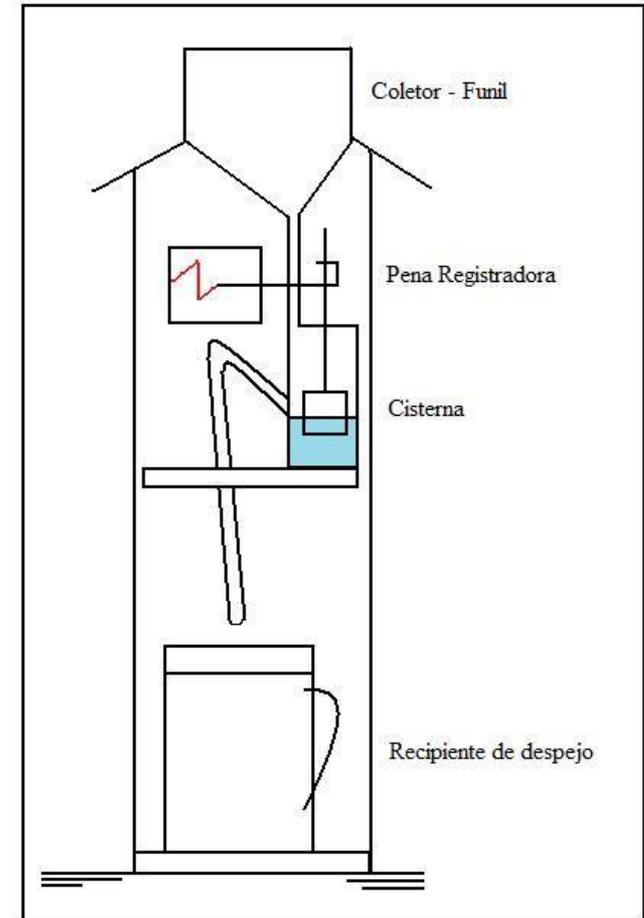
Pluviômetro totalizador

- Recipiente de armazenamento permite o acúmulo de água por uma semana ou mais
- Enterrado e com certa quantidade de óleo, para formar uma película superficial e evitar a evaporação
- Retirada da água por meio de um sifão
- Utilizado em áreas mais isoladas



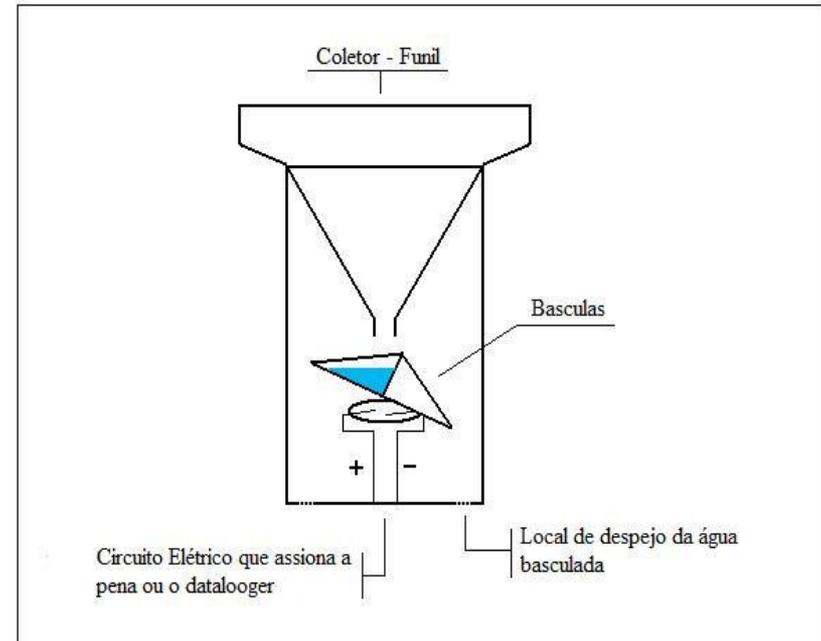
Pluviógrafo flutuador (ou de bóia)

- Possui uma área de captação de 200 cm², composta de um coletor com funil e uma cisterna onde existe uma boia acoplada ao sistema de pena registradora
- Quando a cisterna está cheia, um sistema de sifão a esvazia, e a pena inicia o gráfico no ponto zero
- Cada sifonada corresponde a 10mm de água, na maioria desses pluviógrafos
- Durante o tempo de esvaziamento não há registro de chuva, resultando em um erro instrumental



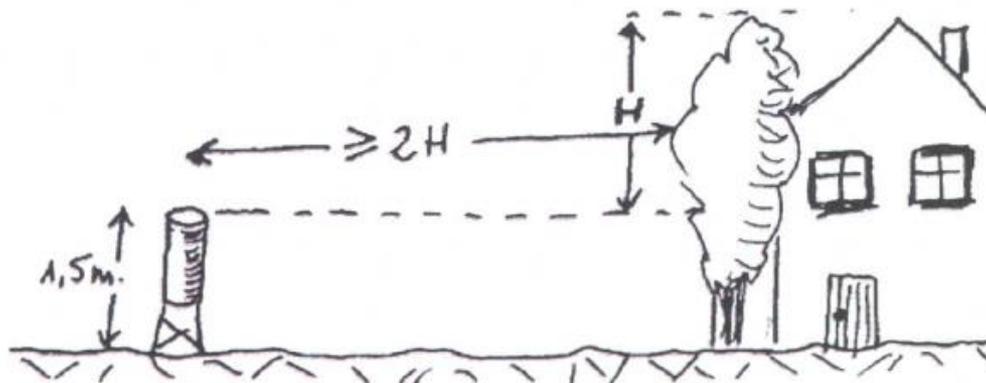
Pluviógrafo de báscula (*tipping bucket*)

- Formado por um funil e um recipiente de perfil triangular dividido em dois compartimentos que coletam pequenas quantidades de água, uma de cada vez, semelhante ao movimento de uma gangorra
- Quando um compartimento enche, ele desce e a água é descartada, enquanto o outro recebe a água
- Esse movimento alternado de enchimento é acoplado a um circuito elétrico que aciona o registrador, seja a pena registradora ou o *datalogger*
- Cada báscula, representa, normalmente, 0,1 ou 0,2mm de água



Cuidados na instalação

- Local de instalação: posicionar em áreas abertas, longe dos prédios e de vegetação alta
- Características do coletor:
 - **Material** - alumínio anodizado, aço inoxidável, ferro galvanizado, fibra de vidro, bronze e plástico
 - **Diâmetro** - formato cilíndrico, para minimizar a ação dos ventos. Tamanho mais utilizado no Brasil é de 20 cm de diâmetro
 - **Profundidade** - baixa profundidade não permite o uso do funil (que evita o retorno da gota) e de alta profundidade são mais sensíveis à ação dos ventos
- Nivelamento
- Precisão das dimensões
- Perda por evaporação

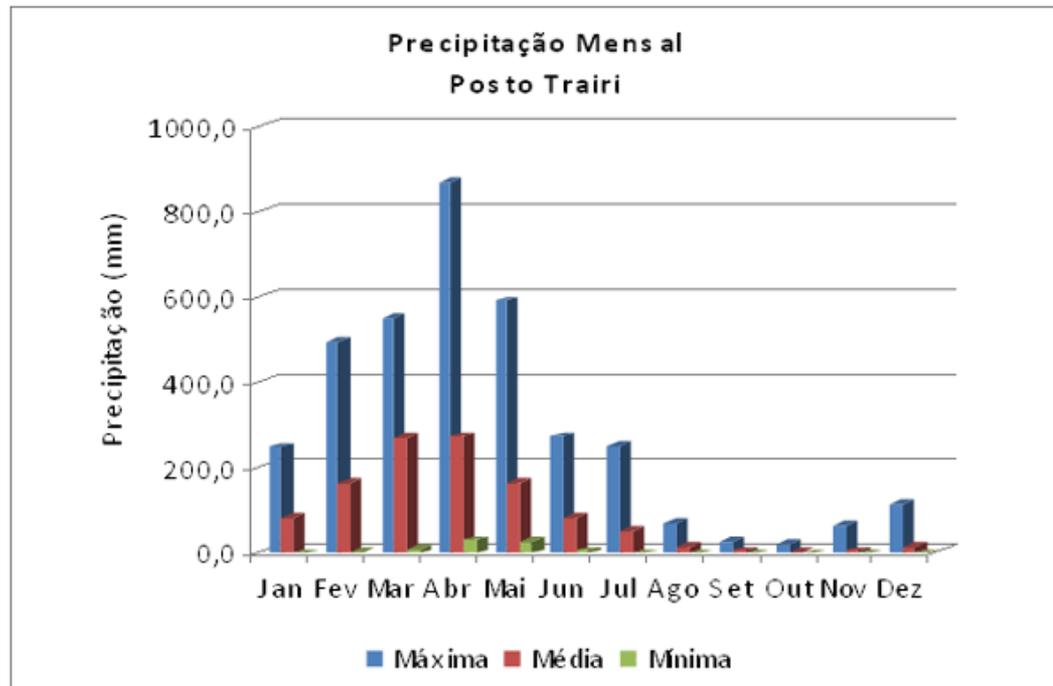


Grandezas características

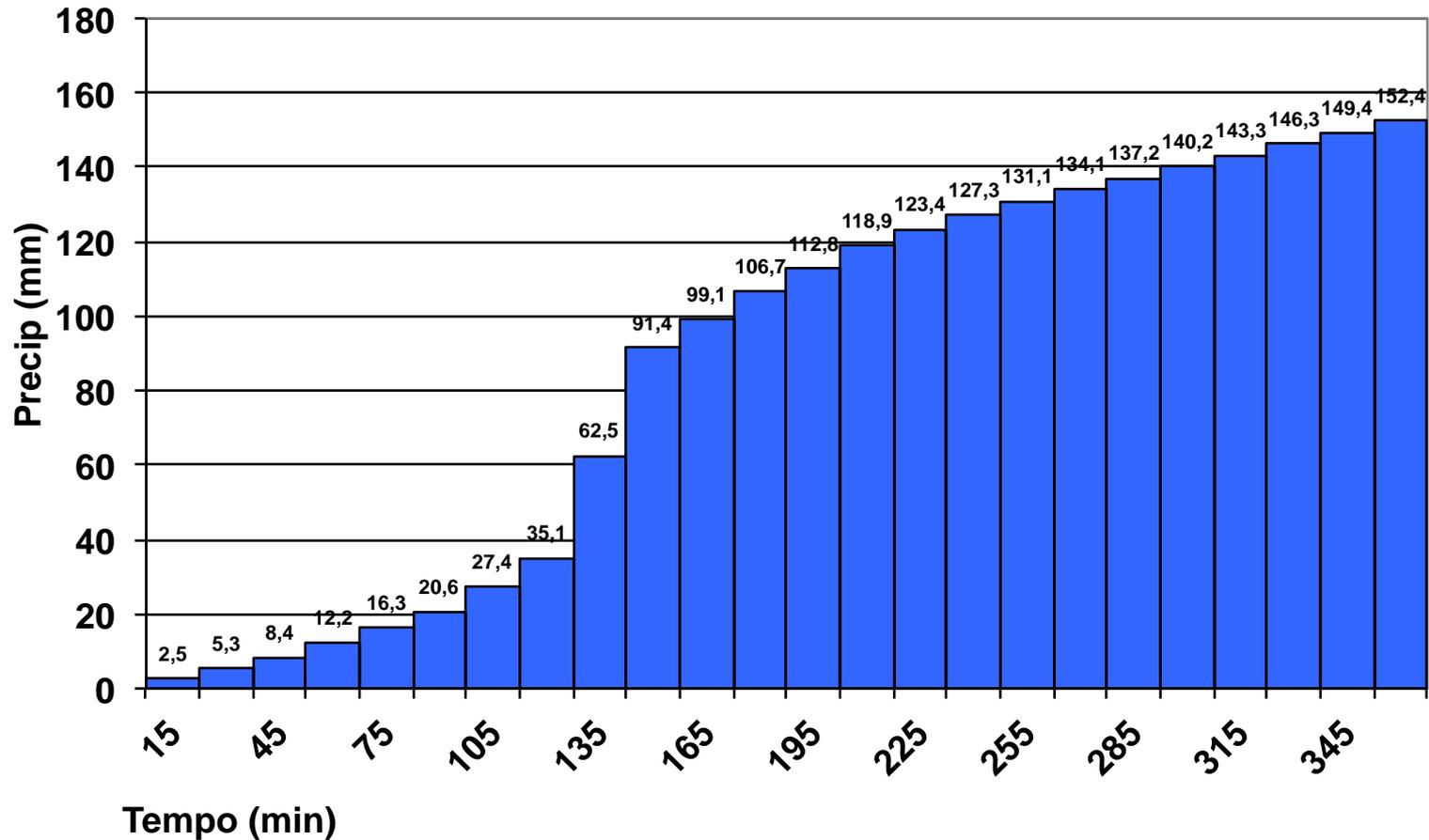
- **Altura pluviométrica (h):** quantidade de água precipitada em uma determinada região, representada pela altura de água acumulada no aparelho. Equivale à lâmina que se formaria sobre o solo como resultado de dada chuva, caso não houvesse escoamento, infiltração ou evaporação. Expressa, normalmente, em mm
- **Duração (t):** intervalo de tempo decorrido entre o instante no qual se iniciou a chuva e o seu término. Expressa, normalmente, em minutos ou horas
- **Intensidade (i):** velocidade da chuva, isto é, $i = h/t$. Expressa, normalmente, em mm/h ou mm/min
- **Frequência (F):** número de ocorrências de uma dada quantidade de precipitação em um dado intervalo de tempo fixo
- **Tempo de retorno, ou Período de Retorno ou Período de Recorrência (T):** representa o tempo médio de anos no qual a precipitação analisada apresente o mesmo valor ou maior. Em geral, considera-se $T_r = 1/F$

Hietograma

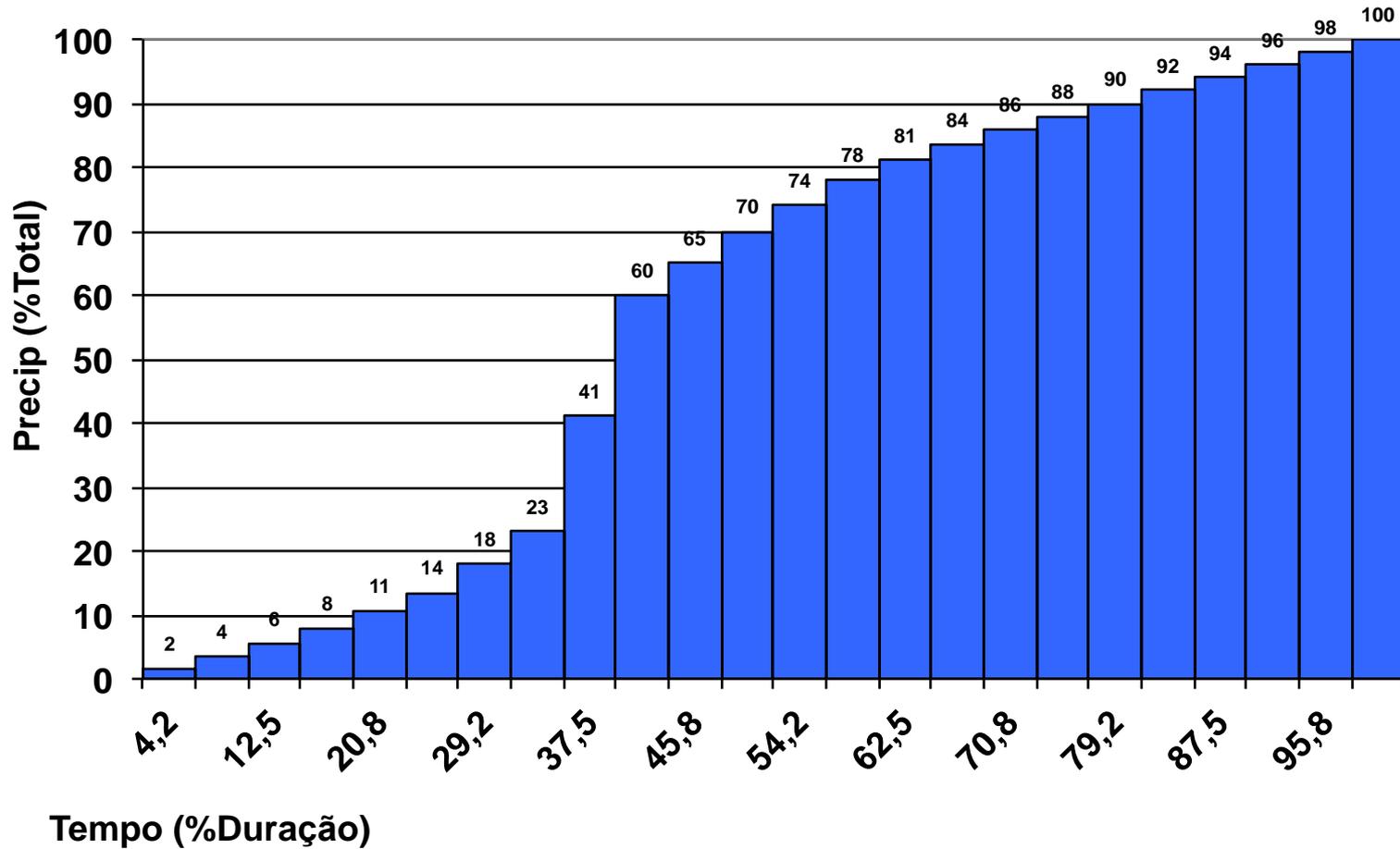
- Gráfico que expressa a precipitação em função do tempo
- Geralmente representado por um gráfico de barras
- Nas ordenadas podem figurar a precipitação acumulada (em mm) ou a intensidade de precipitação (mm/hora)
- Como unidade de tempo, podem ser selecionado minutos, horas, dias, meses ou anos



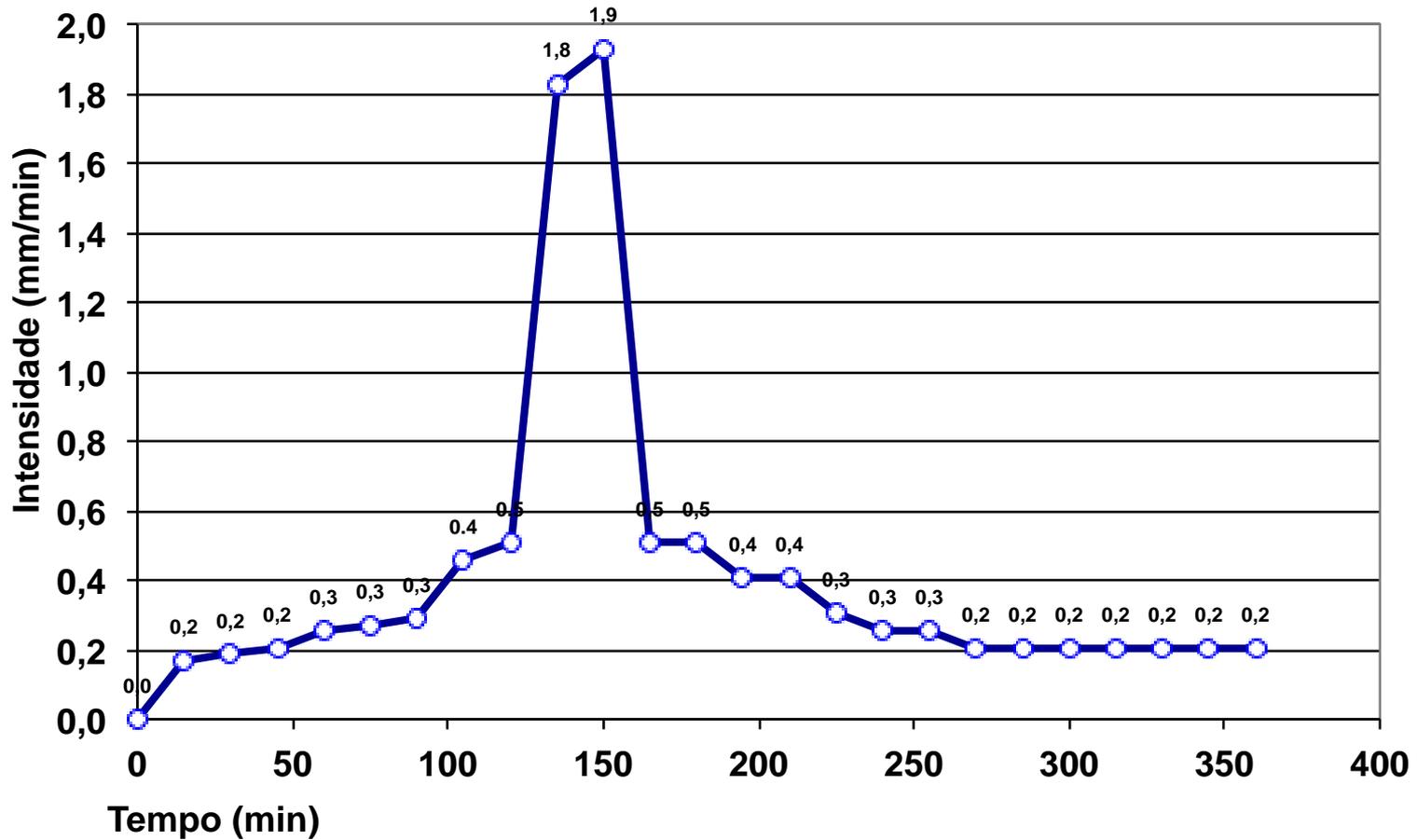
Hietograma acumulado



Hietograma acumulado adimensional



Intensidade x tempo



Curva intensidade-duração

- Expressa a máxima intensidade de precipitação gerada em diversos intervalos de tempo
- Fundamental para o projeto de obras hidráulicas



$$i = \frac{KT^m}{(t + t_0)^n}$$

K , m , t_0 e n são parâmetros a serem estimados

Precipitação média sobre uma bacia

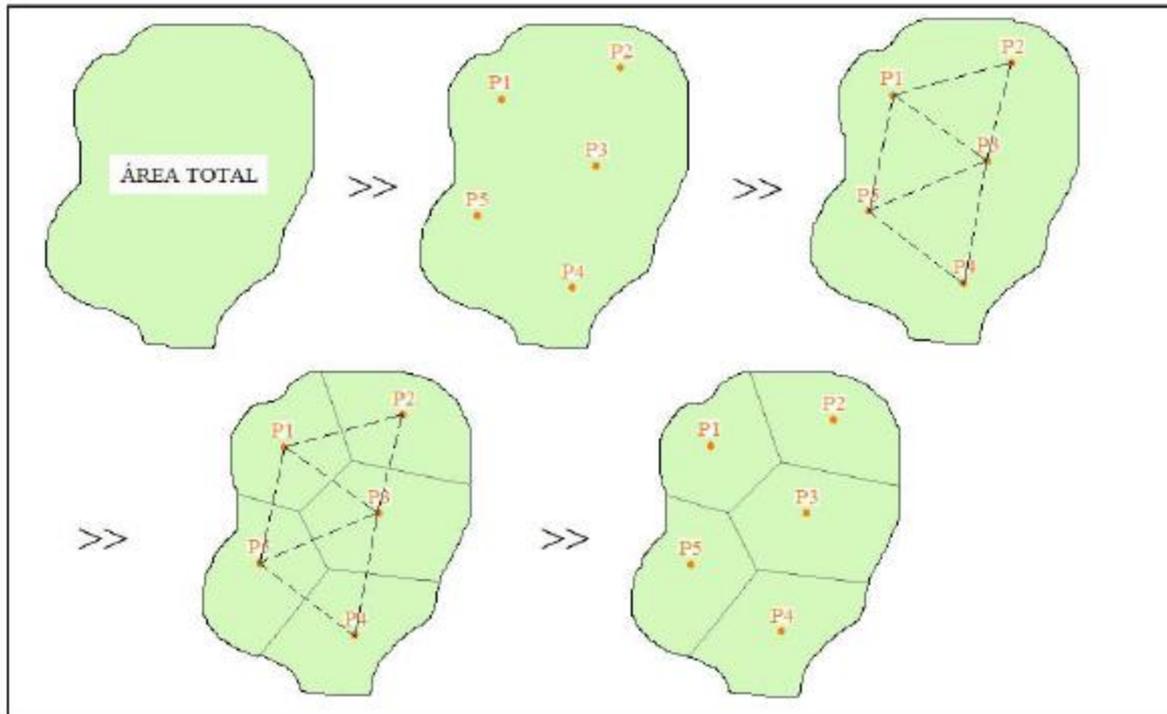
Problema prático:

Qual é o volume precipitado sobre uma bacia hidrográfica que possui mais de um pluviógrafo/pluviômetro?



Polígonos de Thiessen

- Traçado dos polígonos de Thiessen é absolutamente objetivo - não requer subjetividade
- Não considera a influência do relevo

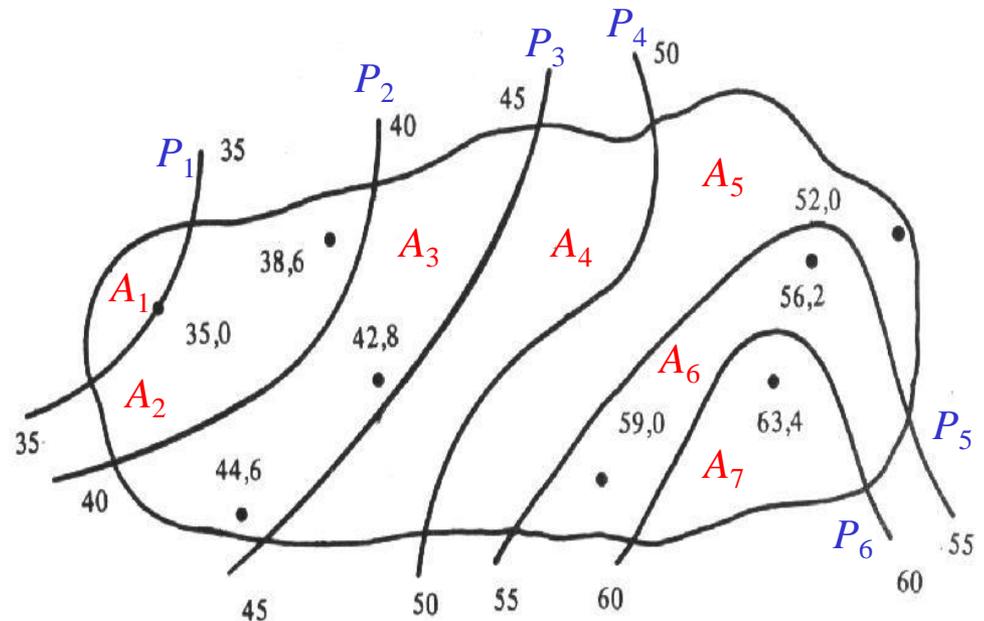


$$P_m = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + \dots + A_n P_n}{A_{total}}$$

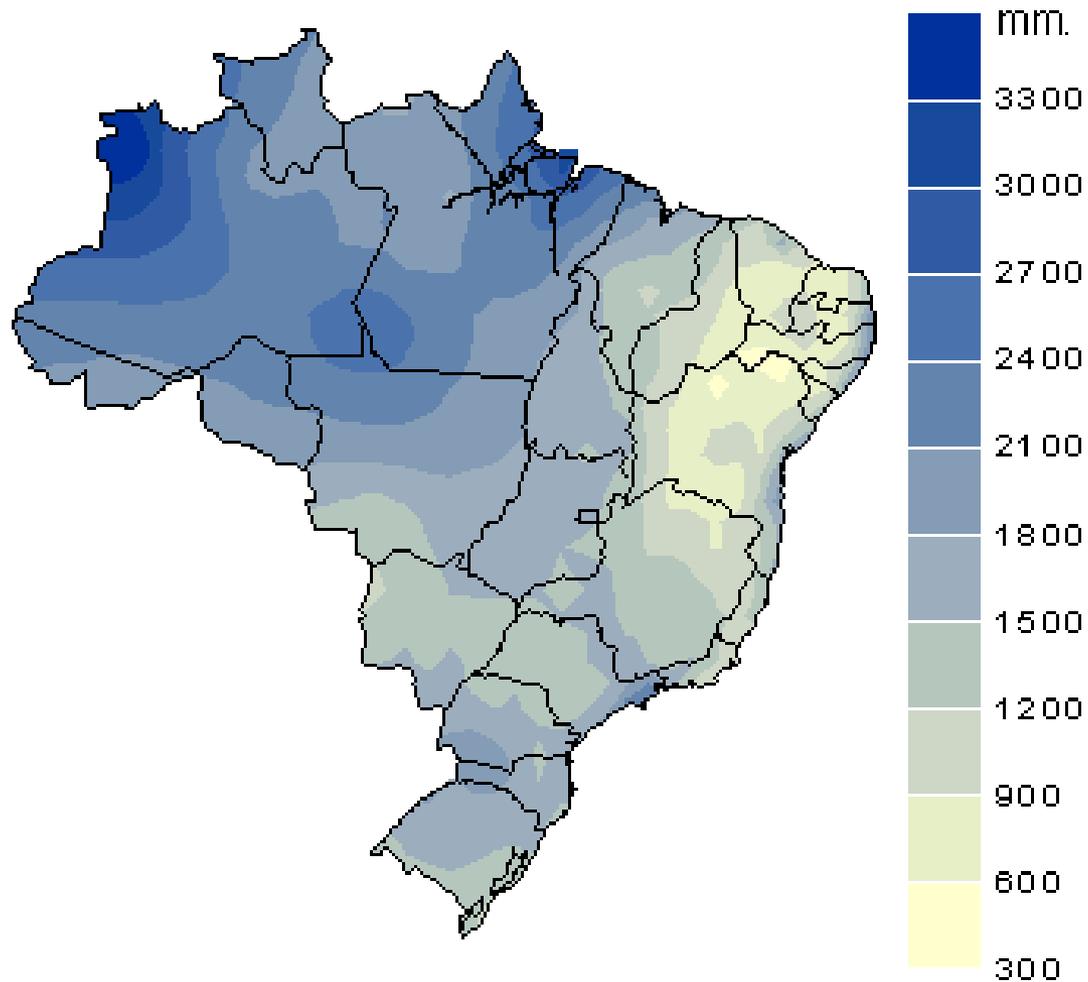
Mapa de isoietas

- Representa a distribuição espacial da precipitação para um período considerado
- Intervalo das isolinhas: depende do período considerado e da extensão da zona de estudo
 - isoietas anuais - curvas de 100 em 100mm
 - isoietas diárias - curvas de 10 em 10 mm (eventos extremos)

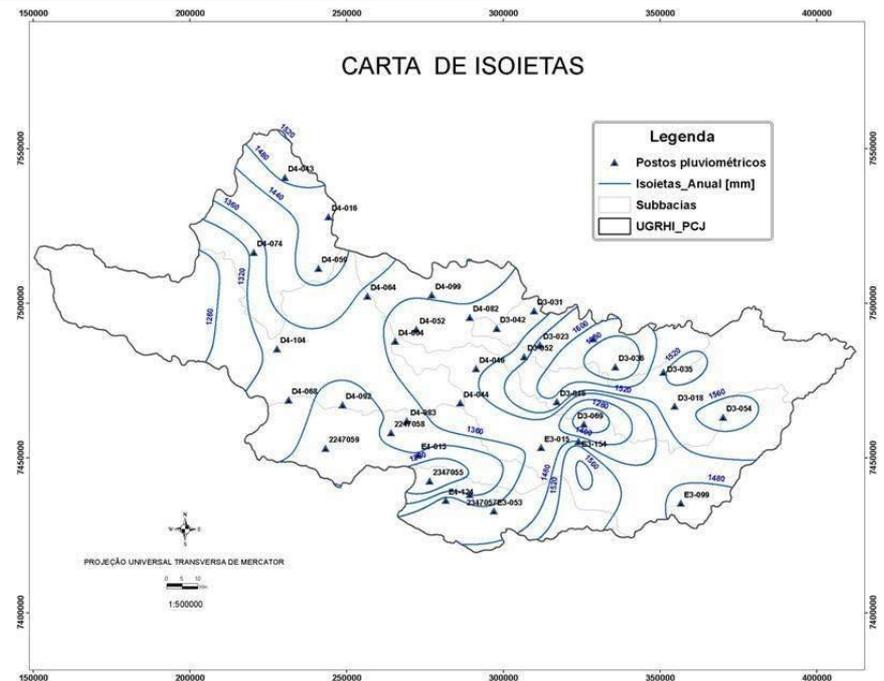
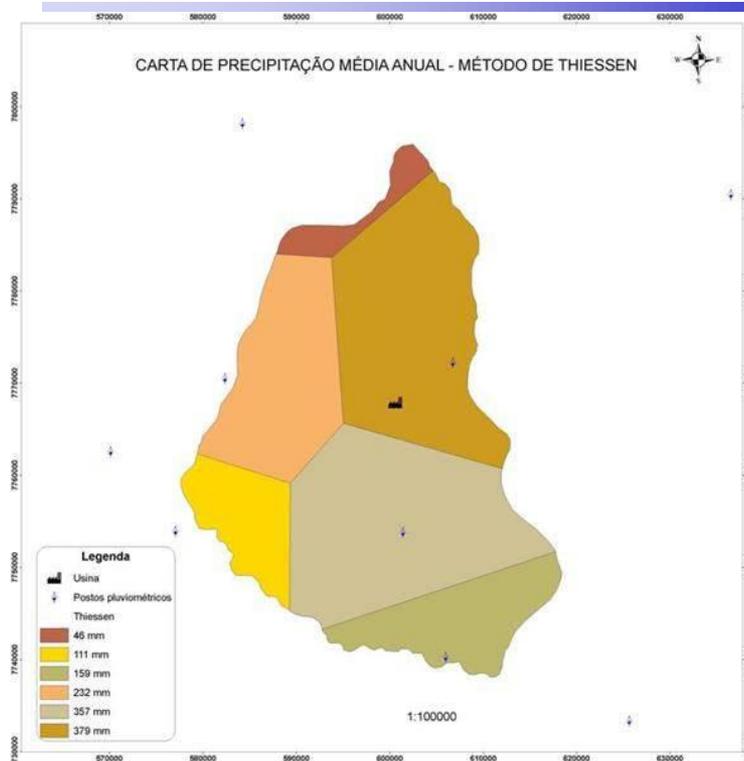
$$P_m = \frac{A_1 P_1 + A_2 \frac{(P_1 + P_2)}{2} + A_3 \frac{(P_2 + P_3)}{2} + \dots + A_n \frac{(P_{n-1} + P_n)}{2}}{A_{total}}$$



Mapa de isoietas



Geoprocessamento/modelagem



Outros métodos interpoladores:

- inverso do quadrado da distância
- krigeagem

Redes hidrometeorológicas

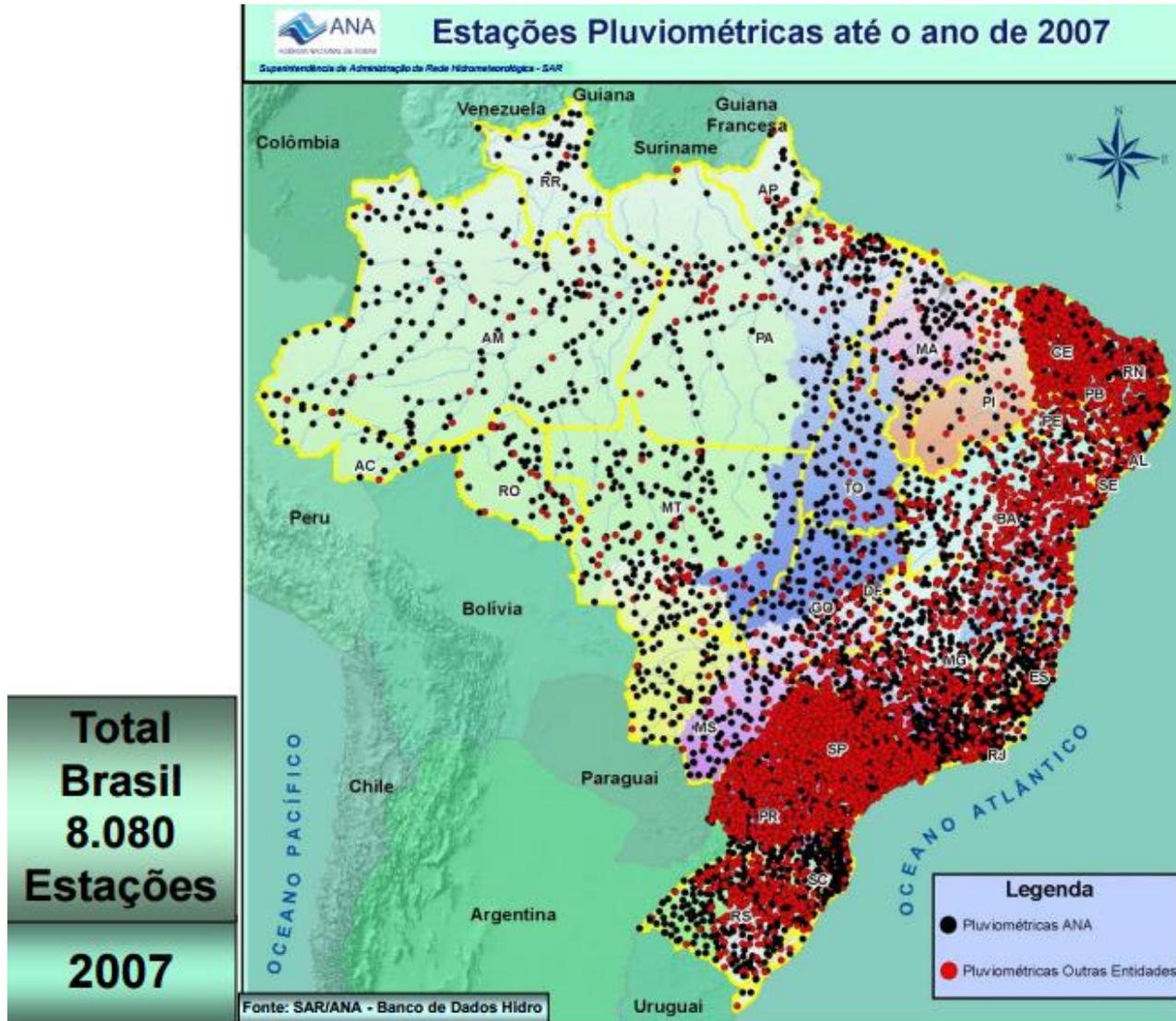
- Cada país dispõe de uma rede de pluviômetros e estes são os dados utilizados para qualquer estudo - raramente se instalam pontos de medida individuais para uma investigação específica
- A rede de pluviômetros deve estar adequadamente distribuída, dependendo do relevo, da densidade populacional, do interesse para obras hidráulicas, previsão de cheias, etc.
- Idealmente recomenda-se que, em áreas planas, deve-se instalar um pluviômetro a cada 250 km², mas em áreas montanhosas, esta densidade deveria ser maior

Rede hidrometeorológica no Brasil

- O Brasil dispõe de uma rede hidrometeorológica com quase 15.000 estações hidrométricas (inclui estações pluviométricas, fluviométricas e evaporimétricas), administradas por organismos federais, setoriais, estaduais e particulares, dentre as quais cerca de 4.500 representam a rede básica nacional - Redes Hidrometeorológicas - em operação, de responsabilidade da Agência Nacional de Águas - ANA
- Portal Hidroweb

The image shows a screenshot of the Hidroweb portal interface. The main content area displays a search form titled "Séries Históricas" (Historical Series). The form includes fields for "Código (8 dígitos)" (Code, 8 digits), "Tipo de Estação" (Station Type), "Nome" (Name), "Rio" (River), "Sub-bacia (código)" (Sub-basin code), "Bacia (código)" (Basin code), "Município" (Municipality), "Estado" (State), "Responsável (sigla)" (Responsible party), "Operadora (sigla)" (Operator), "Estação telemétrica" (Telemetric station), "Altitude (m)", and "Área de drenagem (km2)". A "Listar" (List) button is located at the bottom of the form. The interface also features a navigation menu on the left with options like "Bacias", "Sub-Bacias", "Rios", "Estados", "Municípios", "Entidades", "Estações", and "Séries Históricas". Logos for CPRM, Epagri, AGUASPARANÁ, ITAIPU BINACIONAL, hobeco, and COHIDRO are visible at the bottom of the page.

Estações Pluviométricas



Estimativa de Chuva por Sensoriamento Remoto

Três principais técnicas:

- Infravermelho termal
- Microondas passivo
- Microondas ativo

Radares meteorológicos: SR ativo de micro-ondas

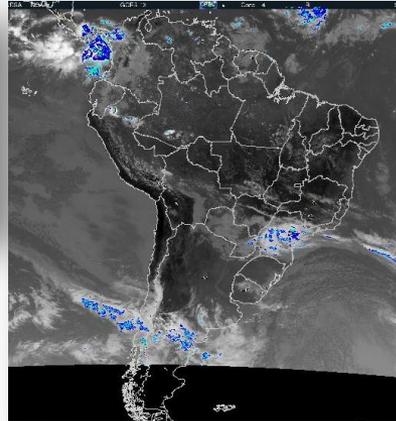


Fonte: INPE CPTEC (2015)

Satélites meteorológicos: SR passivo (visível e NIR) e ativo (micro-ondas)



Fonte: GOES-8



Fonte: INPE CPTEC (2015)

$$Z = aR^b$$

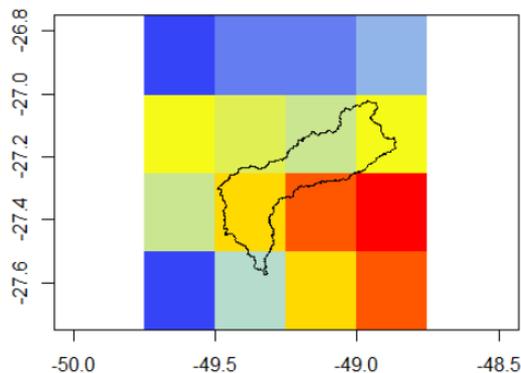
Z é a refletividade recebida

R é a taxa de precipitação

Estimativa de Chuva por Sensoriamento Remoto

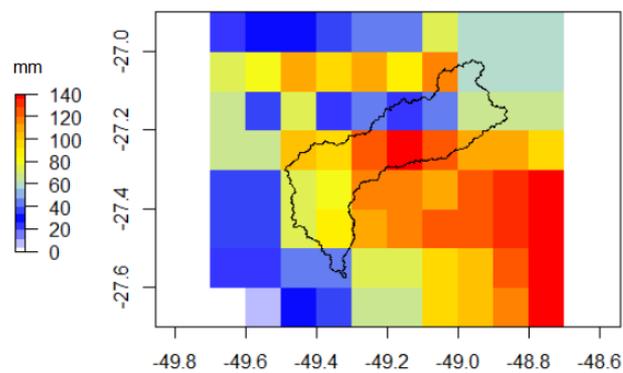
- Programa TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), lançado em 1997, representou uma grande conquista em relação ao futuro da utilização de sensores para a estimativa de precipitação, usando dados de microondas passivo e ativo
- Constelação de satélites GPM (*Global Precipitation Measurement*), lançado em 27 de fevereiro de 2014, torna-se o sucessor do TRMM. Também usa dados de microondas passivo e ativo. Produto IMERG (*Integrated Multi-satellitE Retrievals*) pode melhorar res. temporal quando integra dados de infravermelho termal

TRMM/TMPA



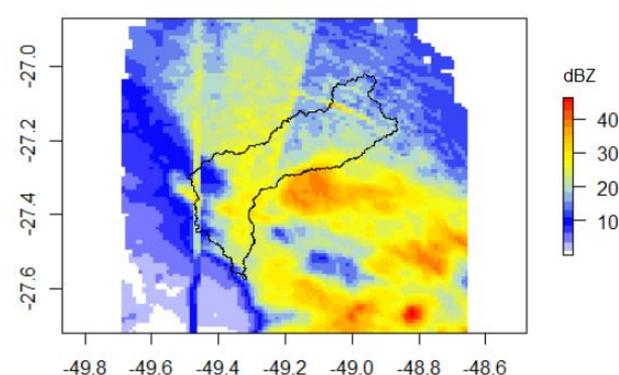
res. espacial 25 km
res. temporal 3 horas

GPM/IMERG



res. espacial 5 km
res. temporal 3 horas (até 30min)

Radar Morro da Igreja



res. espacial 1 km
res. temporal ?

* Reamostrado do GPM/IMERG