



## FICHAS TÉCNICAS

### A ÁGUA

#### A PSICROMETRIA

1. Composição da água
2. Dureza
3. Constantes físicas do gelo
4. Constantes físicas da água
5. Constantes físicas do vapor de água
6. Constantes físicas do vapor reaquecido
7. Constantes críticas
8. Humidade do ar
9. Diagrama psicrométricos

A água é uma das substâncias químicas mais importantes da Natureza com grande importância para a vida. O facto que a Terra esteja situada à distância correcta do Sol permite que a água esteja presente na biosfera nos seus três estados: gasoso, líquido e sólido, constituindo um factor determinante da existência da vida terrestre. Além da sua função biológica não deixa de ser essencial para a vida a sua contribuição ao efeito de estufa em forma de vapor de água ou pela sua função de limpeza do pó atmosférico exercida pela chuva.

Dentro do sistema global mar-terra-ar conhece-se como "ciclo hidrológico" a representação conceptual de intercâmbio de água sobre a superfície terrestre, esquematizada no diagrama da Fig. 1.

Dos três estados em que a água está presente na atmosfera prepondera claramente o gasoso. Ao ar corrente, que constitui a base dos processos de ventilação e condicionamento, é definido como uma mistura de "ar seco" e vapor de água. Por isso trazemos a água aqui e vamos tratar em primeiro lugar das suas características.

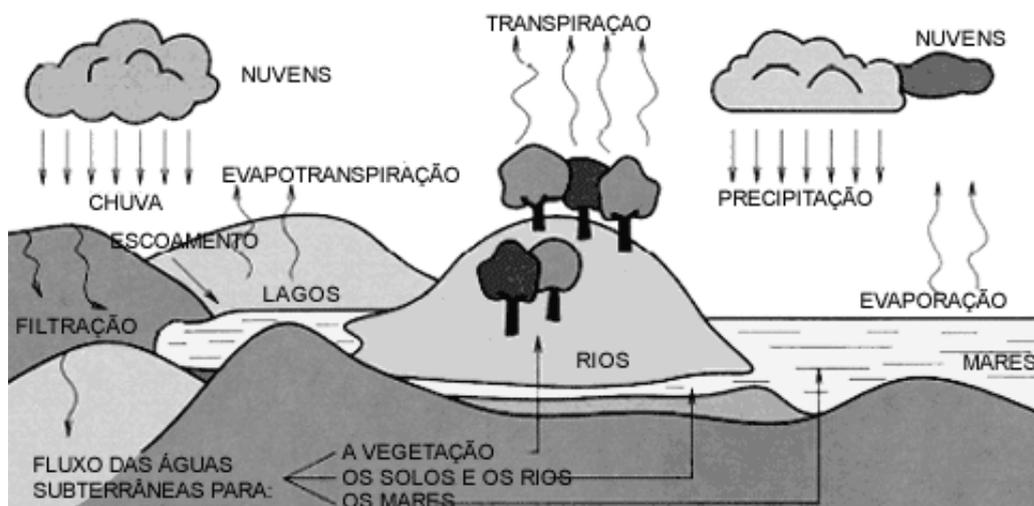


Fig. 1. Ciclo hidrológico

#### 1. Composição da água

A água pura (de chuva) tem por fórmula  $H_2O$ . É uma combinação química de dois volumes de Hidrogénio e um de Oxigénio, representado em peso 11,3% de H e 88,7% de O.

A água ordinária é impura por levar sais, matéria orgânica e gases dissolvidos (30 cm<sup>3</sup> de ar por litro).



## 2. Dureza

Chama-se água dura a que leva em dissolução sais de Magnésio, Ferro e Cálcio.

A dureza pode ser temporária, quando contém  $\text{CO}_2$  que dissolve os carbonatos metálicos. Podemos eliminá-la acrescentando cal apagada  $(\text{OH})_2\text{CA}$ .

E pode ser Permanente quando leva sulfatos ou cloretos. "Abranda-se" acrescentando carbonato sódico. Esta dureza é a que determina incrustações corrosivas por via electrolítica.



## 3. Costanti Fisiche del ghiaccio

O gelo é água na sua fase sólida. Aparece aos zero graus.

- Peso específico  $920,8 \text{ kg/m}^3$  a  $0^\circ\text{C}$
- Volume específico  $1,986 \text{ dm}^3/\text{kg}$
- Volume neve  $12 \text{ dm}^3/\text{kg}$
- Calor específico  $0,475 \text{ kcal/grau kg}$



## 4. Constantes físicas da água

Correspondem a água a  $4^\circ\text{C}$ ,  $760 \text{ mm cdm}$ .

- Peso específico  $1.000 \text{ kg/m}^3$
- Volume específico  $1 \text{ dm}^3/\text{kg}$
- Calor específico  $1 \text{ kcal/grau kg}$



## 5. Costanti Fisiche del vapore acqueo

O vapor é água na sua fase refrigerante. Pode fazê-lo a qualquer temperatura só ou coexistindo com água e também com gelo. A sua temperatura  $t$ , pressão  $p$  e densidade  $d$  estão correlacionadas para cada estado.

Chama-se vapor saturado quando coexistir com água líquida sem passar de uma ao outro e vice-versa.



## 6. Constantes físicas do vapor reaquecido

É o que está acima da temperatura de saturação e portanto não coexiste com água. Comporta-se como um gás perfeito e podem ser-lhe aplicadas as leis dos mesmos. A sua equação de estado é:

- Peso  $X = 0,2891 \text{ VP/T kg}$
- Volume  $V = 3,4614 \text{ XT/P m}^3$

- Pressão  $P = 3,4614 \text{ XT/V mm cdm}$
- Temperatura  $t = 0,2891 \text{ PV7X-273}^\circ\text{C}$

O calor latente de vaporização é o necessário para desfazer as forças de coesão da água e deixar as suas moléculas em forma de gás.

A entalpia ou calor total de uma massa de vapor reaquecido a  $t^\circ$  é o correspondente a uma massa de água, a  $100^\circ\text{C}$ , mais o latente de vaporização e o aumento do vapor.

Este calor total pode ser calculado pelas fórmulas aproximadas seguintes, válidas para os problemas de condicionamento.

- **Calor total do vapor:**  
 $s = 0,45t + 597,44 \text{ kcal/kg}$
- **Calor latente de vaporização:**  
 $s_v = 597,44 \cdot 0,549 t \text{ kcal/kg}$
- **Calor de sublimação do gelo:**  
 $s_h = 677,08 \cdot 0,024 t \text{ kcal/kg}$
- **Entalpia de x kg de vapor a  $t^\circ$ :**  
 $S = 597,44 x + 0,451 x t \text{ kcal}$



## 7. Constantes críticas

Nas condições críticas desaparecem as diferenças entre os estados líquido e gasoso, as densidades são iguais e o calor de vaporização é nulo. Desaparece a superfície de separação. A temperatura  $t_c$  acima da qual não há liquefacção é chamada crítica. A pressão  $P_c$  que corresponde à temperatura crítica é chamada pressão crítica. Esta pressão é a de saturação.

### 7.1 Gás e vapor

É chamado gás todo fluido expansível cuja temperatura é superior à crítica. Não é liquefeito por compressão. É chamado vapor todo fluido expansível cuja temperatura é inferior à crítica. Liquefaz-se por compressão.

### 7.2 Psicrometria

É uma parte da Física que estuda as propriedades térmicas do ar húmido, a sua regulação, medição e o efeito que a humidade produz nos materiais e conforto das pessoas.

A humidade contida no ar altera muito as propriedades físicas do mesmo e influi enormemente nas sensações físicas do homem.



## 8. Humidade do ar

O ar é chamado saturado quando se mantém em equilíbrio em presença de água líquida sem que haja passagem de um ao outro. A pressão parcial do vapor de água contida neste ar chama-se pressão de saturação  $p_s$  e a cada temperatura corresponde uma diferente.

### 8.1 Humidade absoluta

É o peso de vapor contido por unidade de volume de ar,  $\text{kg/m}^3$ , ou também o peso de vapor

por unidade de peso de ar seco. Ambas as magnitudes têm um escasso interesse técnico.

## 8.2 Humidade relativa

É o quociente entre o peso do vapor de água contida num volume de ar e o peso do vapor saturado do mesmo volume.

$$Z (\%) = \frac{\text{Peso do vapor}}{\text{Peso vapor saturado}} \times 100$$

Esta expressão é a usada em meteorologia e corresponde ao conceito de humidade em condicionamento.

## 8.3 Psicrómetro

É um aparelho que mede a humidade relativa do ar. É formada de dois termómetros iguais, um com o depósito seco e o outro envolto numa musselina empapada de água.

O termómetro seco marca a temperatura do ar e o húmido, arrefecido pela evaporação da água que o rodeia, marca uma temperatura inferior.

Por meio de uma tabela anexa ao psicrómetro, cujos valores são calculados por meio de uma equação que relaciona a entalpia do ar e a de um ponto húmido, conhecemos o grau de humidade relativa do ar.

## 8.4 Densidade do ar

Pode ser calculada a 760 mm cdm, mediante a fórmula

$$d = \frac{352,9454 - 0,1753 p}{t + 273} \text{ kg/m}^3$$

$p$  = pressão do vapor

mas para uma obtenção rápida, embora aproximada, podemos utilizar o gráfico da Fig. 2.

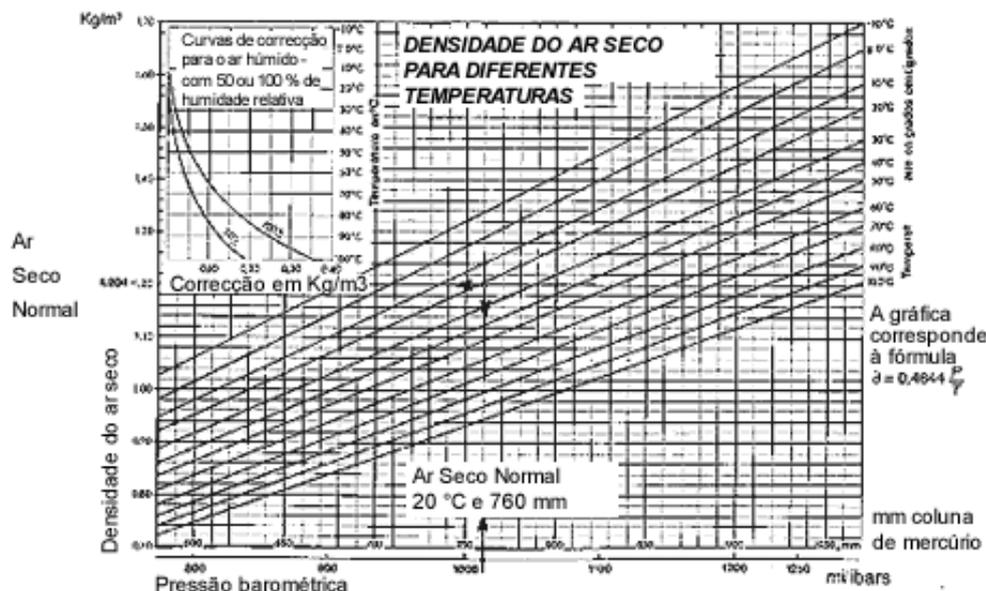


Fig. 2. Densidade do Ar

## 8.5 Ponto de orvalho

É chamada assim a temperatura a qual o vapor de água contido numa massa de ar se converte em vapor saturado por descida da temperatura. Aparecem as primeiras gotas de

água condensada que, caso se produza na terra, será chamada orvalho. Se para se saturar é necessário descer de zero graus, produz-se a conhecida geada.



## 9. Diagrammi psicrometrici

O estudo do estado de uma massa de ar baseia-se em funções matemática, algumas de natureza experimental, que não permitem cálculos simples, mas o podemos realizar comodamente por métodos gráficos baseados no seguinte:

- CALOR = CALOR SENSÍVEL + CALOR LATENTE
- Calor sensível =  $0,242 t + 0,451 tx$
- Calor latente =  $S_0 x$
- $x$  = kg de vapor
- $S_0$  = Calor total vapor a zero graus
- $t$  = Temperatura

Nesta fórmula dois parâmetros, o calor total e o vapor  $x$ , são função da temperatura húmida e a de orvalho. Assim, com a temperatura seca  $t$  temos relacionadas as três e fixadas dois, podemos determinar a terceira. **Baseado nesta fórmula foi realizado o diagrama psicrométrico da Fig. 5 cuja estrutura é representada e explicada na Fig. 3. Assim:**

1. 1º Uma série de curvas indicam a percentagem de humidade  $Z\%$ .
2. 2º Uma série de rectas horizontais que correspondem às temperaturas de orvalho  $t^I$ .
3. 3º Uma série de rectas quase verticais representam temp. secas  $t$ .
4. 4º Uma série de rectas inclinadas que marcam as temp. húmidas  $t^{II}$ .

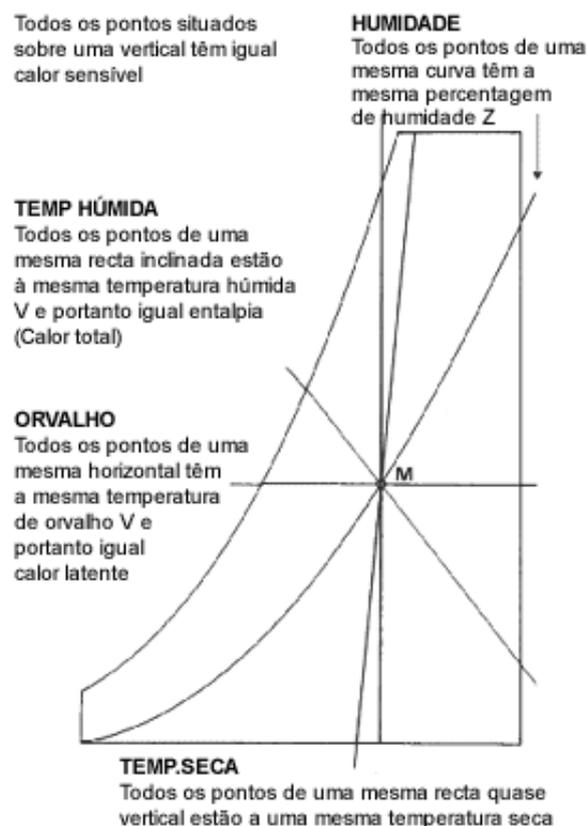


Fig. 3. Estrutura do diagrama psicrométrico

Cada ponto do diagrama definirá um estado de ar pelas rectas e curvas que passem pelo mesmo, gozando das propriedades indicadas no esquema.

Uma variante do diagrama psicrométrico é a indicada na Fig. 4 que com uma série de rectas dão o volume da unidade de ar, isto é, por quilograma de ar seco.

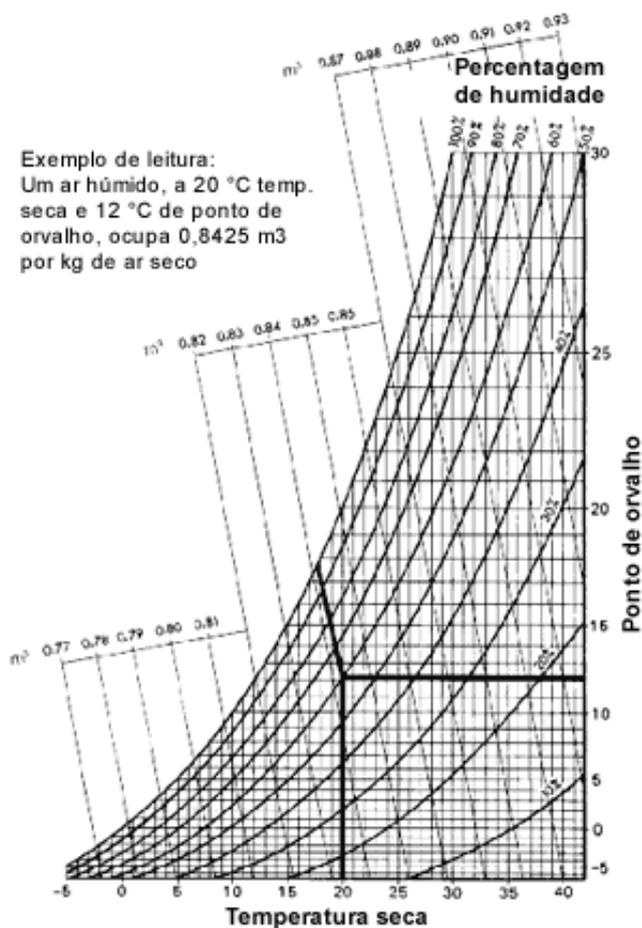
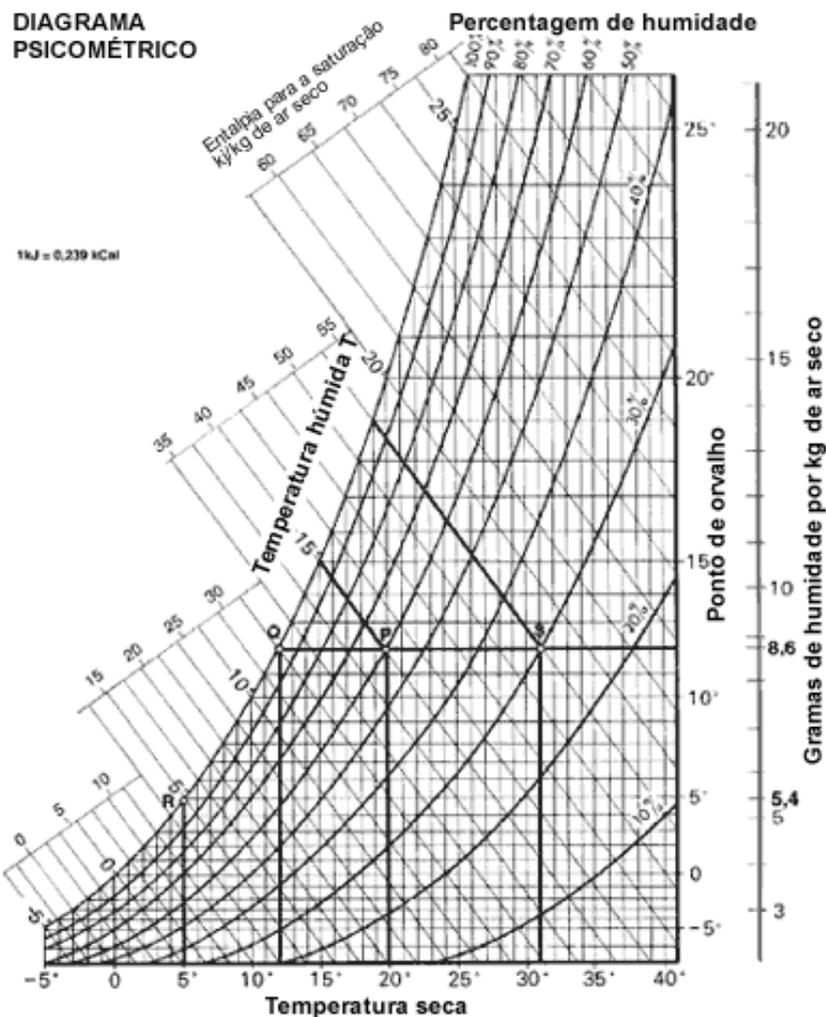


Fig. 4. Volume de uma massa de ar húmido que contém um quilograma de ar seco

Isto é importante já que os ventiladores são aparelhos que dirigem volumes de ar que variam com a densidade em função da temperatura e a humidade, necessitando mais ou menos potência conforme esta variação.

**Exemplo de leitura:**

Ponto	Que representa	T seca	T húmida	Humidade	Observações
P	Estado inicial	20°	15°	60%	
Q	Arrefecemos até este ponto	12°	12°	100%	Ar saturado. Tirou-se calor de 40 a 32 = 8 kJ/kg ar seco.
R	Continua a arrefecer-se até este ponto	5°	5°	100%	Ar saturado. Tira-se de 32 a 16 = 16 kJ/kg ar seco e condensa-se 8,6 – 5,4 = 3,2 g água/kg ar seco.
S	Aquecemos do ponto P ao S.	31°	10°	30%	Seca-se o ar até 30% de humidade, mantendo a mesma quantidade de água 8,6 g/kg ar seco.

Fig. 5. Diagrama psicométrico

