

Introdução aos Sistemas de Climatização

Rosário Fino

INSTITUTO DE INVESTIGAÇÃO E DESENVOLVIMENTO
TECNOLÓGICO PARA A **CONSTRUÇÃO, ENERGIA,
AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE**

www.itecons.uc.pt

Objetivos

Introdução aos sistemas de climatização

No final da formação:

- Compreender os conceitos base de climatização
- Utilizar o diagrama psicrométrico para descrever a evolução do estado do ar até atingir as condições de conforto e identificar os processos envolvidos
- Identificar os diferentes sistemas de climatização
- Identificar os diferentes sistemas de ventilação
- Entender a recuperação de calor
- Compreender os conceitos associados às eletrobombas e equilíbrio hidráulico
- Definir estratégias de climatização e entender esquemas de principio



- Climatização- Conceitos base
- Psicrometria
- Sistemas de climatização: Ar-Ar
- Sistemas de climatização: Ar-Água
- Climatização – sistemas de queima
- AQS: sistemas solares
- Ventilação
- Recuperadores de calor
- Eletrobombas
- Estratégias de climatização
- Esquemas de princípio



Climatização: conceitos base



Climatização: conceitos base

Temperatura de bolbo seco: T [°C] temperatura do ar medida com um termómetro vulgar. Não é influenciada pela humidade relativa do ar.

Temperatura de bolbo húmido: T [°C] temperatura medida por um termómetro que tem o seu bolbo coberto por um algodão molhado. A evaporação desta água absorve calor do algodão, o que faz com que a temperatura medida por este termómetro seja menor que a medida pelo termómetro de bolbo seco.

Temperatura média radiante: T [°C] temperatura uniforme das superfícies envolventes de um espaço imaginário, onde a transferência de calor por radiação entre este espaço e um ocupante seja igual à soma das transferências de calor por radiação não uniformes das superfícies envolventes de um espaço real.

Temperatura operativa: T [°C] temperatura ponderada entre a temperatura do ar e a resultante da temperatura radiada pelas paredes, chão e teto envolventes (temperatura média radiante).

Humidade relativa: ϕ [%] relação entre a quantidade de água existente no ar (humidade absoluta) e a quantidade máxima que poderia haver para a mesma temperatura.

Humidade absoluta: [kg/kg] razão entre a massa de vapor de água e a massa de ar seco.

Ponto de orvalho: T [°C] designa a temperatura à qual, a uma determinada pressão atmosférica, ocorre a condensação, ou seja, o vapor de água passa ao estado líquido.



Climatização: conceitos base

O sistema de **aquecimento** por **ar forçado** usa em primeiro lugar a convecção para transferir a **energia calorífica** para **aquecer o ar** do local.

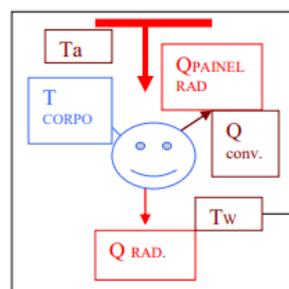
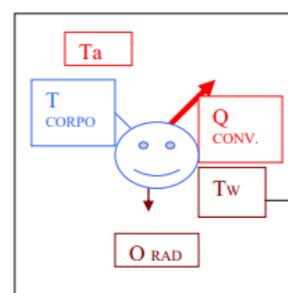
A energia térmica é então **transferida pelo ar quente** que circula no local **para os ocupantes, paredes, objetos e restantes superfícies** envolventes, as quais vão aquecendo.

A **temperatura do ar** do local é **sempre superior à das superfícies** envolventes e à dos objetos nele contidos, dado que é o **ar quente em movimento** que **transfere calor**.

O **aquecimento** por **painel radiante** **transfere calor** para o local através da **emissão de ondas** electromagnéticas, que **são absorvidas pelas superfícies envolventes do espaço a aquecer, pelos ocupantes e pelos objetos**.

O ar é “transparente” a estas ondas, não sendo aquecido ou arrefecido por elas.

Contrariamente ao sistema convectivo, são as superfícies envolventes do local, os ocupantes e os objetos, os primeiros a receber a energia térmica, e **só depois transferem parte desse calor para o ar do local**, reduzindo a quantidade de energia térmica perdida pelos ocupantes



Climatização: conceitos base

O sistema de **arrefecimento** retira energia térmica ao local, quer por **convecção** como por **radiação**.

Um sistema de **arrefecimento por ar forçado**, insufla ar refrigerado no espaço a arrefecer. Este ar refrigerado escoando-se através dos ocupantes, superfícies envolventes e objetos, **retira calor ao espaço**.

Um sistema **de arrefecimento radiante** mantém uma ou várias superfícies refrigeradas, com as quais os ocupantes, submetidos a uma temperatura superior, transferem energia radiante, perdendo calor. O sistema absorve a energia radiante das superfícies envolventes refrigeradas, fazendo baixar a temperatura média radiante.

A **temperatura média radiante** é sempre **inferior à temperatura do ar** ambiente.

No caso do arrefecimento radiante é importante que a temperatura das superfícies radiantes seja sempre **superior à temperatura de ponto de orvalho** do ar do local, para evitar condensações



http://www.get.pt/site_files/publicaes/manual_de_tectos_refrigerados_1301115931.pdf

Introdução aos Sistemas de Climatização

6

rosario.fino@itecons.uc.pt

Climatização: conceitos base

Massa Térmica

Massa térmica é a capacidade dos materiais **armazenarem energia térmica** por períodos longos

A Massa térmica pode ser usada para absorver os ganhos de calor diurnos, reduzindo as necessidades de arrefecimento, e liberta-lo durante a noite, reduzindo as necessidades de aquecimento

Resposta térmica - a resposta térmica das camadas interiores deve estar de acordo com o regime de aquecimento e de atividade do edifício

Elementos com **massa elevada** vão **aquecer e arrefecer devagar** (resposta térmica lenta) - mais apropriado para edifícios que são **climatizados por longos períodos**

Elementos com **massa baixa** vão **aquecer e arrefecer rapidamente** (resposta térmica rápida) - apropriados para edifícios que são **climatizados de forma intermitente ou pouco frequente**



Introdução aos Sistemas de Climatização

7

rosario.fino@itecons.uc.pt

Climatização: conceitos base

Quando uma substância recebe energia calorífica a sua temperatura **umenta**

O calor específico c_p é a quantidade de calor (Q) que é necessário fornecer à unidade de massa de uma substância (m) para elevar a sua temperatura 1 K (ΔT) -

Sistema Internacional de Unidades (SI): $\text{J/kg}\cdot\text{K}$

Caloria: quantidade de calor necessária para elevar 1°C , 1 g de água (de 14.5°C para 15.5°C)

$$c_p = \frac{Q}{m \Delta T} \quad [\text{J/kg}\cdot\text{K}] \text{ ou } [\text{cal/g}^\circ\text{C}]$$

c_p – constante de cada substância

m : massa

ΔT : diferença de temperatura

Q : Quantidade de calor

1cal : 4.186 J



Climatização: conceitos base

Da equação anterior, podemos determinar a quantidade de calor Q que um corpo de massa m necessita para variar a sua temperatura x graus (ΔT)

$$Q = mc_p \Delta T \quad [\text{cal}] \text{ ou } [\text{J}]$$

A potência é dada pela razão entre a **energia** (Q) e o **tempo** (Δt)

$$P = \frac{Q}{\Delta t} \quad \text{cal/s ou J/s}$$

c_p - calor específico-
constante de cada substância

Substância	Calor Específico (cal/g.°C)
água	1,0
álcool	0,58
aluminio	0,22
ar	0,24
carbono	0,12
chumbo	0,031
cobre	0,094
ferro	0,11
gelo	0,5
hélio	1,25
hidrogênio	3,4
latão	0,092
madeira	0,42
mercúrio	0,033
nitrogênio	0,25
ouro	0,032
oxigênio	0,22
prata	0,056
rochas	0,21
vidro	0,16
zinco	0,093



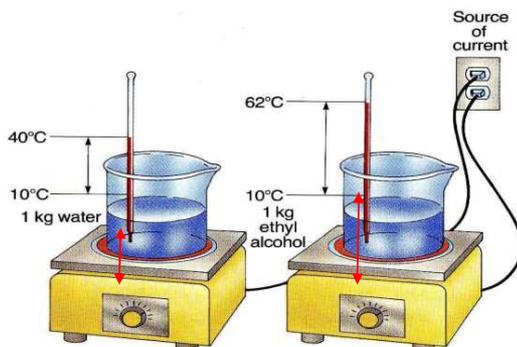
Climatização: conceitos base

$$Q = mc_p\Delta T \text{ [cal] ou [J]}$$

Substâncias diferentes \Rightarrow diferentes variações de temperatura para a mesma quantidade de calor

$$c_p \text{ água} = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$$

$$\Delta T_{\text{água}} = 30^\circ\text{C}$$



$$c_p \text{ alcohol} = 0.58 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$$

$$\Delta T_{\text{alcohol}} = 52^\circ\text{C}$$

maior $c_p \Rightarrow$ menor
variação de temperatura



Questão

Quando não há frigoríficos à disposição, é comum armazenar a manteiga em um recipiente com água. Qual a razão (ter em conta o calor específico da água e do ar)?

$$c_{p,ar} = 0.24 \text{ [cal/(g}^\circ\text{C)]}$$

$$c_{p,água} = 1.0 \text{ [cal/(g}^\circ\text{C)]}$$

$$Q = mc_p\Delta T \text{ [cal/(g}^\circ\text{C)]}$$

maior $c_p \Rightarrow$ menor
variação de temperatura

Como o calor específico da água é maior que o do ar, é necessário mais calor para aquecer a água. Por essa razão, ela pode proteger a manteiga das variações de temperatura ambiente com mais eficácia que o ar



Calor sensível e latente

calor sensível:

Quando um objeto é **aquecido**, a sua **temperatura aumenta** à medida que o calor lhe é adicionado. Este aumento de calor é designado de calor sensível



quando se **retira** calor a um objeto e a sua **temperatura** desce o calor retirado também é designado por calor sensível



O calor que provoca uma **mudança de temperatura** num objeto é designado por **calor sensível**

$$Q = mc_p\Delta T \text{ [cal] ou [J]}$$

c_p : Calor específico

m : massa

ΔT : diferença de temperatura

12



Calor sensível e latente

Calor latente – quantidade de energia absorvida/libertado por um sistema termodinâmico durante as mudanças de **fase** a temperatura constante

água

Processo	Calor latente [kJ/kg]
LF-Fusão (0°C)	33.35
LS-Solidificação (0°C)	-33.35
LE-Evaporação (100°C)	2255.30
LC-Condensação (100°C)	-2255.30

$$Q = mL \text{ [J/kg]}$$

Q - quantidade de calor transferido

L – calor latente

m – massa do corpo

[J/kg] – unidades do SI

Alternativas:
[kJ/Kg]; [cal/g]

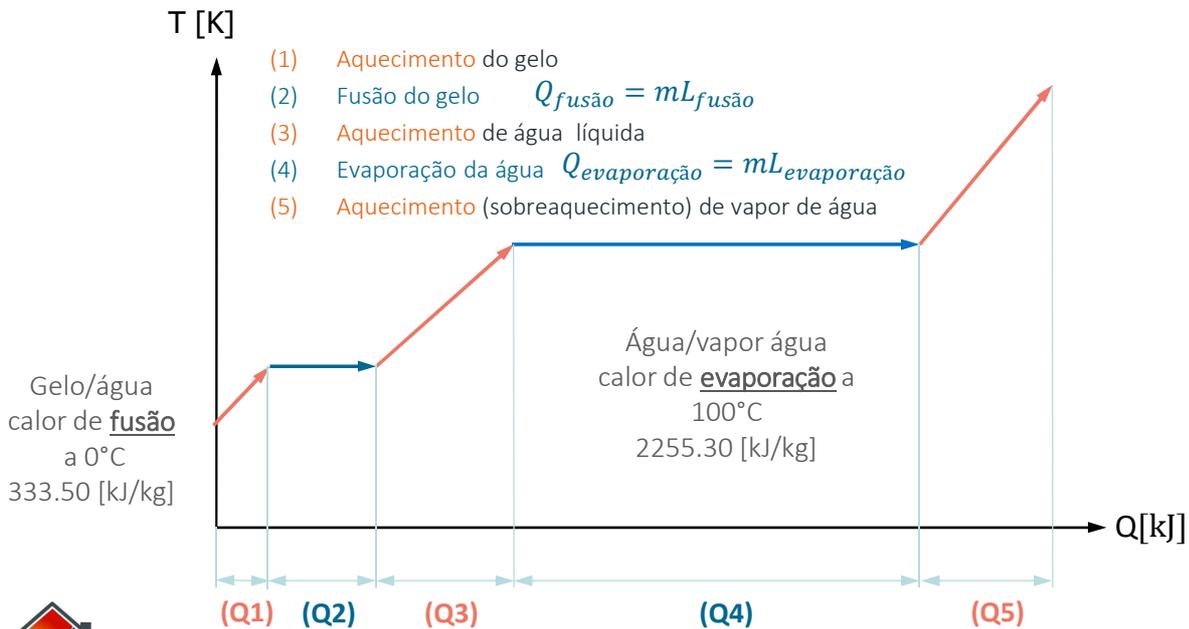
sinais negativos nos processos de solidificação e condensação indicam que neles houve libertação de calor - processos exotérmicos



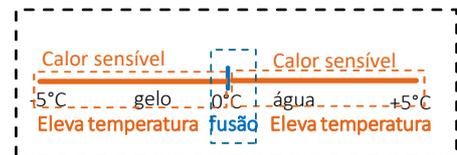
Calor sensível e latente

$Q = mL$ Calor latente – energia necessária para mudar de fase (2,4)

$Q = mc_p\Delta T$ Calor sensível - energia necessária para aumentar a temperatura (1,3,5)



Calor sensível e latente



Exemplo

Determine a quantidade de calor em Kcal necessária para um bloco de gelo com 2 kg de massa, inicialmente a -5°C, seja aquecido até a temperatura de 5°C.

Dados: Calor específico do gelo = 0.5 cal/g°C
 Calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g
 Calor específico da água = 1 cal/g°C

Calor sensível
 $Q = mc_p\Delta T$

$m=2000$ g
 $c_{p,gelo} = 0.5$ cal/g°C
 $\Delta T_1 = 5^\circ\text{C}$

$Q_1 = 2000 \times 0.5 \times 5 = 5000$ cal

Calor latente
 $Q = mL$

$L=80$ cal/g
 $Q_2 = 2000 \times 80 = 160000$ cal

Calor sensível
 $Q = mc_p\Delta T$

$m=2000$ g
 $c_{p,\text{água}} = 1$ cal/g°C
 $\Delta T_2 = 5^\circ\text{C}$

$Q_2 = 2000 \times 1 \times 5 = 10000$ cal

$Q_T = (5000 + 160000 + 10000) / 1000 = 175$ Kcal



Climatização: conceitos base

Processos de climatização

Aquecimento é o processo de **fornecimento de calor** ao ar de um espaço com o objetivo de **aumentar** a sua **temperatura** ou manter a sua temperatura a determinados níveis.

Arrefecimento é o processo de **remoção de calor** do ar de um espaço com o objetivo de **reduzir** a sua **temperatura** ou manter a sua temperatura a determinados níveis.

Humidificação: processo de **adição de humidade** ao ar de um espaço para o propósito de aumentar a humidade relativa ou mantê-la em determinado valor.

Desumidificação: processo de **remoção da humidade** do ar de um espaço com a finalidade de **reduzir** a sua **humidade relativa** ou mantê-la em determinado valor.

Renovação de ar: processo de obtenção de **ar novo** para um espaço interior com a finalidade de **melhorar** ou **manter** a **qualidade do ar** em determinados níveis.



Climatização: conceitos base

Climatização: fornecer a um espaço fechado as condições de temperatura, ¹humidade relativa e qualidade do ar necessárias ao bem estar das pessoas e à conservação do espaço.

¹a legislação portuguesa não define requisitos de humidade relativa

De que trata a climatização:

1. Ventilação;
2. Aquecimento;
3. Arrefecimento.

Estas componentes podem ser tratadas de forma **individual**, com instalações separadas, ou em **conjunto**, sendo esta mais rentável do ponto de vista energético.

Componentes de uma instalação de climatização

- Produção de energia térmica (calor ou frio);
- Distribuição de energia térmica, por ar, água ou refrigerante;
- Entrada e saída de ar (ventilação)
 - Tratamento do ar (se for o caso)
- Emissão da energia térmica



Climatização: conceitos base

1. Efeito de Joule

relação entre o **calor** gerado e a corrente elétrica que percorre um condutor num determinado tempo



2. Queima



3. Expansão direta



Climatização: conceitos base

μ rendimento

razão entre a potência **útil** e a potência **nominal** [Watt/Watt]

COP -coefficient of performance

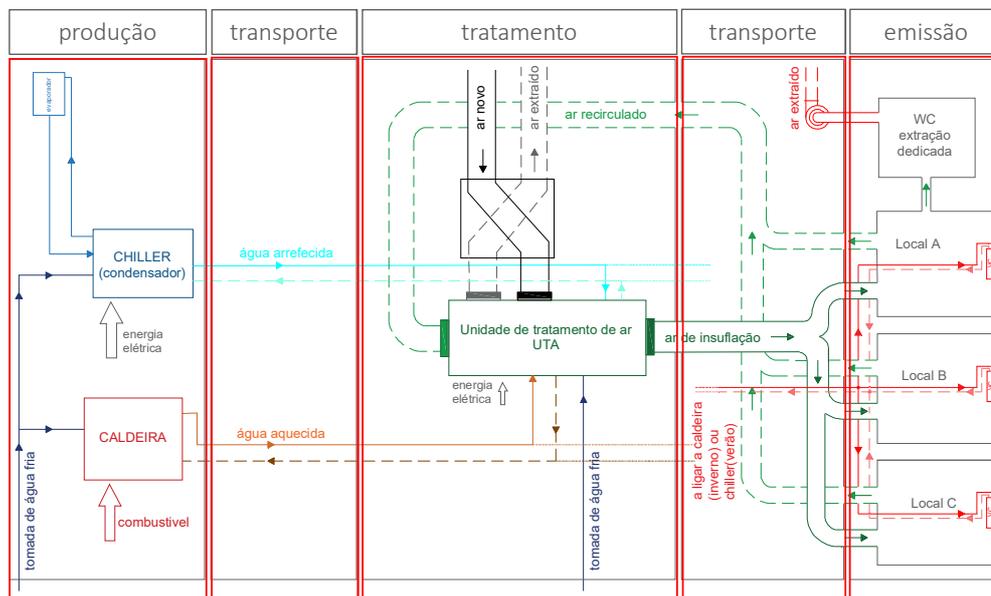
razão entre a capacidade de **aquecimento (potência térmica)** e a potência efetiva da unidade (**potência elétrica**) [Watt/Watt]

SCOP -Eficiência sazonal em aquecimento

EER -energy efficiency ratio

razão entre a capacidade de **arrefecimento (potência térmica)** e a potência efetiva da unidade (**potência elétrica**) [Watt/Watt]





Parâmetros que afetam o **conforto térmico** :

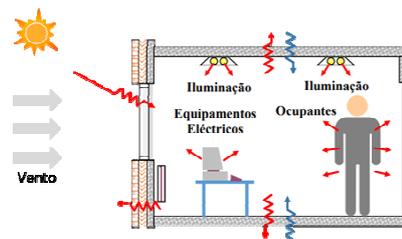
- A temperatura ambiente;
- A temperatura de radiação das superfícies adjacentes;
- A humidade relativa do ambiente;
- A movimentação do ar no ambiente (velocidade);
- A renovação de ar (caudal);
- O metabolismo e a atividade humana;
- O vestuário.



Climatização: conceitos base

Edifícios \Rightarrow **recebem** calor sensível no verão
perdem calor sensível no inverno

- circulação do ar
- radiação solar
- diferenças de temperatura entre o interior e o exterior
- coeficiente de transmissão térmica da envolvente



Podem **ganhar** ou **perder** calor latente devido à humidade

Energia gerada no interior do edifício:

- devido à atividade humana (sensível e latente)
- equipamentos existentes (sensível e/ou latente)
- iluminação (sensível)



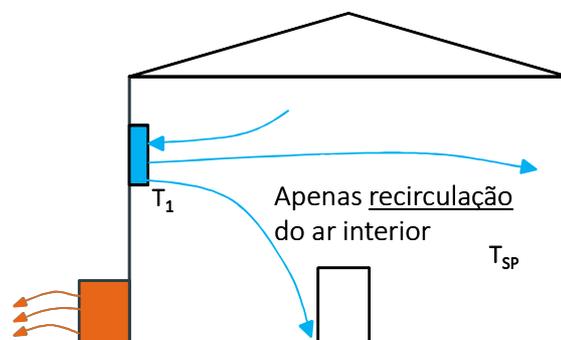
Climatização: conceitos base

Processos de climatização

Arrefecimento

T_{sp} - Temperatura de conforto interior definida
 T_1 - Temperatura do ar de saída do sistema de fornecimento de energia térmica

$$T_1 \ll T_{sp}$$



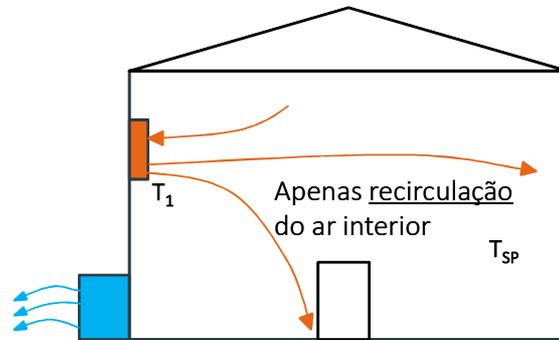
Climatização: conceitos base

Processos de climatização

Aquecimento

T_{sp} - Temperatura de conforto interior definida
 T_1 - Temperatura do ar de saída do sistema de fornecimento de energia térmica

$$T_1 \gg T_{sp}$$



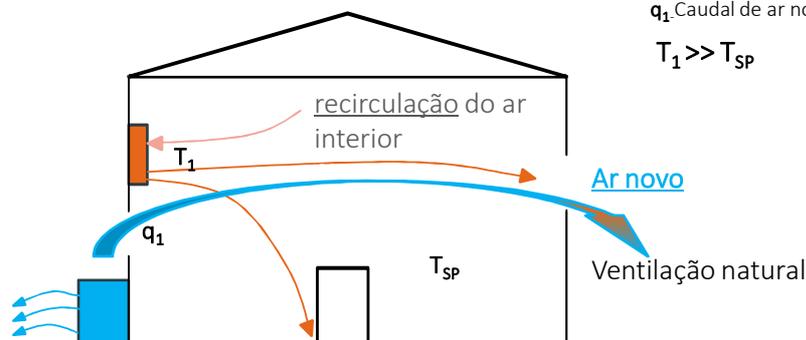
Climatização: conceitos base

Processos de climatização

T_{sp} - Temperatura de conforto interior definida
 T_1 - Temperatura do ar de saída do sistema de fornecimento de energia térmica
 T_2 - Temperatura do ar novo de entrada

q_1 - Caudal de ar novo

$$T_1 \gg T_{sp}$$



Aquecimento

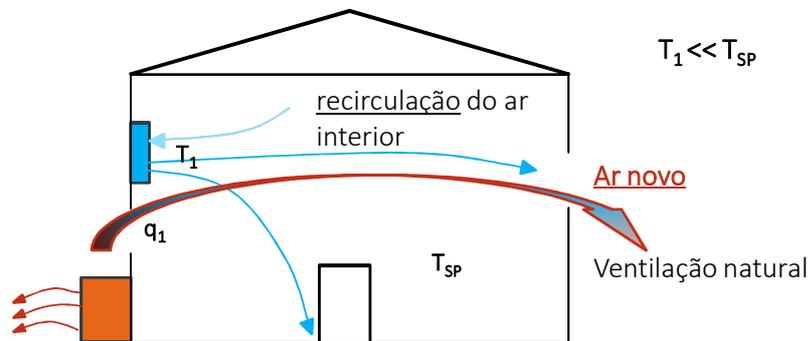
Introdução de ar novo, à temperatura exterior – ventilação natural



Climatização: conceitos base

Processos de climatização

T_{sp} - Temperatura de conforto interior definida
 T_1 - Temperatura do ar de saída do sistema de fornecimento de energia térmica
 q_1 - Caudal de ar novo



Arrefecimento

Introdução de **ar novo**, à temperatura exterior – ventilação natural

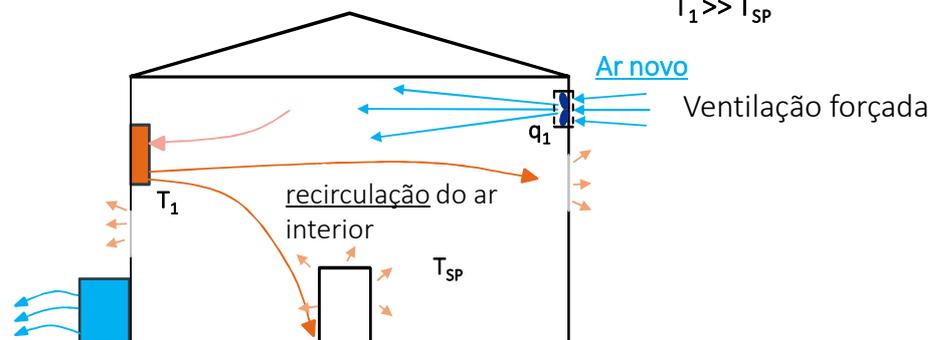


Climatização: conceitos base

Processos de climatização

T_{sp} - Temperatura de conforto interior definida
 T_1 - Temperatura do ar de saída do sistema de fornecimento de energia térmica
 q_1 - Caudal de ar novo

$$T_1 \gg T_{sp}$$



Aquecimento

Introdução de **ar novo**, à temperatura exterior – ventilação forçada (ventilador **insuflação**)

Há sobrepressão – ar sai por **exfiltração** (portas, janelas...)

Pressão equilibrada: se grelhas de exaustão instaladas



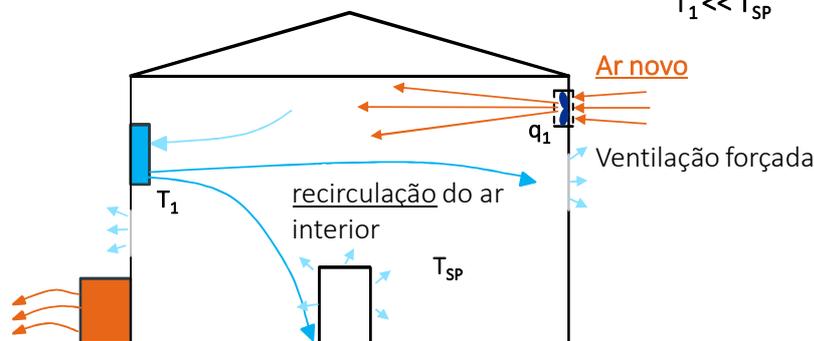
Climatização: conceitos base

Processos de climatização



T_{sp} - Temperatura de conforto interior definida
 T_1 - Temperatura do ar de saída do sistema de fornecimento de energia térmica
 q_1 - Caudal de ar novo

$$T_1 \ll T_{sp}$$



Arrefecimento

Introdução de **ar novo**, à temperatura exterior – ventilação forçada (ventilador **insuflação**)

Há sobrepessão – ar sai por **exfiltração** (portas, janelas,...)

Pressão equilibrada: se grelhas de exaustão instaladas



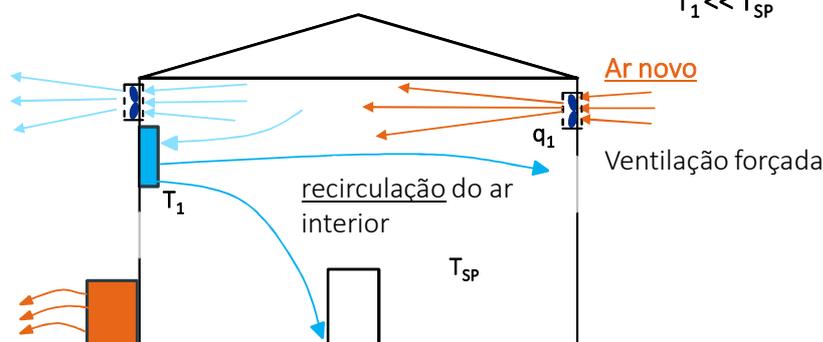
Climatização: conceitos base

Processos de climatização



T_{sp} - Temperatura de conforto interior definida
 T_1 - Temperatura do ar de saída do sistema de fornecimento de energia térmica
 q_1 - Caudal de ar novo

$$T_1 \ll T_{sp}$$



Arrefecimento

Introdução de **ar novo**, à temperatura exterior – ventilação forçada - ventilador **insuflação** e de **extração**

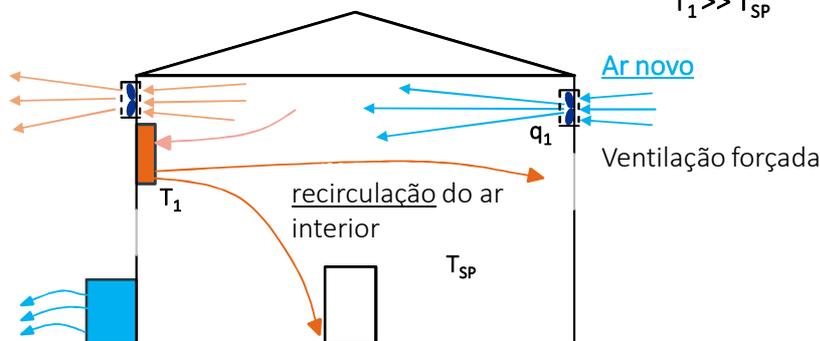


Climatização: conceitos base

Processos de climatização



T_{SP} - Temperatura de conforto interior definida
 T_1 - Temperatura do ar de saída do sistema de fornecimento de energia térmica
 q_1 - Caudal de ar novo
 $T_1 \gg T_{SP}$



Aquecimento

Introdução de **ar novo**, à temperatura exterior – ventilação forçada - ventilador **insuflação** e de **extração**

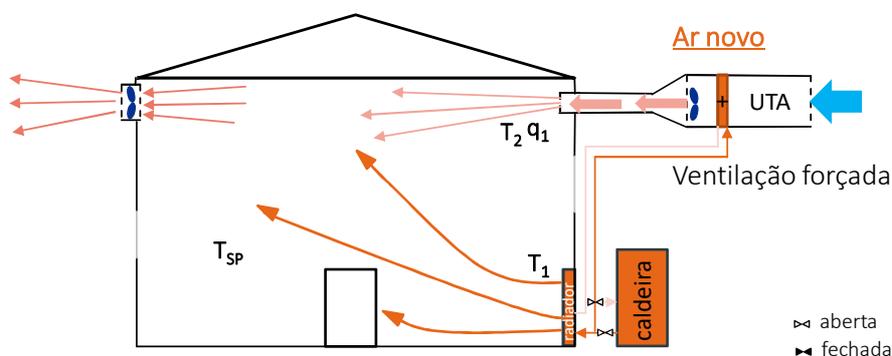


Climatização: conceitos base

Processos de climatização



T_{SP} - Temperatura de conforto interior definida
 T_1 - Temperatura do ar de saída do sistema de fornecimento de energia térmica
 T_2 - Temperatura do ar novo de entrada
 q_1 - Caudal de ar novo
 $T_1 \gg T_{SP} \approx T_2$



Apenas Aquecimento

Introdução de **ar novo climatizado**: UTA- Unidade de tratamento de ar - ventilador de **insuflação**; ventilador de **extração**, bateria de **aquecimento**

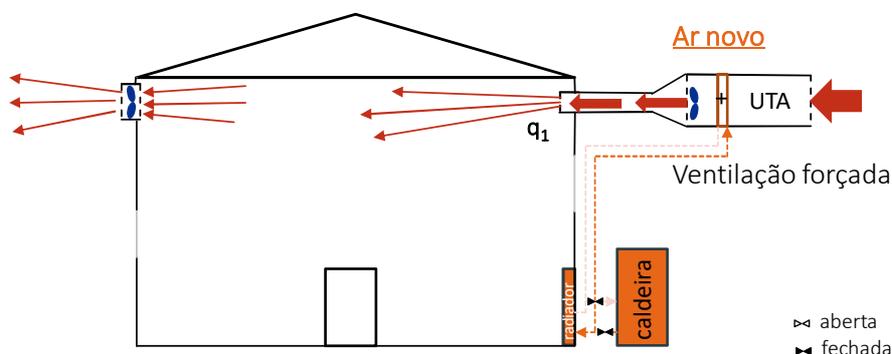


Climatização: conceitos base

Processos de climatização



T_{sp} - Temperatura de conforto interior definida
 T_1 - Temperatura do ar de saída do sistema de fornecimento de energia térmica
 T_2 - Temperatura do ar novo de entrada
 q_1 - Caudal de ar novo



Sem Aquecimento nem **Arrefecimento** (verão)

Introdução de **ar novo não climatizado**: UTA- Unidade de tratamento de ar - ventilador de **insuflação**; ventilador de **extração**

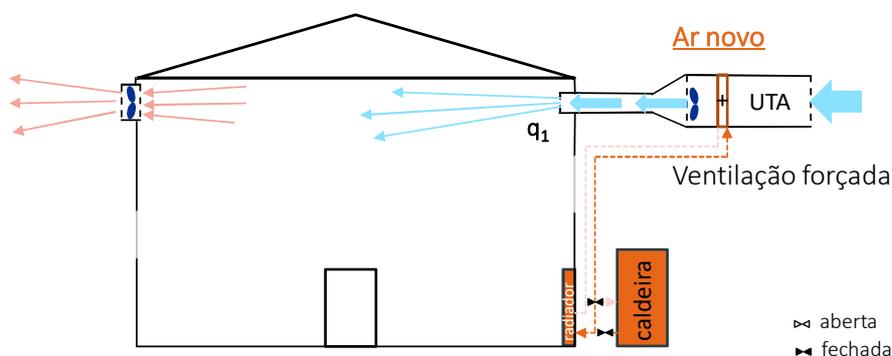


Climatização: conceitos base

Processos de climatização



T_{sp} - Temperatura de conforto interior definida
 T_1 - Temperatura do ar de saída do sistema de fornecimento de energia térmica
 T_2 - Temperatura do ar novo de entrada
 q_1 - Caudal de ar novo



Free Cooling (verão)

Introdução de **ar novo não climatizado** durante a **noite**, quando as temperaturas estão mais baixas, para remover as cargas térmicas acumuladas no interior durante o dia.

UTA- Unidade de tratamento de ar - ventilador de **insuflação**; ventilador de **extração**



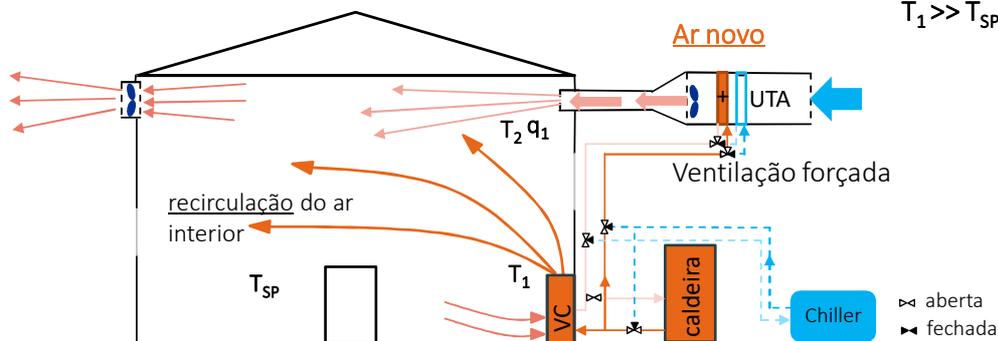
Climatização: conceitos base

Processos de climatização



T_{SP} - Temperatura de conforto interior definida
 T_1 - Temperatura do ar de saída do sistema de fornecimento de energia térmica
 T_2 - Temperatura do ar novo de entrada
 q_1 - Caudal de ar novo

$$T_1 \gg T_{SP} \approx T_2$$



Aquecimento (caldeira) + Arrefecimento (Chiller)- Em aquecimento

Introdução de **ar novo climatizado**: UTA- Unidade de tratamento de ar - ventilador de **insuflação**; ventilador de **extração**.

Fornecida água aquecida na caldeira à bateria de **aquecimento da UTA e aos ventiloconvectores (VC)**



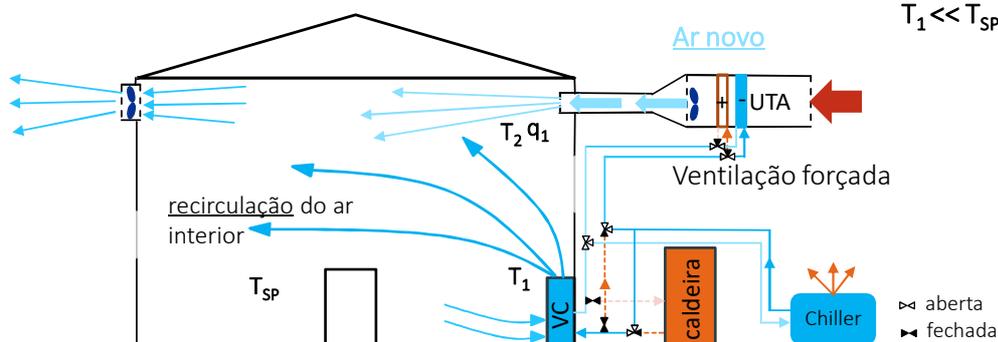
Climatização: conceitos base

Processos de climatização



T_{SP} - Temperatura de conforto interior definida
 T_1 - Temperatura do ar de saída do sistema de fornecimento de energia térmica
 T_2 - Temperatura do ar novo de entrada
 q_1 - Caudal de ar novo

$$T_1 \ll T_{SP} \approx T_2$$



Aquecimento (caldeira) + Arrefecimento (Chiller)- Em arrefecimento

Introdução de **ar novo climatizado**: UTA- Unidade de tratamento de ar - ventilador de **insuflação**; ventilador de **extração**.

Fornecida água arrefecida no chiller à bateria de **arrefecimento da UTA**

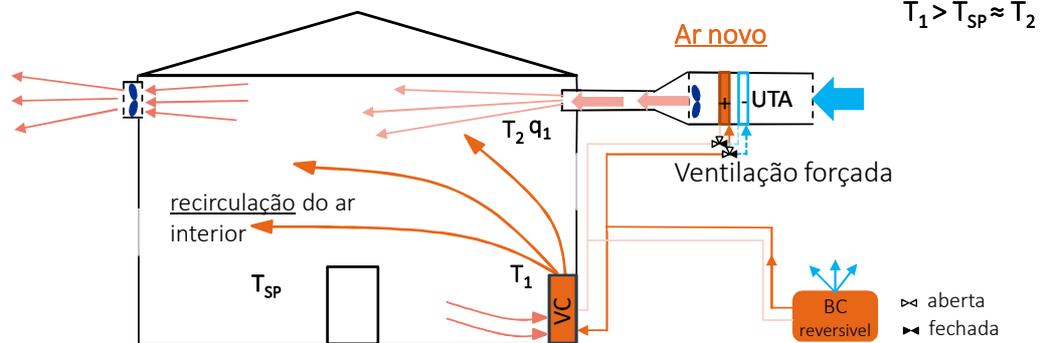


Climatização: conceitos base

Processos de climatização



T_{SP} - Temperatura de conforto interior definida
 T_1 - Temperatura do ar de saída do sistema de fornecimento de energia térmica
 T_2 - Temperatura do ar novo de entrada
 q_1 - Caudal de ar novo



Bomba de calor Reversível - Em aquecimento

Introdução de **ar novo climatizado**: UTA- Unidade de tratamento de ar - ventilador de **insuflação**; ventilador de **extração**.

Fornecida água aquecida na caldeira à bateria de **aquecimento da UTA** e aos **ventiloconvectores (VC)**

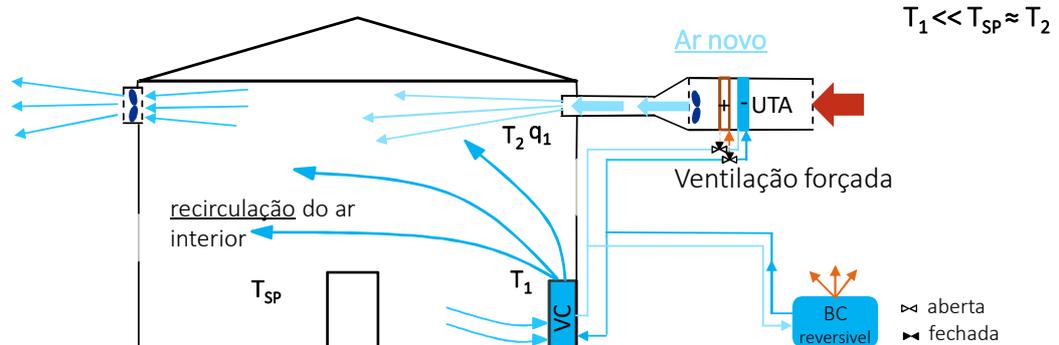


Climatização: conceitos base

Processos de climatização



T_{SP} - Temperatura de conforto interior definida
 T_1 - Temperatura do ar de saída do sistema de fornecimento de energia térmica
 T_2 - Temperatura do ar novo de entrada
 q_1 - Caudal de ar novo



Bomba de calor Reversível - Em arrefecimento

Introdução de **ar novo climatizado**: UTA- Unidade de tratamento de ar - ventilador de **insuflação**; ventilador de **extração**.

Fornecida água arrefecida no chiller à bateria de **arrefecimento da UTA** e aos **ventiloconvectores (VC)**



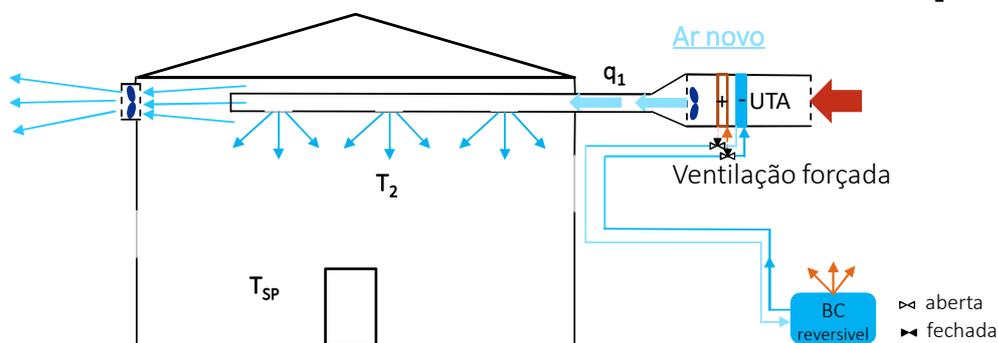
Climatização: conceitos base

Processos de climatização



T_{sp} - Temperatura de conforto interior definida
 T_2 - Temperatura do ar novo de entrada
 q_1 - Caudal de ar novo

$$T_2 \ll T_{sp}$$



Tudo ar: Bomba de calor Reversível (ou caldeira + chiller) - Em arrefecimento

Introdução de **ar novo climatizado**: UTA- Unidade de tratamento de ar - ventilador de **insuflação**; ventilador de **extração**

Necessário **caudais elevados** para assegurar a T_{sp} pretendida ($T_2 \ll T_{sp}$)

Maior consumo energético

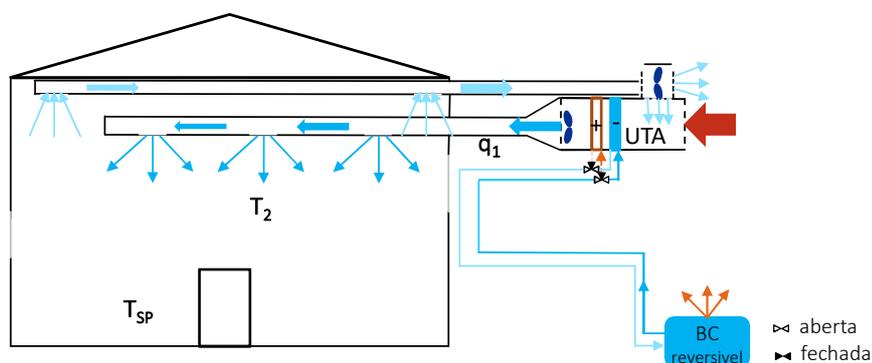


Climatização: conceitos base

Processos de climatização



T_{sp} - Temperatura de conforto interior definida
 T_2 - Temperatura do ar novo de entrada
 q_1 - Caudal de ar novo



Tudo ar: Bomba de calor Reversível (ou caldeira + chiller) - Em arrefecimento

Introdução de **ar novo climatizado com recirculação**: UTA- Unidade de tratamento de ar - ventilador de **insuflação**; ventilador de **extração**

Necessário **caudais elevados** para assegurar a T_{sp} pretendida ($T_2 \ll T_{sp}$)

Menor consumo energético - há recirculação de ar



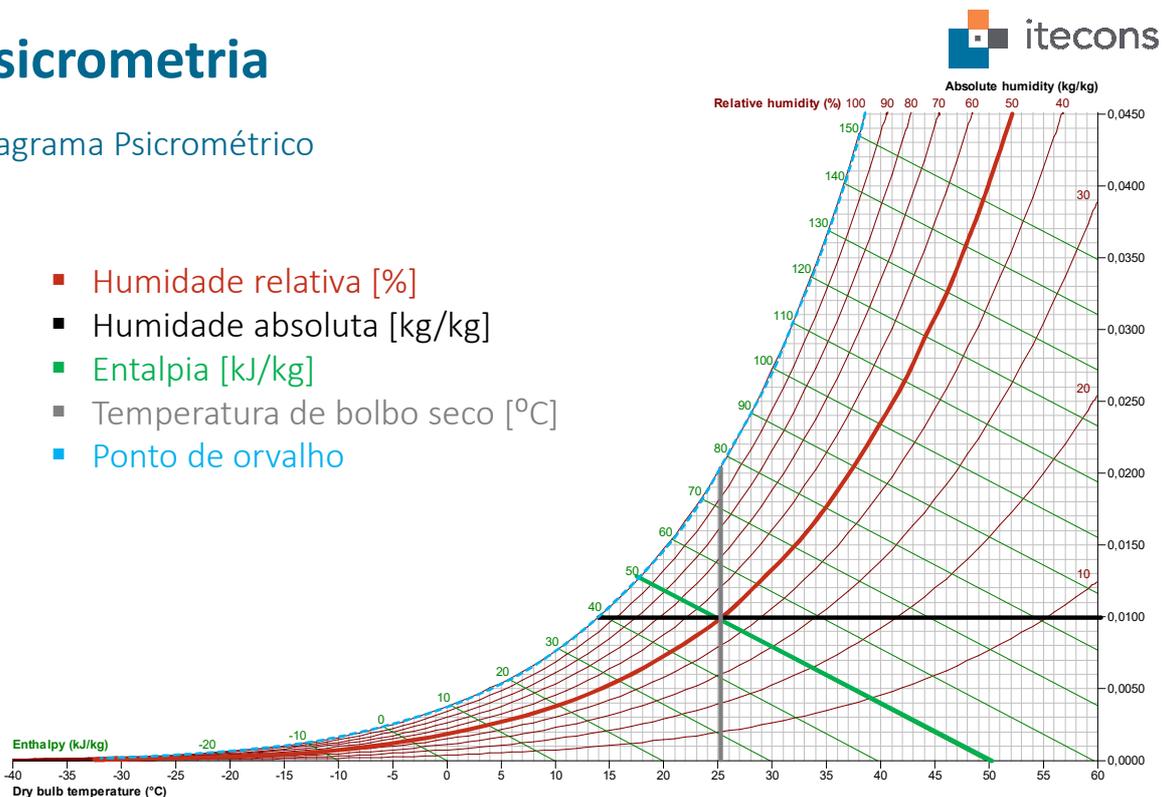
Psicrometria



Psicrometria

Diagrama Psicrométrico

- Humidade relativa [%]
- Humidade absoluta [kg/kg]
- Entalpia [kJ/kg]
- Temperatura de bolbo seco [°C]
- Ponto de orvalho



Psicrometria

Diagrama Psicrométrico - processos

Arrefecimento de 32°C para 25 °C
 Aumenta humidade relativa de 20% para 30%
 Humidade absoluta= constante (0.060 kg/kg)

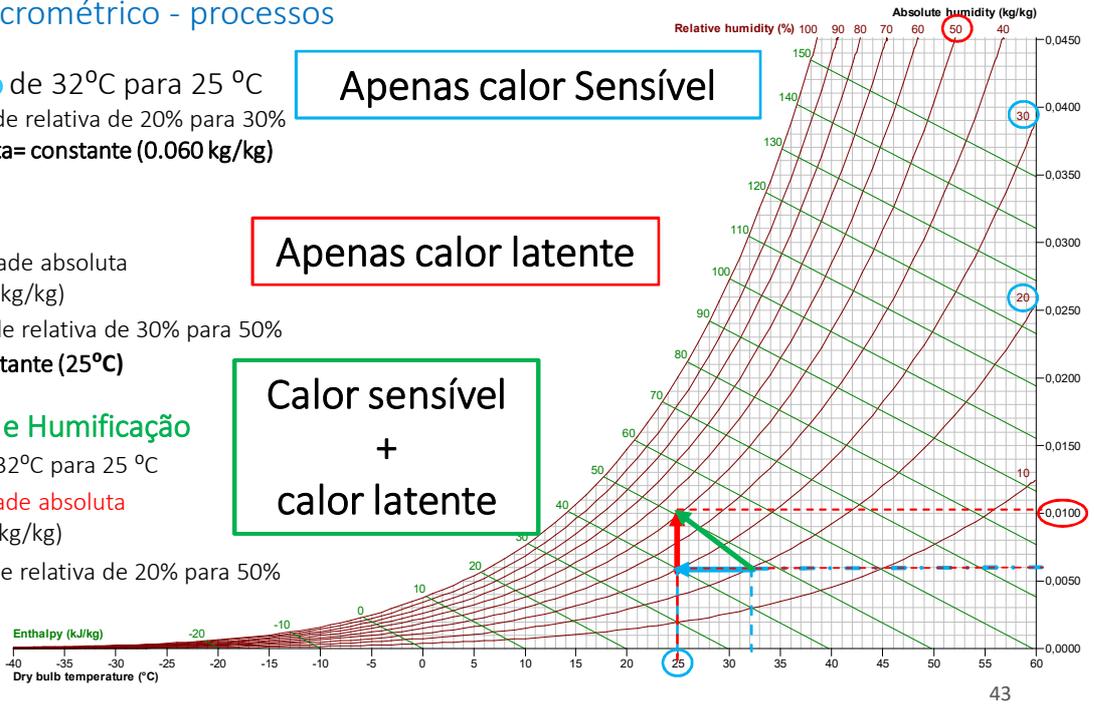
Apenas calor Sensível

Humidificação
 Aumenta a humidade absoluta
 (0.006 para 0.010 kg/kg)
 Aumenta humidade relativa de 30% para 50%
 Temperatura=constante (25°C)

Apenas calor latente

Arrefecimento e Humidificação
Arrefecimento de 32°C para 25 °C
 Aumenta a **humidade absoluta**
 (0.006 para 0.010 kg/kg)
 Aumenta humidade relativa de 20% para 50%

Calor sensível
 +
 calor latente



Psicrometria

Inverno

Condições iniciais (1): T=15.5°C; HR=60%
 Humidade absoluta= 0.0062 [kg/kg]



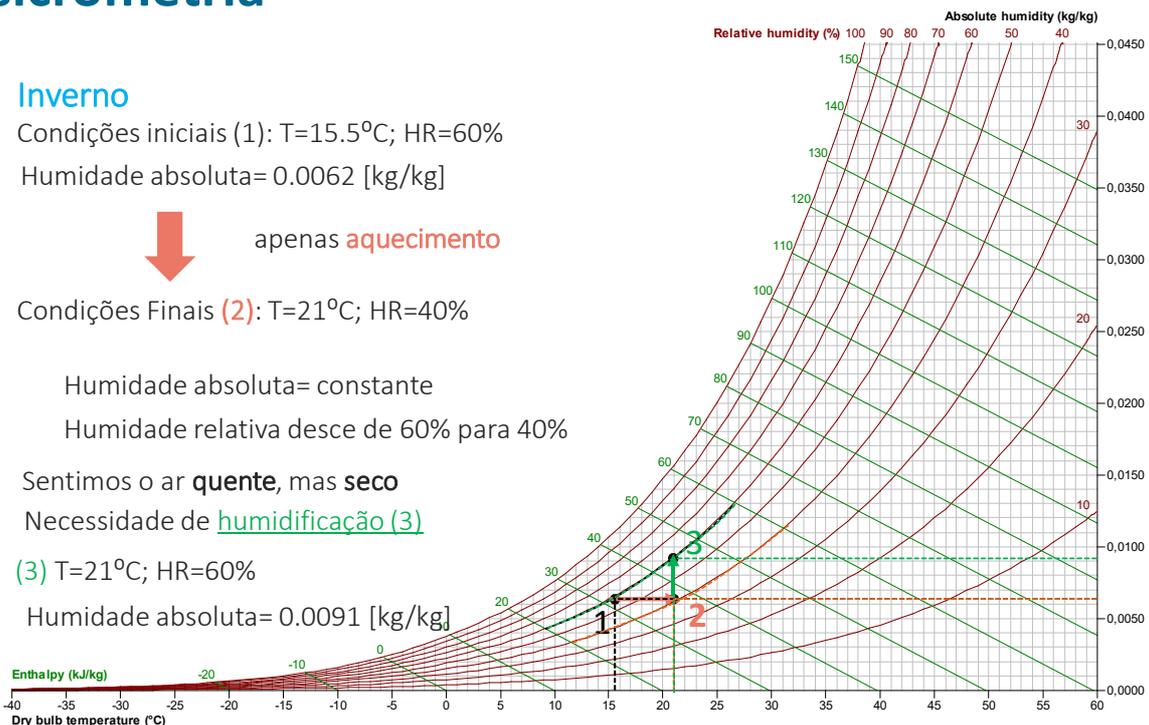
apenas **aquecimento**

Condições Finais (2): T=21°C; HR=40%

Humidade absoluta= constante
 Humidade relativa desce de 60% para 40%

Sentimos o ar **quente**, mas **seco**
 Necessidade de **humidificação (3)**

(3) T=21°C; HR=60%
 Humidade absoluta= 0.0091 [kg/kg]



Psicrometria

Verão

Condições iniciais (1): $T=31^{\circ}\text{C}$; $\text{HR}=50\%$

Humidade absoluta = 0.0140 [kg/kg]



apenas **arrefecimento**

Condições Finais (2): $T=23^{\circ}\text{C}$; $\text{HR}=80\%$

Humidade absoluta = constante

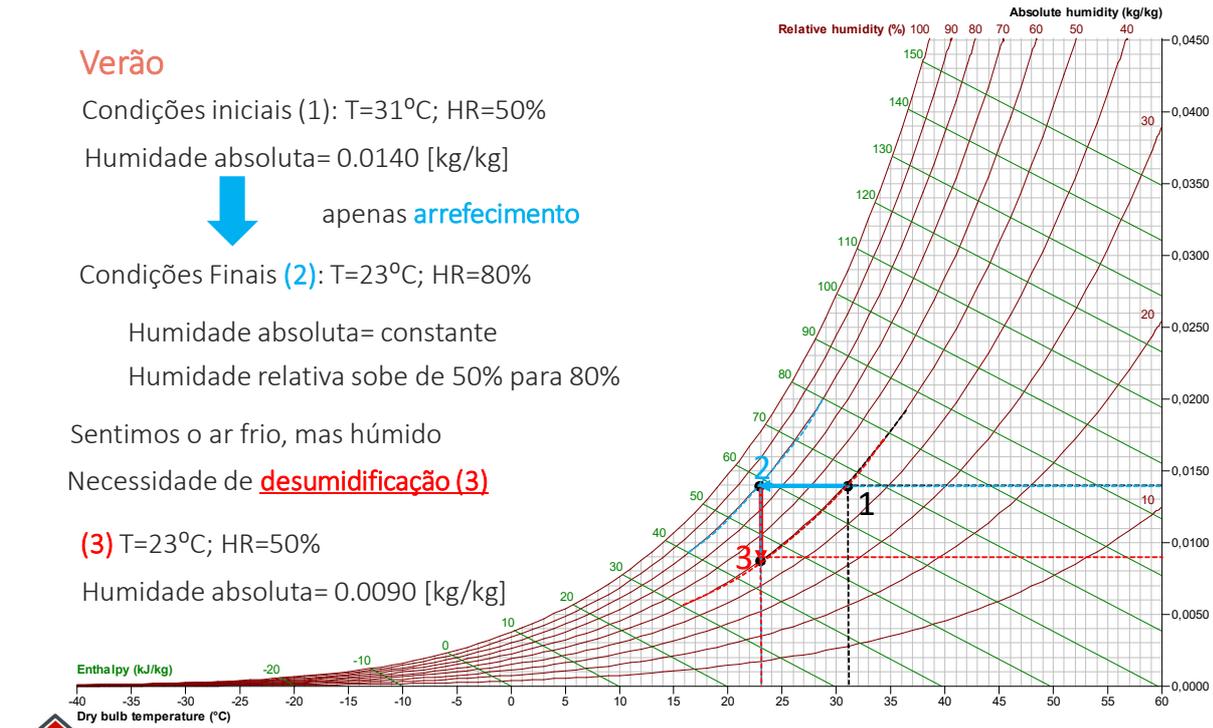
Humidade relativa sobe de 50% para 80%

Sentimos o ar frio, mas húmido

Necessidade de **desumidificação (3)**

(3) $T=23^{\circ}\text{C}$; $\text{HR}=50\%$

Humidade absoluta = 0.0090 [kg/kg]



Psicrometria

Processo de condicionamento do ar

A – apenas Humidificação

B – Aquecimento e Humidificação

C – apenas Aquecimento sensível

D – Aquecimento e Desumidificação

E – apenas Desumidificação

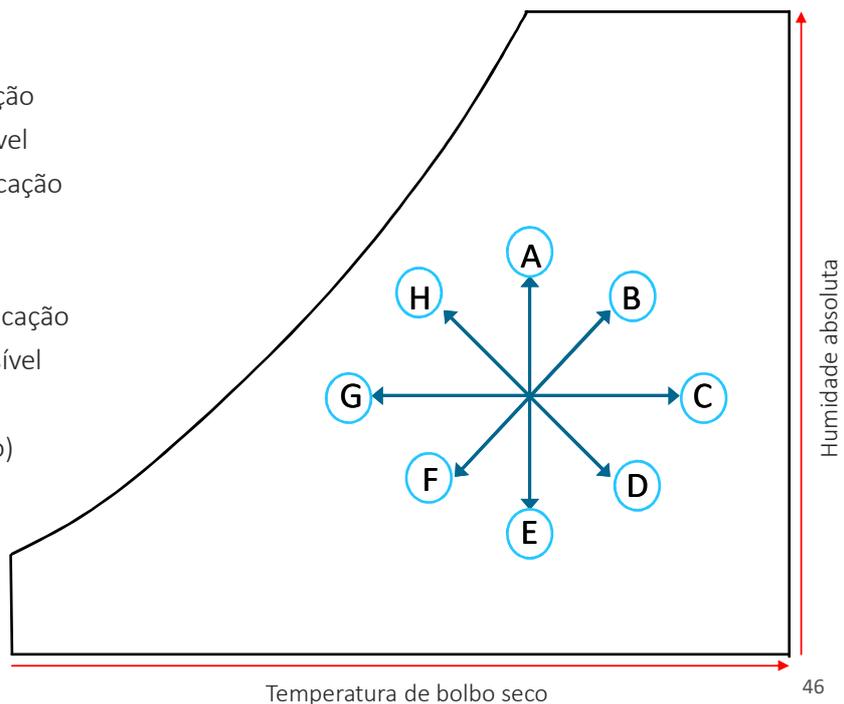
(arrefecimento latente)

F – Arrefecimento e Desumidificação

G – apenas Arrefecimento sensível

H – Arrefecimento evaporativo

(arrefecimento e humidificação)

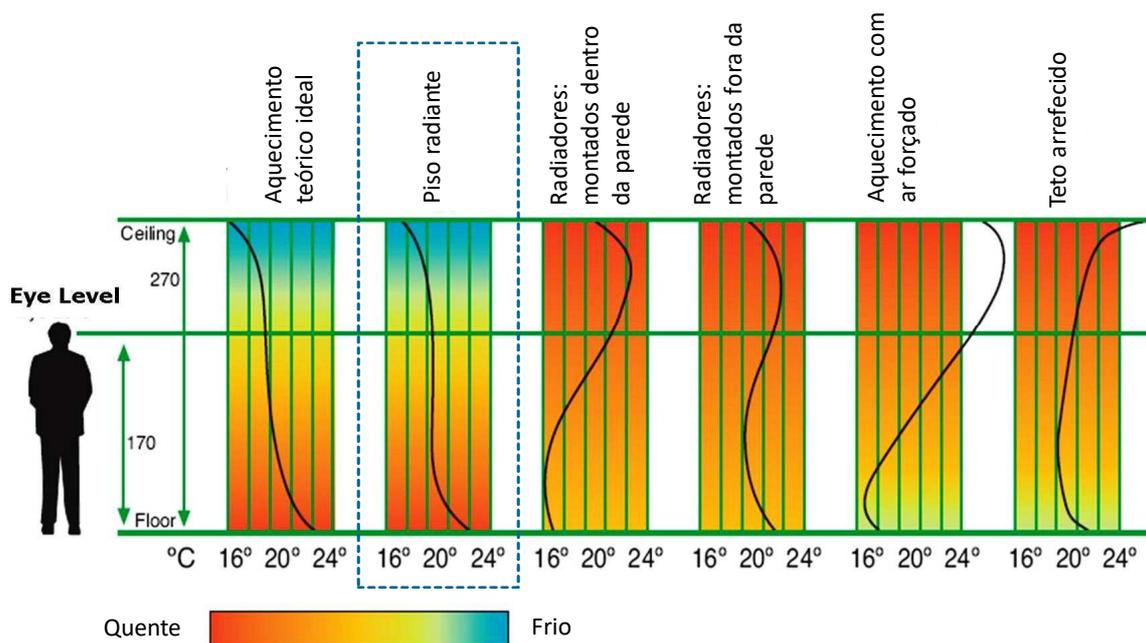


Sistemas de climatização Ar-Ar



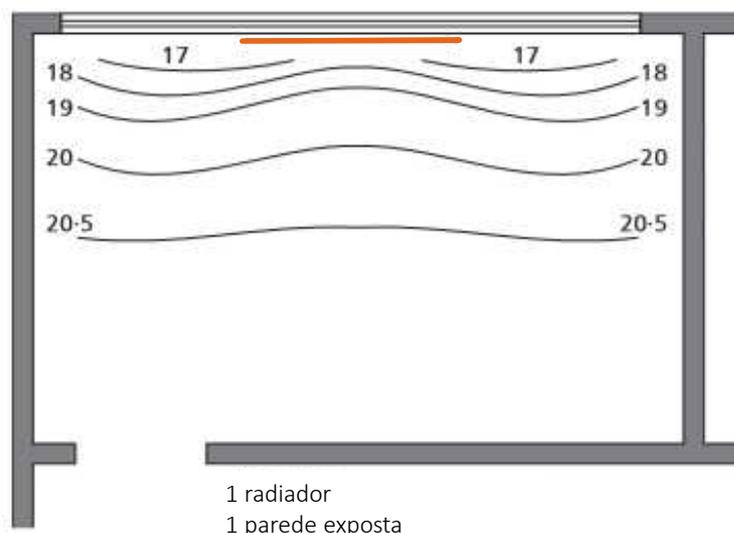
Climatização

Distribuição vertical da temperatura em função do sistema de distribuição de calor



Climatização

Distribuição da temperatura radiante

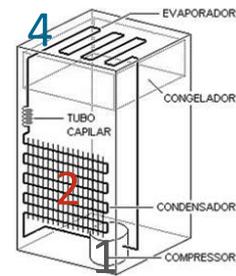


Climatização: sistemas ar-ar

Como Funciona?



Climatização: sistemas ar-ar



Calor latente de evaporação

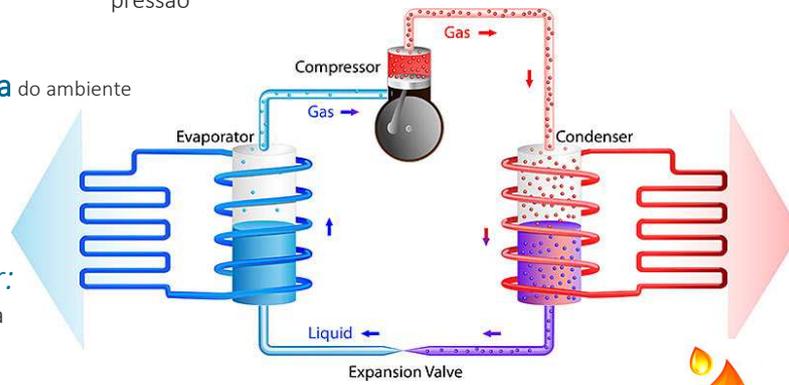
absorvida energia do ambiente



(4) **Evaporador:**

A mistura é aspirada pelo compressor, evaporando completamente no evaporador

(1) **Compressor:** o fluido refrigerante é comprimido na fase gasosa. Aumenta a temperatura e a pressão



(3) **Válvula de expansão:** o fluido expande bruscamente; mistura líquido gás

(2) **Condensador:**

A temperatura do fluido baixa
Pressão elevada
Fluido passa do estado gasoso para estado líquido

libertação de energia

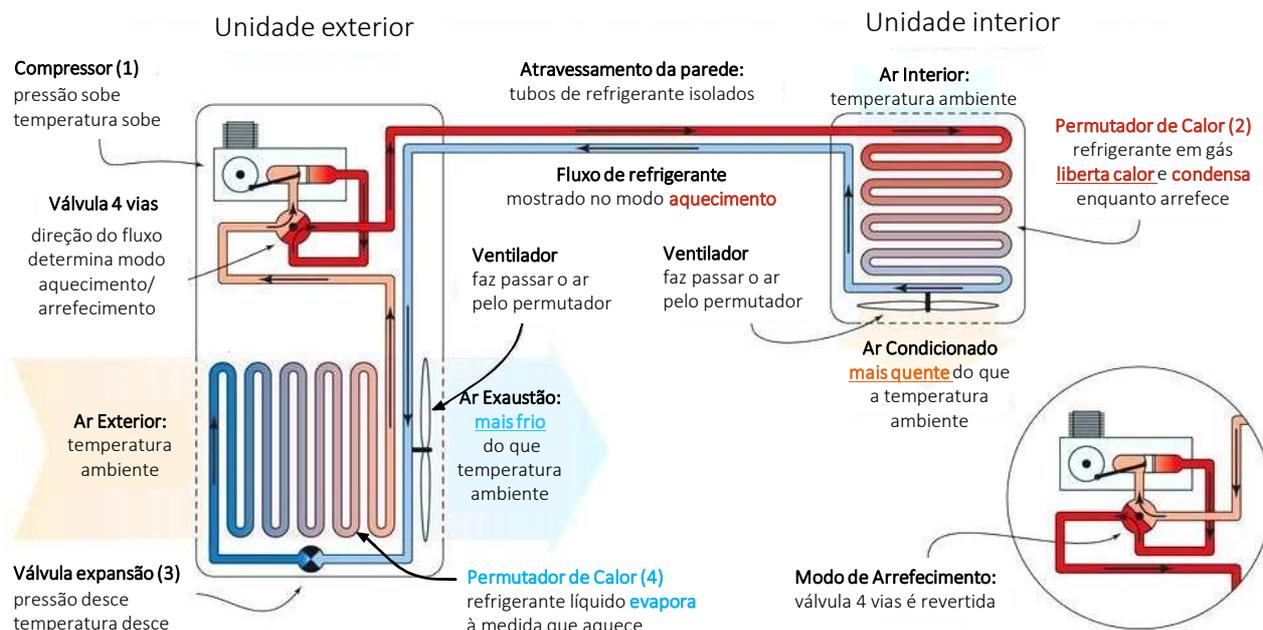
para o ambiente



Calor latente de condensação



Climatização: sistemas ar-ar



Em modo de **aquecimento**



Climatização: sistemas ar-ar

Split

unidade interior:
condensador



unidade exterior:
evaporador



Vantagens:

- Fácil instalação
- Baixo custo

Desvantagens:

- Uma unidade exterior por cada unidade interior
- Impacto visual nas fachadas

unidade interior:
evaporador

unidade exterior:
condensador

Multi-split



Vantagens:

- Fácil instalação
- Uma unidade exterior permite várias unidades interiores

Desvantagens:

- Custo mais elevado
- Todas as unidades interiores no mesmo modo: **aquecimento** OU **arrefecimento**

53



Climatização: sistemas ar-ar

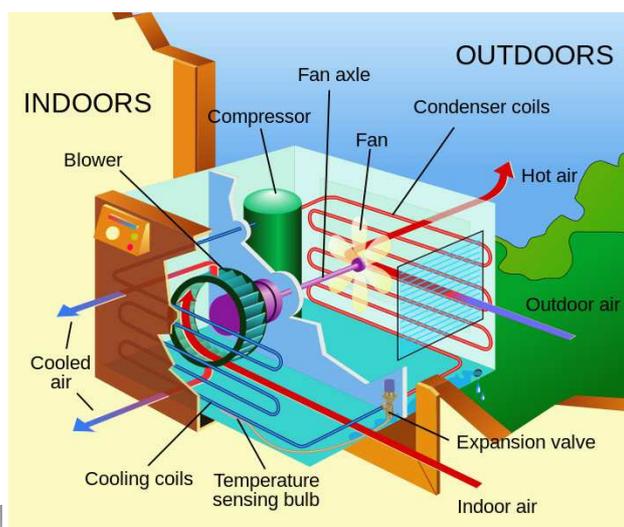
Ar condicionado de fachada

Vantagens:

- Baixo custo
- Sem perdas nas tubagens

Desvantagens:

- Ruído elevado
- Difícil instalação
- Apenas frio

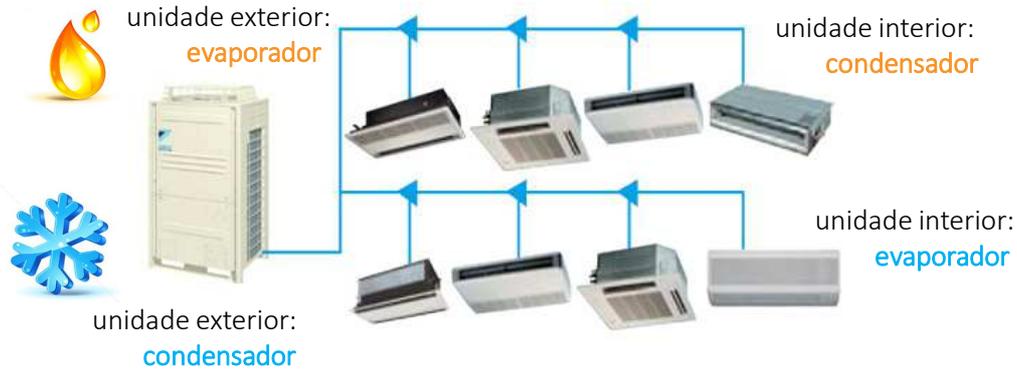


54



Climatização: sistemas ar-ar

VRF "variable refrigerant flow"



O volume de fluido frigogéneo que é enviado para cada máquina interior é **variável** consoante a **necessidade** de calor/frio de cada espaço

Vantagens:

- Elevada eficiência
- Permite a ligação de diversos tipos de unidades interiores
- Apenas uma unidade exterior: menor impacto visual

Desvantagens:

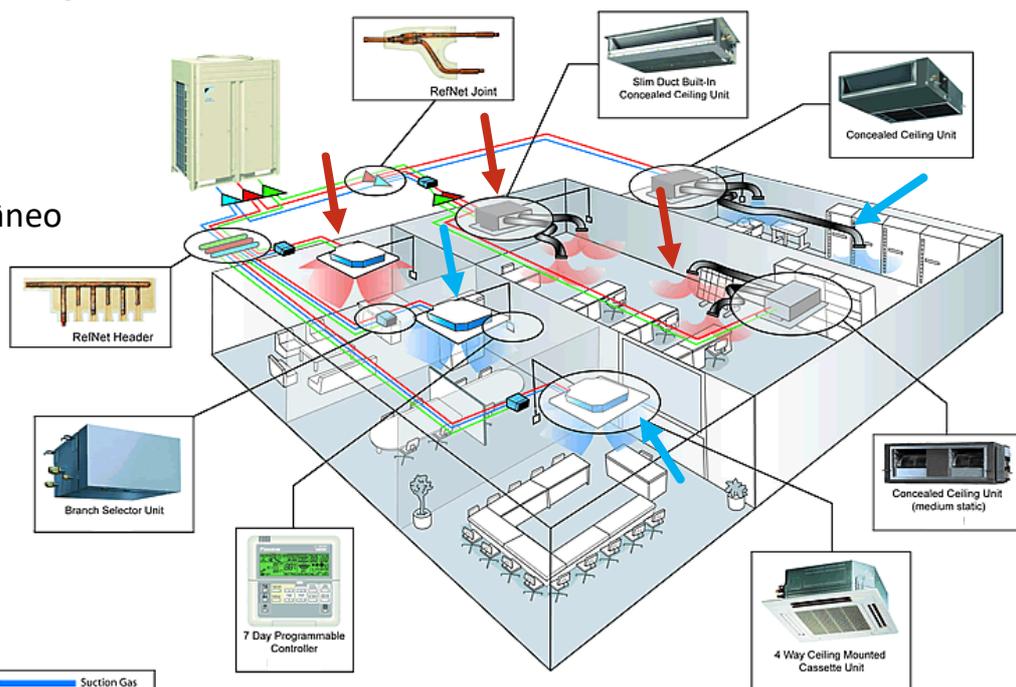
- Custo elevado
- Instalação mais complexa



Climatização: sistemas ar-ar

VRF "variable refrigerant flow"

3 Tubos:
Quente
Frio
em simultâneo



Climatização: sistemas ar-ar

Rooftop

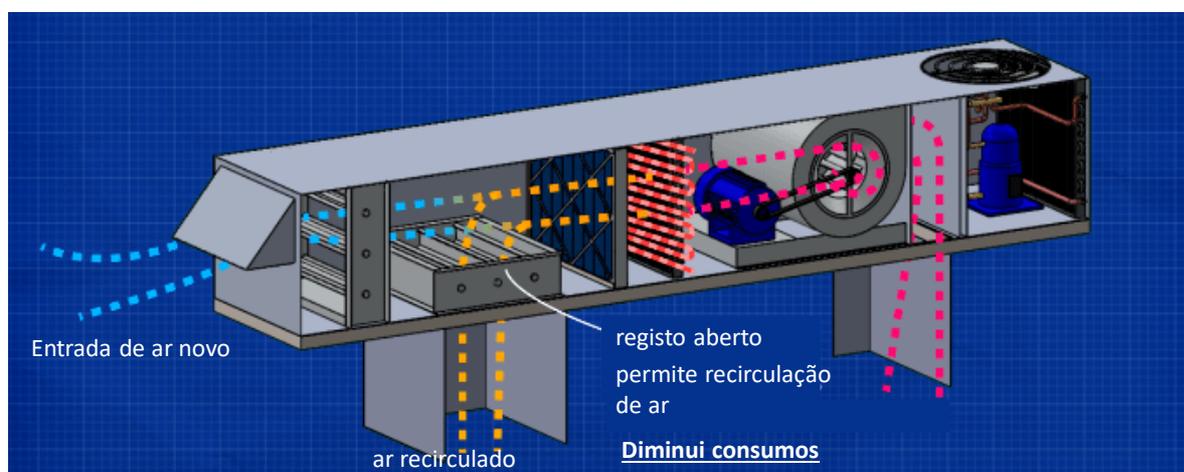


- Apenas uma unidade exterior
- Distribuição ar climatizado através de **condutas e difusores**
- Introdução de **ar novo**
- Permite **recirculação** de ar
- Ideal para grandes espaços abertos e/ou de pé direito elevado



Climatização: sistemas ar-ar

Rooftop



Sistemas de climatização Ar-Água



Climatização: sistemas ar-água

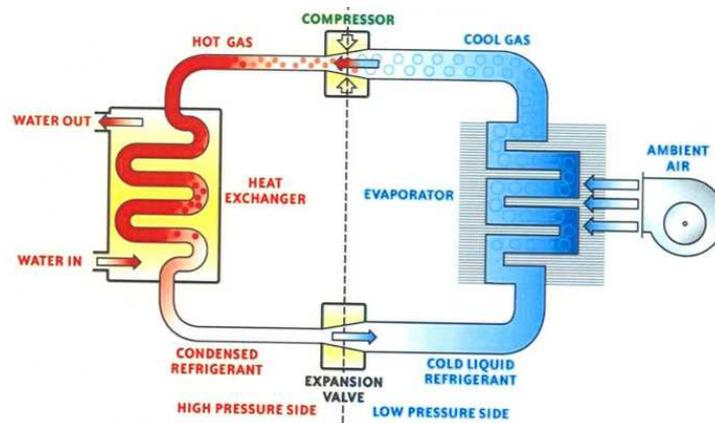
(1) Compressor : o fluido frigogéneo é comprimido na fase gasosa. Aumenta a temperatura e a pressão

(2) Condensador:

A temperatura do fluido baixa
Pressão elevada
Fluido passa do estado gasoso para estado líquido

libertação de energia

para a água



(4) Evaporador:

A mistura é aspirada pelo compressor, evaporando completamente no evaporador

absorvida energia do ambiente



(3) Válvula de expansão: o fluido expande bruscamente; mistura líquido gás



Climatização: sistemas ar-água

Bombas de calor aerotérmicas

Apenas unidade exterior:
Incorpora evaporador e condensador

A transferência de calor/frio do gás para a água é efetuada através de um permutador gás-água



Duas unidades:
1 interior
1 exterior

- potências mais baixas;
- produção de AQS



CHILLER: quando faz apenas frio



Climatização: sistemas ar-água

Bombas de calor aerotérmicas

em aquecimento



Permutador exterior: **Fonte Quente**

O ar exterior funciona como **fonte quente**;
o calor é extraído do ar exterior e transferido para a água (interior)



em arrefecimento



Permutador exterior: **Fonte Fria**

O ar exterior funciona como **fonte fria**;
o frio é extraído do ar exterior e transferido para a água (interior)



•Piso radiante

•Ventilo convectores



Climatização: sistemas água-água

Bombas de calor geotérmicas

Aproveita a temperatura praticamente **constante** do solo ao longo de **todo o ano** para aumentar a eficiência de permuta

Temperatura do solo a 1 m de profundidade: aproximadamente **15°C**

em aquecimento

Permutador exterior: **Solo - Fonte Quente**

Temperatura **solo** > Temperatura do **ar**

em arrefecimento

Permutador exterior: **Solo - Fonte Fria**

Temperatura **solo** < Temperatura do **ar**

Desvantagens:

- Custo muito elevado
- Instalação muito complexa
- Consumo elétrico das bombas de circulação associadas



- Piso radiante
- Ventiladores



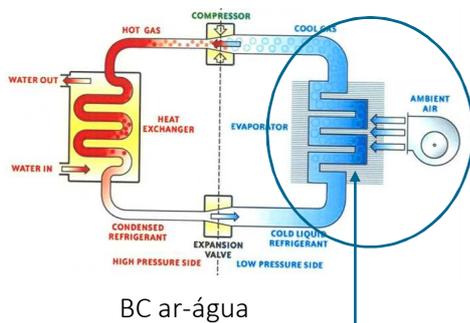
64

rosario.fino@itecons.uc.pt



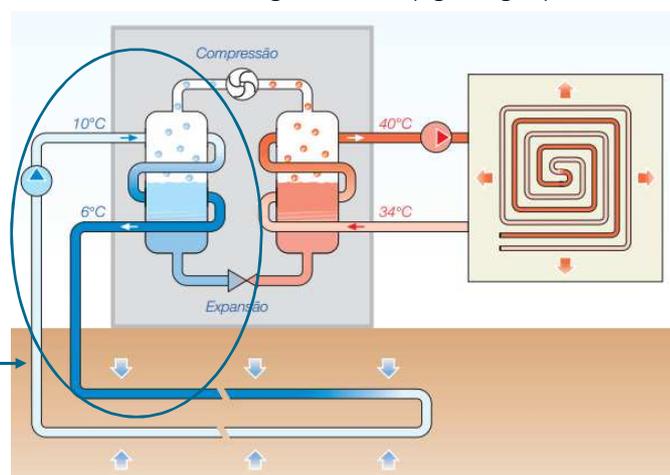
Climatização: sistemas água-água

Bombas de calor geotérmicas



Evaporador

BC geotérmica (água-água)



65

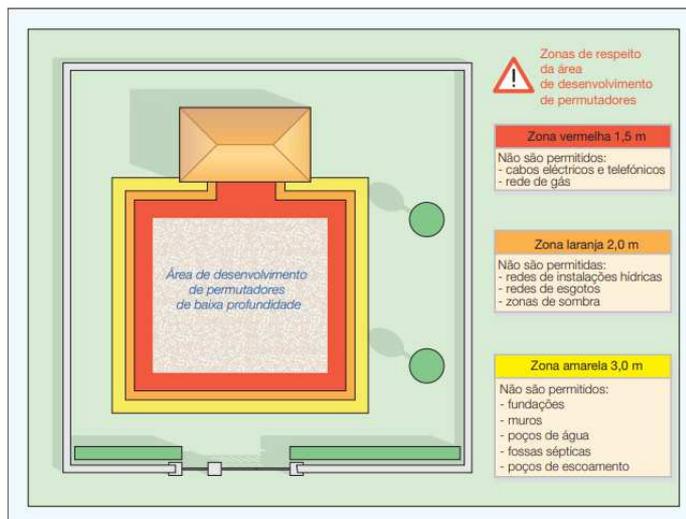
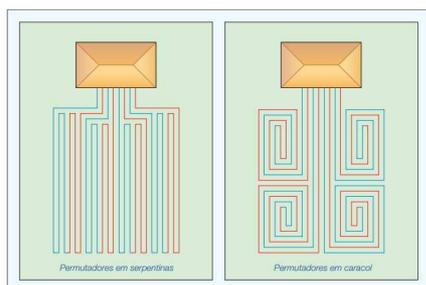
rosario.fino@itecons.uc.pt

Climatização: sistemas água-água

Bombas de calor geotérmicas

Permutadores de **baixa profundidade**

- profundidade de instalação varia entre **0.8 e 4.0 m**
- menor impacto ambiental
- menor custo de instalação
- necessitam de superfícies de desenvolvimento **bastante extensas**

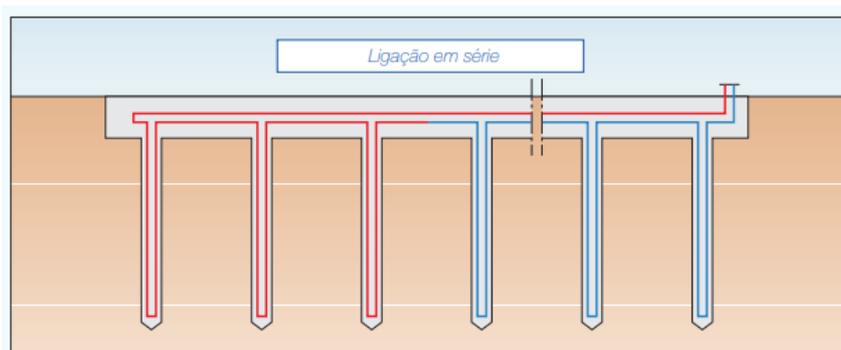


Climatização: sistemas água-água

Bombas de calor geotérmicas

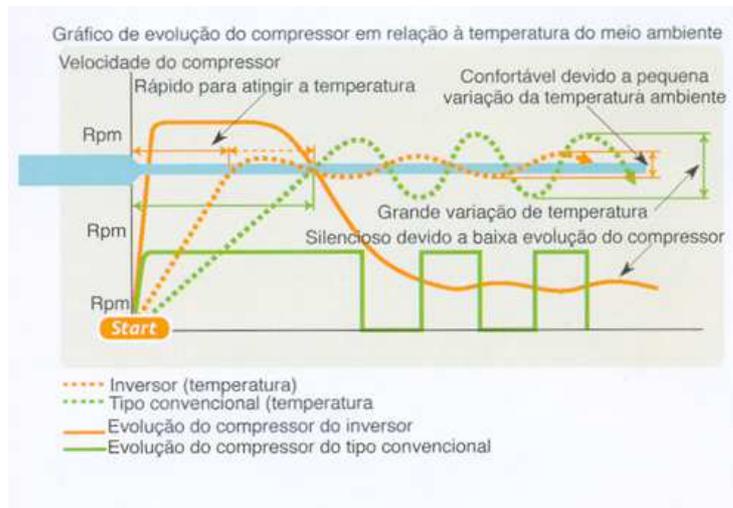
Permutadores de **média profundidade**

- Instalação na vertical até **25-30m**
- maior impacto ambiental
- elevado custo de instalação
- superfícies de desenvolvimento **pouco extensas**: elimina a necessidade de grandes áreas terreno livre



sistema **inverter**

ajusta **continuamente** a potência de arrefecimento e de aquecimento para se adaptar à temperatura pretendida (através da variação de frequência)



<http://tudosobrearcondicionado.blogspot.com/2012/04/o-que-e-split-inverter.html>

Introdução aos Sistemas de Climatização

68

rosario.fino@itecons.uc.pt

Climatização - Sistemas de Queima



Introdução aos Sistemas de Climatização

69

rosario.fino@itecons.uc.pt

Climatização: sistemas de queima

Biomassa

Estilha - madeira reduzida a lascas com comprimentos variáveis entre 2 e 5 cm. A madeira de base pode provir de resíduos de trabalhos industriais ou de culturas dedicadas de rápido crescimento e de tempo de vida curto (entre 2 e 5 anos)



Pellets - madeira reduzida em pequenos cilindros, obtidos da serradura prensada e compactada a alta pressão, com diâmetros variáveis de 6 a 12 mm, e comprimentos entre 10 e 13 mm



Pellets de **boa qualidade**

- não comprometem o rendimento térmico da combustão
- evitam depósitos de impurezas incrustantes
- não emitem para a atmosfera pós e fumos demasiado poluentes



Climatização: sistemas de queima

Biomassa

Madeira em cepo ou toros - obtida diretamente das árvores, em formas e medidas que permitem fácil armazenamento, transporte e utilização. Custo relativamente baixo



A madeira é classificada como **suave** ou **dura** com base no seu peso específico

- **Madeira suave** (abeto, pinheiro, choupo) tem um peso específico médio-baixo. Acende-se facilmente, consome-se rapidamente, com chama é longa
- **Madeira dura** (carvalho, faia, freixo, acácia) tem um peso específico médio-alto. Combustão lenta com chama curta. Mais durável do que a madeira suave, sendo assim mais adequada ao aquecimento doméstico

Briquetes de madeira - resíduos de material não tratado e comprimido a alta temperatura

- Queimam com chama baixa e contínua, semelhante ao do carvão fóssil (lenhite).
- Produzem menos fuligem, cinzas e enxofre, sendo assim mais limpos e com menor impacto ambiental
- Em relação aos cepos e toros, os briquetes são mais compactos e possuem poder calorífico mais elevado
- Baixos valores de humidade e de cinzas produzidas, o que facilita as operações de limpeza e manutenção.
- Custo mais elevado quando comparado com a madeira em cepos ou toros.



Climatização: sistemas de queima

Lareiras e salamandras

Lareiras abertas - câmara de combustão aberta

- Fornalha em contacto direto com o ambiente
- Baixo rendimento térmico - cerca de **10/15%**
- Autonomia é bastante limitada, uma vez que não é possível regular o ar de combustão

Lareiras fechadas - câmara de combustão fechada. No seu interior circula ar quente que pode ser utilizado para aquecer o local onde se encontra a lareira ou, com a utilização de condutas adequadas, os locais adjacentes

- Melhor rendimento térmico - cerca de **75/80%**
- Maior autonomia - é possível regular o ar de combustão

Salamandras - câmara de combustão diretamente ligada ao tubo de chaminé, e com uma única entrada para o ar exterior

- Rendimento térmico inferior a **60%**
- Muito poluentes

Salamandras modernas – a câmara de combustão possui várias entradas de ar permitindo queimar também os gases que se formam após a primeira fase de combustão: a primeira entrada de ar ativa a combustão primária da lenha. As outras entradas de ar ativam a combustão dos gases produzidos e não queimados na fase de combustão primária

- Rendimento térmico de **70 a 80%**
- Pouco poluentes



72

rosario.fino@itecons.uc.pt



Introdução aos Sistemas de Climatização

Climatização: sistemas de queima

Caldeiras a lenha

Caldeiras tradicionais de tiragem natural para uso doméstico com baixas potências
3 grupos: caldeiras com chama vertical, horizontal e invertida

Caldeiras com chama vertical

Tomada de ar primário em baixo e de ar secundário em cima. Chamas com orientação vertical. A combustão é rápida e sem controlo: forte no início, e, depois, muito fraca

- Baixo custo de aquisição
- Rendimento: **55/60%**

Caldeiras com chama horizontal

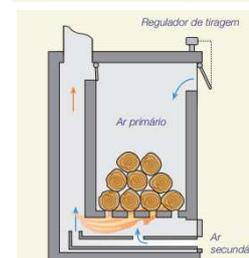
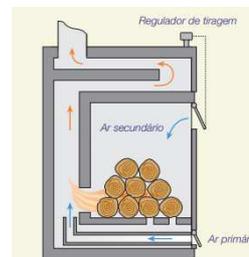
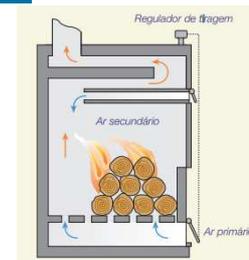
Entrada de ar primário lateral e de ar secundário em cima. Chamas com orientação horizontal, através e sob a grelha de suporte do combustível

- Entrada de ar mais controlada permitindo uma produção de calor mais regular
- Rendimento: **60/65%**

Caldeiras com chama invertida

Devido ao fluxo de ar primário ser em cima e do ar secundário em baixo, as chamas desenvolvem-se por baixo da grelha de suporte do combustível.

- Combustão de boa qualidade
- Reduzida emissão de fumos e de substâncias poluentes.
- Rendimento: **65/70%**



rosario.fino@itecons.uc.pt



https://www.caleffi.com/sites/default/files/file/hidraulica_31.pdf

Introdução aos Sistemas de Climatização

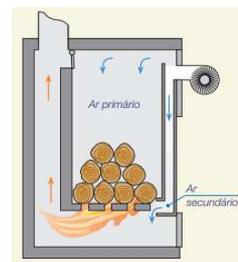
Climatização: sistemas de queima

Caldeiras a lenha

Caldeiras tradicionais de tiragem forçada

Tipo de combustão bastante semelhante ao das caldeiras tradicionais de tiragem natural e com chama invertida. Possuem um ventilador que serve para incrementar, e manter controlado, o ar que ativa a combustão.

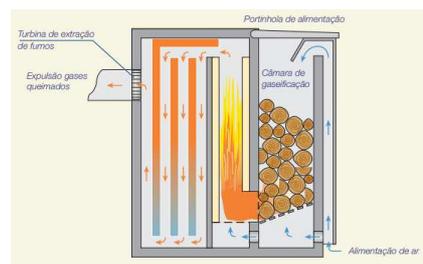
- Menos poluição
- Melhor rendimento: **75/80%**



Caldeiras de Gaseificação

A combustão é realizada em três fases distintas:

1. O combustível carregado é seco;
 2. Gaseificado a baixa temperatura e sem entrada de oxigénio;
 3. O gás assim obtido é misturado com o ar secundário, sendo esta a mistura que gera e alimenta a combustão.
- Não funciona bem em regime reduzido ou descontinuo: recomenda-se o uso de depósitos acumuladores
 - Maior duração das cargas de lenha
 - Menor emissão de poeiras e fumos poluentes
 - Rendimento: **> 90%**



https://www.caleffi.com/sites/default/files/file/hidraulica_31.pdf

Introdução aos Sistemas de Climatização

74

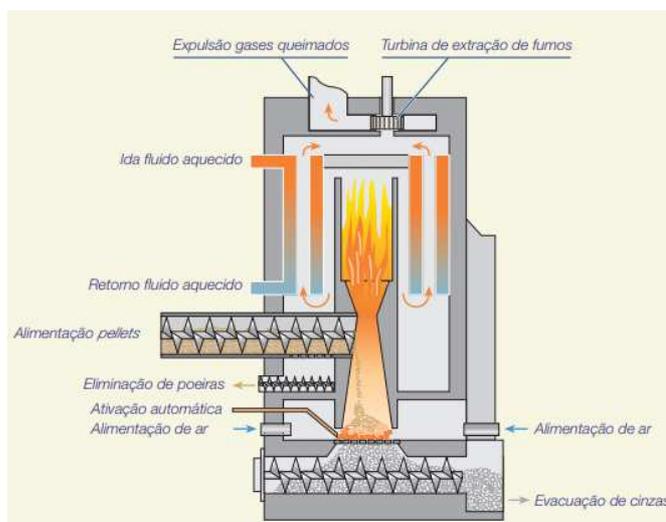
rosario.fino@itecons.uc.pt

Climatização: sistemas de queima

Caldeiras a pellets

Completamente automatizadas.

- A **alimentação** é obtida através de um **parafuso sem fim**, que retira os pellets do contentor e os transporta até ao queimador. Uma engrenagem do mesmo tipo efetua também a **expulsão das cinzas**
- **Rápida ativação** automática obtida com a ajuda de uma resistência elétrica
- Nos sistemas mais evoluídos, a **alimentação de ar e o fluxo dos pellets** são regulados através de microprocessadores.
- No caso de **falha de corrente elétrica** ou de **paragem da bomba** de circulação, o risco da água entrar em ebulição **é muito limitado**, quer pela possibilidade de bloqueio imediato da alimentação de pellets, quer pela existência de pouco combustível na fornalha
- Poluição baixa
- Rendimento: **85/90%**



https://www.caleffi.com/sites/default/files/file/hidraulica_31.pdf

Introdução aos Sistemas de Climatização

75

rosario.fino@itecons.uc.pt

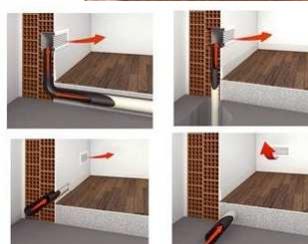
Climatização: sistemas de queima

Caldeiras a biomassa

Aquecimento local

Destinadas a serem instaladas num espaço útil

- aquecem localmente
- através de sistema de distribuição de **ar aquecido** podem aquecer outras divisões-
Aquecimento central



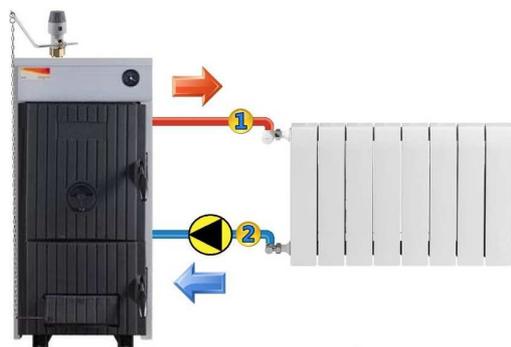
Climatização: sistemas de queima

Caldeiras a biomassa

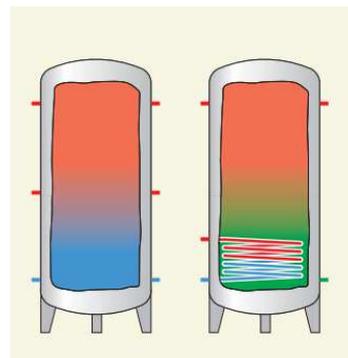
Aquecimento central

Destinadas a serem instaladas num espaço **não útil**

- através de sistema de distribuição de **água aquecida** aquecem outras divisões (radiadores)
- Produção de AQS



Devem ser Instalados **hidroacumuladores** de forma a armazenar o calor produzido em excesso pela caldeira para posterior utilização; permitem a produção **direta de água quente sanitária**



Climatização: sistemas de queima

Caldeiras a biomassa

Regulação do fluido tipo descontínuo

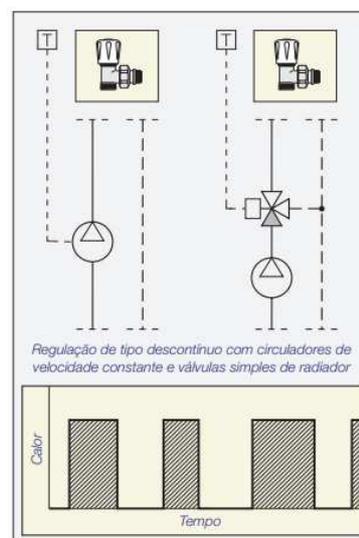
Regulações ON-OFF

- termostatos de duas posições. Com base na sua temperatura de regulação e na de ambiente, ativam ou desativam o envio de fluido aos radiadores;
- Os períodos de ativação ou desativação podem durar entre poucos minutos e várias horas (a sua duração depende essencialmente das temperaturas externas, da inércia térmica e dos diferenciais de intervenção dos termostatos);
- Circuladores de velocidade constante;
- Baixo custo;
- Fácil gestão.

caldeiras a biomassa- não é possível um bloqueio imediato do calor

o calor continua a ser produzido, mesmo depois dos radiadores **já não dispersarem** calor no ambiente

Temperatura da água pode atingir valores capazes de acionar os dispositivos de **rearme manual**, de **alarme**, de **segurança** e de **descarga térmica**



https://www.caleffi.com/sites/default/files/file/hidraulica_31.pdf

Introdução aos Sistemas de Climatização

78

rosario.fino@itecons.uc.pt

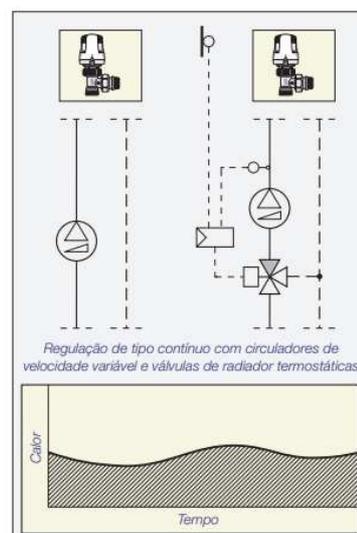
Climatização: sistemas de queima

Caldeiras a biomassa

Regulação do fluido tipo contínuo

Regulações tipo climático, termostático ou misto

- Apenas cedem o calor necessário para manter os espaços na temperatura programada;
- Permitem distribuição de água sem intervalos de descontinuidade, com base essencialmente nos valores das temperaturas externas;
- Evitam sobreaquecimentos da água na caldeira;
- Circuladores de velocidade variável;
- Maior conforto e equilíbrio térmico;
- Mais adequadas para garantir um bom funcionamento das instalações com caldeiras a combustível sólido.



https://www.caleffi.com/sites/default/files/file/hidraulica_31.pdf

Introdução aos Sistemas de Climatização

79

rosario.fino@itecons.uc.pt

Climatização: sistemas de queima

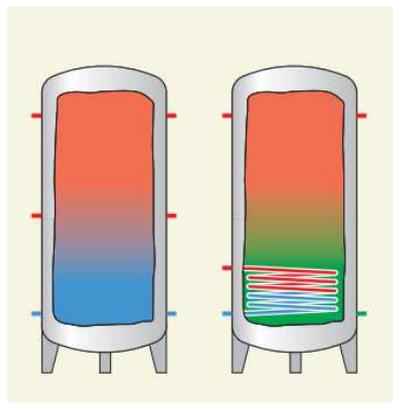
Caldeiras a biomassa

Nas fases de **forte desaceleração da combustão** as caldeiras a combustível sólido **baixam** consideravelmente o seu **rendimento** e produzem muito fumo denso e poluente.

Solução: Instalar **hidroacumuladores** de forma a armazenar o calor produzido em excesso pela caldeira para posterior utilização.

Para caldeiras a pellets **25/30 l** por cada **kW** de potência nominal.

Os hidroacumuladores podem servir também para a produção **direta de água quente sanitária** e também para ligações que integrem várias fontes de calor (caldeiras a gás, painéis solares, geotérmico).



https://www.caleffi.com/sites/default/files/file/hidraulica_31.pdf

Introdução aos Sistemas de Climatização

80

rosario.fino@itecons.uc.pt

Climatização: sistemas de queima

Caldeiras a gás, gasóleo

- Aquecimento central
- Produção de AQS



Mural



Mural de condensação



De chão



Introdução aos Sistemas de Climatização

81

rosario.fino@itecons.uc.pt

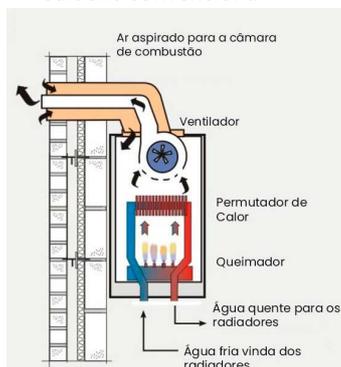
Climatização: sistemas de queima

Caldeiras a gás

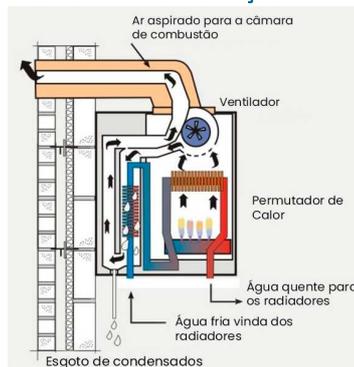
Os gases de combustão passam pelo permutador de calor e entram em combustão. Cerca de 30% do calor é perdido

- Rendimento de **86/90%**

Caldeira convencional



Caldeira de condensação



Os gases de combustão passam pelo **permutador de calor primário** e são **direcionados ao permutador secundário**. À medida que **condensam**, **libertam calor** que é **reaproveitado**

- Arrefece os gases de combustão
- O processo de condensação aproveita o **calor latente da mudança de fase** dos gases da combustão
- **Rendimentos** que podem ser **superiores a 100%**; Em sistemas de aquecimento a baixa temperatura (Piso radiante, radiadores de baixa temperatura), a caldeira irá condensar a maior parte do tempo em que funciona, pelo que o seu rendimento será superior
- Reduz consideravelmente as emissões de CO₂

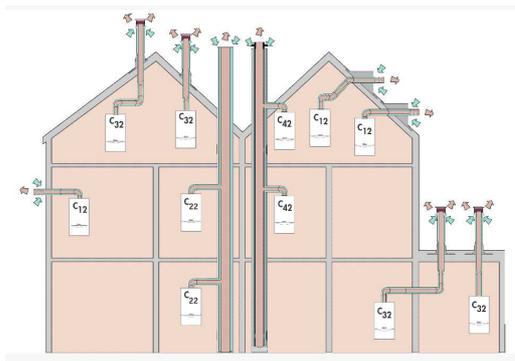


Climatização: sistemas de queima

Caldeiras a gás estanques e ventiladas

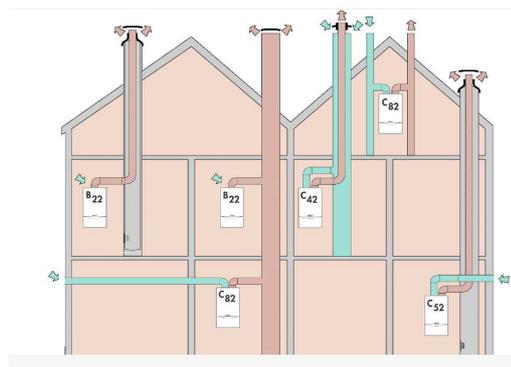
Caldeira estanque

O ar necessário para o funcionamento do queimador vem de um **local diferente** do local de instalação do equipamento, sendo os gases de exaustão enviados para o exterior pela mesma tubagem.



Caldeira ventilada

O ar necessário para o funcionamento do queimador **vem do local de instalação** do equipamento, sendo os gases de exaustão enviado para o exterior pela chaminé do edifício



Climatização: efeito de Joule

Aquecimento local



Incorpora um ventilador para promover a transferência de calor (convecção forçada)



AQS: sistemas solares



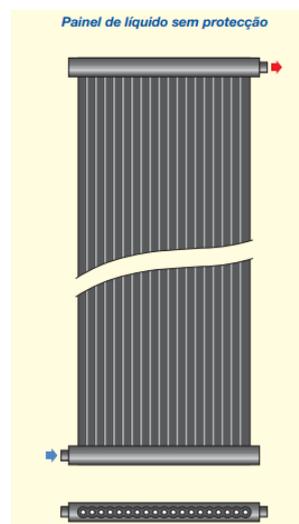
Painéis solares

Painéis de alta temperatura estão equipados com espelhos para concentrar os raios solares. O seu custo, bastante elevado, torna-os adequados apenas para exigências específicas e bastante limitadas.

Painéis de baixa temperatura são constituídos por simples placas absorventes. São utilizados sobretudo para produzir água quente e aquecer ambientes.

Painéis de líquido sem protecção

- Constituídos por uma placa absorvente fabricada em material plástico
- Por falta de cobertura, não podem superar 40/45°C.
- São utilizados essencialmente para aquecer **piscinas**
- O **baixo custo** é a sua principal vantagem
- Sujeitos a problemas de “envelhecimento” relacionados quer com os materiais quer com a tecnologia utilizada na sua produção



86

rosario.fino@itecons.uc.pt



www.caleffi.com/sites/default/files/file/Hidráulica_25.pdf

Introdução aos Sistemas de Climatização

AQS: sistemas solares

painéis de líquido com protecção

São os painéis mais utilizados nas instalações domésticas. Para instalações de pequenas dimensões, estão também disponíveis com depósito incorporado.

- Podem produzir água quente até 90/95°C
- O seu rendimento diminui de uma forma significativa acima dos 65/70°C
- Não necessitam de soluções de utilização complexas
- Bom rendimento
- Custos relativamente baixos

Constituídos por:

- placa absorvente metálica (em cobre, alumínio ou aço) que inclui também os tubos de passagem do líquido solar;
- placa de vidro ou de plástico com uma boa transparência às radiações emitidas pelo sol e elevada opacidade às emitidas pela placa absorvente;
- painel em material isolante, colocado por baixo da placa absorvente;
- invólucro de contenção para proteger os componentes acima descritos e limitar as dispersões térmicas do painel.



87

rosario.fino@itecons.uc.pt



www.caleffi.com/sites/default/files/file/Hidráulica_25.pdf

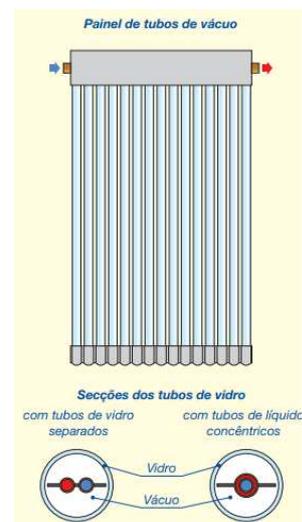
Introdução aos Sistemas de Climatização

AQS: sistemas solares

painéis de tubos de vácuo

Constituídos por uma série de tubos de vidro sob vácuo no interior dos quais estão colocadas placas absorventes em tiras, limitando assim as dispersões térmicas dos painéis e assegurando rendimentos mais elevados.

- Apropriados para zonas com baixas temperaturas externas
- Podem produzir água quente até uma temperatura de 115/120°C
- Utilizados no sector industrial, alimentar e agrícola
- Custo elevado

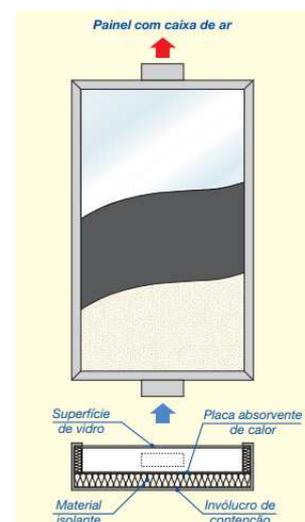


AQS: sistemas solares

painéis com caixa de ar

Constituídos por um contentor tipo caixa com a superfície superior transparente (de vidro ou plástico) e com isolamento térmico tanto no fundo como nas paredes laterais. A placa absorvente é uma simples chapa metálica (de aço ou cobre) sobre a qual (e por vezes também por baixo) corre livremente um fluxo de ar.

- **Rendimento baixo**
- Muito leves
- Não expostos ao perigo de congelamento ou ebulição (sem líquido)
- Utilizados sobretudo para aquecer o ar ambiente e para secar produtos agrícolas
- **Baixo custo**



AQS: sistemas solares

Circulação do líquido solar

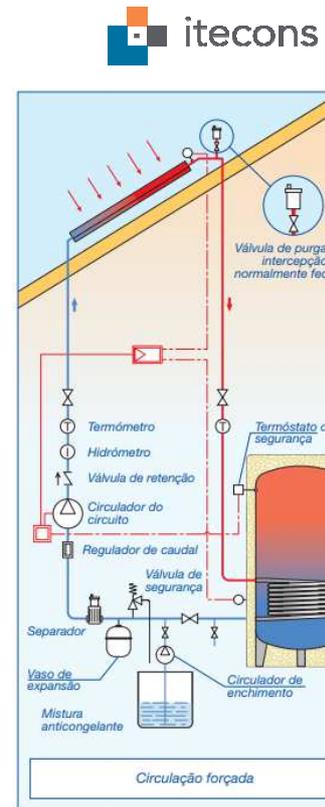
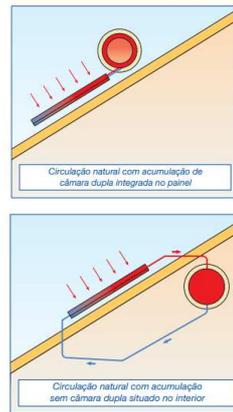
Circulação natural

O líquido solar, ao **aquecer** nos painéis, torna-se **mais leve** do que o líquido contido nos depósitos, ativando assim uma **circulação natural**.

Para que seja possível a circulação natural, os **depósitos** devem estar colocados a uma **altura superior** à dos painéis.

Circulação forçada

Circulação com auxílio de **bombas circuladoras** ativadas apenas quando o **líquido solar** nos **painéis** se encontra a uma **temperatura mais elevada** do que a água contida no depósitos de acumulação.



90

rosario.fino@itecons.uc.pt



www.caleffi.com/sites/default/files/file/Hidráulica_25.pdf
Introdução aos Sistemas de Climatização

AQS: sistemas solares

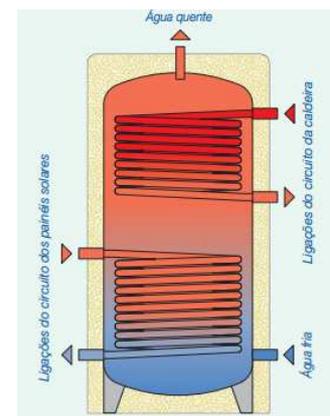
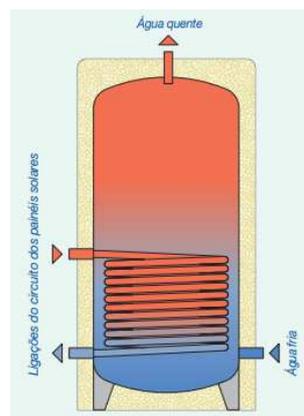
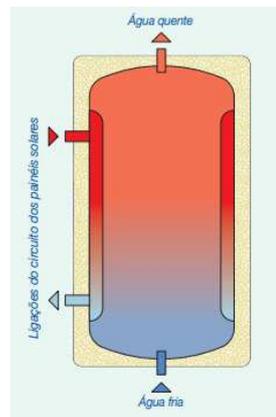
Depósitos de acumulação

Depósito com câmara interna

Apresentam, na sua superfície lateral, uma câmara onde pode circular o líquido proveniente dos painéis. Usados em pequenas instalações

Depósito com serpentina simples ou dupla

Depósitos de serpentina. Podem ser simples ou de dupla serpentina. Os depósitos de serpentina simples servem apenas para acumular calor. Os depósitos de serpentina dupla têm ligação a um sistema de apoio.



rosario.fino@itecons.uc.pt



www.caleffi.com/sites/default/files/file/Hidráulica_25.pdf
Introdução aos Sistemas de Climatização

AQS: sistemas solares

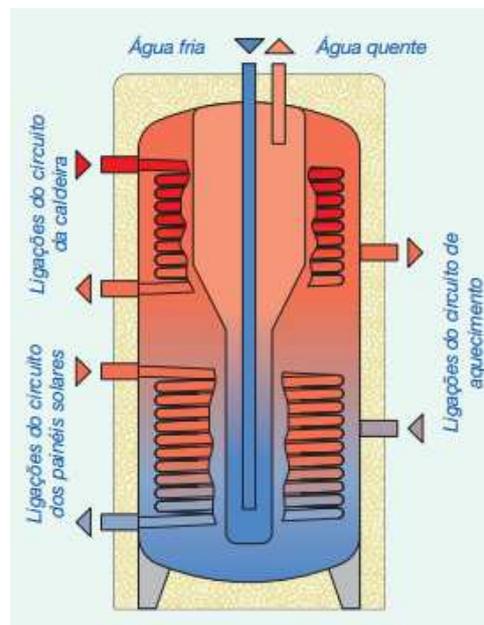
Depósitos de acumulação

Depósito combinado

São utilizados em instalações solares combinadas, que produzem **água quente sanitária** e aquecimento.

O **depósito grande** contém a água que serve para fazer funcionar a instalação de **aquecimento**. O **pequeno** contém água que se destina a alimentar o **instalação sanitária**.

Estes depósitos facilitam a realização dos instalações solares combinados, já que permitem ligar diretamente ao depósito todos os circuitos: o circuito solar, o circuito de integração do calor da caldeira, o circuito da instalação de aquecimento e o circuito da água quente sanitária.



AQS: sistemas solares

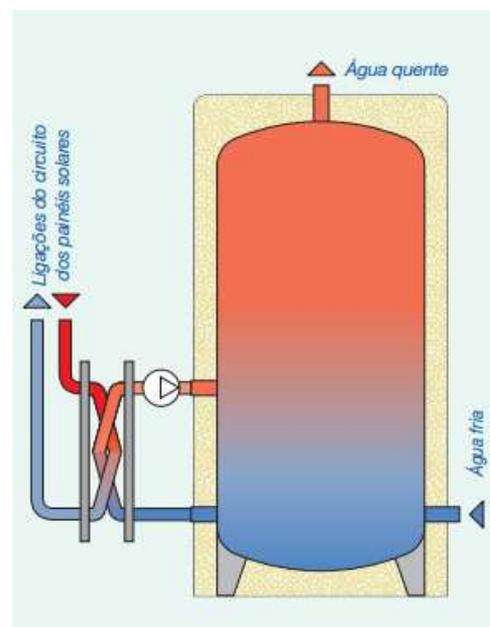
Depósitos de acumulação

Depósitos simples com permutador externo

Constituídos por simples depósitos de acumulação. A troca térmica com o líquido proveniente dos painéis é efetuada com **permutadores externos** de placas ou tubulares. A utilização de permutadores externos:

- Permite uma troca térmica de potências mais elevadas;
- Possibilidade de **servir vários depósitos** com um único permutador;
- Facilita, dada a autonomia dos depósitos dos permutadores, a realização de variantes e integrações do sistema de acumulação.

Utilizados em instalações de média e grandes dimensões.

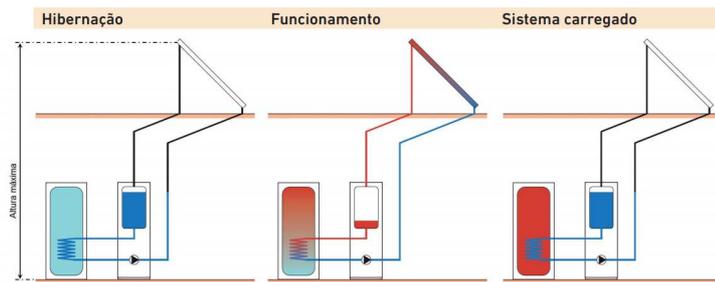
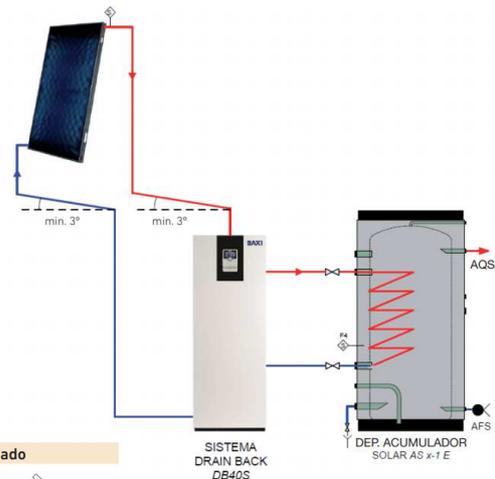


AQS: sistemas solares

Sistema solar drain back

O líquido do circuito solar **não enche** completamente a instalação mantendo os **coletores solares vazios**.

- Existe simultaneamente procura de **calor** e **radiação solar**: a bomba do circuito funciona, transferindo o **líquido solar** contido no aparelho drainback **para os coletores**.
- Uma vez **satisfeita** a procura de **calor**, a **bomba desliga** e o líquido solar volta ao depósito drainback por efeito da gravidade. Desta forma, ainda que a radiação solar se mantenha, evita-se a formação de vapor e a degradação do anticongelante.



AQS: bombas de calor dedicadas

Bomba de calor AQS

- Apenas **unidade interior**
- Destinada a ser instalada no **interior**
- Bom rendimento



Bomba de calor AQS com apoio solar



Termoacumulador



- Perdas estáticas
- Fácil instalação
- Capacidade limitada de água quente

Aquecimento instantâneo de água elétrica



- Sem perdas estáticas
- Exige **potência elétrica elevada**
- Fácil instalação
- Água quente em contínuo



Ventilação



A **ventilação** é o processo em que **ar novo** é fornecido aos ocupantes, promovendo a **diluição da concentração de poluentes** ou a sua **remoção**.

O conhecimento da ventilação e infiltrações de ar no edifício torna-se necessária para quantificar:

- As necessidades de renovação do ar de modo a assegurar a qualidade do ar interior.
- O impacto da renovação do ar na carga de aquecimento/arrefecimento.

Do ponto de vista do consumo energético, as **perdas** resultantes da **renovação do ar** podem ser **mais de metade** do **consumo de energia primária** de um edifício.



Ventilação para arrefecimento

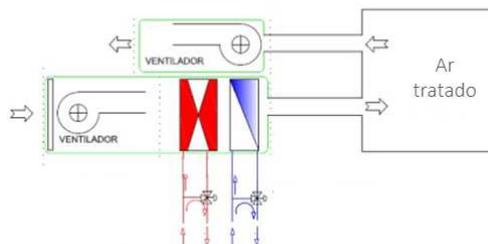
Em edifícios sem sistemas de arrefecimento, **elevadas taxas de renovação de ar** mostram-se **eficientes na promoção do conforto térmico interior**, uma vez que **removem as cargas internas**.

Ventilação mecânica

A ventilação mecânica é obtida através do uso de ventiladores e, normalmente, com recurso a uma rede de condutas em que são instaladas grelhas/difusores. O ar novo em grandes edifícios é usualmente filtrado e acondicionado.

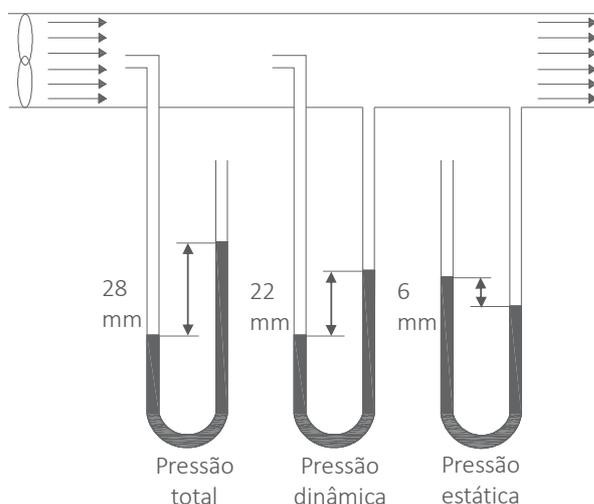
Usada para:

- Garantir a **qualidade do ar interior** através da introdução de **ar novo** e **remoção do ar viciado**;
- Pode ainda ser usada para **climatização** dos espaços, se instaladas baterias de aquecimento e /ou arrefecimento



Pressão dinâmica, pressão estática e pressão total

A pressão por meio da qual o ventilador empurra ou puxa o ar é chamada de pressão total (P_t), que é a soma da pressão dinâmica (P_d) com a pressão estática (P_e) do ar. A pressão do ar dentro da conduta é medida por um manómetro em U.



Quando a pressão é medida com uma das colunas do manómetro no centro da conduta e a outra aberta para a atmosfera, obtém-se **pressão total**.

A **pressão dinâmica** está relacionada à **velocidade do ar**, medida com uma das colunas do manómetro no centro da conduta e a outra a atravessar a parede da conduta sem entrar nela.

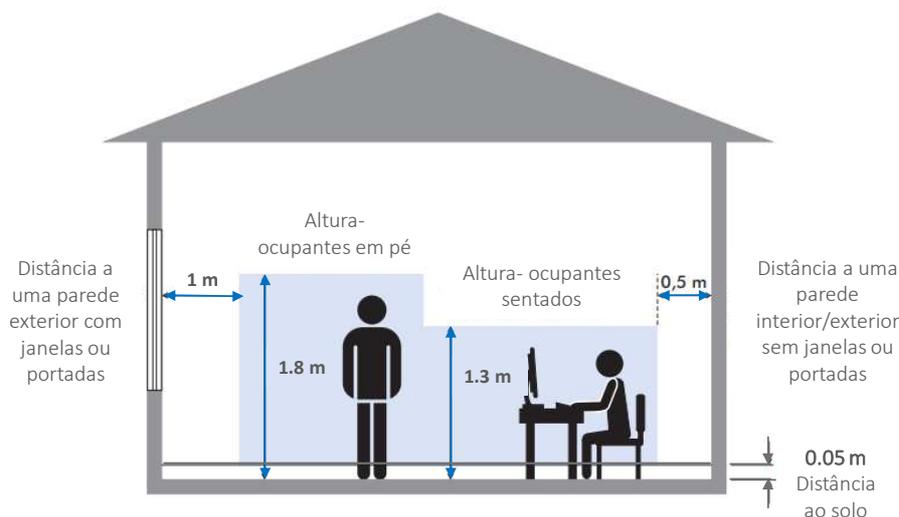
A **pressão estática** é resultante do **atrito entre o ar e a conduta** e depende do tipo de material com qual a conduta é fabricada. Quanto maior a rugosidade do material maior será o valor desta pressão. É medida com uma coluna a atravessar a parede da conduta sem entrar nela e a outra aberta para a atmosfera.

100



Zona ocupada (EN 13779)

- Ruído (nível de pressão sonora) < 40dB(A)
- Temperatura: entre 20 e 25°C
- Humidade relativa: entre 40 a 60 % Hr
- Velocidade média do ar: entre 0.05 e 0.15 m/s (máximo 0.2 m/s)
- Diferenças de temperaturas entre a altura do tornozelo e altura da cabeça < 2°C, com máximo de 3°C (pessoas sentadas)

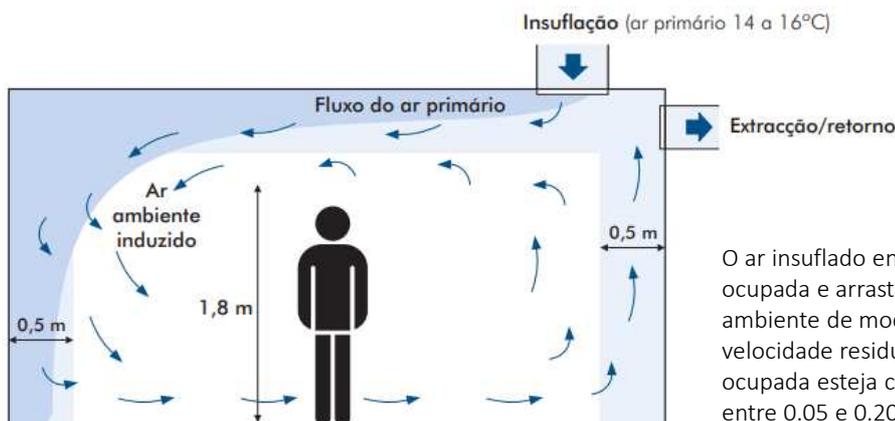


Ventilação

Eficácia da ventilação

A extração do ar, pouca ou nenhuma influência tem na distribuição do ar na zona ocupada.
A insuflação do ar tratado no espaço ambiente pode ser feita de acordo com duas estratégias:

- Difusão por mistura de ar
todo o espaço é homogéneo em termos de temperatura e poluentes



O ar insuflado envolve toda zona ocupada e arrasta (induz) o ar ambiente de modo a que a velocidade residual na zona ocupada esteja compreendida entre 0.05 e 0.20 m/s



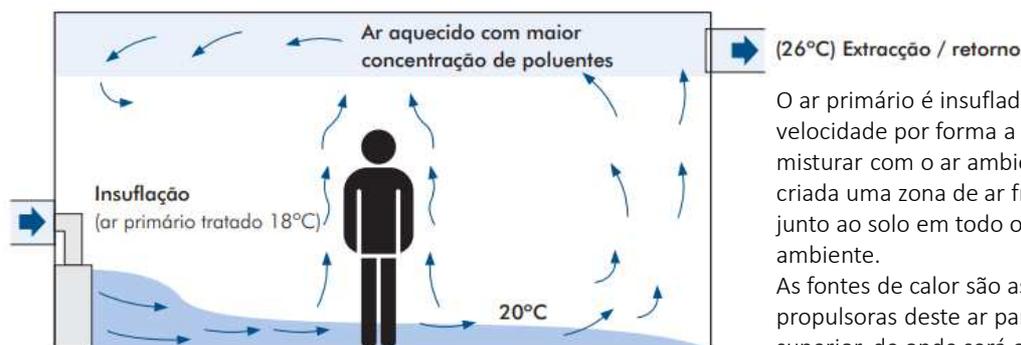
Ventilação

Eficácia da ventilação

A extração do ar, pouca ou nenhuma influência tem na distribuição do ar na zona ocupada.
A insuflação do ar tratado no espaço ambiente pode ser feita de acordo com duas estratégias:

- Difusão por deslocamento

Ar tratado e com baixo teor de poluentes. Desvantagem: estratificação das temperaturas do ar desde o nível do chão até à zona do teto.



O ar primário é insuflado a baixa velocidade por forma a não se misturar com o ar ambiente. É criada uma zona de ar fresco junto ao solo em todo o espaço ambiente.
As fontes de calor são as propulsoras deste ar para a zona superior, de onde será extraído.



Ventilação

Constituintes de um sistema de ventilação

- Ventiladores;
- Conduatas;
- Elementos auxiliares.

Dependendo do sistema, os **elementos auxiliares** podem ser os seguintes

- **Registos** de controle, que funcionam como as “válvulas” dos sistemas de ventilação. Podem ser manuais ou automáticos e têm a função de controlar e ajustar o caudal de ar insuflado/extraído;
- **Registos corta fogo**: devem isolar os ambientes do fumo gerado em caso de incêndio;
- **Filtros**, aplicados para reter poeiras;



Ventilação

Dependendo do sistema, os elementos auxiliares podem ser os seguintes:

- **Atenuadores de som**, usados para reduzir o nível de ruído produzido pelo ventilador;
- **Caixas de mistura**, utilizadas para misturar diversas correntes de ar para garantir a especificação do ar a insuflar no ambiente. Por exemplo: o ar de retorno de um ambiente com condicionamento de ar e o ar exterior são misturados na caixa de mistura para garantir uma taxa de renovação específica e manter em nível baixo a concentração de contaminantes, como por exemplo o CO₂;
- **Grelhas/difusores**, instalados na extremidade das conduatas, para distribuição/remoção adequada do ar dos ambientes.

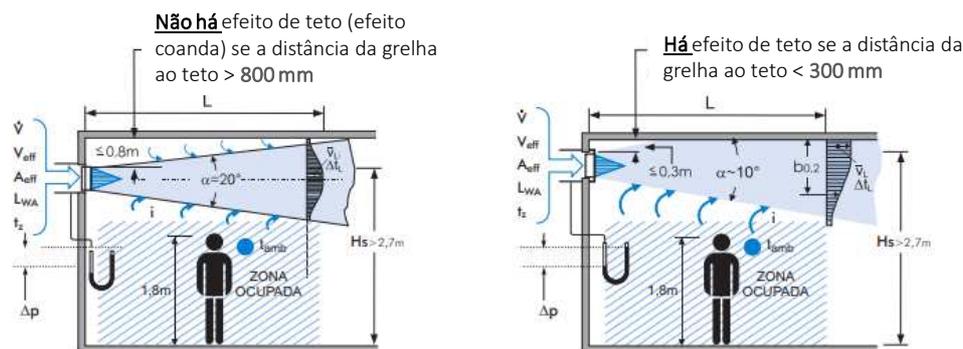


Elementos terminais: Insuflação em espaços com 2.6 a 4 m de pé-direito

▪ Grelhas

Não podem ser montadas no teto. Montagem na parede condiciona o caudal máximo a insuflar

- Adequadas para espaços pequenos;
- O caudal máximo não deve exceder as 10 rph ($Q_{\text{máx}} < \text{volume da sala} \times 10 \text{ rph}$);
- Devem ser colocadas o mais alto possível junto ao teto;
- As grelhas de insuflação podem ser de dupla fiada de lâminas móveis e **registo de regulação de caudal** ou de lâminas **horizontais fixas e 2º conjunto de lâminas verticais móveis**.



https://www1.contimetra.com/Conteudos_F/AC/fichas/trox/grelhas/003_distribuicao_do_ar_trox.pdf

Introdução aos Sistemas de Climatização

106

rosario.fino@itecons.uc.pt

Elementos terminais: Insuflação em espaços com 2.6 a 4 m de pé-direito

▪ Difusores rotacionais

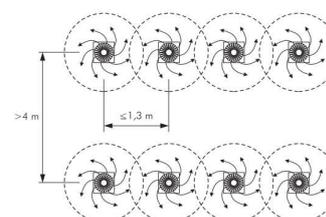
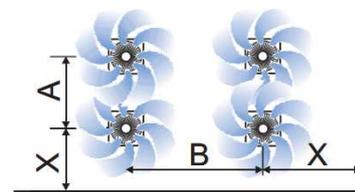


Solução mais adequada:

- Em flexibilidade de montagem (podem ser montados em espaços com ou sem teto falso);
- Ao nível da indução do ar ambiente;
- Na variação do caudal nominal;
- Próprios para sistemas VAV.

Vantagens:

- Rápida uniformização da velocidade do ar e da temperatura na zona de ocupação;
- Elevado caudal de ar para remoção de carga térmica ambiente (30 rph);
- Podem ser colocados em fiadas com distância entre eles muito curta ($\leq 1.3 \text{ m}$) sem que se verifique desconforto na zona de ocupação.



https://www1.contimetra.com/Conteudos_F/AC/fichas/trox/grelhas/003_distribuicao_do_ar_trox.pdf

Introdução aos Sistemas de Climatização

107

rosario.fino@itecons.uc.pt

Ventilação

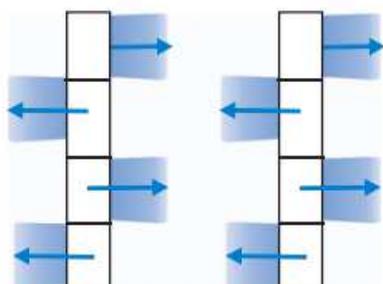
Elementos terminais: Insuflação em espaços com 2.6 a 4 m de pé-direito



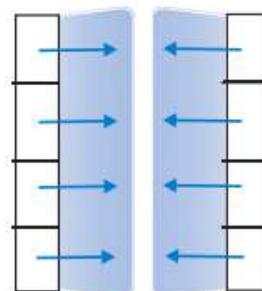
- Difusores lineares

- Ótima solução de difusão: distribuição uniforme do ar em todo o espaço;
- Bastante flexíveis na orientação do fluxo de ar - considerando a orientabilidade dos seus mini-defletores
- Elevado grau de indução;
- Em sistemas VAV é necessário uma atenção particular ao caudal mínimo aceitável.

Ajuste dos defletores alternados



Ajuste dos defletores unidireccionais



https://www1.contimetra.com/Conteudos_F/AC/fichas/trox/grelhas/003_distribuicao_do_ar_trox.pdf

Introdução aos Sistemas de Climatização

108

rosario.fino@itecons.uc.pt

Ventilação

Elementos terminais: Insuflação em espaços com 2.6 a 4 m de pé-direito

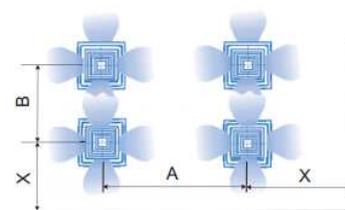
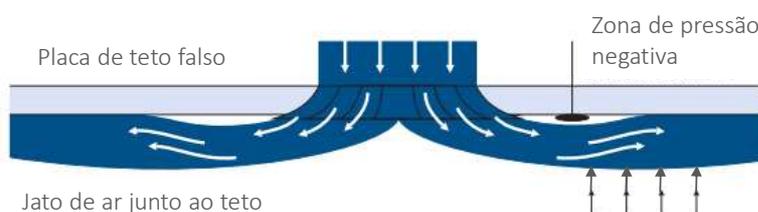
- Difusores radiais- saída do ar, a partir do difusor, uniforme em todas as direções, normalmente 360º

Solução mais adequada:

- Quando o número de renovações não excede as 20 rph;
- É imprescindível a sua montagem em teto falso caso contrário a sua performance baixa consideravelmente;
- Em sistemas VAV é necessário uma atenção particular ao caudal mínimo aceitável.



Efeito de teto ou efeito de coanda



A pressão do ar ambiente “cola” o jato de ar ao teto



https://www1.contimetra.com/Conteudos_F/AC/fichas/trox/grelhas/003_distribuicao_do_ar_trox.pdf

Introdução aos Sistemas de Climatização

109

rosario.fino@itecons.uc.pt

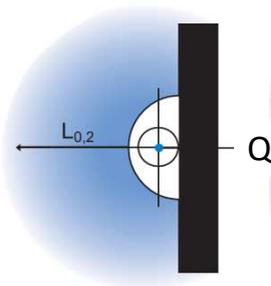
Ventilação

Elementos terminais: Insuflação em espaços com 2.4 a 6 m de pé-direito

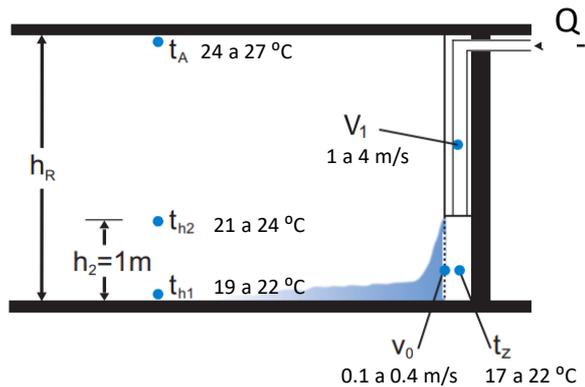
- Difusores de deslocamento

Solução mais adequada:

- Quando a qualidade do ar é determinante;
- Indicados para espaços com pé direitos elevados (salas de espetáculo, auditórios, grandes hall...)



$L_{0,2}$ Zona de sombra não ocupável (velocidade residual superior a 0.2 m/s)



110



https://www1.contimetra.com/Conteudos_F/AC/fichas/trox/grelhas/003_distribuicao_do_ar_trox.pdf

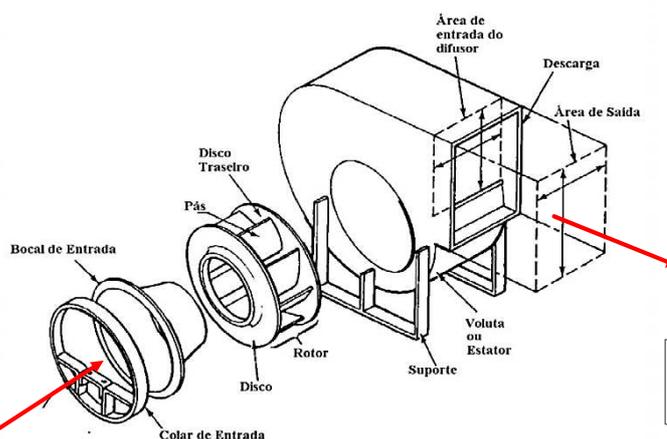
Introdução aos Sistemas de Climatização

rosario.fino@itecons.uc.pt

Ventilação

Tipos de ventiladores

Centrífugos: rotor que gira em alta rotação no interior de uma carcaça com formato em espiral. O ar entra no ventilador na direção axial ao eixo de rotação sendo movido do centro para a periferia do rotor por ação da força centrífuga, saindo perpendicular ao mesmo eixo



Componentes de um ventilador centrífugo

111

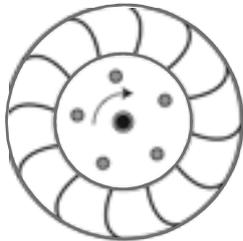


feg.unesp.br

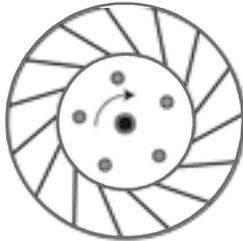
Introdução aos Sistemas de Climatização

rosario.fino@itecons.uc.pt

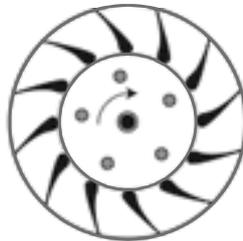
Ventiladores centrífugos: tipos de pás



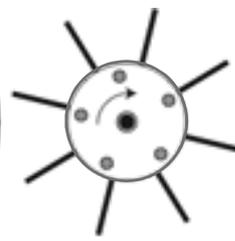
Pás curvadas para trás



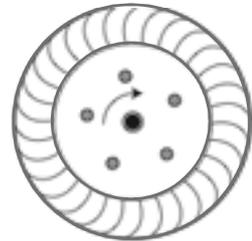
Pás radiais inclinadas para trás



Pás aerodinâmicas



Pás radiais



Pás curvadas para frente

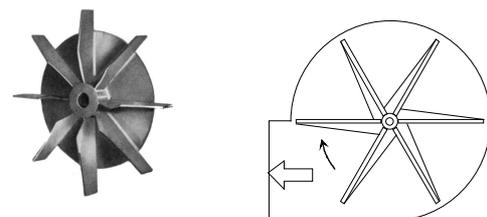
as pás são retas, mas colocadas com um ângulo diferente de 90°

as pás são retas, no sentido do raio

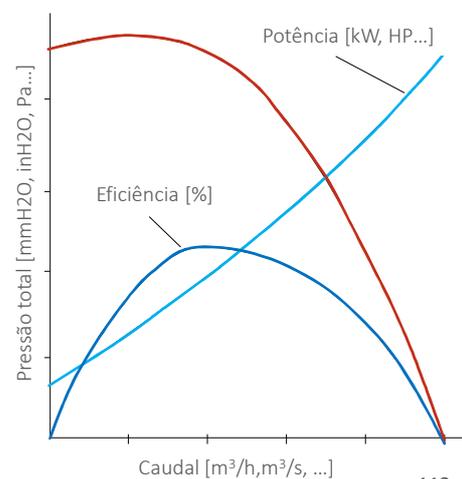


Ventiladores centrífugos: tipos de pás

- Pás retas
 - Construção simples;
 - Opera em altas temperaturas;
 - Faixa de operação típica entre 40 e 85 % do caudal máximo;
 - Nível elevado de ruído;
 - Eficiência máxima - de 65 a 75 %.



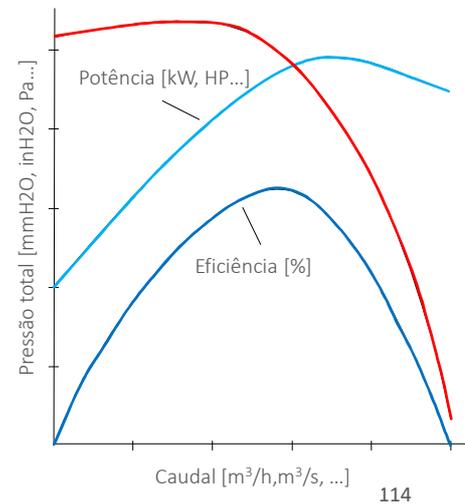
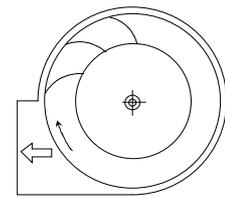
Curva característica de um ventilador é a relação entre a pressão total e o caudal



Ventilação

Ventiladores centrífugos: tipos de pás

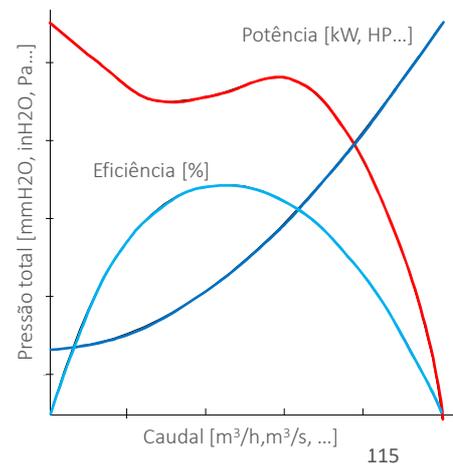
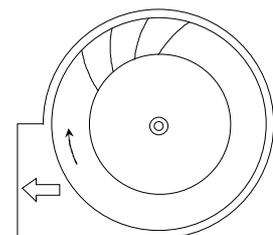
- pás curvadas para trás
 - O mais **eficiente** entre os centrífugos;
 - A velocidade do **escoamento é a menor - ruído menos intenso** (canal formado pelas alhetas tem a forma apropriada para o escoamento do ar através do rotor);
 - Muito **utilizado** em sistemas de **condicionamento de ar**;
 - Modelos mais sofisticados, de maior potência têm pás com perfil aerodinâmico (mais eficientes e menos ruidosos);
 - Curva de potência: o **valor máximo** ocorre em um ponto operacional equivalente a **70% ~ 80%** do **caudal máximo** – elimina os problemas de sobrecarga por projeto incorreto ou operação inadequada do sistema de ventilação.



Ventilação

Ventiladores centrífugos: tipos de pás

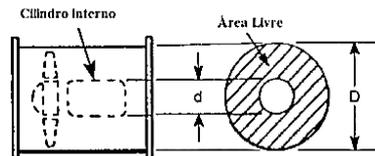
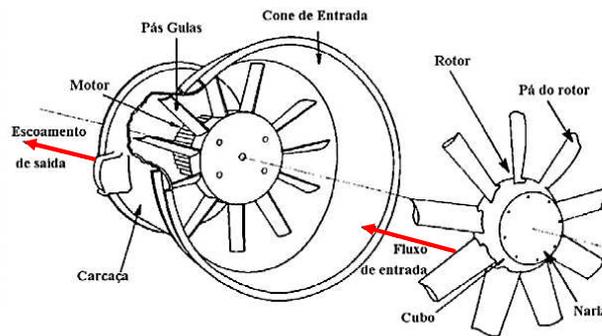
- pás curvadas para a frente
 - Curva característica é uma extensa **faixa de pressão quase constante** - particularmente adequado para aplicação em sistemas onde se deseja minimizar a influência de alterações de dispositivos, como os registos de controle de caudal;
 - Ramo **instável** da curva característica, na faixa das baixas pressões
 - A **potência aumenta** com o **aumento do caudal**, requerendo cuidado na determinação do ponto de operação do sistema e na seleção do motor de acionamento, que pode 'queimar' se o caudal resultante for muito superior ao projetado;
 - **Menor eficiência** (50 e 65%) que a do centrífugo de pás curvadas para trás.



Ventilação

Tipos de ventiladores

Axiais: Quando o ar entra e sai paralelamente ao eixo do rotor



$$\text{Razão de Área Livre} = 1 - \frac{d^2}{D^2}$$

Componentes de um ventilador axial

116

rosario.fino@itecons.uc.pt



feg.unesp.br

Introdução aos Sistemas de Climatização

Ventilação

Ventiladores axiais

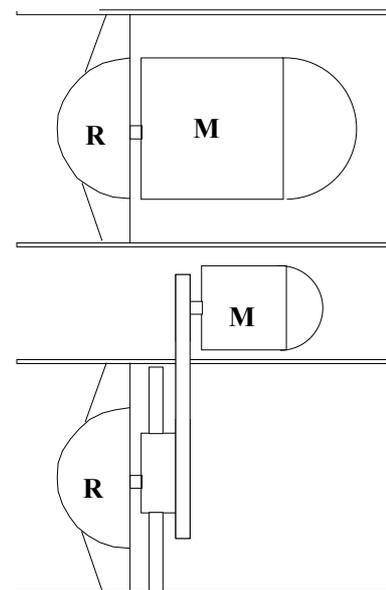


O ventilador **axial** é constituído por um **rotor axial** e uma **carcaça tubular** que o envolve.

O **motor** pode ser diretamente **conectado ao rotor**, estando exposto ao escoamento do ar, ou colocado **sobre a carcaça**, acionando o rotor através de **polias e correia**.

O **ar insuflado** deixa a carcaça tubular com alta vorticidade, o que impede, por vezes, a sua aplicação em sistemas onde a **distribuição do ar é crítica** ou exige a aplicação de retificadores de escoamento.

Como qualquer máquina de fluxo axial, é aplicado em sistemas com **caudal elevado** e **baixa pressão**.



117

rosario.fino@itecons.uc.pt



www.fem.unicamp.br/sisflu09

Introdução aos Sistemas de Climatização

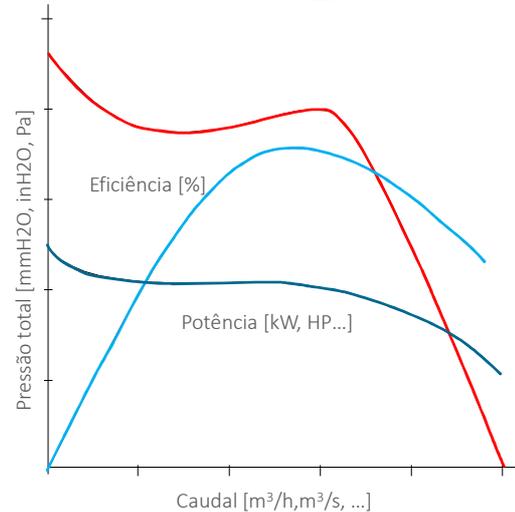
Ventilação

Ventiladores axiais



A sua **curva característica** apresenta uma região de instabilidade.

A **potência é máxima** quando o **caudal é nulo** - a potência máxima é dissipada em recirculação através do rotor.



Ventilação

Curva de ventiladores

Velocidade variável

Variáveis de entrada

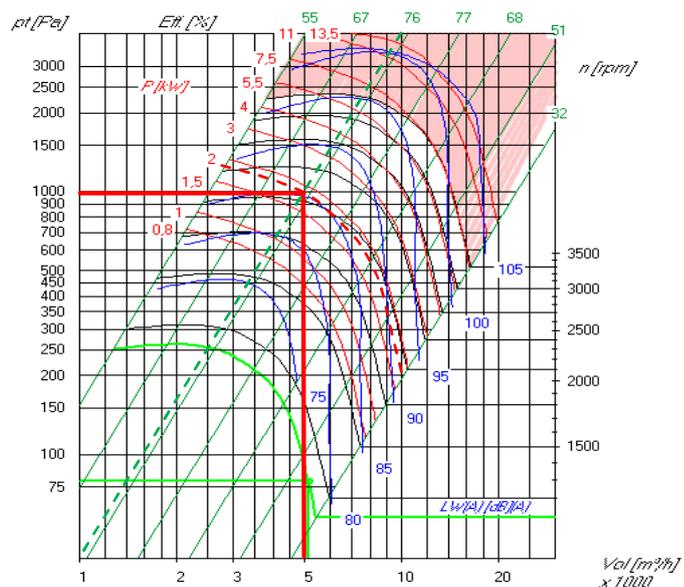
- caudal ($m^3/hora$)
- perda de carga [Pa]

Variáveis de saída

- rendimento
- potência [kW]

Exemplo:
Caudal: $5000 m^3/h$
Perda de carga: $1000 Pa$

Potência = $1.8 kW$
Eficiência: 75%



Ventilação

Curva de ventiladores

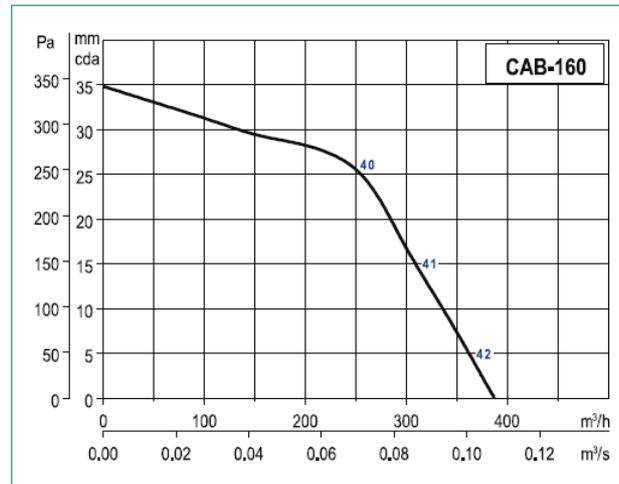
Velocidade fixa

Variáveis de entrada

- caudal ($m^3/hora$)
- perda de carga [Pa]

Variáveis de saída

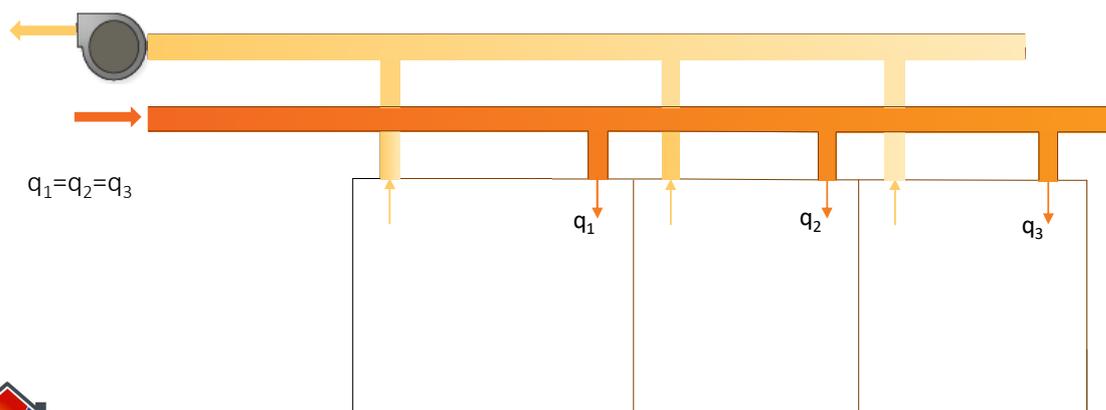
- rendimento
- potência [kW]



Ventilação

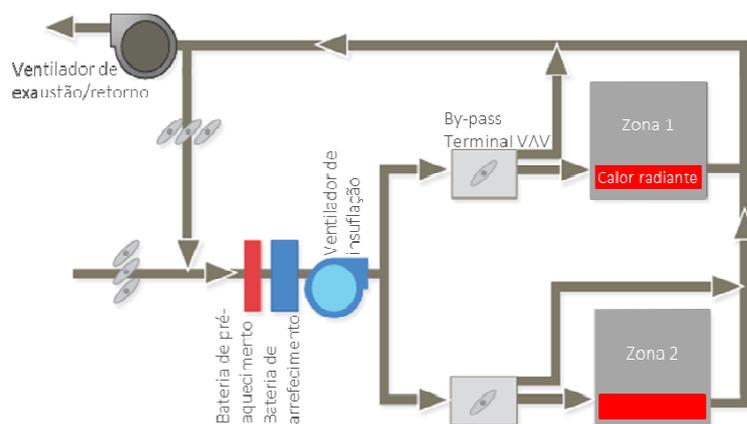
VAC

- O caudal de insuflação/extração é constante, independentemente da taxa de ocupação dos espaços.
- Ventiladores de velocidade constante
- Custo mais reduzido de instalação
- Custo mais elevado de operação, especialmente em espaços com ocupações muito variáveis (auditórios, salas de aula...)



VAV

- O caudal de insuflação/extração é variável, função da taxa de ocupação dos espaços
- Ventiladores de velocidade variável
- Custo mais elevado de instalação
- Custo mais reduzido de operação, especialmente em espaços com ocupações muito variáveis (auditórios, salas de aula...)

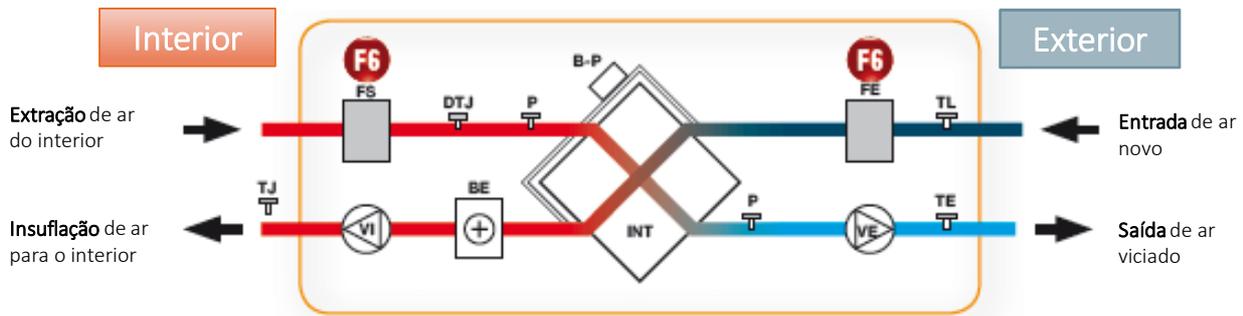


Recuperadores de calor



Recuperadores de calor

Recuperação de calor: pré-aquecer ou pré-arrefecer o ar exterior, através da recuperação do calor do ar extraído para o ar a insuflar (inverno), ou transferência de calor do ar a insuflar para o ar extraído (verão), de forma a reduzir o consumo de energia para climatização.

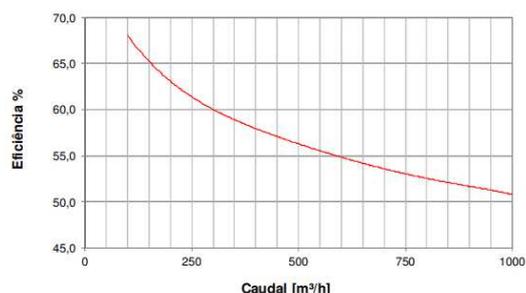


Recuperadores de calor

A eficiência de um recuperador de calor, para além do tipo de recuperador utilizado, depende das condições psicrométricas do ar exterior (temperatura e humidade) e do ar interior, assim como do caudal que circula por ele. Assim:

1. Para **caudal mais elevado** corresponde uma **menor eficiência** do recuperador de calor;
2. A uma **maior diferença de temperatura** entre o ar exterior e o ar interior, **maior a eficiência** do recuperador de calor.

Os fabricantes apresentam tabelas e gráficos de eficiência dos seus recuperadores em função destes parâmetros.



A linha vermelha representa a **eficiência de recuperação** nas condições de Inverno com caudais de insuflação e extração iguais.

Condições de Inverno:

- Interior 20°C / 55%HR
- Exterior 0°C / 80%HR

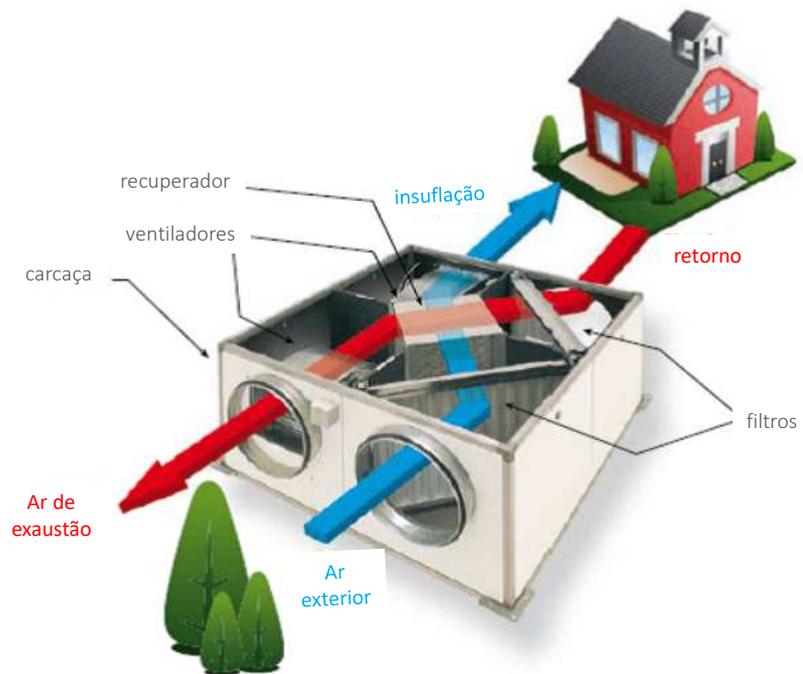


Recuperadores de calor

O recuperador é composto por **aberturas opostas** por onde circula o **ar de insuflação** e o **ar de extração**.

Cada uma das correntes de ar está em contato com superfícies sólidas em que ocorre uma **transferência de calor** do ar **mais quente**, proveniente do edifício, **para o ar mais frio**, proveniente do exterior.

Neste processo **não há mistura** do ar extraído com o ar insuflado.

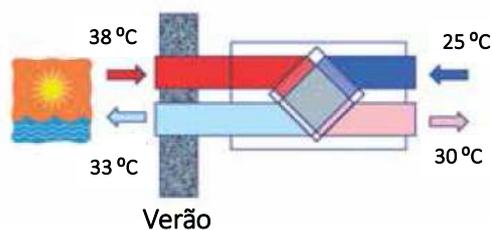


Recuperadores de calor

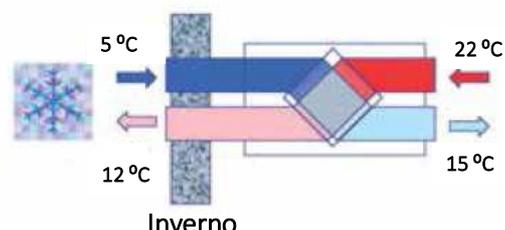
Recuperador de fluxos cruzados

Os caudais de ar de insuflação e de extração cruzam-se no interior do permutador, em sentido **perpendicular** um ao outro.

A **eficiência média** de recuperação está compreendida entre os **50%** e os **85%**, dependendo das condições de trabalho e do fabricante.



Verão

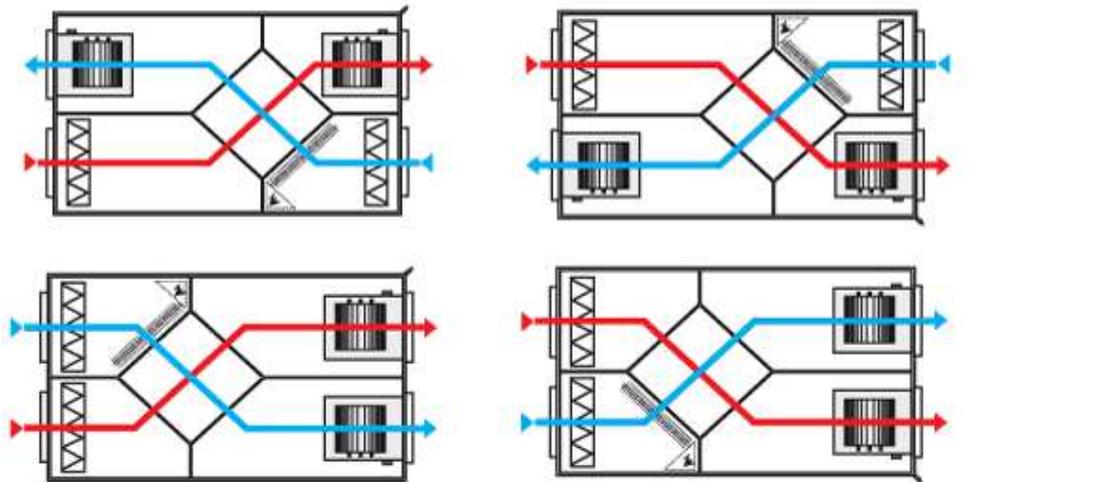


Inverno



Recuperadores de calor

Recuperador de fluxos cruzados

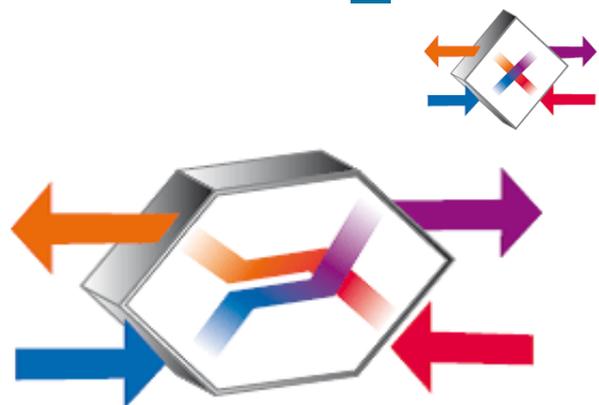


Recuperadores de calor

Recuperador de fluxos paralelos

Os caudais de ar de insuflação e de extração circulam em **contracorrente** no interior do permutador.

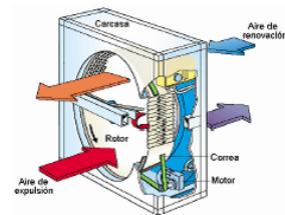
O **tempo** e a **superfície de permuta** são mais elevados do que no permutador de fluxos cruzados, aumentando assim a sua eficiência.



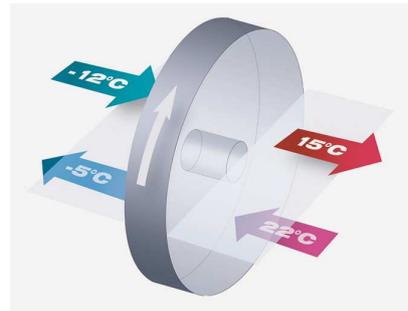
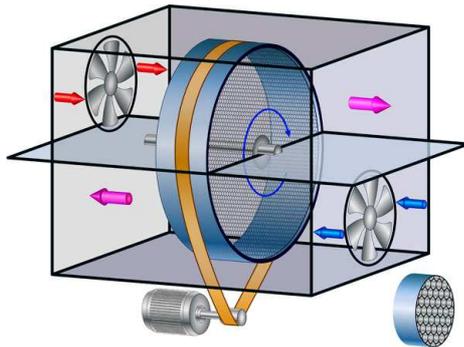
Recuperadores de calor

Recuperador rotativo

Os recuperadores rotativos são constituídos por um rotor, que é a massa acumuladora de calor, um motor elétrico e uma carcaça. Ao girar, absorve calor do ar de retorno cedendo-o ao ar exterior a ser insuflado.



Eficiência entre 65% a 70%



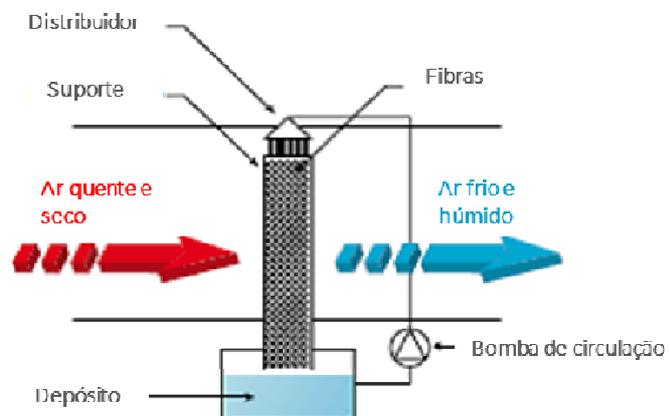
Recuperadores de calor

Módulo adiabático

O **arrefecimento adiabático** consiste em **arrefecer o ar** através da sua **humidificação**. Neste processo, adiabático, não há qualquer troca de calor.

A instalar no lado da extração, **antes do recuperador**.

O ar interior ao passar pelo módulo adiabático fica **mais frio e húmido**, aumentando-se o **gradiente térmico** e, conseqüentemente, **aumentando-se a eficiência do recuperador** de calor instalado a jusante.



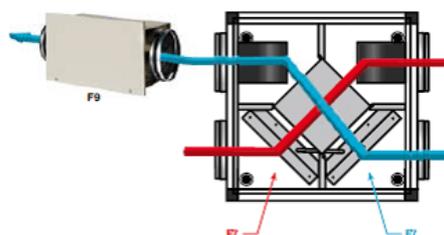
Recuperadores de calor

Onde instalar

Os recuperadores de calor devem-se instalar em unidades de ventilação que incorporem ventiladores de insuflação e de retorno do ar.

Existem **equipamentos completos** que já incorporam todos os elementos necessários, em que se incluem os **filtros**.

Estas unidades estão dimensionadas para trabalhar com **caudais de ar pequenos a médios**, podendo ser instaladas em tetos falsos.



133

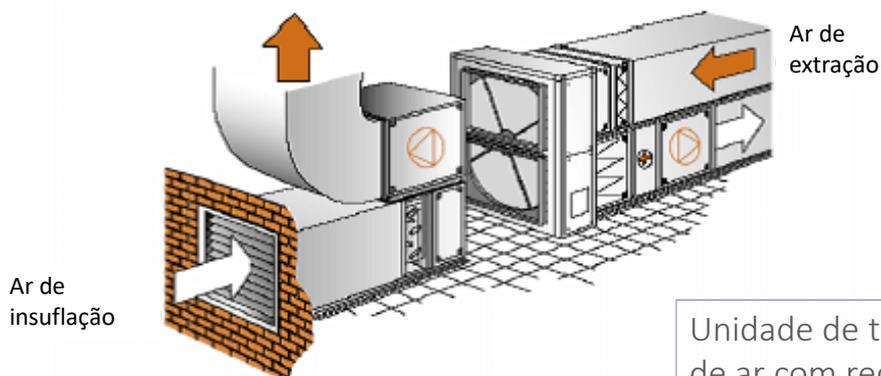
rosario.fino@itecons.uc.pt



Recuperadores de calor

Onde instalar

Para **caudais mais elevados**, os recuperadores são normalmente instalados nas unidades de tratamento de ar (UTA).



Unidade de tratamento de ar com recuperador rotativo

134

rosario.fino@itecons.uc.pt



Recuperadores de calor

Onde instalar



Unidade de tratamento de ar com recuperador de fluxos cruzados



Recuperadores de calor

By-Pass

Dispositivo que **desvia** o caudal de ar, evitando que passe através do recuperador, não se efetuando a permuta térmica.

Pretende-se aproveitar ao máximo as condições ambientais tendo em vista maximizar a poupança de energia.

Exemplo: Verão

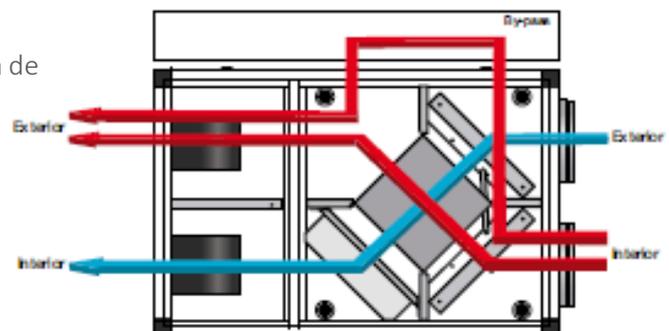
Temperatura interior: 25°C

Temperatura exterior: 19°C

Objetivo: **refrescar o ambiente interior.**

Não seria lógico ceder calor ao ar de insuflação.

Utilizando o **by-pass**, o ar proveniente do **interior** não passa pelo recuperador. O ar será assim insuflado a 19°C.



Pode, de igual forma, ser utilizado no Inverno, quando a temperatura exterior for superior à temperatura interior.



Eletrobombas



Bombas de circulação

Nos sistemas de climatização ar-água ou água-água torna-se necessário a instalação de **bombas de circulação** para fazer a **água circular** nos circuitos.

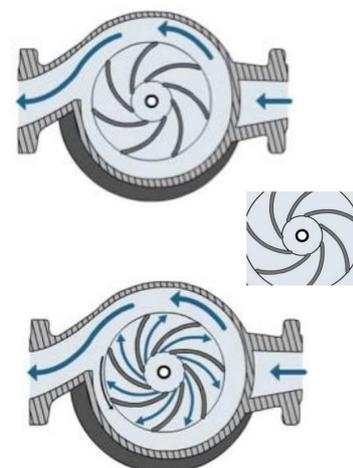


Bombas centrífugas de rotor húmido

Um circulador de rotor húmido é um tipo de bomba centrífuga. Cria **pressão diferencial** entre a **entrada** e a saída à medida que o **impulsor rotativo** aplica **força centrífuga** ao líquido bombeado. É esta **diferença de pressão** que **direciona o líquido** pelo sistema.

O **líquido entra** no impulsor pelo **centro** – através do olhal do impulsor, sendo **empurrado para fora** ao longo das respetivas **alhetas** para criar a **força centrífuga** necessária para **aumentar a velocidade do líquido** e criar **pressão na voluta**.

Note-se que a força centrífuga vai na direção oposta da rotação do impulsor.



Bombas de circulação

Impulsores

O impulsor é o componente principal de uma bomba centrífuga. Quando o impulsor roda, é criada a força necessária para mover – ou “bombear” o fluido.



Impulsores radiais

Os impulsores radiais fazem movimentar o fluido de forma **radial ou perpendicularmente** ao veio da bomba.

Este design de bomba cria um nível relativamente elevado de pressão comparado com o caudal.

Os impulsores radiais são utilizados tipicamente em **circuladores**, bombas para máquinas ferramentas, alimentação de caldeiras e indústria com caudais até **20–30 m³/h**.



Bombas de circulação

Impulsores semi-axiais

Os impulsores semi-axiais são semelhantes aos impulsores radiais, porém sujeitam o fluido a um determinado grau de **caudal radial** com o objetivo de **melhorar a eficiência**.

Têm capacidade para **caudais maiores** do que os radiais. As bombas com impulsores semi-axiais são utilizadas tipicamente para **captação de grandes quantidades de água** ou distribuição em abastecimento de água, rega e aplicações de refrigeração

Impulsores axiais

Um impulsor axial consiste essencialmente num propulsor e numa unidade de veio de motor, inseridos num tubo. O propulsor simplesmente movimenta o líquido ao longo do tubo.

Os impulsores axiais não geram demasiada pressão, mas são muito eficientes a **criar caudais elevados (mais de 40,000 m³/hora)**. Bombas com impulsores axiais são utilizadas principalmente para **recirculação de líquidos entre reservatórios** em estações de tratamento de águas residuais e para aplicações de **controlo de cheias** onde é necessário bombear grandes volumes de água com alturas baixas



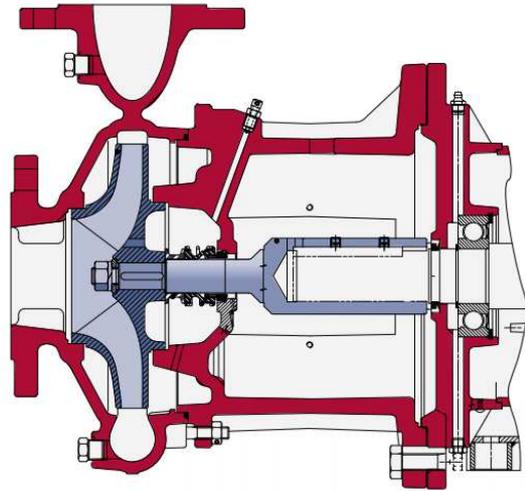
Bombas de circulação

Bombas monocelulares

- Vasta gama de desempenho com diversas variantes;
- Disponível em ferro fundido e aço inoxidável, mesmo com impulsores de bronze ;
- Fácil manutenção;
- Adequada para temperaturas baixas e elevadas.

Aplicações:

- Abastecimento de água;
- Pressurização & trasfega de líquidos em indústria;
- AVAC;
- Rega.



https://pt.grundfos.com/content/dam/BGP/Training%20%26%20events/Ecademy/Grundfos_Pumps-%20pump%20types_PPT_2PT_.pdf/_jcr_content/renditions/original.pdf

Introdução aos Sistemas de Climatização

141

rosario.fino@itecons.uc.pt

Bombas de circulação

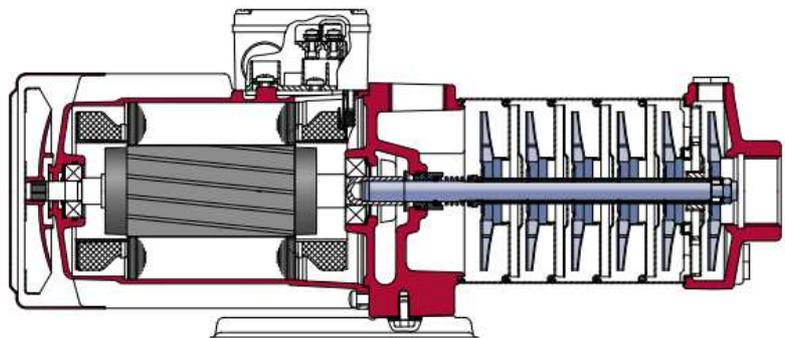
Bombas multicelulares

- Elevada eficiência e baixo Custo do Ciclo de Vida;
- Fácil manutenção.

Aplicações

A maioria das aplicações industriais requisitos de higiene:

- Aquecimento;
- Refrigeração;
- Minas;
- Máquinas ferramentas;
- Rega.



https://pt.grundfos.com/content/dam/BGP/Training%20%26%20events/Ecademy/Grundfos_Pumps-%20pump%20types_PPT_2PT_.pdf/_jcr_content/renditions/original.pdf

Introdução aos Sistemas de Climatização

142

rosario.fino@itecons.uc.pt

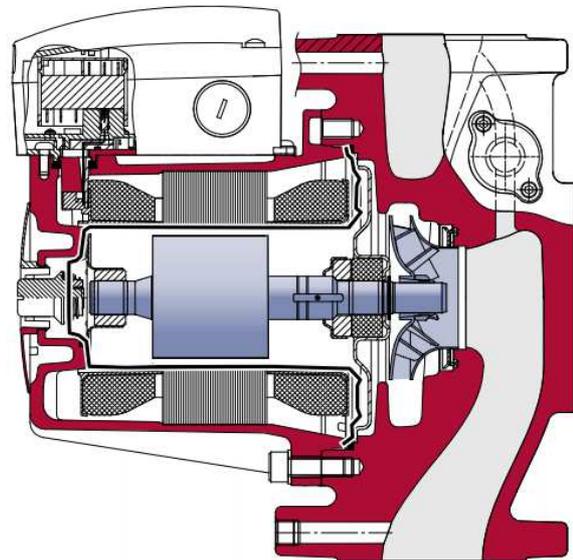
Bombas de circulação

Circuladores

- Eficiente do ponto de vista energético;
- Silencioso;
- Ciclo de vida longo;
- Várias opções de ajuste manual e automático.

Aplicações

- Circulação de líquidos em sistemas de aquecimento;
- circulação de água quente nas torneiras;
- circulação em sistemas de ar condicionado.



https://pt.grundfos.com/content/dam/BGP/Training%20%26%20events/Ecademy/Grundfos_Pumps-%20pump%20types_PPT_2PT_.pdf/jcr_content/renditions/original.pdf

Introdução aos Sistemas de Climatização

143

rosario.fino@itecons.uc.pt

Bombas de circulação

As bombas centrífugas podem ser categorizadas em diferentes grupos: Radiais, Caudal misto e Axiais.

As bombas radiais e semi-axiais são as mais utilizadas.

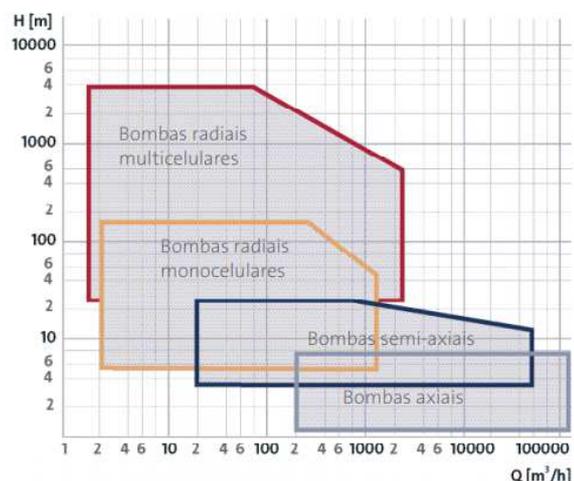
Caudal e altura para diferentes tipos de bombas centrífugas.



Bombas radiais

Bombas semi-axiais

Bombas axiais



144

rosario.fino@itecons.uc.pt



https://pt.grundfos.com/content/dam/BGP/Formacao/Pumps_Task%205_Centrifugal%20pump%20types_PT.pdf

Introdução aos Sistemas de Climatização

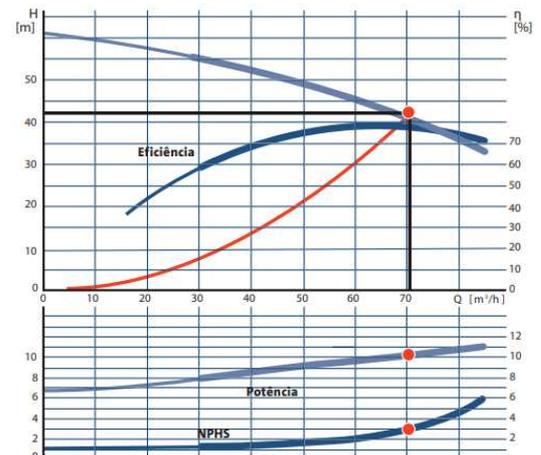
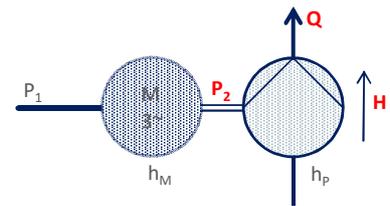
Bombas de circulação

Curvas da bomba

Por norma as curvas características nos catálogos técnicos apenas abrangem a parte da **bomba**. A potência, P_2 , apenas abrange a potência referente à bomba. O mesmo sucede com o valor para a **eficiência**, que apenas abrange a parte da **bomba**.

Em alguns tipos de bombas com motor integrado e também, talvez, com um conversor de frequência integrado, por exemplo, bombas com motores blindados, a curva da potência e a curva η cobrem tanto o motor como a bomba.

Curvas características típicas de uma bomba centrífuga:
Altura, potência, eficiência e NPHS em função do caudal



145



https://pt.grundfos.com/content/dam/BGP/Formacao/Task%204%20Grundfos%20about%20pump%20curves_PT.pdf

Introdução aos Sistemas de Climatização

rosario.fino@itecons.uc.pt

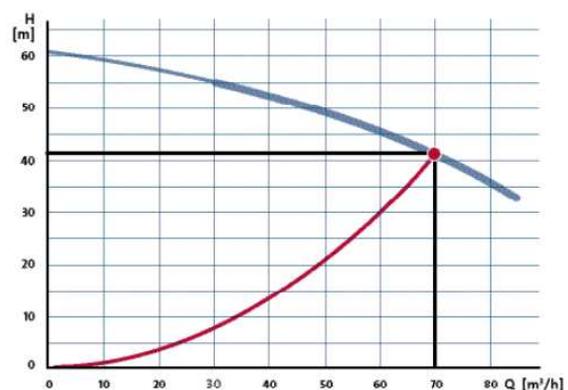
Bombas de circulação

Curvas da bomba - Altura, a curva QH

A curva QH mostra a **altura** que a bomba é capaz de atingir com um **determinado caudal**.

A altura é medida em metros de coluna de água [m.c.a.]

É aplicada a unidade metro [m] como unidade de medida para a altura da bomba para que a curva QH não seja afetada pelo tipo de líquido bombeado.



Curva QH típica de uma bomba centrífuga:

- Caudais baixos resultam em alturas elevadas;
- Caudais elevados resultam em alturas baixas.



https://pt.grundfos.com/content/dam/BGP/Formacao/Task%204%20Grundfos%20about%20pump%20curves_PT.pdf

Introdução aos Sistemas de Climatização

146

rosario.fino@itecons.uc.pt

Bombas de circulação

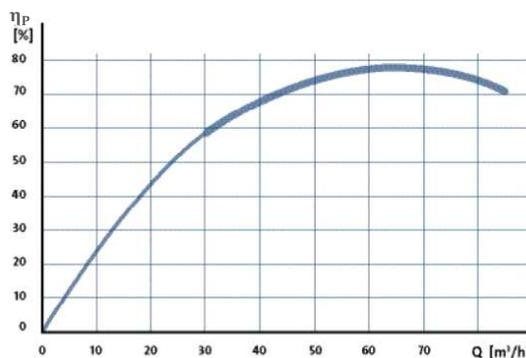
Curvas da bomba - Eficiência, a curva η

A eficiência η_P é a relação entre a **potência** que a bomba transfere para a **água** (P_H) e a entrada de **potência no veio** (P_2)

$$\eta_P = \frac{P_H}{P_2} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{P_2 \times 3600}$$

Para água a 20°C e com Q em [m³/h] e H em [m], a potência hidráulica P_H é dada por:

$$P_H = 2.72 \cdot Q \cdot H \text{ [W]}$$



Curva de eficiência de uma bomba centrífuga típica

A **eficiência** depende do **ponto de funcionamento** da bomba.

Selecionar a bomba que corresponda aos **requisitos de caudal** e assegurar que esta **funciona na área de caudal da curva mais eficiente**.



https://pt.grundfos.com/content/dam/BGP/Formacao/Task%204%20Grundfos%20about%20pump%20curves_PT.pdf

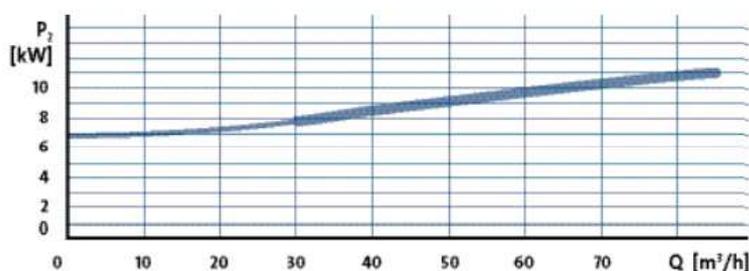
Introdução aos Sistemas de Climatização

147

rosario.fino@itecons.uc.pt

Bombas de circulação

Curvas da bomba - Potência, a curva P_2



Curva de potência de uma bomba centrífuga típica

Relação entre a potência da bomba e o caudal.

A curva P_2 da maioria das bombas centrífugas é semelhante à apresentada, onde o valor de P_2 **aumenta** com o **aumento de caudal**.

$$P_2 = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_P \times 3600}$$



https://pt.grundfos.com/content/dam/BGP/Formacao/Task%204%20Grundfos%20about%20pump%20curves_PT.pdf

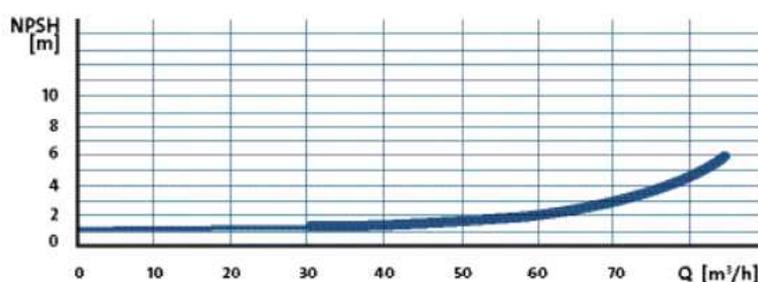
Introdução aos Sistemas de Climatização

148

rosario.fino@itecons.uc.pt

Bombas de circulação

Curvas da bomba - Curva NPSH (Net Positive Suction Head)



Curva NPSH de uma bomba centrífuga típica

O valor NPSH de uma bomba é a **pressão absoluta mínima** que deve estar presente no lado de **aspiração** da bomba de forma a **evitar a cavitação**.

Os valores **NPSH** são medidos em **[m]** e dependem do caudal: quando o **caudal aumenta**, o valor **NPSH** também **aumenta**



https://pt.grundfos.com/content/dam/BGP/Formacao/Task%204%20Grundfos%20about%20pump%20curves_PT.pdf

Introdução aos Sistemas de Climatização

149

rosario.fino@itecons.uc.pt

Bombas de circulação

NPSH (Net Positive Suction Head) - altura de aspiração positiva líquida

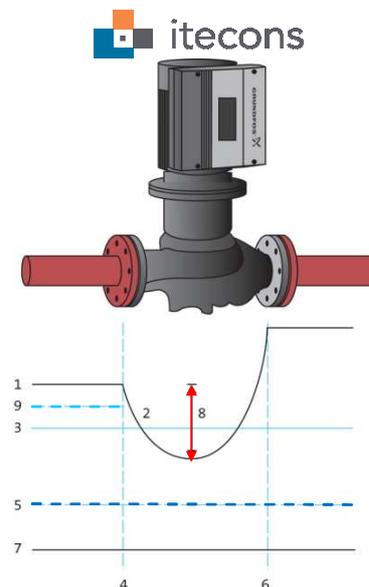
A **pressão no interior da bomba** varia entre a **entrada (4)**, do lado da aspiração, e a **saída (6)**, do lado da descarga. Na **primeira parte da bomba**, a **pressão diminui** antes de **aumentar** do lado da descarga, para um valor superior ao da pressão de entrada.

A diferença entre a **pressão de entrada** e a **pressão mais baixa dentro da bomba** é chamada NPSH: altura de aspiração positiva líquida **(8)**.

A **NPSH** expressa a **perda de pressão** que ocorre na **primeira parte do cárter** da bomba.

A **NPSH** faz com que a **pressão mais baixa dentro da bomba** esteja abaixo da **pressão de evaporação do líquido (5)** bombeado, se a **pressão de entrada for muito baixa**. Consequentemente, existe **cavitação** dentro da bomba, provocando ruído e avarias.

A **NPSHR (altura de aspiração positiva líquida requerida) (9)** é fornecida na ficha de dados de cada bomba. A **NPSHR** indica a **pressão mínima de entrada** necessária, para uma determinada bomba, para evitar a cavitação.



1. Pressão de aspiração
2. Linha de Pressão
3. Pressão atmosférica
4. Entrada da bomba
5. Pressão de Evaporação
6. Descarga da bomba
7. Vácuo
8. NPSH
9. NPSHR

150

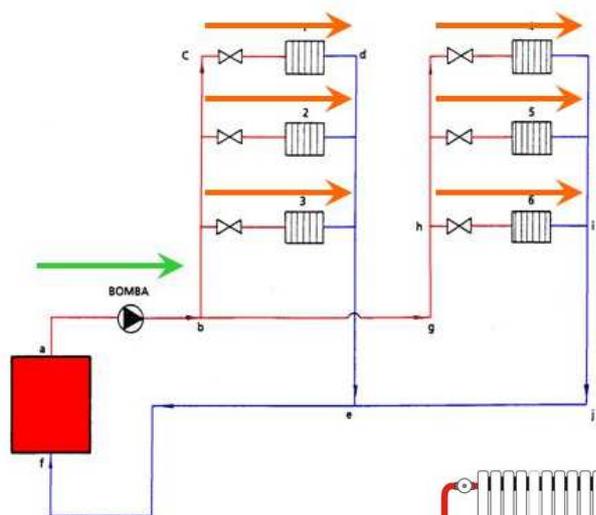
rosario.fino@itecons.uc.pt



<https://pt.grundfos.com/servico/encyclopedia-search/npsH-net-positivesuctionhead.html>

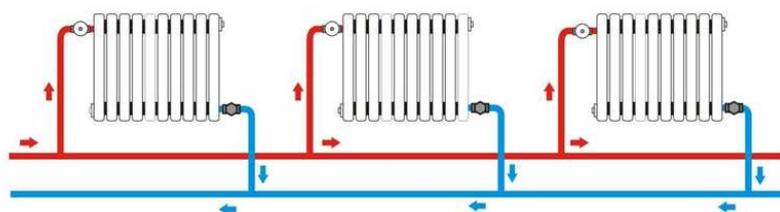
Introdução aos Sistemas de Climatização

Equilíbrio hidráulico

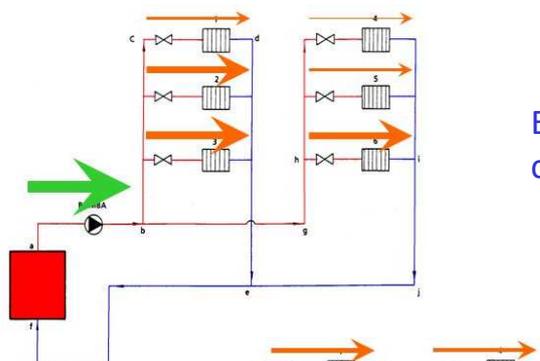


Quando a bomba circuladora entra em funcionamento, o caudal que chega a todos os emissores deve ser o previsto no projeto.

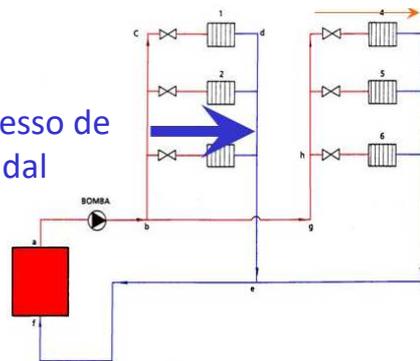
Se não houver equilíbrio hidráulico, os caudais reais nos elementos terminais podem ser diferentes dos caudais previstos



Equilíbrio hidráulico

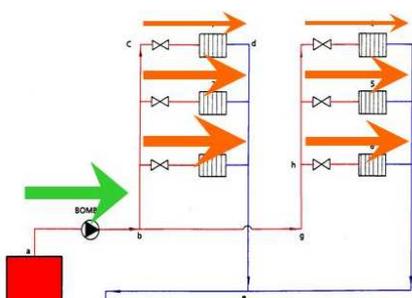


Excesso de caudal



Falta de caudal

Aumento do caudal de entrada

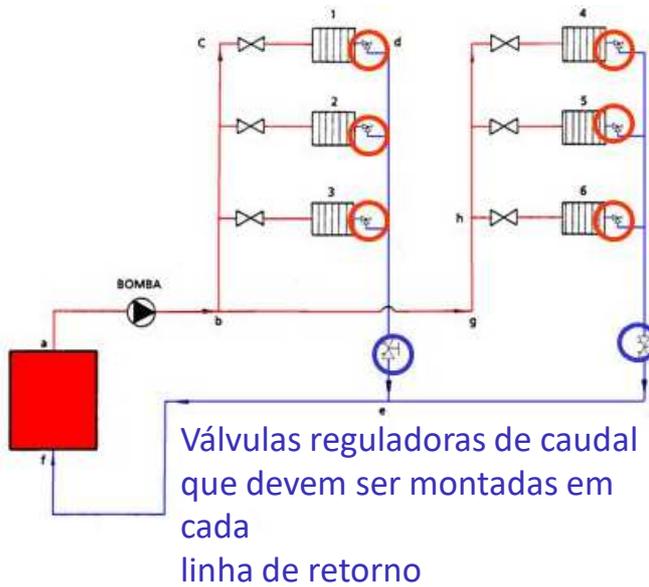


Desperdício de energia



Equilíbrio hidráulico

Reposição do equilíbrio hidráulico



Válvulas detentoras¹
em cada radiador

¹Válvulas detentoras: regulam a saída de água do radiador para o equilíbrio hidráulico e permitem cortar completamente o caudal quando é necessário efetuar operações de manutenção

153

rosario.fino@itecons.uc.pt



Estratégias de climatização



154

rosario.fino@itecons.uc.pt

Estratégias de climatização

Sub-sistemas

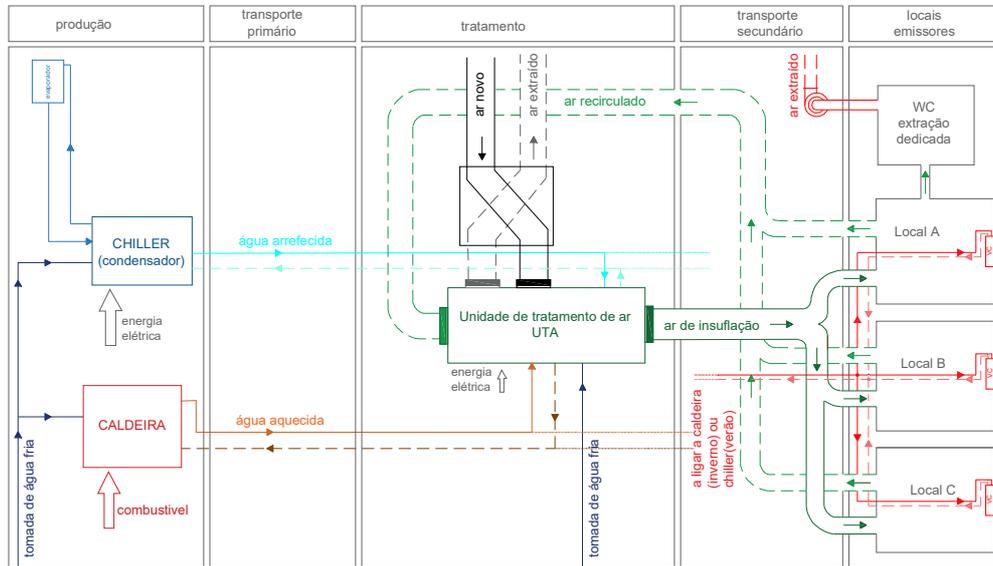
Produção: máquina frigorífica, caldeira, bomba de calor...

Transporte primário (lado da água): redes de água quente e fria

Tratamento do ar;

Transporte secundário (lado do ar): rede de condutas e acessórios (ventiladores, plenuns...); lado da água: redes de água quente e fria

Distribuição local: bocas de impulsão (difusores...) e unidades terminais (ventiloconvectores...)



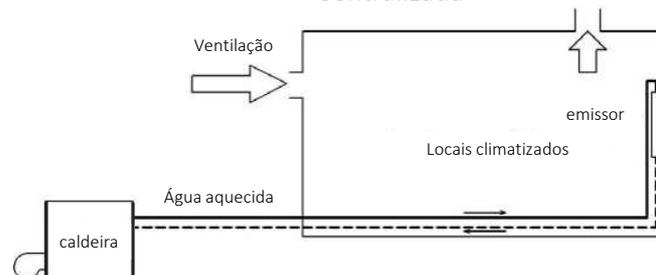
Estratégias de climatização

Aquecimento + ventilação

Unitária



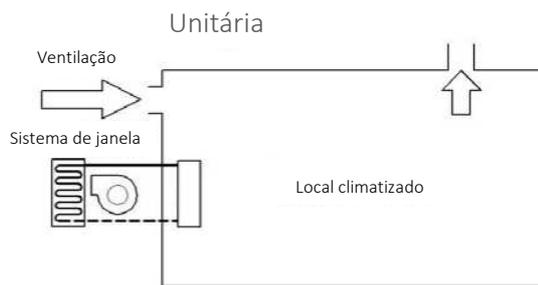
Centralizada



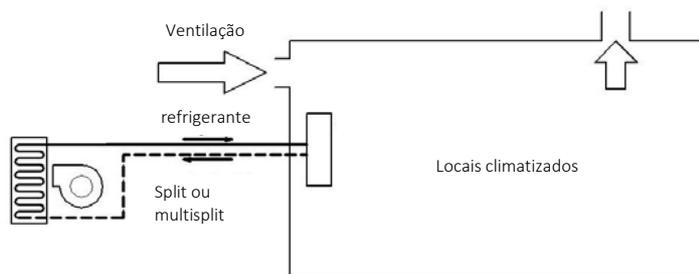
Estratégias de climatização

Sistemas de tratamento em separado

- A mais comum- instalação de refrigeração/aquecimento com duas variantes:
 - Local - sistema split reversível;
 - Centralizada: multisplit reversível
- Não trata o ar- pode induzir problemas de humidade relativa alta



Unitária (split) ou centralizada (multisplit)



Estratégias de climatização

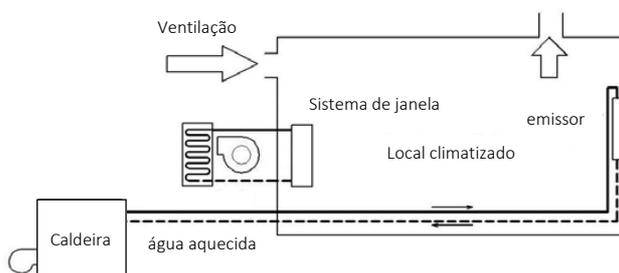
Sistemas de tratamento em separado

- Aquecimento e arrefecimento
Frequente quando se tem um sistema de aquecimento e se acrescenta um sistema de arrefecimento.

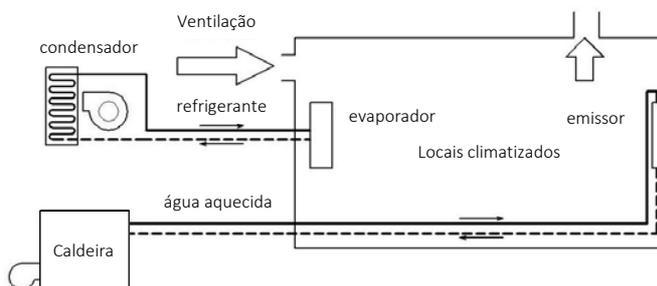
A refrigeração pode ser local ou centralizada e o aquecimento todo água

- Não trata o ar- pode induzir problemas de humidade relativa alta

Refrigeração unitária; aquecimento central ou unitário



Centralizada



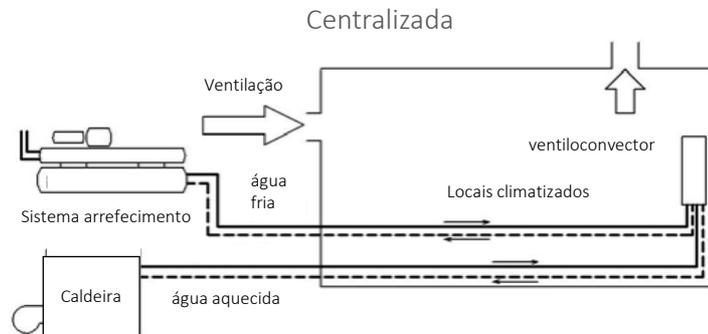
Estratégias de climatização

Sistemas de tratamento integrados

- **Aquecimento e arrefecimento**
sistema de aquecimento e de arrefecimento centralizado por água

Emissão por ventiloconvectores

- Não trata o ar -
pode induzir problemas de
humidade relativa alta



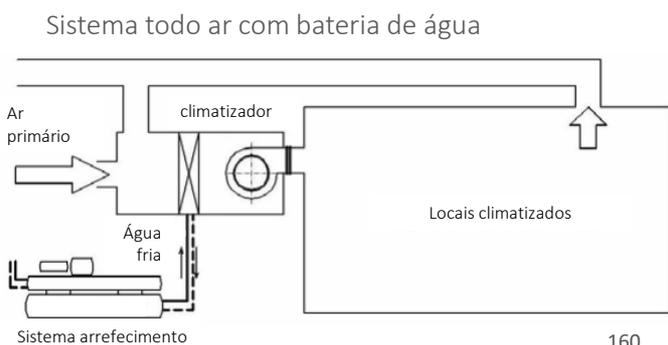
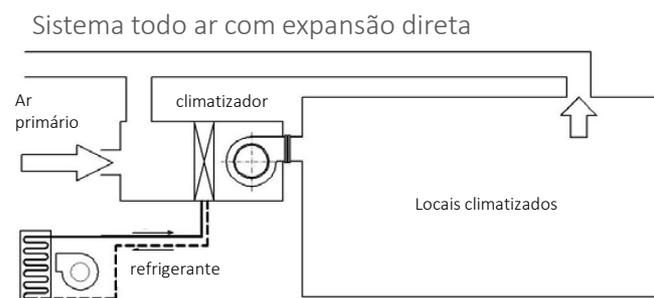
Estratégias de climatização

Sistemas de tratamento integrados

- **Refrigeração com tratamento de ar com recirculação**

O ar novo é tratado

- Pode ser efetuado de
variadas formas,
dependendo do meio de
produção de energia
térmica



Estratégias de climatização

Sistemas de tratamento integrados

- Refrigeração e aquecimento com tratamento de ar com recirculação

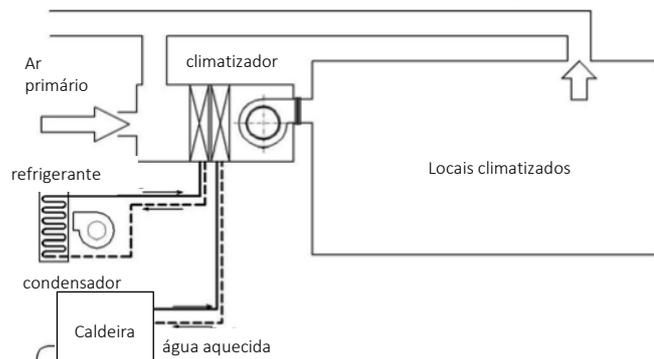
O ar novo é tratado

- Pode ser efetuado de variadas formas, dependendo do meio de produção de energia térmica

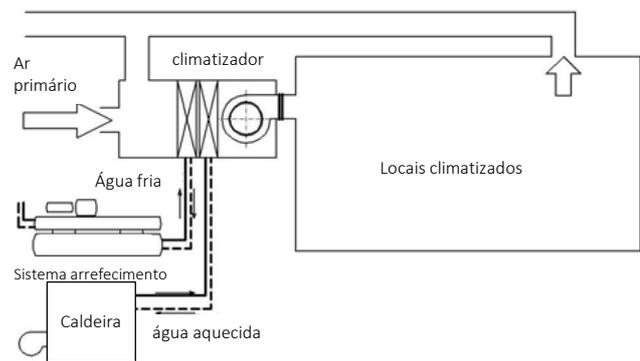


Introdução aos Sistemas de Climatização

Sistema todo ar com expansão direta e bateria de água aquecida



Sistema todo ar com baterias de água



Estratégias de climatização

Sistemas de tratamento integrados

- Refrigeração e aquecimento com tratamento de ar sem recirculação

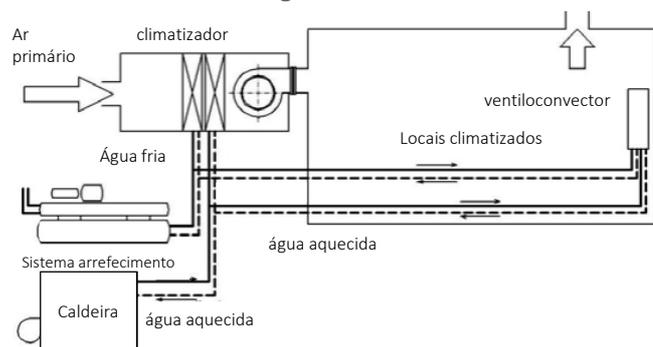
O ar novo é tratado

- A eventual necessidade extra de energia térmica é levada pela água a unidades terminais (ventiloconvectores)

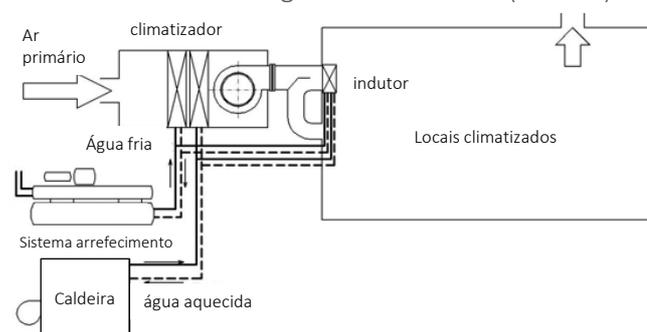


Introdução aos Sistemas de Climatização

Sistema ar-água com ventiloconvectores



Sistema ar-água com indutores (tudo ar)



Esquemas de princípio



Esquemas de princípio

	Água da rede
	Avanço (quente)
	Retorno (quente)
	Válvula seccionamento macho esférico ou borboleta
	Válvula reguladora de caudal
	Junta anti-vibrátil
	Válvula de retenção
	Válvula equilibradora de pressão
	Válvula de segurança
	Válvula redutora de pressão
	Válvula modulante de três vias
	Válvula modulante
	Contador de entalpia
	Manómetro (Escala de 0 a 3kg/cm ² e 0 a 6kg/cm ²)
	Termómetro (Escala 0 a 120 °C)
	Sensor de Temperatura
	Bomba de circulação

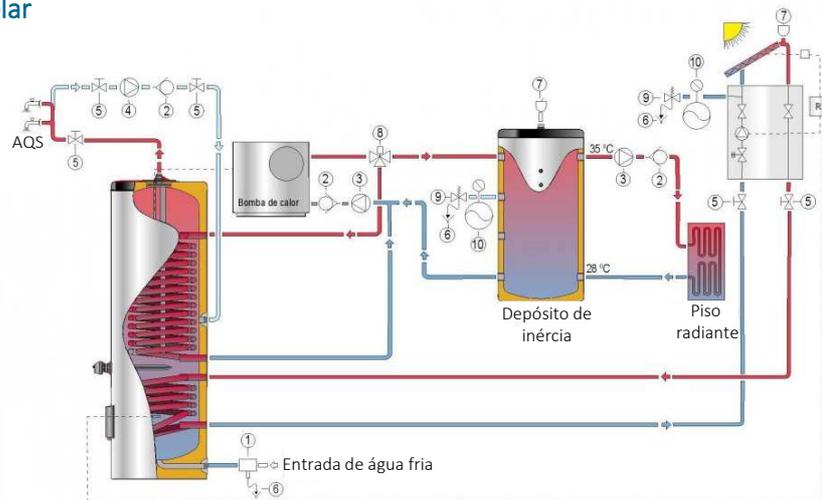
	Filtro
	Vaso de expansão
	Purgador automático de ar com válvula de corte
	Filtro de polifosfatos
	Termostato
	Purgador automático de ar
	Válvula de balanceamento



Esquemas de princípio

Aquecimento e AQS com apoio solar

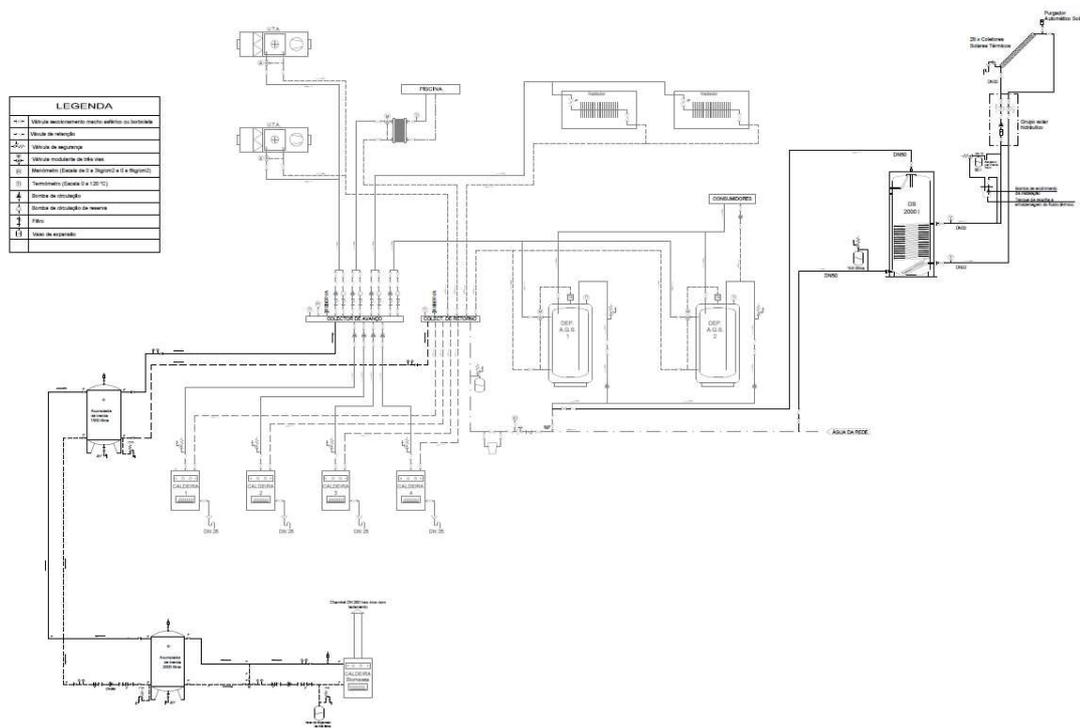
- Sistema de climatização por piso radiante.
- Produção de energia térmica para aquecimento e produção de AQS:
 - Painéis solares;
 - Bomba de calor
- Depósito com dupla serpentina:
 - Solar
 - Bomba de calor



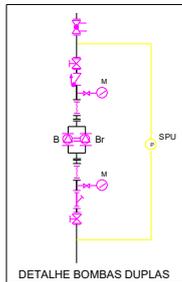
- | | | |
|--------------------------------|---------------------|------------------------|
| 1-Grupo de segurança sanitária | 5-Válvula de corte | 9-Válvula de segurança |
| 2-Válvula antirretorno | 6-Dreno | 10-Vaso de expansão |
| 3-Bomba circuladora | 7-Purgador de ar | |
| 4-Bomba de recirculação | 8-Válvula de 3 vias | |



Esquemas de princípio



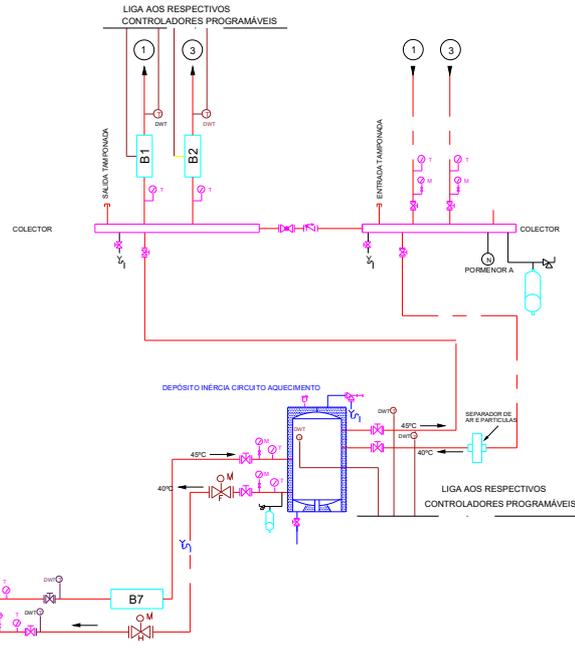
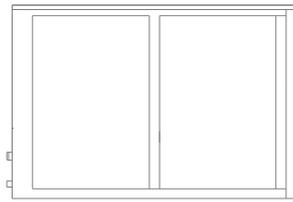
Esquemas de princípio



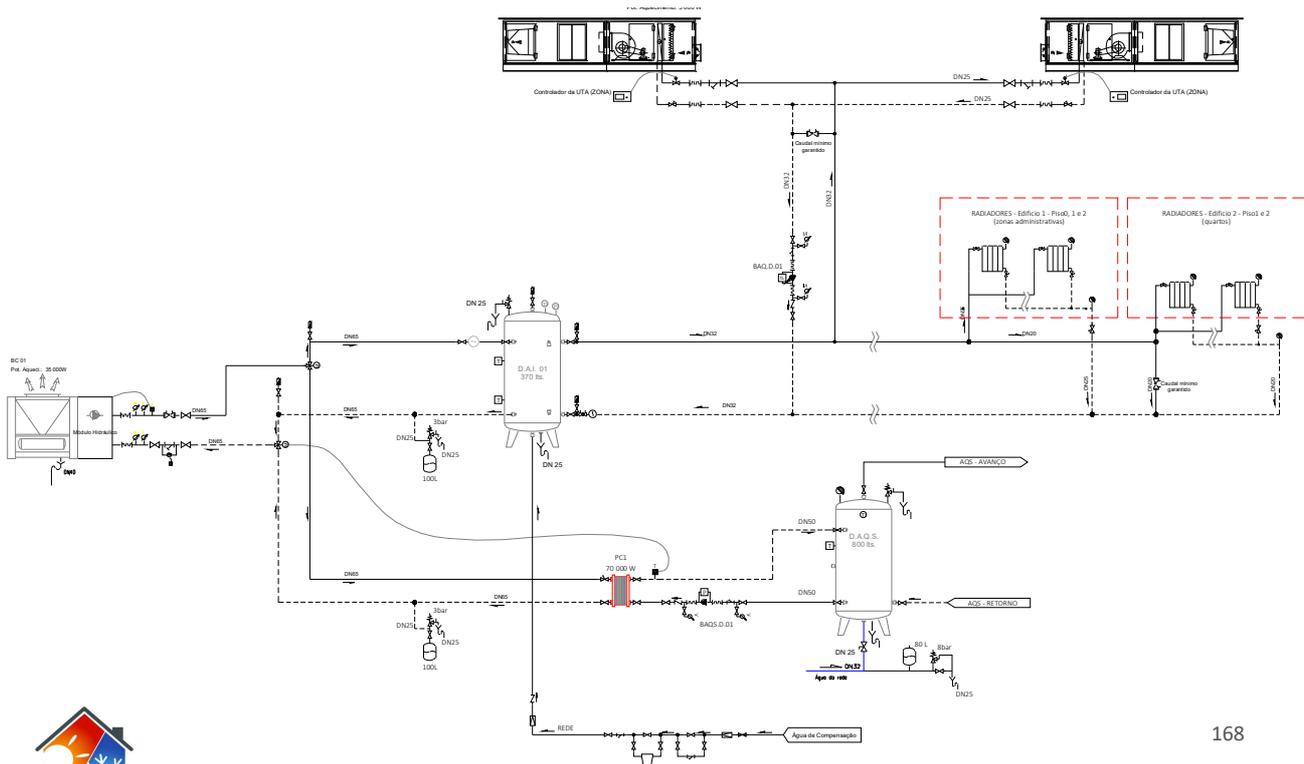
ESQUEMA DE PRINCÍPIO BC

BOMBA DE CALOR

POTÊNCIA AQUECIMENTO= 25 kW
 POTÊNCIA ARREFECIMENTO= 25 kW

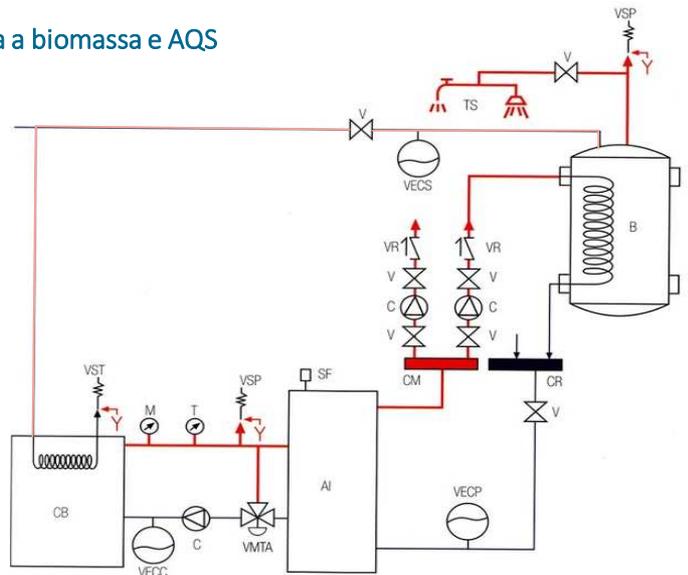


Esquemas de princípio



Esquemas de princípio

Aquecimento com caldeira a biomassa e AQS

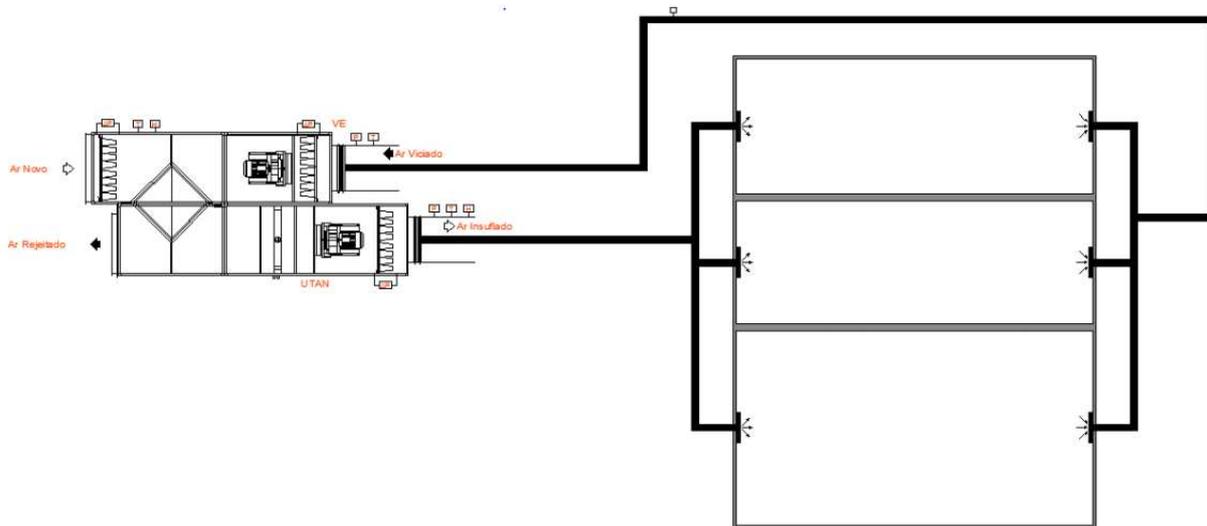


— Situação de verão: apenas AQS



Esquemas de princípio

Tudo-ar com pré aquecimento e recuperação de calor por roda entálpica



www.itecons.uc.pt



INSTITUTO DE INVESTIGAÇÃO E DESENVOLVIMENTO
TECNOLÓGICO PARA A **CONSTRUÇÃO, ENERGIA,
AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE**



UNIVERSIDADE D
COIMBRA