

# AVAC, UM MANUAL DE APOIO FUNDAMENTOS

ANTÓNIO JOSÉ DA ANUNCIADA SANTOS



**2.<sup>a</sup> Edição**

AUTOR

**António José da Anunciada Santos**

TÍTULO

**AVAC, Um Manual de Apoio: fundamentos - 2.ª Edição**

EDIÇÃO

Quântica Editora - Conteúdos Especializados, Lda.

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

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

CHANCELA

Engebook - Conteúdos de Engenharia

DISTRIBUIÇÃO

Booki - Conteúdos Especializados

Tel. 220 104 872 · Fax 220 104 871 · E-mail: info@booki.pt · www.booki.pt

REVISÃO DA 2.ª EDIÇÃO

Quântica Editora - Conteúdos Especializados, Lda.

DESIGN

Delineatura - Design de Comunicação · www.delineatura.pt

IMPRESSÃO

Setembro, 2021

DEPÓSITO LEGAL

479542/21



A cópia ilegal viola os direitos dos autores.

Os prejudicados somos todos nós.

Copyright © 2021 | 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, 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

697 Aquecimento, ventilação e condicionamento de ar em edificações

ISBN

Papel: 978-989-901-749-8

E-book: 978-989-901-750-4

Catálogo da publicação

Família: Refrigeração/AVAC

Subfamília: Refrigeração/AVAC

# ÍNDICE

NOTA INTRODUTÓRIA.....	XIII
<b>1. FUNDAMENTOS DO AR CONDICIONADO .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2. PSICROMETRIA .....</b>	<b>15</b>
1.2.1. Descrição.....	15
1.2.2. Ar atmosférico .....	15
1.2.3. Parâmetros do ar húmido .....	19
1.2.3.1. Temperatura de bolbo seco do ar .....	19
1.2.3.2. Humidade absoluta .....	19
1.2.3.3. Humidade relativa.....	20
1.2.3.4. Temperatura de orvalho do ar .....	22
1.2.3.5. Temperatura de bolbo húmido do ar.....	22
1.2.3.6. Entalpia do ar húmido .....	23
1.2.3.7. Volume específico do ar .....	24
1.2.4. Diagrama psicrométrico .....	25
1.2.5. Processos psicrométricos.....	26
1.2.5.1. Aquecimento sensível.....	26
1.2.5.2. Arrefecimento com desumidificação .....	27
1.2.5.3. Humidificação .....	29
1.2.5.4. Mistura de caudais .....	30
<b>1.3. CONDIÇÕES EXTERIORES E INTERIORES.....</b>	<b>31</b>
1.3.1. Descrição .....	31
1.3.2. Condições exteriores .....	32
1.3.3. Condições interiores .....	37
1.3.4. Conforto térmico .....	37
1.3.4.1. Descrição.....	37
1.3.4.2. Parâmetros de conforto.....	38
1.3.4.3. Balanço térmico ao corpo .....	43
1.3.4.4. Equação do conforto térmico.....	45
1.3.4.5. Medição do conforto térmico.....	47
1.3.5. Qualidade do ar interior.....	48
1.3.5.1. Descrição.....	48

1.3.5.2. Contaminantes do ar.....	48
1.3.5.3. Caudais de ar novo.....	52
<b>1.3.6. Princípios acústicos.....</b>	<b>52</b>
1.3.6.1. Descrição.....	52
1.3.6.2. Pressão e potência sonora.....	53
1.3.6.3. Sensibilidade humana.....	54
1.3.6.4. Medição sonora.....	56
<b>1.4. INTRODUÇÃO À DIFUSÃO DE AR.....</b>	<b>58</b>
1.4.1. Princípios da distribuição do ar.....	58
1.4.1.1. Tipos de fluxos de ar.....	59
1.4.1.2. Efeito de Coandă.....	59
1.4.1.3. Alcance ou flexa.....	60
1.4.2. Métodos de difusão de ar.....	60
1.4.2.1. Sistema de mistura.....	61
1.4.2.2. Fluxo laminar.....	62
1.4.2.3. Difusão por deslocamento.....	63
<b>2. CARGAS TÉRMICAS.....</b>	<b>66</b>
<b>2.1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>66</b>
<b>2.2. TIPOS DE CARGAS TÉRMICAS E MODELOS DE CÁLCULO.....</b>	<b>66</b>
<b>2.3. CARGAS DE AQUECIMENTO.....</b>	<b>68</b>
<b>2.4. CARGAS DE ARREFECIMENTO.....</b>	<b>69</b>
<b>2.5. CARGAS POR TRANSMISSÃO.....</b>	<b>70</b>
2.5.1. Envolvente opaca, em contacto com o ar.....	70
2.5.1.1. Fluxo de calor paredes.....	71
2.5.1.2. Fluxo de calor coberturas e pavimentos.....	75
2.5.2. Envolvente opaca, em contacto com o terreno.....	77
2.5.3. Envolvente envidraçada.....	78
<b>2.6. CARGAS POR AR NOVO.....</b>	<b>80</b>
2.6.1. Infiltrações.....	80
2.6.2. Ventilação.....	81
<b>2.7. CARGAS POR RADIAÇÃO SOLAR.....</b>	<b>82</b>
2.7.1. Envolvente opaca.....	82
2.7.2. Envolvente envidraçada.....	85
<b>2.8. GANHOS INTERNOS.....</b>	<b>91</b>
2.8.1. Ocupantes.....	91
2.8.2. Iluminação.....	93
2.8.3. Equipamentos.....	94
<b>2.9. CARGAS TOTAIS.....</b>	<b>96</b>
<b>2.10. DADOS PRÁTICOS PARA ESTIMATIVA DA CARGA DE ARREFECIMENTO.....</b>	<b>97</b>
<b>2.11. ESTRUTURA DE UMA FOLHA DE CÁLCULO SIMPLIFICADA.....</b>	<b>98</b>
<b>2.12. ARMAZENAMENTO E ZONEAMENTO TÉRMICO.....</b>	<b>101</b>

2.13. CONDIÇÕES DE AR DE ENTRADA NO ESPAÇO .....	104
2.14. EXERCÍCIOS .....	106
<b>3. MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS DE AVAC .....</b>	<b>112</b>
3.1. INTRODUÇÃO.....	112
3.2. CONSTITUIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO BÁSICA DOS SISTEMAS.....	112
3.3. EQUIPAMENTOS AUTÓNOMOS.....	113
3.3.1. Descrição .....	113
3.3.2. Sistema de compressão mecânica.....	114
3.3.3. Parâmetros termodinâmicos .....	115
3.3.4. Equipamentos de janela.....	116
3.3.4.1. Descrição.....	116
3.3.4.2. Constituição e funcionamento .....	117
3.3.4.3. Cuidados de instalação e manutenção .....	119
3.3.4.4. Características de seleção .....	121
3.3.5. Equipamentos <i>Split</i> e <i>Multisplit</i> .....	122
3.3.5.1. Descrição.....	122
3.3.5.2. Tipos e classificações.....	122
3.3.5.3. Constituição e funcionamento .....	123
3.3.5.4. Cuidados de instalação e manutenção .....	125
3.3.5.5. Características de seleção .....	128
3.3.6. Unidades do tipo comercial.....	130
3.3.6.1. <i>Rooftop</i> para exterior.....	130
3.3.6.2. Unidades interiores .....	132
<b>3.4. EQUIPAMENTOS DE CENTRAL TÉRMICA .....</b>	<b>133</b>
3.4.1. <i>Chiller</i> .....	133
3.4.1.1. Descrição.....	133
3.4.1.2. Tipos e classificações .....	134
3.4.1.3. Constituição e funcionamento .....	136
3.4.1.4. Cuidados de instalação e manutenção.....	141
3.4.1.5. Características de seleção.....	146
3.4.2. Bombas de calor.....	147
3.4.2.1. Descrição.....	147
3.4.2.2. Tipos e classificações.....	147
3.4.2.3. Constituição e princípio de funcionamento .....	148
3.4.3. Caldeiras.....	150
3.4.3.1. Descrição.....	150
3.4.3.2. Tipos e classificações.....	150
3.4.3.3. Constituição e funcionamento .....	151
3.4.3.4. Características de seleção .....	153
3.4.4. Unidades de tratamento de ar, UTA.....	155
3.4.4.1. Descrição .....	155

3.4.4.2. Tipos e classificações .....	156
3.4.4.3. Constituição e funcionamento.....	157
3.4.4.4. Manutenção.....	160
3.4.4.5. Características de seleção .....	160
<b>3.4.5. Torre de arrefecimento .....</b>	<b>162</b>
3.4.5.1. Descrição.....	162
3.4.5.2. Tipos e classificações.....	162
3.4.5.3. Constituição e funcionamento .....	163
3.4.5.4. Manutenção.....	164
3.4.5.5. Características de seleção .....	165
<b>3.5. EQUIPAMENTOS TERMINAIS.....</b>	<b>167</b>
<b>3.5.1. Ventiloinvetores .....</b>	<b>167</b>
3.5.1.1. Descrição .....	167
3.5.1.2. Tipos e classificações .....	167
3.5.1.3. Constituição e funcionamento.....	168
3.5.1.4. Manutenção.....	169
3.5.1.5. Características de seleção .....	169
<b>3.5.2. Radiadores.....</b>	<b>170</b>
3.5.2.1. Descrição.....	170
3.5.2.2. Tipos e classificações.....	170
3.5.2.3. Constituição e funcionamento.....	171
3.5.2.4. Características de seleção.....	172
<b>3.5.3. Difusores e grelhas .....</b>	<b>172</b>
3.5.3.1. Descrição.....	172
3.5.3.2. Tipos e classificações.....	173
3.5.3.3. Constituição e funcionamento .....	178
3.5.3.4. Características de seleção .....	179
<b>4. EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE.....</b>	<b>182</b>
<b>4.1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>182</b>
<b>4.2. CONDUTAS .....</b>	<b>182</b>
4.2.1. Descrição .....	182
4.2.2. Materiais e classificações .....	183
4.2.3. Formas, elementos e dimensões de condutas .....	184
4.2.4. Pressões e velocidades do ar em condutas .....	188
4.2.4.1. Evolução das pressões .....	188
4.2.4.2. Fugas em condutas .....	189
4.2.4.3. Velocidades do ar.....	190
4.2.5. Manutenção de condutas.....	192
4.2.6. Bases para o dimensionamento de condutas .....	194
4.2.6.1. Princípios.....	194
4.2.6.2. Diâmetros de cálculo .....	194

4.2.6.3. Perda de carga em condutas.....	195
4.2.6.4. Métodos e princípio de dimensionamento.....	200
<b>4.3. VENTILADORES.....</b>	<b>202</b>
4.3.1. Descrição.....	202
4.3.2. Classificações.....	202
4.3.3. Constituição e funcionamento.....	204
4.3.4. Curva característica e ponto de trabalho.....	205
4.3.5. Manutenção.....	206
<b>4.4. TUBOS E ACESSÓRIOS.....</b>	<b>207</b>
4.4.1. Descrição.....	207
4.4.2. Tipos de tubos.....	207
4.4.2.1. Tubos de cobre.....	212
4.4.2.2. Tubos de aço negro e galvanizado.....	209
4.4.3. Perda de carga em tubos.....	214
<b>4.5. BOMBAS CENTRÍFUGAS.....</b>	<b>216</b>
4.5.1. Descrição.....	216
4.5.2. Constituição e funcionamento.....	217
4.5.3. Curva característica e ponto de trabalho.....	219
4.5.4. Cuidados de instalação e manutenção.....	221
<b>ANEXOS.....</b>	<b>CCXXV</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>CCXXIX</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS.....</b>	<b>CCXXXV</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>CCXXXIX</b>

# CAPÍTULO 1

## FUNDAMENTOS DO AR CONDICIONADO

### 1.1. INTRODUÇÃO

A Climatização ou condicionamento do ar é um setor da refrigeração, que se dedica ao estudo das condições atmosféricas do ar, de forma a torná-lo apropriado quer para aplicações de conforto humano, como para aplicações industriais. Tomando como referência o conforto térmico humano, devido a ser a principal aplicação do ar condicionado, inicia-se este capítulo com a psicrometria por ser a base fundamental desta aplicação do frio, com a descrição dos parâmetros e dos processos básicos. Segue-se com as condições exteriores e interiores que normalmente são usadas no ar condicionado e finaliza-se com os princípios usados na difusão do ar no interior dos espaços a climatizar.

### 1.2. PSICROMETRIA

#### 1.2.1. Descrição

A psicrometria é o ramo da termodinâmica que estuda as propriedades da mistura de um gás com um vapor, ou seja, do ar seco com o vapor de água (ar húmido). No âmbito do AVAC, esta ciência tem uma forte aplicação uma vez que basicamente todos os processos envolvem o ar húmido. Desde o estudo das necessidades de conforto humano até aos processos de troca térmica dos vários componentes que integram as redes de AVAC, a psicrometria marca a sua presença, sendo uma “ferramenta” bastante útil na tradução e compreensão dos diversos fenómenos.

As propriedades do ar húmido são parâmetros que tem sido muito estudados ao longo dos tempos pela comunidade científica estando por isso uma vasta informação disponível, que os permitem determinar com mais ou menos rigor consoante o seu uso (exemplo Pinazo (1997) e no Capítulo 6 do manual ASHRAE (2005)). Neste livro são feitas as descrições base associadas a cada umas das variáveis, as formas de as determinar, quer em termos matemáticos como por medição, e também dos processos fundamentais que envolvem o ar húmido que estão presentes nos equipamentos de tratamento de ar.

#### 1.2.2. Ar atmosférico

O ar atmosférico é composto por uma mistura de gases, vapor de água e uma mistura de contaminantes (fumos, poeiras e outros poluentes gasosos). Estes níveis de poluen-



## 1.2.4. Diagrama psicrométrico

O diagrama psicrométrico é um gráfico onde estão relacionados os diversos parâmetros do ar em determinadas condições de pressão atmosférica total. A ASHRAE disponibiliza um conjunto de diagramas que abrangem uma gama de pressões e temperaturas que possibilitam a sua aplicação em diversos domínios. Por exemplo, para aplicação no setor do ar condicionado é aconselhado a aplicação do diagrama n.º 1, para uma faixa de temperaturas de 0 a 50 °C. Na figura seguinte, mostra-se o formato da evolução dos diversos parâmetros no diagrama.

### LEGENDA DA FIGURA

- 1: Temperatura de bolbo seco
- 2: Humidade absoluta
- 3: Humidade relativa
- 4: Linhas de volume específico
- 5: Linhas de bolbo húmido, com inclinação semelhante à da entalpia

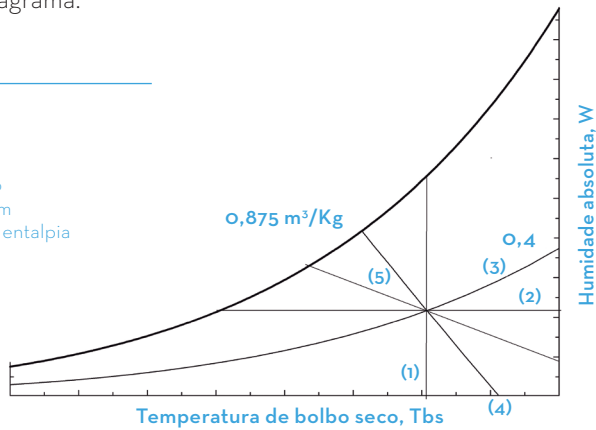


Figura 1.4. Variáveis no diagrama psicrométrico

A partir do conhecimento de dois parâmetros, é possível determinar todas as propriedades do ar de uma forma simples.

### EXEMPLO

Para os 25 °C em temperatura de bolbo seco e para os 50% de humidade relativa, chega-se a resultados semelhantes aos mostrados nos exemplos anteriores, conforme se mostra no gráfico seguinte:

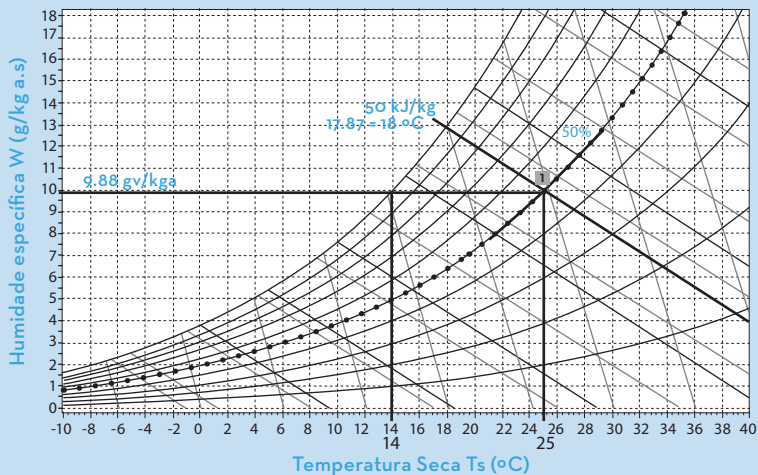
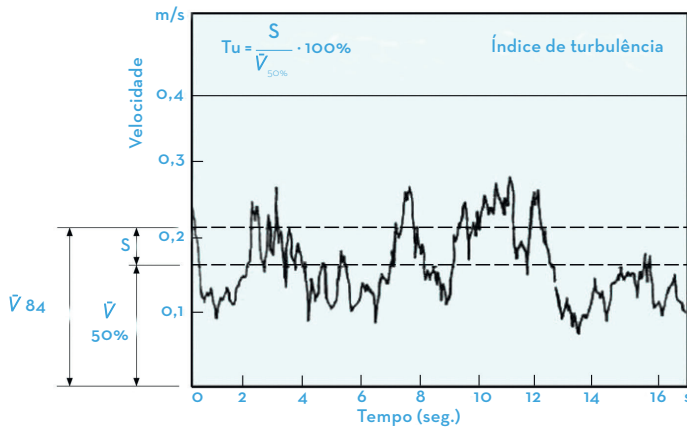
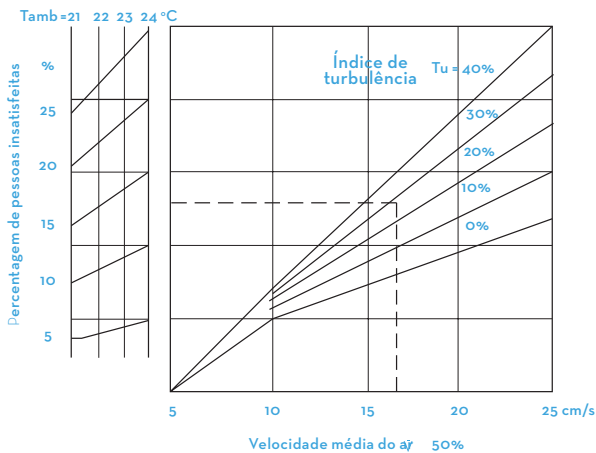


Figura 1.5. Parâmetros do ar para 25 °C e 50%



**Figura 1.18.** Gráficos de perfil de velocidades do ar / Fonte: Contimetra

O índice de turbulência do ar e a sua velocidade média relacionam-se com a temperatura de bolbo seco e com a opinião das pessoas em relação ao conforto térmico, conforme o gráfico da figura seguinte. Por exemplo, para uma velocidade média de 16 cm/s, um índice de turbulência de 30% e uma temperatura do ar de 22 °C, cerca de 15% das pessoas não estão satisfeitas.



**Figura 1.19.** Relação do grau de satisfação das pessoas com a temperatura do ar, velocidade e índice de turbulência / Fonte: Contimetra

**Diferença de temperaturas vertical:** as diferenças de temperatura no ar no interior da zona ocupada pelas pessoas, tal como as velocidades, também influenciam o conforto térmico. Quanto maior for esta diferença em relação à vertical maior é o grau de insatisfação das pessoas. Por exemplo para um tempo de permanência de 1h30 (90 min), para satisfazer pelo menos 85% dos ocupantes, a diferença de temperatura entre os pés e a cabeça não deve ser superior a 2 °C.

(sons médios) e umas altas (ou sons agudos). A audição humana reconhece as frequências numa gama de 20 a 20000 Hz.

### 1.3.6.2. Pressão e potência sonora

Os valores de pressão nas unidades do SI, reconhecidos pelo ouvido humano, situam-se entre um limite mínimo de 20 µPa a um máximo entendido como o limite da dor, 20000000 µPa. Para efeitos práticos de medição sonora usa-se uma escala logarítmica, com base no limite mínimo de referência anterior, que produz números mais simples de trabalhar (dB). A conversão entre as duas unidades é determinada pela equação seguinte.

$$NPS = 20 \times \log\left(\frac{P}{P_{ref}}\right)$$

Onde:

NPS = Nível de pressão sonora, em dB;

P= Pressão medida, em µPa;

Pref = Pressão de referência, em µPa (limite ouvido humano 20).

#### EXEMPLO

O limite máximo sonoro de 20000 µP corresponde a:

$$NPS = 20 \times \log\left(\frac{200000}{20}\right) = 60 \text{ dB}$$

Na figura seguinte, apresenta-se a escala de pressão de sensibilidade do ouvido humano em µPa e em dB.

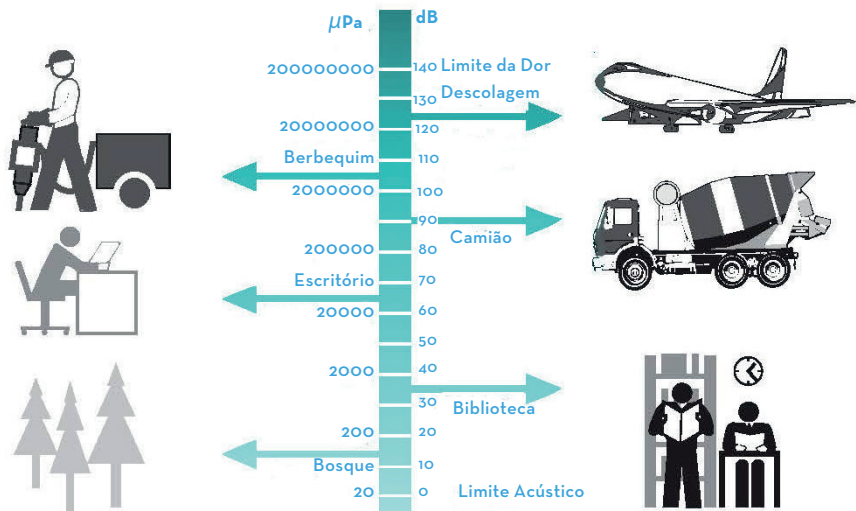


Figura 1.27. Escala de comparação do nível sonoro / Fonte: Testo

A propagação sonora no ar é o resultado da produção de uma determinada fonte. Ao va-

# CAPÍTULO 2

## CARGAS TÉRMICAS

### 2.1. INTRODUÇÃO

Em ar condicionado associa-se as cargas térmicas aos fluxos de calor que são trocados entre os espaços a climatizar e a sua envolvente, ou com elementos que existem no interior do próprio espaço. Estes fluxos de calor são normalmente tomados como referência para determinar soluções construtivas e equipamentos condicionadores de ar. Em climas tropicais, onde as temperaturas mínimas anuais andam dentro dos valores do conforto térmico humano (23 °C), os equipamentos condicionadores de ar apenas funcionam em grande parte do tempo como arrefecedores do ar; em climas frios como os polares, onde as temperaturas máximas também se enquadram dentro dos mesmos valores de conforto humano, os equipamentos condicionadores de ar funcionam como sistemas de aquecimento. Em climas mediterrânicos, onde as temperaturas máximas anuais na época quente são acima dos valores de conforto (32 °C) e as mínimas na época fria também são abaixo dos valores de conforto (5 °C), é necessário ter equipamentos que arrefeçam durante a época quente e aqueçam durante a época fria.

Neste capítulo, apresenta-se uma forma de cálculo das cargas necessárias a adicionar numa situação de aquecimento e as necessárias a remover na situação de arrefecimento. É também apresentada uma estrutura em folha de cálculo para ambas as situações, uma descrição sobre o armazenamento e zoneamento térmico, e a forma de determinar as condições do ar na entrada do espaço a climatizar.

### 2.2. TIPOS DE CARGAS TÉRMICAS E MODELOS DE CÁLCULO

Tomando como referência as variáveis envolvidas no cálculo das cargas térmicas, como a temperatura, para as trocas sensíveis, e a humidade para as trocas latentes, os vários tipos de cargas térmicas que são normalmente usados no dimensionamento das instalações e nos estudos energéticos são:

1. Cargas de calor transmitidas pelas paredes, tetos e pavimentos, como trocas sensíveis. Estes são transmitidos do interior para o exterior nas situações de aquecimento (perdas) e do exterior para o interior, na estação de arrefecimento (ganhos);
2. Cargas de calor necessárias para controlar o conteúdo de humidade do ar, quer numa situação de humidificação, como de desumidificação;

## 2.4. CARGAS DE ARREFECIMENTO

Na altura mais quente do ano, o calor normalmente é ganho do ambiente exterior para o interior do espaço a climatizar. Estes ganhos de calor têm que ser removidos pelo equipamento de ar condicionado do ambiente interior para o exterior para garantir os parâmetros térmicos de conforto. Os ganhos normalmente considerados nestes cálculos são:

1. Ganhos por transmissão pela envolvente do edifício, como paredes, tetos, incluindo os efeitos da temperatura exterior e os solares;
2. Ganhos de calor pela radiação solar e envolvente envidraçada;
3. Ganhos de calor devido à renovação do ar interior quer pelas infiltrações como pela ventilação mecânica;
4. Ganhos internos devido à iluminação, ocupantes e equipamentos.

A carga térmica do equipamento condicionador de ar numa situação de arrefecimento é determinada por:

$$Q_{aux} = Q_t + Q_s + Q_a + Q_i$$

Onde:

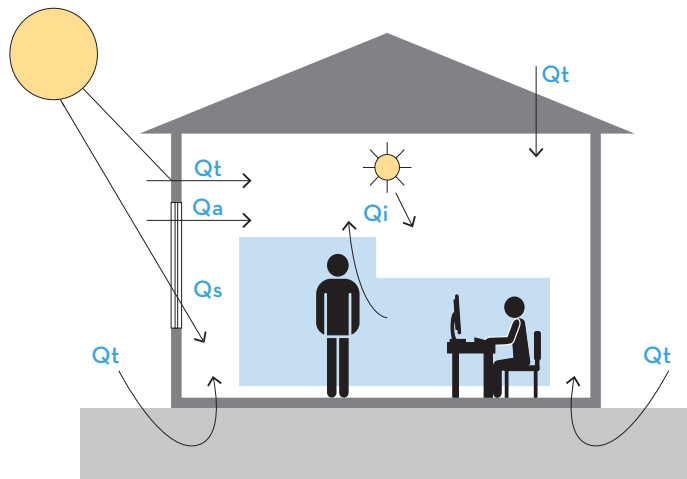
$Q_{aux}$  = Carga térmica total a remover pelo equipamento de ar condicionado;

$Q_t$  = Ganhos por transmissão do calor, com efeito da radiação solar;

$Q_s$  = Ganhos solares pelas superfícies envidraçadas;

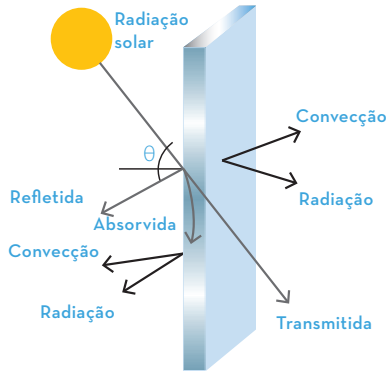
$Q_a$  = Ganhos por ar novo (infiltração + ventilação mecânica);

$Q_i$  = Ganhos internos (iluminação, equipamentos e pessoas).



**Figura 2.2:** Balanço energético ao espaço a condicionar numa situação de arrefecimento /

Fonte: Adaptado, Trox



**Figura 2.10.** Balanço energético a um vidro simples

A contabilização dos ganhos solares pelos envidraçados tem sido um assunto muito estudado pela comunidade científica. Um método usado pela Carrier quantifica esta parcela de calor, pelo produto entre o ganho de um vidro simples de referência com um fator de ajuste para outras situações. A Ashrae determina esta parcela a partir do produto entre a área da janela com um fator de ganho máximo, um fator de carga de arrefecimento e um coeficiente de sombreamento adimensional Silva Graciliano (2016). O regulamento português do comportamento térmico dos edifícios (RCCTE) calcula em função do produto da radiação solar incidente com uma área de envidraçado que contribui efetivamente para o ganho solar. Esta área está afetada de um conjunto de fatores que fazem a correção em relação a diversos aspetos. Neste livro, apresenta-se uma solução que resulta da adaptação do RCCTE. Considera-se que a radiação solar que incide no envidraçado como resultado dos possíveis sombreamentos e que contribui para a carga do espaço é apenas a da parte não sombreada, FNS. Considera-se também que os efeitos do vidro e caixilho e proteções estão englobados num conjunto de fatores, que reduzem a área da janela para um valor inferior ao convencional, sendo esta chamada de área efetiva.

$$Q_s = FNS \times G \times A_e$$

Onde:

$Q_s$  = Fluxo de calor, em W;

$G$  = Radiação solar global que incide nas janelas para a orientação considerada, em  $W/m^2$  (ver tabela no Capítulo 1);

$FNS$  e  $A_e$  = São, respetivamente, a fração da janela não sombreada e a área efetiva que contribui para o ganho do espaço, em  $m^2$ . Quando toda a janela tiver sombreada,  $FNS \leq 0$ , a radiação incidente em toda a superfície da janela é a componente difusa do céu e a refletida pela vizinhança. Nesta situação, considera-se que a radiação incidente difusa num dia de céu limpo é cerca de  $0.177 \times G$  ( $FNS = 0.177$ ).

rior. Na figura seguinte mostra-se uma construção de uma moradia, com RC e 1º A, numa região de clima mediterrânico (37º N), com uma elevada massa de acumulação térmica. Para além das paredes pesadas com o isolamento pelo exterior, a moradia foi construída com uma piscina no interior e outros pequenos aspetos, com o propósito de aumentar o efeito de acumulação. O elevado efeito da massa de acumulação térmica permitiu obter temperaturas internas máximas, num dia de verão, de 27.4 °C no RC e 31.5 °C no 1º A, quando no exterior foi registado um valor máximo de 43 °C (ver gráfico da figura seguinte). Isto significa que a construção permitiu reduzir os picos de temperatura máxima em 15.6 °C no RC (43-27.4) e de 11.5 °C no primeiro andar (43-31.5). Também se verifica um atraso nos valores máximos das temperaturas interiores em relação ao exterior de 4 horas no RC (20-16) e de 3 horas no 1º A (19-16).



Figura 2.13. Casa com elevada inércia térmica

#### LEGENDA DA FIGURA

- $T_{ext}$ . Temperatura exterior (máxima de 43 °C, às 16 h)
- $T_{1º A}$ . Temperatura interior no 1º A (máxima de 31.5 °C às 19 h)
- $T_{RC}$ . Temperatura interior no RC (máxima de 27.4 °C às 20 h)

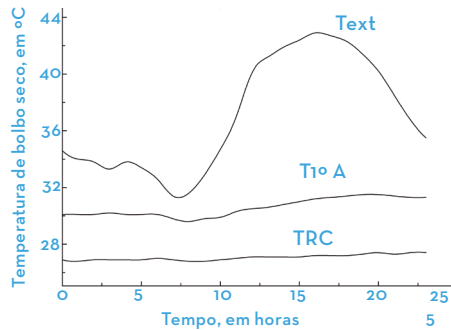


Figura 2.14. Temperaturas de bolbo seco registadas numa moradia de elevada inércia térmica

**Zoneamento térmico.** Os edifícios de grandes dimensões, sobretudo os de serviços, podem ser compostos por espaços bastante distintos quer em termos de construção física, como de ganhos internos, de exposição solar e ambientes vizinhos. Estas e outras situações originam cargas térmicas distintas nos espaços, podendo mesmo chegar a acontecer que num mesmo edifício ocorra, em diferentes espaços, umas situações de aquecimento e outras de arrefecimento.

# CAPÍTULO 3

## MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS DE AVAC

### 3.1. INTRODUÇÃO

O AVAC, ou também chamado de HVAC, como se tem vindo a referir, é a tecnologia usada pelo homem para criar as condições propícias ao conforto ambiental, quer ao nível dos edifícios como dos meios de transporte. As siglas de “AVAC” ou “HVAC” significam aquecimento, ventilação e ar condicionado, ou do inglês “Heating, Ventilating and Air Conditioning”, e são as três principais funções desta tecnologia que estão intimamente relacionadas e que proporcionam o conforto térmico e a qualidade do ar interior.

Para o desenvolvimento das funções anteriores são usadas máquinas e equipamentos integrados em redes próprias, que permitem o transporte do calor por meio de fluidos que circulam em circuitos próprios, que recebem o nome de sistemas. Neste capítulo, apresenta-se os principais tipos de máquinas usadas nos diversos sistemas, as quais são juntas em grupos de acordo com o local da instalação onde estão integrados.

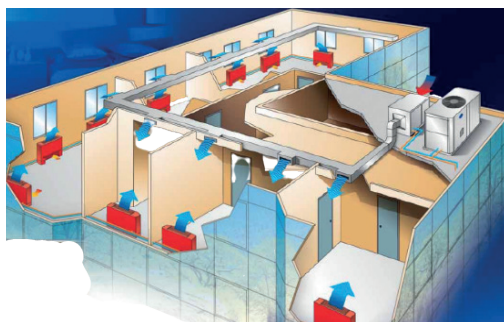
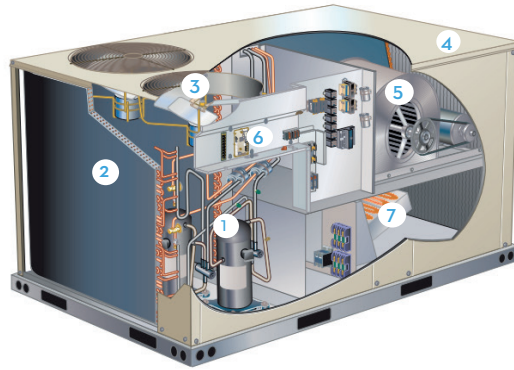


Figura 3.1. Aspeto de uma rede de ar condicionado / Fonte: Carrier

### 3.2. CONSTITUIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO BÁSICA DOS SISTEMAS

Conforme já referido, os sistemas AVAC são compostos por várias máquinas e recebem uma classificação própria. Uma classificação normal é com base no fluido térmico que circula nos equipamentos terminais. Quando o fluido é um refrigerante primário, que muda o seu estado físico, absorvendo ou rejeitando calor do espaço a climatizar, recebe o nome de sistemas tudo refrigerante; quando o fluido é o ar, chamam-se de tudo ar; quando é a água, chamam-se de tudo água e quando é uma mistura dos dois, chamam-se de ar-água.

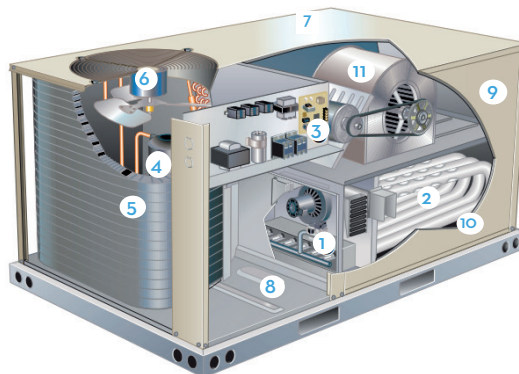




**LEGENDA DA FIGURA**

- |                                    |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| 1. Compressores                    | 5. Caixa do ventilador  |
| 2. Bateria externa                 | 6. Controlos            |
| 3. Ventiladores da bateria externa | 7. Aquecimento elétrico |
| 4. Estrutura envolvente            |                         |

**Figura 3.16.** Rooftop do tipo bomba de calor / Fonte: Lennox

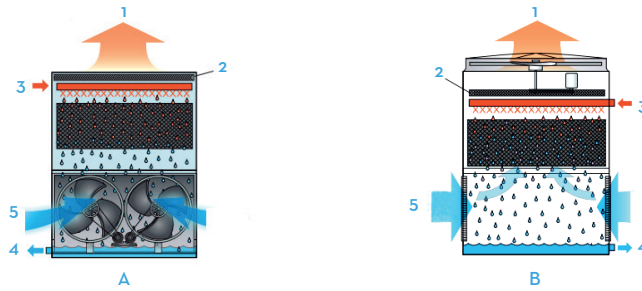


**LEGENDA DA FIGURA**

- |                                    |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| 1. Queimadores                     | 7. Estrutura envolvente |
| 2. Trocador de calor               | 8. Entrada de potência  |
| 3. Piloto de ignição eletrónica    | 9. Painéis exteriores   |
| 4. Compressor                      | 10. Isolamento          |
| 5. Bateria externa                 | 11. Ventilador          |
| 6. Ventiladores da bateria externa |                         |

**Figura 3.17.** Rooftop do tipo gás / Fonte: Lennox

São máquinas que não requerem grandes cuidados de instalação, devendo no entanto existir alguma resistência no telhado. Como unidades a ar levam umas condutas na sua instalação, devendo tomar-se cuidado nas zonas de entrada para dentro do espaço, para evitar as fugas de ar. No esquema seguinte, mostra-se um exemplo de instalação de uma unidade com condutas.



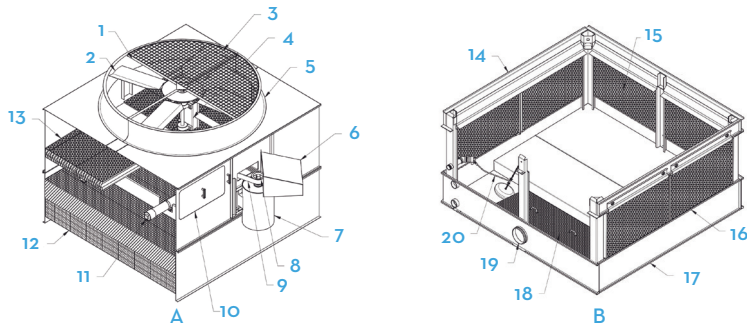
#### LEGENDA DA FIGURA

- |   |  |
|---|--|
| <p><b>A.</b> Torre de circulação do tipo tiragem forçada</p> <p><b>B.</b> Torre de tiragem induzida</p> <p><b>1.</b> Ar quente de saída saturado de humidade</p> <p><b>2.</b> Eliminadores de gotas</p> | <p><b>3.</b> Água quente de entrada</p> <p><b>4.</b> Água arrefecida de saída</p> <p><b>5.</b> Ar de entrada fresco e não saturado</p> |
|---|--|

**Figura 3.47.** Classificação da torre de circulação forçada / Fonte: Evapco

### 3.4.5.3. Constituição e funcionamento

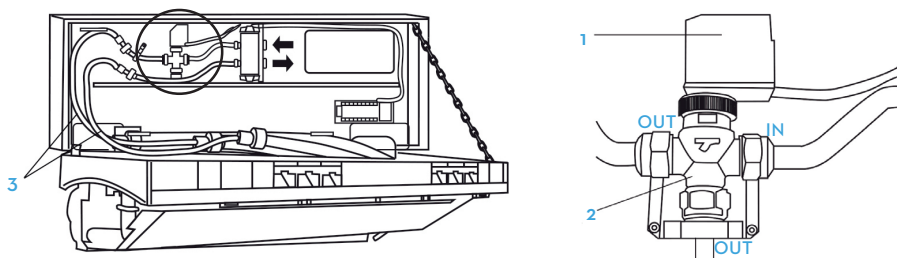
Seja qual for o tipo de torre forçada a sua constituição base é a mesma. Uma zona de entrada de ar, localizada na parte inferior da torre, que se encontra protegida por uma grelha; e outra zona de saída que fica localizada na parte superior da máquina. Os ventiladores que podem estar localizados na parte superior, ou na parte inferior, consoante o tipo de torre. Uma zona de entrada de água, ligada aos chuveiros de aspersão, que ficam normalmente localizados na parte superior, e uma zona de saída de água que fica localizada na parte inferior da torre no tabuleiro de retenção de água. Entre a parte superior dos chuveiros de aspersão e a saída encontra-se uns eliminadores de gotas, que evitam o arraste de água para a atmosfera. Entre chuveiros e o tabuleiro de retenção de água, encontra-se uma secção de ninho de enchimento que serve para arrefecimento e recuperação de água. Uma válvula de boia controla o nível de água no tabuleiro.



#### LEGENDA DA FIGURA

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <p><b>A.</b> Secção do ventilador</p> <p><b>B.</b> Secção do pleno</p> <p><b>1.</b> Apoio da grelha do ventilador</p> <p><b>2.</b> Ventilador</p> <p><b>3.</b> Grelha do ventilador</p> <p><b>4.</b> Apoio do rolamento</p> <p><b>5.</b> Cilindro do ventilador</p> <p><b>6.</b> Tampa do motor</p> | <p><b>7.</b> Motor do ventilador</p> <p><b>8.</b> Polia do motor ventilador</p> <p><b>9.</b> Correia do ventilador</p> <p><b>10.</b> Porta de acesso</p> <p><b>11.</b> Braço de aspersão</p> <p><b>12.</b> Enchimento</p> <p><b>13.</b> Eliminadores de gotas</p> <p><b>14.</b> Secção de plenum</p> | <p><b>15.</b> Grelha de entrada de ar</p> <p><b>16.</b> Estrutura da grelha de entrada de ar</p> <p><b>17.</b> Tabuleiro de água fria</p> <p><b>18.</b> Filtro</p> <p><b>19.</b> Ligação de saída de água</p> <p><b>20.</b> Válvula com flutuador ajustável</p> |
|---|--|---|

**Figura 3.48.** Componentes de uma torre de arrefecimento de circulação forçada / Fonte: Evapco



#### LEGENDA DA FIGURA

- 1. Cabeça da válvula
- 2. Corpo de válvula

- 3. Tubagens flexíveis

**Figura 3.51.** Ventiloinveter de parede e válvula de controle / Fonte: Carrier

### 3.5.1.4. Manutenção

A manutenção destes equipamentos, tal como em todos os outros equipamentos, deve seguir as instruções do fabricante, tendo como referência uma boa circulação de um ar limpo pela bateria do equipamento. Na tabela seguinte, mostra-se as operações fundamentais a fazer a um destes equipamentos com uma periodicidade aconselhada de três em três meses.

**Tabela 3.15.** Operações de manutenção a um ventiloinveter

Operações
1. Verificar que a bandeja de condensados está limpa e não obstruída;
2. Verificar o bom funcionamento do motor ventilador, medindo o consumo com uma pinça amperimétrica, e comparar com os valores nominais de funcionamento;
3. Limpar ou substituir os filtros existentes para garantir o caudal de ar pela bateria;
4. Verificar a circulação da água pela bateria pela medição da temperatura na entrada e saída do VC com um termómetro de contacto;
5. Verificar o funcionamento do termostato de controle, obrigando a sua paragem no ponto de acerto e comparar com o valor da medida de um termómetro;
6. Verificar o funcionamento das válvulas de água de três vias pelo acionamento no termostato de controle.

### 3.5.1.5. Características de seleção

À semelhança das unidades de tratamento de ar, a capacidade térmica do ventiloinveter está ligada com o caudal de água que por eles circula e pela diferença de temperaturas aos seus terminais. O regime de funcionamento de referência, tal como os *chillers*, anda nos 7 °C e os 12 °C, para a temperatura da água (sendo o valor mais baixo na entrada) e a temperatura de bolbo húmido de 19 °C. Em modo de aquecimento, a potência calorífica é dada para a água na entrada a 50 °C e o ar a 20 °C.

Na tabela seguinte, mostra-se as características de um ventiloinveter do tipo mural com potências totais entre 1.35 e 2.10 kW. Para as unidades de condutas e de casetes são encontrados equipamentos com uma potência total a oscilar entre 1.9 e 4.7 kW, e para a sensível de 1.4 a 3.9 kW.

# CAPÍTULO 4

## EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE

### 4.1. INTRODUÇÃO

No capítulo anterior foi feita uma classificação dos componentes que integram as instalações de AVAC, uma descrição das máquinas associadas à produção de frio e/ou de calor e dos equipamentos terminais, que ficam localizados nos espaços a climatizar. Para fazer o transporte dos fluidos térmicos entre os equipamentos de central e os equipamentos terminais, são usados condutas para o ar e tubos para o transporte de substâncias líquidas, como a água ou as soluções glicoladas. Para fazer a circulação dos fluidos, são usados ventiladores para o ar e as bombas para a água. O conhecimento dos princípios básicos associados a estes elementos, como os materiais, classificações, aspetos de funcionamento, instalação manutenção e dimensionamento são temas de interesse que são tratados ao longo deste capítulo.

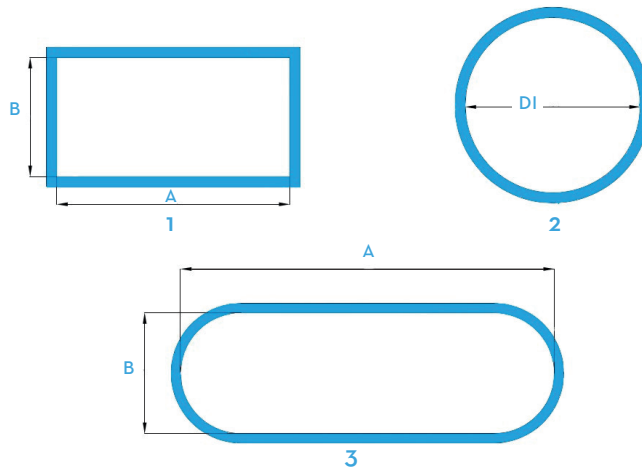
### 4.2. CONDUTAS

#### 4.2.1. Descrição

As condutas, como elementos intermédios dos sistemas de climatização, permitem fazer o transporte do ar, desde as unidades existentes na central até ao espaço a climatizar, onde estão localizados os elementos terminais. Num sistema de rede de condutas são identificadas umas de insuflação, que permitem conduzir o ar, desde a unidade de tratamento até aos diferentes espaços a condicionar, e outras de retorno, que conduzem o ar do espaço à unidade de tratamento.

As condutas de ar novo, como o próprio nome indica são normalmente usadas em sistemas centralizados, tudo-água ou de volume de refrigerante variável (VRV), para adição do ar exterior, ou ainda simplesmente em sistemas de ventilação isolados. As três redes não se encontram normalmente em simultâneo nas instalações de climatização.

Na figura seguinte, mostra-se o aspeto de uma rede de condutas genérica.



#### LEGENDA DA FIGURA

1. Conduta retangular
2. Conduta circular
3. Conduta oval

- A.** Lado maior  
**B.** Lado menor

**Figura 4.3.** Formas de condutas

**Circular.** O principal parâmetro da conduta circular é o diâmetro e costumam ser fabricadas em valores nominais de 80, 100, 125, 160, 200, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120 e 1250 mm. As áreas são determinadas pelas relações normais seguintes:

$$Asr = \frac{\pi \times D^2}{4}; \quad Asu = \pi \times D \times L$$

Onde:

- Asr = Área de secção reta, em m<sup>2</sup>;
- Asu = Área de superfície de chapa, em m<sup>2</sup>;
- D = Diâmetro da conduta, em m;
- L = Comprimento da conduta, em m.

**Retangular.** Como dimensões, na conduta retangular, refere-se um lado maior, A, e um lado menor, B, com uma relação entre lados menor ou igual a 4. Como dimensões normalizadas, referem-se as seguintes:

Lado maior, A (mm): 200, 250, 300, 400, 450, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800 e 2000.

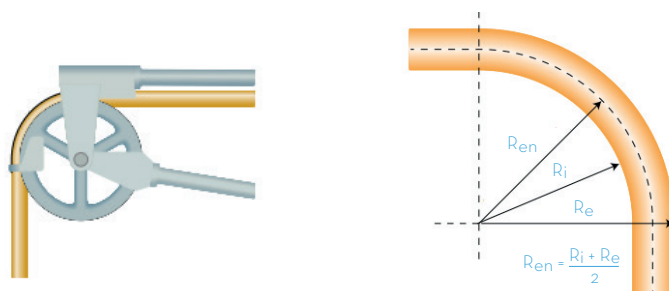
Lado menor, B (mm): 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 800, 1000 e 1200.

Para se determinar as áreas, usam-se as relações seguintes:

$$Asr = A \times B \quad Asu = 2 \times (A + B) \times L$$

**Tabela 4.9.** Medidas do tubo de cobre e raios de curvatura / Fonte: Manual de tubo cobre (Cedic)

DE (MM)	RI (MM)	REN(MM)	DE (MM)	RI (MM)	REN(MM)
6	27	30	14	43	50
8	31	35	15	48	55
10	35	40	16	52	60
12	39	45	18	61	70



#### LEGENDA DA FIGURA

**R<sub>i</sub>.** Raio interior do tubo

**R<sub>e</sub>.** Raio exterior do tubo

**R<sub>en</sub>.** Raio neutro

**Figura 4.19.** Curvatura de um tubo de cobre / Fonte: Manual de tubo cobre (Cedic)

A soldadura do cobre é feita pelo processo de brasagem, que consiste na união de metais pela adição de um outro metal ou liga de enchimento. O princípio do processo é baseado no aquecimento de dois metais base (peças a unir) a uma temperatura próxima do intervalo de fusão do metal de adição. Ao alcançar estas temperaturas, o metal de adição funde-se por ação do calor e vai penetrando na folga existente entre as superfícies a serem unidas, cujo um dos fenômenos é a capilaridade. A soldadura por brasagem costuma ser dividida em branda e forte, de acordo com as temperaturas de trabalho do metal de adição.

No caso da soldadura branda, o metal de adição deve ter um ponto de fusão inferior a 450 °C, normalmente em torno dos 220 a 240 °C, para situações de distribuição de água quente ou fria e aquecimento, ou em outras situações onde a temperatura de serviço não ultrapasse os 120 °C. Os materiais de adição para a soldadura branda podem ser à base de estanho cobre, ou estanho prata. Os decapantes podem ser à base de sais, com ou sem cloreto de amônia (temperaturas de 150 a 400 °C).

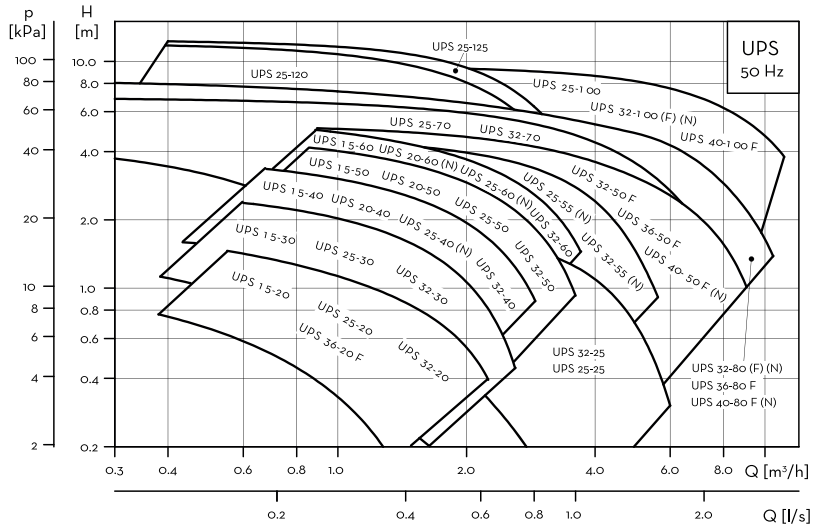


Figura 4.31. Curvas características de circuladores / Fonte: Grundfos

#### 4.5.4. Cuidados de instalação e manutenção

A instalação de uma bomba centrífuga deve ser feita tendo em consideração alguns aspetos, que garantam o seu bom funcionamento durante o seu tempo de vida. Uma base de betão plana com um peso estimado em cerca de 1.5 vezes o peso da bomba, com uma largura superior à bancada da bomba em  $x = 100$  mm para cada um dos lados deve ser feita, para absorver as vibrações e tensões normais. A espessura mínima da base pode ser estimada pela relação seguinte.

$$hf = \frac{m_b \times 1.5}{L_f \times B_f \times \rho_b}$$

Onde:

$m_b$  = Massa da bomba, em kg;

$\rho_b$  = Densidade do betão. Aproximadamente  $2200 \text{ kg/m}^3$ ;

$B_f$  e  $L_f$  = Dimensões da base, em m.

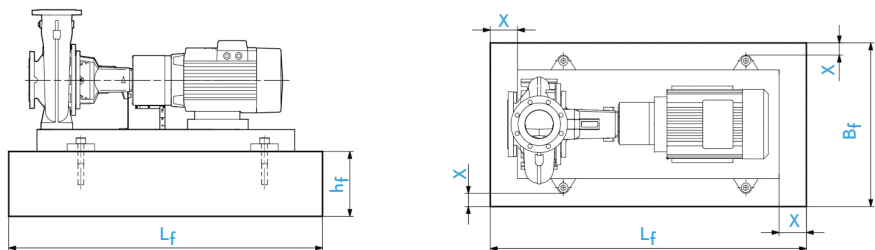


Figura 4.32. Base de betão para suporte da bomba / Fonte: Grundfos

# ANEXO 2

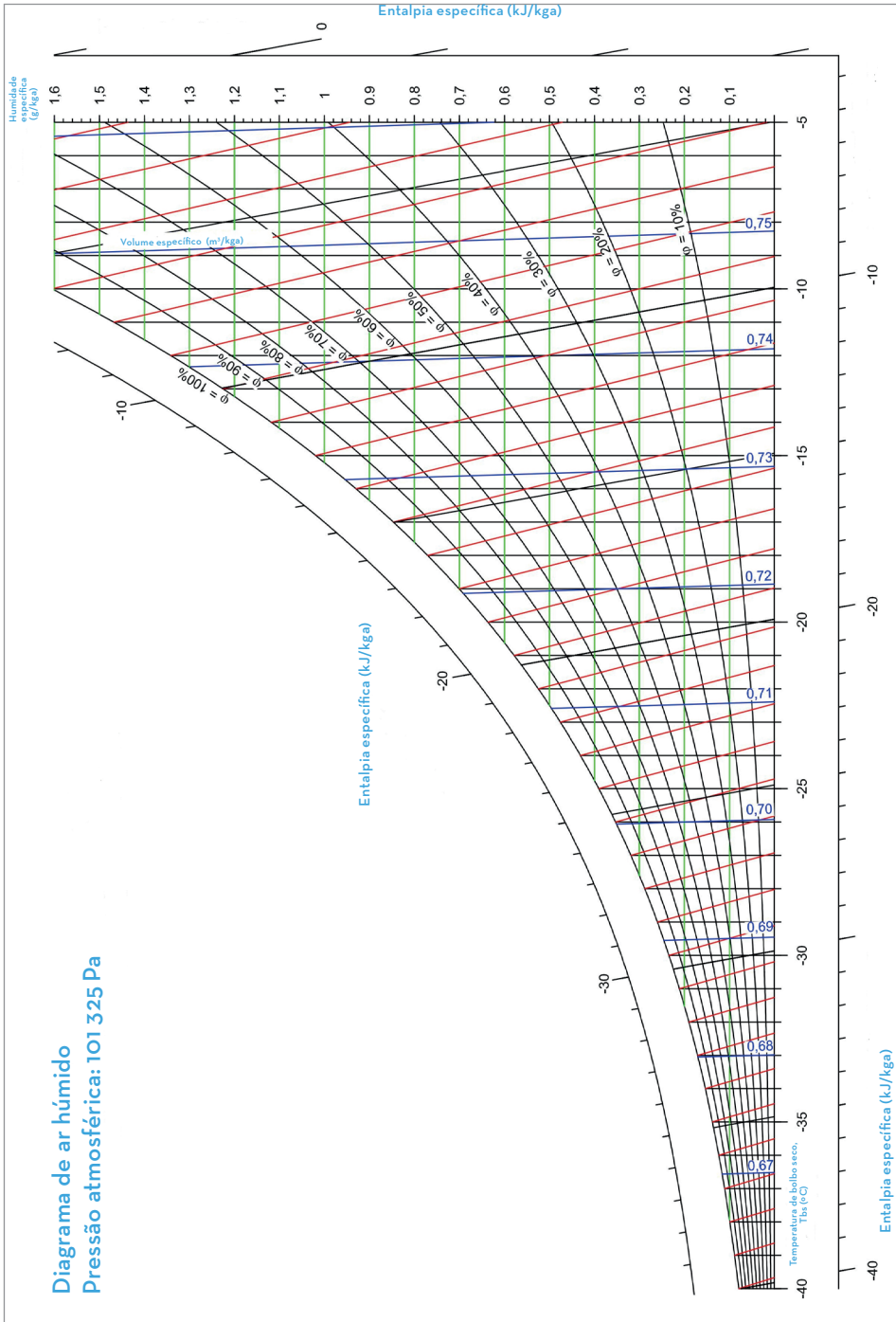
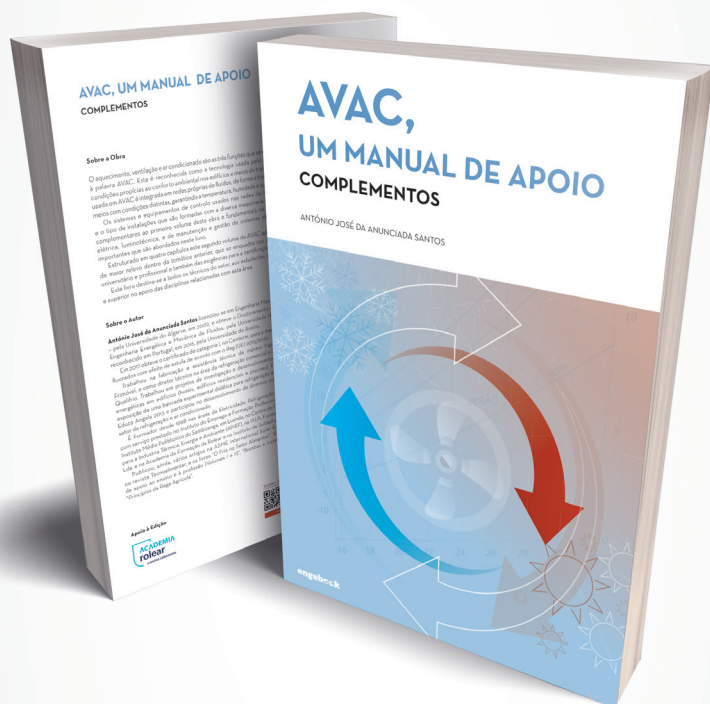


Figura A.2. Diagrama de ar húmido / Fonte: Frederic Benet



# TAMBÉM DISPONÍVEL



## AVAC, UM MANUAL DE APOIO COMPLEMENTOS

ANTÓNIO JOSÉ DA ANUNCIADA SANTOS

engebook

# AVAC, UM MANUAL DE APOIO

## FUNDAMENTOS

ANTÓNIO JOSÉ DA ANUNCIADA SANTOS

### Sobre a obra

O aquecimento, ventilação e ar condicionado são as três funções que se encontram associadas à palavra AVAC. Esta é reconhecida como a tecnologia usada pelo homem para criar as condições propícias ao conforto ambiental nos edifícios e meios de transporte. A maquinaria usada em AVAC é integrada em redes próprias de fluidos, de forma a transportar o calor entre meios com condições distintas, garantindo a temperatura, humidade e qualidade do ar interior.

Os princípios da termodinâmica, da transmissão do calor e da mecânica dos fluidos são temas fundamentais usados no dimensionamento das máquinas de AVAC e equipamentos de transporte de fluidos, com interesse aos técnicos do setor. Os aspetos relacionados com o funcionamento, a instalação e a manutenção destas máquinas são também assuntos fundamentais enquadrados nesta obra.

Estruturado em quatro capítulos, este livro engloba os temas mais relevantes deste setor de aplicação da mecânica e que fazem parte dos conteúdos programáticos dos cursos profissionais e universitários, e também das exigências regulamentares para a certificação dos TIM.

Este livro destina-se a todos os técnicos do setor, aos estudantes do ensino profissional e superior no apoio das disciplinas relacionadas com esta área.

### 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

**ixus**

formação e consultadoria, lda.

Também disponível em formato e-book



ISBN: 978-989-901-749-8



9 789899 017498

[www.engebook.pt](http://www.engebook.pt)

**engebook**

