Psicrometria

(ou higrometria)

Conceitos básicos e aplicações

JOSÉ ROBERTO SIMÕES-MOREIRA
ALBERTO HERNANDEZ NETO

FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES DA

PSICROMETRIA

Blucher

2ª EDIÇÃO

Composição de ar-seco

Componente	Fórmula	Conteúdo (% por volume)
Nitrogênio	N_2	78,084
Oxigênio	O_2	20,948
Argônio	Ar	0,934
Dióxido de carbono	CO_2	0,033
Outros	-	0,001

✓O ar atmosférico ao nível da troposfera, é considerado uma mistura de gases contendo uma proporção fixa de: 78,1% nitrogênio, 20,9% oxigênio, 0,9% argônio, além de traços de outros gases

✓A maior parte dos gases que constituem o ar se encontram muito acima de sua temperatura crítica e não estão sujeitos à condensação em temperaturas acima -100ºC, praticamente não introduzimos quaisquer erros ao tratarmos esta parte da mistura como um único gás denominado "**ar seco**".

✓O ar na troposfera sempre contém uma quantidade variável de vapor d'água (a fase gasosa da água), a qual varia dia-a-dia em função das estações ao longo do ano

✓A proporção de vapor d'água em relação ao ar seco é tratada como vapor ou **umidade**

✓A mistura de ar seco com o vapor é chamada de **ar úmido**

✓Entre as temperaturas de -40ºC a +65ºC e sob uma pressão total de até 300 kPa, tanto o ar seco como o vapor, bem como sua mistura se comportam aproximadamente como um gás ideal, o que nos permite aplicar-lhe a equação geral dos gases

Definição do termo psicrometria

- A palavra originou-se do termo grego “psychro” que significa “frio” e “metro” que significa “medir”, indicando um dispositivo para “medir a refrigeração”.

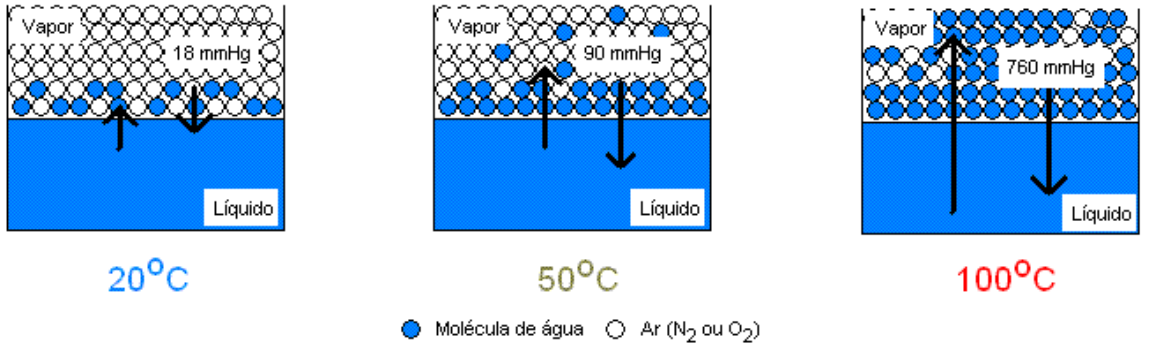
- **Psicrometria** é a ciência que estuda o envolvimento das propriedades do ar Úmido e do processo (secagem, umidificação, resfriamento, aquecimento) na mudança da temperatura ou do conteúdo de vapor d’água da mistura.

O conhecimento das condições de umidade do ar é de grande importância para muitos setores da atividade humana, como o dimensionamento de sistemas para acondicionamento térmico, a conservação de alimentos, os sistemas de refrigeração ou a estimativa de tempo e energia requeridos por processos de secagem, umidificação, resfriamento e armazenamento e processamento de grãos.

Às vezes, o índice de conforto térmico de uma atmosfera depende mais da quantidade de vapor de água presente no ar do que da temperatura propriamente dita.

Por tudo isso, o estudo detalhado da mistura de ar seco (N_2+O_2+CO_2+ outros) e vapor de água, passou a ser uma disciplina específica, denominada psicrometria.

Pressão de vapor (ou de saturação): a pressão de um vapor em equilíbrio com a sua fase condensada a uma dada temperatura



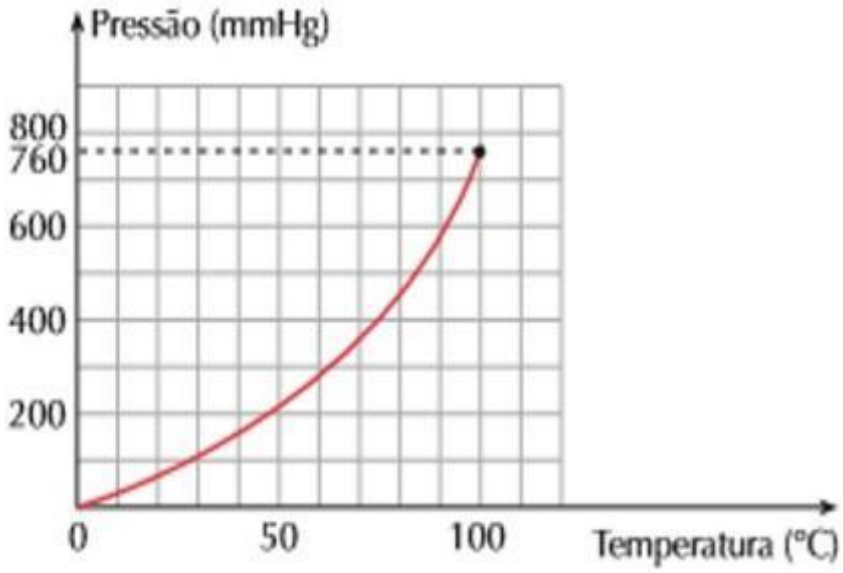


Diagrama de fases: mostra as regiões de pressão e temperatura nas quais as várias fases de uma substância são termodinamicamente estáveis

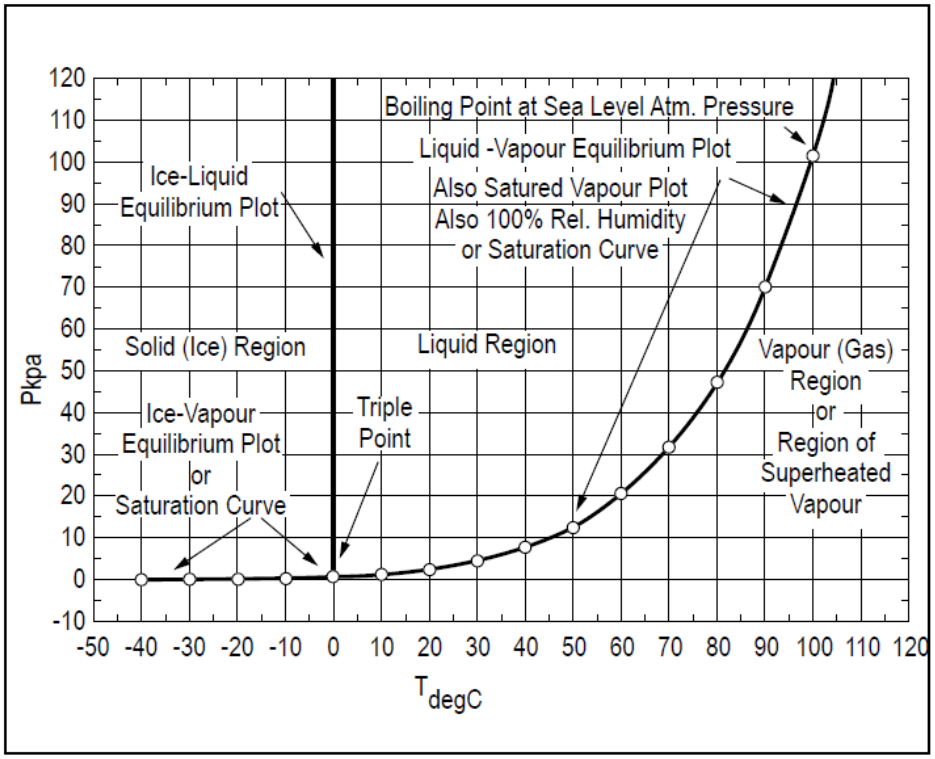


Figura 1 – Diagrama Pressão x Temperatura para água

A quantidade de vapor que pode existir em determinada atmosfera é limitada para cada valor de temperatura. Temperaturas mais elevadas permitem a existência de maior quantidade de vapor do que em um ambiente com temperaturas mais baixas.

Gás saturado: quando um gás está na iminência de começar a condensar e formar a primeira gota de líquido

Líquido saturado: se um líquido está preste a vaporizar**.**

Estas duas condições são dadas pelos **pontos de orvalho e ponto de bolha.**

Temperatura do Ponto de Orvalho: É a temperatura em que o ar úmido se torna saturado, ou seja, quando o vapor de água começa a condensar-se, por um processo de resfriamento.

Temperatura do Ponto de Bolha: É a temperatura em que a água começa a evaporar-se, por um processo de aquecimento.

Saturação: se um gás puro entra em contato com um líquido, o gás receberá" vapor do líquido. Se o contato for prolongado um tempo suficiente, atinge-se o equilíbrio, no qual a pressão parcial do líquido vaporizado se iguala à pressão de vapor daquela substância na temperatura do sistema. O gás então estará saturado com o vapor e a vaporização não provocará um aumento na quantidade de vapor presente no gás. O vapor estará no seu ponto de orvalho.

Saturação parcial: se o tempo para que seja atingido o equilíbrio não é alcançado, a pressão parcial do vapor será menor que a pressão de vapor do líquido na temperatura do sistema.

Quando o ar contém o máximo de vapor de água permissível para determinada temperatura, diz-se que o ar se encontra saturado e a pressão de vapor nessa circunstância é dita máxima ou de saturação.

Se a quantidade de vapor não é suficiente para saturar o ar, sua pressão é chamada de pressão parcial de vapor.

Lei de Dalton: a pressão total em uma mistura gasosa é exatamente igual à soma das pressões parciais de seus gases componentes.

$$p_{total} = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 \ldots \text{ ou } p = \Sigma p$$

Pressão parcial: pressão que cada componente exerceria se, à mesma temperatura, ocupasse sozinho todo o volume da mistura.

O vapor de água, como os gases componentes da atmosfera, exerce pressão em todas as direções, pressão esta que depende da concentração do vapor.

$$p_{atm} = p_{N2} + p_{O2} + p_{Ar} + p_v = p_{ar} + p_v$$

Exemplo 1 : Se 1250 cm^3 de H_2 estão saturados com água a 30^oC e 742 mm Hg, qual o volume de gás seco nas condições padrão ? A pressão de vapor da água a 30^oC é de 32 mmHg e as condições padrão são para p=760 mm Hg e T=0^oC.

Exemplo 1:

$$P_{TOTAL} = P_{H_2O} + P_{H_2}$$

$$742\,mmHg = 32\,mmHg + P_{H_2} \Rightarrow P_{H_2} = 710\,mmHg$$

BASE: $1250\,cm^3$ de H_2 SECO a $30°C$ e $710\,mmHg$

- ASSUMINDO COMPORTAMENTO DE GÁS IDEAL:

$$P_1V_1 = nRT_1 \Rightarrow n = \frac{P_1V_1}{RT_1} \quad e \quad n = \frac{P_2V_2}{RT_2}$$

$$\frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{P_2V_2}{RT_2} \Rightarrow V_2 = \frac{P_1V_1}{T_1} \cdot \frac{T_2}{P_2}$$

$$V_2 = 1250\,cm^3 \left(\frac{710\,mmHg}{303\,K}\right)\left(\frac{273\,K}{760\,mmHg}\right) = 1051\,cm^3$$

Umidade Absoluta

$$w = \frac{m_v}{m_{ar}}$$

$$w = \frac{p_v VM_v / RT}{p_{ar} VM_{ar} / RT} = \frac{M_v}{M_{ar}} \cdot \frac{p_v}{p_{ar}}$$

$$w = 0{,}622 \cdot \frac{P_v}{P_{atm} - P_v}$$

Umidade Relativa (UR)

A umidade relativa do ar é a razão entre a pressão parcial de vapor exercida pelas moléculas de água presentes no ar e a pressão de saturação, na mesma temperatura, sendo normalmente expressa em porcentagem.

UR = 100 p_v / p_{vs}

Exemplo 2 : Ao meio dia a temperatura ambiente é de 34,5^{o}C, a umidade relativa é 43% e o barômetro marca 29,67 in Hg.

Qual seria a massa de vapor d'água contida em 1 mi^{3} de ar?

Qual seria o ponto de orvalho do ar se a temperatura fosse diminuída para 4,5^{o}C, qual a massa de água que seria condensada a partir de um volume inicial de 1 mi^{3} de ar?

pressão de vapor da água a 34,5^{o}C = 1,61 in Hg

para pressão de vapor da água = 0,69 in Hg corresponde a uma temperatura de 69^{o} F.

pressão de vapor da água a 4,5^{o}C = 0,248 in Hg

Exemplo 2:

$RH = \frac{p_w}{p_w^*}$

$p_w = 0{,}43\,(1{,}61\ \text{in Hg}) = 0{,}69\ \text{in Hg}$

$p_{ar} = (29{,}67 - 0{,}69)\ \text{in Hg} = 28{,}98\ \text{in Hg}$

Base: $1\ \text{mi}^3$ vapor a $34{,}5^\circ C$ e $0{,}69\ \text{in Hg}$

(a) $n = \frac{pV}{RT} = \frac{0{,}69\ \text{in Hg} \cdot 1\ \text{mi}^3}{R\ 307{,}5\ K}\left(\frac{1609\ m}{1\ \text{mi}}\right)^3\left(\frac{1000\ L}{1\ m^3}\right)\left(\frac{1\ atm}{29{,}92\ \text{in Hg}}\right) = 3{,}80 \times 10^9\ \text{mol}$

$m = 3{,}81 \times 10^9\ \text{mol}\left(\frac{18\ g}{1\ \text{mol}}\right) = 6{,}86 \times 10^{10}\ g = 6{,}86 \times 10^4\ \text{ton}$

(b)

(c) $P_{H_2O}^{4,5^\circ C} = 0,248 \text{ in Hg}$ $\quad P_{bar} = cte$

$$n = \frac{0,248 \text{ in Hg} \cdot 1 \text{ mi}^3}{R \cdot 277,5 \text{ K}} \left(\frac{1609 \text{ m}}{1 \text{ mi}}\right)^3 \left(\frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}\right) \left(\frac{1 \text{ atm}}{29,92 \text{ in Hg}}\right) = 1,52 \times 10^9 \text{ mol}$$

$$m = 2,7 \times 10^{10} \text{ g} = 2,7 \times 10^4 \text{ ton}$$

$$M_{condensada} = \left(6,86 \times 10^4 - 2,7 \times 10^4\right) \text{ton} = 4,16 \times 10^4 \text{ ton}$$

Exemplo 3 : Se à uma temperatura de 32,2^{o}C e pressão barométrica de 738 mm Hg, a umidade relativa é de 80%, qual a porcentagem da água que irá condensar se o gás for resfriado a 20^{o}C e a pressão for de 745 mm Hg ?

Exemplo 3:

$p_w^* = 36{,}0\ mmHg$ a $32{,}2°C$

$UR = \frac{p_w}{p_w^*} \cdot 100 \overset{a\ 32{,}2°C}{\Rightarrow} p_w = p_w^* \cdot \frac{UR}{100} = (36{,}0 \times 0{,}80)\ mmHg = 28{,}8\ mmHg$

$p_{ar} = (738 - 28{,}8)\ mmHg = 709{,}2\ mmHg$

a $20°C$ $p_w^* = 17{,}5\ mmHg$

$p_w = (17{,}5 \times 1{,}00)\ mmHg = 17{,}5\ mmHg$ (gás saturado)

$p_{ar} = (745 - 17{,}5)\ mmHg = 727{,}5\ mmHg$

Base de cálculo: 1 mol ar seco

a V e T = cte $\Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow n_1 = \frac{P_1}{P_2} n_2$

$n_1 - n_2 = n_{\text{água condensada}}$

$$\left(\frac{p_w}{p_{ar}} \cdot n_{ar}\right)^{33,2°C} - \left(\frac{p_w}{p_{ar}} \cdot n_{ar}\right)^{20,0°C} = n_{ac}$$

($n_{ar} \Downarrow 1$ em ambos os termos)

$$\frac{28,8}{709,2} \text{ mol} - \frac{17,5}{727,5} = n_{a.c.}$$

$$0,0406 \text{ mol} - 0,0241 \text{ mol} = 0,0165 \text{ mol } H_2O$$

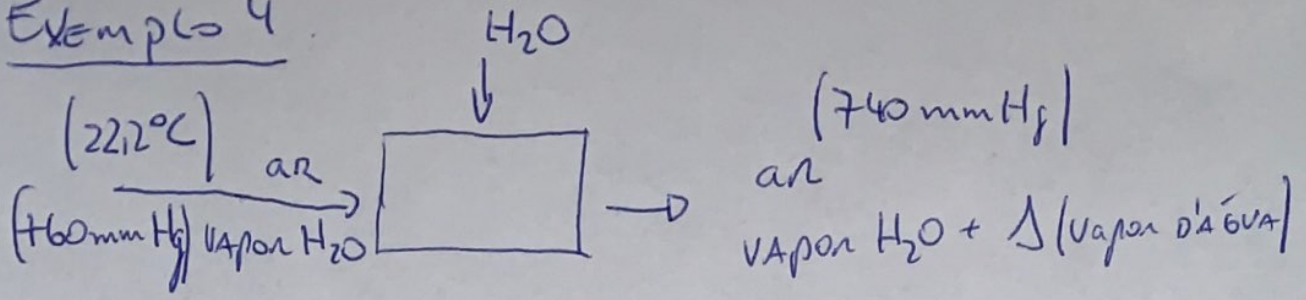
$$\therefore \frac{0,0165}{0,0406} \times 100 = 41\% \text{ da água condensará}$$

Exemplo 4 : 1000 ft^3 de ar úmido a 760 mm Hg e 22,2^oC com ponto de orvalho de 11,6^oC entra em um processo. O ar deixa o processo a 740 mm Hg com ponto de orvalho a 58,3^oC. Qual a massa de vapor d'água que foi adicionada para cada grama de ar úmido que entrou no processo ?

$pw^*(22,2^oC)=10,3$ mm Hg

$pw^*(58,3^oC)=138,2$ mm Hg

Exemplo 4



P_w^* (22,2°C) = 10,3 mm Hg

P_w^* (58,3°C) = 138,2 mm Hg

Base de cálculo 760 mols de ar úmido

$\frac{p_1}{p_2} = \frac{n_1}{n_2}$

componentes	$n_{inicial}$	n_{final}	pressão final (mm Hg)
vapor	10,3		138,2
ar seco	749,7	749,7	601,8
total	760		740

$$n_{H_2O}^{final} = 749{,}7 \left(\frac{138{,}2}{601{,}8}\right) \text{mol} = 172 \text{ mol } H_2O$$

$$\therefore \Delta(\text{vapor } H_2O) = (172 - 10{,}3) \text{ mol} = 162 \text{ mol } H_2O$$

$$\frac{162 \text{ mol } H_2O}{760 \text{ mol ar úmido}} = \frac{0{,}213 \text{ mol vapor } H_2O}{1 \text{ mol gás úmido}}$$

$M_{\text{ar úmido}} = ?$

	n	M (g/mol)	m (g)
ar seco	750	29	21.750
H_2O	10	18	180
total	760		21930

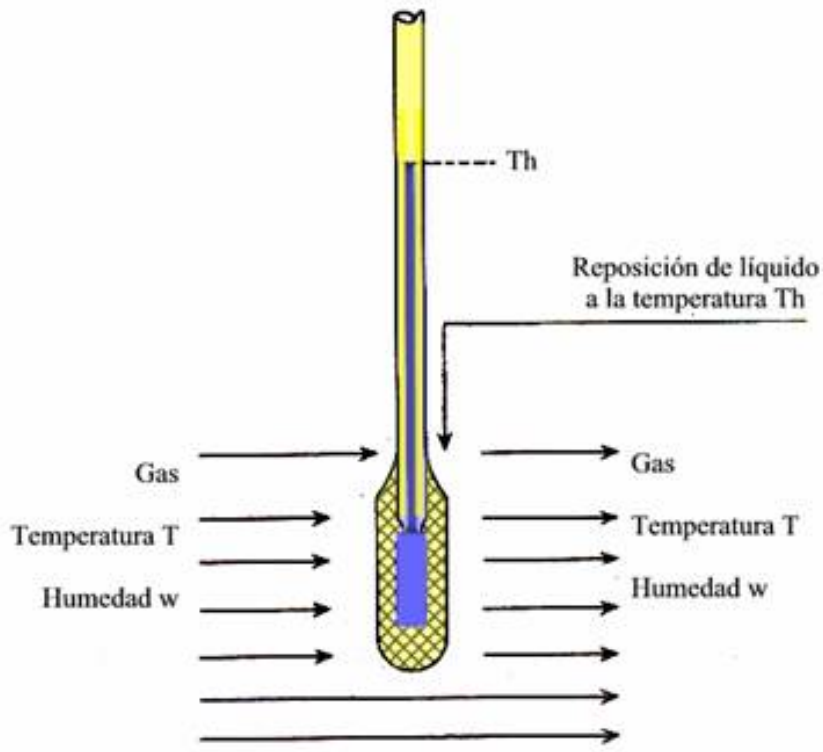
$$M_{\text{ar úmido}} = \frac{21.930 \text{ g}}{760 \text{ mol}} = 28{,}8 \text{ g/mol}$$

$$\frac{0{,}213 \text{ mol } H_2O}{1 \text{ mol ar úmido}} \left(\frac{18 \text{ g } H_2O}{1 \text{ mol } H_2O}\right) \left(\frac{1 \text{ mol ar úmido}}{28{,}8 \text{ g ar úmido}}\right) = 0{,}133 \frac{\text{g } H_2O}{\text{g ar úmido}}$$

Temperaturas de Bulbo Seco (t_{bs}) e de Bulbo Úmido (t_{bu})

A **temperatura do bulbo seco** do ar é a temperatura medida com um termômetro comum.

A **temperatura de bulbo úmido** (a temperatura mínima em que a água se evapora naquele momento) é obtida cobrindo-se o bulbo de um termômetro comum com um tecido de algodão embebido em água. O bulbo molhado deve ser ventilado até atingir valor constante.



Ponto de orvalho (Dew Point): expressa a condição mínima de temperatura de bulbo seco em que uma mistura ar-vapor consegue manter água no estado gasoso (vapor), abaixo da qual ocorre a condensação da umidade (ou a formação de névoa).

Umidade Específica (ou umidade absoluta): expressa a relação entre a massa de ar seco e a de vapor superaquecido contido na mistura de ar úmido ($m_{vapor}/m_{ar\ seco}$), pode representado em kg/kg de ar seco

Volume úmido: expressa a relação entre o volume e a massa do conteúdo de ar seco da mistura. Expresso em m^3/kg de ar seco.

Entalpia (H)

A entalpia de uma mistura ar seco e vapor de água é a energia contida no ar úmido, por unidade de massa de ar seco, para temperaturas superiores a uma determinada temperatura de referência (0^oC).

A entalpia, que é expressa em kcal ou kJ por kg de ar seco, é muito importante para o dimensionamento de aquecedores e sistema de secagem e composição do custo operacional dos diferentes sistemas

MEDIÇÃO DA UMIDADE DO AR

a) **Higrômetros de condensação:** baseiam-se na determinação do ponto de orvalho.

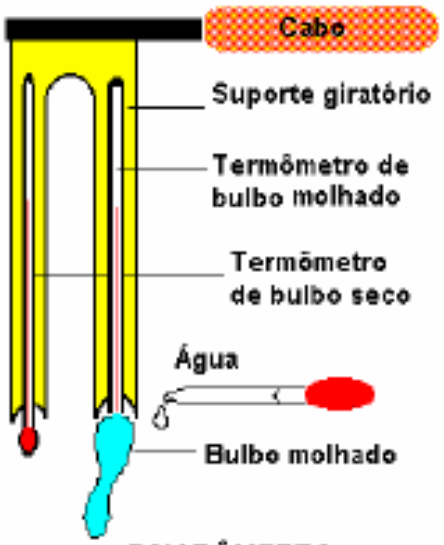
b) **Higrômetros de absorção: usados em laboratório.** A determinação é feita passando-se, através de uma substância higroscópica, um volume conhecido do ar cujas propriedades se deseja determinar. O resultado é obtido pela variação do peso devido à umidade absorvida.

c) **Higrômetros elétricos:** baseiam-se na variação da resistência elétrica de um fino filme de um condutor eletrolítico contendo um sal higroscópico, em função da umidade.

d) **Higrômetro ótico:** por meio da intensidade de luz refletida, mede a espessura de um filme higroscópico, a qual varia com a umidade.

e) **Higrômetros de difusão**: constam de uma câmara fechada, tendo uma placa porosa numa das paredes. O ar no interior da câmara é continuamente submetido à ação de um agente dessecador ou umedecedor. A difusão do ar através da placa porosa produz mudança na pressão interna da câmara, que é medida por um manômetro. No ponto de equilíbrio, o valor da mudança de pressão depende da pressão de vapor do ar exterior e da temperatura da
câmara.

Psicrômetro: consta de dois termômetros semelhantes, um dos quais tem o bulbo recoberto por tecido de algodão umedecido em água. A evaporação da água sobre o bulbo umedecido causa abaixamento na sua temperatura, sendo dependente do estado higrométrico do ar. O termômetro de bulbo seco indica a temperatura do ar. A diferença de temperatura entre os dois termômetros indica a umidade, bem como outras propriedades do ar, bastando utilizar os dados obtidos para dar entradas em tabelas, gráficos ou fórmulas. Os psicrômetros podem ser de ventilação natural (psicrômetros comuns) ou de ventilação forçada. O mais comum é o psicrômetro giratório.



PSICRÔMETRO GIRATÓRIO

Higrômetro de alça ou psicrômetro giratório

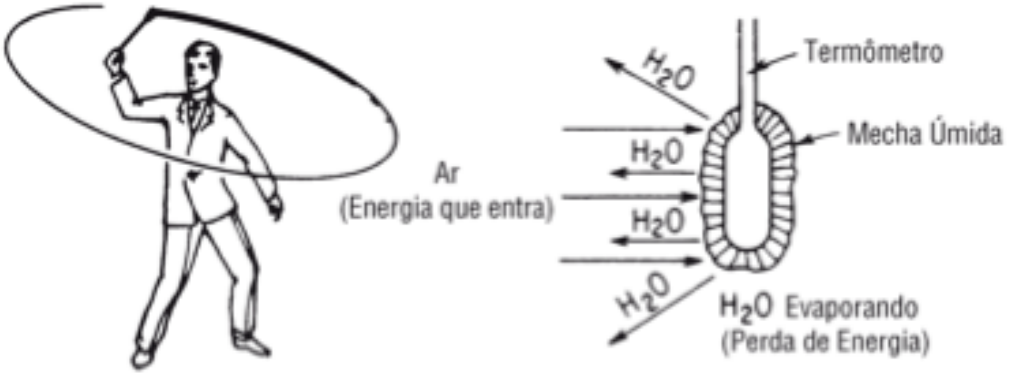
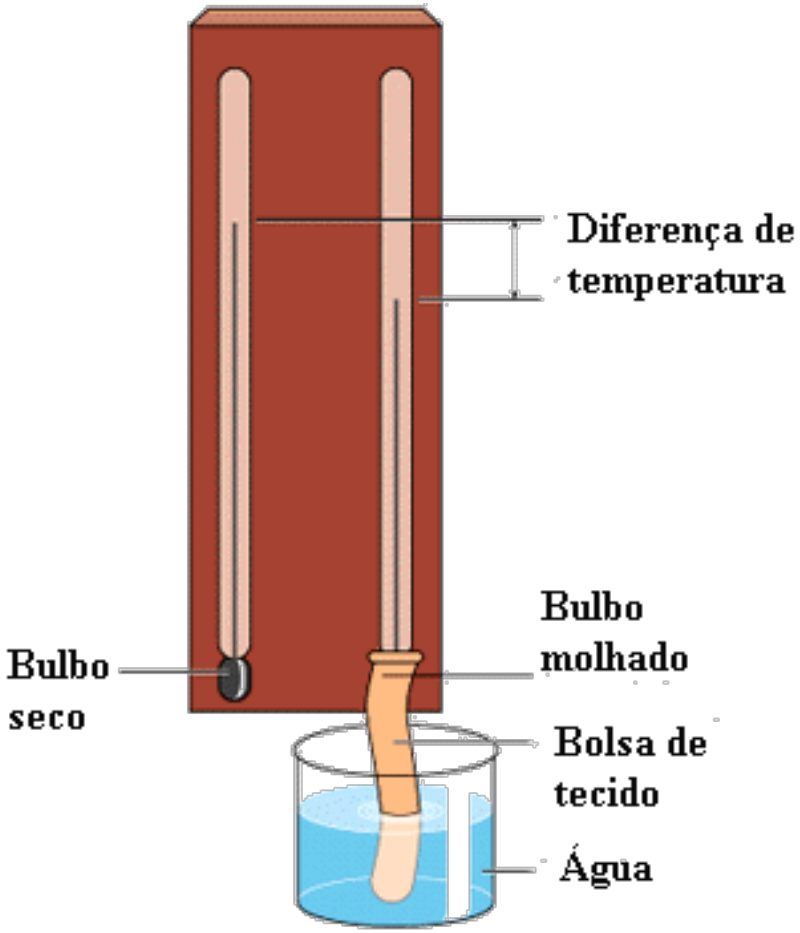
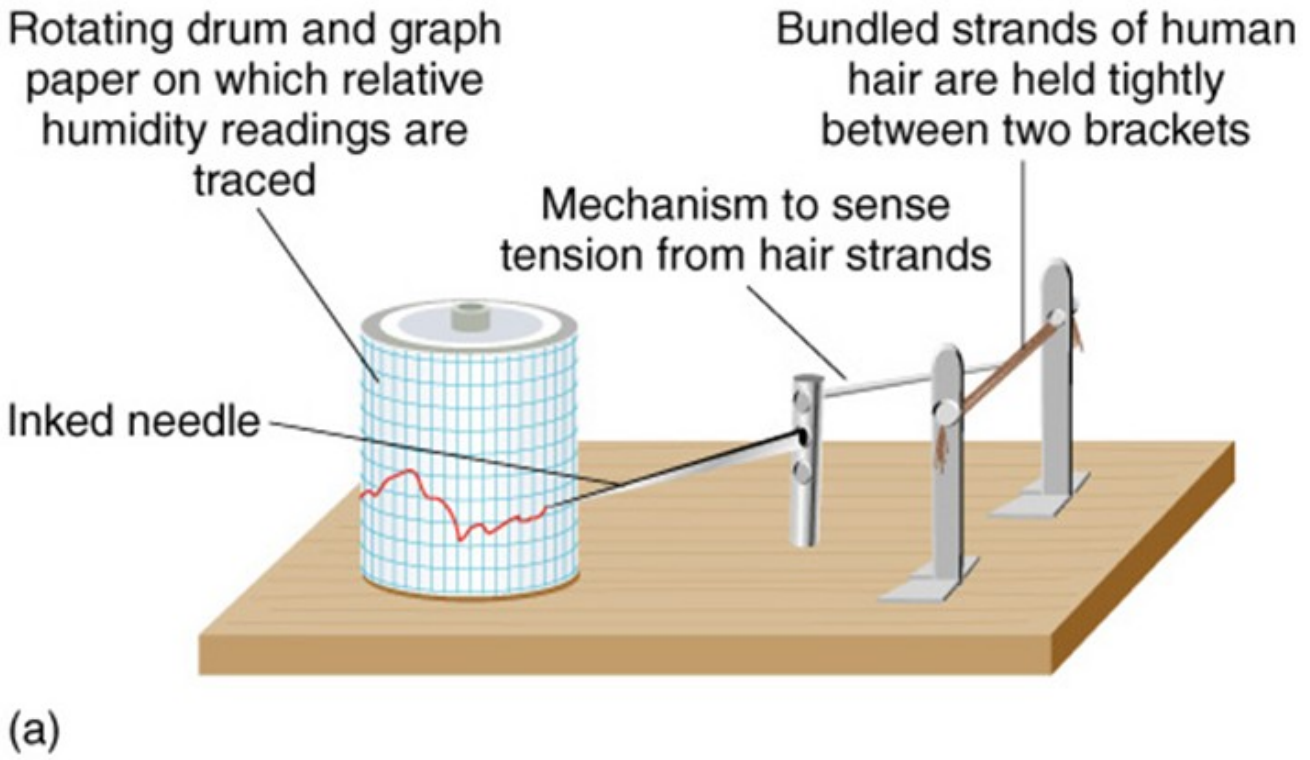


Figura 11.1 Temperatura de bulbo úmido obtida com um psicrômetro giratório.


Diferença de
temperatura
Bulbo
molhado
Bulbo
seco
Bolsa de
tecido
Água

Higrômetros de fio de cabelo: o cabelo humano livre de gorduras tem a propriedade de aumentar em comprimento ao absorver umidade e dediminuir em comprimento quando a perde. Essa variação é ampliada e transmitida a um ponteiro, sobre um mostrador, que indicará diretamente a umidade relativa do ar. Trocando-se o ponteiro por uma pena contendo reservatório de tinta e o mostrador por um cilindro rotativo movido por um mecanismo de relojoaria, tem-se o higrômetro registrador ou higrógrafo.



www.todocoleccion.net

www.todocoleccion.net

TABELAS E GRÁFICOS PSICROMÉTRICOS

Além das equações psicrométricas específicas e dos programas computacionais que incluem essas equações para o cálculo das propriedades do ar, as tabelas e os gráficos psicrométricos foram criados para facilitar a determinação destas propriedades.

TABELA 2 - Valores de umidade relativa para valores conhecidos de t e t_m

Temp. t_m	DEPRESSÃO PSICROMÉTRICA (T - T_m)																			
°C	5,2	5,4	5,6	5,8	6,0	6,2	6,4	6,6	6,8	7,0	7,2	7,4	7,6	7,8	8,0	8,2	8,4	8,6	8,8	9,0
10	47	46	44	43	41	40	39	37	36	35	33	32	31	30	29	28	26	25	24	23
11	49	47	46	45	43	42	41	40	38	37	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26
12	50	49	48	46	45	44	42	41	40	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28
13	52	51	49	48	46	45	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30
14	53	52	51	49	48	47	45	44	43	42	41	40	39	37	36	35	34	33	32	31
15	55	53	52	51	49	48	47	46	45	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33
16	56	54	53	52	51	50	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35
17	57	56	54	53	52	51	50	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36
18	58	57	56	54	53	52	51	50	49	48	46	45	44	43	42	41	41	40	39	38
19	59	58	57	55	54	53	52	51	50	50	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39
20	60	59	58	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40
21	61	60	59	57	56	55	54	53	52	**51**	50	49	48	47	46	45	44	43	43	42
22	62	61	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45	45	44	43
23	63	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47	47	46	45	44
24	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49	49	48	47	46	45
25	64	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	50	49	48	47	46
26	65	64	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49	49	48	47
27	65	64	63	62	61	60	59	58	57	56	56	55	54	53	52	51	50	49	49	48
28	66	65	64	63	62	61	60	59	58	57	56	55	55	54	53	52	51	50	50	49
29	67	66	65	64	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	54	53	52	51	50	50
30	67	66	65	64	63	62	61	60	60	59	58	57	56	55	54	54	53	52	51	50
31	68	67	66	65	64	63	62	61	60	60	58	58	57	56	55	54	53	53	52	51
32	68	67	66	65	64	64	63	62	61	60	59	58	57	57	56	55	54	53	53	52
33	69	68	67	66	65	64	63	62	61	61	60	59	58	57	56	56	55	54	53	53
34	69	68	67	66	66	65	64	63	62	61	60	59	59	58	57	56	55	55	54	53
35	70	69	68	57	56	65	64	63	63	62	61	60	59	58	58	57	56	55	55	54
37	70	69	68	67	66	66	65	64	63	62	61	60	60	59	58	58	56	56	55	54
39	71	70	69	68	67	67	66	65	64	63	62	61	61	60	59	59	58	57	57	55

Exemplo de Aplicação da Tabela Psicrométrica

Determinar a umidade relativa do ar sabendo-se que um psicrômetro indica (t) t_{bs} = 26,0 ºC e (tm) t_{bu} = 20,3 ºC.

Solução

Procura-se o valor de 20,3 ºC na coluna correspondente ao termômetro de bulbo molhado (tm) e, daí, segue-se horizontalmente até a coluna cuja depressão psicrométrica (t - tm) seja igual a 5,7 ºC, isto é, (26,0 ºC - 20,3 ºC).

Quando os valores de t e (t - tm) não estão expressos na tabela, é preciso fazer uma interpolação, a qual pode ser feita indistintamente nas colunas ou nas linhas.

Somente após conhecer os valores intermediários das colunas ou das linhas, é possível calcular a umidade relativa.

Fazendo a interpolação nas colunas da Tabela 2, tem-se:

Coluna (t - tm) = 5,6 ºC: para tm = 20 ºC o valor de UR = 58% e para tm = 21 ºC o valor de UR = 59%. Assim, a UR varia em 1% para uma variação de 1 ºC (21 ºC – 20 ºC). Logo, para uma variação de 0,3 ºC (20,3 ºC - 20 ºC), a UR vai variar em 0,3%.

Desse modo, pode-se dizer que na coluna (t - tm) =5,6ºC, para tm = 20,3 ºC, corresponderá uma UR = 58,3%.

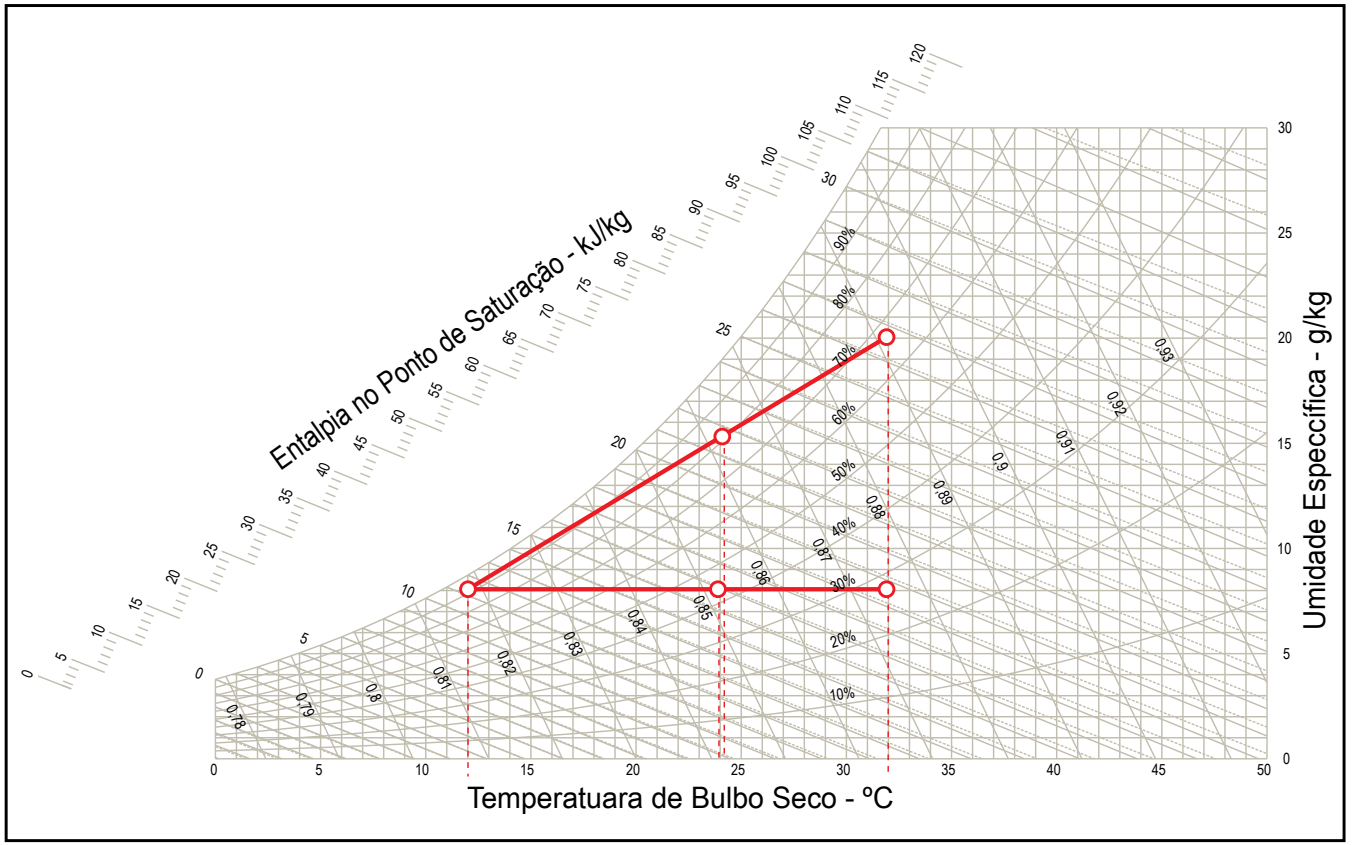
Coluna (t - tm) = 5,8 ºC: para tm = 20 ºC, o valor de UR = 56%, e para tm = 21 ºC, o valor de UR = 57%. Observa-se aqui, também, que para uma variação de 1 ºC a UR variou em 1% e, consequentemente, para a variação de 0,3 ºC (20,3 ºC - 20 ºC) a UR variará em 0,3%. Portanto, o valor da UR para tm = 20,3 ºC e (t - tm) = 5,8 ºC será de 56,3%.

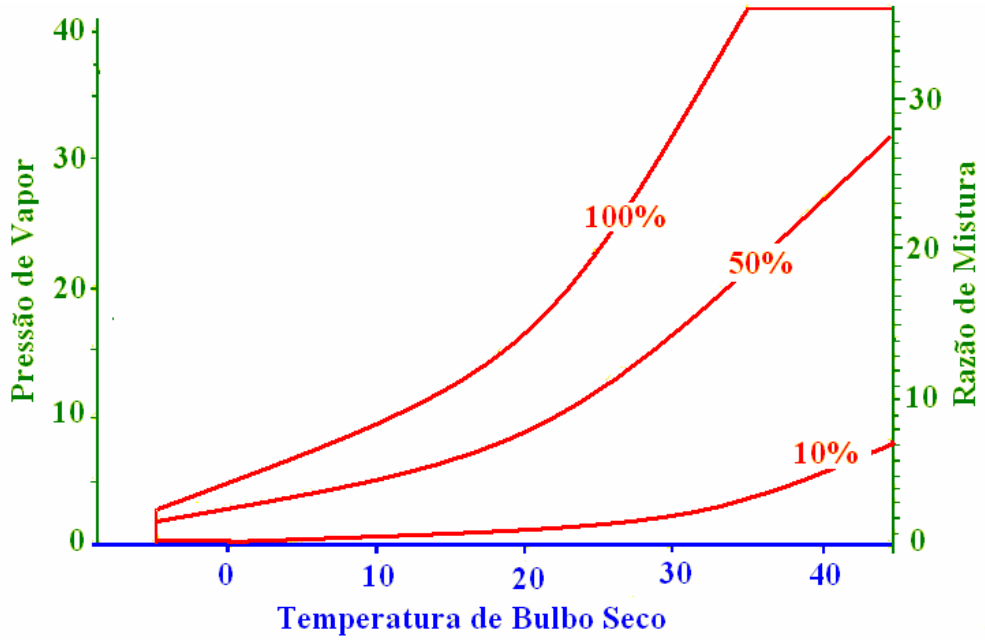
Para conhecer a UR nas condições propostas, basta interpolar os valores encontrados na linha correspondente a tm = 20,3 ºC. Ou seja, para (t - tm) = 5,6 ºC, o valor de UR = 58,3%, e para (t - tm) = 5,8 ºC o valor da UR = 56,3%. Assim, para uma variação de 0,2 ºC em (t - tm) = (5,8 ºC - 5,6 ºC), a UR variou em 2%. Para uma variação de 0,1 ºC em (t - tm) = (5,7 ºC - 5,6 ºC), a UR variará em 1%. Portanto, nas condições propostas, a UR é 57,3, como mostra a Tabela abaixo.

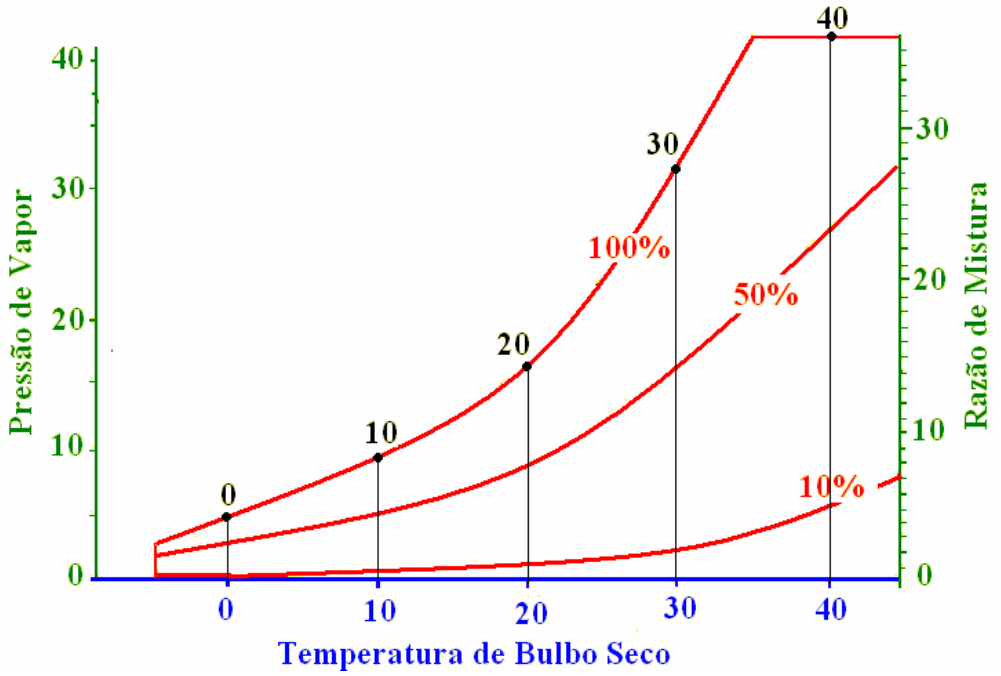
TABELA 3 – Determinação da umidade relativa (%) em função de t e de (t – t_m)

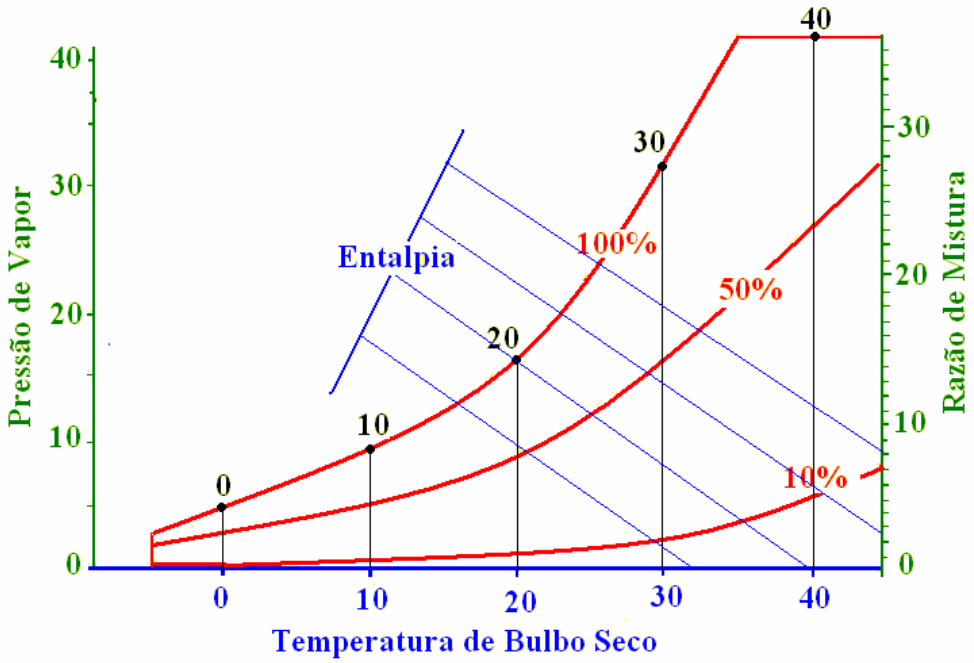
t_m (°C)	t - t_m (°C)		
	5,6	5,7	5,8
20,0	58,0	57,0	56,0
20,3	58,3	57,3	56,3
21,0	59,0	58,0	57,0

Carta Psicrométrica




Pressão de Vapor
Razão de Mistura
Temperatura de Bulbo Seco
100%
50%
10%
0
10
20
30
40


Pressão de Vapor
Razão de Mistura
Temperatura de Bulbo Seco
0
10
20
30
40
100%
50%
10%


Pressão de Vapor
Razão de Mistura
Temperatura de Bulbo Seco
Entalpia
100%
50%
10%
0
10
20
30
40

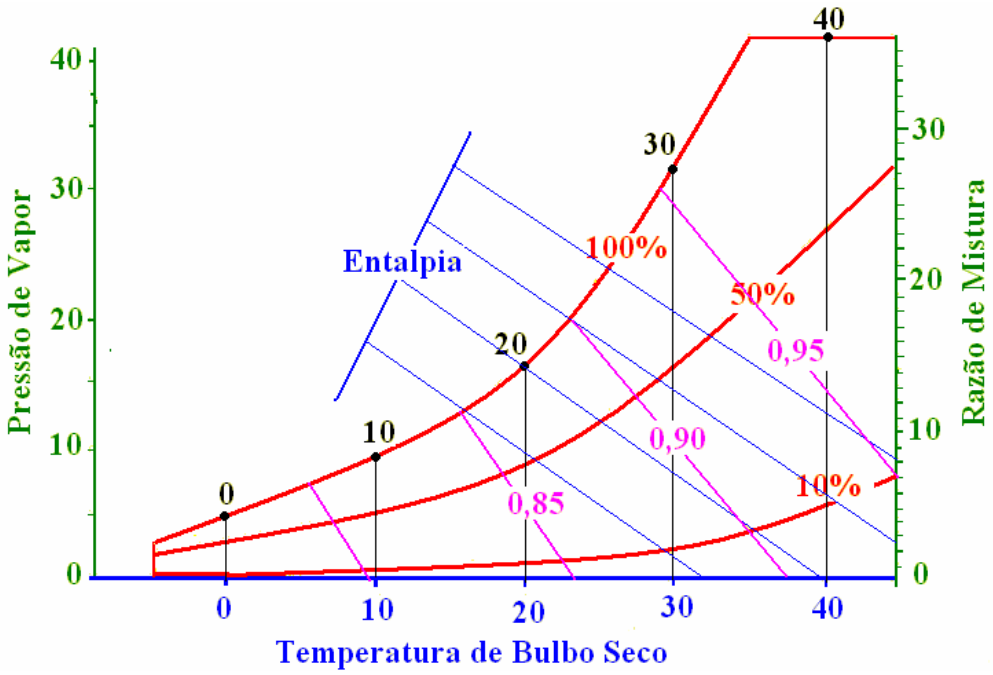


Figura 6 - Componentes básicos do gráfico psicrométrico (volume específico)

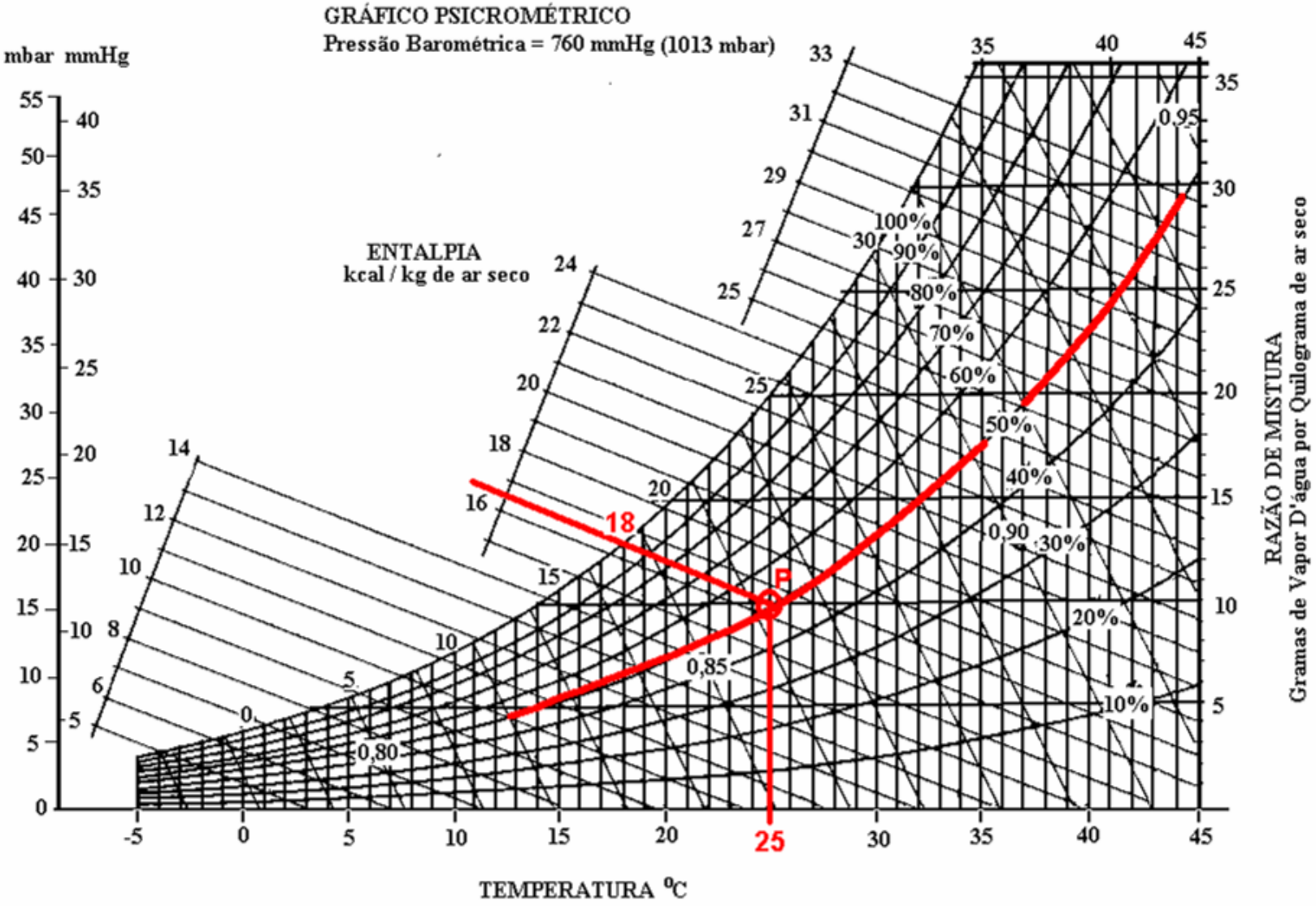


GRÁFICO PSICROMÉTRICO
Pressão Barométrica = 760 mmHg (1013 mbar)
mbar mmHg
ENTALPIA
kcal / kg de ar seco
RAZÃO DE MISTURA
Gramas de Vapor D'água por Quilograma de ar seco
TEMPERATURA °C
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0,95
0,90
0,85
0,80
18
25
P

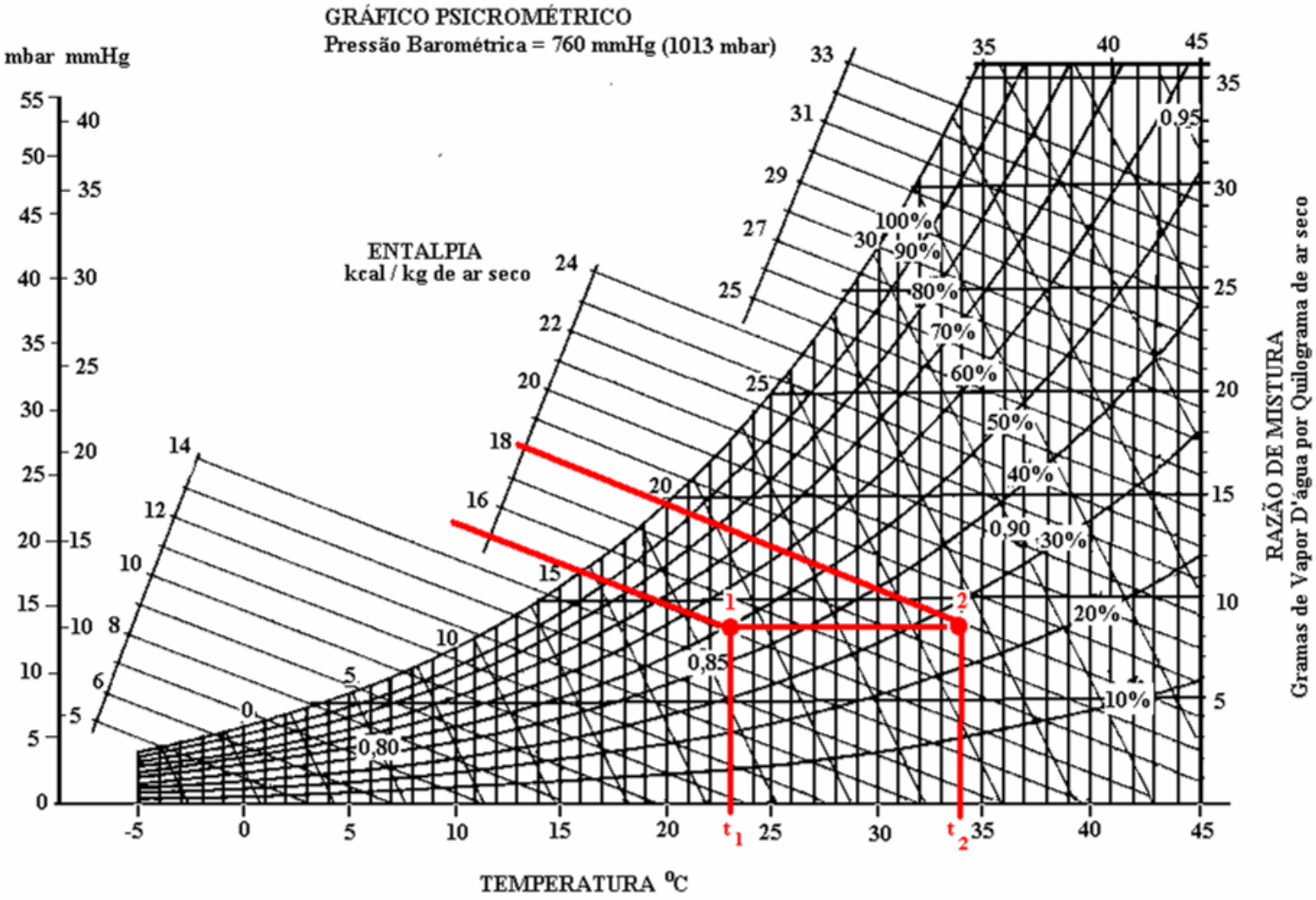


Figura 11 – Deslocamento do ponto de estado devido ao aquecimento da massa de ar.

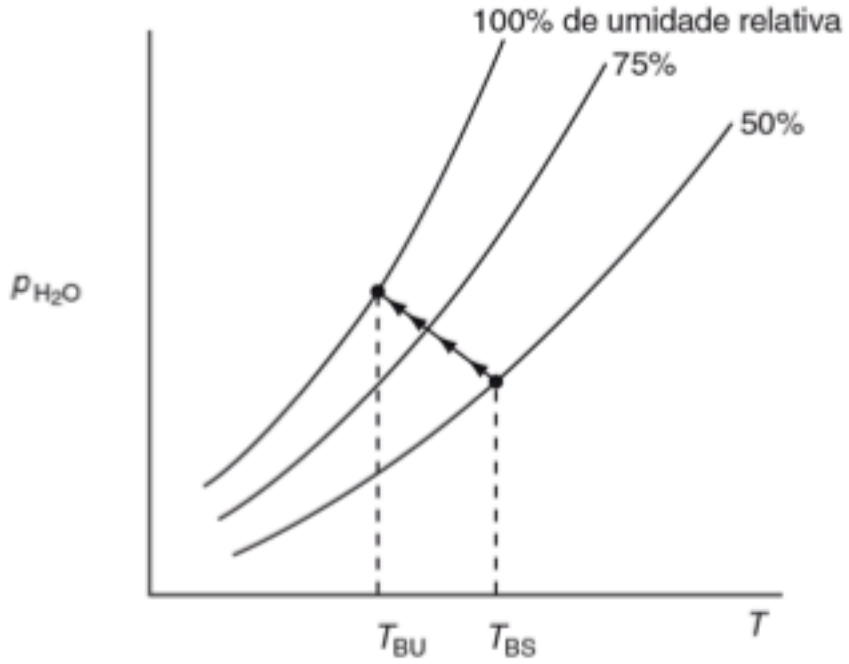


Figura 11.2 O resfriamento evaporativo da mecha úmida, inicialmente em T_{BS}, levará um bulbo de termômetro envolto nessa mecha a um estado estacionário na temperatura de bulbo úmido, T_{BU}.

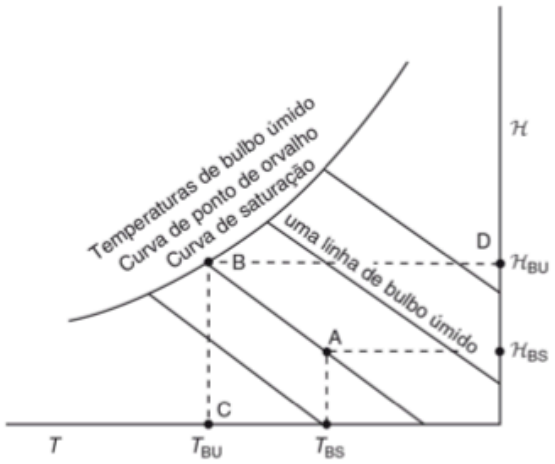


Figura 11.4 Representação do processo de bulbo úmido em um diagrama $\mathcal{H}$-T.

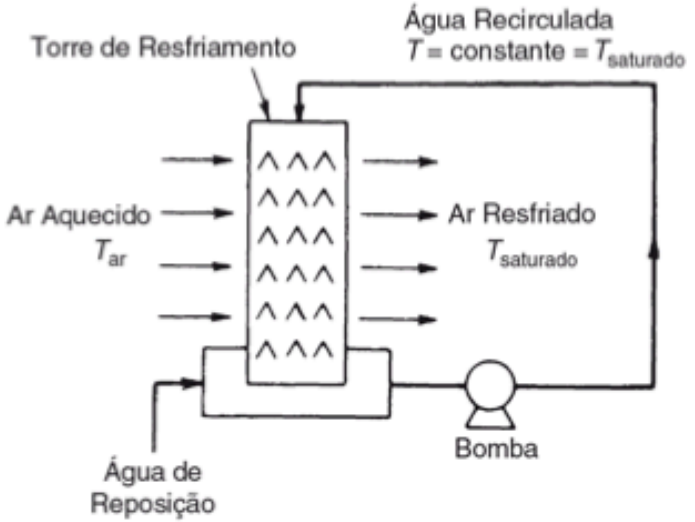


Figura 11.5 Umidificação adiabática com reciclo de água.

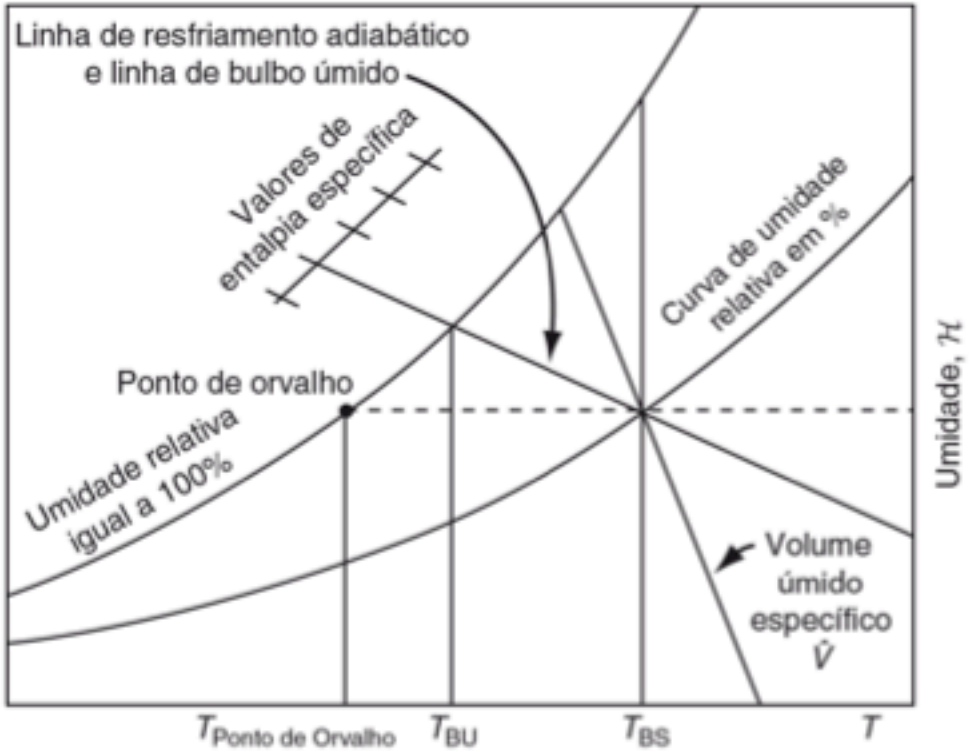
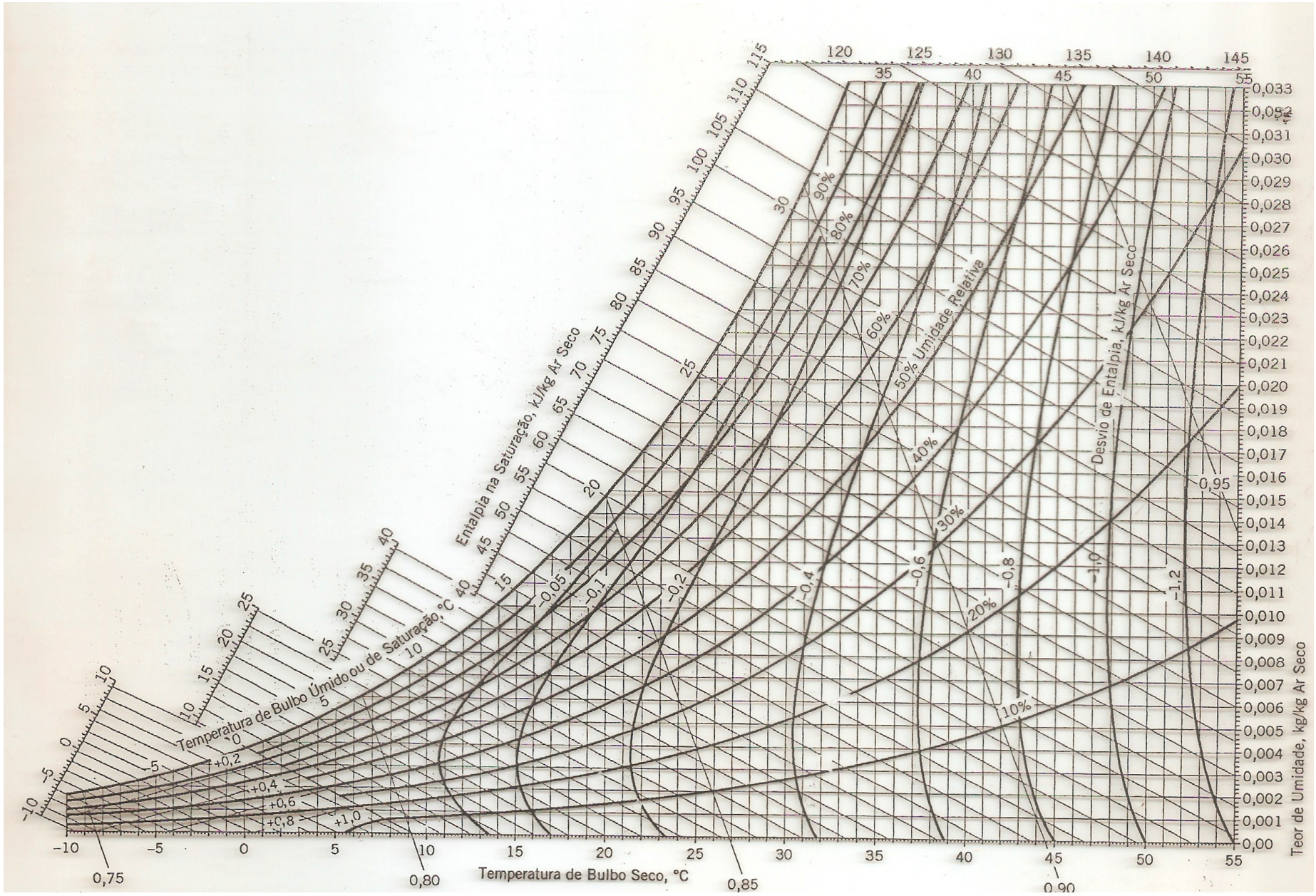
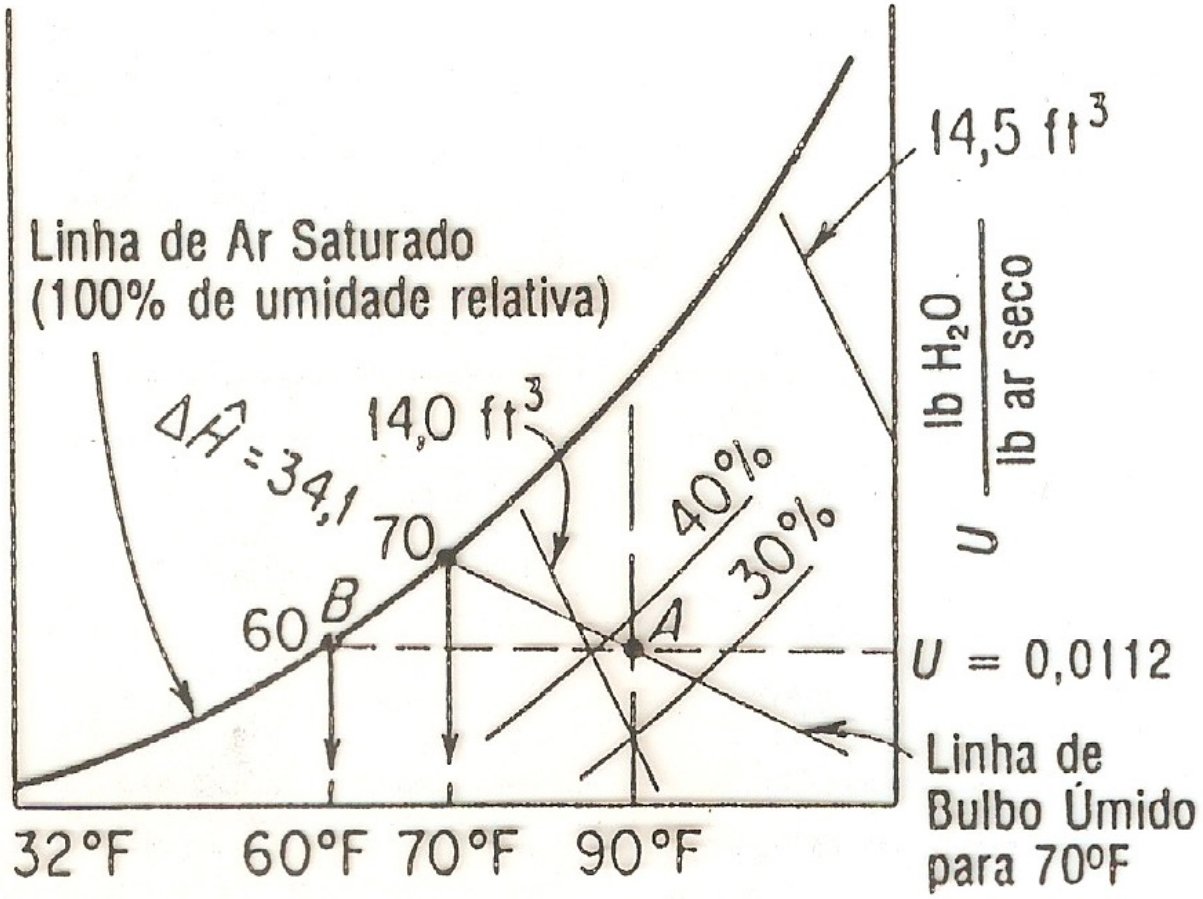


Figura 11.6 Esquema do diagrama de umidade (carta psicrométrica) mostrando relações típicas das temperaturas, pontos de orvalho, temperaturas de bulbo úmido e de bulbo seco, volume úmido específico, entalpia de saturação e linha de resfriamento adiabático (linha de bulbo úmido).


Entalpia na Saturação, kJ/kg Ar Seco
Temperatura de Bulbo Úmido ou de Saturação, °C
Desvio de Entalpia, kJ/kg Ar Seco
50% Umidade Relativa
Temperatura de Bulbo Seco, °C
Teor de Umidade, kg/kg Ar Seco
0,75
0,80
0,85
0,90
0,95

Liste todas as propriedades que você pode encontrar na carta de umidade, em unidades inglesas, para ar úmido a uma temperatura de bulbo seco igual a 90°F e uma temperatura de bulbo úmido igual a 70°F.



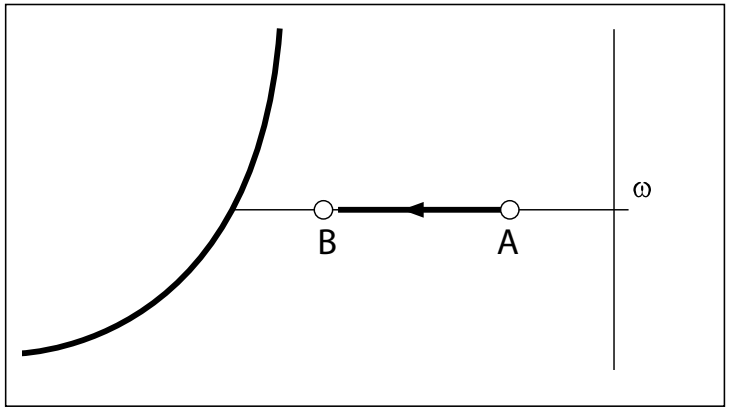


Figura 5 – Processo de Resfriamento Simples

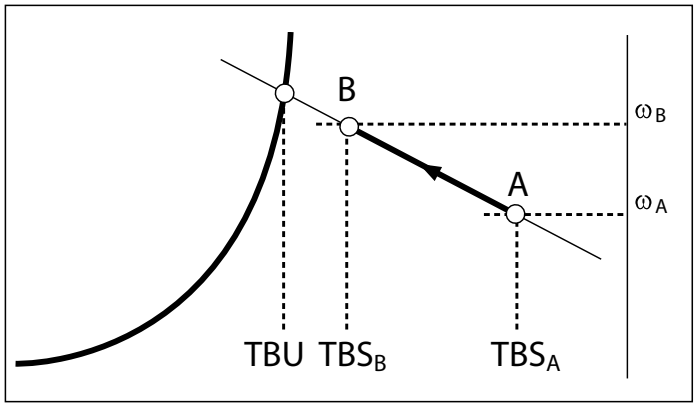


Figura 6 – Resfriamento Adiabático

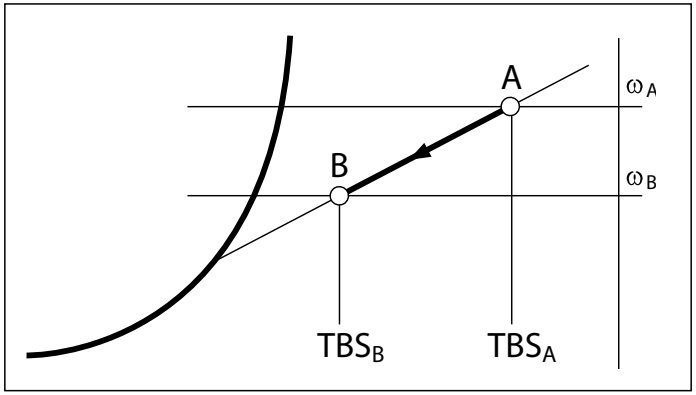


Figura 7 – Resfriamento e Desumidificação

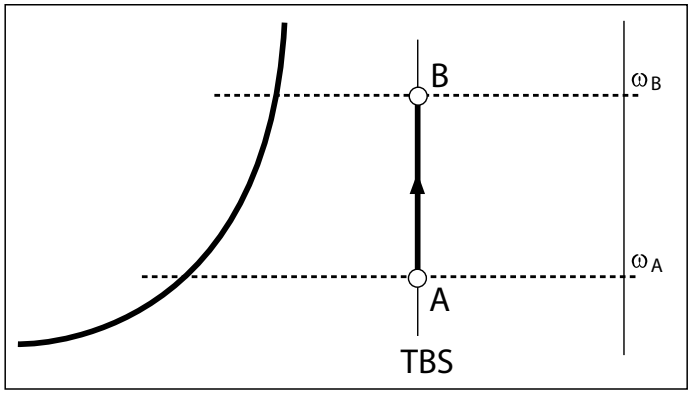


Figura 9 – Umidificação simples

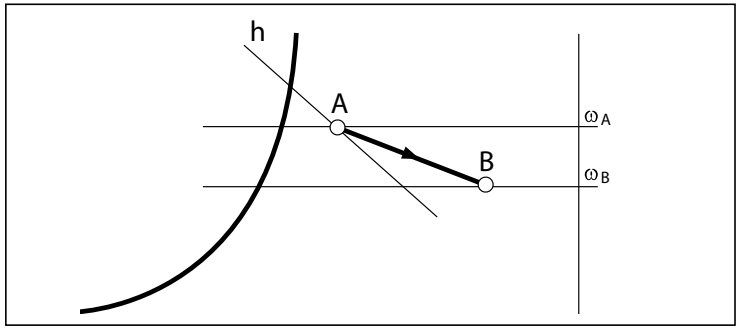


Figura 10 – Desumidificação e aquecimento

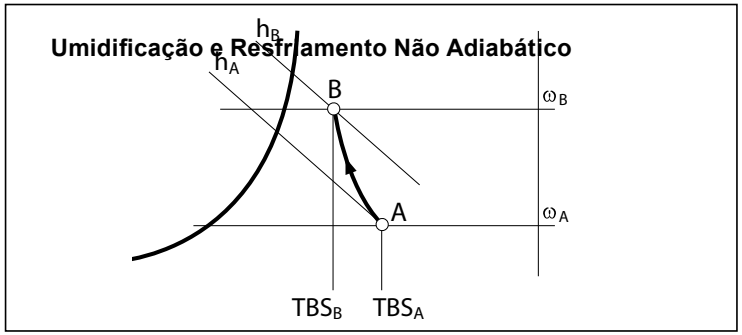
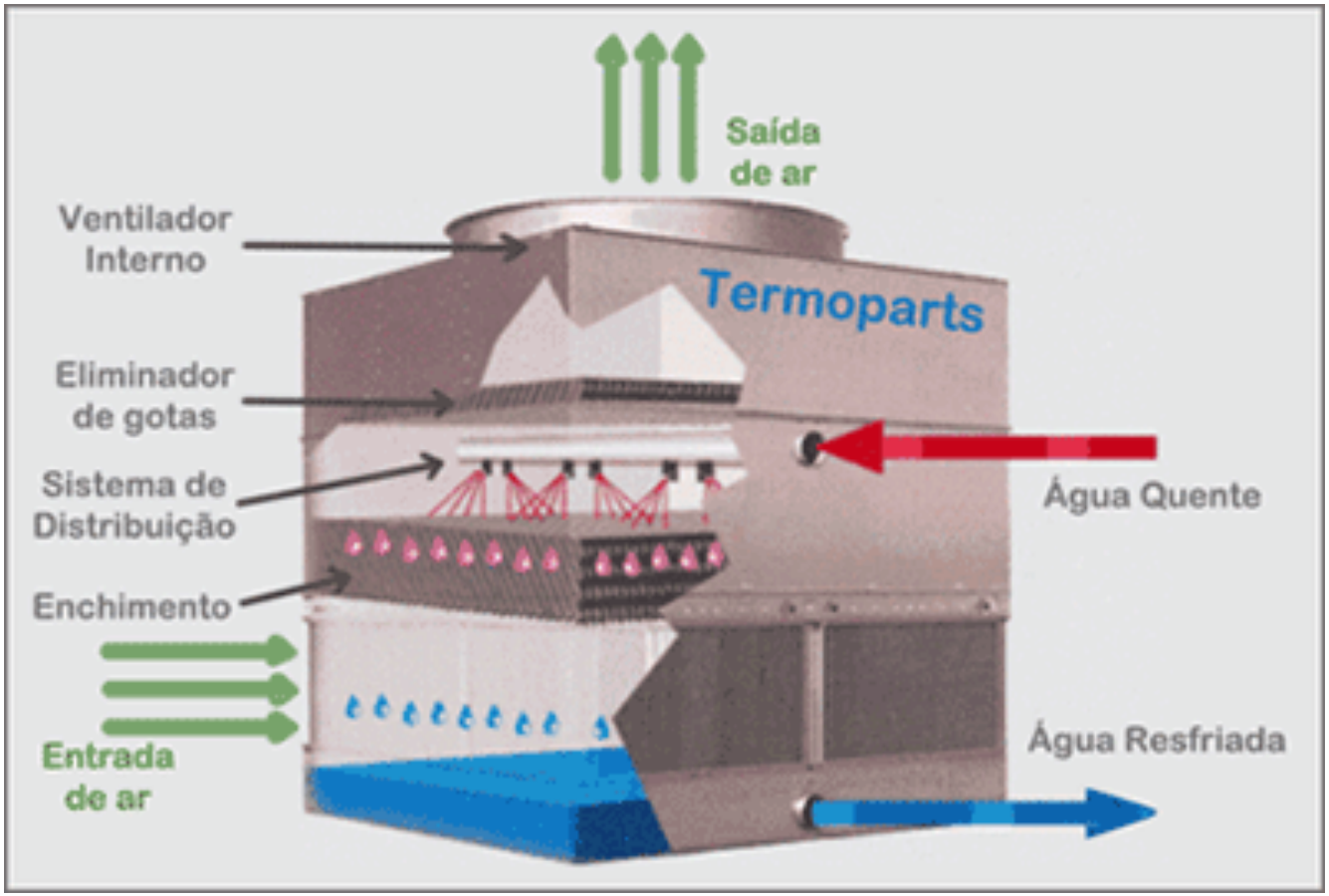
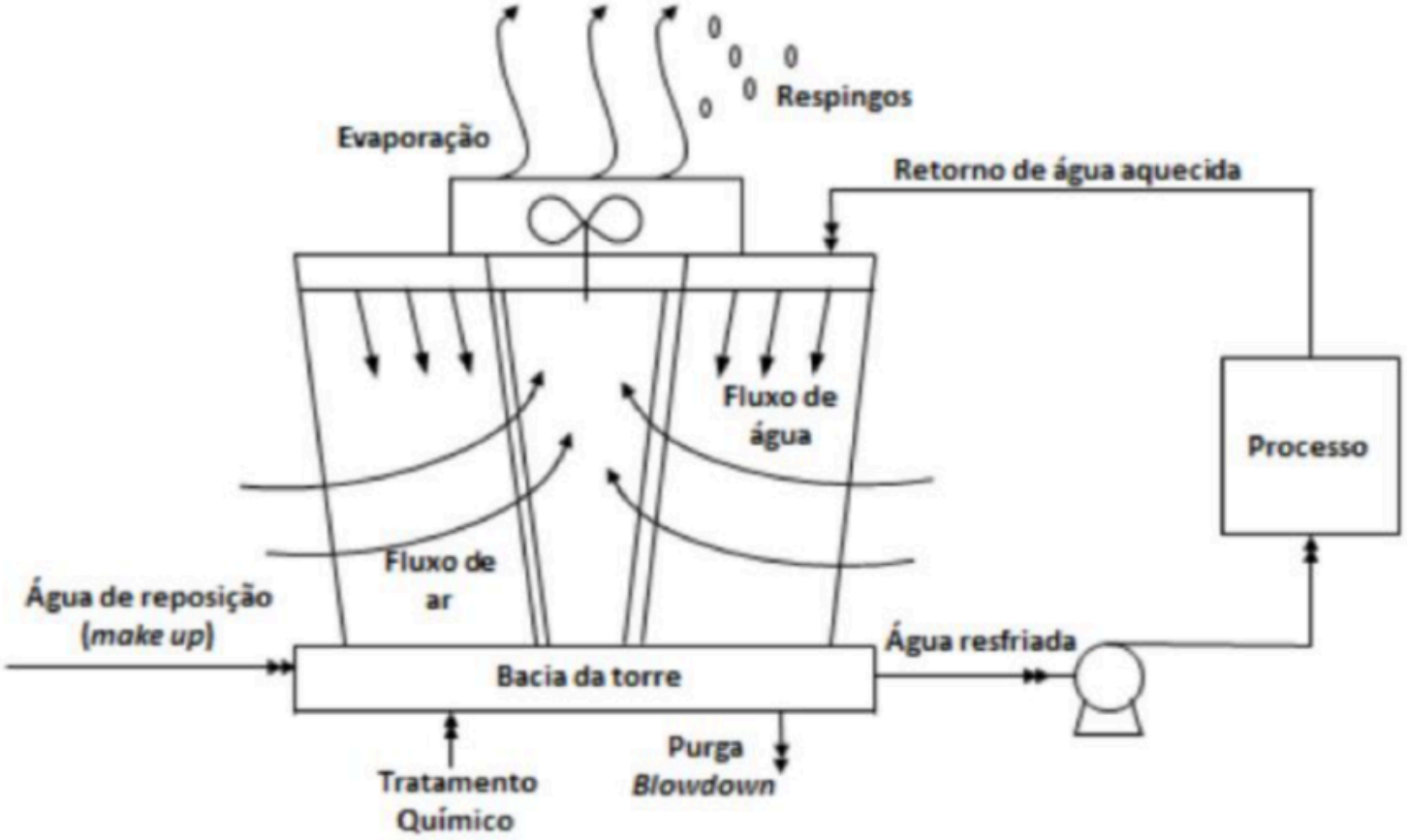


Figura 11

Torres de Resfriamento



Resfriamento de água por evaporação de água


Evaporação
Respingos
Retorno de água aquecida
Fluxo de água
Processo
Fluxo de ar
Água de reposição (*make up*)
Água resfriada
Bacia da torre
Tratamento Químico
Purga *Blowdown*

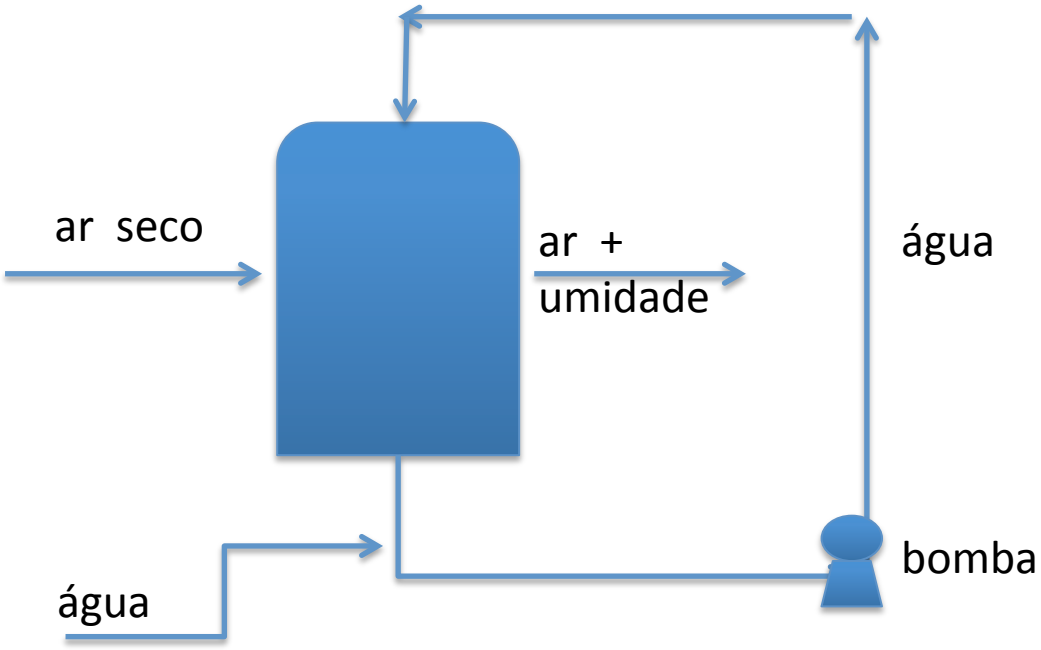
As torres de resfriamento são equipamentos utilizados para o resfriamento de água industrial, como aquela proveniente de condensadores de usinas de geração de potência, ou de instalações de refrigeração, trocadores de calor, etc. A água aquecida é aspergida na parte superior da torre e desce lentamente através de "enchimentos" de diferentes tipos, em contracorrente com uma corrente de ar frio (normalmente à temperatura ambiente). No contato direto das correntes de água e ar ocorre a evaporação da água, principal fenômeno que produz seu resfriamento.

Uma torre de resfriamento é essencialmente uma coluna de transferência de massa e calor, projetada de forma a permitir uma grande área de contato entre as duas correntes. Isto é obtido mediante a aspersão da água líquida na parte superior e do "enchimento" da torre, isto é, bandejas perfuradas, *colmeias* de materiais plástico ou metálico, etc, que aumenta o tempo de permanência da água no seu interior e a superfície de contato água – ar.

19/10/2011

Resfriamento e umidificação

Uma forma de se adicionar umidade ao ar é fazê-lo passar por um spray de água

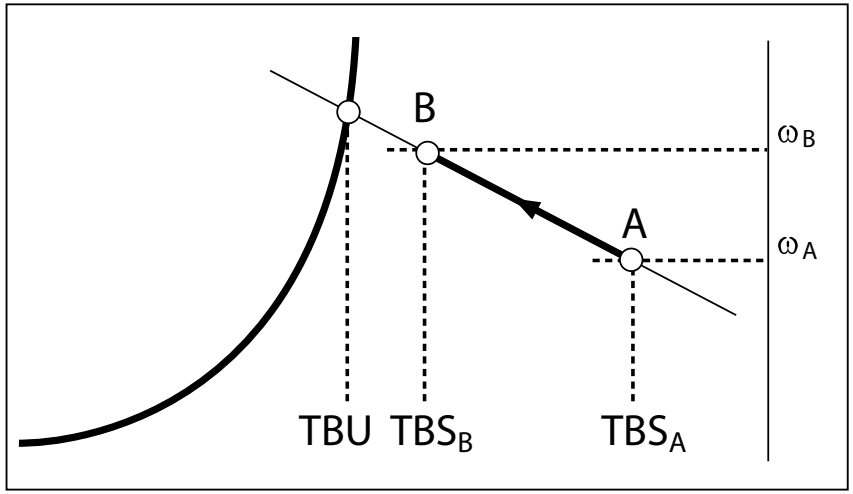


No início a água perde calor para haver evaporação, mas no regime permanente, o calor de vaporização é retirado do ar e por isso ele se resfria.

No estado estacionário Q=0

Exemplo:

Em um sistema de umidificação tem-se as seguintes condições: ar entrando a 100 ^{o}F e saindo a 80 ^{o}F e a temperatura de bulbo úmido é de 70 ^{o}F. Encontre a umidade adicionada por libra de ar seco



TBS_A = 100 ^{o}F

TBS_B = 80 ^{o}F

TBU 70 ^{o}F

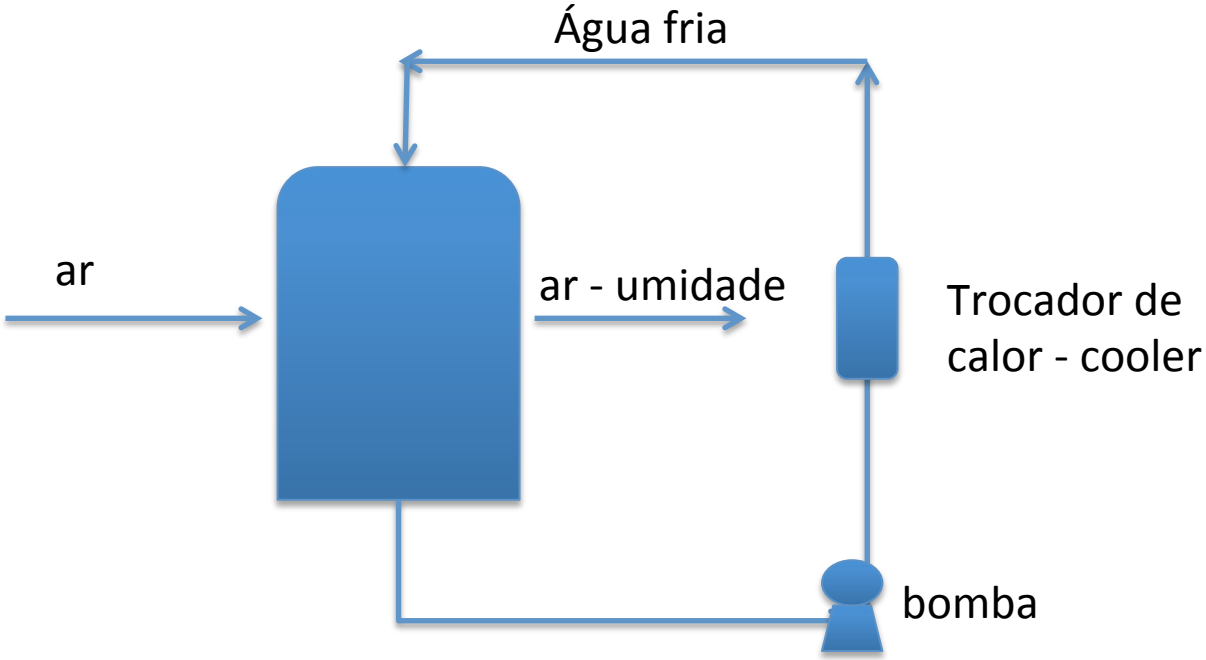
w_A = 0,0088 lb água/lb ar seco

w_B = 0,0135 lb água/lb ar seco

$w_B - w_A$ = 0,0047 lb água/lb ar seco

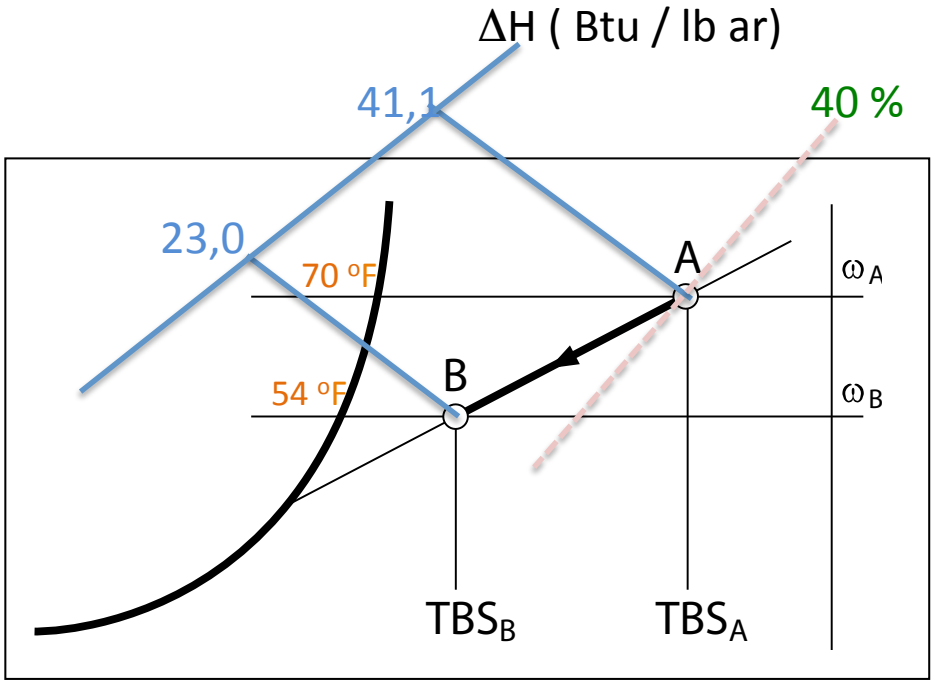
Resfriamento e desumidificação

Um processo que retira umidade do ar passando-o através de um spray de água cuja temperatura está abaixo da temperatura de orvalho do ar



Exemplo

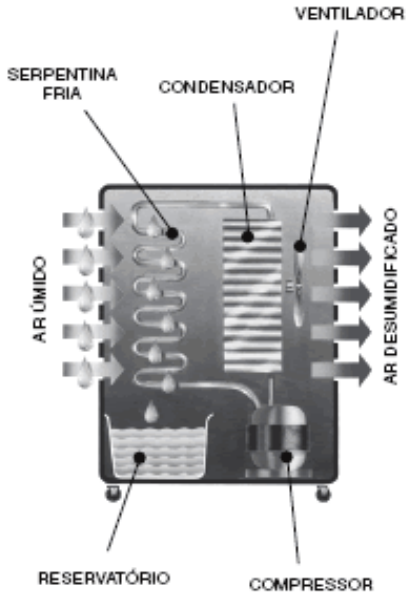
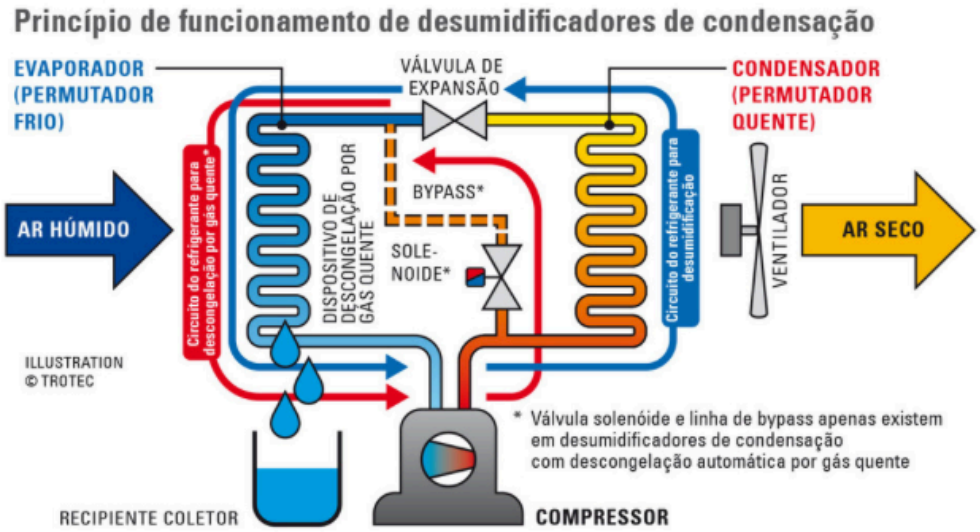
Se o ar que entra tem ponto de orvalho tem ponto de orvalho de 70 ^{o}F e tem umidade relativa de 40%, quanto calor tem que ser removido pelo trocador de calor e quanto vapor de água é removido se o ar que sai está a 56 ^{o}F com ponto de orvalho de 54 ^{o}F.



w_A = 0,016 lb água/lb ar seco

w_B = 0,009 lb água/lb ar seco

$w_A - w_B$ = 0,007 lb água/lb ar seco

ΔH = (41,1 − 23,0) Btu/lb ar = 18,1 Btu/ lb ar

Desumidificador de ar