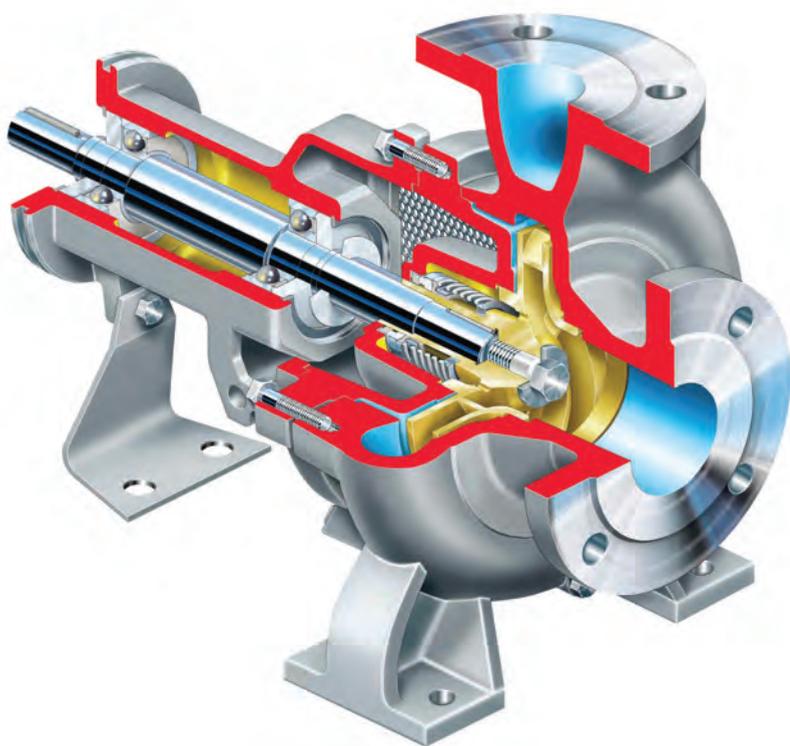


BOMBAS E INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS

António José da Anunciada Santos



2.^a Edição

AUTOR

António José da Anunciada Santos

TÍTULO

BOMBAS E INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS – 2.ª Edição

EDIÇÃO

Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.

Tel. 220 939 053 · E-mail: geral@quanticaeditora.pt · www.quanticaeditora.pt

Praça da Corujeira n.º 38 · 4300-144 PORTO

CHANCELA

Engebook – Conteúdos de Engenharia

DISTRIBUIÇÃO

Booki – Conteúdos Especializados

Tel. 220 104 872 · E-mail: info@booki.pt · www.booki.pt

APOIO

Alpha Engenharia · www.alphaengenharia.pt

Manutenção – Revista de Manutenção Industrial · www.revistamanutencao.pt

REVISÃO

Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.

DESIGN

Delineatura – Design de Comunicação · www.delineatura.pt

IMPRESSÃO

Fevereiro, 2022

DEPÓSITO LEGAL

490057/21



A **cópia ilegal** viola os direitos dos autores.

Os prejudicados somos todos nós.

Copyright © 2022 | Todos os direitos reservados a Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.

A reprodução desta obra, no todo ou em parte, por fotocópia ou qualquer outro meio, seja eletrónico, mecânico ou outros, sem prévia autorização escrita do Editor e do Autor, é ilícita e passível de procedimento judicial contra o infrator.

Este livro encontra-se em conformidade com o novo Acordo Ortográfico de 1990, respeitando as suas indicações genéricas e assumindo algumas opções específicas.

CDU

621.22 Engenharia Mecânica. Máquinas hidráulicas

ISBN

Papel: 9789899017955

E-book: 9789899017962

Catálogo da publicação

Família: Engenharia Mecânica

Subfamília: Caldeiraria, Válvulas e Bomba

Capítulo 1. Conceitos base da mecânica de fluidos	11
1.1. Descrições sobre fluidos	13
1.2. Grandezas e unidades	15
1.3. Principais propriedades dos fluidos	17
1.3.1. Temperatura	17
1.3.2. Conceito de Pressão	18
1.3.3. Pressão de vapor	18
1.3.4. Massa específica e relativa	19
1.3.5. Peso específico	20
1.3.6. Viscosidade absoluta e relativa	21
1.3.7. Tensão superficial e efeito capilar.....	22
1.3.8. Propriedades da água e soluções glicoladas	24
1.4. Princípios e equações fundamentais	26
1.4.1. Hidrostática	26
1.4.1.1. Lei fundamental	26
1.4.1.2. Pressão, gradientes e manómetros	27
1.4.1.3. Princípio de Pascal	29
1.4.1.4. Princípio de Arquimedes.....	30
1.4.2. Equações fundamentais	31
1.4.2.1. Caudal volúmico e mássico.....	31
1.4.2.2. Princípio da conservação da massa	32
1.4.2.3. Equação de Bernoulli	33
1.5. Fundamentos do escoamento em tubos	36
1.5.1. Número de Reynolds e os escoamentos.....	36
1.5.2. Perfis de velocidades.....	37
1.5.3. Diâmetros e velocidades nas tubagens	38
1.5.4. Perdas de carga.....	39
1.5.4.1. Modelos de cálculo para tubos	39
1.5.4.2. Gráficos para tubos	44
1.5.4.3. Modelo de cálculo para acessórios	47
1.5.4.4. Tabelas de comprimento equivalente.....	50
1.5.5. Curvas características de uma instalação	52
1.5.5.1. Equação de Bernoulli generalizada.....	52
1.5.5.2. Sistemas fechados.....	52
1.5.5.3. Sistemas abertos.....	53
1.5.5.4. Modelo para representação da curva da instalação	54
1.5.5.5. Associação de tubos	55
Exercícios	57

Capítulo 2. Bombas	61
2.1. Descrição	63
2.2. Tipos e classificações	63
2.2.1. Bombas de deslocamento positivo	64
2.2.1.1. As alternativas	64
2.2.1.2. Rotativas	65
2.2.2. Turbobombas	67
2.2.2.1. Trajetória do fluido	67
2.2.2.2. Estrutura construtiva	70
2.2.2.3. Posicionamento em relação ao plano da água	72
2.2.2.4. Principais tipos de bombas centrífugas	73
2.3. Bomba Centrífuga	73
2.3.1. Constituição	73
2.3.2. Funcionamento e teoria fundamental	75
2.3.3. Parâmetros e curvas características	79
2.3.3.1. Carga fornecida ao fluido	79
2.3.3.2. Rendimentos da bomba	82
2.3.3.3. Fenómeno de Cavitação, NPSH	84
2.3.3.4. Golpe de Ariete	87
2.3.3.5. Leis de semelhança e curvas em outras condições	89
2.3.4. Seleção da bomba	94
2.3.5. Associação de bombas e controlo	95
2.3.5.1. Associação paralela	95
2.3.5.2. Associação série	97
2.3.5.3. Ajuste do caudal na instalação	98
2.3.6. Cuidados de instalação, manutenção e deteção de avarias	100
2.3.6.1. Base de instalação	100
2.3.6.2. Instalação de tubagens	102
2.3.6.3. Acoplamentos e chapa	103
2.3.6.4. Manutenções e Avarias	105
Exercícios	108
Capítulo 3. Instalações Hidráulicas	111
3.1. Descrição	113
3.2. Instalações elevatórias	113
3.2.1. Definição	113
3.2.2. Constituição típica	113
3.2.3. Aplicações	114
3.2.4. Bombagem de água em poços	115
3.2.4.1. Aquíferos	115
3.2.4.2. Poços pouco profundos	116

3.2.4.3. Poços profundos.....	121
3.2.5. Bombagem de água em edifícios.....	124
3.2.5.1. Tipos de pressurização.....	124
3.2.5.2. Centrais de elevação de pressão.....	125
3.2.5.3. Depósitos hidropneumáticos.....	129
3.2.6. Saneamento básico.....	131
3.2.6.1. Abastecimento de água.....	132
3.2.6.2. Esgotos.....	137
3.3. Instalações de água e esgotos em edifícios.....	140
3.3.1. Instalações de água fria.....	140
3.3.1.1. Depósitos de água.....	140
3.3.1.2. Elementos básicos.....	141
3.3.1.3. Caudais de água.....	143
3.3.1.4. Pressões e velocidades de serviço.....	147
3.3.2. Instalações de esgotos.....	148
3.3.2.1. Elementos básicos.....	148
3.3.2.2. Caudais de águas residuais.....	150
3.4. Instalações para águas quentes sanitárias (AQS).....	151
3.4.1. Instalação com caldeira.....	151
3.4.2. Instalação com painéis solares.....	152
3.4.3. Caudais de água.....	153
3.5. Instalações para ar condicionado.....	155
3.5.1. Instalação para arrefecimento.....	155
3.5.2. Instalação para aquecimento.....	157
3.5.3. Caudais de água.....	158
3.6. Instalações de aquecimento central.....	162
Exercícios.....	163
Capítulo 4. Tubagens e Equipamentos para Instalações Hidráulicas.....	167
4.1. Descrição.....	169
4.2. Tubagens.....	170
4.2.1. Parâmetros característicos.....	170
4.2.2. Tubos de cobre.....	171
4.2.3. Tubos de aço.....	177
4.2.3.1. Tubos de aço negro e galvanizado.....	177
4.2.3.2. Tubos de aço inox.....	178
4.2.4. Tubos Plásticos.....	180
4.3. Válvulas e acessórios.....	181
4.3.1. Parâmetros característicos.....	182

4.3.2. Válvulas de corte e regulação.....	183
4.3.2.1. Válvula de gaveta.....	184
4.3.2.2. Válvula de macho.....	185
4.3.2.3. Válvula de esfera.....	185
4.3.2.4. Válvula de globo.....	186
4.3.2.5. Válvula de borboleta.....	188
4.3.2.6. Válvula de diafragma.....	189
4.3.3. Válvula antirretorno.....	189
4.3.4. Válvulas de segurança e alívio.....	191
4.3.5. Válvulas Redutoras de pressão.....	193
4.3.6. Válvulas Equilibradoras.....	193
4.3.7. Válvulas reguladoras de pressão diferencial.....	195
4.3.8. Válvulas de controlo.....	196
4.3.9. Ventosas e eliminadores de ar.....	197
4.3.10. Filtros e visores.....	198
4.4. Equipamentos térmicos.....	200
4.4.1. Caldeiras.....	200
4.4.2. Painéis solares térmicos.....	203
4.4.3. <i>Chiller</i>	208
4.4.4. Depósitos de acumulação térmica.....	209
4.4.5. Vasos de expansão.....	210
Referências.....	CCXV
Índice de Figuras.....	CCXIX
Índice de Tabelas.....	CCXXIII

1.3.2. Conceito de Pressão

Em mecânica de fluidos, a pressão é uma das propriedades mais importantes, que, em conjunto com a velocidade, permite determinar o estado energético dos fluidos. Fisicamente, a pressão deriva da relação que existe entre a força e a área de atuação, sendo definida no SI, como a força de um Newton que atua perpendicularmente a uma superfície de um metro quadrado.

$$P (\text{Pa}) = \frac{F (\text{N})}{A (\text{m}^2)}$$

Outras unidades usadas de interesse para a pressão são:

1 Pa = 1×10^{-5} Bar; 1 Pa = $0,98692 \times 10^{-5}$ atm; 1 Pa = 0,10197 mmH₂O;

1 Pa = 0,00014504 PSI; 1 Pa = $1,0971 \times 10^{-5}$ kg/cm².

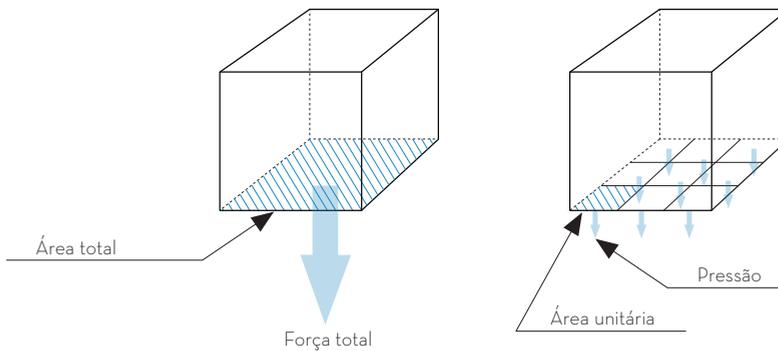


Figura 1.3. Pressão.

Fonte: Daikin

1.3.3. Pressão de vapor

Pelos princípios da termodinâmica sabe-se que, para as substâncias puras, existe uma relação entre a pressão e a temperatura para a mudança de estado físico dos fluidos. Para uma determinada temperatura existe um valor de pressão para a qual o fluido líquido se vai evaporar. Este valor recebe o nome de pressão de saturação, P_s , e aumenta com a temperatura dos fluidos. Quando num determinado recipiente apenas existir um líquido em equilíbrio termodinâmico com o seu vapor, isto é, a taxa de evaporação for igual à da condensação, o valor da pressão que reina sobre o líquido recebe o nome de pressão de vapor, P_v , e é igual à pressão de saturação do fluido, P_s , ($P_v = P_s$). Para o caso da água, para uma gama de temperaturas de 5 a 100°C, pode ser usada a equação polinomial seguinte.

$$P_s = 10 \left(\frac{7,5 \times T}{T + 273,15 - 35,85} \right)^{+ 2,7858}$$

Onde:

P_s = Pressão de saturação da água, em Pa;

T = Temperatura de saturação, em °C.

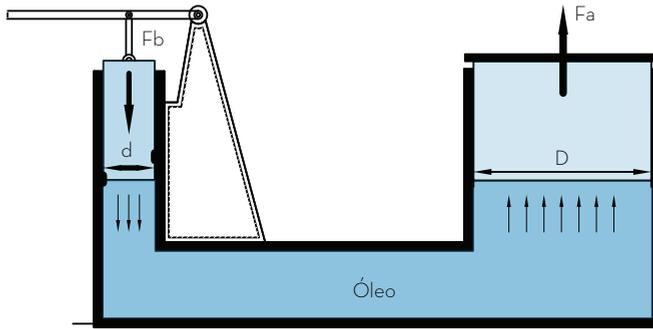


Figura 1.11. Aplicação do princípio de Pascal.

1.4.1.4. Princípio de Arquimedes

Um corpo sólido, quando é imerso no seio de um líquido, fica sujeito a valores de pressão diferentes ao longo da sua superfície, com valores mais baixos na superfície superior e mais altos na superfície inferior. Esta situação gera um campo de forças diferentes em torno do sólido que permite a sua elevação no seio do fluido.

Por exemplo, um sólido de área de superfície A com uma espessura h_2 , quando imerso a uma profundidade h_1 na água, fica sujeito a uma força na sua superfície superior, F_{sup} , que o tende a empurrar para baixo:

$$F_{sup} = P_s \times A = \rho \times g \times h_1 \times A$$

E a outra na sua superfície inferior, F_{inf} , que o tende a empurrar para cima:

$$F_{inf} = P_i \times A = \rho \times g \times (h_1 + h_2) \times A$$

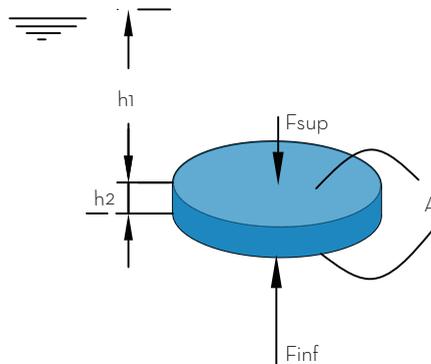


Figura 1.12. Forças hidrostáticas.

A resultante destas duas forças hidrostáticas é uma força de flutuação que tende a empurrar o corpo para cima:

$$F_f = F_{inf} - F_{sup} = \rho \times g \times (h_1 + h_2) \times A - \rho \times g \times h_1 \times A$$

$$F_f = \rho \times g \times A \times [(h_1 + h_2) - h_1] = \rho \times g \times A \times h_2 = \rho \times g \times V$$

$$F_f = \rho \times g \times V = \gamma \times V$$

1.5.2. Perfis de velocidades

Nos escoamentos laminares e estacionários no interior dos tubos em regiões completamente desenvolvidas, as partículas de fluido movem-se com velocidades constantes ao longo de linhas de corrente, sem aceleração. O perfil de velocidades deste género de escoamento tem uma configuração parabólica, com um máximo no eixo central, e um mínimo na parede do tubo (nulo). Um modelo matemático, que resulta de um balanço de forças a um elemento de volume, reproduz o perfil como uma função da velocidade média e das dimensões do tubo.

$$v(r) = 2 \times v_m \times \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$$

Substituído no modelo anterior o $r=0$, obtém-se a velocidade máxima como sendo o dobro da velocidade média.

$$v_{max}(r) = 2 \times v_m$$

Onde:

v_m = Velocidade média, obtida pelo caudal de escoamento, em m/s;

r e R = Raios, em m.

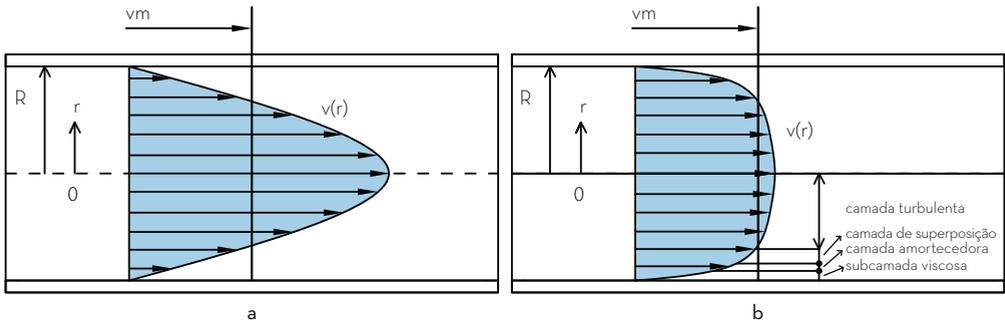


Figura 1.15. Perfis de velocidade de um escoamento completamente desenvolvido no interior de um tubo: (a) regime laminar; e (b) regime turbulento.

O escoamento turbulento no interior dos tubos tem um perfil de velocidades com uma geometria mais cheia que o laminar. Este é normalmente dividido em quatro regiões, onde são mais ou menos sentidos os efeitos viscosos. Uma primeira região junto à parede, chamada de subcamada viscosa, onde se faz sentir uma forte influência dos efeitos viscosos. O perfil próximo desta camada é do tipo linear. As duas camadas seguintes, amortecedora e de superposição, têm uma influência crescente dos efeitos de turbulência mas ainda existe um domínio dos efeitos viscosos. A camada turbulenta seguinte já tem um domínio por parte dos efeitos turbulentos. Um modelo empírico, conhecido como a lei da potência, permite reproduzir o perfil de velocidades para o escoamento turbulento completamente desenvolvido.

$$\frac{v}{v_{max}} = \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/n}$$

Onde o valor de expoente, $n = 7$, aproxima muito os escoamentos na prática.

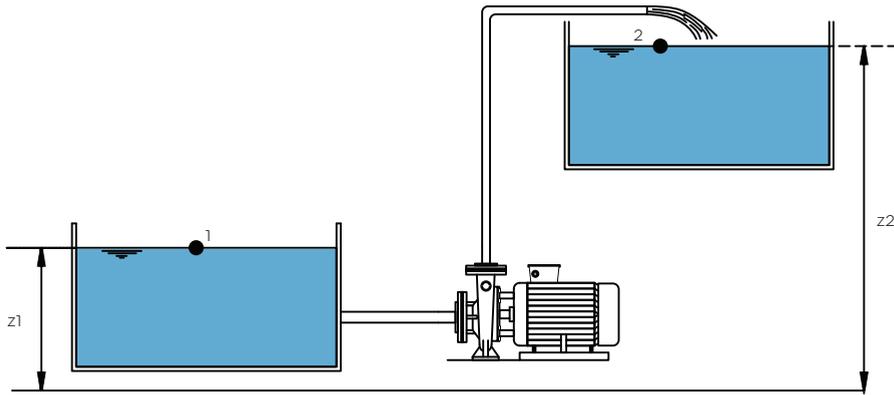


Figura 1.25. Sistema aberto do tipo elevatório.

1.5.5.4. Modelo para representação da curva da instalação

Uma forma simplificada para representar as curvas das instalações é com base no uso de uma constante característica, K , que representa as perdas de carga impostas pelos tubos e os componentes da instalação.

$$h_b = \begin{cases} Ki \times Q^2 & \text{se fechados} \\ (z2 - z1) + Ki \times Q^2 & \text{se abertos} \end{cases}$$

O valor de K é próprio de cada instalação e nele está contido toda a informação de perdas. Este parâmetro resulta de uma análise às perdas de carga feitas a uma instalação genérica a partir da equação de Darcy e do método das perdas menores dos K .

$$h_T = h_l + h_a = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g} + \sum K \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

Substituindo na equação anterior a velocidade pelo caudal ($v = Q/A$), e depois de algum trabalho matemático, obtém-se:

$$h_T = Ki \times Q^2; \quad Ki = \frac{16}{2 \times g \times \pi \times D^4} \times f \times \left(\frac{L}{D} + \sum K \right)$$

Exemplo:

Considerando os dados da instalação dos exemplos anteriores com 100 metros de tubo de 1" (0.0254 metros) de diâmetro, um fator de atrito constante $f = 0.0198$, uma entrada e uma saída na tubagem, uma curva e uma válvula de globo aberta ($\sum K = 1.0 + 1.0 + 0.36 + 10 = 12.36$), obtém-se um K_i de:

Exercício 1.3.

Escoamento de água com elevação

Sabendo que no exercício anterior a altura Z_1 é de 8.8 metros, determinar a energia fornecida pela bomba, em metros, para encher o depósito de água, considerando os mesmos 4 L/s e uma velocidade de 2 m/s.

SOLUÇÃO

O diâmetro de cálculo e o fator de atrito mantêm-se nos mesmos valores que o exercício anterior.

$$D = 50\text{mm}, f = 0.027$$

As perdas de carga para a linha de aspiração e de descarga são:

Aspiração:

Comprimento do tubo = 5 + 4 = 9 m

Comprimento equivalente da válvula de pé = 3.44 m

Comprimento equivalente da curva de 90° = 0.79 m

Comprimento equivalente total = 9 + 3.44 + 0.79 = 13.23 m

Perda de carga na aspiração.

$$h_T(m) = f \times \frac{L}{D} \times \frac{vm^2}{2 \times g} = 0.027 \times \frac{13.23}{0.050} \times \frac{2^2}{2 \times 9.8} = 1.46\text{m}$$

Descarga:

Comprimento do tubo = 10 + 8.8 = 18.8 m

Comprimento equivalente da saída = 1.97 m

Comprimento equivalente da curva de 90° = 0.79 m

Comprimento equivalente total = 18.8 + 1.97 + 0.79 = 21.56 m

Perda de carga na aspiração.

$$h_T(m) = f \times \frac{L}{D} \times \frac{vm^2}{2 \times g} = 0.027 \times \frac{21.56}{0.050} \times \frac{2^2}{2 \times 9.8} = 2.38\text{m}$$

Perda total = 1.46 + 2.38 = 3.84 m

Altura a fornecer pela bomba:

$$h_b(m) = (z_2 - z_1) + h_f = (8.8 + 4 - 0) + 3.84 = 16.64\text{m}$$

Estas máquinas são usadas sobretudo para a bombagem de pequenos caudais (por exemplo, de 2 a 2000 m³/h) e grandes alturas manométricas (por exemplo, de 6 a 4000 m). Por exemplo, na figura seguinte mostra-se uma bomba standard, em abastecimentos de água em instalações municipais e industriais; para pressurização em edifícios altos e industriais; transporte de líquidos em instalações industriais (aquecimento, refrigeração, ar condicionado, etc.); sistemas de rega, etc. A máquina movimenta caudais máximos de 1000 m³/h e alturas máximas de 160 metros. As temperaturas de líquido de trabalho vão de 25 a 120°C e as pressões máximas de 16 bar.

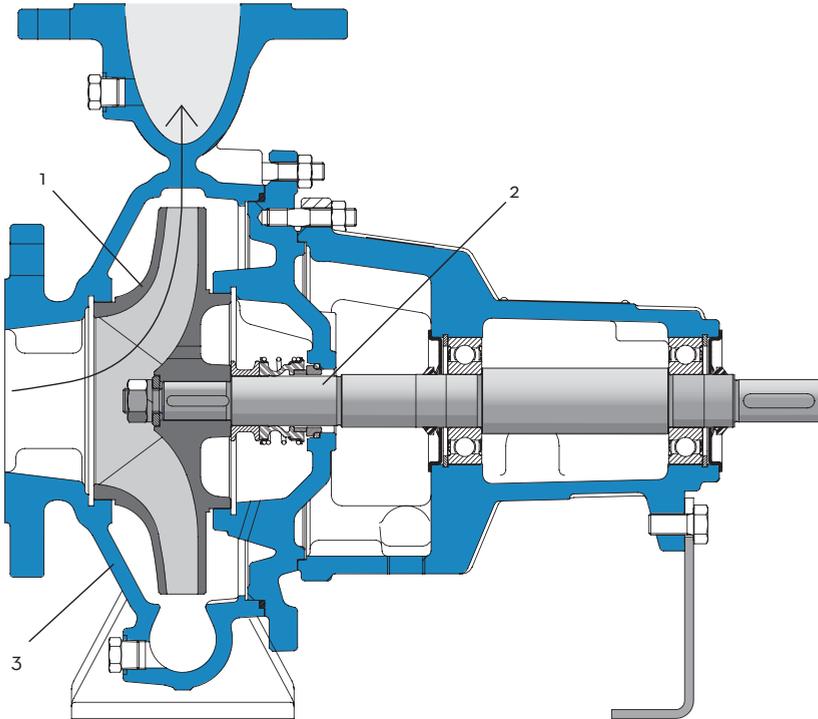


Figura 2.7. Bomba centrífuga com rotor radial. 1. Rotor; 2. Eixo; 3. Difusor.
Fonte: Grundfos

Nas bombas de fluxo axial, o fluido entra e sai axialmente ao longo da parte externa da bomba. Internamente, o fluido entra paralelamente ao eixo e a trajetória vai-se transformando em hélices cilíndricas devido à configuração das pás do rotor, que assumem a forma de hélices. Neste caso não se consideram forças centrífugas puras devido à força centrífuga das pás não ser responsável pelo aumento da energia de pressão.

As bombas podem ter pás fixas ou ajustáveis automaticamente de forma a dar a inclinação adequada a cada descarga para garantir variações mínimas no rendimento. São usadas para a bombagem de grandes caudais (por exemplo, 200 a 100 000 m³/h) e pequenas alturas manométricas (por exemplo, 8 metros), como em situações de bombagem de água da chuva e inundações, drenagem, irrigação, bombagem de água bruta, bem como a bombagem em efluentes

são transportadas para regiões da bomba onde a pressão é mais alta, que causam o seu colapso. Isto causa ruídos, vibrações, redução da eficiência e danos nas pás do rotor. Para evitar esta situação deve-se garantir que a pressão local em todo o interior da bomba fique acima da pressão de vapor.

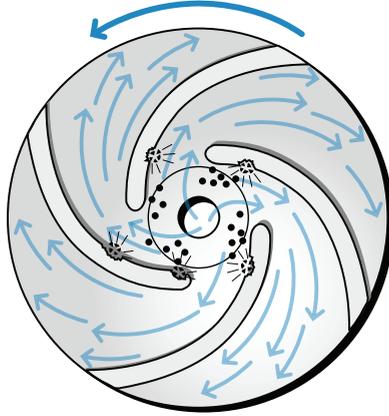


Figura 2.24. Cavitação.
Fonte: Grundfos

Os fabricantes avaliam os fenômenos de cavitação por meio de testes. Variam o caudal volumétrico e a pressão na entrada de forma à ocorrência do fenômeno. Depois registam esta situação a partir do parâmetro NPSHb, ou carga de pressão positiva. Este define-se como a diferença entre a pressão de estagnação na entrada da bomba e a carga de pressão de vapor.

$$NPSH = \left[\frac{P}{\rho \times g} + \frac{v^2}{2 \times g} \right]_{\text{entrada, bomba}} - \frac{P_v}{\rho \times g}$$

No gráfico da figura seguinte apresenta-se os dados do NPSHb da bomba dos exemplos anteriores, onde se verifica que, para um caudal mássico de 110 m³/h, o NPSHb = 3,38 metros.

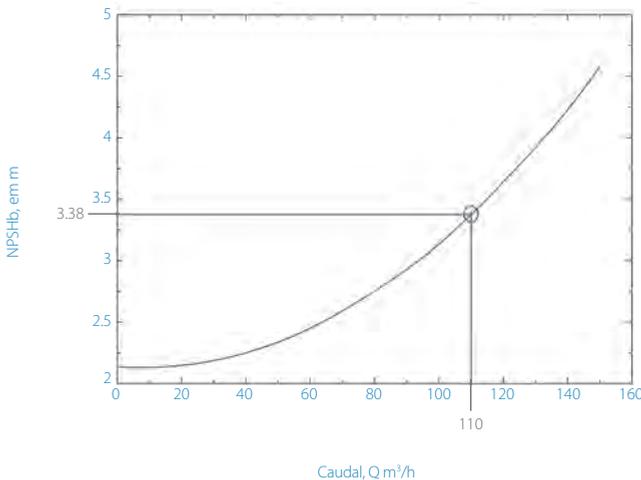


Figura 2.25. Curva do NPSH da bomba emitido por um fabricante.

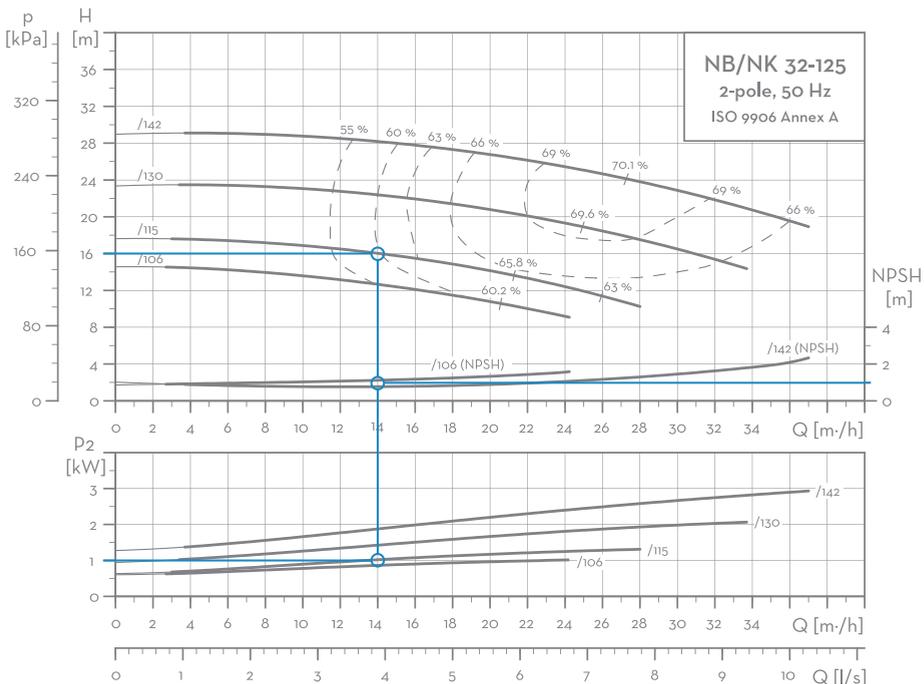
Exercício 2.1. Seleção da bomba

Pretende-se seleccionar uma bomba para encher um depósito de água que fica a uma altura de 8.8 metros (esquema do exercício 2 do capítulo 1). Sabe-se que o caudal de água é de 4 l/s ($4 \times 3600/1000 = 14 \text{ m}^3/\text{h}$), a velocidade de escoamento é 2 m/s e a altura manométrica a fornecer pela bomba é de 16.5 metros. Considerar a água a 20°C.

SOLUÇÃO

Para esta solução uma bomba de estágio simples do tipo separada é a indicada. A identificação das condições de projeto no gráfico de curvas múltiplas anteriormente representado indica uma pré-seleção de uma bomba do tipo 32-125 1. A representação das mesmas condições no gráfico específico da bomba indica que esta deverá ter um diâmetro de rotor de 115 milímetros. Nestas condições a bomba trabalha com um rendimento de 60% e com uma potência ao eixo de 1kW. Nestas condições, o NPSH da bomba é de 1 metro. Como o NPSHi da instalação é maior que o da bomba, não existe o perigo de cavitação.

$$NPSHi = \frac{P_b - P_v}{\gamma} - (z_1 + h_f) = \frac{101325 - 2339}{9782.36} - (4 + 1.46) = 4.66 \text{ m}$$



Para além das medidas anteriormente referidas, devem ser levados em consideração outros cuidados na instalação da bomba. A instalação de uma camada de brita junto ao fundo é uma medida que evita a entrada de sólidos. Uma distância da instalação da bomba na horizontal de 4 metros até à boca do poço é uma outra medida que deve ser cumprida.

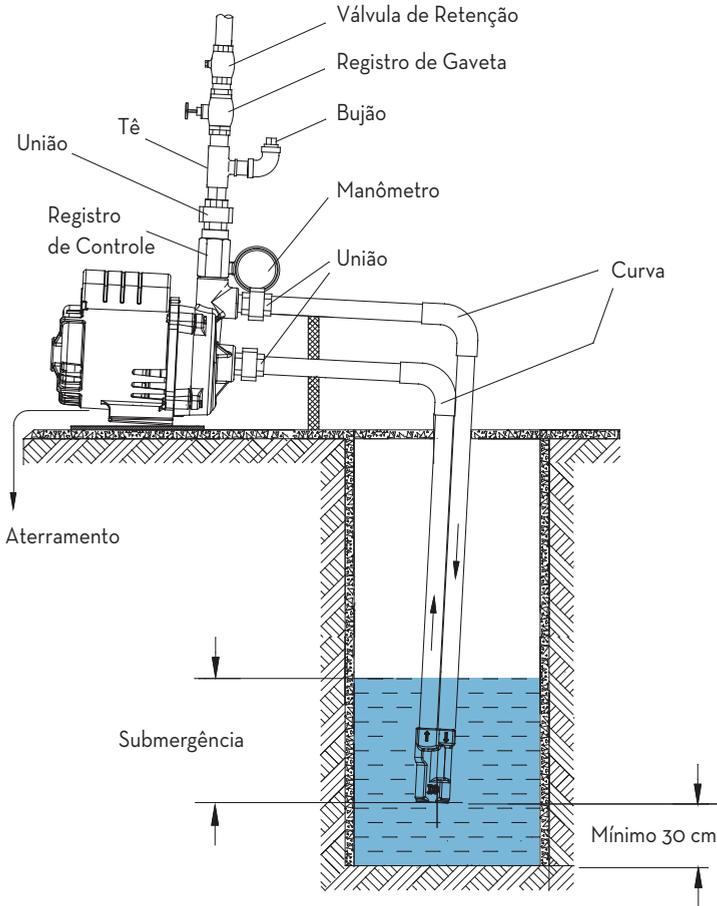


Figura 3.9. Exemplo de instalação de bomba injetora, C.
 Fonte: Schneider

Exemplo:

Para bombear um caudal de 1.5 m³/h de água de um poço semiartesiano com uma profundidade de 25 metros, um nível estático, NE, de 10 metros e um dinâmico, ND, de 15 metros, deve-se colocar o injetor com uma profundidade de 20 metros.

3.2.6.1. Abastecimento de água

Um sistema convencional de abastecimento de água a uma comunidade é composto fundamentalmente por: um sistema de captação com uma estação elevatória; uma estação de tratamento; uma estação elevatória de alto recalque.

Viu-se anteriormente que as fontes de origem para água de consumo humano podem ter uma origem subterrânea, por meio da abertura de poços profundos, galerias de minas, nascentes, ou uma origem superficial, por meio da captação de água em rios, lagos, barragens e, por vezes, também no mar.

Na captação da água em rios são usadas normalmente bombas de eixo vertical de rotor imerso (helicoidais) e nas descargas elevadas são usadas bombas hélico-axiais. Um exemplo de uma instalação de captação de água num rio é mostrado na figura seguinte. Esta é constituída por uma tubagem de betão, que serve para conduzir a água à chamada zona de poço, onde fica alojada a bomba de rotor imerso. O nível de água mínimo a ser considerado no processo das tomadas de água deverá ficar abaixo do menor nível de água observado no local da instalação.

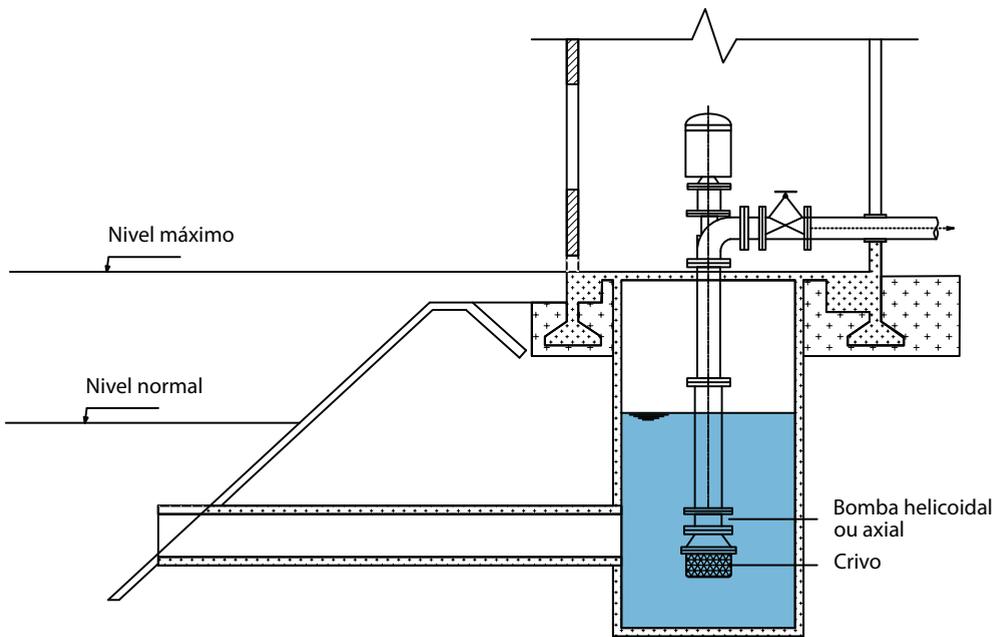


Figura 3.19. Esquema de princípio de captação de água num rio.
 Fonte: Macintyre Joseph Archibald

Um exemplo de captação de água em um lago é mostrado na figura seguinte. Este é parecido ao anterior do rio, onde foi dispensada a tomada de acesso ao poço. Aqui existe um canal de tomada de água com uma grade de proteção, o que é possível nos casos em que não existe muito lodo. O nível de água mínimo deverá ser 1,0 metro acima do fundo do local da tomada de água.

utilizadores, que pode ser do tipo instantâneo ou com acumulação. Normalmente, em ambos os casos, seja com ou sem acumulação, existe um circuito primário que transporta a energia térmica até um circuito secundário ou de consumo, de onde a água vai ser aquecida e utilizada. O circuito primário transporta o fluido entre a caldeira e um permutador de calor, que no caso dos sistemas instantâneos, fica localizado no exterior, e a troca térmica realizada instantaneamente é usada para o consumo. No caso dos sistemas de acumulação, estes permutadores podem ficar localizados no interior de um depósito que vai acumular a energia térmica da água para o consumo posterior. Na figura anterior mostra-se um exemplo de um sistema com acumulação.

3.4.2. Instalação com painéis solares

As instalações solares térmicas têm o mesmo princípio de transporte de energia térmica que as anteriores, sendo a caldeira substituída por um painel solar. Estes elementos transformam a energia radiante solar em energia de aquecimento de um fluido, que vai circular no primário da instalação. Estas instalações não são completamente autónomas, elas necessitam de uma energia de apoio, que vai compensar a carência solar para satisfazer as necessidades pretendidas. Esta energia de apoio pode ser elétrica por efeito de joule (uso de uma resistência) ou com uso às próprias caldeiras anteriormente referidas.

Tal como as instalações de caldeira, também as instalações solares podem ser do tipo individual ou também ditas de unifamiliares, em que existe um sistema de captação para um único utilizador, ou podem ser do tipo centralizado ou coletivas, onde existe um conjunto de painéis solares, localizados em local próprio, que captam a energia solar para vários utilizadores. Além da forma de captação ser individual ou centralizada, a forma como o fluido primário vai circular pelos painéis também constitui uma forma de classificar as instalações solares. Nas instalações em que o fluido primário circula pelos painéis de forma natural, apenas com recurso aos gradientes de temperatura que se forma ao longo da superfície de captação, as instalações chamam-se de termo sifão. Nas instalações em que o movimento do fluido pelo circuito primário é feito com recurso a bombas circuladoras, as instalações chamam-se de forçadas. Nas duas figuras seguintes mostram-se os esquemas de princípio de uma instalação com circulação forçada para aplicação individual e um outro coletivo também com circulação forçada.

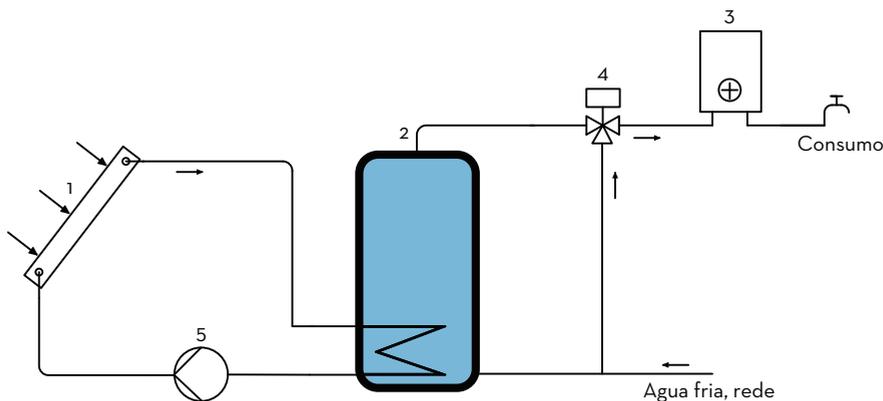


Figura 3.36. Esquema de princípio de Instalação solar individual do tipo forçada. 1. Painel solar; 2. Depósito de acumulação; 3. Esquentador; 4. Válvula de três vias; 5. Bomba de circulação.

a união. Um tubo muito comprido, em relação ao desejado, introduz tensões que afetam o funcionamento da rede. A operação de corte deve ser feita com um corta tubos, com uma pressão não muito exagerada, para que estes não fiquem ovalizados, e também se deve evitar a entrada de impurezas (rebarbas) para o interior da rede, pois estas, para além de poderem circular no interior da instalação e poderem danificar e entupir certos elementos da rede, podem causar certas turbulências no fluido, que podem provocar corrosões e erosões na parede interna dos tubos.

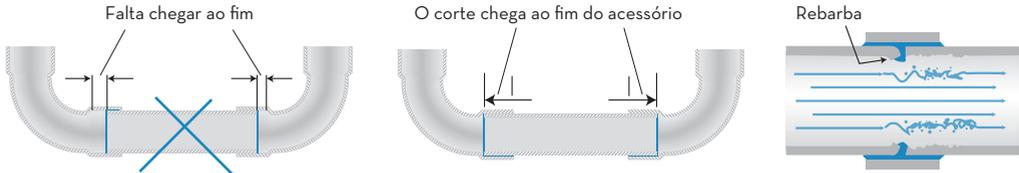


Figura 4.3. Resultado dos cortes em tubos de cobre.

Fonte: Manual de tubo cobre (Cedic)

A dobragem dos tubos pode ser feita com molas ou com dobra tubos próprios. Na tabela seguinte mostra-se os raios de curvatura para diferentes diâmetros de tubo.

Tabela 4.4. Medidas do tubo de cobre e raios de curvatura.

Fonte: Manual de tubo cobre (Cedic)

De (mm)	Ri (mm)	Ren (mm)
6	27	30
8	31	35
10	35	40
12	39	45
14	43	50
15	48	55
16	52	60
18	61	70

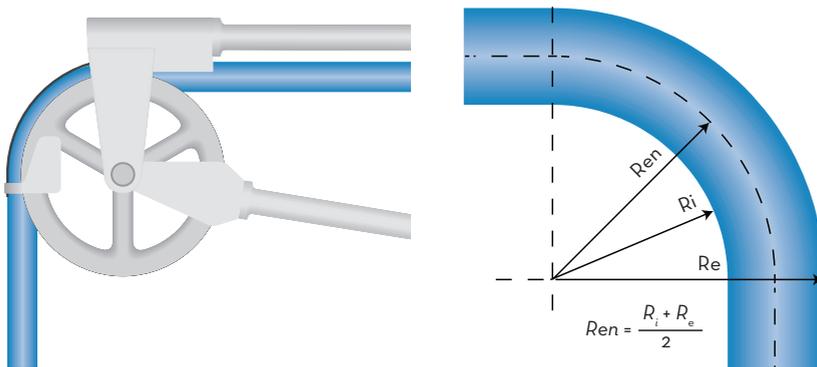


Figura 4.4. Curvatura de um tubo de cobre. **Ri**. Raio interior do tubo; **Re**. Raio exterior do tubo; **Ren**. Raio neutro.

Fonte: Manual de tubo cobre (Cedic)

Tabela 4.20. Tabela indicativa do coeficiente “n” com variação da temperatura “T”, em relação à temperatura de 10°C sem glicol.

T°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
n	0	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	1.7	2.3	2.9	3.6

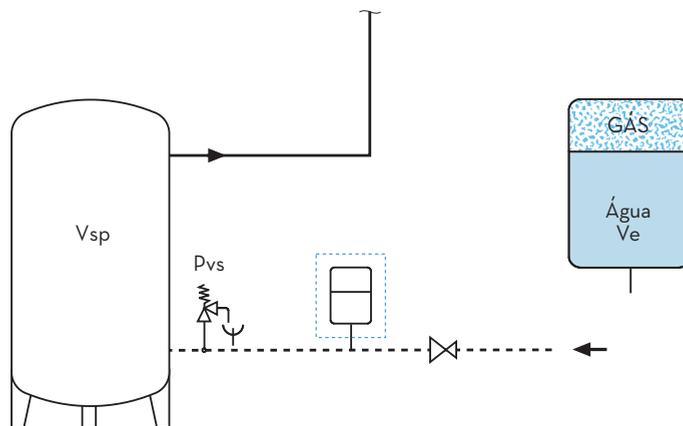


Figura 4.37. Exemplo de uso numa instalação de AQS.

Fonte: Caleffi

Exemplo:

Uma instalação de água quente com um volume de água aquecida num termoacumulador de 300 litros tem uma temperatura de água fria de 10°C e de acumulação de 80°C. Considerando que a pressão inicial no lado da água é de 3.5 bar obtém-se um valor da pressão absoluta no lado do gás de:

$$P_i = P_{ar} + P_a (1\text{bar}) = 3.5 + 1 = 4.5\text{bar}$$

Para uma regulação na válvula de segurança de 6 bar, a pressão final no lado do gás é de:

$$P_f = P_{vs} - 0.5 + P_a (1\text{bar}) = 6 - 0.5 + 1 = 6.5\text{bar}$$

Para a diferença de temperaturas entre a água aquecida no termoacumulador e a fria, o coeficiente de expansão é de:

$$e = \frac{nT_2}{100} - \frac{nT_1}{100} = \frac{2.9}{100} - \frac{0.1}{100} = 0.029 - 0.001 = 0.028$$

Com estas condições, o volume do vaso de expansão deve ser maior ou igual a:

$$V = \frac{e \times Ct}{1 - \frac{P_i}{P_f}} = \frac{0.028 \times 300}{1 - \frac{4.5}{6.5}} = \frac{8.4}{0.308} = 27.3 \text{ litros}$$

BOMBAS E INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS

2.^a Edição

António José da Anunciada Santos

Sobre a obra

Desde há longa data que o homem usa as bombas para fazer o transporte da água desde os locais de captação aos locais de consumo. Estas máquinas atualmente estão presentes em quase todas as instalações de transporte de fluidos líquidos, quer nos edifícios residenciais, como nos de comércio e serviços, indústria e agricultura.

O conhecimento das bases da mecânica de fluidos relacionados com o dimensionamento das tubagens, das bombas e instalações para o transporte de líquidos, bem como o conhecimento dos principais equipamentos associados, são temas de interesse para os técnicos do setor.

Direcionado para as bombas e suas aplicações no transporte de água e de energia, este livro, estruturado em quatro capítulos, segue temas que abrangem os conteúdos programáticos do ensino profissional, universitário, e exigências regulamentares para a certificação dos técnicos de manutenção e instalação em edifícios (TIM).

Este trabalho destina-se a todos os técnicos do setor, certificados ou não, aos estudantes do ensino profissional e superior, no apoio das disciplinas relacionadas com esta temática.

Sobre o autor

António José da Anunciada Santos licenciou-se em Engenharia Mecânica – ramo Térmica – pela Universidade do Algarve, em 2002, e obteve o Doutoramento no Departamento de Engenharia Energética e Mecânica de Fluidos, pela Universidade de Sevilha, em 2008, reconhecido em Portugal, em 2016, pela Universidade de Aveiro.

Em 2017 obteve o certificado de categoria I, no Centerm, para o manuseamento de gases fluorados com efeito de estufa de acordo com o Reg (UE) 2015/2067.

Trabalhou na fabricação e assistência técnica de móveis frigoríficos, na empresa Frimóvel, e como diretor técnico na área da refrigeração comercial e industrial na empresa Qualifrio. Trabalhou em projetos de investigação e desenvolvimento ligados às questões energéticas em edifícios (hotéis, edifícios residenciais e piscinas). Fez a reconstrução e exposição de uma bancada experimental didática para refrigeração e climatização na feira Educa Angola 2013 e participou no desenvolvimento de diversos cursos de formação no setor da refrigeração.

É Formador desde 1998 nas áreas da Eletricidade, Refrigeração e Ar Condicionado, com serviço prestado no Instituto do Emprego e Formação Profissional (IEFP), em Faro, no Instituto Médio Politécnico do Sambizanga, em Luanda, no Centro de Formação Profissional para a Indústria Térmica, Energia e Ambiente (APIEF), na IXUS, Formação e Consultadoria, Lda. e na Academia de Formação da Rolear.

Publicou ainda vários artigos na ASME International Solar Energy Conference e na revista Tecnolimentar, e os livros *O Frio no Setor Alimentar*, *Refrigeração - Manual de apoio ao ensino e à profissão (Volume I - Fundamentos e Volume II - Complementos)*, *Bombas e Instalações Hidráulicas*, *Princípios da Rega Agrícola* e *A Ventilação no Setor Agrícola*.

Apoio

Alpha[®]
ENGENHARIA

Manutenção
www.revistamanutencao.pt

Também disponível em formato e-book



engebeck