

Escola Politécnica da USP
Depto de Engenharia Hidráulica e Sanitária
PHD 307- Hidrologia Aplicada



Instrumentos de Medições Climáticas

Prof. Dr. Rubem La Laina Porto
Prof. Dr. Kamel Zahed Filho
Eng. Msc. Sivana Susko Marcellini

2000

Objetivo

Você deverá, após o estudo deste texto, ser capaz de:

- Saber definir as variáveis temperatura, pressão, evaporação, radiação solar, umidade relativa do ar, ventos e precipitação;
- Saber as formas de medição destas variáveis;
- Ter noção da influência destas variáveis no clima e na hidrologia;
- Saber diferenciar clima e tempo.

Resumo

Esta apostila tem como objetivo auxiliar o aluno no entendimento de algumas variáveis básicas que são responsáveis pela caracterização do tempo e clima. São apresentados os conceitos básicos referentes à temperatura, pressão, evaporação, radiação solar, umidade relativa do ar, ventos e precipitação. Cada item é tratado de uma forma simples, apresentando o conceito, a forma de medição da variável e sua influência no tempo e clima.

Referências Bibliográficas

- Você encontrará em mais detalhes o assunto tratado nesta apostila nas seguintes referências:
 - Chow, V.T.; Maidment, D.R.; Mays, L.W. Applied Hydrology. New York, McGrawHill, 572p. 1988
 - Maidment, D.R. – Handbook of Hydrology. New York, McGrawHill, 1993
 - Hidrologia – Ciência e Aplicação. Carlos E. M. Tucci (organizador). Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, EDUSP e ABRH.
 - Meteorology Today – Na Introduction to Weather, Climate and the Environment – C. Donald Ahrens. West Publishing Company. Minneapolis/St. Paul, New York, Los Angeles, San Francisco (1994).
 - Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos. Flávio Terra Barth...et.al. São Paulo:Nobel:ABRH, 1987.
 - Notas de aula de Hidrometeorologia – Pós-graduação PHD/ESPUSP – Prof.Dr. Augusto José Pereira Filho

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. TERRA E ATMOSFERA	2
3. TEMPERATURA DO AR	3
4. PRESSÃO ATMOSFÉRICA	6
5. EVAPORAÇÃO	11
6. RADIAÇÃO SOLAR	15
7. UMIDADE RELATIVA DO AR	17
8. VENTOS	21
9. PRECIPITAÇÃO	24

1. INTRODUÇÃO

Esta apostila apresenta de uma forma simples o conceito de algumas das variáveis responsáveis pela determinação das características atmosféricas. A ciência que estuda a atmosfera e os seus fenômenos mais criteriosamente é a meteorologia.

Inicialmente é feita uma abordagem sobre a Terra e a atmosfera para que se possa entender melhor os elementos de tempo: temperatura, evaporação, pressão atmosférica, radiação solar, umidade relativa, ventos e precipitação que são apresentados nos itens seguintes. Destes elementos, o que tem influência direta no escoamento superficial é a precipitação, os demais exercem influência na formação da mesma.

Antes de definir os elementos de tempo é importante definir **tempo** e **clima**:

Tempo: é a condição da atmosfera em qualquer lugar e instante específico. Compreende os seguintes elementos: temperatura do ar, pressão do ar, umidade, nuvens, precipitação, visibilidade e ventos. Como exemplo de caracterização de tempo: quando fazemos o comentário de que hoje a temperatura do ar foi de 23 °C.

Clima: se medimos e observamos os elementos de tempo por muitos anos, observaremos um **tempo médio** ou o **clima** de determinada região. O clima representa eventos médios de tempo. Como exemplo, quando fazemos a observação: “aqui os verões são quentes e úmidos”, estamos fazendo uma referência ao clima da região. Esta análise é baseada em observação histórica.

O tempo e o clima ditam algumas regras em nossas vidas. O tempo por exemplo, dita o tipo de roupa iremos usar, enquanto o clima, dita o tipo de roupas que iremos comprar.

O clima também determina o tipo de cultura que deve ser plantada e quando pode ser colhida. Portanto, o clima e o tempo afetam as nossas vidas de muitas maneiras.

2. TERRA E ATMOSFERA

Podemos sobreviver sem alimentos por alguns dias, ou sem água por poucos dias, mas sem a atmosfera não sobreviveríamos mais que poucos minutos. Sem atmosfera não haveria lagos ou oceanos. Não haveria sons, nem nuvens.

A Terra e mais oito planetas giram em torno do Sol. Esses planetas juntamente com os meteoros, asteróides e cometas compreendem o **Sistema Solar**.

O Sol é fundamental para a existência de vida no nosso planeta. É responsável pela emissão de energia radiante que é utilizada para aquecer a atmosfera e oceanos e promover circulações devido à distribuição irregular de sua energia.

A atmosfera é uma camada fina que contém gases, a maior parte composta por nitrogênio (%) e oxigênio (%) e uma pequena parte de outros gases, tais como: vapor d'água e dióxido de carbono.

A atmosfera é formada pelas seguintes camadas (Figura 2.1):

- **Troposfera:** da superfície da terra até cerca de 11 km. É nesta camada onde ocorrem os fenômenos responsáveis pelo tempo sobre a terra. Nela existem as correntes ascendentes e descendentes de ar que influenciam a ocorrência dos fenômenos meteorológicos;
- **Estratosfera** a partir da troposfera numa camada de cerca de 40 km, a presença do ozônio (O₃) é muito importante e responsável pela proteção das plantas, animais e dos seres humanos contra os raios ultravioletas do sol. A concentração média do ozônio nesta camada é menor que 0,002% por volume;
- **Mesosfera** a partir da estratosfera numa camada de cerca de 35 km;

➤ **Termosfera** camada situada a mais de 85 km de altitude;

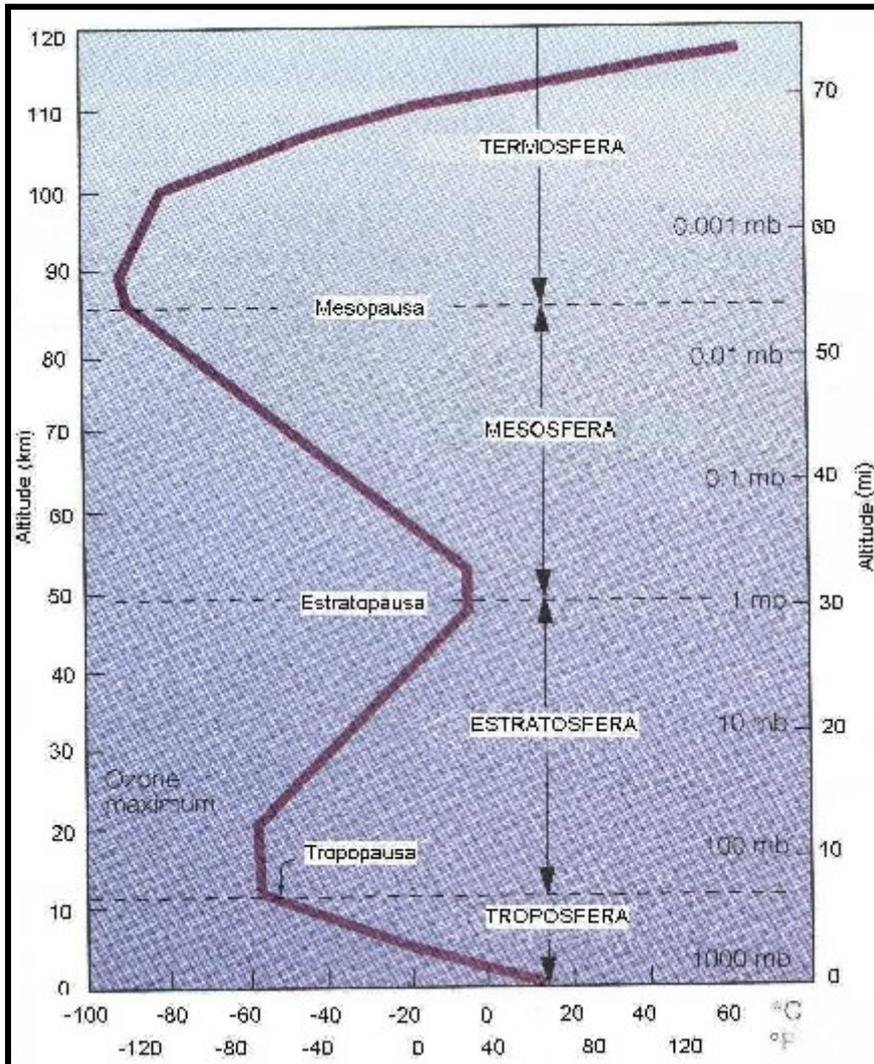


Figura 2.1: Perfil da Atmosfera

Fonte: Ahrens, C.D. (1994)

3. TEMPERATURA DO AR

A **temperatura do ar** é uma medida de sua energia cinética média, ou seja, é uma medida da velocidade média dos átomos e moléculas, onde temperaturas altas

correspondem a velocidades médias altas. Simplificadamente, a temperatura indica o quão quente ou frio alguma coisa está em relação a algum valor padrão.

É importante não confundir **temperatura e calor**, pois **calor** é a energia no processo de transferência de um objeto a outro por causa da diferença de temperatura entre eles.

O movimento da terra em torno do seu próprio eixo, juntamente com o movimento em torno do Sol determinam o número de horas de Sol recebidos na Terra. Esse número é variável no espaço, em função da latitude e altitude.

O nosso planeta gira em torno do Sol e em torno do seu próprio eixo. O caminho completo percorrido em torno do Sol forma uma elipse e leva cerca de 365 dias. A volta completa em torno do seu próprio eixo leva 24 horas completando 1 dia.

A distância da terra ao sol varia durante o ano. Este fato aliado ao número de horas de sol determinam as estações do ano, distintas nos hemisférios Norte e Sul, ou seja, quando é verão no hemisfério Norte é inverno no hemisfério Sul, quando é outono no hemisfério Norte é primavera no hemisfério Sul. Portanto, as variações sazonais são controladas pela **energia solar e pelo ângulo de incidência dos raios solares na Terra**. Também exercem controle sobre a temperatura: a latitude, a proximidade do local com a terra ou da água, a elevação em relação à superfície do mar e as correntes oceânicas.

Os fatores que determinam a **flutuação diária de temperatura** são:

- a entrada da energia solar;
- a saída de energia da terra;
- o tipo de superfície;
- o número de horas de luz solar;
- flutuações anuais: explosões solares.

Os instrumentos mais utilizados para medir a temperatura são:

- **Termômetro de Máxima** ⇒ a coluna de mercúrio dilata quando a temperatura aumenta. Na redução de temperatura a coluna é rompida por uma constrição na conexão com o bulbo. Escala +10 ° C a + 50 ° C . (Figura 3.1)

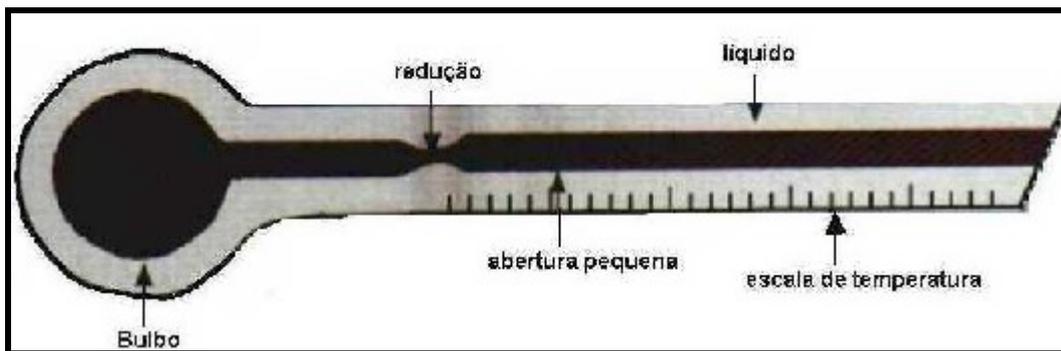


Figura 3.1: Termômetro de máxima

Fonte: Ahrens, C.D.(1994)

- **Termômetro de Mínima** ⇒ coluna de álcool se retrai quando temperatura diminui. Na subida o halteres se fixa na posição. Escala -20 ° C a +40 ° C. (Figura 3.2).
- Comprimento : 35 cm, Suporte : 55cm

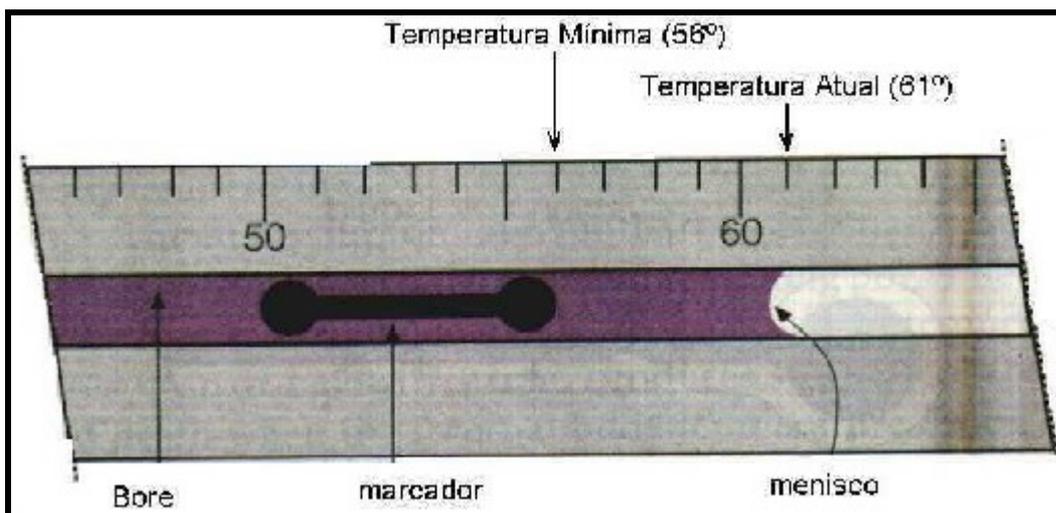
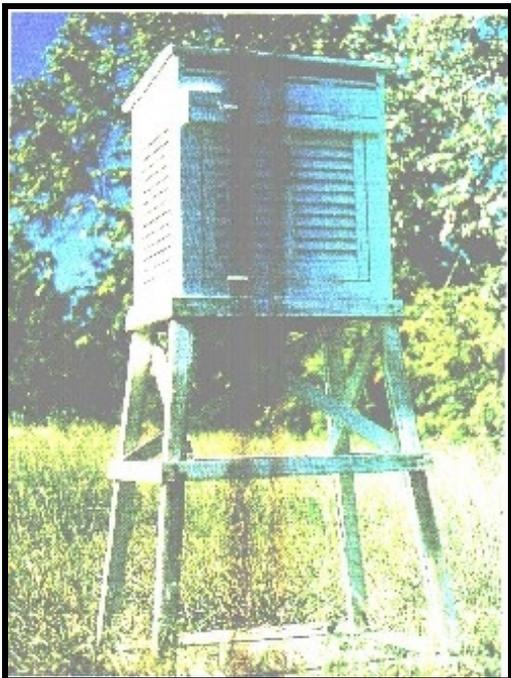


Figura 3.2: Termômetro de Mínima

Fonte: Ahrens, C.D. (1994)

- **Termógrafo** ⇒ um par bi-metálico com coeficientes de dilatação térmica diferentes se deforma com a variação da temperatura. A deformação é conduzida a um registrador gráfico.

A seguir é apresentado na figura 3.3. um abrigo para os instrumentos de medição de temperatura.



Fonte: Ahrens, C.D. (1994)

Figura 3.3: Local de Instalação dos instrumentos: abrigo ventilado

4. PRESSÃO ATMOSFÉRICA

As moléculas de ar ocupam espaço e têm peso. O peso do ar exerce uma força sobre a terra. O total desta força exercida sobre uma área é chamado de pressão atmosférica, ou simplesmente, pressão do ar.

A pressão em qualquer nível na atmosfera pode ser medida em termos do peso total do ar sobre qualquer ponto.

À medida que nos distanciamos em altura da superfície da terra, as moléculas de ar vão diminuindo (o peso diminui) e a pressão atmosférica diminui.

A seguir é apresentado algumas situações de pressões atmosféricas: (Figura 4.1).

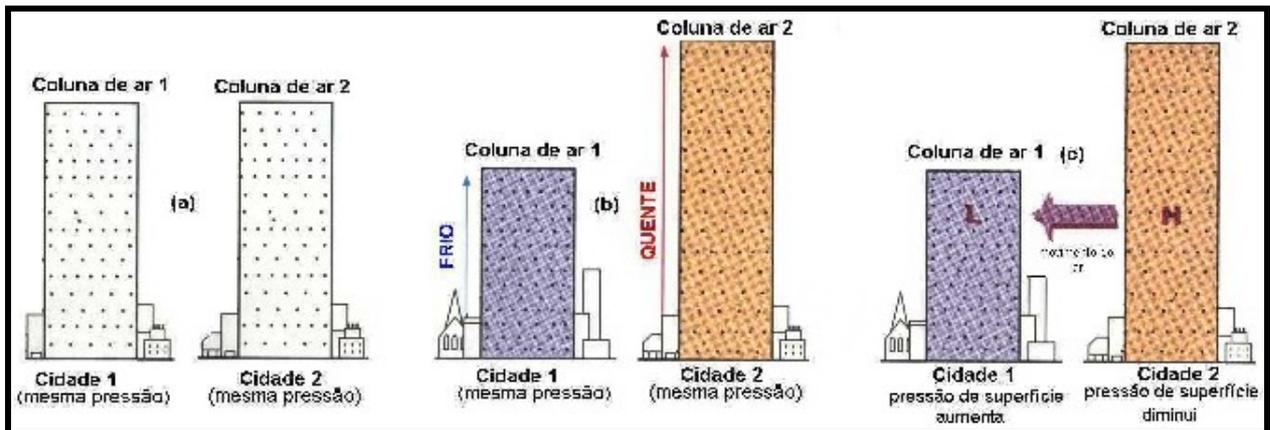


Figura 4.1: Condições de pressão atmosférica

Fonte: Ahrens, C.D. (1994)

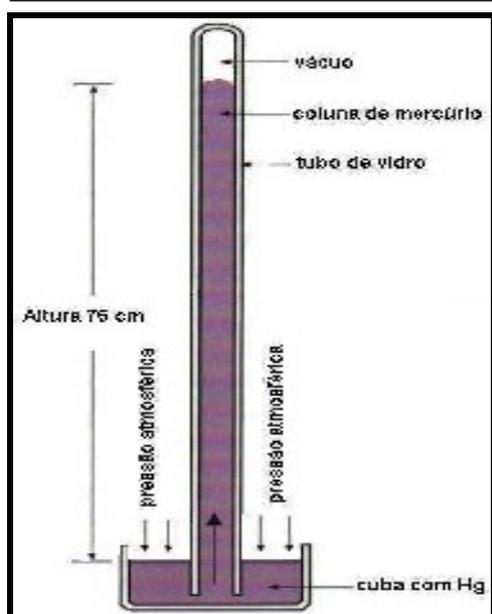
Segundo Ahrens (1994), na condição (a) é suposto duas cidades com colunas de ar com a mesma altura e pressões atmosféricas de superfície idênticas, esta condição indica que deve haver a mesma massa de ar sobre as cidades e a pressão atmosférica de ambas permanecem a mesma.

Na condição (b) o ar sobre a cidade 1 é resfriado e sobre a cidade 2 é aquecido. Como o ar da coluna de ar 1 é frio, as moléculas movem-se mais devagar e ficam mais próximas entre si, ou seja, o ar se torna mais denso. Na cidade 2 com a coluna de ar quente as moléculas se movem mais rapidamente e estão mais afastadas, ou seja, o ar se torna menos denso. Se a largura das colunas não é alterada e se supormos uma barreira invisível entre as colunas de ar, então para conservar a pressão de superfície igual para ambas as cidades, o número total de moléculas acima de cada cidade deve permanecer o mesmo. A coluna de ar mais frio, mais denso, sobre a cidade 1, a coluna de ar encolhe, enquanto a coluna de ar sobre a cidade 2 é menos densa, aumenta e se expande.

Na condição (c), na cidade 1 tem-se uma coluna de ar mais baixa e fria e sobre a cidade 2, tem-se uma coluna de ar mais alta e quente. Para que a coluna de ar frio exerça a mesma pressão da coluna de ar quente, deve-se levar em consideração que: ar frio acima de um determinado lugar está associado com pressão baixa e ar quente acima está associado com pressão alta. A diferença de pressão acima de duas regiões em um mesmo nível de referência faz com que o ar se movimente da região de pressão alta para a de pressão baixa. A remoção do ar da coluna 2 faz com que a pressão de superfície seja reduzida, enquanto a adição de ar na coluna 1 provoca um aumento na pressão de superfície. **Observação:** A diferença na altura entre as duas colunas foi exagerada para que se possa entender o fenômeno.

A pressão pode ser medida por barômetros. Desta forma a pressão também pode ser chamada de pressão barométrica.

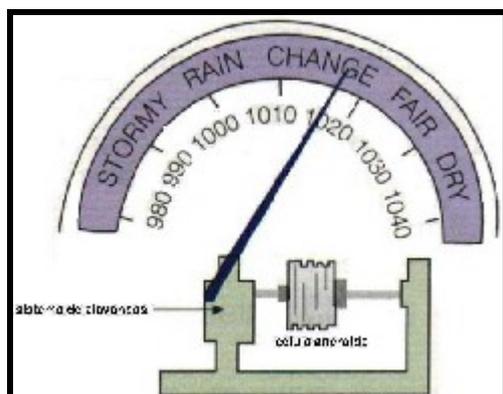
Evangelista Torricelli inventou o barômetro de mercúrio em 1643. Este barômetro é semelhante ao que é usado hoje. Consistia de um tubo de vidro longo, aberto em um dos lados e fechado em outro. Removendo-se o ar do tubo e tampando o lado aberto, Torricelli imergiu a extremidade inferior em uma espécie de tigela com mercúrio. Quando a tampa foi removida o mercúrio subiu até 76 cm acima do nível do prato. Torricelli concluiu que a coluna de mercúrio no tubo foi equilibrada pelo peso do ar acima do prato. Desta forma, esta altura foi considerada uma medida da pressão atmosférica. Foi utilizado o mercúrio devido a sua densidade. A seguir é apresentado o Barômetro de Mercúrio na figura 4.2.



Fonte: Ahrens, C.D.(1994)

Figura 4.2 Barômetro de Mercúrio

O tipo mais utilizado de barômetro é o de cápsula aneróide. (Figura 4.3).



Fonte: Ahrens, C.D. (1994)

Figura 4.3. Barômetro Aneróide

Este não contém fluido. No interior deste instrumento há uma caixa pequena de metal flexível chamada cápsula aneróide. A célula é hermeticamente selada, o ar é parcialmente removido, de tal maneira que pequenas alterações na pressão do ar externo, faz com que a cápsula se contraia ou se expanda. O tamanho da cápsula é calibrado para representar pressões diferentes e qualquer alteração no seu tamanho é amplificado por alavancas e transmitidas para um braço indicador (ponteiro ou agulha)

que apontará para a pressão atmosférica medida. Muitas vezes no aparelho vem escrito acima dos valores de pressão palavras relacionadas ao tempo. Estas indicam as condições de tempo mais provável. Geralmente, quando a pressão é alta é provável que ocorra tempo bom e leituras de pressão mais baixas indicam chances de mau tempo. Isto porque áreas com alta pressão de superfície estão associadas a uma subsidência de ar e normalmente tempo moderado, enquanto áreas com baixa pressão de superfície estão associadas com o levantamento do ar e normalmente tempo úmido e nublado.

O altímetro e o barógrafo são dois tipos de barômetros aneróides. Os altímetros são barômetros aneróides que medem a pressão, mas são calibrados para indicar a altitude. Os barógrafos são barômetros aneróides registradores, consistem de uma pena presa a um braço que registra continuamente a pressão sobre um papel. O papel é preso a um tambor que rotaciona suavemente por um mecanismo interno de relógio. (Figura 4.4)

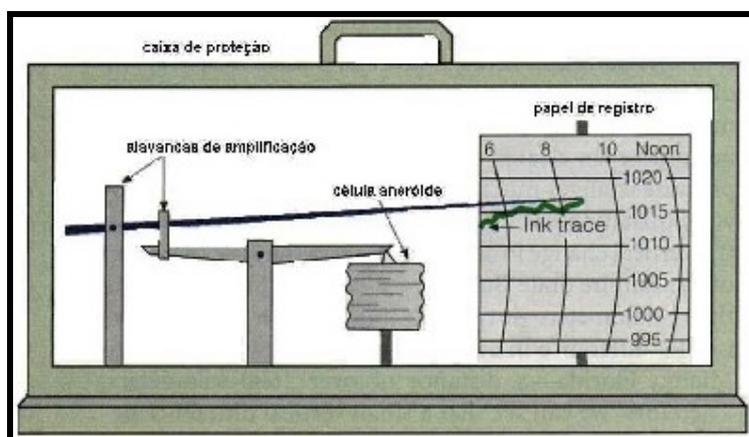


Figura 4.4: Barógrafo Fonte: Ahrens, C.D. (1994)

Em mapas de tempo de superfície a unidade de pressão geralmente usada é:

$$1\text{bar} = 1000\text{mb} = 1000\text{hPa}$$

A unidade comum de pressão usada em aviação é polegada (in.) de mercúrio (Hg). Ao nível do mar a pressão atmosférica padrão é:

1013,25 mb = 29,92 in.Hg = 76 cm

A unidade de pressão determinada pelo Sistema Internacional (SI) de medida é o **Pascal**.

1 pascal (Pa) é a força de 1 Newton sobre a superfície de 1m^2 . Assim, 100 pascals é igual a 1 milibar. A comunidade científica usa muitas vezes o (Kpa) como unidade de pressão preferida, onde $1\text{Kpa} = 10\text{mb}$. A unidade mais conveniente é : **1 hPa = 1 mb**.

A distribuição vertical da temperatura, pressão e umidade até a altitude de 30 km pode ser obtida com um instrumento chamado radiossonda. A radiossonda é uma caixa pequena e leve equipada com instrumentos de tempo e um rádio transmissor. É ligada a uma corda que tem um pára-quedas e um balão de gás. Quando o balão sobe a radiossonda mede a temperatura do ar com um sensor de temperatura pequeno – um termistor localizado do lado de fora da caixa. A umidade é medida eletricamente enviando uma corrente elétrica através de uma placa coberta por carbono. A pressão do ar é obtida por um barômetro localizado do lado de dentro da caixa. Todas as informações são transmitidas para a superfície por um rádio.

5. EVAPORAÇÃO

É a passagem da água do estado líquido para o gasoso (vapor) sob o efeito da energia solar. Os principais fatores que influenciam a evaporação são:

- Vento;
- Temperatura da água;
- Umidade do ar;
- Presença de massas de água, rios, lagos e oceanos.

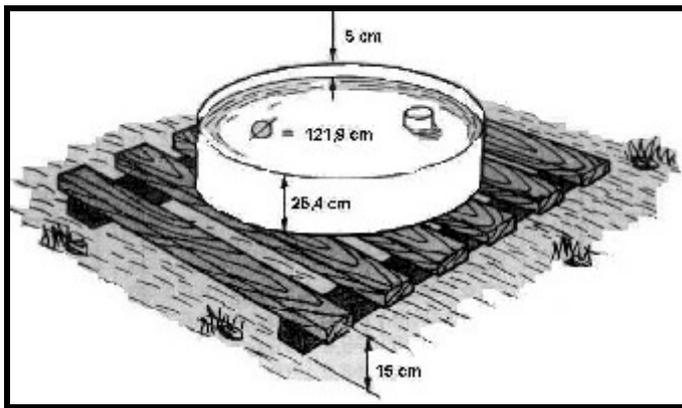
O vento aumenta a evaporação. A temperatura da água também influencia. A água quente evapora mais rápido do que a água fria. A razão para este fenômeno é que quando a água é aquecida, as moléculas de água se agitam com o aumento da velocidade. Em temperaturas altas uma fração grande de moléculas têm velocidade suficiente para romperem a tensão superficial da água e fogem para o ar. Conseqüentemente, o aquecimento da água aumenta a taxa de evaporação.

A evaporação pode ser medida pelos seguintes equipamentos:

- **Tanque Classe A**
- **Tanque enterrado (GGI)**
- **Tanque de 20 m²**
- **Tanque Flutuante**
- **Evaporógrafo de Balança**
- **Atmômetros**

Os tanques de evaporação têm sido utilizados por muitos anos para estimativas em reservatórios. A popularidade dos tanques é devida ao fato de serem baratos e de simples operação. Entre os vários tipos de tanque, os mais utilizados são:

- **Tanque Classe A:** é de grande utilização no Canadá e nos Estados Unidos, o tanque classe A é cilíndrico com 121,9 cm de diâmetro, 25,4 cm de profundidade, sendo instalado sobre estrados de madeira à 15 cm da superfície do solo. É construído de chapa galvanizada, sendo o nível de água mantido durante a operação entre 50 e 75 mm, a partir do bordo superior. As medidas de altura de lâmina evaporada são realizadas com uma ponta de medida acoplada à um poço tranquilizador. Quando no período ocorrer chuva, correções devem ser feitas pelo pluviômetro. Medidas simultâneas de vento a 2 m e de temperatura da água devem ser realizadas, embora esta seja próxima da temperatura do ar. A figura 5.1. mostra um Tanque Classe A.



Fonte: Ahrens, C.D. (1994)

Figura 5.1: Tanque Classe A – U.S. Weather Bureau

- **Tanque GGI - 3000:** Trata-se de um tanque cilíndrico, com diâmetro interno de 61,8 cm e altura de 60 cm, sendo enterrado no solo, com borda de 7,5 cm acima da superfície. A medida da alteração do nível de água (altura de lâmina evaporada) é feita com um copo volumétrico.
- **Tanque de 20 m²:** Trata-se de um tanque cilíndrico de fundo plano construído em chapa de ferro de $\frac{1}{4}$ de polegada de espessura, parede lateral de chapa $\frac{3}{16}$ polegadas, diâmetro de 5 m e altura de 2 m. O tanque é enterrado e as medidas de evaporação são feitas com copo volumétrico.
- **Evaporógrafo de Balança :** Trata-se de um aparelho composto por uma balança de precisão com prato próprio para a colocação de água, e uma agulha sensível que registra as modificações na massa do prato. Inicialmente, o prato é enchido com uma determinada massa de água. A medida que essa água evapora a agulha registra a variação de sua massa, construindo um gráfico de evaporação (em mm) por tempo.

Como se trata de um aparelho sensível deve ser instalado sobre um abrigo. Desta forma, simulam-se as condições de evaporação de um solo à sombra de uma cultura (café, por exemplo). Por esse motivo o evaporógrafo de balança é bastante utilizado na agricultura.

- **Atmômetros** ; De acordo com Livingston, atmômetro é qualquer instrumento de qualquer forma usado para a medição ou estimativa de diferentes intensidades de evaporação. Os principais tipos de atmômetros são descritos a seguir:

- **Atmômetro de Livingston** : É essencialmente constituído por uma esfera oca de porcelana porosa de cerca de 5 cm de diâmetro e 1 cm de espessura. A esfera é cheia de água destilada que assegura o permanente enchimento da esfera e permite a medida do volume evaporado.

- **Atmômetro de Bellani** : É semelhante ao atmômetro de Livingston com a diferença de que a esfera é substituída por um prato liso.

- **Atmômetro de Piche** : É constituído por um tubo cilíndrico de vidro de 25 cm de comprimento e 1,5 cm de diâmetro (Figura 5.2). O tubo é graduado e fechado em sua parte superior; a abertura inferior é obturada por uma placa circular de papel-filtro padronizado, de 30 mm de diâmetro e de 0,5 mm de espessura, fixado por capilaridade e mantido por uma mola. O aparelho é previamente cheio de água destilada, a qual se evapora progressivamente pela folha de papel-filtro. A diminuição do nível de água no tubo permite calcular a taxa de evaporação.



Figura 5.2: Atmômetro Fonte; Ahrens, C.D. (1994)

Os atmômetros não são bons instrumentos de avaliação da evaporação. O atmômetro de Livingston apresenta diferentes valores de evaporação de acordo com a cor da esfera de porcelana (pode ser branca ou preta), que afeta a absorção da radiação solar. No caso do atmômetro de Piché, ele é instalado debaixo de um abrigo para proteger o papel filtro da chuva e em conseqüência disto o aparelho não leva em conta a influência da insolação.

6. RADIAÇÃO SOLAR

A energia transferida do sol para qualquer corpo por meio de ondas eletromagnéticas é chamada de **energia radiante ou radiação solar**. Esta viaja na forma de ondas que liberam energia quando são absorvidas por um objeto.

A maioria da energia do sol é emitida da sua superfície, onde a temperatura é aproximadamente 6000 K.

A radiação solar é muitas vezes chamada de ondas curtas. Os comprimentos de ondas são expressos por (λ), esta é a distância medida ao longo de uma onda entre uma crista e outra. O espectro eletromagnético do sol apresentado na figura 6.1 :

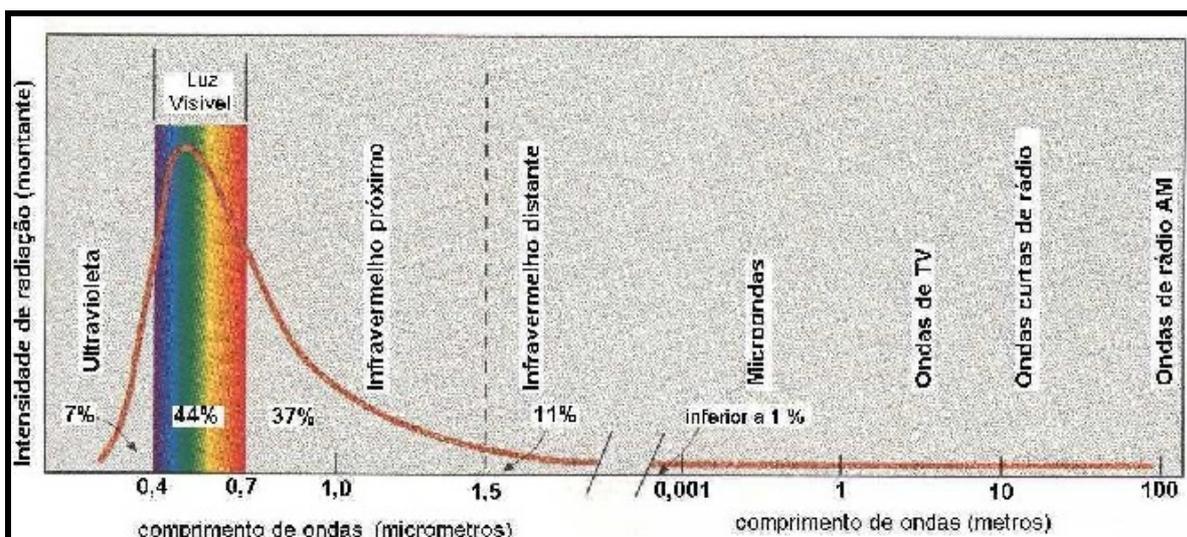


Figura 6.1: Faixa do Espectro Eletromagnético do Sol

Fonte: Ahrens, C.D. (1994)

- Os nossos olhos são sensíveis à radiação entre $0,4$ e $0,7 \mu\text{m}$, estas ondas alcançam os nossos olhos e simulam a sensação de cor. Esta porção é chamada região do visível e a luz é chamada luz visível. O sol emite 44% de sua radiação nesta zona, com um pico de energia encontrado no comprimento de onda correspondente às cores azul-verde.
- Os comprimentos de onda menores do que o violeta correspondem aos raios ultravioletas (UV). Os raios X caem nesta faixa. O sol emite cerca de 7% da sua energia total em comprimentos de onda ultravioletas.
- Os comprimentos de onda mais longos presentes na luz visível correspondem à cor vermelho. Os comprimentos maiores do que o vermelho ($0,7 \mu\text{m}$) são os raios infravermelhos. Estas ondas não podem ser vistas pelos humanos.

A radiação solar é medida através dos seguintes equipamentos:

- Heliógrafo - Esfera de Cristal que mede a duração da insolação local. (Figura 6.2)

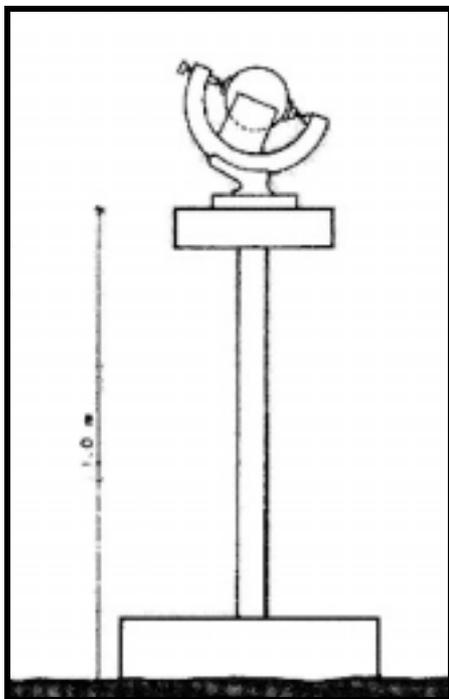


Figura 6.2 Heliógrafo

- Actinógrafo - Mede o nível de energia incidente no solo

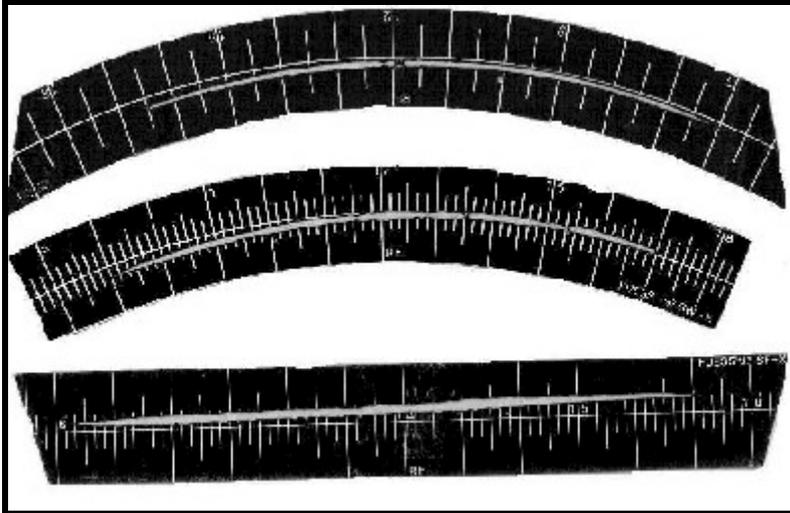


Figura 6.3: Exemplo de heliograma

7. UMIDADE RELATIVA DO AR

É a medida mais comum para descrever a umidade atmosférica. É definida como a relação entre a quantidade de vapor d'água existente no ar sobre a quantidade máxima de vapor d'água necessária para a saturação naquela temperatura e pressão particular. É a relação da quantidade de vapor d'água existente pela sua capacidade.

Também pode ser definida como a relação entre a pressão de vapor no local sobre a pressão do vapor de saturação. A umidade relativa é dada em porcentagem.

A figura 7.1 mostra a curva de pressão de vapor d'água.

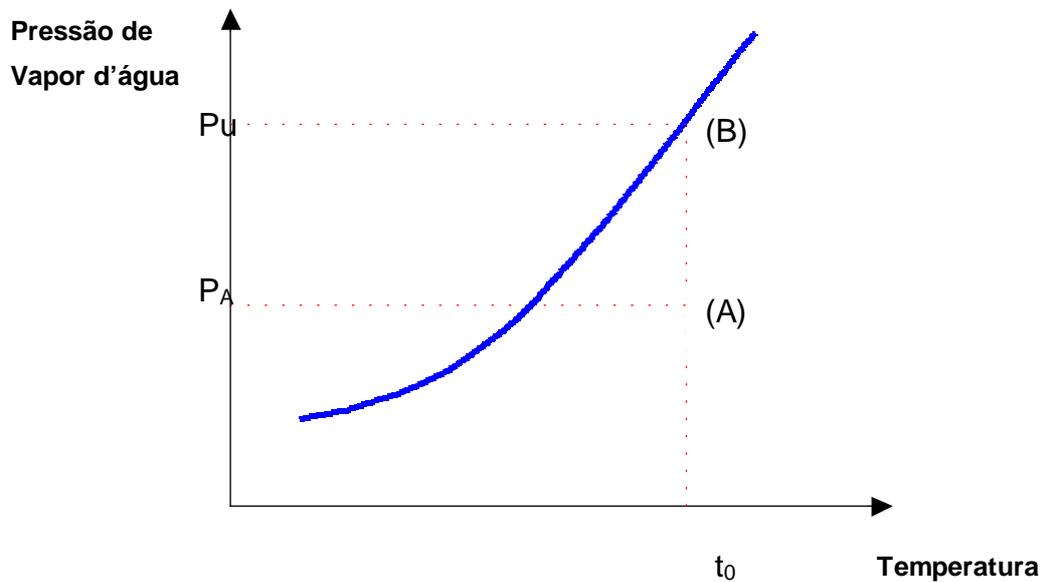


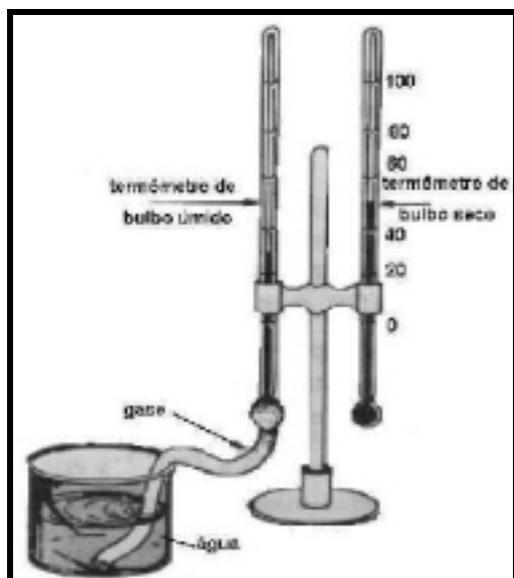
Figura 7.1. Curva da pressão do vapor da água

Para uma dada temperatura (t_0) do ar, a pressão de vapor d'água é dada pela lei apresentada, indicada no **ponto B**. Para essa mesma temperatura tem-se uma pressão parcial do vapor d'água na atmosfera, indicada no **ponto A**. A relação $\frac{P_A}{P_u} \times 100$ indica a umidade relativa do ar.

A umidade relativa pode ser medida através dos seguintes equipamentos:

- **Psicrômetro** : (termômetros de bulbo seco e úmido). Consiste de dois termômetros em vidro montados lado a lado e ligados por um pedaço de metal que tem ou um cabo ou uma corrente no final (Figura 7.2). Os termômetros são semelhantes exceto que um tem um pedaço de pano cobrindo o bulbo. O termômetro coberto é chamado de bulbo úmido, é molhado em água limpa, enquanto o outro é conservado seco. A energia dispendida para evaporar a água da gaze que envolve o bulbo do termômetro provoca uma redução da temperatura registrada. Em função da diferença das temperaturas dos dois termômetros e da

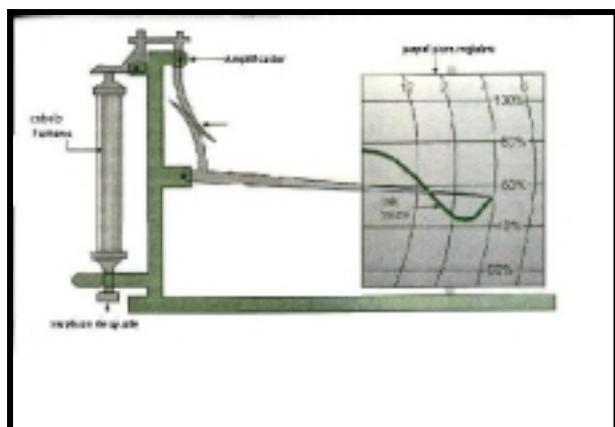
pressão atmosférica local pode-se calcular a umidade relativa do ar, baseando-se na Lei de Dalton dos gases.



Fonte: Villela, S.M. (1975)

Figura 7.2: Psicrômetro

- **Higrógrafo:** um deles é o higrógrafo de cabelo – é construído sobre o princípio da alteração do comprimento do cabelo humano (ou cavalo) para medir a umidade relativa. Um certo número de feixes de fios de cabelo são ligados a um sistema de alavancas. Uma pequena alteração no comprimento dos fios de cabelo é ampliada por um sistema de alavancas e transmitidos a um disco. É calibrado para baixa umidade relativa que pode ser lida diretamente ou registrada num papel. (Figura 7.3)



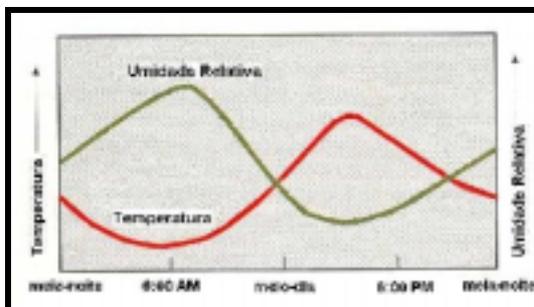
Fonte: Ahrens, C.D. (1994)

Figura 7.3: Higrógrafo

O ar com 100% de umidade relativa é dito ser um ar saturado e é preenchido totalmente com vapor d'água (condição só existente na base da nuvem, pode ser maior do que 100%, aproximadamente 102%). Se a quantidade de vapor d'água no ar é aumentada ou diminuída a umidade relativa é alterada.

Se a quantidade de vapor d'água do ar varia suavemente durante o dia inteiro e é a alteração da temperatura do ar que regula principalmente a variação diária na umidade relativa. Durante a noite com o ar frio a umidade relativa aumenta. Normalmente, a umidade relativa mais alta ocorre de manhã, durante a parte mais fria do dia. A medida que o ar vai esquentando durante o dia a umidade relativa vai diminuindo. Sendo que o menor valor de umidade relativa ocorre durante o período mais quente da tarde.

Na figura 7.4. pode-se observar a variação da umidade relativa com a temperatura do ar no decorrer de um dia.



Fonte: Ahrens, C.D. (1994)

Figura 7.4: Variação da umidade relativa e da temperatura do ar

Estas alterações na umidade relativa são importantes na determinação da quantidade de evaporação da vegetação e das superfícies líquidas. Por exemplo, se regamos a grama em uma tarde quente, quando a umidade relativa é baixa, a água evaporará rapidamente, ao invés de ser absorvida pela terra. Regando a mesma grama à tardinha (ou pela manhã) quando a umidade relativa é mais alta, reduzirá a evaporação e aumentará a eficiência da rega.

8. VENTOS

O vento é o ar em movimento, é invisível, mas temos evidências da sua proximidade em todo o lugar. Por exemplo, através da erosão causada em pedras, movendo folhas, partículas de areia, assoprando fumaça, elevando o vapor d'água, onde pode condensar em nuvens. As diferenças na pressão atmosférica numa superfície horizontal causam o movimento do ar e em consequência o vento assopra.

A **força de Coriolis** é uma força aparente que é devida à rotação da Terra, influencia apenas a direção do vento. Esta faz com que o vento desvie para a direita do seu caminho normal no hemisfério Norte e à esquerda do seu caminho no hemisfério Sul. A quantidade do desvio é função da rotação da Terra, da latitude e da velocidade do objeto.

O vento é caracterizado pela sua **direção e velocidade**.

Os instrumentos de medida do vento são:

- **Wind vane** : determina a direção do vento. Consiste de uma haste longa com uma seta na ponta. É ligada a uma haste vertical que permite mover livremente. A seta sempre apontará para a direção do vento. (Figura 8.1)
- **Anemômetro**: mede a velocidade do vento. Como exemplo, tem-se o anemômetro de canecas (Figura 8.1). Este consiste de 3 ou mais copos montadas em uma haste vertical. A diferença na pressão do vento de um lado do copo e de outro faz com que o copo gire sobre a haste. A taxa em que os copos giram é diretamente proporcional à velocidade do vento. O giro dos copos ou conchas é traduzido em velocidade do vento através de um sistema de engrenagens e pode ser lido de um disco ou transmitido para um registrador.

Existem algumas escalas de movimento dos ventos para fim de análise:

- **Microescala:** quando são considerados os movimentos caóticos pequenos ou redemoinhos. Isto é observado quando se analisa a fumaça que sai de uma chaminé numa área industrial de uma cidade.
- **Mesoescala:** quando se considera a circulação de ar de uma cidade inteira.
- **Macroescala:** circulações de ar que dominam regiões de grande magnitude e duram dias ou semanas.

Alguns exemplos podem ser vistos na figura 8.3.

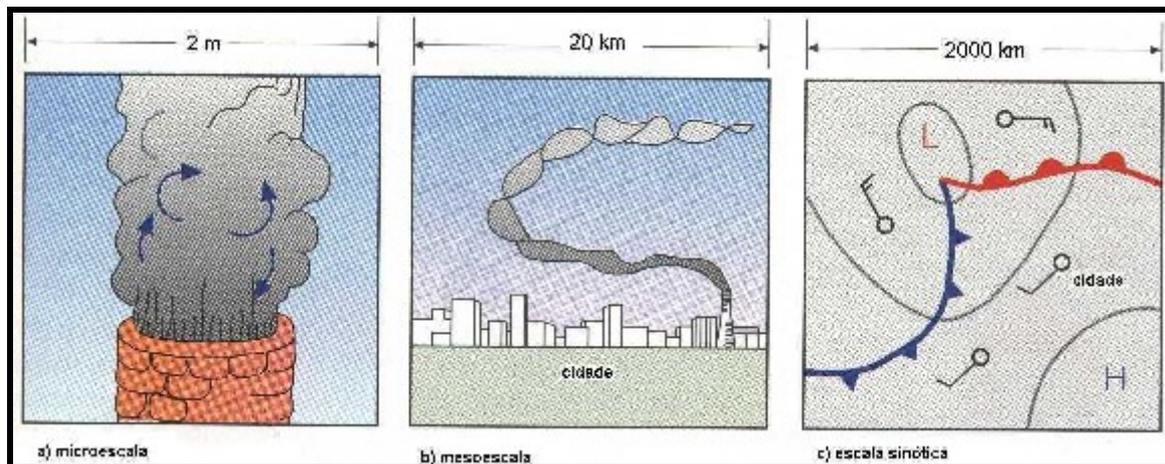


Figura 8.3: Escala de movimento dos ventos

Fonte: Ahrens, C.D. (1994)

O vento é um fator significante nas construções residenciais e comerciais tanto na sua influência no cálculo estrutural, quanto na análise do conforto térmico da construção que poderá sofrer influência da direção do vento dominante na região. Influencia diretamente a capacidade de evaporação, pois é o elemento que afasta a massa de vapor da região onde está sendo evaporada a água.

9. PRECIPITAÇÃO

Precipitação é o termo genérico dado a água líquida ou partícula de gelo que seja grande o suficiente para cair sobre o solo.

Muitos consideram a chuva como qualquer gota de água líquida que cai sobre o solo. Entretanto para os meteorologistas as gotas que caem devem ter um diâmetro igual ou superior a 0,5 mm para ser considerada **chuva**. As gotas menores do que 0,5 mm são chamadas chuvisco.

Em Hidrologia, interessam as medidas de chuva sobre a superfície, pois estas são fundamentais na determinação do escoamento superficial direto. A **altura de chuva em mm** , representa o volume precipitado distribuído pela área de atuação da chuva. A **intensidade de chuva (mm/h) ou (mm/min)**, é a quantidade de chuva que cai em um certo intervalo de tempo, indicando a severidade do evento quanto a possíveis inundações.

As medidas das quantidades de chuva são feitas por postos pluviográficos ou pluviométricos. A seguir é mostrado na figura 9.1 uma estação pluviográfica.



Figura 9.1: Estação Pluviográfica

Na figura 9.2 é apresentado um pluviômetro padrão.

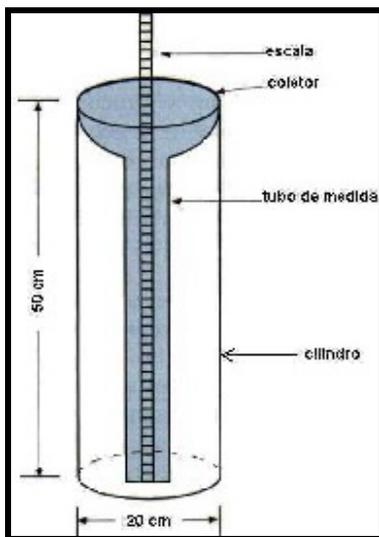


Figura 9.2: Pluviômetro

Este instrumento consiste em um coletor em forma de funil unido a um tubo de medida longo. A área da seção transversal do coletor é 10 vezes a do tubo. A chuva que cai no coletor é ampliada 10 vezes no tubo permitindo grande precisão na medida. Uma escala de madeira é inserida no tubo. Esta é calibrada para permitir a amplificação da exagero na escala. A porção da escala abaixo d'água indicará a altura da água precipitada. Desta forma, 10 polegadas de água no tubo indicará 1 polegada de chuva.

Outra forma de medir a chuva é através do pluviômetro de caçamba (figura 9.3).

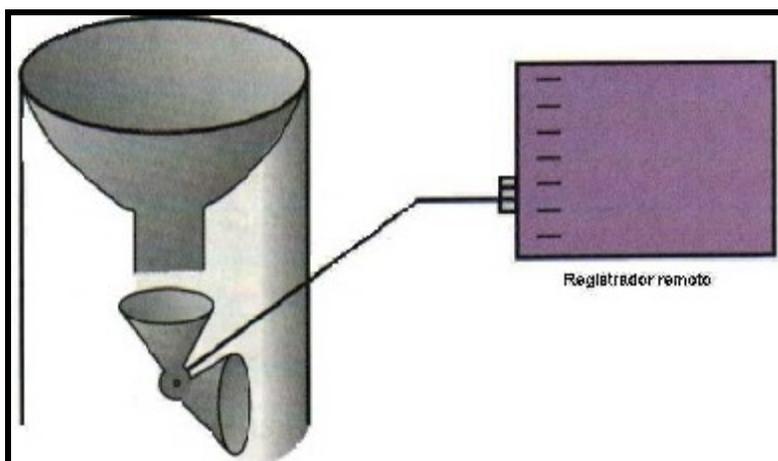


Figura 9.3 : Pluviômetro de caçamba

Este tem um funil receptor que leva água para dois coletores metais pequenos. Estes coletores coletam a água da chuva. Quando é acumulado o equivalente a uma polegada ou 1cm de chuva, faz com que o coletor bascule. O segundo coletor move-se imediatamente à posição do anterior para receber a água. Isto acontece sucessivamente cada vez que o coletor é basculado. Neste momento, um contato elétrico é ativado, fazendo com que uma pena registre uma marca sobre um gráfico de registro remoto ou que seja emitido um sinal para uma estação central de observações.

Também podem ser usados equipamentos eletrônicos mais sofisticados que podem medir as alturas de chuva de postos localizados em áreas remotas, estes transmitem as informações para satélites e estações base.

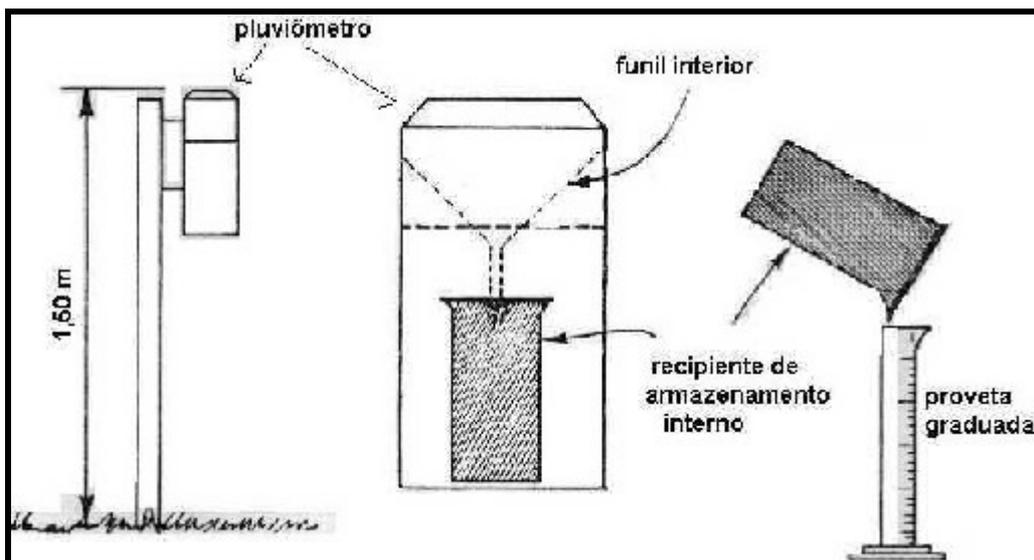


Figura 9.4: Características básicas de um pluviômetro tipo Paulista

O maior problema é que não consegue registrar chuvas de pequena duração. Para contornar essa limitação exige-se que se instale um pluviógrafo. Este é capaz de registrar continuamente a precipitação em um local. O mais comum são os pluviógrafos diários e os pluviógrafos semanais. A seguir na figura 9.5 é mostrado um pluviógrafo.

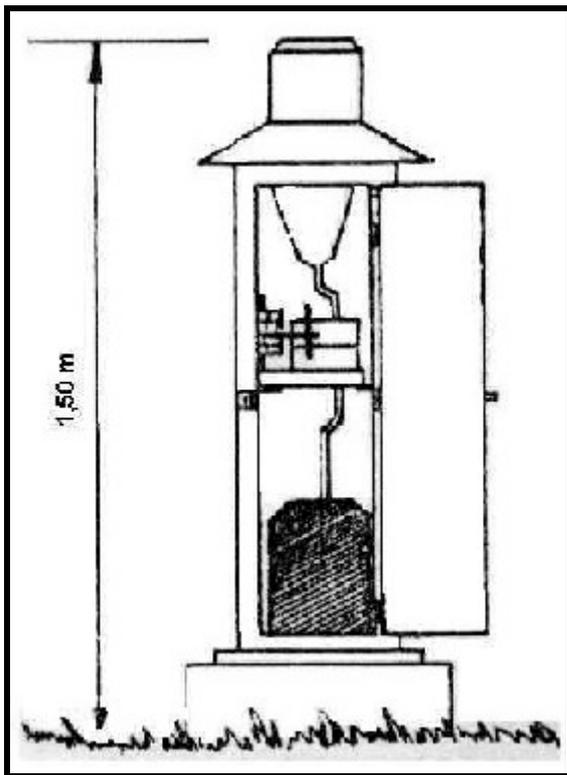


Figura 9.5: Pluviógrafo

Entre os diferentes tipos construtivos de pluviógrafos, há 3 tipos mais usuais: o de bóia, o de balança e o de cubas basculantes. O pluviógrafo de bóia é constituído de uma área de captação, em geral de 200 cm², ligada a um reservatório, dentro do qual existe uma bóia que é ligada a um braço com pena, que registra os movimentos verticais sobre um cilindro com papel e que gira à base de uma rotação por dia. O tanque de bóia é ligado a um sifão, cujo vértice corresponde ao nível de água no tanque quando a pena alcançar a borda superior do gráfico. Neste caso, o sifão esvazia totalmente o tanque, retornando a pena à borda inferior do papel, o que faz recomeçar o ciclo. Na maioria dos pluviógrafos desse tipo, cada sifonada corresponde a uma chuva totalizada de 10 mm. É apresentado na Figura 9.6.

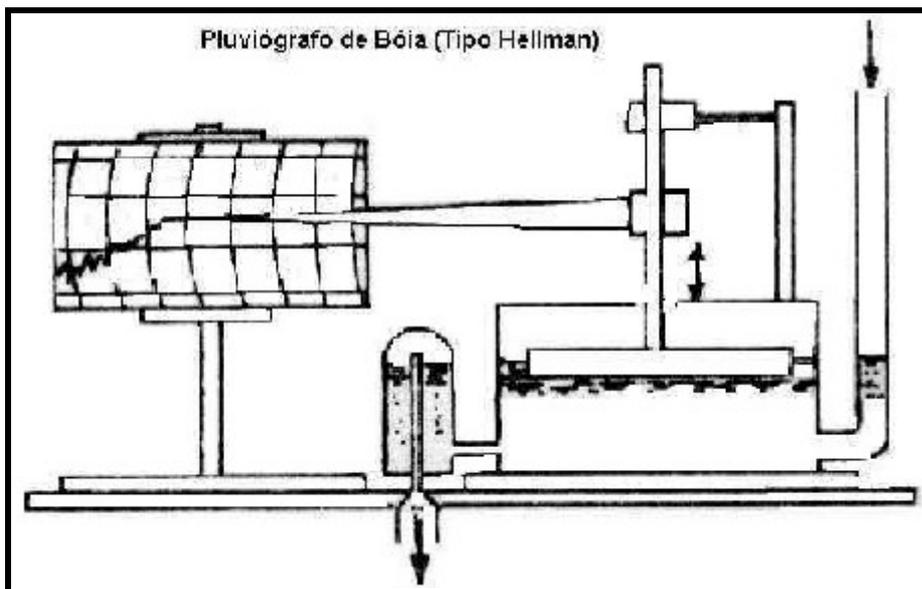


Figura 9.6: Pluviógrafo de Bóia

O pluviógrafo de Massa (Figura 9.7) o princípio é parecido ao de caçamba.

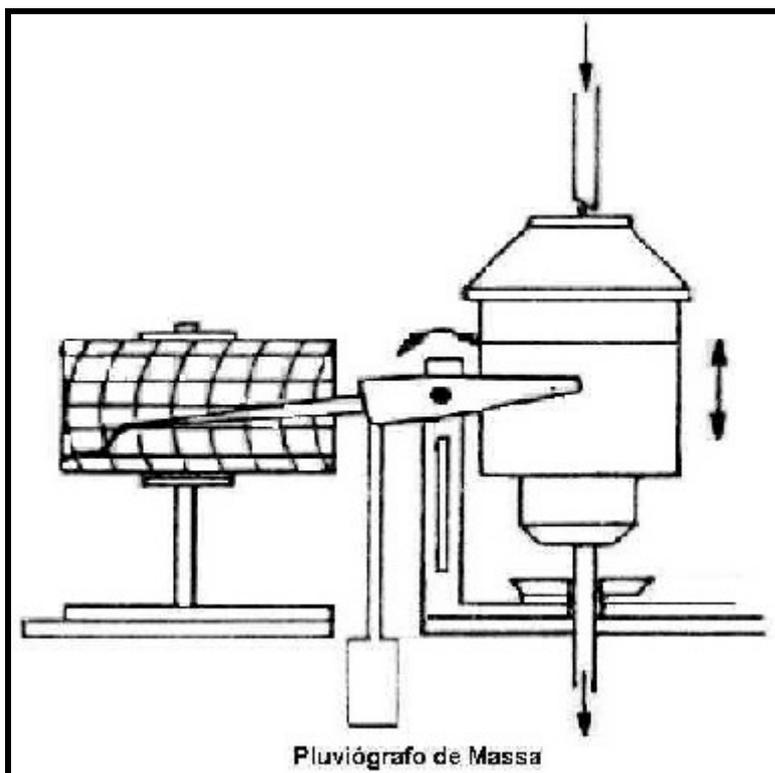


Figura 9.7: Pluviógrafo de Massa

A precipitação é um elemento de tempo altamente variável. Devido a esta variabilidade a medida de chuva realizada num posto não pode representar a precipitação de uma região. Desta forma, as melhores estimativas de chuva realizada em **um único posto** não pode representar a precipitação de uma região, é necessário uma rede de postos bem distribuídos na região ou o auxílio de um **radar meteorológico**. O **RADAR (Radio Detection And Ranging)** tem se tornado essencial para os cientistas que trabalham com elementos atmosféricos, trazendo informações de regiões inacessíveis e possibilitando estimativas espaciais e temporais mais abrangentes.

O Radar Meteorológico (Figura 9.8) é uma forma complementar para a medição das precipitações. É utilizado também para previsões em tempo real. Na prática, é utilizado conjuntamente com os pluviógrafos, para sua aferição.

O radar emite energia eletromagnética em bandas estreitas. Quando atinge uma precipitação, ela é parcialmente refletida, absorvida e espalhada. Parte da energia refletida volta ao transmissor, após um tempo $2t$, onde t é o tempo do sinal atingir o alvo. As ondas eletromagnéticas movem-se com a velocidade da luz. Devido a atenuação do sinal durante a interação com a tempestade, a energia refletida deve ser normalizada (ajustada) e amplificada para fazer a comparação de reflexão de diferentes faixas possíveis. A faixa é a distância do transmissor ao alvo. Há sempre um ruído de fundo antes e depois da detecção da tempestade.

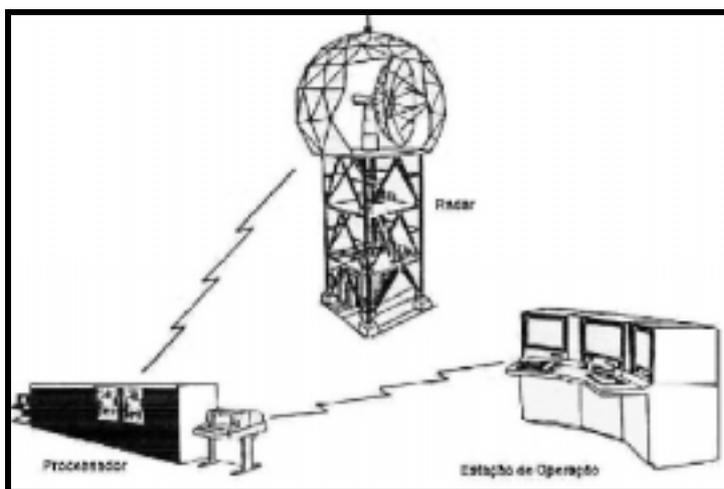


Figura 9.8: Radar meteorológico