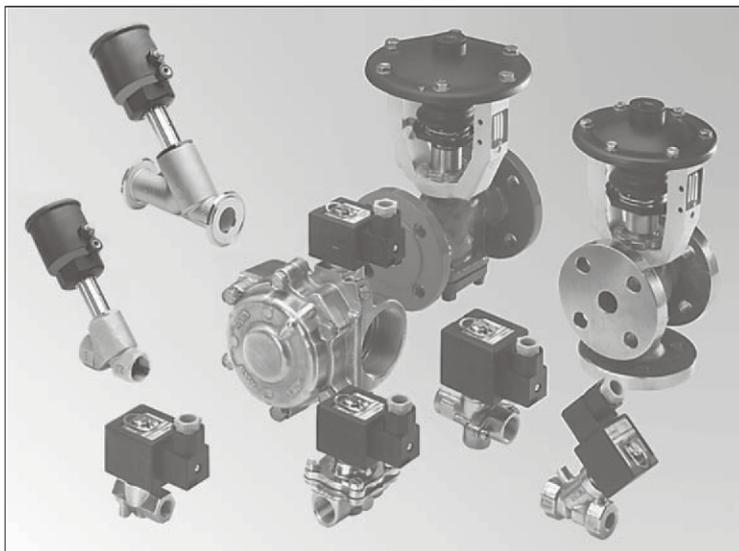


### O QUE É O VAPOR

Como qualquer outro elemento, a água pode existir em estado sólido (gelo), líquido (água) e estado gasoso (vapor). Neste capítulo, serão estudados os estados líquido e gasoso e a passagem de um para o outro.

No caso de fornecimento de energia térmica à água, a sua temperatura aumenta até atingir um certo valor para além do qual a água não pode permanecer mais em estado líquido. Nomeia-se o ponto de "saturação". Se continuar a fornecer energia, uma parte da água entra em ebulição e transforma-se em vapor. Uma quantidade relativamente significativa de energia é necessária a esta evaporação. Durante a passagem do estado líquido ao estado gasoso, a água e o vapor estão à mesma temperatura.

Contrariamente, quando a energia armazenada pelo vapor é liberada, produz-se um fenómeno de condensação, ou seja, formação de água à mesma temperatura que o vapor.



### PORQUÊ O VAPOR

É no momento da revolução industrial que se começa a utilizar o vapor na transferência de energia. Após ter servido para a preparo dos alimentos, a sua utilização rapidamente tem-se estendido ao conjunto das aplicações industriais que necessitem do calor.

O vapor é obtido pela evaporação da água, produto barato e abundante na maior parte das regiões do mundo. Pode ser ajustada muito precisamente a sua temperatura alterando a sua pressão, com a ajuda de válvulas solenoides, por exemplo. A relação energia veiculada/peso é particularmente interessante, e na fase de condensação de vapor, obtém um fluxo de energia substancial (para o elemento aquecido). É a razão pela qual uma instalação que utilize este calor pode ter dimensões modestas.

### FORMAÇÃO DO VAPOR

Para explicar a formação do vapor, consideramos ideal a seguinte experiência fictícia (Fig. 1):

Envolve-se um cilindro, fechado na extremidade inferior, numa matéria isolante a 100 %, para evitar toda a perda de calor. Verte-se neste recipiente 1 kg de água à temperatura de gelo que derrete (0°C). Utilizará este valor como ponto de referência na nossa experiência decidindo que a quantidade de calor da água a esta temperatura, ou entalpia, é igual a zero. Se se apresentar a água a uma fonte de calor, a sua temperatura aumenta até atingir 100°C (a extremidade superior do cilindro está aberta para que só a pressão atmosférica seja exercida sobre a água). Se se continuar a acrescentar entalpia para além desta temperatura, a água não pode permanecer sob a sua forma líquida e entra em ebulição para se transformar em vapor.

A entalpia total de cada quilograma de água líquida em ponto de ebulição, é designada de "entalpia específica de água saturada". É representada pelo símbolo "hf". A entalpia suplementar necessária para transformar cada quilograma de água em vapor é designada "entalpia específica de evaporação". É representada pelo símbolo "hfg".

A entalpia total de cada quilograma de vapor é por conseguinte a soma destas duas entalpias. É designada "entalpia específica do vapor", representada pelo símbolo "hg". O resultado:  $hg = hf + hfg$ .

Uma vez que toda a entalpia específica da

evaporação (hfg) foi acrescentada ao quilograma de água no nosso cilindro, toda a água será transformada em vapor na pressão atmosférica.

O volume deste vapor será claramente superior ao da água líquida (1600 vezes mais). Com efeito, ao estado líquido, as moléculas de água muito aproximadas umas das outras em estado gasoso. Pode considerar-se que a evaporação é devido ao fornecimento de energia a cada molécula, suficiente para quebrar as ligações entre estas moléculas, o que lhes permite passar do estado líquido no cilindro ao estado gasoso.

Encarem a situação seguinte: se a pressão exercida sobre o líquido aumenta, as moléculas terão mais dificuldades para se libertarem. Será necessário por conseguinte fornecer-lhes mais energia de modo que possam quebrar as suas ligações e passar ao estado gasoso. Isto significa que a temperatura da água excederá claramente os 100°C antes de entrar em ebulição.

É exatamente o que se produz na prática. Se o nosso cilindro imaginário for equipado de um pistão sem atrito e se se colocasse uma massa sobre o pistão para exercer uma pressão sobre a água, poderia aumentar-se a temperatura para além dos 100°C antes que a evaporação seja produzida. No entanto, para uma dada pressão, existe uma temperatura para além da qual a água não pode mais permanecer em estado líquido. Para qualquer entalpia superior à "entalpia específica de água saturada", uma parte do líquido evapora-se.

Contrariamente, se a pressão exercida sobre a água é inferior à pressão atmosférica normal, as moléculas poderão libertar-se mais facilmente. A quantidade de energia que lhes é necessária é mais reduzida: assim a temperatura de ebulição e "a entalpia da água saturada" correspondente são reduzidas.

### DEFINIÇÕES

#### Entalpia

Termo que caracteriza a energia total de um fluido como a água ou o vapor, adquirido segundo a sua pressão e a sua temperatura a um dado momento e em condições precisas.

A unidade de medida da energia é o joule (símbolo: J). Já que um joule representa uma pequena quantidade de energia, utiliza-se ge-

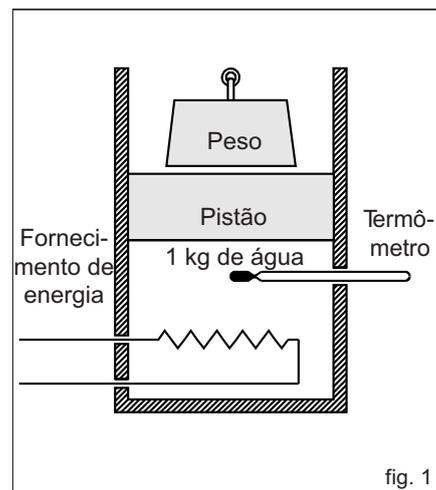


fig. 1

ralmente o quilojoule (kJ).

#### Entalpia específica

É a entalpia (energia total) de uma massa unitária (1 kg). A unidade corrente utilizada é o kJ/kg.

#### Capacidade calorífica

É a unidade utilizada para medir a capacidade de uma substância a absorver o calor. Corresponde à quantidade de energia (joules) necessária para aumentar 1 kg de 1 K (Kelvin). A capacidade calorífica específica exprime-se em kJ/kgK.

A água tem uma capacidade calorífica específica de 4,186 kJ/kgK. Isto significa que um aumento de entalpia de 4,186 kJ elevará a temperatura de 1 kg de água de 1 K.

O estado teórico do vácuo perfeito da pressão nula é o "zero absoluto". É por isso que a pressão absoluta é a pressão em relação ao zero absoluto.

Por exemplo, a pressão exercida pela atmosfera é de 1,013 bar abs. ao nível do mar. A pressão relativa é a pressão indicada sobre um manómetro standard do qual pode equipar-se um circuito de vapor. Já que a pressão relativa correspondente à sobrepressão em relação à pressão atmosférica, o zero que consta no quadrante de um manómetro deste tipo equivalerá cerca de 1,013 bar abs.

Assim uma pressão de 3 bar abs. representará 1,987 bar mais 1,013 bar absoluto de pressão atmosférica.

### Calor e troca de calor

O calor é uma forma de energia, está compreendida na entalpia dos fluidos. A troca de calor é o fluxo de entalpia que se produz entre dois corpos com temperaturas diferentes quando estes são postos em contato.

### Entalpia da água saturada

Suponham agora que a água alimenta uma caldeira à pressão atmosférica e a uma temperatura de 10°C e suponham que a água entra em ebulição a 100°C. Como já vimos anteriormente, é necessário 4,186 kJ para aumentar de 1°C a temperatura de cada kg de água. Se se desejar fazer passar a temperatura de cada kg de água contida na caldeira de 10°C a 100°C (ou seja um aumento de 90°C), é necessário aumentar a entalpia de  $90 \times 4,186 = 376,74$  kJ. Se a caldeira contém 10 000 kg de água (seja 10 000 litros), o aumento de entalpia para conduzir esta água ao ponto de ebulição será  $376,74 \text{ kJ/kg} \times 10\,000 \text{ kg} = 3\,767\,400 \text{ kJ}$ .

Não esquecer que esta figura não representa a entalpia de água saturada, mas apenas o aumento de entalpia necessário para fazer passar a temperatura de 10°C a 100°C. A origem que figura nos quadros de vapor é água a 0°C, o que, no nosso exemplo, corresponde a uma quantidade de calor igual a zero (se medida do zero absoluto a -273°C, a quantidade de calor absoluto, será claramente considerável).

A entalpia de água saturada a 100°C será então  $100 \times 4,186 = 418,6$  kJ.

### Entalpia de evaporação

Suponha agora que todo o vapor formado na caldeira pode escapar livremente na atmosfera. Quando a água atinge 100°C, a troca de calor entre a fonte de calor e água continua, mas a temperatura não aumenta mais. O calor acrescentado é utilizado para a transformação de água em vapor.

A entalpia que provoca a passagem do estado líquido ao estado gasoso sem alteração de temperatura designa-se "entalpia de evaporação". A entalpia de evaporação é a diferença entre a entalpia de água saturada e o vapor seco saturado.

### Entalpia do vapor saturado

A entalpia do vapor gerada na nossa caldeira é composta de duas entalpias diferentes. A soma das duas entalpias é chamada "entalpia do vapor saturado".

Para cada kg de vapor a 100°C e à pressão atmosférica, a entalpia de água saturada é de 419 kJ, a entalpia de evaporação é de 2 257 kJ e a do vapor saturado é de 2 676 kJ. Estes valores são extraídos dos quadros de vapor.

### PRESSÃO EXERCIDA PELO VAPOR

Já mencionamos o termo "pressão atmosférica". Trata-se muito simplesmente da pressão exercida pela atmosfera da terra sobre qualquer objeto e em qualquer direção. A unidade de pressão é o bar (1 bar = 100 kPa). Quando a água ferve a 100°C, a pressão exercida pela atmosfera é de 1,01325 bar. Este valor está tão próximo de 1 que se tem o hábito de dizer que a pressão atmosférica é igual a 1 bar. Esta aproximação é conveniente a quase todas as aplicações.

Retornemos ao nosso cilindro equipado do pistão sem atriço (Figura nº 1). Quando se aquece a água no cilindro até à produção de vapor, o vapor acumula-se sob o pistão até que a sua pressão e a da água equilibram a pressão exercida pelo peso do pistão. Se o vapor continua a formar-se, exercerá uma pressão suplementar sobre o pistão e o empurrará para o cilindro, a pressão permanece constante. Se pudesse acrescentar água no cilindro, manter-se-ia o nível de água diminuindo simultaneamente o vapor, o que faria subir ainda mais o pistão.

Já constatamos que se o cilindro ou a caldeira funcionam a uma pressão superior à pressão atmosférica, a temperatura da água saturada e do vapor excederá 100°C. Se a pressão é de 10 bar abs., a temperatura da água saturada será de 180°C. Para poder atingir esta temperatura, é necessário que a água receba uma "entalpia de água saturada" mais forte. Por outro lado, quanto mais a pressão aumenta, mais a entalpia de evaporação necessária para transformar a água saturada em vapor diminui.

Quando a pressão é elevada, as moléculas de vapor estão mais aproximadas e necessitam de menos energia para se libertar da água líquida (têm já um forte nível de energia).

(Com efeito, de pressão muito elevada - ou seja acima de 221 bar - o nível de energia das moléculas de vapor é exatamente o mesmo que o das moléculas de água e a entalpia de evaporação torna-se nula).

### Volume de vapor

Se 1 kg de água (ou seja 1 litro) transforma-se totalmente em vapor, o resultado obtido será exatamente de 1 kg de vapor. No entanto, o volume por uma dada massa depende da sua pressão. A uma pressão atmosférica, 1 kg de vapor ocupa cerca de 1,673 m<sup>3</sup>. A uma pressão de 10 bar abs., este kg de vapor ocupará apenas 0,1943 m<sup>3</sup>. O volume de 1 kg de vapor de uma dada pressão designa-se o "volume específico" (símbolo Vg).

Quanto mais a pressão aumenta, mais o volume ocupado por uma massa unitária de vapor diminui. É o que representa a Fig. 2.

Os quadros de vapor indicam as propriedades que se chamam correntemente "o vapor seco saturado". Trata-se de vapor que se evaporou completamente, de forma a eliminar as gotinhas de água líquida.

Na prática, o vapor contém frequentemente minúsculas gotinhas de água, o que não permite qualificar o vapor seco saturado. No entanto, é frequentemente primordial que o vapor utilizado nos procedimentos industriais ou para o aquecimento seja o mais seco possível.

A qualidade do vapor é caracterizado pela sua "parte de secura". Trata-se da proporção de vapor completamente seco que se encontra no vapor em questão.

O vapor torna-se "úmido" quando contém gotas de água em suspensão. Estas gotas não têm uma entalpia específica de evaporação, mas têm certa massa que ocupam um espaço negligenciável. É por isso que o vapor úmido ocupa um volume inferior ao do vapor seco saturado.

O vapor é um gás transparente mas as gotas de água dão-lhe um aspecto branco e nebuloso porque refletem a luz (são por conseguinte as gotas de água em suspensão que tornam visível o vapor úmido).

### Vapor sobreaquecido

Enquanto contiver a água, a temperatura do vapor saturado corresponde ao número indicado para esta pressão no quadro de vapor. Contudo, se a troca de calor continua após toda a água se ter evaporado, a temperatura do vapor aumenta. Qualifica-se então o vapor de "sobreaquecido" e a temperatura deste "vapor sobreaquecido" será necessariamente superior ao do vapor saturado correspondente.

O vapor saturado condensa-se muito facilmente sobre qualquer superfície que tem uma temperatura inferior à sua. Diminui assim a sua entalpia, que, como acabámos de ver, constitui a maior parte da sua energia.

Por outro lado, é provocando uma baixa de temperatura que o vapor sobreaquecido perde uma parte da sua entalpia. Nenhuma condensação é produzida enquanto a temperatura de saturação não for atingida. O ritmo ao qual a energia será veiculada a partir do vapor sobreaquecido é frequentemente inferior ao que é obtido com vapor saturado, mesmo se a temperatura do vapor sobreaquecido for superior.

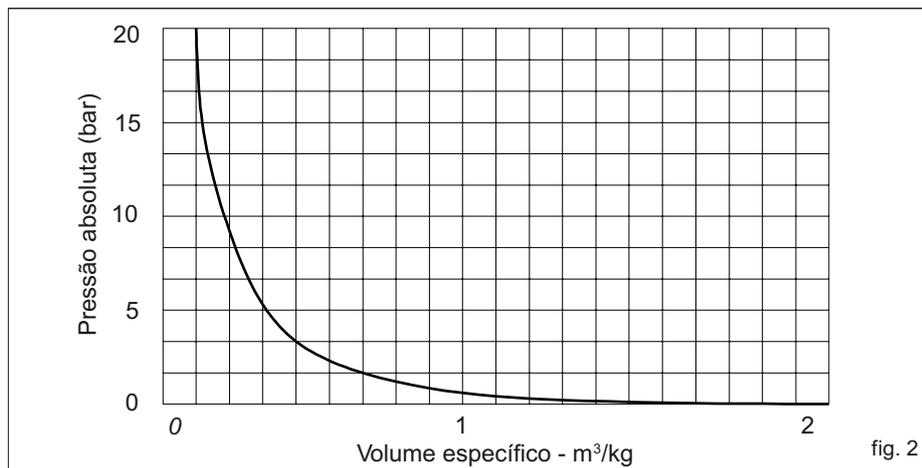


fig. 2

A energia química contida no carvão, gás ou qualquer outro combustível de caldeira transforma-se em energia calorífica quando o combustível é queimado. É a parede da caldeira que transmite esta energia calorífica à água. A temperatura da água aumenta quando se lhe transmite esta energia e, quando o ponto de saturação é atingido, a água ferve.

A energia calorífica acrescentada, que tem por efeito aumentar a temperatura da água, designa-se "entalpia da água saturada" (símbolo hf). Ao ponto de ebulição, a água é dita "saturada".

Se a troca de calor continua entre a parede da caldeira e a água, a entalpia suplementar produzida por esta troca não aumenta a temperatura da água, mas provoca a sua evaporação. A água passa então do estado líquido ao estado gasoso. A entalpia que provoca esta mudança de estado sem alteração da temperatura designa-se "entalpia de evaporação" (símbolo hfg).

Assim o vapor gerado na nossa caldeira contém duas espécies de entalpias: a entalpia da água saturada e entalpia de evaporação. Adicionando-as uma à outra, obtém-se "a entalpia do vapor saturado" (símbolo hg).

O resultado:  $hf + hfg = hg$

A Fig. 3 mostra a entalpia do vapor saturado na pressão atmosférica. Comparemos com a Fig. 4 que mostra a entalpia modificada do vapor saturado a uma pressão mais elevada (10 bars abs.).

Na Figura 4, a entalpia de cada kg de vapor saturado aumentou ligeiramente (aumento de 102,1 kJ). Em contrapartida a entalpia da água saturada aumentou claramente (de 343,8 kJ) enquanto que a entalpia de evaporação diminuiu (de 247,7 kJ).

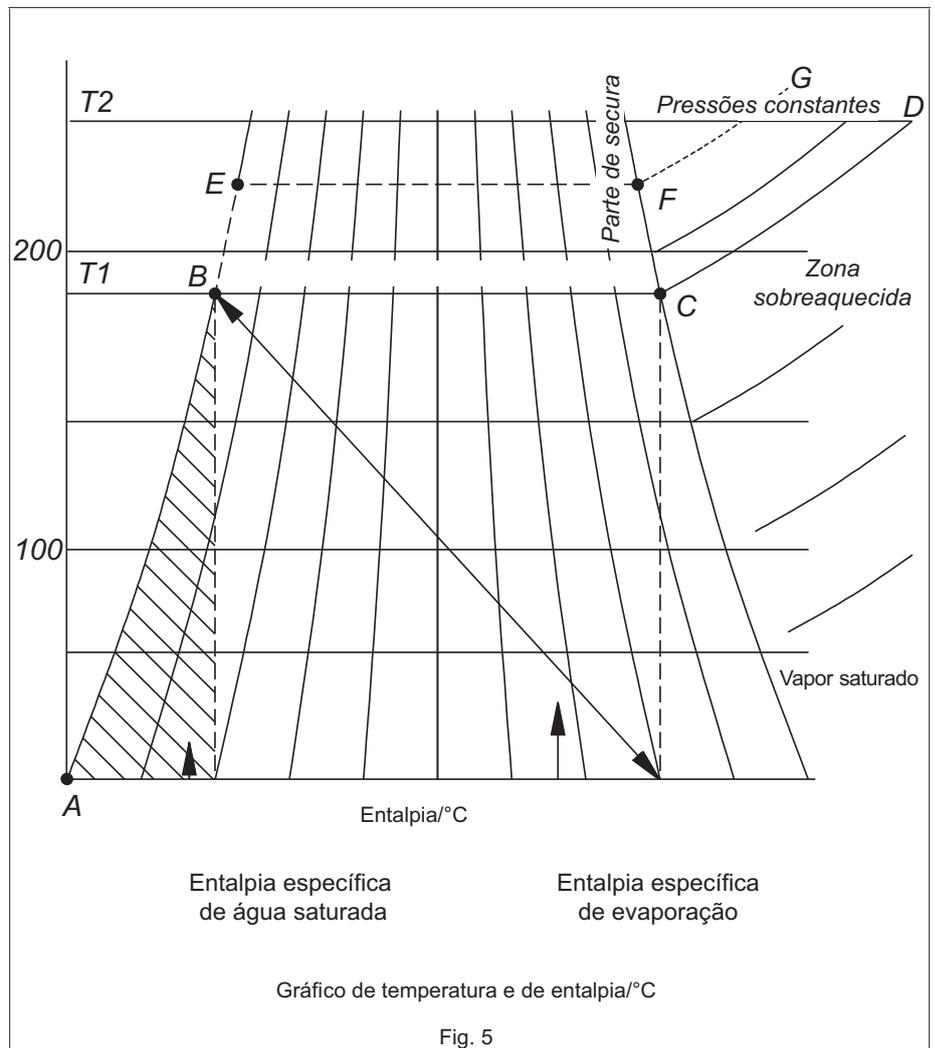
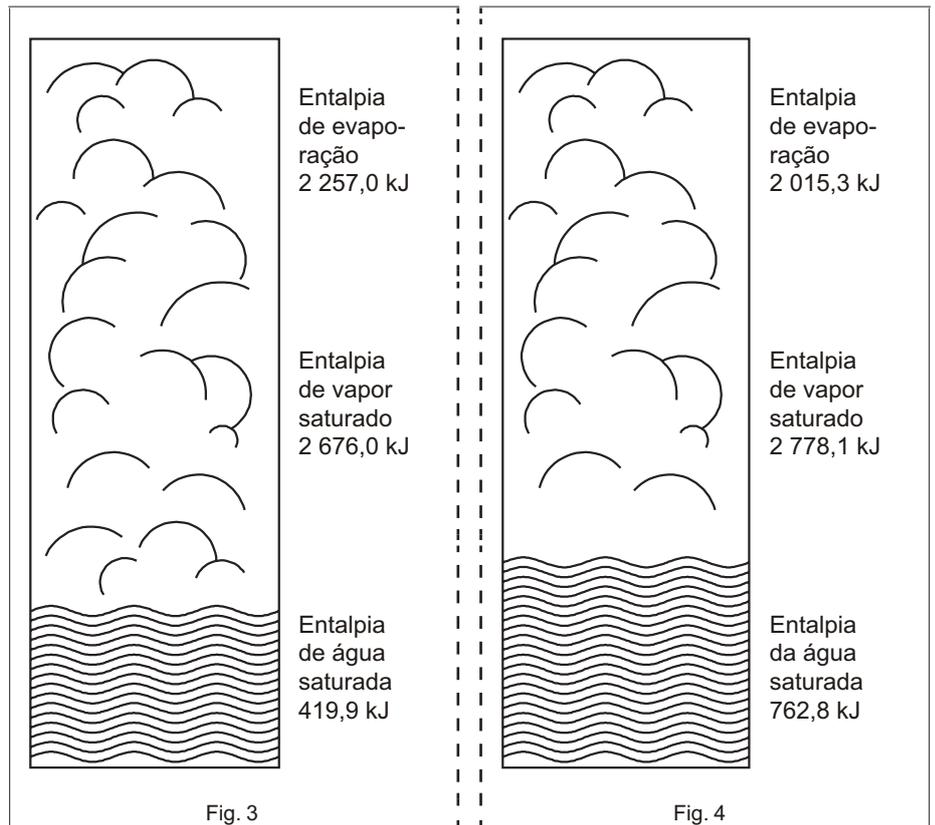
Deduz-se que:

- I) Quando a pressão do vapor aumenta:
  - a entalpia do vapor saturado aumenta ligeiramente
  - a entalpia da água saturada aumenta
  - a entalpia de evaporação diminui
- II) Quando a pressão do vapor diminui:
  - a entalpia do vapor saturado diminui ligeiramente
  - a entalpia da água saturada diminui
  - a entalpia de evaporação aumenta

Assim quanto mais a pressão diminui, mais a entalpia de evaporação aumenta.

O gráfico simplificado de Mollier (Figura 5) representa a passagem da água ao vapor e os efeitos do aumento da entalpia em cada uma destas fases. O eixo vertical indica a temperatura. O eixo horizontal corresponde à entalpia dividido pela temperatura à qual a entalpia é acrescentada. A utilização deste coeficiente um tanto artificial significa que a zona situada sob as linhas do gráfico representa a entalpia. É por conseguinte mais simples mostrar estas informações sobre um diagrama que em quadros de vapor.

No ponto A do gráfico onde a água está a 0 °C a uma entalpia nula. À medida que a entalpia é aumentada, a temperatura eleva-se ao longo da curva AB. O ponto B é o ponto de saturação (de ebulição) T1. Corresponde à pressão no circuito. Do ponto B ao ponto C, a entalpia de evaporação é acrescentada à temperatura constante. Qualquer adição suplementar de entalpia para além do ponto C aumentará a temperatura do vapor até T2. É o que se passa entre C e D. A parte do gráfico que se encontra à direita da curva passa pelos pontos C e D representa o vapor sobreaquecido. T2 é a temperatura do vapor sobreaquecido e T2-T1 é o valor do sobreaquecimento. Se se aumentar a pressão da água e do vapor, obtém-se uma curva do tipo AEFG.



### CONDENSAÇÃO DO VAPOR

Logo que o vapor sai da caldeira, entra em contato com as superfícies da temperatura inferior e começa a libertar uma parte da sua entalpia. No decurso deste processo, uma parte do vapor condensa-se e retorna ao estado líquido à mesma temperatura. Trata-se do processo exatamente inverso ao da passagem de água ao estado de vapor, que tem lugar na caldeira quando é fornecido calor. A entalpia libertada pelo vapor quando se condensa corresponde à entalpia de evaporação.

A Fig. 6 mostra uma cuba aquecida por uma serpentina. Este é o tipo de equipamento que se pode encontrar em todas as instalações que utilizem vapor. A cuba é cheia com o produto a aquecer e o vapor circula na serpentina. O vapor transmite assim a sua entalpia de evaporação à parede, que por sua vez transmite ao produto a aquecer. Água quente forma-se e circula para o fundo da serpentina quando o vapor se condensa. Este "condensado", deve ser de seguida purgado.

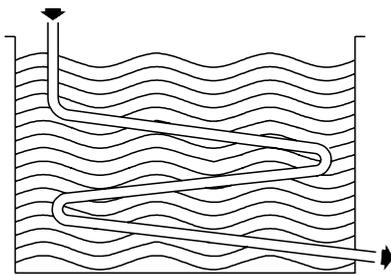


Fig. 6

Se a velocidade de condensação for superior à velocidade de purga do condensado, o fundo da cuba enche-se de água como desmonstrado na Fig. 7. A serpentina é parcialmente saturada de água. Este fenómeno designa-se "saturação de água" (waterlogging).

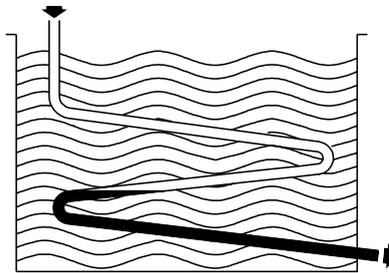


Fig. 7

### CIRCUITO DE VAPOR

O vapor gerado na caldeira deve ser veiculado por um sistema de tubos para o local ou para a energia calorífica onde é necessário. Há primeiro uma ou duas tubulações principais ou "tubos de vapor principais" com base na caldeira e dirigindo o vapor para o local onde será utilizado. Há de seguida uma tubulação secundária que veicula o vapor para cada equipamento específico.

Quando se abre (progressivamente) a válvula da caldeira, o vapor sai imediatamente na tubulação principal. No início, os tubos estão frios. Por conseguinte, o vapor transmite-lhes o calor. O ar que cerca os tubos está igualmente mais frio que o vapor: à medida que o circuito reaquece, o calor reparte-se no ar. Esta perda de calor na atmosfera provoca mais condensação. Que a quantidade de entalpia perdida na tubulação principal seja importante ou não, pode ser devida apenas à condensação de uma parte do vapor.

A água formada desta condensação circula para baixo da tubulação, mas é igualmente transportada pelo fluxo de vapor. Quando uma válvula ASCO/NUMATICS instalada num circuito utilizando o vapor se abre, o vapor proveniente do sistema de distribuição penetra neste circuito, entra de novo em contato com as superfícies de temperaturas inferiores à sua, libertando a sua entalpia de evaporação, condensando-se.

Um fluxo contínuo de vapor sai pela caldeira. Para manter a alimentação, é necessário gerar cada vez mais vapor.

Para tal, alimenta-se o forno de combustível e acrescenta-se água à caldeira para compensar o que se evapora durante o processo de geração de vapor.

Este circuito é percorrido na íntegra (como mostra a Fig. 8), desde que todos os condensados retornem ao reservatório de alimentação da caldeira.

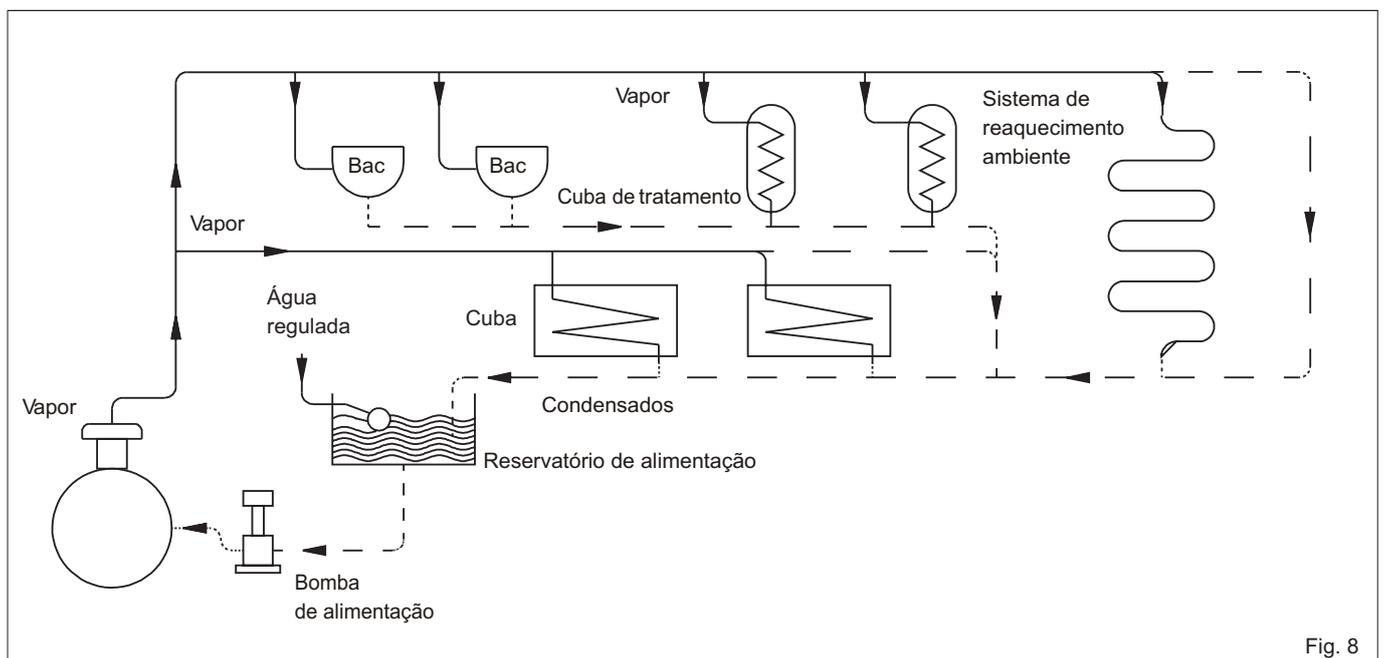


Fig. 8

### QUADRO DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO VAPOR SATURADO (Página 6)

Já demonstramos que existe uma relação entre a pressão do vapor e o ponto de saturação. Também já salientamos que as entalpias da água saturada, de evaporação e do vapor saturado variam e que interagem com a pressão: havendo variação da pressão, há igualmente variação dos volumes.

Dado que os valores da entalpia correspondem a um peso de 1 kg, designamo-los «entalpia específica da água» (saturada, calor sensível), «entalpia específica do vapor» (saturada, calor total) e «entalpia específica de evaporação» (calor latente).

Estes valores estão indicados no quadro das características físicas do vapor saturado na página seguinte.

Para calcular a temperatura do vapor saturado a uma dada pressão absoluta, utiliza-se a seguinte equação:

$$T = (Pa^{0,26}) \times 100 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Pa = pressão absoluta

### VAZÃO DE VAPOR

A natureza do vapor exige que se tomem determinadas regras em consideração para se poder avaliar corretamente o tamanho dos tubos do circuito.

Assim que o vapor sai pelo tubo, produz-se uma perda de pressão devido aos atritos sobre as paredes dos tubos. Para reduzir ao mínimo esta perda e a degradação que ocasiona, é necessário manter a velocidade do vapor conforme os seguintes valores:

Tubo de vapor principal	: 20 a 40 m/s
Tubo de vapor secundário	: 15 a 20 m/s
Tubo de vapor utilização	: 10 a 15 m/s
Tubo condensados	: 15 m/s

Para calcular a velocidade do vapor, utiliza-se a seguinte equação:

$$V = \frac{Q}{A \cdot 3600} \text{ (m/s)}$$

$$Q = Q_m \times V_g \text{ (m}^3\text{/h)}$$

$$V = \text{Velocidade do vapor (m/s)}$$

$$Q = \text{Vazão volumétrica (m}^3\text{/h)}$$

$$Q_m = \text{Vazão mássica do vapor (kg/h)}$$

$$V_g = \text{Volume mássica do vapor (m}^3\text{/kg)}$$

$$A = \text{Secção tubo (m}^2\text{)}$$

Um sistema de tubos tendo uma secção de 1 cm<sup>2</sup> (seja um diâmetro de 12,7 mm), correspondente a uma pressão de 1 bar relativo, permitirá transportar 10 kg de vapor por hora a uma velocidade de cerca 25 m/s.

Para garantir o bom funcionamento das válvulas solenóide pilotadas internamente, é importante conhecer a vazão mássica mínima de funcionamento da válvula.

O caudal mássico exprime-se em kg/h e calcula-se a partir da seguinte equação:

$$Q_m = K_v \times F_g \text{ (kg/h)}$$

$$K_v = \text{coeficiente de vazão (m}^3\text{/h)}$$

$$F_g = \text{coeficiente do gráfico (kg/m}^3\text{)}$$

Uma válvula solenóide pilotada internamente tem um coeficiente de vazão de 4,3 (m<sup>3</sup>/h) e uma pressão diferencial mínima de funcionamento de pelo menos 0,35 bar que é utilizada num sistema de 6 bar relativos.

Para a aplicação evocada acima, obtém-se o caudal mássico mínimo Q<sub>m</sub> do seguinte modo:

Na Fig. 9, seleccionar a pressão de admissão de 6 bar relativos (ordenadamente); deslocar horizontalmente para a direita até encontrar a curva de perda de carga de 0,35 bar; a este ponto corresponde o valor 35 na escala F<sub>gm</sub> (na abcissa).

$$Q_m = 4,3 \times 35 = 150,5 \text{ kg/h}$$

Este valor corresponde ao vazão mássica mínimo que o tubo deverá transportar. Se a vazão é crítica ou não atingida, recomenda-se escolher uma válvula que tenha um coeficiente de vazão (K<sub>v</sub>) inferior.

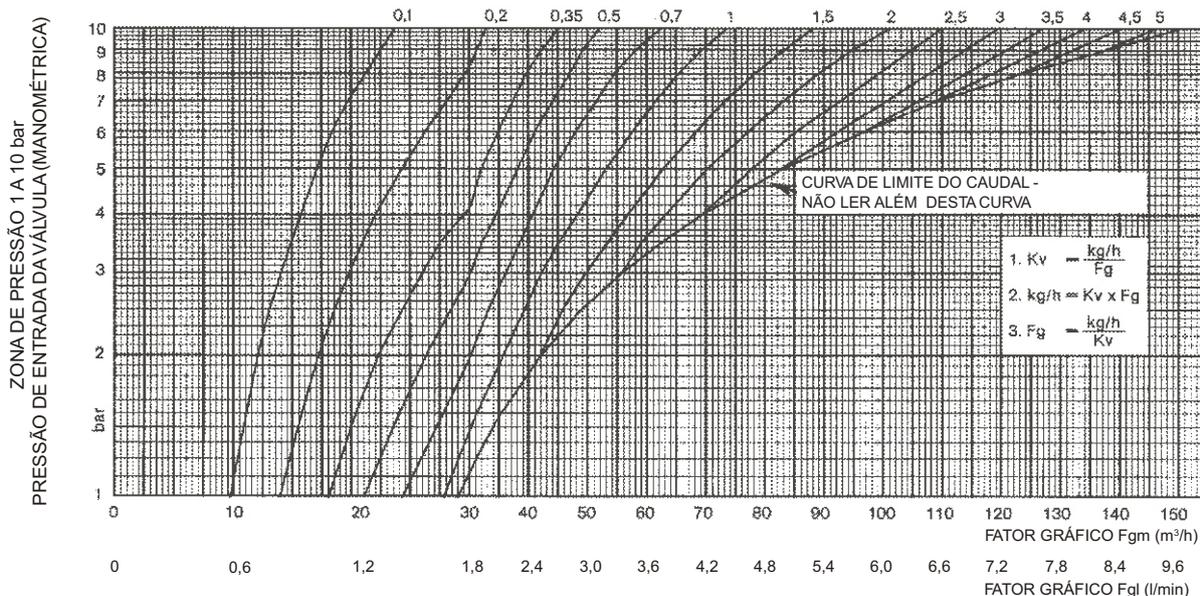


fig. 9

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO VAPOR SATURADO**

Temperatura de evaporação (fluido)	Pressão relativa (valor página catálogo)	Pressão absoluta	Volume mássico vapor	Volume volumétrico vapor	Entalpia específica da água (calor sensível, hf)		Entalpia específica de vaporização (calor latente, hfg)		Entalpia específica de vapor (calor total, hg)		Calor específico vapor	Viscosidade dinâmica vapor
					(°C)	(bar)	(bar)	(m³/kg)	(kg/m³)	(kJ/kg)		
17,51	0,02	0,02	67,006	0,015	73,45	17,54	2460,19	587,61	2533,64	605,15	1,8644	0,00001
45,81	0,1	0,1	14,674	0,0681	191,83	45,82	2392,8	571,61	2584,7	617,46	-	-
60,06	0,2	0,2	7,649	0,1307	251,4	60,05	2358,3	563,37	2609,7	623,43	-	-
69,1	0,3	0,3	5,229	0,1912	289,23	69,09	2336,1	558,07	2625,3	627,16	-	-
75,87	0,4	0,4	3,993	0,2504	317,58	75,86	2319,2	554,03	2636,8	629,9	-	-
81,33	0,5	0,5	3,24	0,3086	340,49	81,34	2305,4	550,74	2645,9	632,16	-	-
85,94	0,6	0,6	2,732	0,336	359,86	85,96	2293,6	547,92	2653,5	633,89	-	-
89,95	0,7	0,7	2,365	0,4228	376,7	89,99	2283,3	545,46	2660	635,45	-	-
93,5	0,8	0,8	2,087	0,4791	391,66	93,56	2274,1	543,26	2665,8	636,83	-	-
96,71	0,9	0,9	1,869	0,535	405,15	96,78	2265,7	541,25	2670,9	638,05	-	-
99,63	1	1	1,694	0,59	417,51	99,72	2257,92	539,3	2675,43	639,02	2,0267	0,000012
100	0	1,013	1,673	0,5977	419,04	100,1	2257	539,17	2676	639,27	-	-
102,32	0,087	1,1	1,549	0,645	428,84	102,43	2250,76	537,59	2679,61	640,01	2,0373	0,000012
104,81	0,187	1,2	1,428	0,7	439,36	104,94	2244,08	535,99	2683,44	640,93	2,0476	0,000012
107,13	0,287	1,3	1,325	0,755	449,19	107,29	2237,79	534,49	2686,98	641,77	2,0576	0,000013
109,32	0,387	1,4	1,236	0,809	458,42	109,49	2231,86	533,07	2690,28	642,56	2,0673	0,000013
111,37	0,487	1,5	1,159	0,863	467,13	111,57	2226,23	531,73	2693,36	643,3	2,0768	0,000013
113,32	0,587	1,6	1,091	0,916	475,38	113,54	2220,87	530,45	2696,25	643,99	2,086	0,000013
115,17	0,687	1,7	1,031	0,97	483,22	115,42	2215,75	529,22	2698,97	644,64	2,095	0,000013
116,93	0,787	1,8	0,977	1,023	490,7	117,2	2210,84	528,05	2701,54	645,25	2,1037	0,000013
118,62	0,887	1,9	0,929	1,076	497,85	118,91	2206,13	526,92	2703,98	645,83	2,1124	0,000013
120,42	1	2,013	0,881	1,1350	505,6	120,78	2201,1	525,82	2706,7	646,6	-	-
120,23	0,987	2	0,885	1,129	504,71	120,55	2201,59	525,84	2706,29	646,39	2,1208	0,000013
123,27	1,187	2,2	0,81	1,235	517,63	123,63	2192,98	523,78	2710,6	647,42	2,1372	0,000013
126,09	1,387	2,4	0,746	1,34	529,64	126,5	2184,91	521,86	2714,55	648,36	2,1531	0,000013
128,73	1,587	2,6	0,693	1,444	540,88	129,19	2177,3	520,04	2718,17	649,22	2,1685	0,000013
131,2	1,787	2,8	0,646	1,548	551,45	131,71	2170,08	518,32	2721,54	650,03	2,1835	0,000013
133,54	1,987	3	0,606	1,651	561,44	134,1	2163,22	516,68	2724,66	650,77	2,1981	0,000013
133,69	2	3,013	0,603	1,6583	562,2	134,3	2163,3	516,79	2725,5	651,09	-	-
138,87	2,487	3,5	0,524	1,908	584,28	139,55	2147,35	512,89	2731,63	652,44	2,2331	0,000014
143,63	2,987	4	0,462	2,163	604,68	144,43	2132,95	509,45	2737,63	653,87	2,2664	0,000014
147,92	3,487	4,5	0,414	2,417	623,17	148,84	2119,71	506,29	2742,88	655,13	2,2983	0,000014
151,85	3,987	5	0,375	2,669	640,12	152,89	2107,42	503,35	2747,54	656,24	2,3289	0,000014
151,96	4	5,13	0,374	2,6737	640,7	153,05	2108,1	503,6	2748,8	656,66	-	-
155,47	4,487	5,5	0,342	2,92	655,81	156,64	2095,9	500,6	2751,7	657,23	2,3585	0,000014
158,84	4,987	6	0,315	3,17	670,43	160,13	2085,03	498	2755,46	658,13	2,3873	0,000014
160	5	6,013	0,31	3,1746	670,09	160,27	2086	498,32	2756,9	658,6	-	-
161,99	5,487	6,5	0,292	3,419	684,14	163,4	2074,73	495,54	2758,87	658,94	2,4152	0,000014
164,96	5,987	7	0,273	3,667	697,07	166,49	2064,92	493,2	2761,98	659,69	2,4424	0,000015
165	6	7,013	0,272	3,6764	697,5	166,62	2066	493,54	2763,5	660,17	-	-
167,76	6,487	7,5	0,255	3,915	709,3	169,41	2055,53	490,96	2764,84	660,37	2,469	0,000015
170,42	6,987	8	0,24	4,162	720,94	172,19	2046,53	488,8	2767,46	661	2,4951	0,000015
172,94	7,487	8,5	0,227	4,409	732,03	174,84	2037,86	486,73	2769,89	661,58	2,5206	0,000015
175,36	7,987	9	0,215	4,655	742,64	177,38	2029,49	484,74	2772,13	662,11	2,5456	0,000015
177,67	8,487	9,5	0,204	4,901	752,82	179,81	2021,4	482,8	2774,22	662,61	2,5702	0,000015
179,88	8,987	10	0,194	5,147	762,6	182,14	2013,56	480,93	2776,16	663,07	2,5944	0,000015
179,97	9	10,013	0,19	5,1546	763	182,27	2015,1	481,39	2778,1	663,66	-	-
184,06	9,987	11	0,177	5,638	781,11	186,57	1998,55	477,35	2779,66	663,91	2,6418	0,000015
184,13	10	11,013	0,177	5,6497	781,6	186,71	2000,1	477,8	2781,7	664,52	-	-
187,96	10,987	12	0,163	6,127	798,42	190,7	1984,31	473,94	2782,73	664,64	2,6878	0,000015
191,6	11,987	13	0,151	6,617	814,68	194,58	1970,73	470,7	2785,42	665,29	2,7327	0,000015
194,04	12,987	14	0,141	7,106	830,05	198,26	1957,73	467,6	2787,79	665,85	2,7767	0,000016
198,28	13,987	15	0,132	7,596	844,64	201,74	1945,24	464,61	2789,88	666,35	2,8197	0,000016
212,37	18,987	20	0,1	10,047	908,56	217,01	1888,65	451,1	2797,21	668,1	3,0248	0,000016
217,24	21	22,013	0,091	11,032	930,92	222,35	1868,11	446,19	2799,03	668,54	3,1034	0,000016
219,55	21,987	23	0,087	11,525	941,57	224,89	1858,2	443,82	2799,77	668,71	3,1421	0,000016
221,78	22,987	24	0,083	12,02	951,9	227,36	1848,49	441,5	2800,39	668,86	3,1805	0,000017
223,94	23,987	25	0,080	12,515	961,93	229,75	1838,98	439,23	2800,91	668,99	3,2187	0,000017
224,02	24	25,013	0,0797	12,547	952,2	229,86	1840,9	439,77	2803,1	669,63	-	-
233,84	28,987	30	0,067	15,009	1008,33	240,84	1793,94	428,48	2802,27	669,31	3,4069	0,000017
242,54	33,987	35	0,057	17,536	1049,74	250,73	1752,2	418,51	2801,95	669,23	3,5932	0,000017
250,33	38,987	40	0,050	20,101	1087,4	259,72	1712,94	409,13	2800,34	668,85	3,7806	0,000018
251,8	40	41,013	0,048	20,619	1094,56	261,43	1705,33	407,31	2799,89	668,74	3,8185	0,000018

**Temperatura de vaporização:** Temperatura do vapor saturante ou igualmente da água a ferver sob a mesma pressão.

**Pressão relativa:** Pressão situada acima da pressão atmosférica e lida em manômetros comuns

**Pressão absoluta:** Pressão relativa + 1,013 bar (Pressão atmosférica normal ao nível do mar a 0°C).

**Volume mássico do vapor:** Volume ocupado em m³ por 1 kg de vapor.

**Massa volumica do vapor:** Massa específica do vapor num volume de 1 m³.

**Entalpia específica da água:** Calor sensível, é a quantidade de calor contido em 1 kg de água a ferver.

**Entalpia específica do vapor:** É o calor total contido em 1 kg de vapor. É a soma das entalpias dos diferentes estados, líquido (água) e gasoso (vapor).

**Calor latente de vaporização:** Calor necessário para transformar 1 kg de água a ferver em vapor sem alteração de temperatura (energia térmica necessária durante a alteração do estado líquido ao estado vapor).

**Calor específico do vapor:** Quantidade de calor necessário para aumentar a temperatura de um grau Celsius sobre uma unidade de peso de 1 kg de vapor). Viscosidade dinâmica: A viscosidade de um fluido caracteriza a resistência ao movimento do fluido.