

MÁQUINAS TÉRMICAS

MISTURA DE GASES

Muitos problemas termodinâmicos envolvem a mistura de substâncias puras.

Como estimar as propriedades termodinâmicas de misturas?

Conhecendo as propriedades individuais dos constituintes, é possível estimar as propriedades da mistura.

O entendimento do comportamento de misturas de ar com vapor d'água é importante para o estudo dos processos de condicionamento de ar e de conforto ambiental.

MÁQUINAS TÉRMICAS

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Mistura de N componentes, cada um deles sendo uma substância pura.

A massa total e o número de moles da mistura são dados por:

$$m_{tot} = m_1 + m_2 + \dots + m_N = \sum m_i$$

$$n_{tot} = n_1 + n_2 + \dots + n_N = \sum n_i$$

Frações em massa, ou concentrações:

$$c_i = \frac{m_i}{m_{tot}}$$

Frações molares da cada componente:

$$y_i = \frac{n_i}{n_{tot}}$$

MÁQUINAS TÉRMICAS

As duas frações são relacionadas pela massa molecular:

$$m_i = n_i M_i$$

Conversão da fração na base molar para a fração na base mássica:

$$c_i = \frac{m_i}{m_{tot}} = \frac{n_i M_i}{\sum n_j M_j} = \frac{n_i M_i / n_{tot}}{\sum n_j M_j / n_{tot}} = \frac{y_i M_i}{\sum y_j M_j}$$

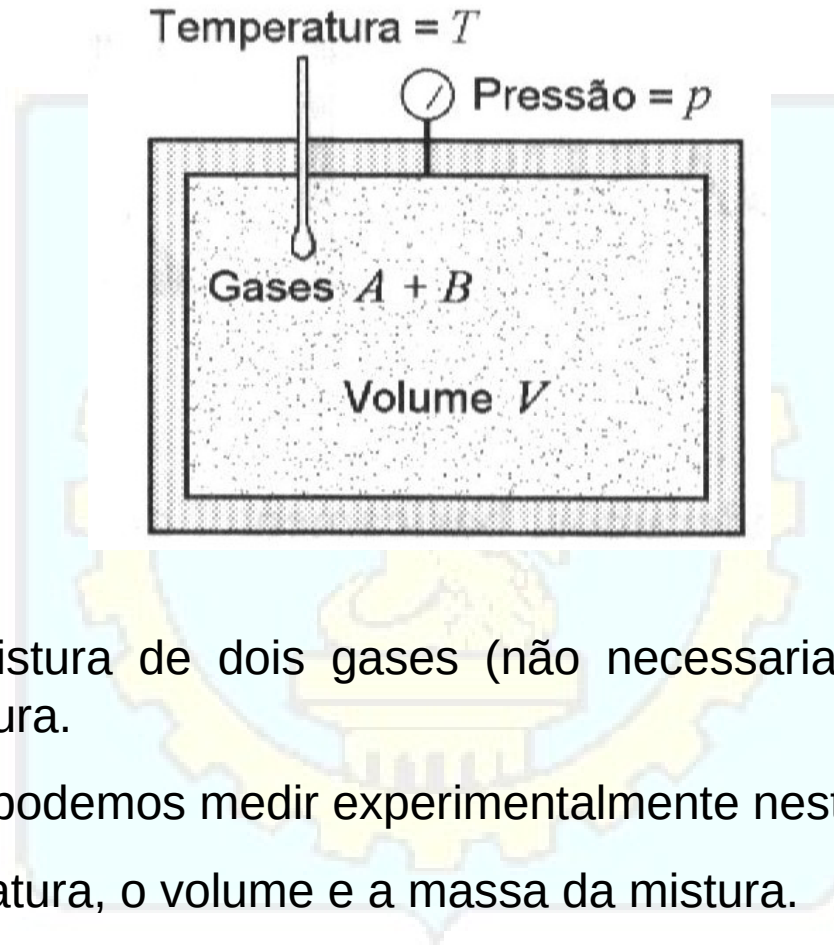
Conversão da fração na base mássica para a fração na base molar :

$$y_i = \frac{n_i}{n_{tot}} = \frac{m_i / M_i}{\sum m_j / M_j} = \frac{m_i / (M_i m_{tot})}{\sum m_j / (M_j m_{tot})} = \frac{c_i / M_i}{\sum c_j / M_j}$$

A massa molecular da mistura é:

$$M_{mist} = \frac{m_{tot}}{n_{tot}} = \frac{\sum n_j M_j}{n_{tot}} = \sum y_i M_i$$

MÁQUINAS TÉRMICAS



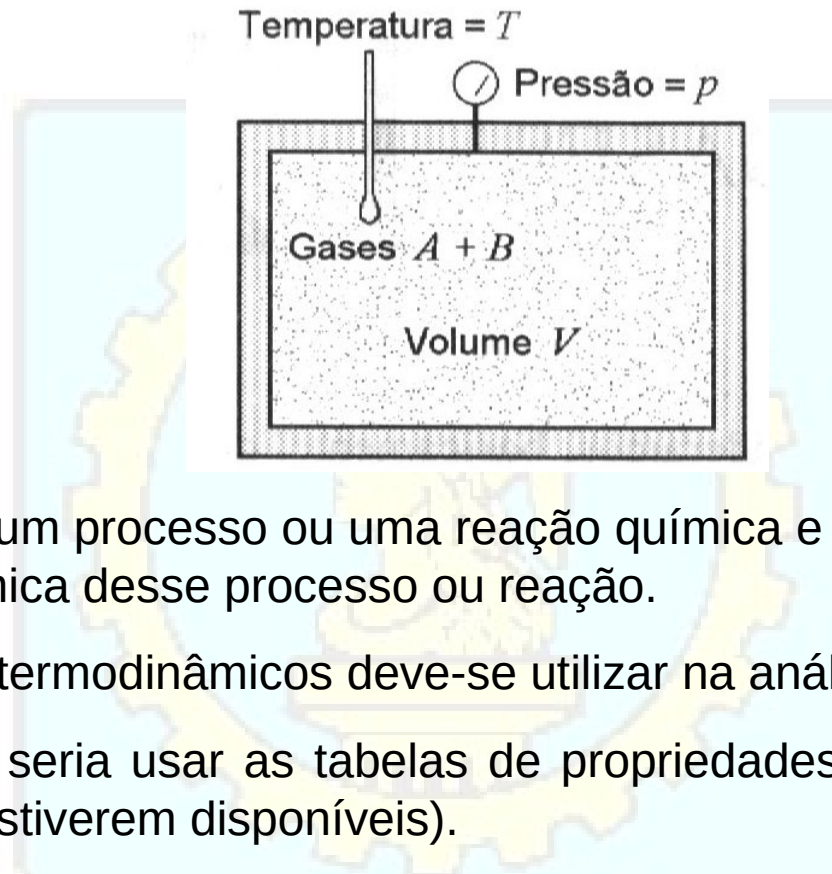
Considere uma mistura de dois gases (não necessariamente perfeitos) tal como mostra a Figura.

Que propriedades podemos medir experimentalmente nesta mistura?

Pressão, a temperatura, o volume e a massa da mistura.

Pode-se determinar experimentalmente a composição da mistura e assim calcular as frações molares e em massa.

MÁQUINAS TÉRMICAS



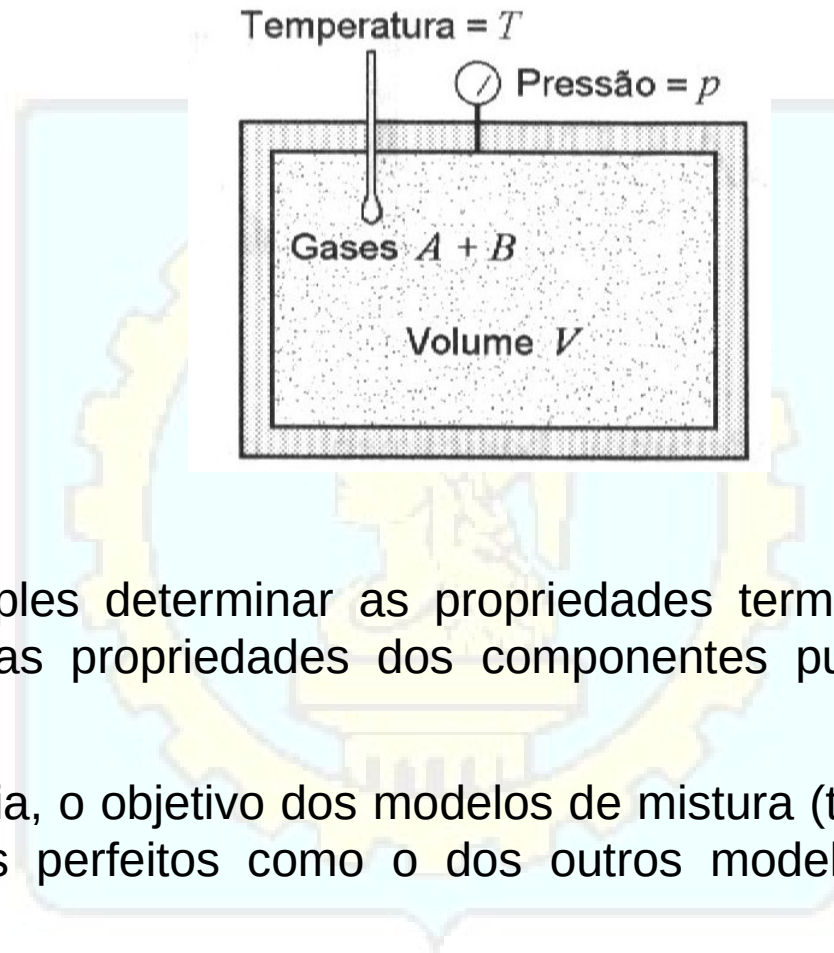
Se a mistura sofre um processo ou uma reação química e deseja-se fazer uma análise termodinâmica desse processo ou reação.

Que tipo de dados termodinâmicos deve-se utilizar na análise?

Uma possibilidade seria usar as tabelas de propriedades termodinâmicas da mistura (se estas estiverem disponíveis).

Entretanto, o número possível de misturas diferentes, quer quanto às substâncias componentes, quer quanto às quantidades relativas com que elas comparecem é tal que seria necessária uma biblioteca repleta de tabelas de propriedades termodinâmicas para cobrir todas as situações possíveis.

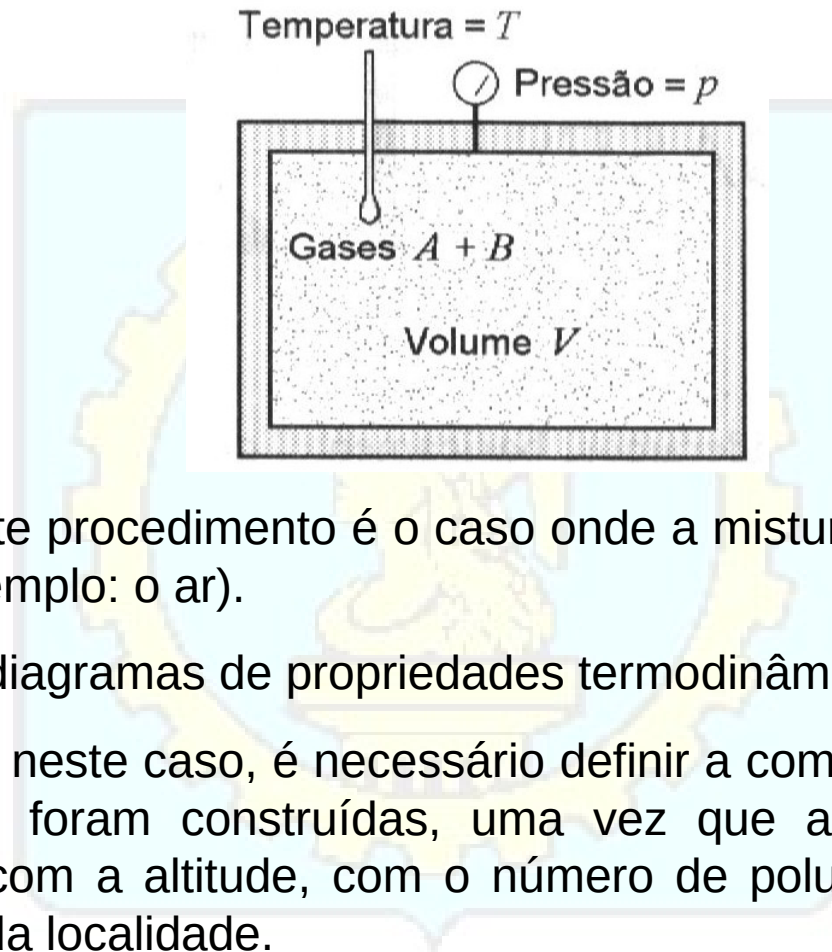
MÁQUINAS TÉRMICAS



É muito mais simples determinar as propriedades termodinâmicas de uma mistura a partir das propriedades dos componentes puros que compõe a mistura.

Este é, em essência, o objetivo dos modelos de mistura (tanto o que trata das misturas de gases perfeitos como o dos outros modelos simplificados de mistura).

MÁQUINAS TÉRMICAS

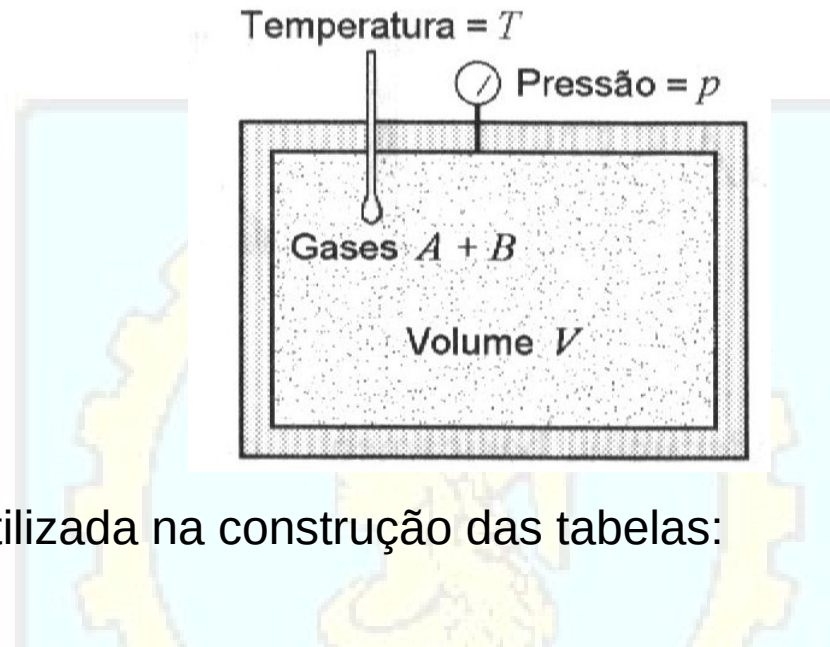


Uma exceção a este procedimento é o caso onde a mistura é encontrada com frequência (por exemplo: o ar).

Existem tabelas e diagramas de propriedades termodinâmicas para o ar.

Entretanto, mesmo neste caso, é necessário definir a composição do "ar" para a qual as tabelas foram construídas, uma vez que a composição do ar atmosférico varia com a altitude, com o número de poluentes e com outras variáveis numa dada localidade.

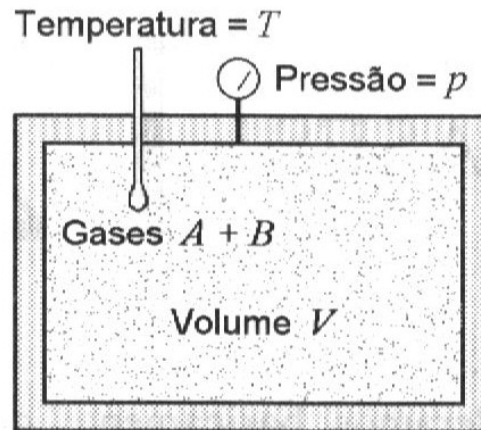
MÁQUINAS TÉRMICAS



A composição ar utilizada na construção das tabelas:

Componente	% na base molar
Nitrogênio	78,10
Oxigênio	20,95
Argônio	0,92
CO ₂ e traços de outros elementos	0,03

MÁQUINAS TÉRMICAS



Para o caso geral, as propriedades da mistura são definidas em termos das propriedades molares parciais dos componentes.

Uma propriedade molar parcial é definida como o valor de uma propriedade, energia interna por exemplo, de um dado componente nas condições em que ele se encontra na mistura.

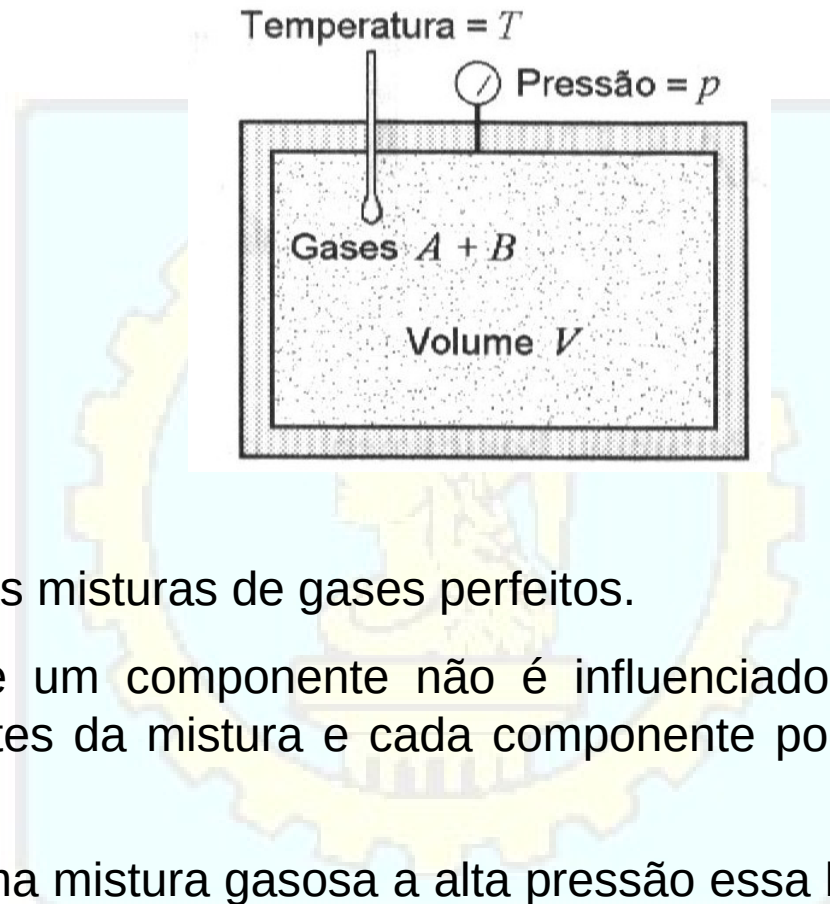
A partir dessa definição, a energia interna da mistura é dada por:

$$U_{\text{mist}} = n_A \bar{U}_A + n_B \bar{U}_B$$

onde \bar{U} é a energia interna molar parcial.

Equações semelhantes podem ser escritas para outras propriedades.

MÁQUINAS TÉRMICAS



Serão abordadas as misturas de gases perfeitos.

Será admitido que um componente não é influenciado pela presença dos demais componentes da mistura e cada componente pode ser tratado como um gás perfeito.

No caso real de uma mistura gasosa a alta pressão essa hipótese não é muito correta devido as interações entre as moléculas dos diversos componentes.

MÁQUINAS TÉRMICAS

$$U_{\text{mist}} = n_A \bar{U}_A + n_B \bar{U}_B$$

Como calcular as propriedades molares parciais dos componentes?

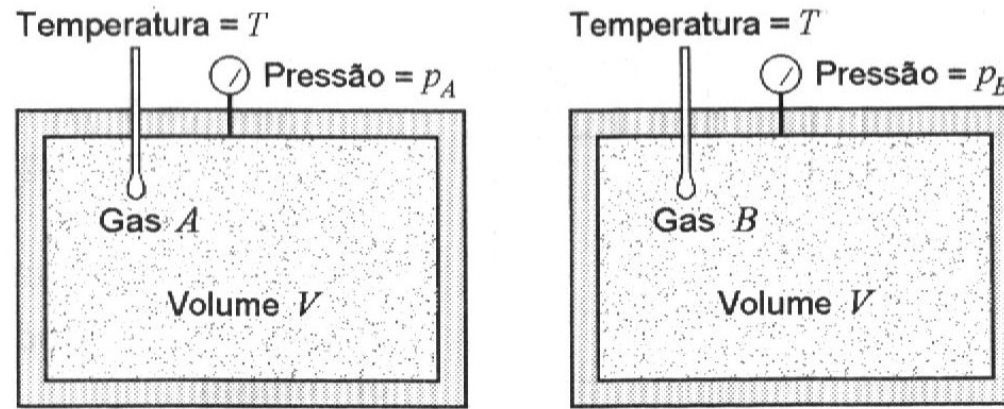
Lembrete: propriedade molar parcial é definida como o valor de uma propriedade de um dado componente nas condições em que ele se encontra na mistura.

Para a mistura de gases perfeitos são utilizados dois modelos:

Modelo de Dalton

Modelo de Amagat

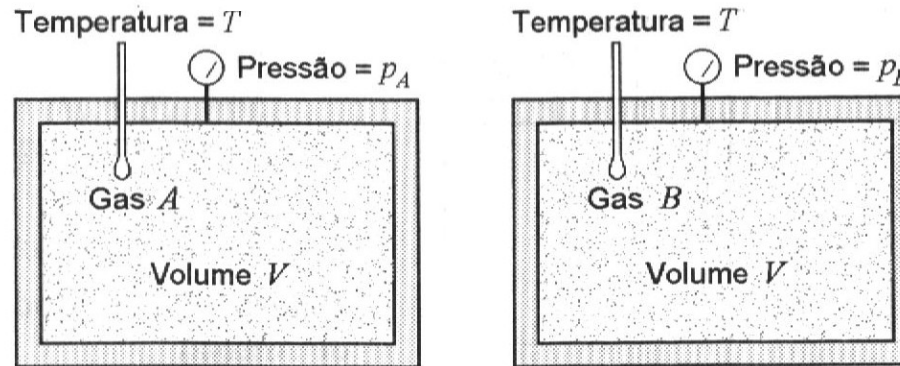
MÁQUINAS TÉRMICAS



Modelo de Dalton

No modelo de Dalton as propriedades de cada componente são determinadas a partir da hipótese de que cada um dos componentes ocupa todo o volume na temperatura da mistura.

MÁQUINAS TÉRMICAS



Para a mistura $pV = n\bar{R}T$
 $n = n_A + n_B$

Para os componentes $p_A V = n_A \bar{R}T$
 $p_B V = n_B \bar{R}T$

Fazendo as substituições convenientes obtemos:

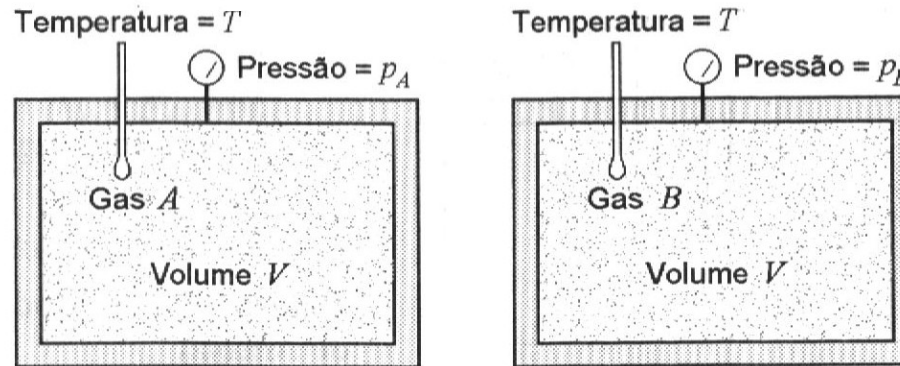
$$n = n_A + n_B$$

$$\frac{pV}{\bar{R}T} = \frac{p_A V}{\bar{R}T} + \frac{p_B V}{\bar{R}T}$$

Ou: $p = p_A + p_B$

onde p_A e p_B são denominadas **pressões parciais**.

MÁQUINAS TÉRMICAS



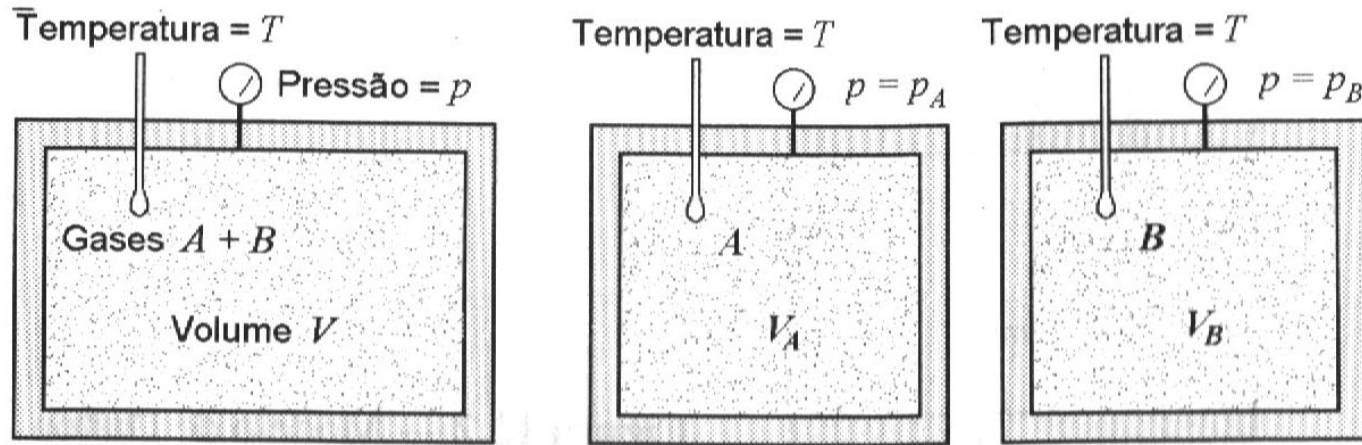
Assim, para uma mistura de gases perfeitos, a pressão é a soma das pressões parciais dos componentes.

O termo pressão parcial tem importância somente no caso de gases perfeitos.

Esse conceito admite que as moléculas de cada componente não são influenciadas pelas dos outros e que a pressão total é a soma das pressões parciais dos componentes.

A pressão parcial não é uma propriedade molar parcial, uma vez que as propriedades molares parciais se relacionam a propriedades extensivas.

MÁQUINAS TÉRMICAS



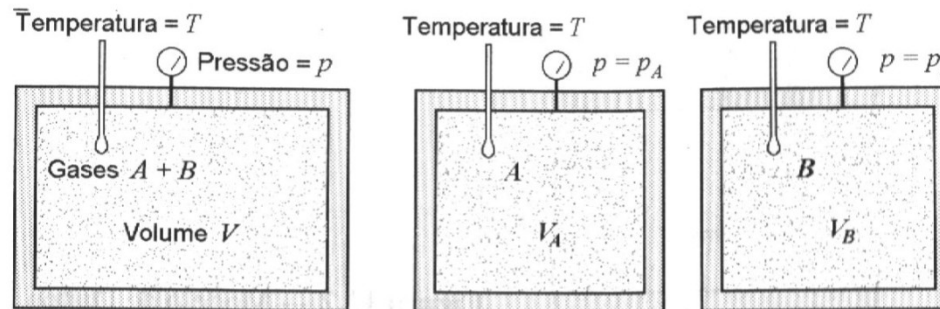
Modelo Amagat

No modelo de Amagat as propriedades de cada componente são determinadas a partir da hipótese de que cada um dos componentes esteja a pressão e temperatura da mistura.

Os volumes **A** e **B** nestas condições são, respectivamente, V_A e V_B .

No caso geral, a soma dos volumes, ou seja, $V_A + V_B$ não precisa ser necessariamente igual ao volume da mistura.

MÁQUINAS TÉRMICAS



Neste caso podemos escrever:

Para a mistura: $pV = n\bar{R}T$

$$n = n_A + n_B$$

Para os componentes: $pV_A = n_A\bar{R}T$

$$pV_B = n_B\bar{R}T$$

Fazendo as substituições convenientes obtemos

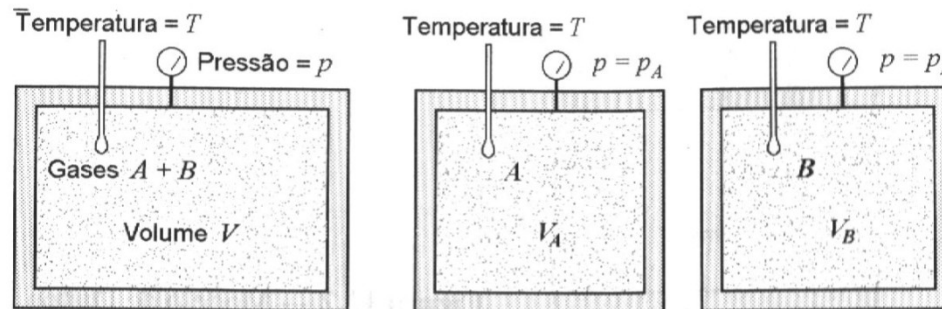
$$\frac{pV}{\bar{R}T} = \frac{p}{\bar{R}T} \frac{V_A}{p} + \frac{p}{\bar{R}T} \frac{V_B}{p}$$

$$V_A + V_B = V$$

Onde V_A/V e V_B/V são denominadas **frações em volume**.

$$\frac{V_A}{V} + \frac{V_B}{V} = 1$$

MÁQUINAS TÉRMICAS



Assim o modelo de Amagat, para o caso de gases perfeitos, estabelece que a soma das frações em volume é unitária e que não haverá variação de volume se os componentes forem misturados e mantidos na mesma pressão e temperatura.

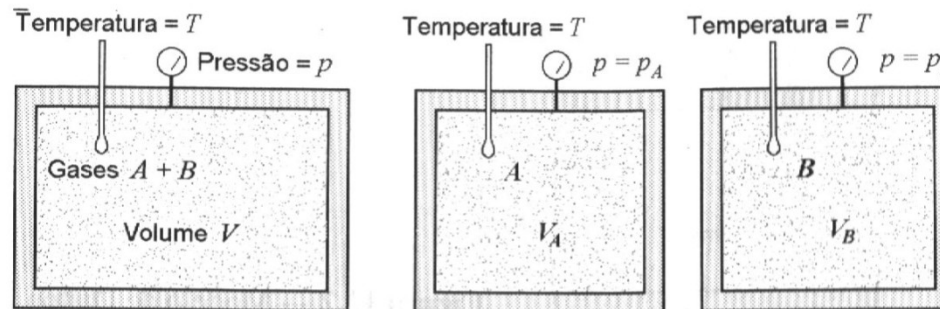
Uma evidência:

$$\frac{V_A}{V} = \frac{n_A}{n} = \frac{p_A}{p}$$

$$\frac{V_B}{V} = \frac{n_B}{n} = \frac{p_B}{p}$$

Isto é, a fração em volume, a fração molar e a relação entre a pressão parcial e a pressão total de cada componente de uma mistura de gases perfeitos são iguais.

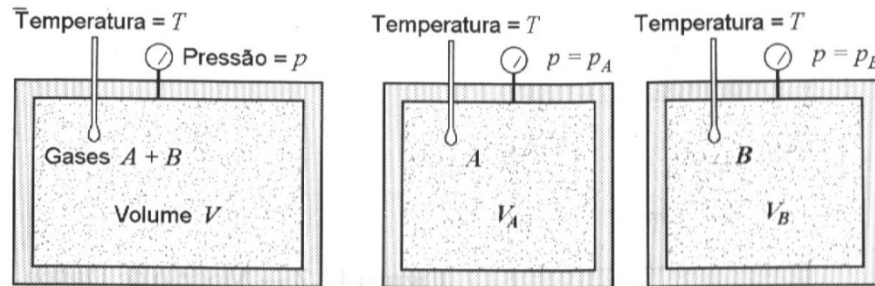
MÁQUINAS TÉRMICAS



Na determinação da energia interna, da entalpia e da entropia de uma mistura de gases perfeitos, o modelo de Dalton é mais útil devido à hipótese de que cada componente da mistura se comporta com se ele, isoladamente, ocupasse todo o volume.

Assim, a energia interna, a entalpia e a entropia podem ser calculadas como a soma das respectivas propriedades de cada componente nas condições em que ele se encontram na mistura.

MÁQUINAS TÉRMICAS



Como para os gases perfeitos a energia interna e a entalpia são funções somente da temperatura, temos que:

$$U = n\bar{u} = n_A \bar{u}_A + n_B \bar{u}_B$$

$$H = n\bar{h} = n_A \bar{h}_A + n_B \bar{h}_B$$

onde u_A e h_A são a energia interna e a entalpia por mol do componente **A** puro e u_B e h_B do componente **B** puro. As propriedades são calculadas na temperatura da mistura.

A entropia de um gás perfeito é função da temperatura e da pressão.

Cada componente, na mistura de gases perfeitos, se faz presente na sua pressão parcial.

$$S = n\bar{s} = n_A \bar{s}_A + n_B \bar{s}_B$$

onde s_A é a entropia por mol do componente **A** puro a **T e p_A** (pressão parcial do componente A) e s_B é a entropia do componente **B** puro, a **T e p_B**.

MÁQUINAS TÉRMICAS

A análise volumétrica de uma mistura gasosa forneceu os seguintes resultados:

Componente	CO ₂	O ₂	N ₂	CO
% em volume	12,0	4,0	82,0	2,0

Determine a composição da mistura na base mássica, a massa molecular e a constante de gás da mistura. Admita que a mistura se comporte como um de gás perfeito.

Sistema: mistura gasosa.

Estado: composição conhecida.

Solução: A Tab. 12.1 é uma maneira conveniente de resolver esse tipo de problema.

Tabela 12.1

Componente	Percentagem em volume	Fração molar	Massa molecular	Massa (kg) por kmol de mistura	Análise na base mássica %
CO ₂	12	0,12	× 44,0	= 5,28	$\frac{5,28}{30,08} = 17,55$
O ₂	4	0,04	× 32,0	= 1,28	$\frac{1,28}{30,08} = 4,26$
N ₂	82	0,82	× 28,0	= 22,96	$\frac{22,96}{30,08} = 76,33$
CO	2	0,02	× 28,0	= 0,56	$\frac{0,56}{30,08} = 1,86$
				<u>30,08</u>	<u>100,00</u>

Massa molecular da mistura = 30,08.

$$R \text{ da mistura} = \frac{\bar{R}}{M} = \frac{8,3145}{30,08} = 0,2764 \text{ kJ / kg K}$$

MÁQUINAS TÉRMICAS

MODELO SIMPLIFICADO PARA MISTURAS COMPOSTAS POR GASES E UM VAPOR

Será apresentada uma simplificação, que em muitos casos é razoável, para o problema que envolve uma mistura de gases perfeitos em contato com a fase sólida ou líquida de um de seus componentes.

Um exemplo típico é a mistura de ar e vapor d'água em contato com água líquida ou gelo que são encontradas nos processos de condicionamento de ar e de secagem.

Estamos familiarizados com a condensação da água da atmosfera quando ela é resfriada num dia de verão.

MÁQUINAS TÉRMICAS

Hipóteses:

A fase sólida ou líquida não contém gases dissolvidos.

A fase gasosa pode ser tratada como uma mistura de gases perfeitos.

Quando a mistura e a fase condensada estão a uma dada pressão e temperatura, o equilíbrio entre a fase condensada e seu vapor não é influenciado pela presença do outro componente.

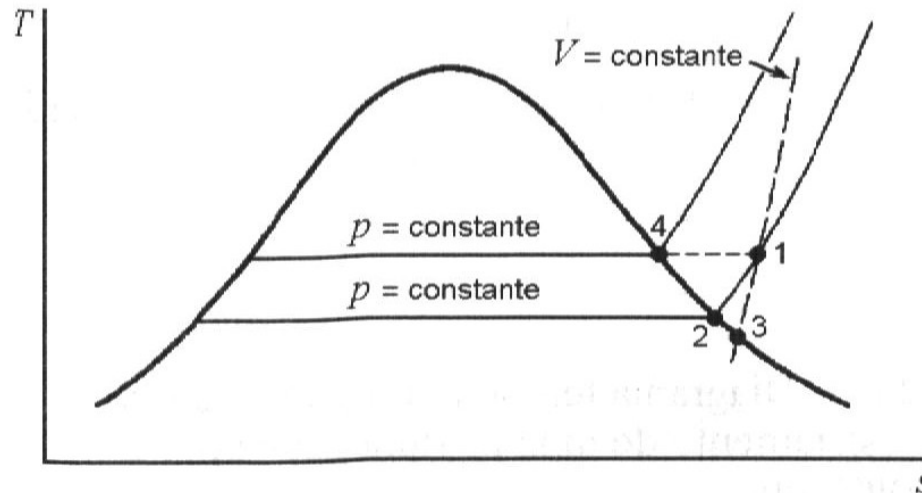
Isso significa que, quando o equilíbrio é atingido, a pressão parcial do vapor será igual a pressão de saturação correspondente a temperatura da mistura.

Esta aproximação é largamente utilizada, com considerável precisão.

Serão vistas as condições em que a aplicação deste modelo de mistura é válido e relevante.

Essa mistura é chamada de “mistura de gás e vapor”.

MÁQUINAS TÉRMICAS



O **ponto de orvalho** de uma mistura de gás e vapor é o ponto no qual o vapor condensa ou solidifica quando é resfriado a pressão constante.

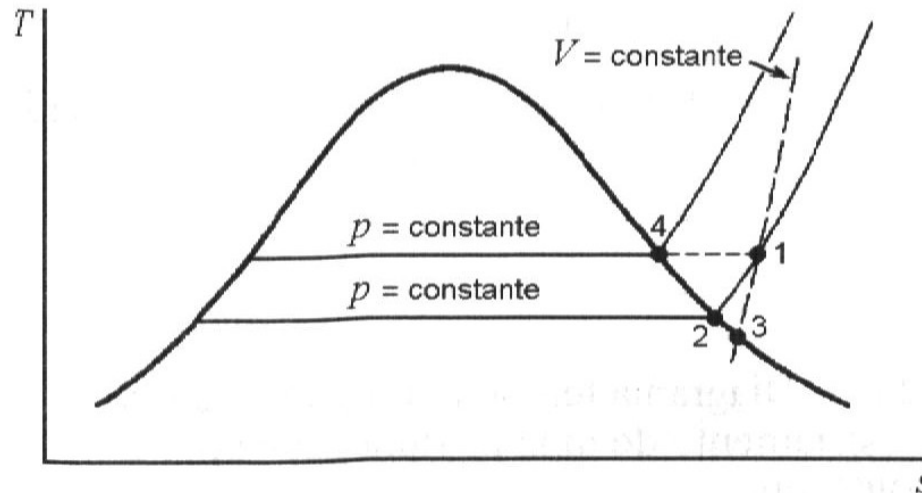
Isso é mostrado no diagrama $T-s$ para o vapor.

Inicialmente, a temperatura da mistura gasosa e a pressão parcial do vapor na mistura são tais que o vapor esteja superaquecido (estado 1).

Se a mistura é resfriada a pressão constante, a pressão parcial do vapor permanece constante até que o ponto 2 seja alcançado e, então, temos o início da condensação.

A temperatura no estado 2 é chamada de temperatura de orvalho.

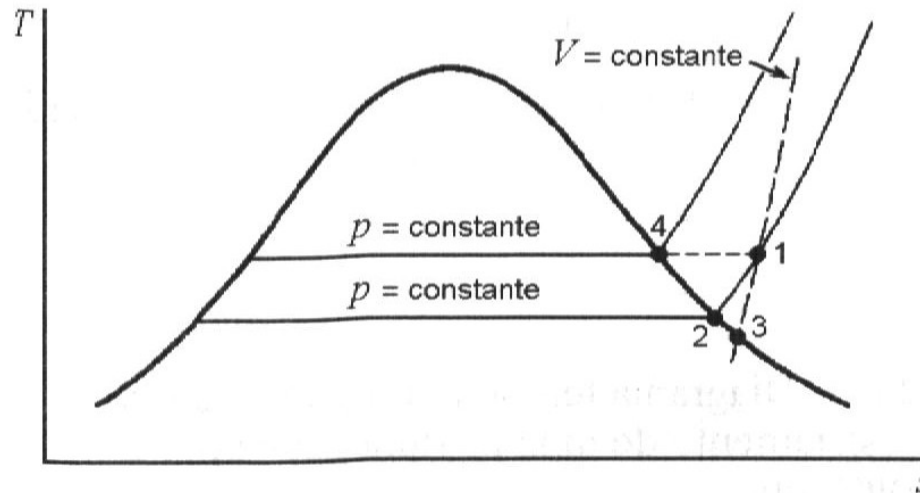
MÁQUINAS TÉRMICAS



Se a mistura for resfriada a volume constante, linha 1-3 no diagrama, a condensação iniciará no ponto 3, cuja temperatura será ligeiramente mais baixa que a de orvalho.

Se o vapor está a pressão e temperatura de saturação, a mistura é denominada mistura saturada e, para uma mistura ar-vapor d'água, é usado o termo **"ar saturado"**.

MÁQUINAS TÉRMICAS



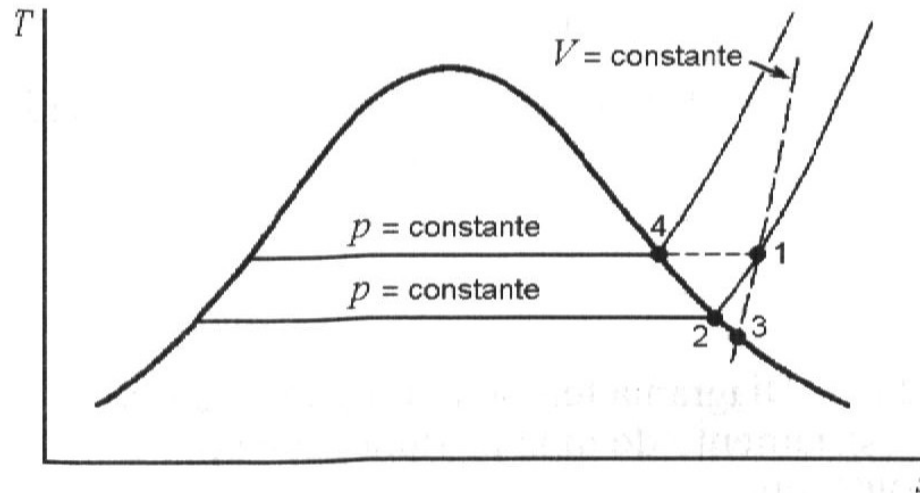
A **umidade relativa ϕ** é definida como sendo a relação entre a fração molar do vapor na mistura e a fração molar do vapor numa mistura saturada a mesma temperatura e pressão total.

Uma vez que o vapor é considerado gás perfeito, a definição se reduz a razão entre a pressão parcial do vapor na mistura, p_v , e a pressão de saturação do vapor a mesma temperatura p_g .

$$\phi = \frac{p_v}{p_g}$$

$$\begin{aligned} PV &= (n_a + n_v)\bar{R}T \\ p_v V &= n_v \bar{R}T \\ \frac{p_v}{P} &= \frac{n_v}{(n_a + n_v)} \end{aligned}$$

MÁQUINAS TÉRMICAS



De acordo com o diagrama, a umidade relativa, ϕ , pode ser dada por:

$$\phi = \frac{p_1}{p_4}$$

Uma vez que consideramos o vapor como um gás perfeito, a umidade relativa também pode ser definida em função do volume específico ou da massa específica.

$$\phi = \frac{p_v}{p_g} = \frac{\rho_v}{\rho_g} = \frac{v_g}{v_v}$$

$$P_v v_v = RT \quad P_v = \rho_v RT$$

MÁQUINAS TÉRMICAS

A **umidade absoluta**, ω , de uma mistura ar-vapor d'água é definida como sendo a razão entre a massa de vapor d'água, m_v , e a massa de ar seco, m_a .

O termo "ar seco" é utilizado para enfatizar que o termo é referente ao ar puro e não ao vapor d'água.

O termo "umidade específica" é utilizado como sinônimo de umidade absoluta.

$$\omega = \frac{m_v}{m_a}$$

Esta definição é idêntica para qualquer outra mistura gás-vapor e o índice **a** refere-se ao gás sem o vapor.

Uma vez que consideramos o vapor e a mistura como gases perfeitos, nós podemos desenvolver uma expressão para a umidade absoluta em função das pressões parciais e das massas moleculares.

$$m_v = \frac{p_v V}{R_v T} = \frac{p_v V M_v}{\bar{R} T} \quad m_a = \frac{p_a V}{R_a T} = \frac{p_a V M_a}{\bar{R} T}$$

$$\omega = \frac{p_v V / R_v T}{p_a V / R_a T} = \frac{R_a p_v}{R_v p_a} = \frac{M_v p_v}{M_a p_a}$$

Para uma mistura ar-vapor d'água a equação fica reduzida a: $\omega = 0,622 \frac{p_v}{p_a}$

MÁQUINAS TÉRMICAS

O grau de saturação é definido como sendo a relação entre a umidade absoluta real e a umidade absoluta de uma mistura saturada a mesma temperatura e pressão total.

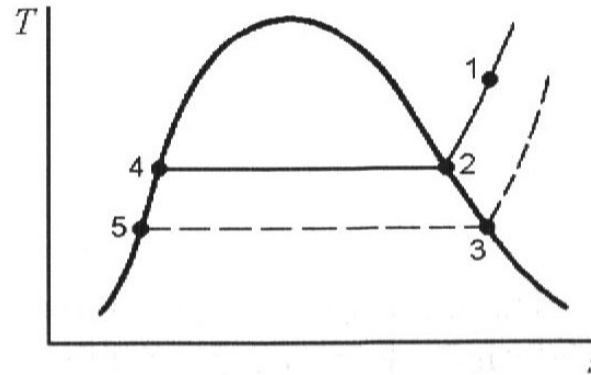
Uma expressão que relaciona a umidade relativa e umidade absoluta pode ser estabelecida explicitando-se as equações em p_v e igualando-as.

A relação resultante, para uma e ar-vapor d'água, é:

$$\phi = \frac{\omega p_a}{0,622 p_g}$$

$$P_g = P_4$$

MÁQUINAS TÉRMICAS



O que ocorre quando uma mistura gás-vapor é resfriada a pressão constante?

Suponha que o vapor esteja inicialmente superaquecido no estado 1.

Como a mistura é resfriada a pressão constante, a pressão parcial do vapor permanece a mesma até que o ponto de orvalho seja alcançado no ponto 2 (o vapor na mistura está saturado).

O condensado inicial está no estado 4 em equilíbrio com o vapor no estado 2.

Se abaixarmos ainda mais a temperatura, mais vapor condensa, diminuindo assim a sua pressão parcial na mistura.

O vapor que permanece na mistura é sempre saturado e o líquido (ou o sólido) formado se encontra em equilíbrio com o vapor.

Por exemplo, quando a temperatura é reduzida a T_3 , o vapor na mistura está no estado 3 e a pressão parcial deste é a igual a pressão de saturação correspondente a T_3 .

O líquido, em equilíbrio com o vapor, se encontra no estado 5.

MÁQUINAS TÉRMICAS

Considere 100 m^3 de uma mistura ar-vapor d'água a $0,1 \text{ MPa}$, 35 °C e 70% de umidade relativa. Calcule a umidade absoluta, o ponto de orvalho, a massa de ar e a massa de vapor.

Sistema: Mistura.

Estado: p , T e ϕ conhecidas; estado fixado.

Análise e solução: Da Eq. 12.18 e das tabelas de vapor

$$\phi = 0,7 = \frac{p_v}{p_g} \Rightarrow p_v = 0,70 (5,628) = 3,94 \text{ kPa}$$

O ponto de orvalho é a temperatura de saturação correspondente a essa pressão. Assim, utilizando as tabelas de vapor, encontramos que o ponto de orvalho é igual a $28,6 \text{ °C}$.

A pressão parcial do ar é

$$p_a = p - p_v = 100 - 3,94 = 96,06 \text{ kPa}$$

A umidade absoluta pode ser calculada da Eq. 12.21

$$\omega = 0,622 \times \frac{p_v}{p_a} = 0,622 \times \frac{3,94}{96,06} = 0,0255$$

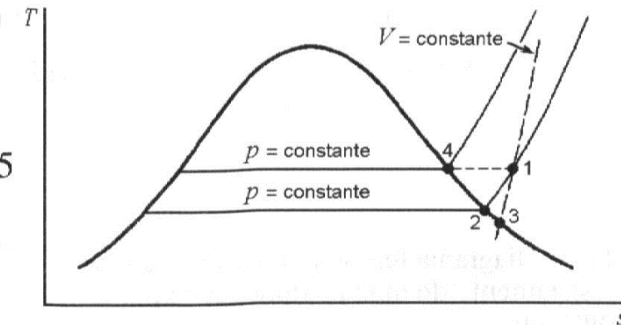
A massa de ar é

$$m_a = \frac{p_a V}{R_a T} = \frac{96,06 \times 100}{0,287 \times 308,2} = 108,6 \text{ kg}$$

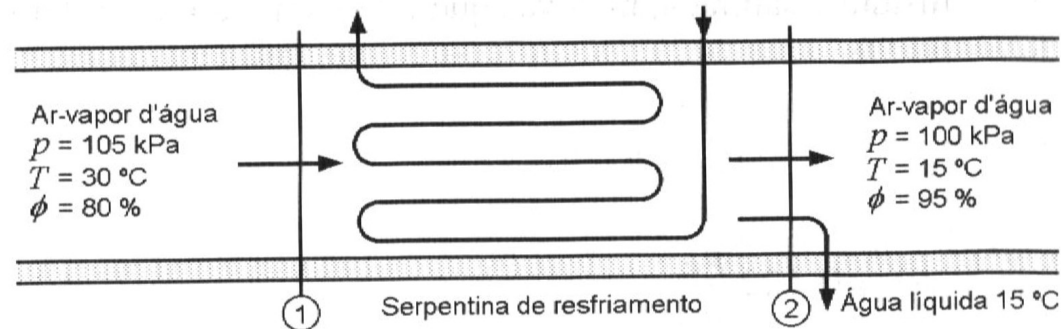
A massa de vapor pode ser calculada através da umidade absoluta ou utilizando a equação dos gases perfeitos.

$$m_v = \omega m_a = 0,0255 (108,6) = 2,77 \text{ kg}$$

$$m_v = \frac{3,94 \times 100}{0,46152 \times 308,2} = 2,77 \text{ kg}$$



MÁQUINAS TÉRMICAS



1ª LEI APLICADA ÀS MISTURAS GÁS – VAPOR

A Figura mostra uma unidade de ar condicionado e suas características operacionais (pressões, temperaturas e umidades relativas). Calcule o calor transferido por kg de ar seco supondo desprezíveis as variações de energia cinética.

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2}$$

$$\dot{m}_{v1} = \dot{m}_{v2} + \dot{m}_{l2}$$



A equação de primeira lei da termodinâmica para este processo é

$$\dot{Q}_{v.c.} + \sum \dot{m}_e h_e = \sum \dot{m}_s h_s$$

$$\dot{Q}_{v.c.} + \dot{m}_a h_{a1} + \dot{m}_{v1} h_{v1} = \dot{m}_a h_{a2} + \dot{m}_{v2} h_{v2} + \dot{m}_{l2} h_{l2}$$

Se nós dividirmos esta equação por \dot{m}_a , introduzirmos a equação da continuidade para a água, notando que $m_v = \omega m_a$, a 1ª lei pode ser reescrita do seguinte modo:

$$\frac{\dot{Q}_{v.c.}}{\dot{m}_a} + h_{a1} + \omega_1 h_{v1} = h_{a2} + \omega_2 h_{v2} + (\omega_1 - \omega_2) h_{l2}$$

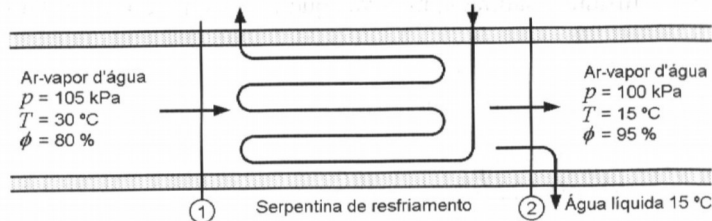
Solução:

$$p_{v1} = \phi_1 p_{g1} = 0,80 (4,246) = 3,397 \text{ kPa}$$

$$\omega_1 = \frac{R_a}{R_v} \frac{p_{v1}}{p_{a1}} = 0,622 \times \left(\frac{3,397}{105 - 3,4} \right) = 0,0208$$

$$p_{v2} = \phi_2 p_{g2} = 0,95 (1,7051) = 1,620 \text{ kPa}$$

$$\omega_2 = \frac{R_a}{R_v} \frac{p_{v2}}{p_{a2}} = 0,622 \times \left(\frac{1,62}{100 - 1,62} \right) = 0,0102$$

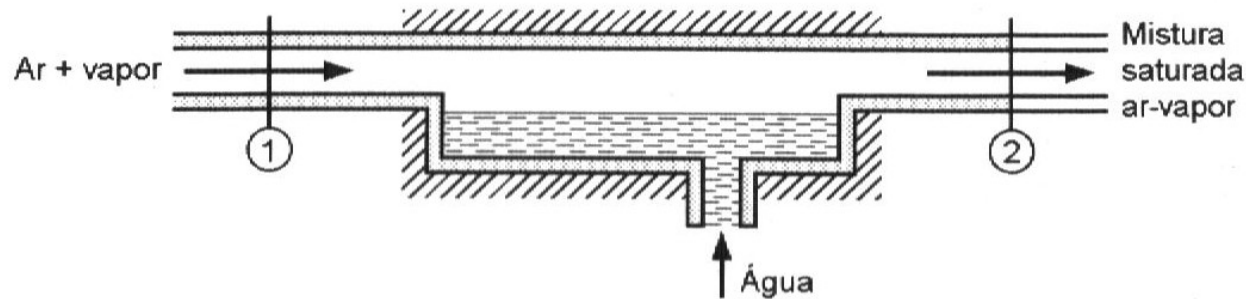


Substituindo,

$$\frac{\dot{Q}_{v.c.}}{\dot{m}_a} + h_{a1} + \omega_1 h_{v1} = h_{a2} + \omega_2 h_{v2} + (\omega_1 - \omega_2) h_{l2}$$

$$\begin{aligned} \frac{\dot{Q}_{v.c.}}{\dot{m}_a} &= 1,0035 (15 - 30) + 0,0102 (2528,9) - 0,0208 (2556,3) + (0,0208 - 0,0102) (62,99) \\ &= -41,76 \text{ kJ/kg de ar seco} \end{aligned}$$

MÁQUINAS TÉRMICAS



O PROCESSO DE SATURAÇÃO ADIABÁTICA

Um processo importante e que envolve a mistura ar-vapor d'água é o de saturação adiabática.

Neste processo, a mistura ar-vapor entra em contato com água líquida num duto bem isolado.

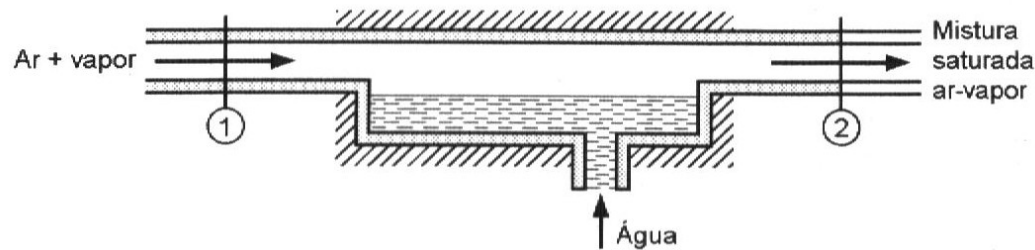
Se a umidade relativa inicial for menor do que 100 %, uma parte da água se evaporará e a temperatura da mistura gasosa diminuirá.

Se a mistura, na seção de saída do duto, é saturada e se o processo é adiabático, sua temperatura é conhecida como temperatura de saturação adiabática.

Para que este processo ocorra em regime permanente, água de reposição, a temperatura de saturação adiabática, deve ser adicionada na mesma razão daquela evaporada.

Supõe-se que a pressão, ao longo do processo, seja constante.

MÁQUINAS TÉRMICAS



Supondo que o processo de saturação adiabática ocorra em regime permanente e desprezado as variações de energia cinética e potencial, a primeira lei da termodinâmica fica reduzida a

$$h_{a1} + \omega_1 h_{v1} + (\omega_2 - \omega_1) h_{l2} = h_{a2} + \omega_2 h_{v2}$$

$$\omega_1 (h_{v1} - h_{l2}) = c_{pa} (T_2 - T_1) + \omega_2 (h_{v2} - h_{l2})$$

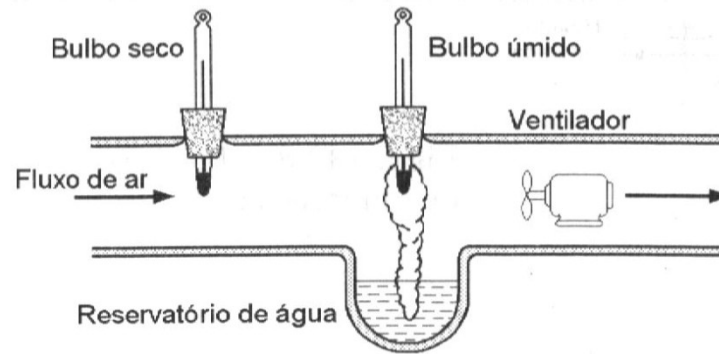
$$\omega_1 (h_{v1} - h_{l2}) = c_{pa} (T_2 - T_1) + \omega_2 h_{lv2}$$

A conclusão mais importante que pode ser tirada neste processo é que a temperatura de saturação adiabática (temperatura da mistura que deixa o duto) é função da pressão, temperatura e umidade relativa, na seção de alimentação, e da pressão, na seção de descarga.

Assim, a umidade relativa e a umidade absoluta da mistura ar-vapor que escoar na seção de entrada do saturador podem ser determinadas através das medidas de pressão e temperatura, nas seções de alimentação e descarga do saturador adiabático.

Uma vez que estas medidas são relativamente fáceis de serem realizadas, este é um modo utilizado para determinar a umidade de uma mistura gasosa.

MÁQUINAS TÉRMICAS



TEMPERATURAS DE BULBO ÚMIDO E DE BULBO SECO

A umidade de uma mistura ar-vapor d'água é usualmente estabelecida através das temperaturas de bulbo úmido e bulbo seco medidas num instrumento denominado psicrômetro.

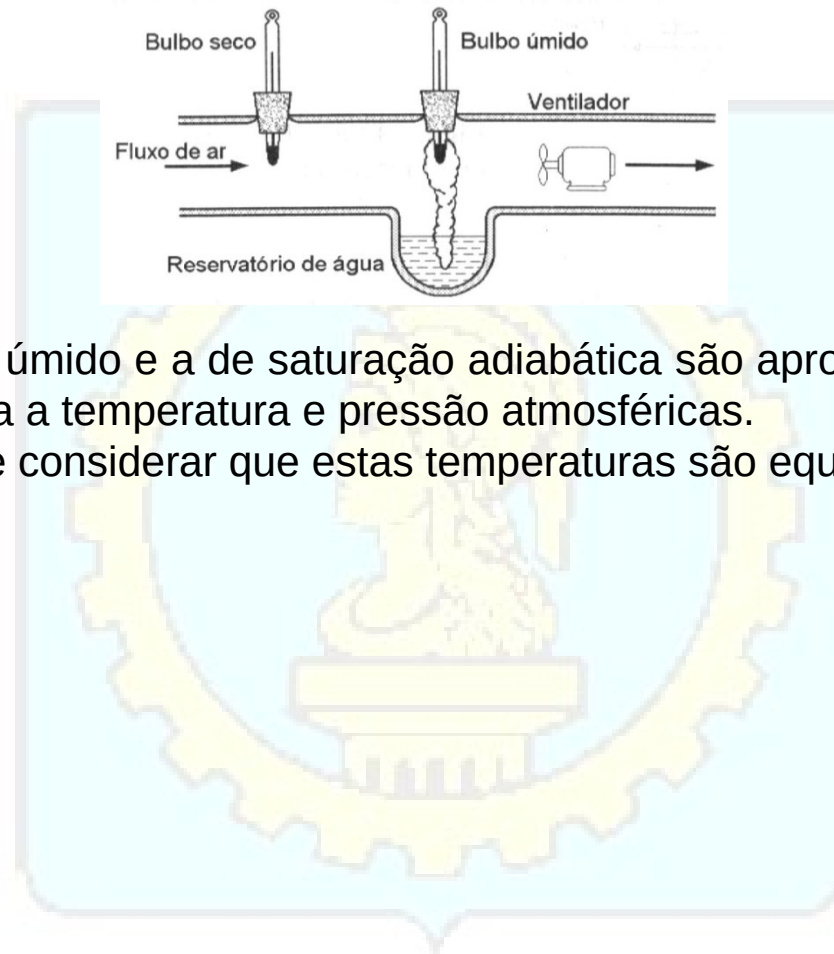
Neste equipamento, a mistura escoia ao redor dos termômetros de bulbo úmido e bulbo seco. O bulbo do termômetro de bulbo úmido é coberto com uma mecha de algodão saturada com água.

O termômetro de bulbo seco é usado simplesmente para medir a temperatura do ar.

O fluxo de ar pode ser obtido por um ventilador, como no psicrômetro de fluxo contínuo, ou pela movimentação do termômetro através da mistura, como num psicrômetro "reco-reco".

No psicrômetro do tipo "reco-reco" os termômetros de bulbo úmido e de bulbo seco são montados na base que pode ser girada manualmente.





A temperatura de bulbo úmido e a de saturação adiabática são aproximadamente iguais para misturas ar-vapor d'água a temperatura e pressão atmosféricas.
Por este motivo pode-se considerar que estas temperaturas são equivalentes.

MÁQUINAS TÉRMICAS

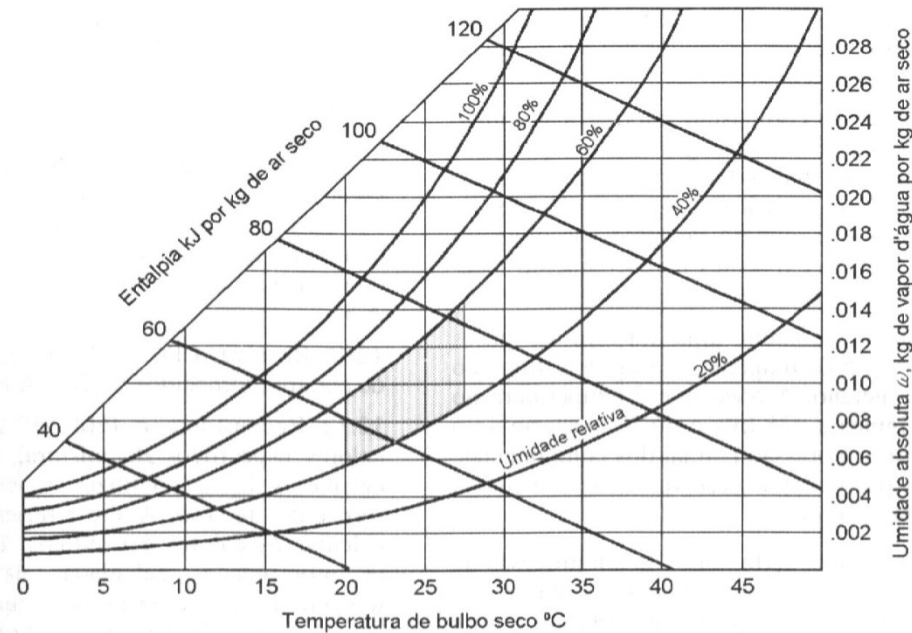
Recentemente, as medidas de umidade tem sido realizadas com instrumentos que operam a partir de outros fenômenos e que produzem um sinal eletrônico proporcional a umidade medida.

Por exemplo: algumas substâncias tendem a mudar de comprimento, forma ou capacitância elétrica quando absorvem umidade.

São substâncias sensíveis a quantidade de umidade presente na atmosfera e podem ser utilizadas como sensores.

Um instrumento que utiliza uma dessas substâncias pode ser calibrado para medir a umidade de misturas ar-vapor d'água.

O sinal de saída do instrumento pode ser programado para fornecer qualquer um dos parâmetros desejado, tais como: umidade relativa, umidade absoluta ou temperatura de bulbo úmido.



CARTA PSICROMÉTRICA

As propriedades de misturas ar-vapor d'água são dadas em forma gráfica nas cartas psicrométricas.

Essas são encontradas em diferentes formas e somente os aspectos principais serão considerados.

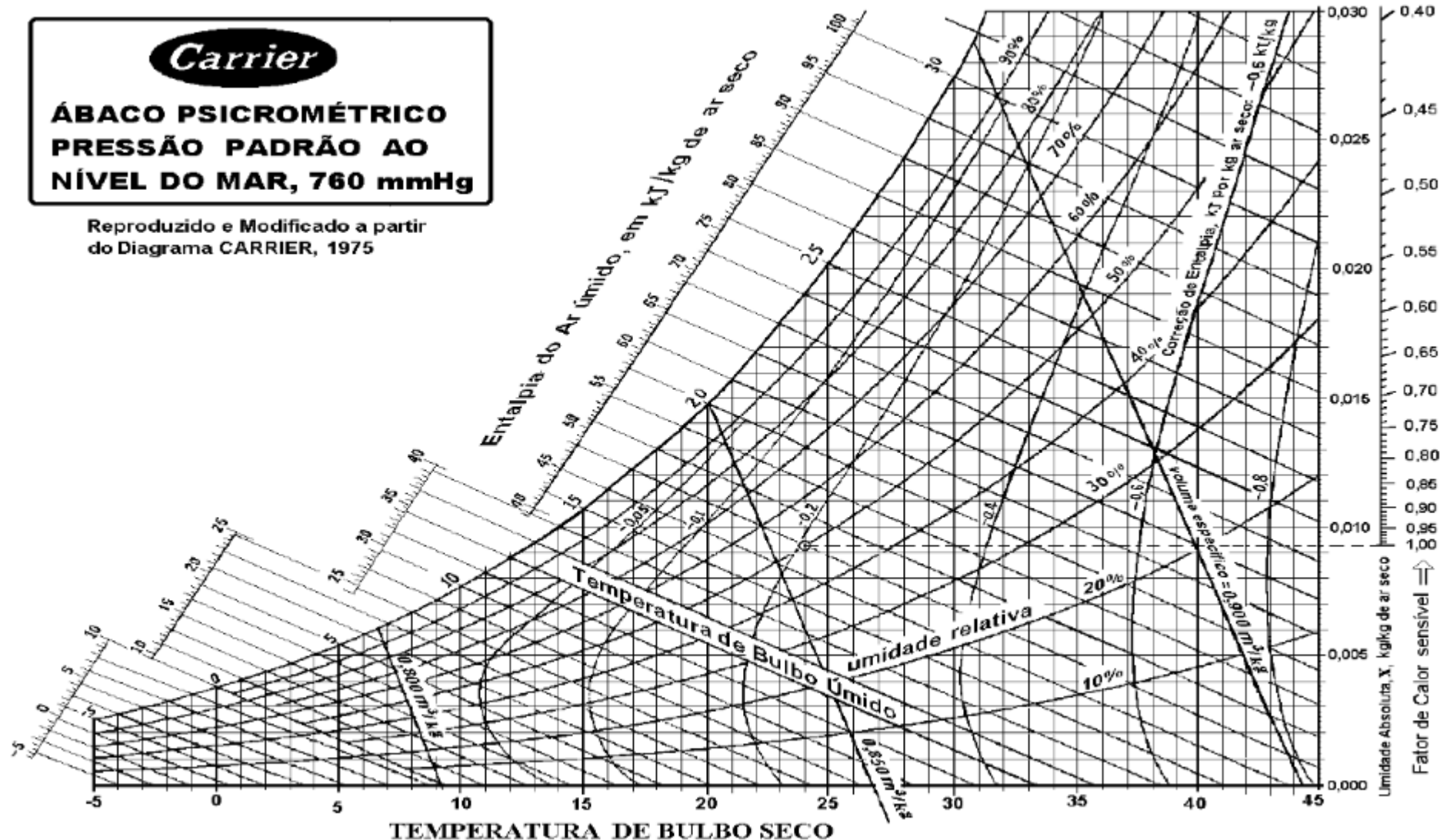
É bom lembrar que são necessárias três propriedades independentes, tais como pressão, temperatura e composição da mistura, para descrever o estado de uma mistura binária.



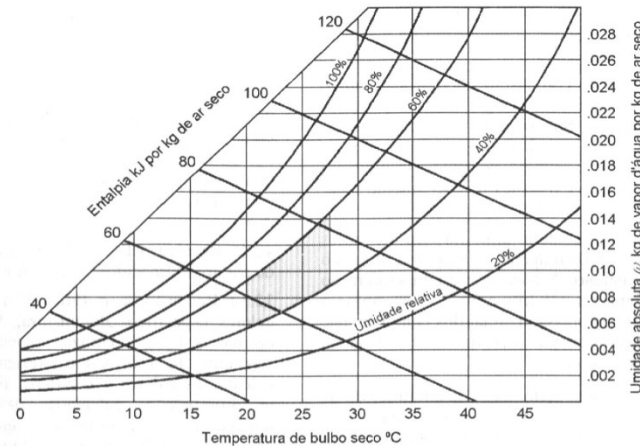
Carrier

**ÁBACO PSICROMÉTRICO
PRESSÃO PADRÃO AO
NÍVEL DO MAR, 760 mmHg**

Reproduzido e Modificado a partir
do Diagrama CARRIER, 1975



MÁQUINAS TÉRMICAS



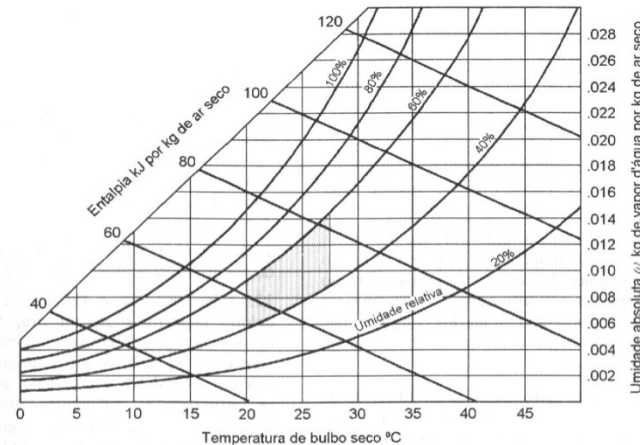
A abscissa da carta representa a temperatura de bulbo seco e a ordenada representa a umidade absoluta.

A temperatura de bulbo úmido, umidade relativa e entalpia por quilograma de ar seco são as variáveis dependentes na carta.

Se fixarmos a pressão total para a qual a carta é construída (que é usualmente 100 kPa), podemos traçar as linhas de umidade relativa e temperatura de bulbo úmido constantes.

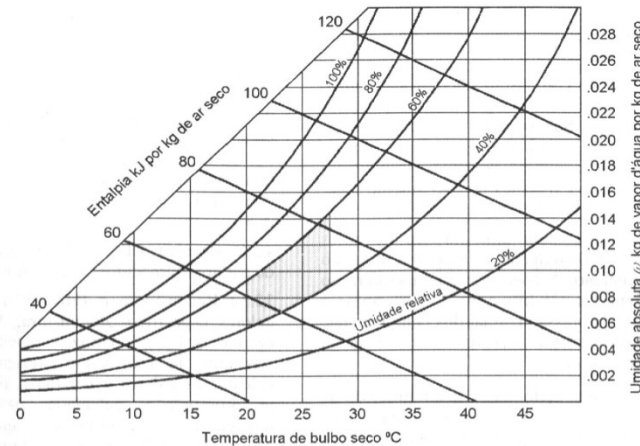
Isto pode ser feito porque, para uma dada temperatura de bulbo seco, pressão total e umidade absoluta, aqueles valores são fixos.

MÁQUINAS TÉRMICAS



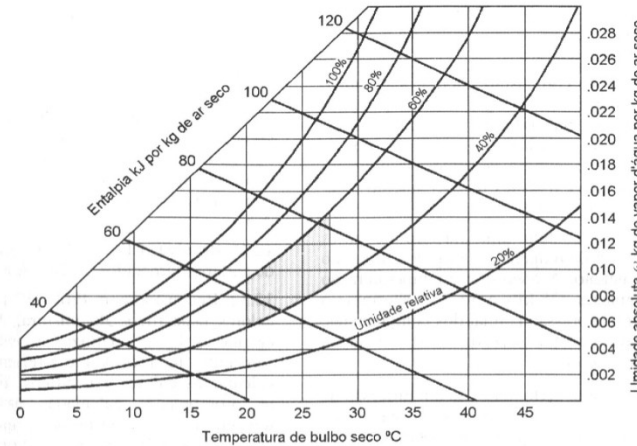
A pressão parcial do vapor d'água é fixada pela umidade absoluta e pressão total e, por isso, uma segunda escala ordenada, indicando a pressão parcial do vapor d'água, pode ser construída.

Pelo mesmo motivo poderíamos incluir as linhas referentes aos valores constantes de volume específico da mistura e de entropia da mistura na carta.



A carta mostrada na Figura também indica a zona de conforto humano. Ela é definida como a região que contém os estados termodinâmicos da mistura mais agradáveis para os seres humanos. Assim, um sistema de condicionamento de ar bem dimensionado é capaz de manter o ambiente condicionado nos estados contidos nesta região (qualquer que seja a condição ambiental externa).

MÁQUINAS TÉRMICAS



Algumas cartas fornecem correções para variação de pressão total. Assim, é possível utiliza-las em pressões totais diferentes da normal. Antes de utilizar uma dada carta é necessário que tenhamos entendido perfeitamente as suposições feitas na sua construção e que ela seja aplicável ao problema particular em questão.



Carrier

**ÁBACO PSICROMÉTRICO
PRESSÃO PADRÃO AO
NÍVEL DO MAR, 760 mmHg**

Reproduzido e Modificado a partir
do Diagrama CARRIER, 1975

