

Hidráulica

CALEFFI
Hydronic Solutions

40

novembro 2023

As instalações
com bomba de
calor ar-água



CALEFFI XF 100% DE FILTRAGEM NA PRIMEIRA PASSAGEM

ATÉ
15%
DE POUANÇA
ENERGÉTICA



IDEAL PARA
**BOMBAS
DE CALOR***

PROMOVEMOS A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

O **CALEFFI XF** série 577 é um filtro de sujidade magnético de nível extra. A malha filtrante com superfície extra grande e fina permite uma limpeza da instalação sem precedentes. O novo íman extraível retém também as impurezas ferrosas mais pequenas. O **CALEFFI XF** tem limpeza semiautomática: o seu mecanismo com escovas permite remover e expelir todas as impurezas sem desmontar o filtro. **GARANTIA CALEFFI.**



* Bomba de Calor com ΔT de 5 °C, bypass a 50% e limitando a perda de carga de filtração até 5 kPa.

EDITORIAL

A COCRIAÇÃO NA VIABILIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS BOMBAS DE CALOR!

Esta edição da revista *Hidráulica* incorpora uma abordagem em torno das bombas de calor, tema muito pertinente face ao crescimento real e espetável deste segmento de produto no mercado da climatização e da produção de água quente sanitária, acrescentando todo o enquadramento regulamentar que influencia a sua escolha e o processo de seleção dos melhores componentes que potenciam a eficiência global da instalação.

Claro que o novo contexto geopolítico, despoletou uma maior pertinência ao tema, face à conhecida dependência energética de muitos países europeus em torno do gás natural. Estes fatores originaram, por exemplo, o lançamento de uma proposta, por parte da UE, para rapidamente reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e acelerar a transição energética.



A UE identifica um conjunto de soluções que podem contribuir rapidamente para o escalar desta “(r)evolução verde” e acelerar o processo de crescimento e contribuição das energias renováveis. Entre outros, destaca-se o foco em torno da Estratégia Solar da União Europeia, focando de forma consistente a proposta de uma “Solar Rooftop Initiative”, conjuntamente com um crescimento exponencial dos volumes de integração de solução de Bombas de Calor, associando os sistemas geotérmicos e solar térmicos na modernização do parque energético, para disponibilização de conforto ao nível da climatização e da AQS.

A Associação Europeia de Bombas de Calor (EHPA) também antecipa um crescimento exponencial das bombas de calor até 2030, até pelas transposições regulamentares já ocorridas em alguns países europeus que centram a climatização de habitação nova em soluções que incorporam também as bombas de calor como contribuidor para as soluções de energia renovável.

Os dados estão mesmo lançados e em coerência com o nosso posicionamento, três dos nossos cinco pilares onde assentamos a nossa estratégia são a SUSTENTABILIDADE, o FUTURO e a TECNOLOGIA, que permitem a ligação ao que acreditamos ser o valor acrescentado, para o mercado, das soluções MADE IN CALEFFI.

Assim, acreditamos que a eficiência de uma bomba de calor não depende apenas do seu SEER ou do seu SCOP ou que a sustentabilidade não está apenas ligada ao fluido frigorígeno com menor GWP. Como em tudo, é o conjunto/sistema que promove a eficiência energética, sendo que acreditamos que o futuro assenta na integração da tecnologia, tendo em vista a efetiva contribuição da eficiência destes sistemas para uma sustentabilidade relevante. Esta publicação permite tal reflexão e conhecimento, apresentando um conjunto de soluções/ produtos que instalados com as bombas de calor, garantem o efetivo benefício que se procura com a utilização das mesmas.

Tendo por base os princípios do conceito da Sociedade 5.0, deveremos privilegiar, ativamente, o nosso esforço para o que queremos criar e não somente para prever, reativamente, o que possamos ter. É com este sentimento que nos disponibilizamos para cocriar os sistemas de climatização e de AQS com os nossos profissionais. Cocriar para garantir o real benefício proposto e não apenas o intencionado. Até porque, adaptando de Peter Drucker, os resultados a longo prazo não dependem de decisões futuras, mas apenas de decisões presentes! E nós já estamos presentes!

Espero que desfrutem desta publicação!

Rui Pedro Torres

CALEFFI Hydronic Solutions

Rua Poça das Rãs, 42
4475-265 Maia
Tel.: 229 619 410

Talaíde Park, Edif. A1 e A2
Estrada Octávio Pato
2785-723
São Domingos de Rana
Tel.: 214 227 190

info.pt@caleffi.com
www.caleffi.com

© Copyright 2023 Caleffi
Todos os direitos reservados.
É proibida a reprodução ou
publicação de qualquer parte do
documento sem o consentimento
expresso por escrito do Editor.

ÍNDICE

- 5 AS INSTALAÇÕES COM BOMBA DE CALOR AR-ÁGUA**
- 6 A VIRAGEM EM DIREÇÃO ÀS BOMBAS DE CALOR**
 - Quadro regulamentar
 - O mercado das caldeiras
 - O mercado das bombas de calor
- 9 TIPOS DE BOMBA DE CALOR**
 - Princípio de funcionamento
 - Classificação das bombas de calor segundo o tipo de compressão
 - Classificação das bombas de calor segundo o tipo de fonte térmica
- 13 AS BOMBAS DE CALOR AR-ÁGUA**
- 16 CONSIDERAÇÕES: O CONTROLO DO RUÍDO NAS BOMBAS DE CALOR**
- 17 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO**
 - Rendimento de um gerador
 - Poupança energética
 - Poupança económica
 - Comparação entre poupança energética e económica
 - Influência da regulação sobre o COP médio efetivo
- 26 CONSIDERAÇÕES: GASES REFRIGERANTES**
- 28 AS INSTALAÇÕES COM BOMBA DE CALOR AR-ÁGUA**
 - Dimensionamento
 - Parâmetros de funcionamento
 - Ciclo de descongelação
- 36 PRODUÇÃO DE ÁGUA QUENTE SANITÁRIA**
- 38 CONSIDERAÇÕES: A PROTEÇÃO ANTILEGIONELLA NAS INSTALAÇÕES COM BOMBA DE CALOR**
- 39 COMPONENTES DE UMA INSTALAÇÃO COM BOMBA DE CALOR**
 - Terminais de emissão
 - Separador hidráulico
 - Depósito de inércia
 - Tratamento da água
 - Válvula de zona de 3 vias
 - Dispositivos para manutenção da circulação
 - Vaso de expansão
 - Proteção antigelo
- 44 FILTRO DE SUJIDADE MAGNÉTICO CALEFFI XF**
- 46 CONSIDERAÇÕES: INSTALAÇÃO MONOFÁSICA OU TRIFÁSICA?**
- 51 VÁLVULA ANTIGELO TRADICIONAL E COM SENSOR DE AR**

AS INSTALAÇÕES COM BOMBA DE CALOR AR-ÁGUA

A eficiência energética consiste num dos principais objetivos deste período histórico. A estratégia da “Renovation Wave” visa uma profunda renovação energética de quase 35 milhões de edifícios até 2030 na Europa.

Esta eficiência deve envolver todos os setores, desde a produção à utilização, começando pela matéria-prima, o método de processamento, transporte e venda, passando pela utilização e até mesmo à reciclagem ou eliminação.

Este clima de eficiência energética afeta também, obviamente, o setor da climatização, onde as bombas de calor (adiante designadas por BC) dão um importante contributo a fim de cumprir os novos objetivos de descarbonização da UE: a sua tecnologia é um dos principais instrumentos para um sistema energético renovável e inteligente.

Atualmente, instalar uma bomba de calor para substituir um gerador

antigo é uma das intervenções mais populares e, talvez, particularmente rentáveis, graças aos incentivos governamentais disponíveis.

O objetivo desta edição da Hidráulica passa por lançar alguma luz sobre o mundo das bombas de calor.

Na primeira parte, analisaremos os diferentes tipos a fim de sublinhar as vantagens e desvantagens de cada um e ajudar a compreender qual o sistema mais adequado para a instalação de climatização que se está a projetar. Em seguida, prosseguiremos com a análise das bombas de calor ar-água que, atualmente, apresentam a maior aplicação nos sistemas hidráulicos.

Na segunda parte, abordaremos a eficiência energética e as vantagens económicas para tentar responder à pergunta recorrente: “Mas em que condições vale realmente a pena instalar uma bomba de calor?”.

Muitas vezes, não é imediatamente claro se esta opção dará origem a uma poupança. A fim de identificar as áreas com maior potencial de intervenção, é necessário considerar a distribuição das habitações por zona climática, o tipo de edifício em que se encontram (unifamiliar ou multifamiliar), e o sistema de climatização (centralizado ou autónomo).

A última parte é dedicada às instalações com bombas de calor, ao seu dimensionamento e à escolha dos parâmetros de funcionamento. No papel, as suas vantagens continuam a ser inigualáveis. No entanto, para obter essas vantagens na prática, a máquina deve poder funcionar nas condições ideais.

O dimensionamento dos componentes é também crucial para o funcionamento correto da instalação.



A VIRAGEM EM DIREÇÃO ÀS BOMBAS DE CALOR

Eng.^{os} Claudio Ardizzoia e Alessia Soldarini

O papel das bombas de calor está a tornar-se cada vez mais importante na transição ecológica da área do aquecimento e climatização. Espera-se que a sua contribuição para o consumo de fontes térmicas renováveis cresça ao longo dos anos, graças também às estratégias nacionais e comunitárias adotadas pelos vários países. Em seguida, apresentamos um resumo do quadro regulamentar que irá favorecer as tendências de crescimento das bombas de calor nos próximos anos em Itália e na Europa.

QUADRO REGULAMENTAR

O Protocolo de Quioto, que entrou em vigor em 2005, é o primeiro acordo internacional entre Estados com o objetivo de combater o aquecimento global. Aplicando as recomendações do protocolo de Quioto, a União Europeia emitiu medidas que visam proteger o clima e o ambiente: a Diretiva *Energy Related Products* (ErP) sobre produtos relacionados com a energia e a Diretiva *Energy Labelling* (ELD) relativa à etiqueta

energética. O objetivo final passa por melhorar o desempenho global das instalações de climatização nos países, através de uma nova forma de avaliar o desempenho dos produtos e sistemas de climatização.

O primeiro objetivo do Protocolo de Quioto, denominado “20-20-20”, deveria ter sido alcançado até **2020** e representava o *Climate and Energy Package* (Pacote para o Clima e a Energia). Os objetivos-chave para **2030**

estão reunidos no *Climate and Energy Framework* (Quadro para o Clima e a Energia) e centram-se na redução dos gases com efeito de estufa e na regulamentação do uso do solo. No entanto, a visão estratégica a longo prazo da Comissão Europeia aponta o ano de **2050** para uma economia climaticamente neutra, com o objetivo de manter o aumento da temperatura global inferior a 2 °C, mas também com o intuito de reduzir este limite para um valor inferior a 1,5 °C.

Estes objetivos só poderão ser alcançados se for definida e implementada uma estratégia de requalificação energética dos edifícios existentes com um horizonte até 2050 (*Renovation Wave*), baseada nas sinergias entre a melhoria da eficiência energética e a utilização de energias renováveis; neste contexto, o papel das bombas de calor será fundamental.

DIRETIVA ERP PARA AS BOMBAS DE CALOR

Em 2015, a Diretiva ErP introduziu requisitos mínimos obrigatórios de desempenho para todos os dispositivos de aquecimento e produção de água quente sanitária. Todos os produtos devem ser acompanhados por uma etiqueta energética que forneça ao utilizador informações precisas e simples para uma comparação rápida. Os dados técnicos apresentados na etiqueta das bombas de calor devem incluir a potência térmica e o nível de ruído, bem como a classe de eficiência energética (de A+++ a G).

A partir de setembro de 2019, foram eliminadas as classes de eficiência mais baixas (de E a G), e as bombas de calor de melhor desempenho tornaram-se ainda mais facilmente reconhecíveis, introduzindo a classe A+++.

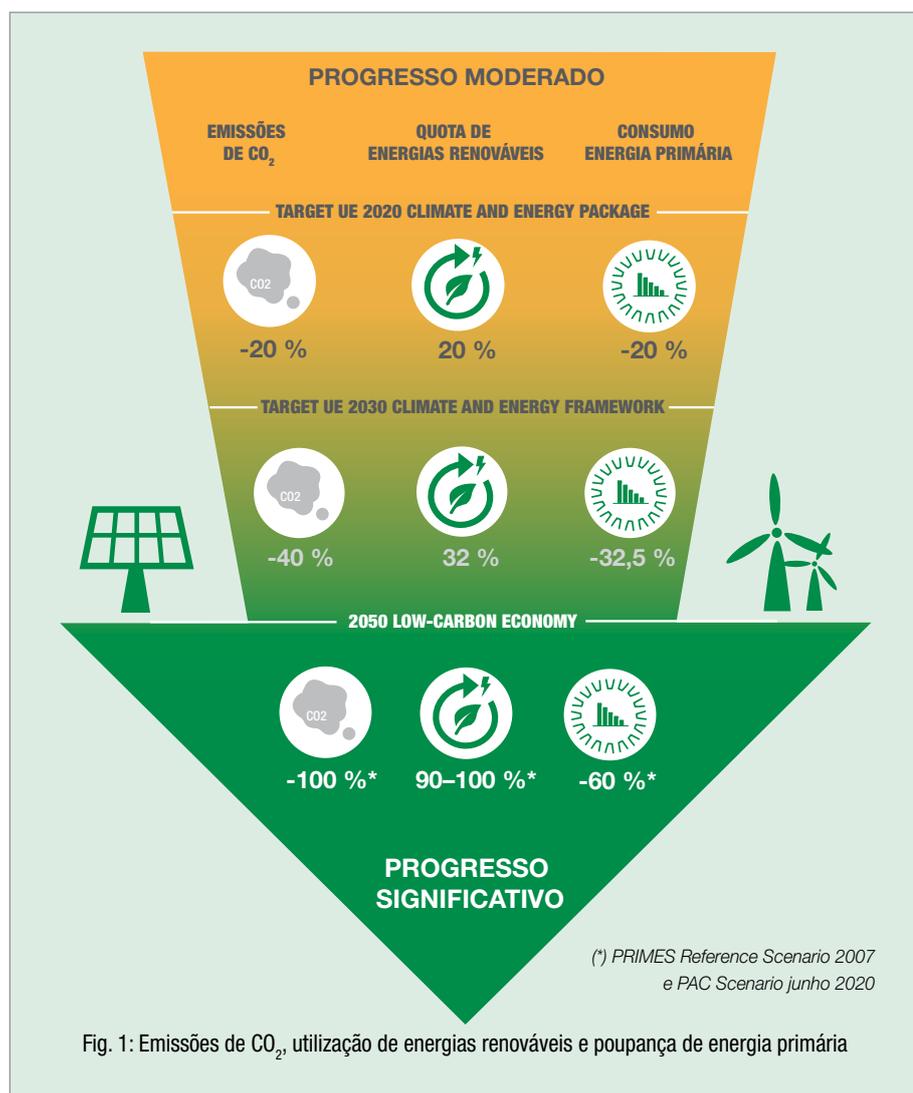


Fig. 1: Emissões de CO₂, utilização de energias renováveis e poupança de energia primária

A DIRETIVA RÓTULO ECOLÓGICO (ECOLABEL)

Embora os requisitos de desempenho para geradores de calor e termoacumuladores sejam regulados pela Diretiva ErP, a Diretiva Ecolabel clarifica de que forma a informação sobre estes produtos é fornecida aos consumidores, partindo do princípio de que apenas com informação clara e compreensível poderemos encorajar a compra dos produtos mais eficientes do ponto de vista energético.

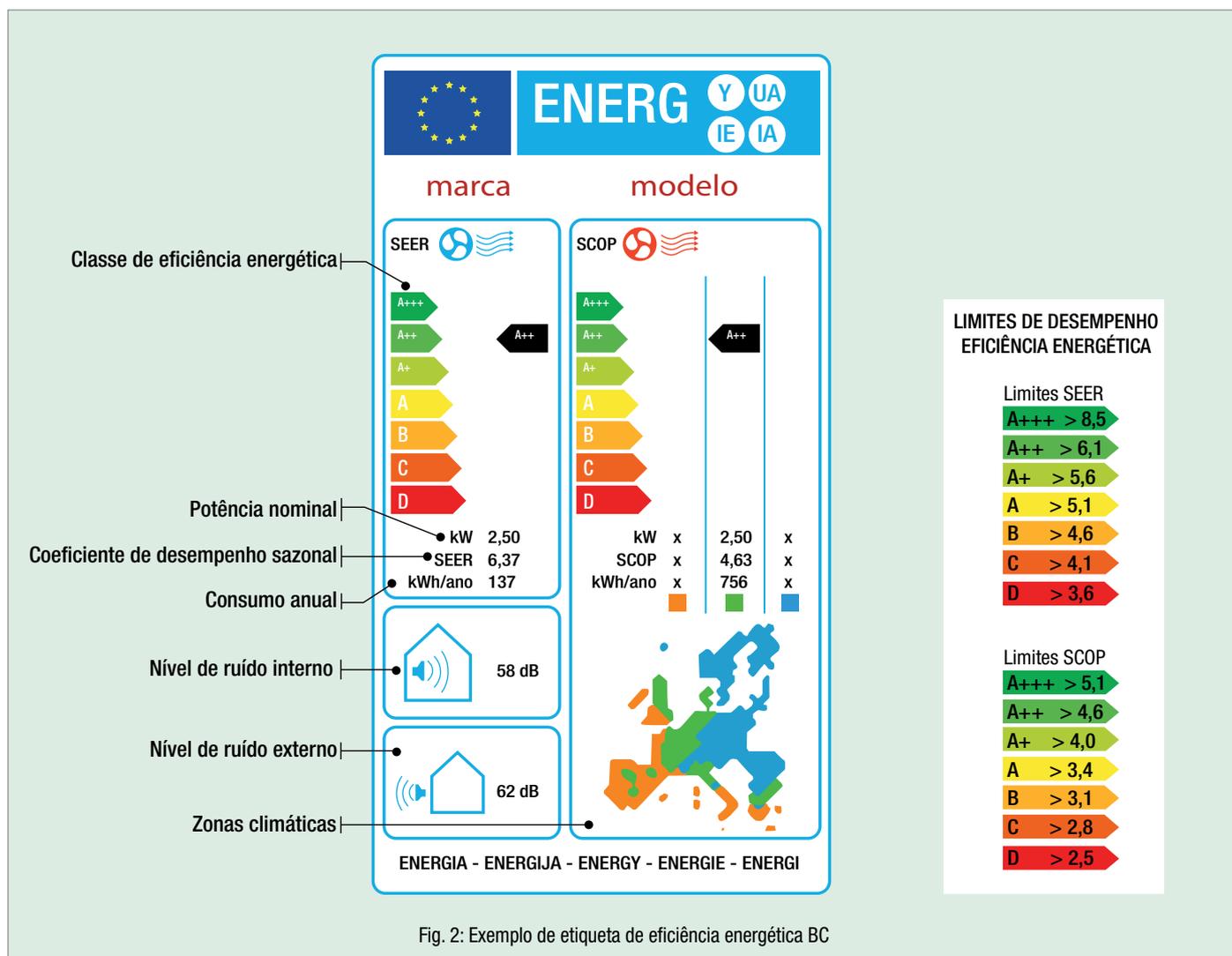
A partir de 2015, os geradores de calor e os acumuladores de água quente sanitária também devem apresentar as etiquetas de eficiência energética. A etiqueta do produto (ou do sistema no caso de uma combinação de produtos)

deve apresentar a classe energética alcançada, que vai de A+++ a D.

A DIRETIVA EPBD

O setor da construção é fundamental a fim de alcançar os objetivos energéticos e ambientais impostos pela União Europeia. Para o efeito, a Comissão Europeia criou um quadro legislativo que inclui a Diretiva relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios, a EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*). A diretiva promove políticas que ajudarão os governos nacionais da UE a melhorar o desempenho energético do património edificado existente até 2050. Entre as principais medidas de apoio promovidas pela EPBD encontram-se: a necessidade de estabelecer requisitos

mínimos de desempenho energético para a substituição ou atualização de instalações de aquecimento e arrefecimento, a adoção de tecnologias inteligentes, como dispositivos de automatização e controlo que regulam a temperatura ambiente em cada espaço e a utilização de sistemas que favorecem a salubridade do ar, como a ventilação mecânica. A EPBD, em conjunto com outras iniciativas, permitirá libertar o potencial da eficiência energética do parque habitacional existente e futuro: casas mais eficientes proporcionam poupanças económicas para os utilizadores finais e menos poluição, melhorando a qualidade do ambiente em que vivemos.



O MERCADO DAS CALDEIRAS

O parque de caldeiras instalado em Itália é superior a 19 milhões de unidades, incluindo sistemas autónomos e centralizados, na sua maioria compostos por aparelhos mais antigos com rendimentos bastante baixos e consumos e emissões elevados.

Estima-se mesmo que mais de 7 milhões de caldeiras sejam anteriores à Diretiva 90/396/CE relativa aos aparelhos a gás, ou seja, têm mais de 20 anos.

De acordo com um estudo da BSRIA, nos sete maiores países da Europa, foram vendidas e instaladas aproximadamente 5 milhões de caldeiras, por ano, desde 2006. Particularmente, em Itália nos últimos anos foram vendidas e instaladas cerca de 750 000 caldeiras por ano.

Embora as caldeiras de condensação tenham vindo progressivamente a substituir as caldeiras tradicionais de desempenho inferior, a tendência de transição para as bombas de calor está apenas numa fase inicial.

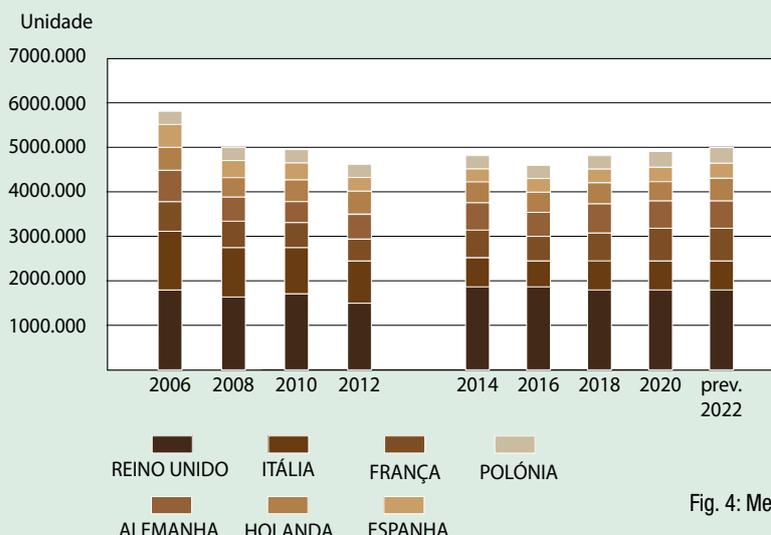


Fig. 4: Mercado europeu das caldeiras
Fonte: BSRIA

O MERCADO DAS BOMBAS DE CALOR

A partir de 2017, assistiu-se a um aumento anual progressivo de cerca de 10% do número de bombas de calor instaladas no mercado europeu. A esmagadora maioria das novas instalações é confiada às bombas de calor ar-água, tanto na versão *split* como monobloco, dedicadas à produção combinada para a climatização e AQS ou apenas AQS. As bombas de calor água-água, ou seja, aquelas que utilizam como fonte fria as águas subterráneas, o calor do subsolo (geotérmico) e o ar de renovação, fornecem uma contribuição marginal e estável ao nível numérico (consultar “Classificação das bombas de calor” na pág. 10). Apesar do significativo desenvolvimento do mercado das bombas de calor, a relação entre as BC e as caldeiras instaladas anualmente na Europa permanece fortemente desequilibrada. Com a atual taxa de crescimento deste mercado (Fig. 5) e assumindo que a quantidade de caldeiras vendidas diminui todos os anos em número igual ao aumento das bombas de calor (Fig. 4), serão necessários mais 12-15 anos para que os dois mercados alcancem números semelhantes.

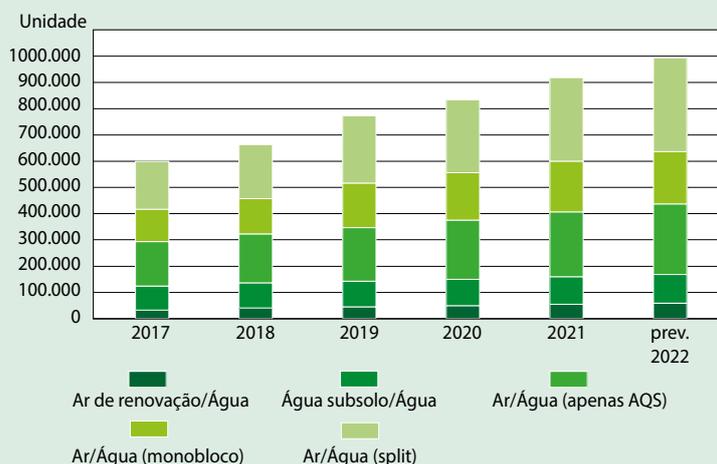


Fig. 5: Mercado europeu das BC
Fonte: BSRIA

TIPOS DE BOMBAS DE CALOR

Eng.^{os} Mattia Tomasoni e Alessia Soldarini

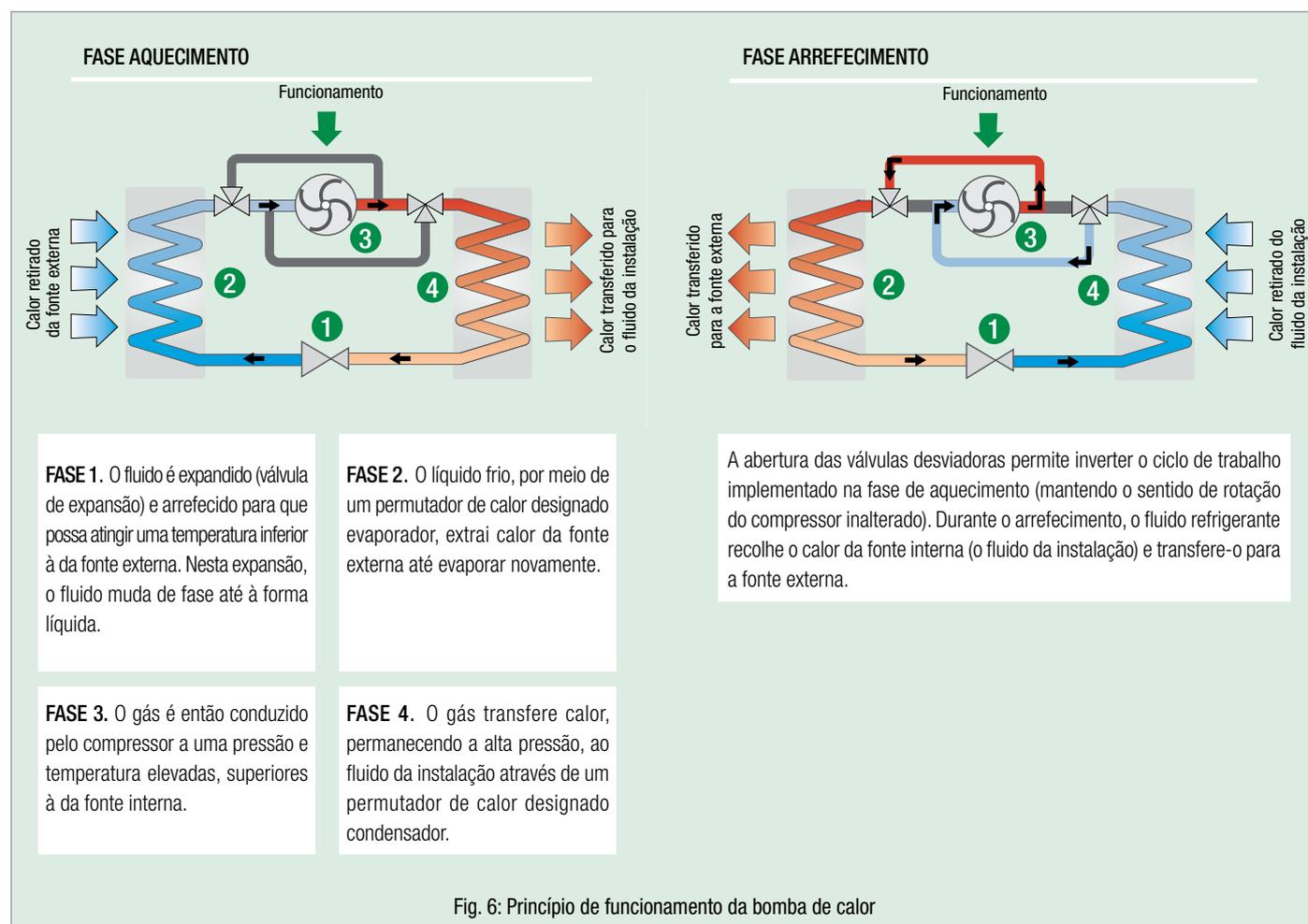
As bombas de calor transferem calor de uma fonte a temperatura mais baixa para uma fonte a temperatura mais alta, fonte exterior e interior. A bomba de calor utiliza aproximadamente 75% de energia proveniente do sol e acumulada pelo ar, água e terra, e 25% de energia elétrica para assegurar um conforto ideal no verão e no inverno.

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

A bomba de calor funciona de forma semelhante a um frigorífico normal: baseia-se no ciclo termodinâmico de um fluido, chamado gás frigorígeno ou fluido refrigerante, que pode apresentar-se em estado líquido ou gasoso, consoante a temperatura e pressão a que se encontra no momento de utilização.

[Para informações adicionais, consultar a Hidráulica 28.]

A máquina é definida como bomba de calor ou máquina frigorífica dependendo do efeito útil pretendido, ou seja, aquecimento ou arrefecimento da fonte interna (habitação). As máquinas que podem direcionar o fluido quente quer para a fonte interna quer para a externa, através de válvulas apropriadas, têm a capacidade de funcionar como bomba de calor ou como máquina frigorífica, dependendo do tipo de fonte quente ou fria. Estas máquinas são chamadas máquinas de ciclo frigorífico reversível ou simplesmente reversíveis do lado frigorífico.



CLASSIFICAÇÃO DAS BOMBAS DE CALOR SEGUNDO O TIPO DE COMPRESSÃO

A fase em que a pressão e temperatura do fluido refrigerante são elevadas (fase 3, figura 6) pode ser realizada de várias formas, todas envolvendo o fornecimento de energia ao fluido. O método mais popular atualmente é o dos compressores acionados por motores elétricos, mas existem outros que, em aplicações específicas, também apresentam características rentáveis e convenientes.

BOMBAS DE CALOR DE COMPRESSÃO COM MOTOR ELÉTRICO

Estas são as bombas de calor mais difundidas devido à versatilidade e ao custo económico dos motores elétricos e à possibilidade de utilizar a eletricidade como vetor energético. Existem vários tipos de compressores, mas os mais utilizados são os compressores de espiral, swing, de parafuso ou de levitação magnética.

As vantagens incluem o baixo custo, a manutenção reduzida e a ausência de sistemas auxiliares (uma vez que costumam ser autorrefrigerados). No entanto, as temperaturas de ida são limitadas e pode ocorrer um elevado consumo de energia devido a altas correntes de arranque (parcialmente atenuadas pela eletrónica de potência).

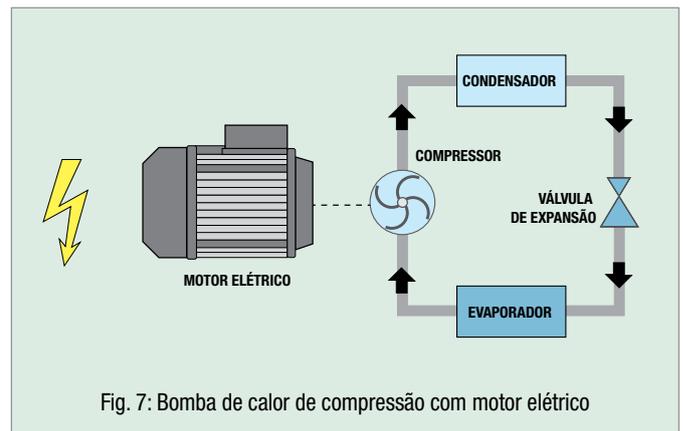


Fig. 7: Bomba de calor de compressão com motor elétrico

BOMBAS DE CALOR DE COMPRESSÃO COM MOTOR ENDOTÉRMICO

Nestas bombas de calor, o compressor é acionado por um motor endotérmico, que é geralmente alimentado a gás e de origem automobilística. A vantagem destas máquinas, também conhecidas como GHP (*Gas Heat Pump*) ou GEHP (*Gas Engine Heat Pump*), é serem capazes de aumentar a temperatura de ida aproveitando o calor disperso pelo motor através dos gases de descarga e do circuito de arrefecimento. Por estas razões, trata-se de uma alternativa válida em requalificações que envolvem a substituição de caldeiras a gás, sobretudo para potências elevadas.

As vantagens são o consumo maioritariamente de gás e a produção de água a alta temperatura. Os custos de investimento e manutenção são elevados, porém é um sistema a considerar em contextos onde existem limitações em termos de capacidade de alimentação elétrica.

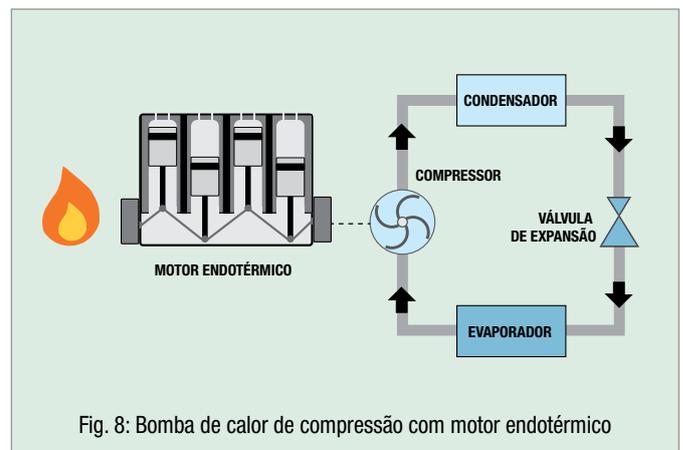


Fig. 8: Bomba de calor de compressão com motor endotérmico

BOMBAS DE CALOR DE ABSORÇÃO

A diferença mais significativa entre bombas de calor de absorção e as elétricas (ou a gás) é a ausência da fase de compressão, que é completamente substituída por duas fases distintas: geração e absorção.

No absorvedor, o fluido refrigerante, proveniente do evaporador no estado gasoso, é absorvido por um fluido (chamado absorvente) e regressa ao estado líquido. O fluido resultante (refrigerante mais absorvente) é então bombeado para o gerador onde, graças a um fornecimento externo de calor (proveniente, por exemplo, de cogeneradores, redes de teleaquecimento ou processos industriais) liberta novamente o fluido refrigerante a uma pressão e temperatura elevadas.

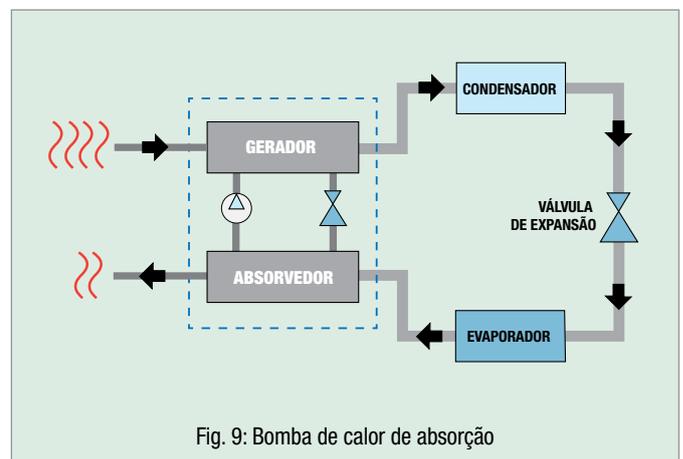
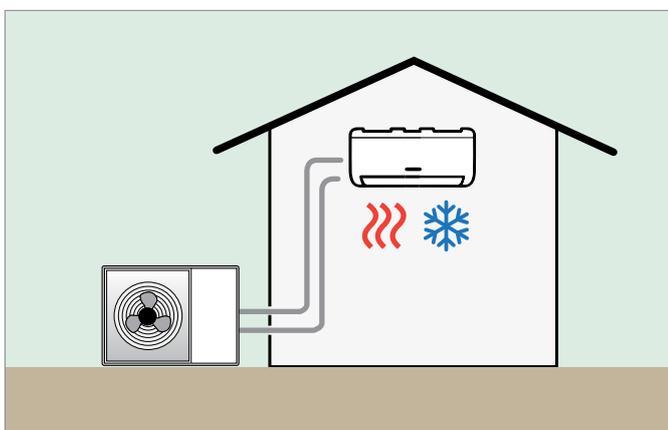


Fig. 9: Bomba de calor de absorção

CLASSIFICAÇÃO DAS BOMBAS DE CALOR SEGUNDO O TIPO DE FONTE TÉRMICA

As **fontes frias** (ou fontes externas) podem ser: o **ar**, externo ou, em alguns casos, ar recuperado (expelido pelas instalações de ventilação ou circuitos de arrefecimento industriais); a **água**, que pode ser de superfície, subterrânea ou derivada de circuitos dedicados, tais como anéis de condensação; ou a **terra**, onde o calor é absorvido através de permutadores especiais chamados sondas geotérmicas. As **fontes quentes** (isto é, o fluido da instalação ou fontes internas) podem ser: o **ar**, quando a bomba de calor aquece diretamente o ar ambiente, ou a **água**, quando a bomba de calor aquece a água utilizada como fluido vetor nos circuitos de aquecimento.

BOMBAS DE CALOR AR-AR



Estas bombas de calor estão equipadas com permutadores de ar/gás refrigerante. A fonte fria – o ar externo – possui temperatura variável.

Uma vez que estão expostas a temperaturas externas muito baixas, requerem descongelação periódica (consultar “Ciclo de descongelação” pág. 33).

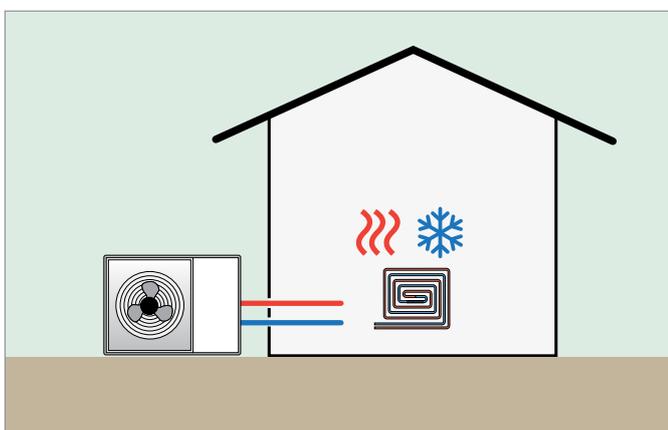
Existem dois tipos:

- **SPLIT.** O permutador em direção à fonte fria e os restantes componentes do circuito frigorífico estão localizados no exterior, enquanto o permutador em direção à fonte quente está localizado nos espaços a aquecer. Os permutadores estão ligados por meio de tubos que contêm gás refrigerante.
- **ROOFTOP.** Todo o circuito frigorífico está numa única máquina, e o ar é conduzido para as habitações através de tubagens.

Geralmente, as instalações ar-ar para edifícios residenciais e comerciais de pequena dimensão são do tipo *split*, uma vez que o circuito frigorífico apresenta custos e dimensões reduzidos.

Por sua vez, os sistemas *rooftop* são mais utilizados em centros comerciais, teatros e unidades de produção onde existe a possibilidade de implementar as tubagens necessárias.

BOMBAS DE CALOR AR-ÁGUA

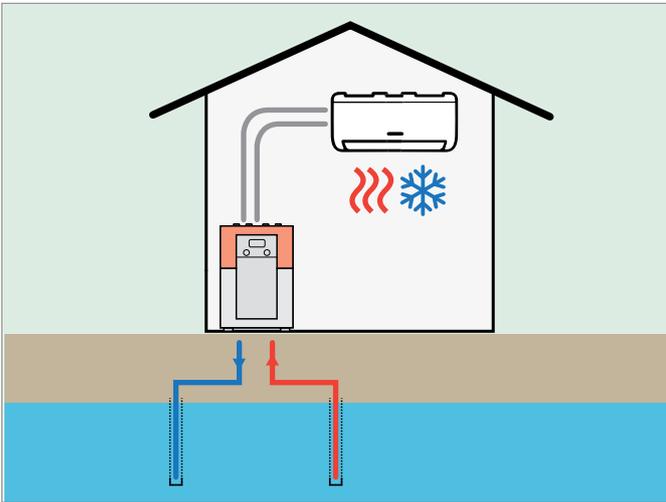


As bombas de calor ar-água extraem a energia gratuita presente no ar e transferem-na para a água sob a forma de calor. Ao contrário das bombas de calor ar-ar, a produção de água técnica para alimentar uma instalação hidráulica assegura uma grande versatilidade em termos de soluções de instalação. Portanto, é possível utilizar bombas de calor ar-água tanto no setor residencial (com radiadores, ventiloconvetores, piso radiante, etc.) como nos setores terciário e industrial (com baterias que servem as unidades de tratamento de ar).

A elevada aplicabilidade de instalação permite ainda manter o sistema de distribuição existente (e, por vezes, também o sistema de emissão existente) em instalações originalmente equipadas com geradores a gás, sem necessidade de requalificar toda a instalação.

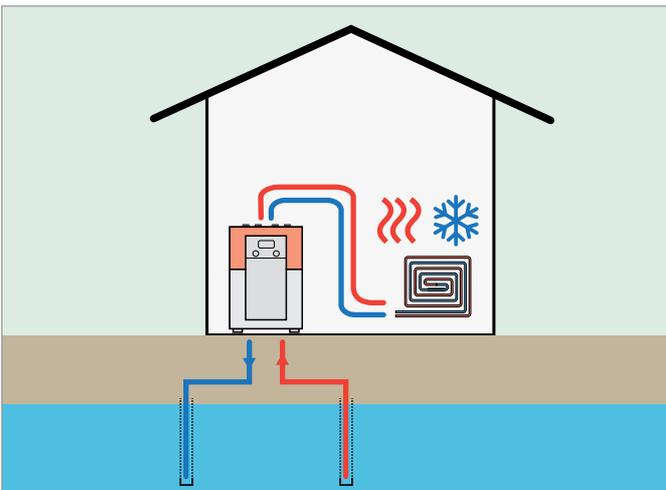
As limitações estão relacionadas com a variação de potência e rendimento e, sobretudo, com as temperaturas de ida.

BOMBAS DE CALOR ÁGUA-AIR



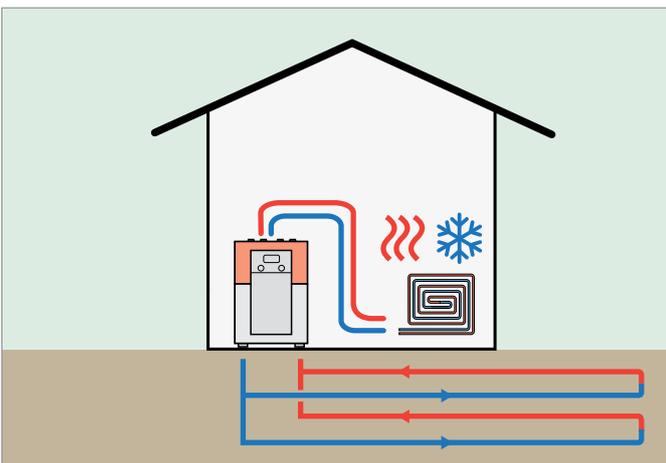
Utilizam, como fonte fria, a água presente no subsolo recolhida por meio de poços e, como fonte quente, circuitos hidráulicos específicos como os anéis de condensação. Costumam ser instaladas na cobertura (*rooftop*) mas, em casos especiais, por razões de espaço ou de estética, podem ser instaladas no interior e associadas às *split*. São pouco utilizadas, pois requerem a construção de poços de recolha de água da fonte fria, sujeitos a análises geológicas e licenças de captação.

BOMBAS DE CALOR ÁGUA-ÁGUA



Apresentam ambas as permutas de calor, das fontes fria e quente, com água. O lado frio extrai energia da água, que é geralmente recolhida dos lençóis freáticos (neste caso, falamos de BC geotérmicas de água subterrânea) ou de águas superficiais como lagos, rios ou o mar. O lado quente é utilizado como gerador de calor em instalações tradicionais. A estabilidade de funcionamento e o excelente rendimento são as vantagens destas máquinas. Além disso, conseguem desenvolver grandes potências em espaços relativamente reduzidos. São limitadas pela presença ou ausência de água explorável para fins térmicos e pelas licenças associadas. Existem ainda restrições de aplicação, nos casos em que estas máquinas são utilizadas para recuperar calor, como em circuitos de arrefecimento de processos industriais.

BOMBAS DE CALOR TERRA-ÁGUA



São BC água-água, também designadas bombas de calor geotérmicas, nas quais a água da fonte fria é utilizada como fluido intermédio para permutas de calor com o solo. Os permutadores são constituídos por tubagens de material plástico enterradas no solo chamadas “sondas geotérmicas”, que se estendem em profundidade (sondas verticais) ou exploram a superfície (sondas horizontais). As BC geotérmicas, tal como as BC água-água, funcionam em condições de permuta térmica estável com a fonte fria, pelo que não requerem ciclos de descongelamento (consultar “Ciclo de descongelamento” na pág. 33). Não requerem a disponibilidade de água de permuta, ao contrário das máquinas água-água. Os custos de fabrico das sondas são muito elevados.

BOMBAS DE CALOR AR-ÁGUA

As bombas de calor ar-água são as mais utilizadas para o aquecimento doméstico. A sua maior difusão em comparação com os restantes sistemas de ciclo frigorífico deve-se, principalmente, às seguintes razões:

- **Versatilidade.** Podem ser ligadas aos sistemas de distribuição hidráulicos tradicionais, tanto novos como existentes. A exploração do ar como fonte fria permite a sua utilização em qualquer contexto em que seja possível instalar uma unidade externa ou aplicar as condutas de ar apropriadas.
- **Custos reduzidos.** Têm um custo de instalação inferior comparativamente com outros tipos de BC, uma vez que não requerem instalações auxiliares complexas, tais como obras de captação e retorno de água, poços ou sondas geotérmicas.
- **Evolução técnica contínua.** Nos últimos anos, foram alvo de grandes inovações técnicas: gestão da potência fornecida otimizada para um maior rendimento, aumento da temperatura máxima alcançada e maior fiabilidade.

Contudo, estas máquinas apresentam algumas limitações:

- **Elevados consumos elétricos de pico.** O dimensionamento está normalmente associado às condições mais desfavoráveis (temperatura do ar externo), o que conduz ao sobredimensionamento e, sobretudo, a um maior consumo de eletricidade de pico em relação a outros tipos de bombas de calor. Portanto, é geralmente necessária uma maior potência elétrica relativamente às bombas de calor equivalentes que utilizam outras tecnologias (consultar “Instalação monofásica ou trifásica?” na pág. 46).
- **Ciclos de descongelação indispensáveis.** Em determinadas condições, a humidade presente no ar externo congela no permutador da máquina, prejudicando a permuta térmica e o funcionamento regular. Para restabelecer o funcionamento normal são efetuadas inversões de ciclo, que aquecem o permutador e derretem a camada de gelo depositada. Estes ciclos implicam um gasto energético em detrimento do rendimento e dos custos (consultar capítulo “Ciclo de descongelação” na pág. 33).
- **Rendimento influenciado pela temperatura do ar e da água.** O rendimento e os custos de gestão das bombas de calor ar-água dependem da temperatura à qual a água quente de ida para a instalação é produzida e da temperatura do ar externo. Uma fase de projeto que não considere as instalações associadas a estas máquinas ou uma regulação incorreta podem conduzir a um consumo elevado (consultar capítulo “Eficiência energética e relação custo-benefício” na pág. 17).
- **Ruído.** As unidades exteriores requerem um espaço adequado a fim de assegurar uma permuta de ar correta. Além disso, o nível de ruído destas unidades deve ser oportunamente avaliado e, em alguns casos, devem ser tomadas medidas adequadas de insonorização (consultar “O controlo do ruído nas bombas de calor” na pág. 16).



Fig. 10: Vantagens e desvantagens da utilização de bombas de calor ar-água em comparação com outros sistemas de ciclo frio

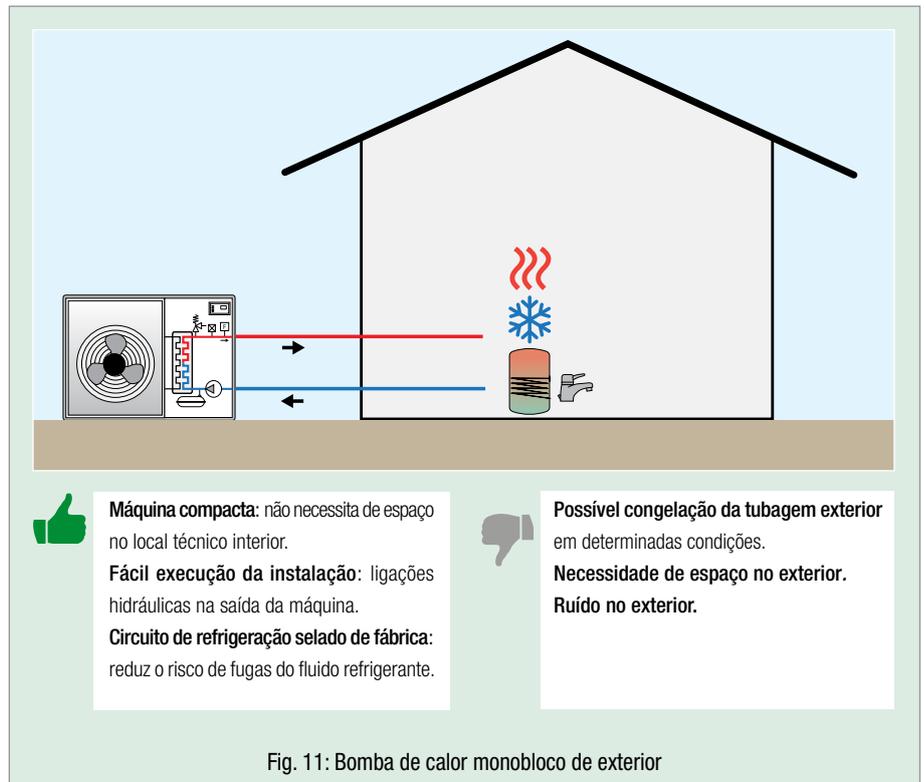
BC MONOBLOCO DE EXTERIOR

A bomba de calor monobloco consiste num equipamento único que contém todos os elementos do circuito frigorífico no interior: o permutador de placas de água/fluido refrigerante, o compressor, a válvula de expansão e o ventilador que permite a permuta térmica ar/fluido refrigerante no evaporador.

Alguns elementos do circuito hidráulico podem ser integrados na máquina, como o circulador, o fluxóstato, o vaso de expansão, o purgador de ar e a válvula de segurança.

A unidade, posicionada no exterior, está ligada diretamente à instalação através de tubagens que conduzem a água técnica da máquina para o edifício.

A máquina monobloco é vantajosa em todas as situações em que há necessidade de poupar espaço técnico no interior dos edifícios.

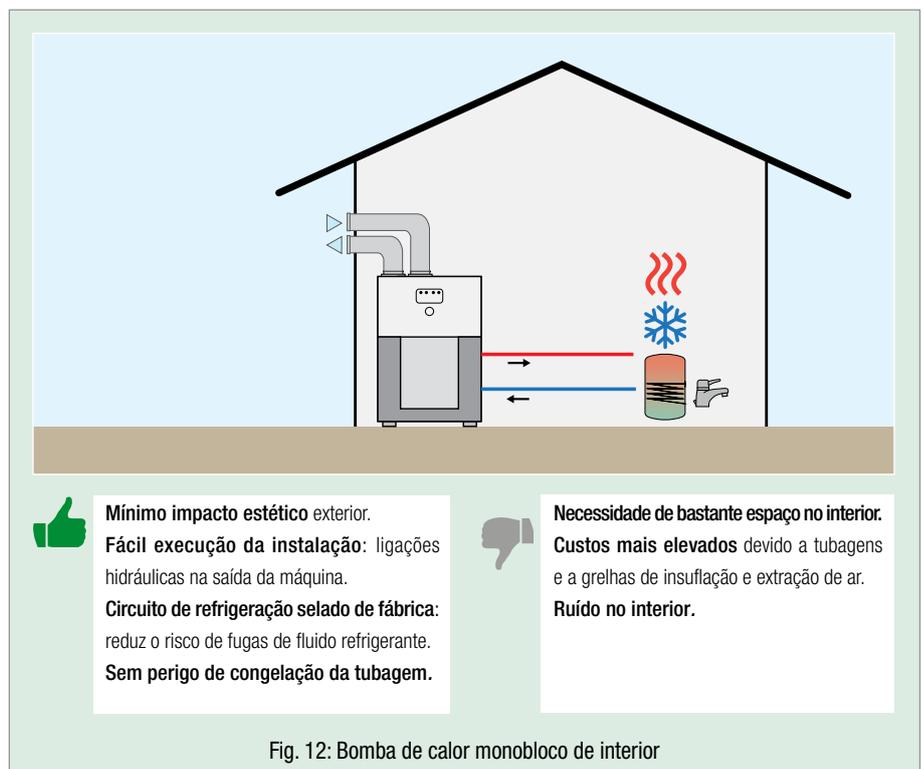


BC MONOBLOCO DE INTERIOR

Consiste numa bomba de calor monobloco equipada com ventiladores (no permutador de ar), com uma altura manométrica que permite a canalização do ar.

Nalguns modelos pode ser aplicada tubagem tanto na insuflação como na extração; noutros modelos, apenas a extração é canalizada, retirando o ar do espaço onde está instalada. Estes ambientes devem estar equipados com aberturas apropriadas a fim de assegurar o fornecimento adequado do ar de renovação utilizado pela máquina.

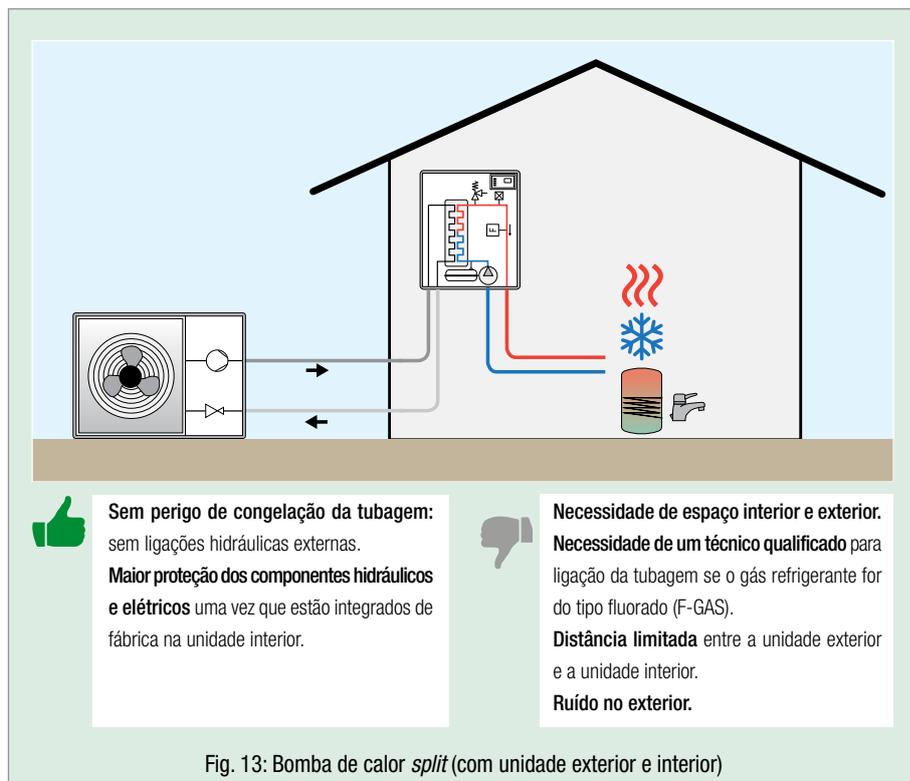
São utilizadas onde as unidades exteriores não podem ser instaladas, principalmente por razões estéticas.



BOMBAS DE CALOR SPLIT

A bomba de calor *split* (do inglês “dividida”) é, ao contrário da monobloco, composta por um módulo posicionado no interior do edifício e por uma unidade exterior que permuta calor com o ar. Os componentes principais que caracterizam a unidade interior são: o permutador de placas de água/fluido refrigerante, o circulador do circuito primário, o fluxóstato, o vaso de expansão, o purgador de ar e a válvula de segurança. Na unidade exterior o compressor, a válvula de expansão e o ventilador são mantidos, permutando calor com o fluido refrigerante por meio do ar externo.

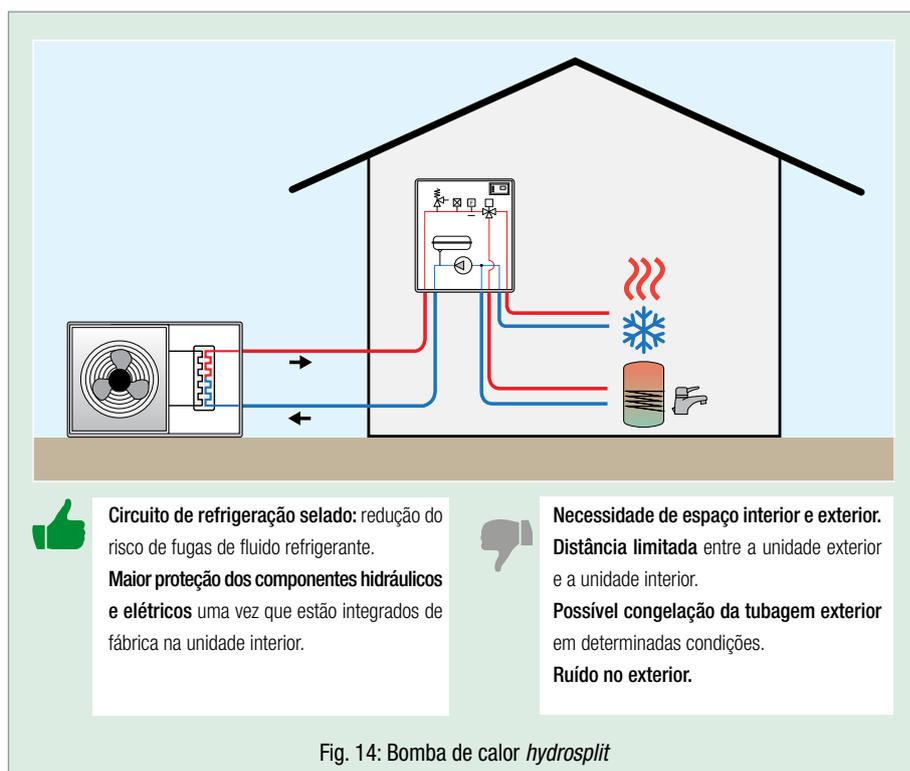
A ligação térmica entre as duas unidades é realizada por meio de tubagem de fluido refrigerante de alta pressão.



BOMBAS DE CALOR HYDROPLIT

A bomba de calor *hydrosplit* é conceptualmente semelhante a uma BC monobloco associada a um módulo interior, que integra todos os componentes hidráulicos e eletrónicos da máquina, de modo a condensá-los num único local e a torná-los mais facilmente acessíveis para manutenção. A proteção destes componentes é também maior do que se fossem posicionados externamente.

A ligação entre as duas unidades é realizada através de tubagem hidráulica.



O CONTROLO DO RUÍDO NAS BOMBAS DE CALOR

As unidades externas das BC a ar podem apresentar problemas de ruído e vibrações, tanto para as habitações alimentadas pela instalação como para as adjacentes. Por este motivo, deve ser dada atenção à sua instalação e posicionamento.

O ruído pode ser transmitido:

- por via sólida, ou seja, ruído gerado por vibrações das máquinas que se propaga através das estruturas;
- por via aérea, ou seja, ruído que irradia da fonte sonora através do ar.

A fim de limitar o ruído transmitido por via sólida, é necessário:

- montar pés antivibratórios adequados para o suporte das máquinas, especialmente em varandas ou telhados, por cima dos espaços habitados;
- instalar as máquinas em espaços estruturalmente separados das habitações, por exemplo, em jardins.

De modo a limitar o ruído transmitido por via aérea, é necessário:

- instalar as máquinas em locais não “visíveis” por recetores como portas e janelas e, em todo o caso, o mais longe possível das mesmas;
- prestar atenção ao ruído refletido;
- instalar uma barreira acústica ou isolamento acústico adequado. A barreira acústica também deve ser fonoabsorvente caso ocorram fenómenos refletivos da onda sonora. O isolamento acústico deve assegurar uma passagem de ar adequada para o funcionamento correto da máquina.

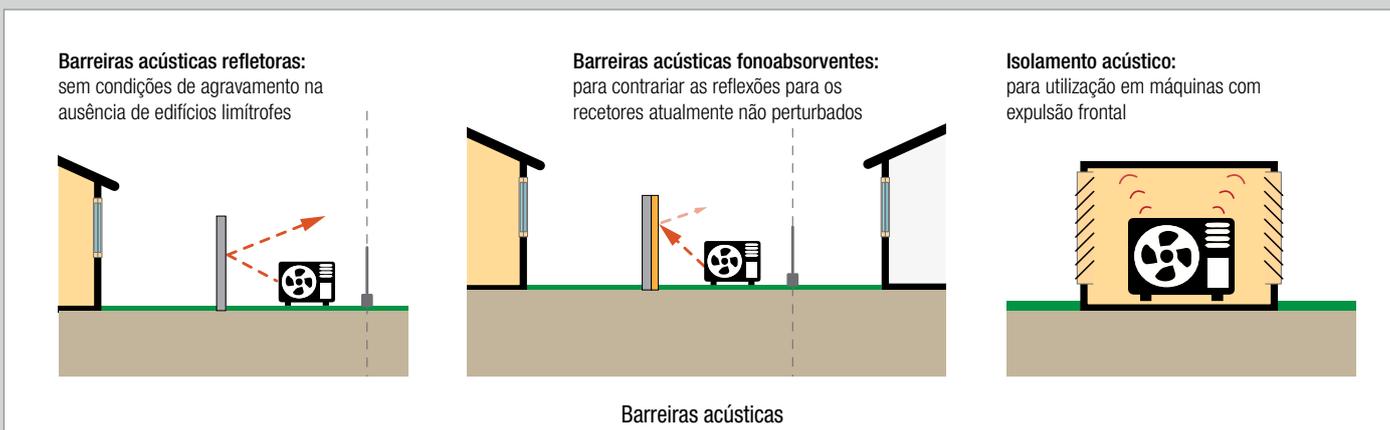
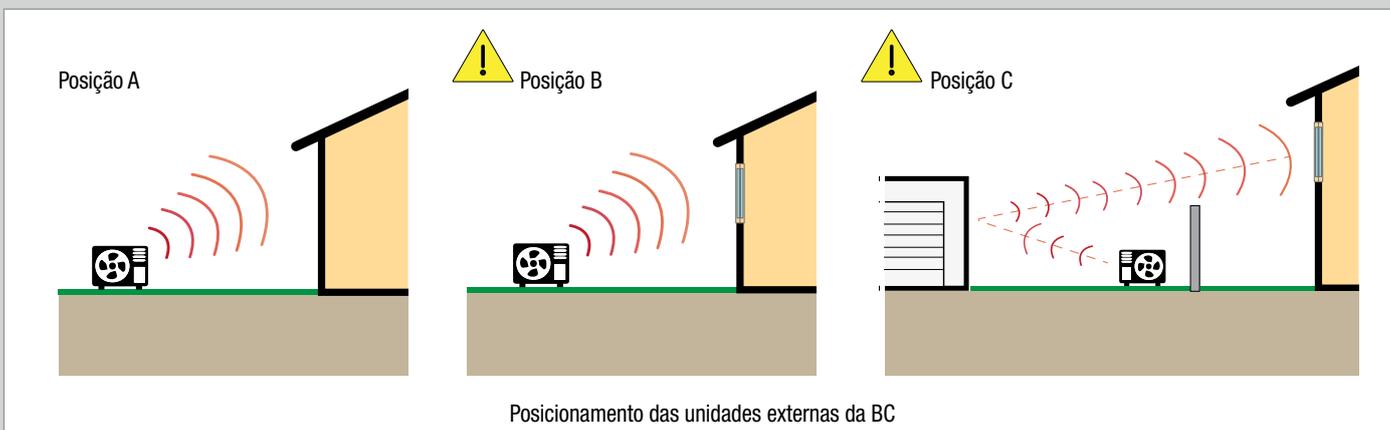
LIMITES LEGAIS

As emissões sonoras são limitadas por lei e os critérios de verificação preveem uma:

1. **Verificação absoluta:** coloca um limite tanto no valor da emissão (medido próximo da fonte de ruído) como no valor de entrada (medido

próximo do ponto a verificar). Estes valores-limite diferem por tipo de área (industrial ou residencial) e por período (diurno ou noturno). No caso de áreas residenciais para o período noturno, o limite de emissão é fixado em 40 dB.

2. **Verificação diferencial:** limita a diferença entre o ruído de entrada (medido perto do ponto a verificar) quando a fonte de ruído está ligada e quando está desligada. Esta diferença durante o período noturno não deve exceder os 3 dB.



EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO

Eng.^{os} Mattia Tomasoni e Alessia Soldarini

As bombas de calor têm vindo a tornar-se muito populares nos últimos anos. Isto deve-se a vários fatores como, por exemplo, a construção de habitações cada vez mais eficientes (que requerem baixas potências térmicas e, portanto, podem ser combinadas com as dimensões comerciais mais comuns destas máquinas) e a adoção de sistemas de emissão que permitem baixas temperaturas de distribuição compatíveis com as que podem ser atingidas por bombas de calor.

O factor mais importante é a poupança energética que estas máquinas proporcionam em comparação com os sistemas mais tradicionais, como as caldeiras a gás. Combinado com legislação cada vez mais rigorosa em termos de impacto ambiental, isto tornou a adoção de tais sistemas a norma para instalações em novos edifícios e em caso de remodelações significativas.

Em geral, a poupança energética é seguida da poupança económica, uma vez que as máquinas mais eficientes apresentam consumos menores para a mesma quantidade de energia produzida. No entanto, se compararmos um sistema tradicional, como uma caldeira a gás, a uma bomba de calor, o nível da poupança energética não é equivalente ao da poupança económica.

RENDIMENTO DE UM GERADOR

A fim de comparar o consumo energético dos geradores alimentados por diferentes fontes, toma-se como referência o consumo de energia primária. Por outras palavras, compara-se a quantidade de energia presente na natureza consumida pelo gerador para produzir a energia térmica.

A razão entre a energia primária consumida e a energia térmica produzida é também chamada rendimento do gerador (ou de geração), tal como demonstrado na fórmula 1.

$$\eta_{\text{JAN}} = \frac{E_{\text{TÉRMICA}}}{E_{\text{PRIMÁRIA}}}$$

Fórmula 1

RENDIMENTO DE UMA CALDEIRA CONVENCIONAL E DE CONDENSAÇÃO

Uma caldeira converte a energia contida no interior do combustível em energia térmica. Para simplificar, e porque são os geradores mais difundidos, vamos concentrar-nos nas caldeiras alimentadas a gás natural, embora as considerações possam facilmente ser alargadas a qualquer caldeira de combustível sólido ou líquido.

A energia térmica contida no combustível é indicada pela potência calorífica. Esta, como se sabe, é expressa com dois valores: um superior (PCS — Potência Calorífica Superior) e um inferior (PCI — Potência Calorífica Inferior) consoante o calor necessário para evaporar a água produzida por combustão seja considerado como energia útil (explorável por combustão) ou não.

Os geradores que podem explorar a energia contida no vapor da combustão são chamados geradores de condensação. Tradicionalmente, como não havia tecnologias de grande escala para aproveitamento da condensação, o conteúdo energético dos combustíveis foi sempre identificado com a potência calorífica inferior e, por analogia, o rendimento dos geradores foi também sempre referente à Potência Calorífica Inferior (PCI).

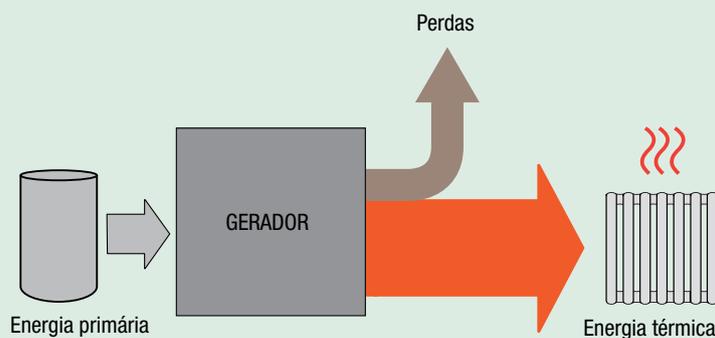
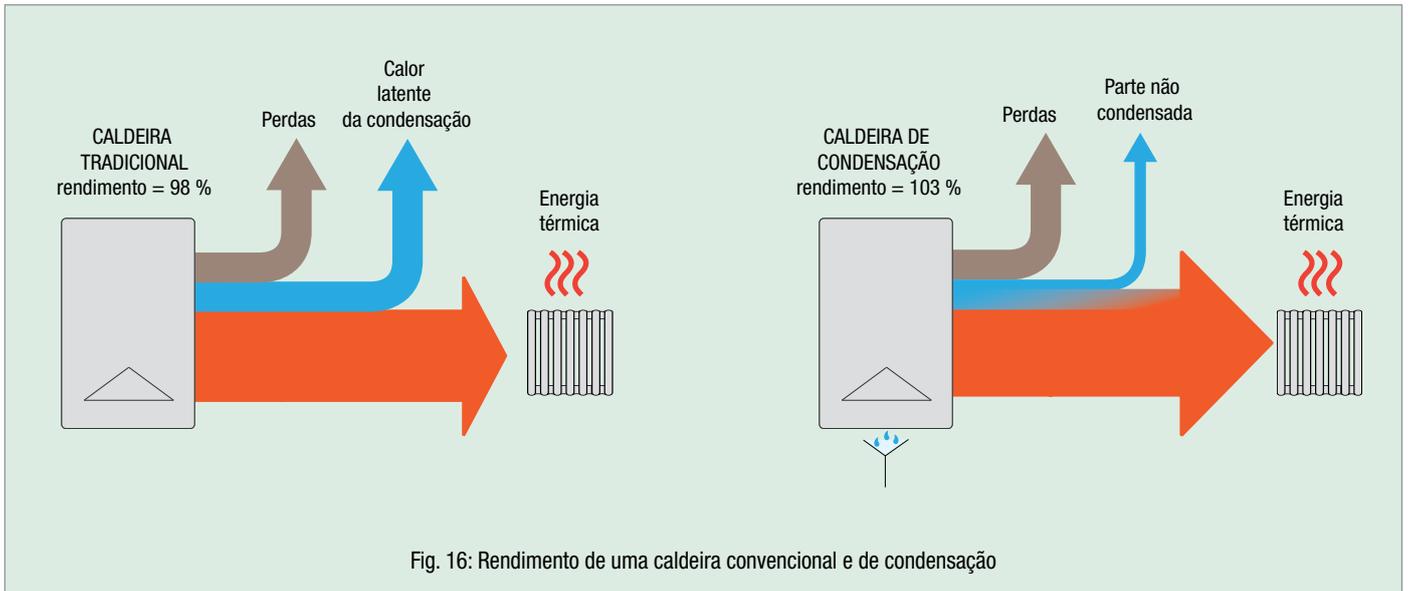


Fig. 15: Rendimento do gerador



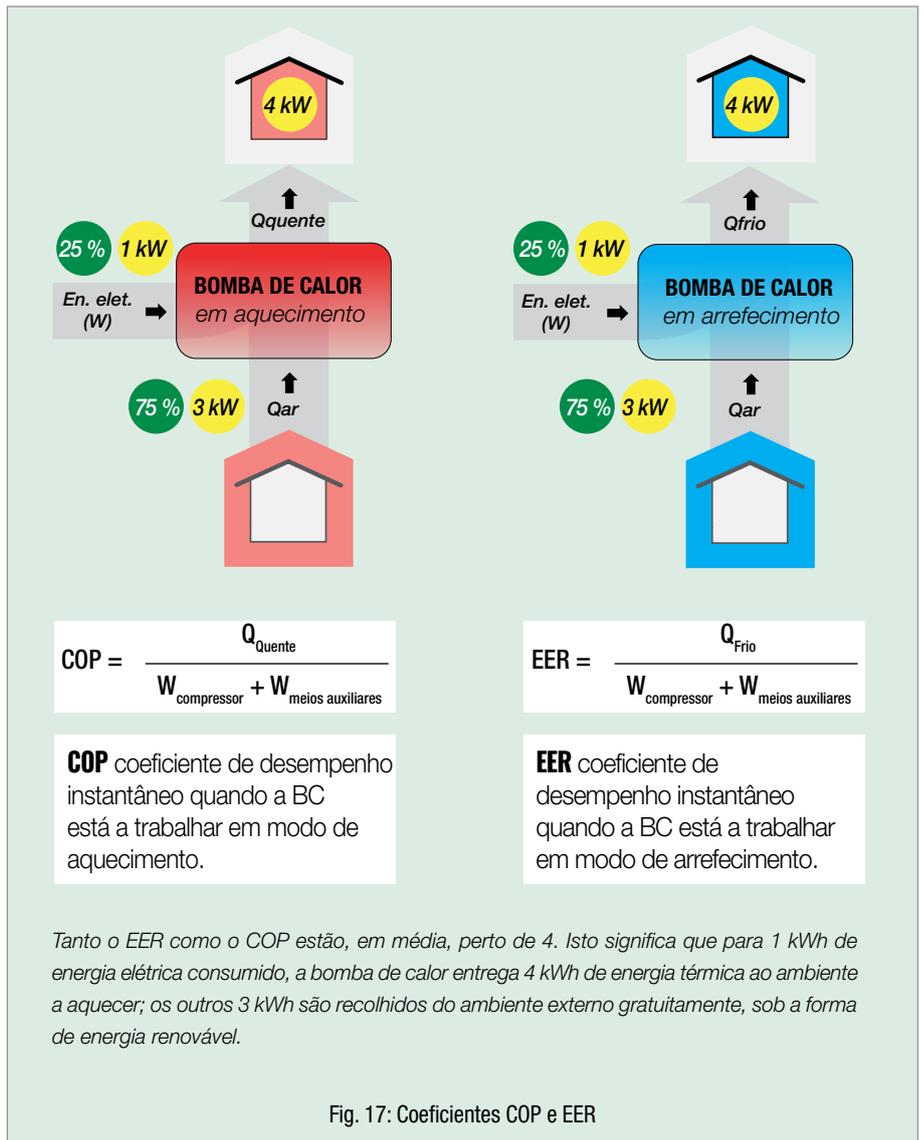
O RENDIMENTO DE UMA BOMBA DE CALOR

Uma bomba de calor é uma máquina de ciclo frigorífico que transfere calor de uma fonte fria para uma fonte quente utilizando energia elétrica.

A eficiência com que as BC transferem calor é definida pelo COP. O seu valor é obtido pela relação entre o calor transferido para o fluido quente (energia térmica entregue ao ponto de utilização) e a energia elétrica total absorvida (energia requerida tanto pelo compressor como pelos meios auxiliares integrados na bomba de calor: dispositivos antigelo, equipamento de regulação e controlo, circuladores, ventiladores) (Fig. 17).

[Para informações adicionais, consultar a Hidráulica 28.]

Durante o funcionamento em modo de arrefecimento, o parâmetro que representa a eficiência da máquina é identificado com a sigla EER. É calculado como a razão entre a energia térmica subtraída do ponto de utilização e o total de energia elétrica absorvida (como no caso do COP, a energia elétrica absorvida é a soma da energia requerida pelo compressor e todos os meios auxiliares integrados na bomba de calor) (Fig. 17).



A norma EN 14511 permite ao fabricante determinar o desempenho da bomba de calor (COP) em função de:

- funcionamento à velocidade nominal;
- modo de aquecimento;
- temperatura externa fixa;
- temperatura de ida fixa.

O ponto de funcionamento à potência nominal, com o qual o fabricante identifica a máquina no mercado, é normalmente calculado com uma temperatura externa do ar equivalente a 7 °C e uma temperatura de ida da água equivalente a 35 °C (A7W35). Por exemplo, uma BC com uma potência nominal declarada de 6 kW produz 6 kW térmicos a A7W35.

No entanto, este valor não é representativo das condições de funcionamento reais da BC durante a sua operação ao longo de uma estação de aquecimento completa. O COP/EER não é um valor constante e, especialmente nas bombas de calor ar-água, pode variar consideravelmente dependendo de:

- **temperatura externa do ar;**
- **temperatura de produção de água quente ou fria;**
- **fator de carga da máquina;**
- **incidência de ciclos de descongelação.**

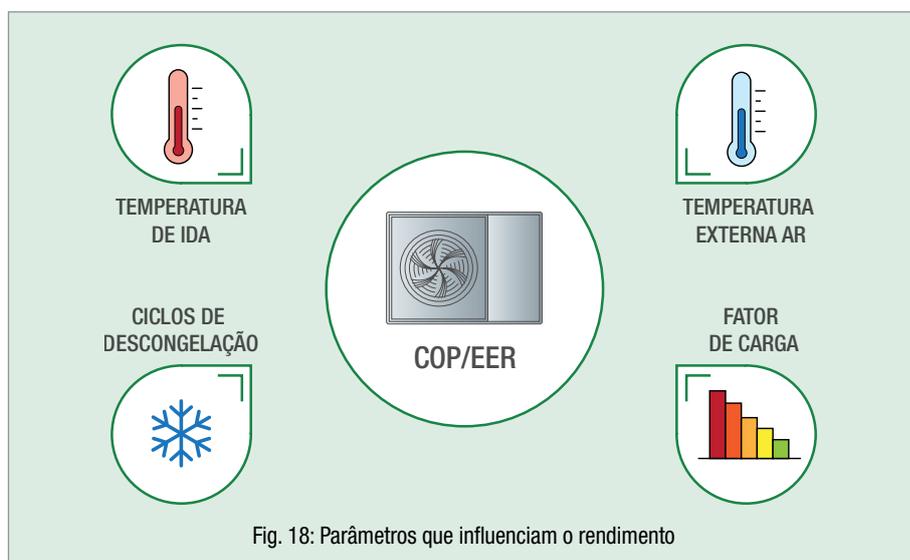


Fig. 18: Parâmetros que influenciam o rendimento

De facto, as fichas técnicas mostram vários valores COP (ou EER), dependendo das diferentes temperaturas tanto do ar externo como da água de ida. A figura 19 mostra, a título de exemplo, a evolução do coeficiente de desempenho (COP) de uma bomba de calor ar-água com carga plena em função destes parâmetros.

Como se pode ver, o desempenho:

- piora em função da temperatura externa; quanto mais baixa for a temperatura externa, mais baixo será o COP;

- diminui em função da temperatura de ida; quanto mais alta for a temperatura de ida, mais baixo será o COP.

Neste exemplo, uma redução da temperatura de ida de 55 para 35 °C (para temperaturas externas superiores a 7 °C) produz uma melhoria do COP superior a um ponto.

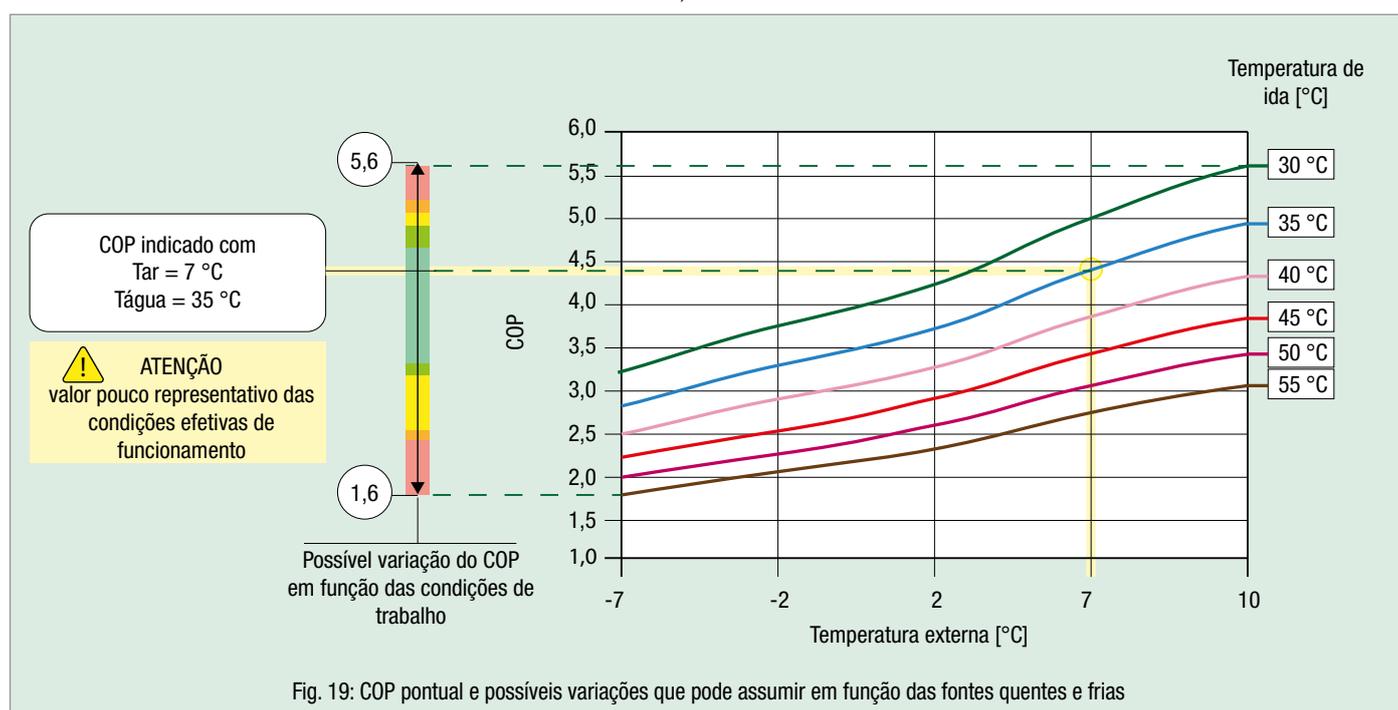


Fig. 19: COP pontual e possíveis variações que pode assumir em função das fontes quentes e frias

COP EM REGIME DE CARGA PARCIAL

As curvas de tendência do COP apresentadas nas fichas técnicas (Fig. 19) referem-se ao funcionamento da bomba de calor com carga plena, ou seja, quando a máquina está a fornecer a sua potência útil máxima (por exemplo, no caso de temperaturas externas mais frias ou durante as fases de arranque das instalações): um funcionamento pouco representativo das condições reais de trabalho. **Durante o funcionamento normal, a potência disponível da bomba de calor é frequentemente superior à potência a fornecer ao edifício.** As máquinas trabalham, portanto, com carga parcial.

O **COP_{PX} com carga parcial** é uma melhor representação da eficiência real da máquina e é obtido multiplicando o COP_{máx} com carga plena por um fator de correção (f_{CORR}) que depende apenas do fator de carga da máquina (FC) e não das condições de funcionamento. O fator de carga da máquina é a relação entre a potência instantânea necessária e a potência máxima que pode ser fornecida nas mesmas condições (Fórmula 2). Os gráficos (Fig. 20) mostram um exemplo da tendência do

COP com carga parcial:

$$COP_{PX} = COP_{máx} \times f_{CORR}$$

f_{CORR} depende do fator de carga FC

$$FC = \frac{\text{Potência inst. necessária}}{\text{Potência máx. admissível}}$$

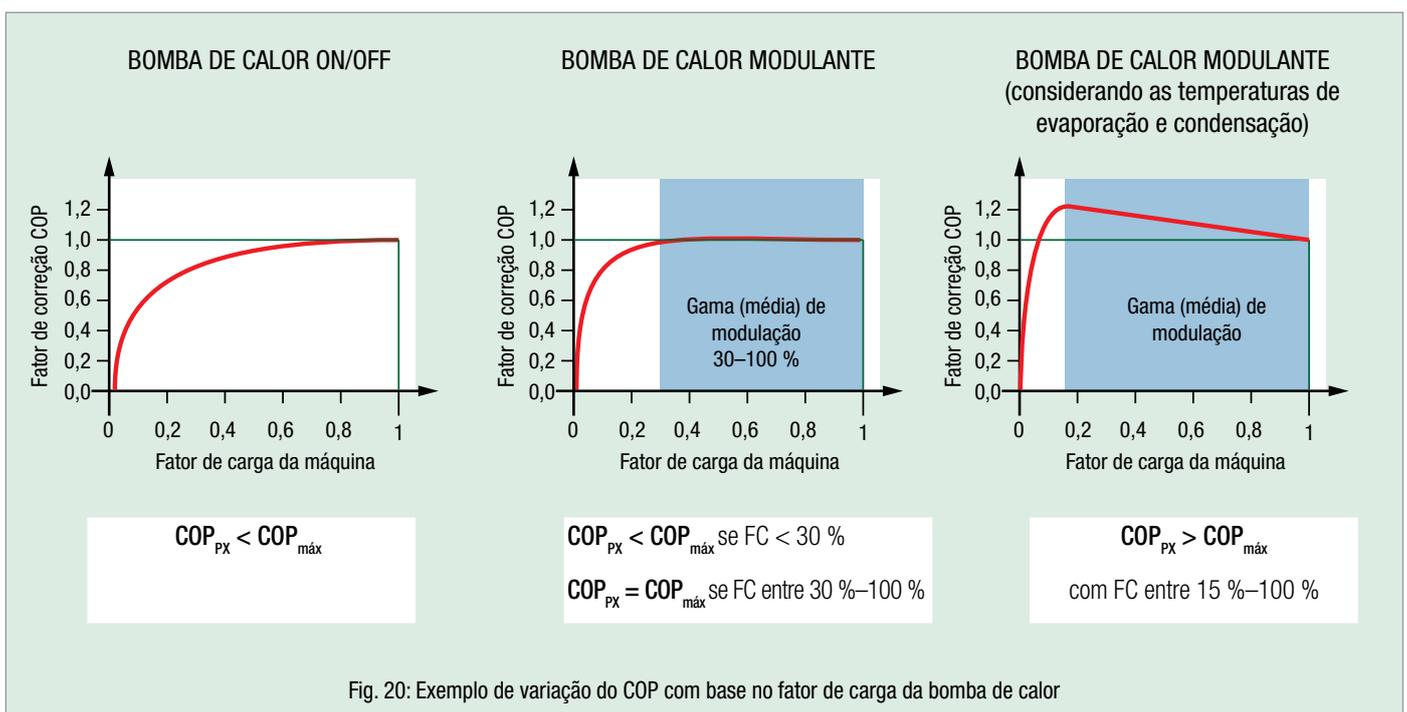
Fórmula 2

fator de correção (f_{CORR}) com a variação do fator de carga da máquina (FC), no caso de uma máquina ON/OFF ou modulante.

Os **modelos mais antigos** de bombas de calor, definidas ON/OFF, modulavam a potência através dos ciclos de ligar/desligar. Estes ciclos degradam o desempenho energético da máquina: cada arranque conduz a perdas devido às correntes de arranque dos motores elétricos e ao arranque do ciclo frigorífico. Por esta razão, o fator de correção do COP em máquinas ON/OFF é sempre inferior a 1 (Fig. 20), independentemente do fator de carga da máquina. O COP com carga parcial é sempre inferior ao COP_{máx}.

As **máquinas mais modernas**, por outro lado, variam as rotações do compressor e do ventilador do permutador externo

para se adaptarem a cargas reduzidas. Esta modulação é normalmente capaz de reduzir a carga nas máquinas em até 25–30% da carga máxima. Abaixo deste valor, a bomba de calor já não pode modular e regular a potência de forma semelhante a uma máquina ON/OFF. Nas bombas de calor modulantes, pode ser alcançada uma tendência do COP com um fator de correção superior a 1, num intervalo de modulação entre 15 e 100%. A bomba de calor é influenciada apenas pelas temperaturas de evaporação e condensação, que determinam as variações de pressão do fluido refrigerante que passa através do compressor, e não depende da temperatura externa ou da temperatura de retorno da instalação. Quando o salto térmico entre o refrigerante e a temperatura externa é reduzida (em todas as condições de funcionamento com carga parcial), a diferença de pressão entre os lados montante e jusante do compressor diminui, tal como acontece com o consumo de energia. Neste caso, a máquina trabalha com carga parcial: a potência térmica emitida é reduzida, mas a absorção elétrica ainda sofre mais. É por esta razão que o COP aumenta.



| COP _{MÉDIO EFETIVO} | Rendimento de geração |
|------------------------------|-----------------------|
| 1,50 | 65 % |
| 1,75 | 75 % |
| 2,00 | 86 % |
| 2,25 | 97 % |
| 2,50 | 108 % |
| 2,75 | 118 % |
| 3,00 | 129 % |
| 3,25 | 140 % |
| 3,50 | 151 % |
| 3,75 | 161 % |
| 4,00 | 172 % |
| 4,25 | 183 % |
| 4,50 | 194 % |
| 4,75 | 204 % |
| 5,00 | 215 % |

Tabela 1: Rendimento de geração da bomba de calor em função do COP_{MÉDIO EFETIVO}

0,43 em Itália e tem em conta tanto todos os geradores de energia elétrica ligados à rede (como, por exemplo, as centrais termoelétricas) como a eficiência da rede de distribuição.

A Tabela 1 mostra a eficiência de geração de uma bomba de calor genérica em função do COP_{MÉDIO EFETIVO}.

POUPANÇA ENERGÉTICA

A poupança energética, ou seja, a poupança de energia de fontes primárias presentes na natureza, entre a utilização de uma instalação de aquecimento tradicional, alimentada por uma caldeira a gás, e a utilização de uma instalação com bomba de calor ar-água pode ser calculada comparando os respetivos rendimentos de geração. Enquanto o rendimento de geração de uma caldeira (convencional ou de condensação) é facilmente calculável, o de uma bomba de calor é altamente dependente das suas condições de trabalho. Considerando os valores de COP_{MÉDIO EFETIVO} de funcionamento, podemos resumir os desempenhos de geração da bomba de calor na Tabela 1.

O rendimento de geração de uma bomba de calor é sempre elevado em comparação com o de uma caldeira

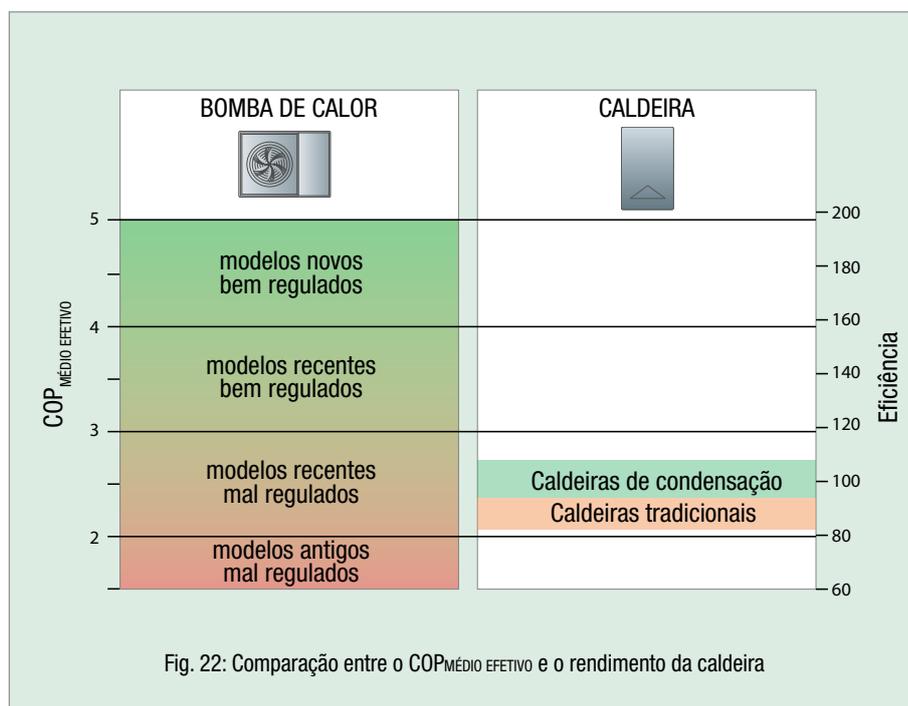


Fig. 22: Comparação entre o COP_{MÉDIO EFETIVO} e o rendimento da caldeira

a gás, que cessa sempre nos 106%, por exemplo. Uma bomba de calor apresenta rendimentos mais elevados com valores de COP superiores a 2,5. Estes valores são amplamente alcançados e ultrapassados pela maioria das bombas de calor no mercado, mesmo que sejam utilizadas em condições de trabalho abaixo do ideal. Caso se combine um modelo recente de máquina com uma boa regulação da instalação, serão atingidos valores de eficiência entre 130% e 170%. Por fim, caso seja instalado um novo modelo de bomba de calor e a instalação for bem regulada, poderá ser alcançada uma eficiência de cerca de 200%.

POUPANÇA ECONÓMICA

A comparação económica entre uma instalação tradicional alimentada por uma caldeira a gás e uma instalação com bomba de calor pode ser avaliada calculando o custo incorrido para produzir a energia térmica para ambos os sistemas de produção.

O custo de um kWh_{TÉRMICO} produzido com uma caldeira a gás pode ser calculado utilizando a Fórmula 4. Considerando um valor médio de PCI do gás de 9,7 kWh/smc, podemos resumir

o custo do kWh_{TÉRMICO} na Tabela 2. À semelhança do que foi calculado para instalações servidas por uma caldeira a gás, é possível calcular o custo do kWh_{TÉRMICO} produzido por uma bomba de calor usando a Fórmula 5. Com este tipo de gerador, o custo de produção de energia térmica (Tabela 3) é influenciado pelo custo de aquisição da energia elétrica e pelo COP_{MÉDIO EFETIVO} que, como já se viu, é também influenciado por vários fatores. As tabelas 2 e 3 mostram, a título de

$$\text{Custo kWh}_{\text{CALDEIRA}} = \frac{\text{Custo SMC}_{\text{GÁS}}}{\text{PCI}_{\text{GÁS}} \cdot \eta_{\text{CALDEIRA}}}$$

sendo:

Custo SMC_{GÁS} = custo metro cúbico de gás standard

PCI_{GÁS} = potência calorífica inferior gás

η_{CALDEIRA} = rendimento da caldeira

Fórmula 4

$$\text{Custo kWh}_{\text{BC}} = \frac{\text{Custo kWh}_{\text{ELÉTRICO}}}{\text{COP}_{\text{MÉDIO EFETIVO}}}$$

Fórmula 5

exemplo, valores típicos de desempenho do gerador e custos dos vetores de energia para um ponto de utilização doméstico.

Por exemplo, numa instalação com uma caldeira a gás, considerando os valores evidenciados na Tabela 2, o custo do kWh_{TÉRMICO} é de 7,36 centavos/kWh. Numa instalação com BC com os seguintes dados:

- COP_{MÉDIO EFETIVO} = 3,5
 - custo energia elétrica = 0,24 €/kWh_{el}
- obtém-se um custo do kWh_{TÉRMICO} equivalente a 6,86 centavos/kWh (Tabela 3).

A comparação dos custos do kWh_{TÉRMICO} demonstra uma poupança de custos de 7% quando se utiliza a bomba de calor em vez de uma caldeira a gás.

Da mesma forma, se considerarmos uma bomba de calor com um COP_{MÉDIO EFETIVO} de 3,0, obtemos um custo de kWh_{TÉRMICO} equivalente a 8,00 centavos/kWh: superior aos 7,36 centavos/kWh de uma caldeira a gás. Nesta situação, a utilização da BC não é conveniente.

Dadas as muitas variáveis que influenciam estes cálculos — primeiramente, o custo da energia — é possível construir gráficos (Fig. 23) ou tabelas onde, com base nos custos do metro cúbico de

gás standard e do kWh_{ELÉTRICO} respetivamente, é possível obter o **COP MÍNIMO DE CONVENIÊNCIA**. Este valor indica o COP mínimo que uma instalação com bomba de calor necessita para produzir energia térmica a um custo inferior ao de uma caldeira a gás.

Dependendo do custo do gás (0,70 €/smc) e do kWh_{ELÉTRICO} (0,24 €/kWh_{el}) atuais para o mercado italiano, uma BC é **economicamente mais eficiente** do que uma caldeira a gás (ou seja, produz calor a um custo mais baixo) se o seu COP_{MÉDIO EFETIVO} for superior a 3,5.

COMPARAÇÃO ENTRE POUPANÇA ENERGÉTICA E ECONÓMICA

Ao comparar os valores obtidos, é fácil ver que, com o mesmo COP_{MÉDIO EFETIVO}, a poupança energética é significativamente maior do que a poupança económica.

Por exemplo, o rendimento de geração de uma BC com um COP_{MÉDIO EFETIVO} de 3,50 é de 151%, em oposição a 98% para uma caldeira a gás tradicional. A **poupança energética** de uma instalação deste tipo é, portanto, de **54%**.

Na mesma instalação com BC, o custo do kWh_{TÉRMICO} é de 6,86 centavos/kWh comparado com 7,36 centavos/

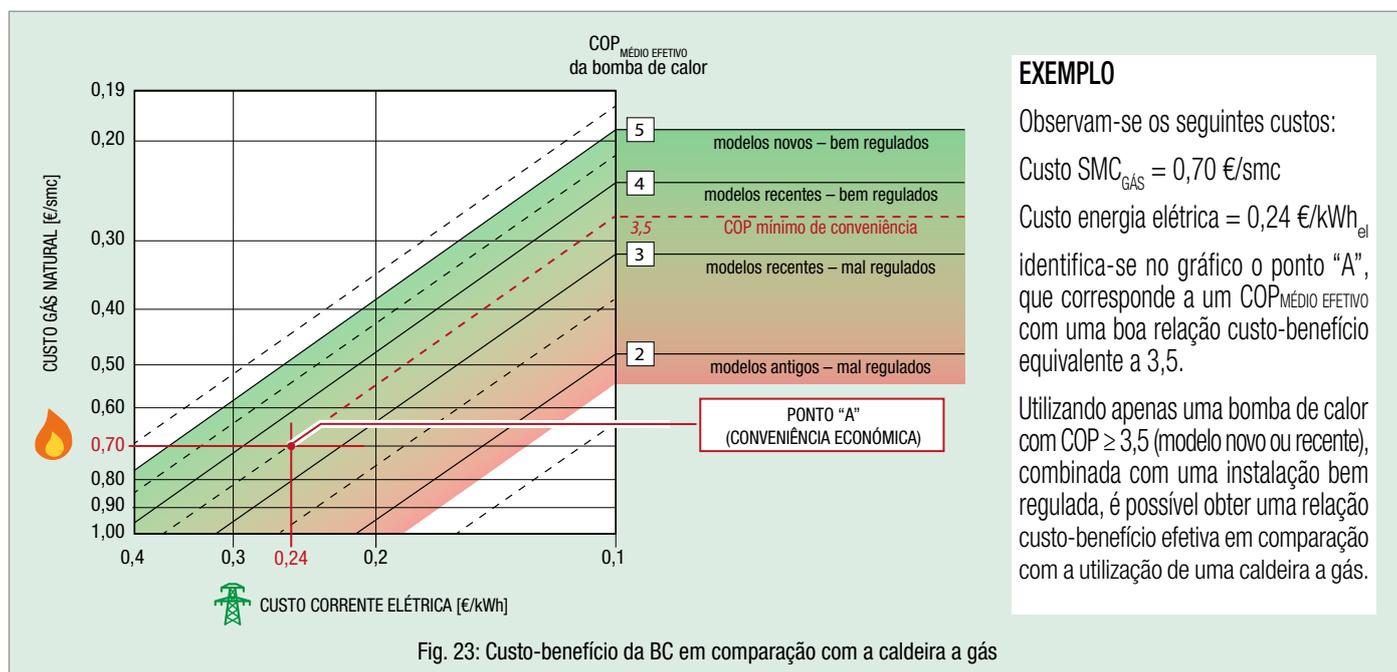
kWh para a caldeira tradicional a gás, como se viu nos parágrafos anteriores.

Por conseguinte, esta instalação é apenas **7% mais eficiente economicamente**.

Da mesma forma, se considerarmos um COP_{MÉDIO EFETIVO} entre 2,5 e 3,5, ainda obteremos uma poupança energética, mas não económica, uma vez que o custo do kWh_{TÉRMICO} produzido com uma caldeira é mais económico do que o produzido com uma bomba de calor.

Por outras palavras, **é bastante fácil operar instalações com bombas de calor com maior eficiência energética do que as caldeiras a gás**, consumindo menos combustíveis fósseis e reduzindo as emissões de CO₂. **No entanto, como operar estas instalações e obter uma poupança económica** nos custos anuais de aquecimento não é assim tão óbvio.

A fim de obter uma poupança económica nos custos de gestão das instalações com BC, é necessária uma projeção atenta, com as temperaturas de funcionamento mais baixas possíveis dos terminais, e regulá-la adequadamente a fim de maximizar o COP de funcionamento.





| CUSTO DO GAS [€/smc] | RENDIMENTO DA CALDEIRA | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0,86 | 0,88 | 0,9 | 0,92 | 0,94 | 0,96 | 0,98 | 1 | 1,02 | 1,04 | 1,06 |
| 0,20 | 2,40 | 2,34 | 2,29 | 2,24 | 2,19 | 2,15 | 2,10 | 2,06 | 2,02 | 1,98 | 1,95 |
| 0,25 | 3,00 | 2,93 | 2,86 | 2,74 | 2,74 | 2,68 | 2,63 | 2,58 | 2,53 | 2,48 | 2,43 |
| 0,30 | 3,60 | 3,51 | 3,44 | 3,29 | 3,29 | 3,22 | 3,16 | 3,09 | 3,03 | 2,97 | 2,92 |
| 0,35 | 4,20 | 4,10 | 4,01 | 3,84 | 3,84 | 3,76 | 3,68 | 3,61 | 3,54 | 3,47 | 3,40 |
| 0,40 | 4,80 | 4,69 | 4,58 | 4,39 | 4,39 | 4,30 | 4,21 | 4,12 | 4,04 | 3,97 | 3,89 |
| 0,45 | 5,39 | 5,27 | 5,15 | 4,94 | 4,94 | 4,83 | 4,73 | 4,64 | 4,55 | 4,46 | 4,38 |
| 0,50 | 5,99 | 5,86 | 5,73 | 5,48 | 5,48 | 5,37 | 5,26 | 5,15 | 5,05 | 4,96 | 4,86 |
| 0,55 | 6,59 | 6,44 | 6,30 | 6,03 | 6,03 | 5,91 | 5,79 | 5,67 | 5,56 | 5,45 | 5,35 |
| 0,60 | 7,19 | 7,03 | 6,87 | 6,58 | 6,58 | 6,44 | 6,31 | 6,19 | 6,06 | 5,95 | 5,84 |
| 0,65 | 7,79 | 7,61 | 7,45 | 7,13 | 7,13 | 6,98 | 6,84 | 6,70 | 6,57 | 6,44 | 6,32 |
| 0,70 | 8,39 | 8,20 | 8,02 | 7,68 | 7,68 | 7,52 | 7,36 | 7,22 | 7,07 | 6,94 | 6,81 |
| 0,75 | 8,99 | 8,79 | 8,59 | 8,23 | 8,23 | 8,05 | 7,89 | 7,73 | 7,58 | 7,43 | 7,29 |
| 0,80 | 9,59 | 9,37 | 9,16 | 8,77 | 8,77 | 8,59 | 8,42 | 8,25 | 8,09 | 7,93 | 7,78 |
| 0,85 | 10,19 | 9,96 | 9,74 | 9,32 | 9,32 | 9,13 | 8,94 | 8,76 | 8,59 | 8,43 | 8,27 |
| 0,90 | 10,79 | 10,54 | 10,31 | 9,87 | 9,87 | 9,66 | 9,47 | 9,28 | 9,10 | 8,92 | 8,75 |

Tabela 2: Custo do kWh térmico (kWh_t) produzido por uma caldeira a gás em cêntimos de euro



| CUSTO kWh elétrico [€/kWh _{el.}] | COP MÉDIO EFETIVO BC | | | | | | | | | | |
|--|----------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 5,5 | 6 | 6,5 | 7 |
| 0,16 | 8,00 | 6,40 | 5,33 | 4,57 | 4,00 | 3,56 | 3,20 | 2,91 | 2,67 | 2,46 | 2,29 |
| 0,18 | 9,00 | 7,20 | 6,00 | 5,14 | 4,50 | 4,00 | 3,60 | 3,27 | 3,00 | 2,77 | 2,57 |
| 0,20 | 10,00 | 8,00 | 6,67 | 5,71 | 5,00 | 4,44 | 4,00 | 3,64 | 3,33 | 3,08 | 2,86 |
| 0,22 | 11,00 | 8,80 | 7,33 | 6,29 | 5,50 | 4,89 | 4,40 | 4,00 | 3,67 | 3,38 | 3,14 |
| 0,24 | 12,00 | 9,60 | 8,00 | 6,86 | 6,00 | 5,33 | 4,80 | 4,36 | 4,00 | 3,69 | 3,43 |
| 0,26 | 13,00 | 10,40 | 8,67 | 7,43 | 6,50 | 5,78 | 5,20 | 4,73 | 4,33 | 4,00 | 3,71 |
| 0,28 | 14,00 | 11,20 | 9,33 | 8,00 | 7,00 | 6,22 | 5,60 | 5,09 | 4,67 | 4,31 | 4,00 |
| 0,30 | 15,00 | 12,00 | 10,00 | 8,57 | 7,50 | 6,67 | 6,00 | 5,45 | 5,00 | 4,62 | 4,29 |
| 0,32 | 16,00 | 12,80 | 10,67 | 9,14 | 8,00 | 7,11 | 6,40 | 5,82 | 5,33 | 4,92 | 4,57 |
| 0,34 | 17,00 | 13,60 | 11,33 | 9,71 | 8,50 | 7,56 | 6,80 | 6,18 | 5,67 | 5,23 | 4,86 |
| 0,36 | 18,00 | 14,40 | 12,00 | 10,29 | 9,00 | 8,00 | 7,20 | 6,55 | 6,00 | 5,54 | 5,14 |
| 0,38 | 19,00 | 15,20 | 12,67 | 10,86 | 9,50 | 8,44 | 7,60 | 6,91 | 6,33 | 5,85 | 5,43 |
| 0,40 | 20,00 | 16,00 | 13,33 | 11,43 | 10,00 | 8,89 | 8,00 | 7,27 | 6,67 | 6,15 | 5,71 |
| 0,42 | 21,00 | 16,80 | 14,00 | 12,00 | 10,50 | 9,33 | 8,40 | 7,64 | 7,00 | 6,46 | 6,00 |
| 0,44 | 22,00 | 17,60 | 14,67 | 12,57 | 11,00 | 9,78 | 8,80 | 8,00 | 7,33 | 6,77 | 6,29 |

Tabela 3: Custo do kWh térmico (kWh_t) produzido por uma bomba de calor em cêntimos de euro (€/kWh)

INFLUÊNCIA DA REGULAÇÃO SOBRE O COP MÉDIO EFETIVO

O COP de funcionamento de uma bomba de calor é fortemente influenciado pela temperatura da fonte interna, ou seja, a temperatura de ida para a instalação de aquecimento. É fundamental, portanto, conceber instalações capazes de funcionar com baixas temperaturas de ida, em combinação com sistemas de regulação que as possam manter o mais reduzidas possível, de acordo com as condições de carga efetiva da instalação. Deste modo, é aconselhável definir a temperatura de ida das bombas de calor com base nas curvas climáticas.

As poupanças possíveis, em comparação com uma regulação tradicional, são consideráveis. A figura 24 mostra os valores de COP_{MÉDIO EFETIVO} resultantes de uma simulação numérica, para uma instalação com bomba de calor ar-água, variando a temperatura de ida de projeto e o tipo de regulação. Os dados referem-se a uma situação climática típica no Norte de Itália e são apresentados a título de exemplo.

Como o gráfico ilustra, as vantagens de uma regulação climática comparativamente a uma regulação por pontos fixos são tanto maiores quanto mais alta for a temperatura de ida para os terminais, nas condições de projeto.

Por exemplo, nas aplicações com bombas de calor com radiadores de temperatura média (aprox. 50 °C), podem ser alcançadas poupanças até 30%; na maioria das vezes com investimento zero, uma vez que a maioria das bombas de calor no mercado pode ser regulada através de curvas climáticas sem a aquisição de componentes adicionais.

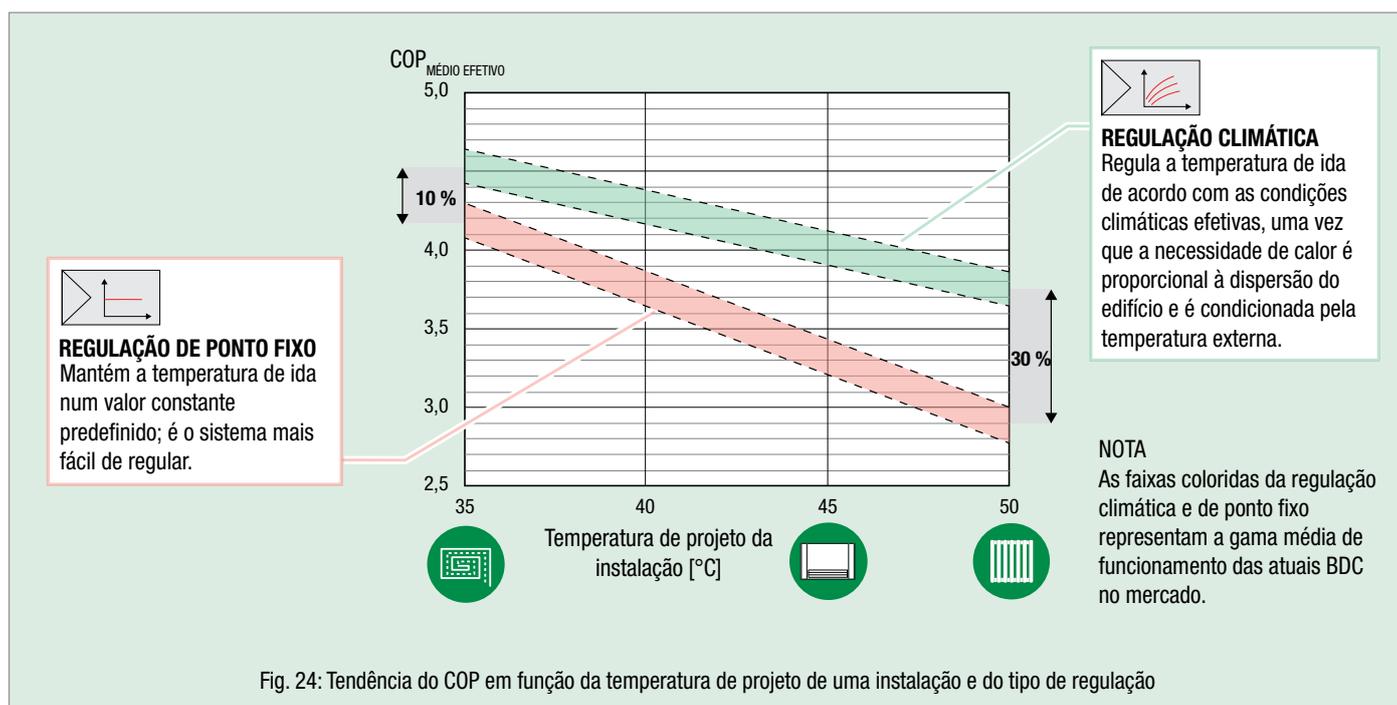


Fig. 24: Tendência do COP em função da temperatura de projeto de uma instalação e do tipo de regulação

GASES REFRIGERANTES

A evolução do setor da climatização sofreu uma aceleração acentuada nos últimos anos na sequência da introdução de requisitos mínimos relativos à eficiência e ao impacto ambiental das bombas de calor. A este respeito, foram introduzidos regulamentos específicos, levando os fabricantes a avaliar refrigerantes mais sustentáveis e de desempenho superior aos utilizados atualmente. No setor residencial, os refrigerantes tradicionalmente utilizados como o R410A e o R134a terão de ser substituídos por novos refrigerantes com baixo impacto ambiental, como o gás R32 (da família dos fluorados) ou o gás natural R290 (propano).

Até à data, não existem proibições explícitas relativamente a bombas de calor que utilizam R134a ou R410A. **No entanto, a partir de 1 de janeiro de 2025, a utilização de refrigerantes HFC com valores de Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential, GWP) > 750 será proibida em instalações de ar condicionado residenciais mono-split com carga de gás inferior a 3 kg.**

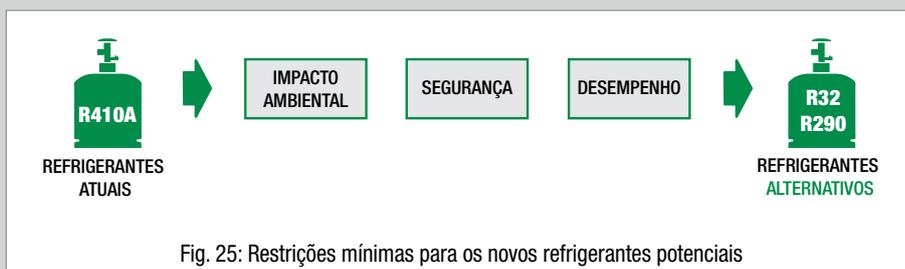
IMPACTO AMBIENTAL

Para avaliar os impactos dos diferentes gases com efeito de estufa no aquecimento global são utilizados os valores de Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential, GWP) (*1) e do Potencial de Depleção do Ozono (Ozone Depletion Potential, ODP) (*2).

As primeiras máquinas frigoríficas foram construídas utilizando o R717 (amoníaco) como fluido intermédio, que mais tarde foi abandonado devido à sua toxicidade e corrosividade, apesar da elevada eficiência, do GWP nulo e do baixo custo por se encontrar facilmente disponível. Um HCFC (hidroclorofluorocarbono) chamado R22 também utilizado durante muitos anos é agora proibido por ser considerado prejudicial para a camada de ozono atmosférico (ODP > 0). Atualmente, recorre-se sobretudo ao uso dos HFC (hidrofluorocarbonetos). No entanto, a investigação de novos fluidos ainda se encontra a decorrer: o objetivo é minimizar o seu impacto ambiental e aumentar os seus desempenhos termodinâmicos.

REGULAMENTO DA UE RELATIVO AOS F-GASES 517/2014

Visa assegurar a proteção ambiental através do reforço e introdução de disposições específicas a fim de reduzir as emissões de gases fluorados com efeito de estufa (F-gases). Este regulamento impõe restrições à utilização de refrigerantes fluorados: **proibe certos HFC** para determinados produtos/aplicações, **introduz um sistema de quotas nacionais** e **impõe um**



| REFRIGERANTE | DENSIDADE (kg/m ³ a 25 °C) | TIPOLOGIA | GLOBAL WARMING POTENTIAL (*1) | OZONE DEPLETION POTENTIAL (*2) |
|--------------|---------------------------------------|-----------|-------------------------------|--------------------------------|
| R22 | 1191 | HCFC | 1810 | 0,05 |
| R717 | 603 | Natural | 0 | 0 |
| R134a | 1202 | HFC | 1430 | 0 |
| R410A | 1061 | HFC | 2088 | 0 |
| R32 | 961 | HFC | 675 | 0 |
| R290 | 493 | Natural | 3 | 0 |

(*1) O índice de classificação denominado Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential, GWP) é um número adimensional que mede a contribuição do refrigerante para o efeito de estufa em comparação com a de uma substância de referência (CO₂).

(*2) O ODP é uma medida relativa ao efeito destrutivo sobre o ozono de uma substância em comparação com outra de referência (Gás R11).

Tabela 4: Características dos gases refrigerantes para bombas de calor residenciais

controlo regular das fugas de gás.

As quotas nacionais representam a quantidade de CO₂ equivalente (calculada como produto da multiplicação do GWP pela carga de refrigerante) e consideram o verdadeiro efeito de estufa global que podem causar. Estas quotas, de acordo com o Regulamento Europeu sobre os gases fluorados, devem ser progressivamente reduzidas.

São, portanto, de primordial importância:

- o índice GWP: quanto mais baixo o GWP, maior a quantidade de refrigerante que pode ser utilizada pela nação (quotas nacionais) (Fig. 26);
- a densidade do gás: quanto menor a densidade, menor a carga de refrigerante necessária na máquina (Tabela 4).

SEGURANÇA

ISO 817:2014

Classifica os gases refrigerantes de acordo com o seu nível de segurança, utilizando uma abreviatura constituída por dois ou três caracteres alfanuméricos (Fig. 27). O primeiro carácter indica a classe de toxicidade:

- A: indica refrigerantes com um limite de exposição profissional de 400 ppm ou superior;
- B: indica refrigerantes com um limite de exposição profissional inferior a 400 ppm.

O segundo carácter denota a inflamabilidade com base no limite inferior de inflamabilidade (LFL), no calor libertado durante a combustão e na velocidade máxima a que a combustão pode ocorrer.

Os refrigerantes utilizados na climatização residencial caracterizam-se pela sua baixa toxicidade. No entanto, muitos dos refrigerantes alternativos são inflamáveis ou ligeiramente inflamáveis, especialmente o R290. Portanto, esta condição irá exigir um maior investimento na segurança das instalações.

Outro fator a considerar é o perigo de saturação do ar presente no ambiente. No mercado, existem gases não tóxicos mas altamente inertes, tais como o próprio R410A. Como tal, é útil avaliar cuidadosamente a relação entre o peso da carga de fluido frigorígeno da máquina e o volume de ar presente no ambiente onde se encontra posicionada.

DESEMPENHO

Ao avaliar um novo refrigerante, para além dos fatores ambientais e de segurança, deve ainda ser feita referência a parâmetros de desempenho, a fim de avaliar a sua influência no rendimento da máquina.

Os parâmetros utilizados para comparar dois tipos de gás são certamente o COP e o EER, discutidos em maior detalhe na pág. 19.

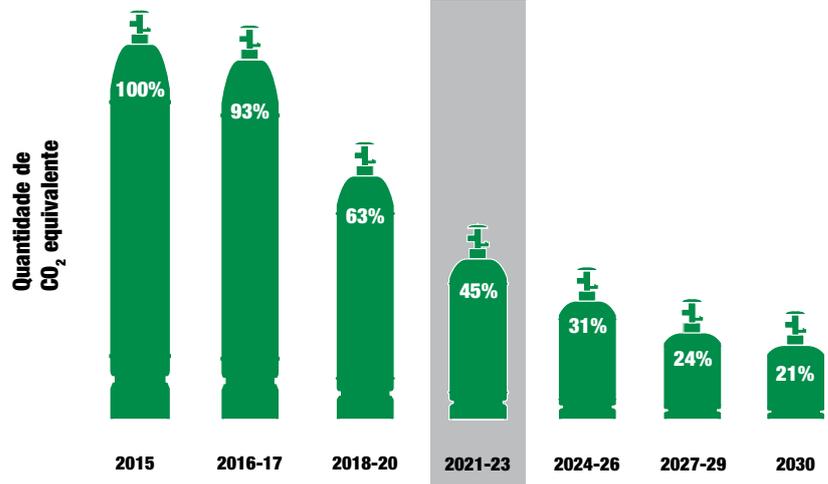


Fig. 26: Quotas nacionais da regulamentação sobre F-gases

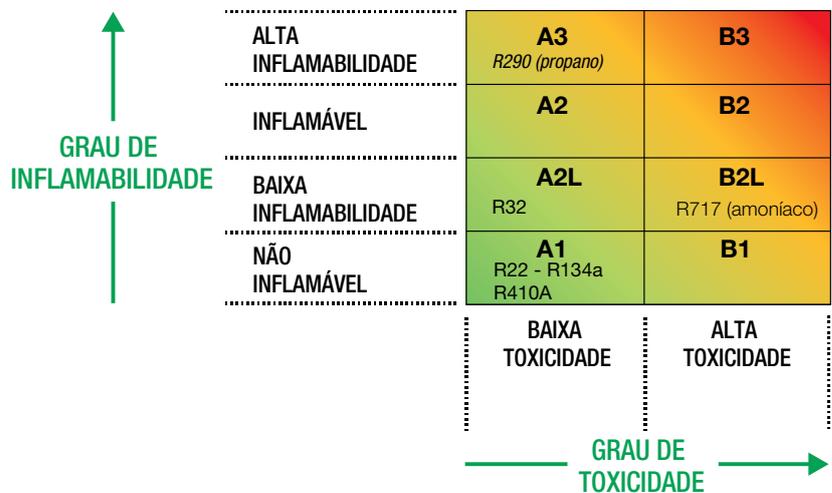


Fig. 27: Classificação de segurança dos gases refrigerantes

R32 VS R410A

Uma bomba de calor convencional que utiliza R410A, em caso de condições externas desfavoráveis, proporciona um desempenho semelhante ao da nova alternativa se a temperatura da água requerida pela instalação for inferior a aproximadamente 40 °C (piso radiante). Pelo contrário, uma BC carregada com R32 apresenta um COP mais elevado quando os terminais de emissão necessitam de temperaturas de funcionamento mais elevadas. Portanto, o R32 é uma excelente alternativa para a requalificação de instalações onde se pretende manter os radiadores existentes como elementos emissivos.

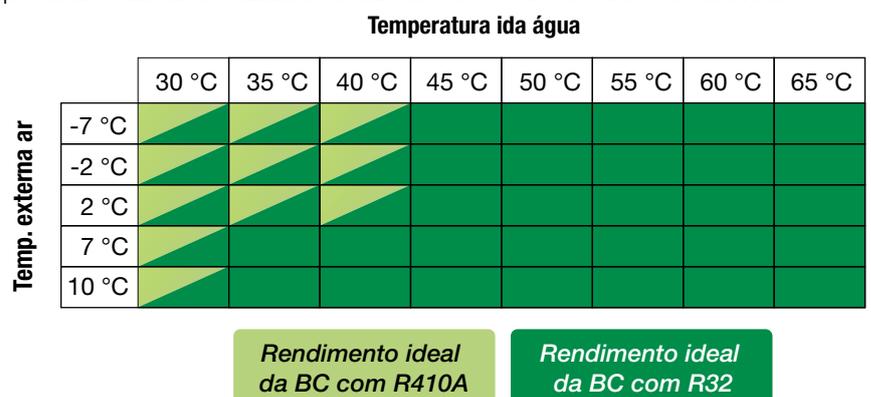


Tabela 5: COP ideal para os gases R410A e R32

AS INSTALAÇÕES COM BOMBA DE CALOR AR-ÁGUA

Eng.ºs Mattia Tomasoni e Alessia Soldarini

DIMENSIONAMENTO

O dado fundamental para o dimensionamento correto de uma bomba de calor consiste na potência térmica fornecida. Esta potência não é constante, mas depende dos mesmos fatores que influenciam o COP:

- temperatura da fonte quente (temperatura de ida);
- temperatura da fonte fria (temperatura do ar externo);
- número de descongelações;
- fator de carga.

A influência dos dois últimos parâmetros, para efeitos de dimensionamento da bomba de calor, pode ser descurada, fazendo as seguintes suposições:

1. a energia gerada em caso de descongelação deve ser sempre considerada, dado ser um fenómeno

que não pode ser controlado, por depender unicamente das condições de temperatura e humidade do ar externo;

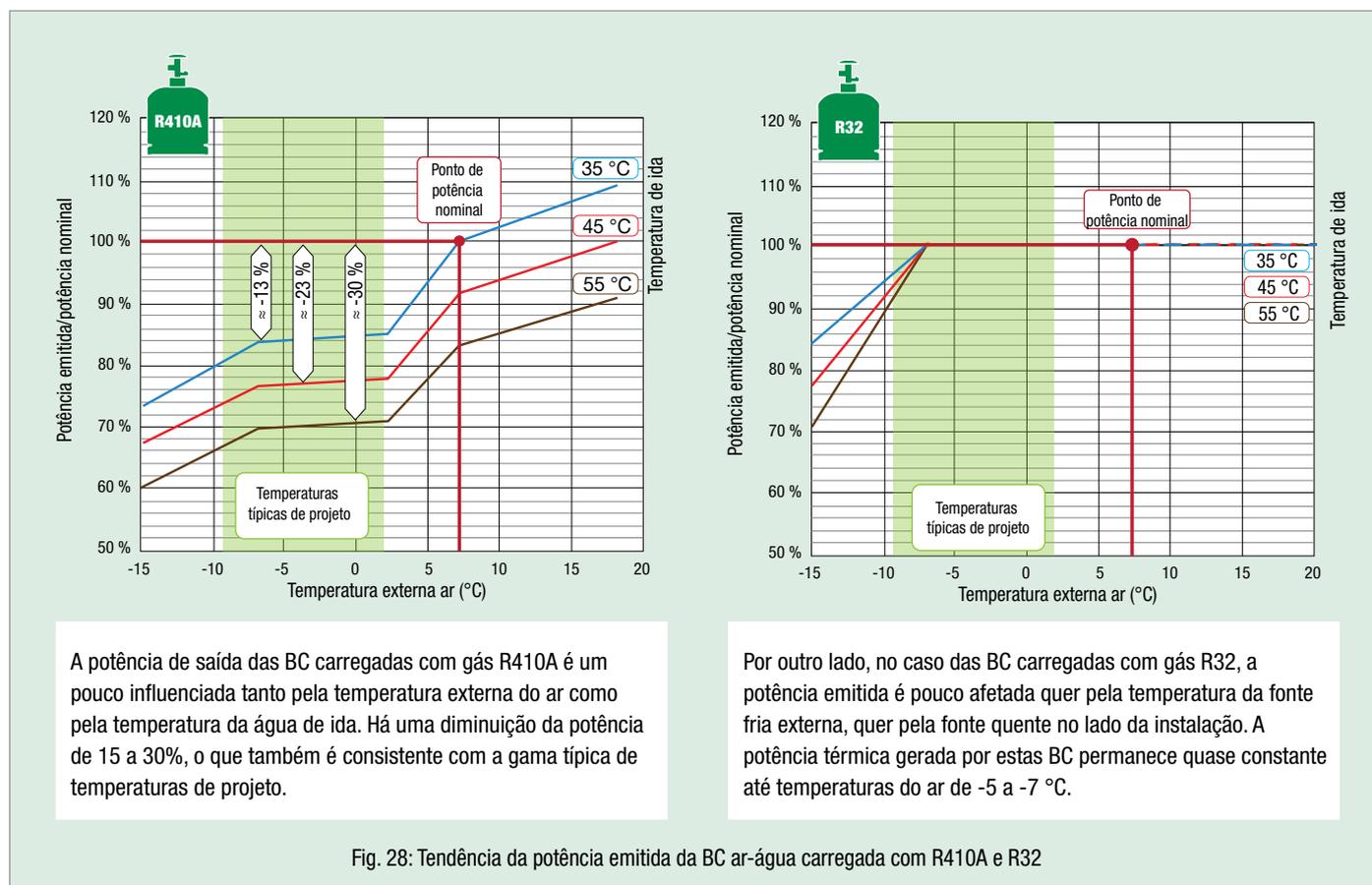
2. assume-se um fator de carga de 100%, uma vez que as condições de projeção correspondem às condições de procura máxima de potência por parte da bomba de calor.

Com uma boa aproximação, podemos portanto selecionar as BC a ar com base na potência fornecida com a variação da temperatura da fonte quente (a ida para a instalação) e a temperatura da fonte fria (o ar externo). Os dados para o dimensionamento estão normalmente disponíveis nas fichas técnicas fornecidas pelos fabricantes, sob a forma de tabelas ou gráficos, e são específicos para cada máquina. No entanto, para efeitos de discussão geral, podemos

resumir a tendência da potência fornecida pelas BC ar-água nos gráficos ilustrados na Fig. 28.

O primeiro gráfico refere-se a BC com gás R410A enquanto o segundo se refere a máquinas carregadas com gás R32.

É fácil constatar nos gráficos que **a potência nominal indicada nos dados técnicos**, geralmente referente a condições com uma temperatura do ar externo de 7 °C e uma temperatura de ida da água de 35 °C (ponto com potência nominal: A7W35), **pode ser significativamente diferente da potência de saída da máquina nas condições de projeto**. Além disso, como se pode ver nos gráficos, as BC com gás R410A têm uma saída de potência térmica que é muito mais influenciada pela temperatura externa e pela temperatura de ida do que no



caso das carregadas com R32, em que a potência emitida é estável até uma temperatura de $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ao selecionar uma bomba de calor ar-água, é também essencial evitar o sobredimensionamento, que conduziria a aspetos negativos como, por exemplo:

- custos de instalação significativamente mais elevados;
- diminuição da eficiência;
- elevado consumo de energia elétrica.

Por este motivo, analisaremos três possíveis **métodos de dimensionamento** das bombas de calor, apresentando as suas vantagens, os possíveis riscos e as estratégias para os minimizar.

DIMENSIONAMENTO COM BASE NOS DADOS DE PROJETO

Prevê a seleção da bomba de calor de acordo com a potência térmica necessária nas condições de projeto do edifício. O procedimento exige a análise das curvas de potência da máquina (a partir de tabelas ou gráficos fornecidos pelo fabricante) e a seleção daquela que desenvolve uma potência igual ou superior aos requisitos de projeto. Este procedimento de dimensionamento é o mais conservador e leva à seleção de geradores ligeiramente sobredimensionados, um facto ampliado por aumentos de tamanho comerciais. Tomando em consideração, por exemplo, as curvas de potência de uma **BC que utiliza R410A** (Fig. 29) e os seguintes dados de projeto do edifício:

- potência térmica necess. = $6,5\text{ kW}$
- temperatura externa = $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$

selecionaríamos uma bomba de calor com uma **potência nominal de 9 kW** . Efetivamente, o gerador com uma potência nominal de 7 kW resultaria ligeiramente subdimensionado.

Os mesmos dados de projeto combinados com uma **bomba de calor que utiliza R32** (Fig. 30) permitem selecionar uma máquina com uma **potência nominal de 7 kW** , que é menor do que a selecionada com R410A.

A mudança de uma potência para outra nas bombas de calor de dimensão

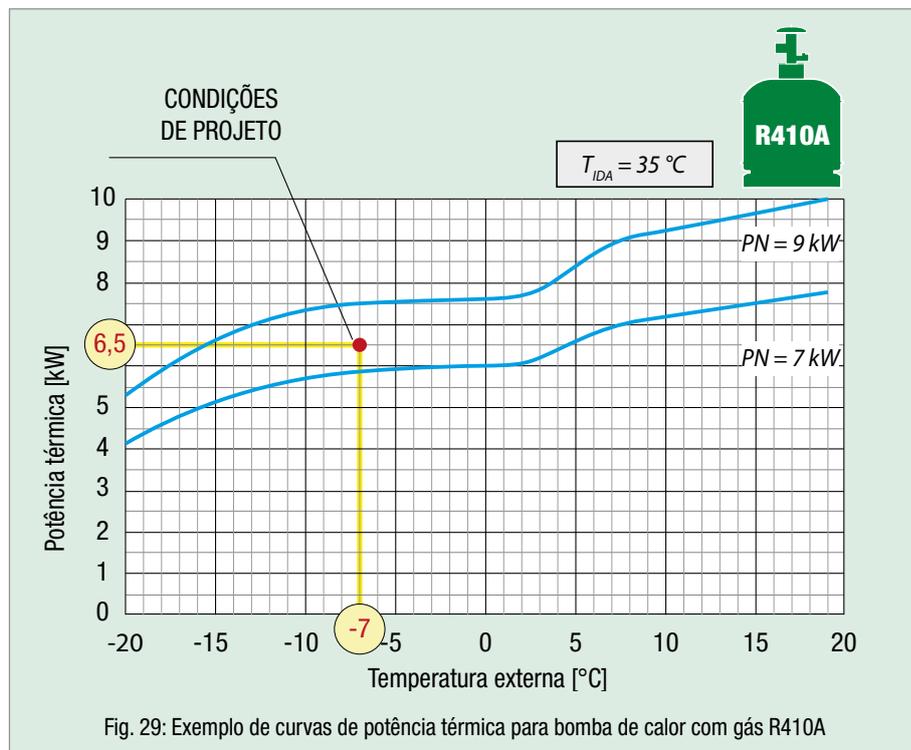


Fig. 29: Exemplo de curvas de potência térmica para bomba de calor com gás R410A

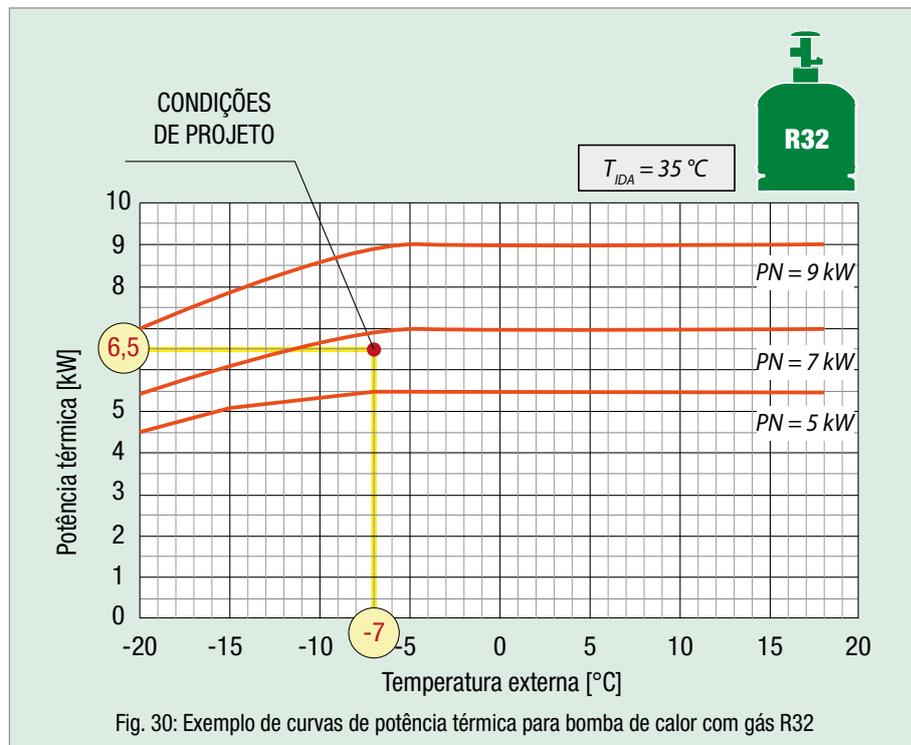


Fig. 30: Exemplo de curvas de potência térmica para bomba de calor com gás R32

doméstica pode ter um efeito significativo no consumo elétrico das máquinas e no custo da instalação elétrica (consultar capítulo “Instalação monofásica ou trifásica?” na pág. 46). No caso em que as condições de projeto se situam algures

entre duas dimensões de potência diferentes (como é o caso na Fig. 29), é aconselhável avaliar um método de dimensionamento diferente que tenha em conta a curva real de potência do edifício ou a sua capacidade térmica.

DIMENSIONAMENTO COM BASE NA CURVA REAL DE POTÊNCIA NECESSÁRIA

No consumo real das habitações há uma quota energética que não é fornecida pela instalação de aquecimento e é libertada pela utilização normal de eletrodomésticos e iluminação, pelas pessoas que vivem nos ambientes e pela radiação solar. O fornecimento gratuito destas cargas térmicas determina a diferença entre a curva de potência real e a teórica requerida pelo edifício de acordo com uma tendência típica ilustrada na Figura 31.

Nas condições de projeto, a contribuição de fontes de calor gratuitas é bastante limitada (principalmente porque a componente de radiação solar é drasticamente reduzida), mas pode ser avaliada numa gama de 0,5

a 1,5 kW. Tendo em conta as cargas gratuitas, é portanto possível dimensionar a BC considerando a potência térmica real (P_{REAL}), ou seja, a potência térmica de projeto ($P_{PROJETO}$) reduzida pelas contribuições gratuitas presentes nessas condições ($P_{GRATUITA}$).

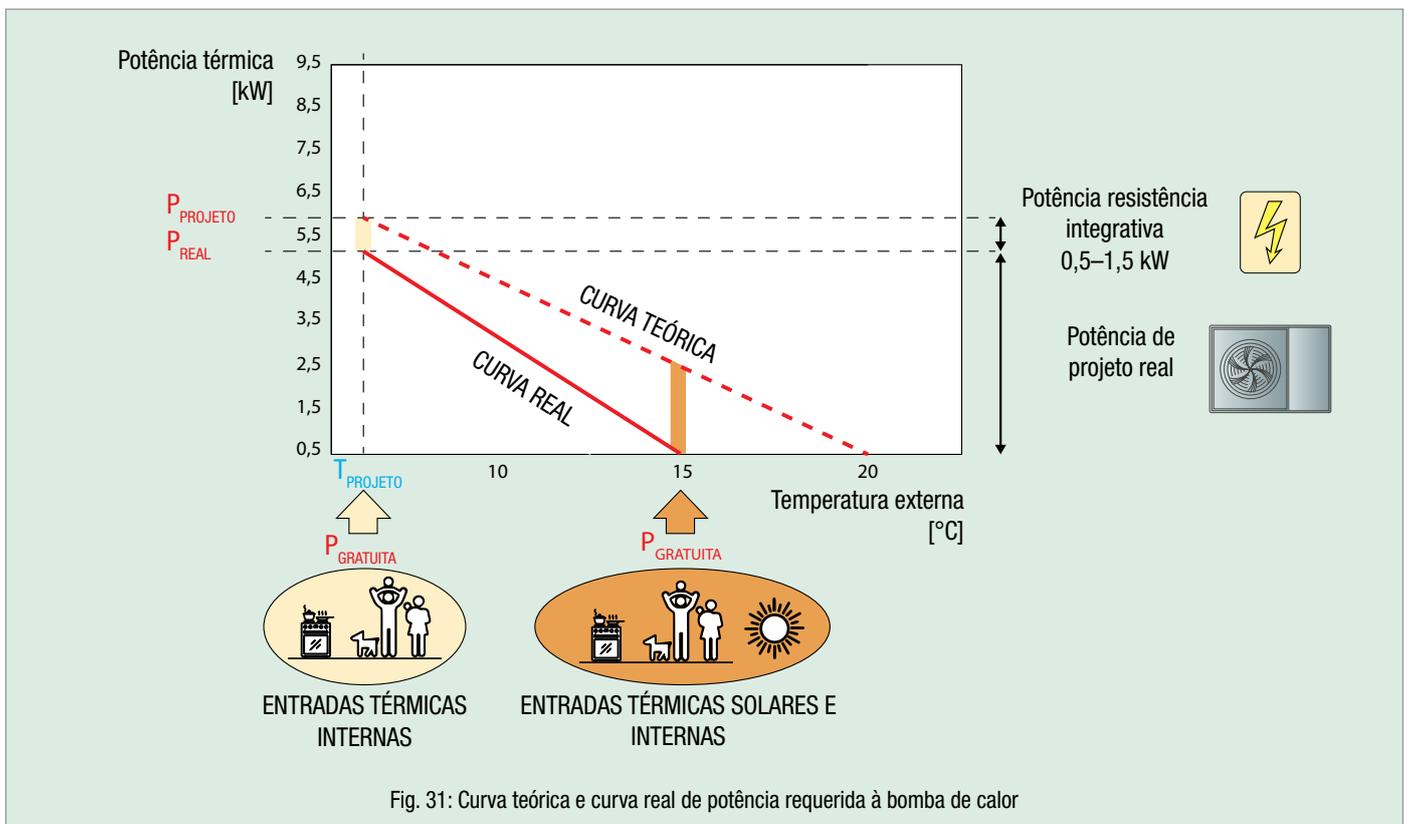
Potência de projeto real

$$P_{REAL} = P_{PROJETO} - P_{GRATUITA}$$

Fórmula 6

Ao realizar este tipo de dimensionamento, é boa ideia incluir uma resistência elétrica de integração: em casos excepcionais de cancelamento da carga gratuita (fornecimentos térmicos internos), é possível integrar a potência da bomba de calor ligando a resistência. Esta solução não

tem impacto sobre a instalação elétrica se for raramente utilizado. Por conseguinte, é essencial não sobrestimar a contribuição das fontes gratuitas a fim de limitar tanto quanto possível as intervenções da resistência de emergência, que requerem um custo energético elevado ($COP=1$) e, portanto, afetam negativamente o desempenho global da instalação térmica.



DIMENSIONAMENTO CONSIDERANDO A CAPACIDADE TÉRMICA

Este método, mais avançado que os anteriores, baseia-se no conceito de que as habitações modernas ou recentemente reestruturadas se caracterizam por uma alta inércia térmica, favorecida por todas as intervenções que permitem a manutenção do calor no interior das paredes durante muito tempo (por exemplo, como acontece nos sistemas “compósitos” de isolamento).

A inércia térmica da estrutura é semelhante ao efeito de uma bateria: durante as horas mais quentes, as estruturas acumulam calor fornecido pela instalação e depois libertam-no durante as horas mais frias. Isto tem um efeito de compensação nos picos de potência ao reduzir a potência máxima requerida ao gerador de calor.

Um efeito típico de inércia é ilustrado na figura 32, onde se simula a tendência da potência requerida durante uma semana com temperaturas comparáveis à temperatura de projeto ($-7\text{ }^{\circ}\text{C}$). As curvas mostram o desenvolvimento da potência necessária para manter uma temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, respetivamente, para uma habitação a baixa inércia e uma a alta inércia térmica. Como se pode ver, a habitação a baixa inércia (que requer apenas $6,5\text{ kW}$ de potência) tem picos de potência requerida pelo gerador comparáveis à potência de projeto; pelo contrário, numa habitação com alta inércia térmica, a potência requerida ao gerador é reduzida em 15%.

O dimensionamento que tem em conta a capacidade térmica da estrutura é dinâmico e deve ser efetuado com software de cálculo adequado que

tenha em conta o comportamento do envelope do edifício à medida que a temperatura externa e da instalação associada muda.

Este método de dimensionamento é utilizado principalmente para otimizar o cálculo da instalação em habitações de alto rendimento energético. É um método válido para contextos em que a instalação de aquecimento é utilizada continuamente. Efetivamente, se a instalação for desligada durante a noite (por exemplo, em edifícios de escritórios), o efeito de compensação dos picos de energia devido à inércia do próprio edifício é significativamente reduzido.

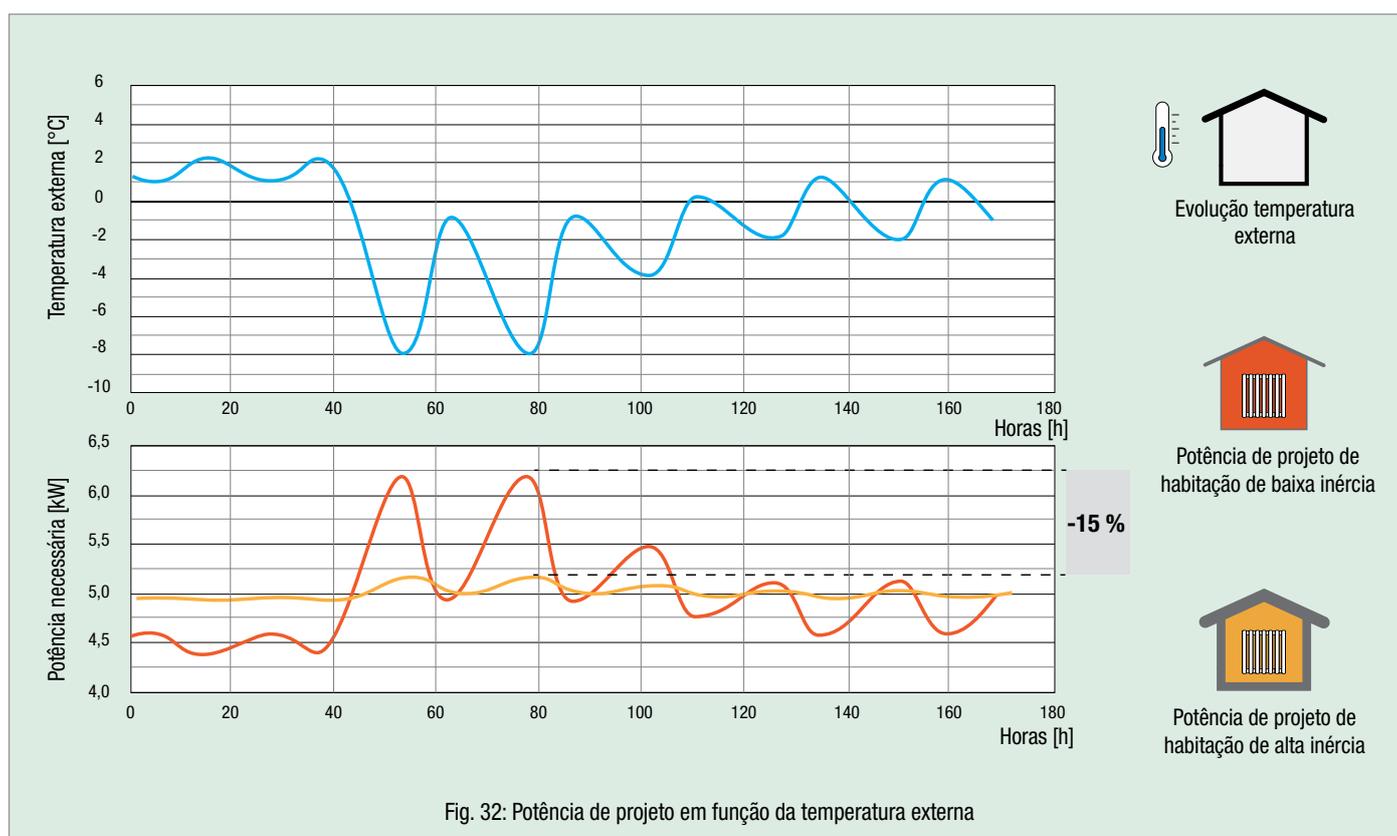


Fig. 32: Potência de projeto em função da temperatura externa

PARÂMETROS DE FUNCIONAMENTO

Para além do gerador, em instalações com bombas de calor, todos os componentes da instalação devem também ser corretamente dimensionados. Por este motivo, é importante conhecer e avaliar os principais parâmetros de funcionamento, tais como o caudal de água e as temperaturas de funcionamento.

CAUDAL DE ÁGUA

O **caudal nominal** refere-se geralmente a um salto térmico médio (aprox. 5 °C) entre a entrada e a saída do evaporador.

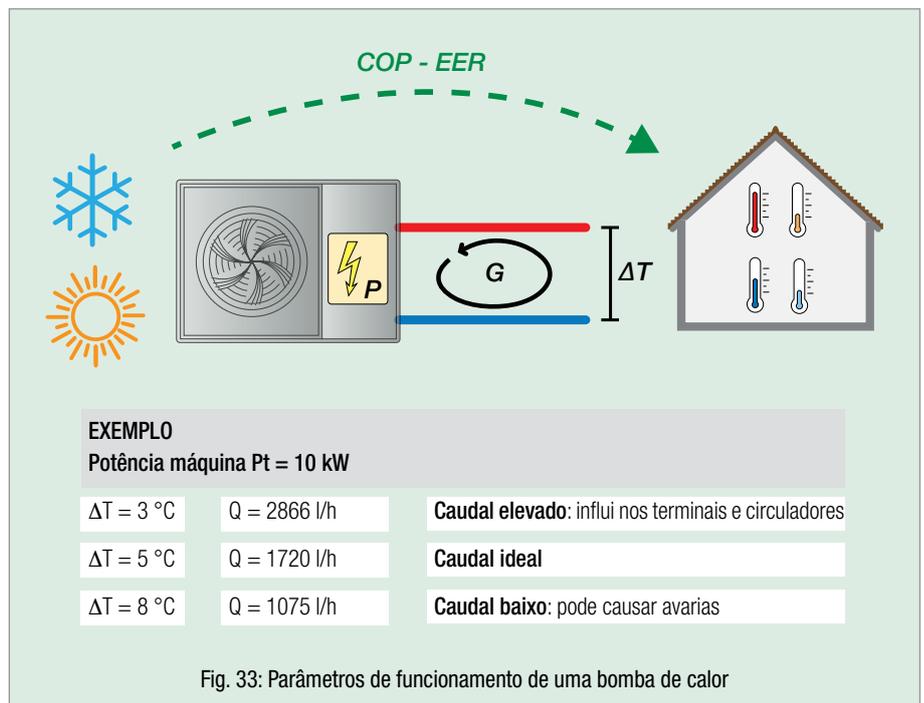
O **caudal máximo** admissível consiste no que tem um salto térmico mínimo (aprox. 3 °C), enquanto o **caudal mínimo** corresponde a um salto térmico máximo (aprox. 8 °C).

Se o caudal de água for insuficiente (abaixo do caudal mínimo), a temperatura de evaporação será demasiado baixa; esta condição provocará o disparo dos dispositivos de segurança e a paragem do gerador, com possível formação de gelo no evaporador e conseqüentes avarias graves no circuito frigorífico.

A presença do caudal mínimo de água que circula na instalação é verificada através de um fluxóstato: quando este desce abaixo do limite indicado pelo fabricante, o dispositivo assinala um alarme à máquina, de modo a parar o funcionamento e evitar possíveis danos.

TEMPERATURA DE FUNCIONAMENTO

No **modo de aquecimento**, as bombas de calor trabalham geralmente com uma **temperatura de funcionamento ótima para água técnica de 35 °C** (lado da instalação) e podem produzir **água quente sanitária a temperaturas entre 50 e 60 °C**. Outro ponto a considerar é o rendimento da bomba de calor, quanto maior for a temperatura requerida, menor será o respetivo COP. Portanto, é necessário encontrar um compromisso entre a temperatura de produção de água quente central, que deve ser o mais baixa possível, e a



temperatura de ida exigida pelos terminais que, pelo contrário, deve ser o mais elevada possível. Por conseguinte, por vezes, é necessário sobredimensionar os sistemas de emissão para operar a uma temperatura inferior à nominal. Isto deve ser feito levando em conta o compromisso entre o custo adicional, o rendimento de geração e os limites físicos ligados às temperaturas máximas de operação.

Além disso, embora seja possível diminuir a temperatura da produção de água técnica, para aumentar o desempenho das máquinas é necessário, ao mesmo tempo, ter em conta a possível perda de conforto com a utilização de terminais a temperaturas mais baixas do que as normais. Por exemplo, no caso de ventiloconvetores, é aconselhável operá-los a temperaturas de ida superiores a 40 °C, de modo a não causar situações de conforto reduzido: caso contrário, as pessoas sentirão uma sensação de ar frio na pele (a temperatura corporal é de cerca de 36 °C).

No **modo de arrefecimento**, a **temperatura mínima** à qual a água refrigerada é normalmente produzida é de **7 °C**. No entanto, em execuções diferentes

da norma, a água técnica também pode ser produzida a 5 °C.

No verão, quanto mais baixas forem as temperaturas de produção de água refrigerada, menor será o rendimento da máquina (EER), tal como acontece no inverno. As máquinas têm também um limite físico de temperatura admissível, imposto pelo fabricante, o que impede a congelação dos permutadores dos próprios grupos de refrigeração. Este obstáculo só é superado misturando etilenoglicol com água, alterando as propriedades térmicas do fluido. Por outro lado, é possível aumentar a **temperatura máxima** de ida para valores superiores até **15-18 °C**, através da integração de desumidificadores no sistema de arrefecimento, como acontece com os sistemas radiantes.

CICLO DE DESCONGELAÇÃO

Em bombas de calor ar-água, em determinadas condições de funcionamento, o gás refrigerante presente no evaporador é 10–15 °C mais frio do que o ar externo. Durante o funcionamento da máquina no modo de aquecimento, o evaporador extrai calor do ar e, quando a temperatura cai abaixo do ponto de orvalho, ocorre a formação de condensação do ar húmido em contacto com a bateria.

A condensação, a uma temperatura compreendida entre -5 °C e +7 °C, é transformada em gelo: este fenómeno reduz significativamente o caudal de ar que atravessa a bateria da máquina, com as conseqüentes limitações do funcionamento. O desempenho da bomba de calor é significativamente reduzido, mas não o seu consumo elétrico, uma vez que a máquina continua a funcionar.

Além disso, quanto mais elevada a humidade no ar, maior a quantidade de condensação que poderá vir a transformar-se em gelo.

Para que a bomba de calor continue a funcionar eficientemente, a descongelação (também chamada “defrost” ou “defrosting”) deve ser realizada regularmente. Durante a descongelação, o ciclo do refrigerante é temporariamente invertido através de uma válvula de inversão do ciclo de quatro vias para forçar a BC a passar do modo de aquecimento para o modo de arrefecimento. Isto permite que o calor seja rapidamente extraído da água da instalação e conduzido para o evaporador (bateria de permuta com ar externo). Por esta razão, durante a descongelação, deve ser garantido à bomba de calor um caudal mínimo associado a um determinado conteúdo de água da instalação. Estes parâmetros são sempre indicados pelo fabricante.

Para iniciar a descongelação, a bomba de calor deteta automaticamente o estado de congelação da bateria da unidade externa por meio de:

1. um temporizador que inverte o

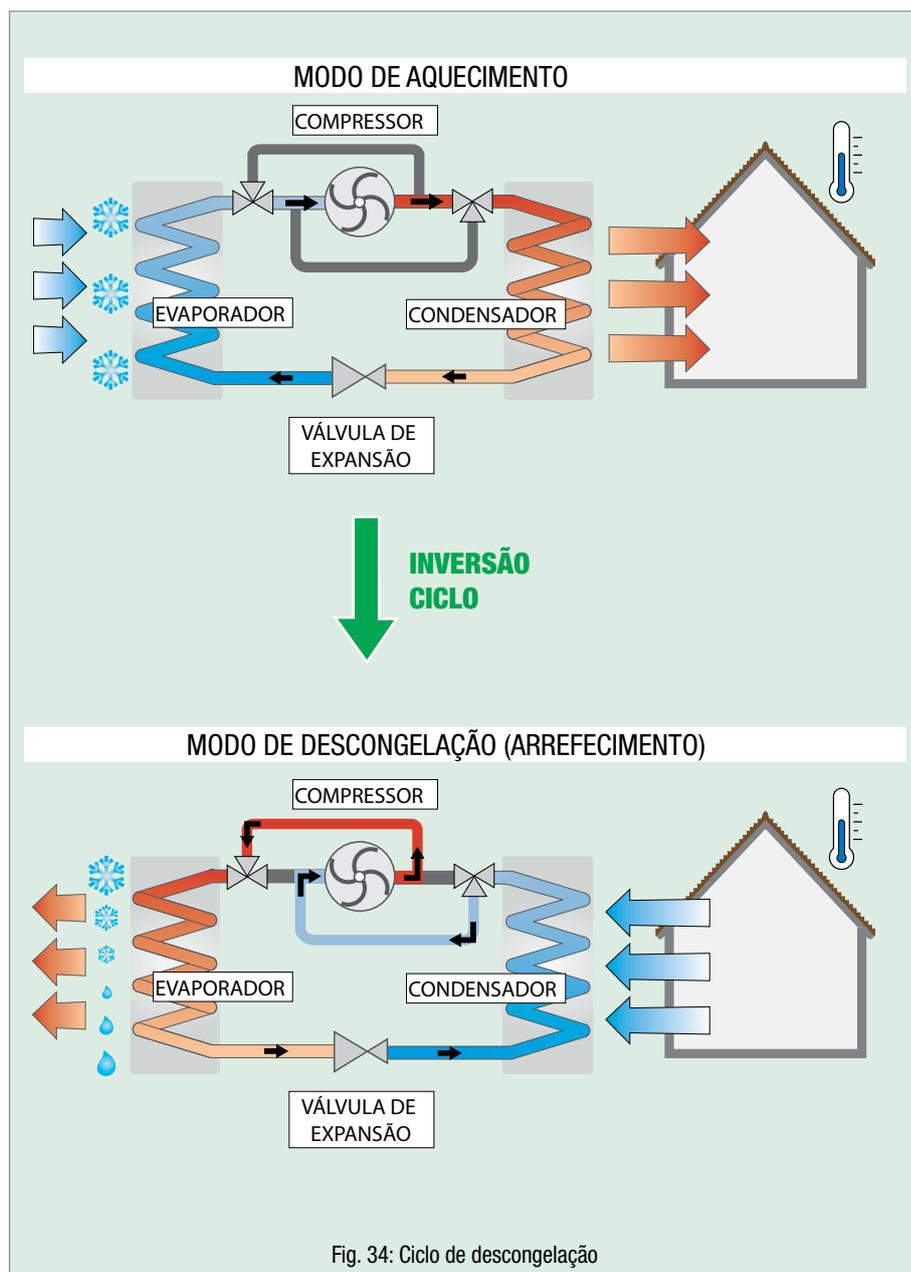


Fig. 34: Ciclo de descongelação

ciclo a intervalos fixos de acordo com a temperatura externa medida por um sensor;

2. um sistema de controlo mais sofisticado que monitoriza o fluxo e a temperatura do ar externo e as condições pontuais do evaporador (estado de congelação).

O segundo método é o mais eficiente, uma vez que evita a descongelação desnecessária. Contudo, alguns fabricantes preferem a primeira, por ser mais simples e menos dispendiosa do ponto de vista da execução.

Durante a descongelação, a água gerada pelo derretimento do gelo escorre da descarga situada no fundo da unidade externa, pelo que é aconselhável evitar a congelação por meio de um sistema de descarga e recolha de água. É possível prever uma bacia de recolha com um cabo elétrico de aquecimento, ou dirigir a descarga diretamente para o sistema de esgotos. Finalmente, é possível utilizar uma camada de cascalho para a drenagem da água, mantendo uma distância mínima entre o solo e a máquina (Fig. 33).

A descongelação afeta negativamente o desempenho das BC, uma vez que parte da energia desenvolvida pelo ciclo frigorífico é utilizada para descongelar a bateria externa em vez de ser transmitida para o fluido. Com efeito, em comparação com o desempenho nominal, durante a descongelação verifica-se:

1. uma redução do COP;
2. uma diminuição da potência térmica emitida.

Estes dois fenómenos são tanto mais evidentes quanto mais frequentes forem as condições que levam à formação de gelo sobre a bateria externa (baixas temperaturas externas e elevada humidade absoluta). A pior combinação destes dois fatores encontra-se numa gama de temperaturas entre $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

O fenómeno da descongelação não pode ser contrariado, já que depende unicamente das condições termo-higrométricas do ar externo. Contudo, isto deve ser tido em conta na seleção e dimensionamento das bombas de calor, especialmente quando a temperatura de projeto do ar externo recai no campo mais afetado por este fenómeno. Para este fim, os fabricantes incluem na sua documentação técnica gráficos de desempenho das bombas de calor que têm em conta os ciclos de descongelação.

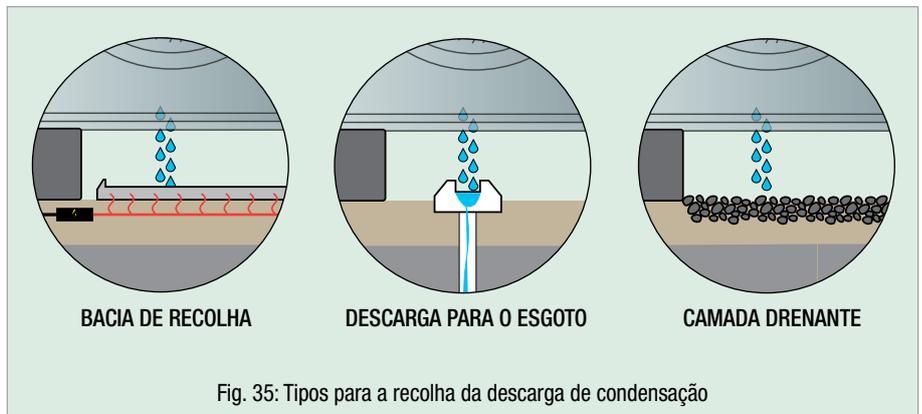


Fig. 35: Tipos para a recolha da descarga de condensação

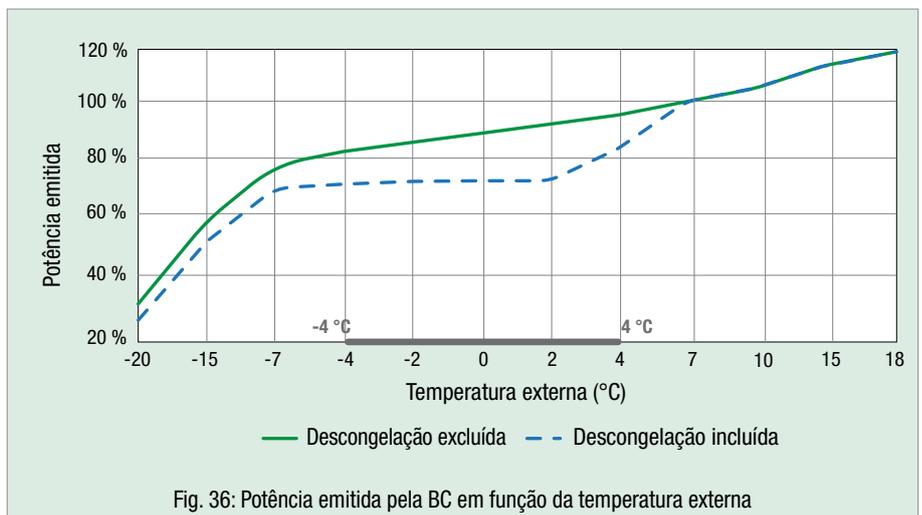


Fig. 36: Potência emitida pela BC em função da temperatura externa

DE ONDE PROVÉM A ENERGIA TÉRMICA PARA O CICLO DE DESCONGELAÇÃO?

O ciclo de descongelação requer uma quantidade de energia térmica que, dependendo da configuração do sistema adotada, pode ser desviada do circuito de aquecimento para o ponto de utilização ou para um acumulador tampão.

Instalação de inércia elevada

Na presença de uma instalação com inércia térmica suficiente, é possível arrefecer temporariamente a água contida nas tubagens, mantendo um bom funcionamento da máquina sem perda de conforto para o utilizador (Fig. 37).

Uma parte dos circuitos da instalação de aquecimento deve ser projetada a fim de estar sempre em funcionamento. Por exemplo, numa habitação de pequenas dimensões, como um apartamento de dois quartos, é preferível regular a instalação diretamente ligando e desligando a bomba de calor sem qualquer dispositivo de interceção ou regulação entre a máquina e os terminais de emissão (tais como comandos eletrotérmicos nos circuitos dos painéis radiantes).

Instalações de baixa inércia

Em caso de uma instalação com baixa inércia térmica (por exemplo, uma instalação com ventiloconvetores) ou se o caudal utilizável for inferior ao caudal mínimo exigido pelo fabricante, o circuito primário (o circuito da bomba de calor) deve ser separado do circuito secundário (o circuito para os pontos de utilização) através de uma válvula de bypass ou de um separador hidráulico (Fig. 37).

Se for utilizada uma válvula de bypass, é essencial inserir um acumulador tampão no retorno do circuito primário. Em alternativa, o volante térmico pode ser ligado como um separador hidráulico. Esta última solução permite o aquecimento contínuo dos ambientes em modo de descongelação graças ao calor acumulado.

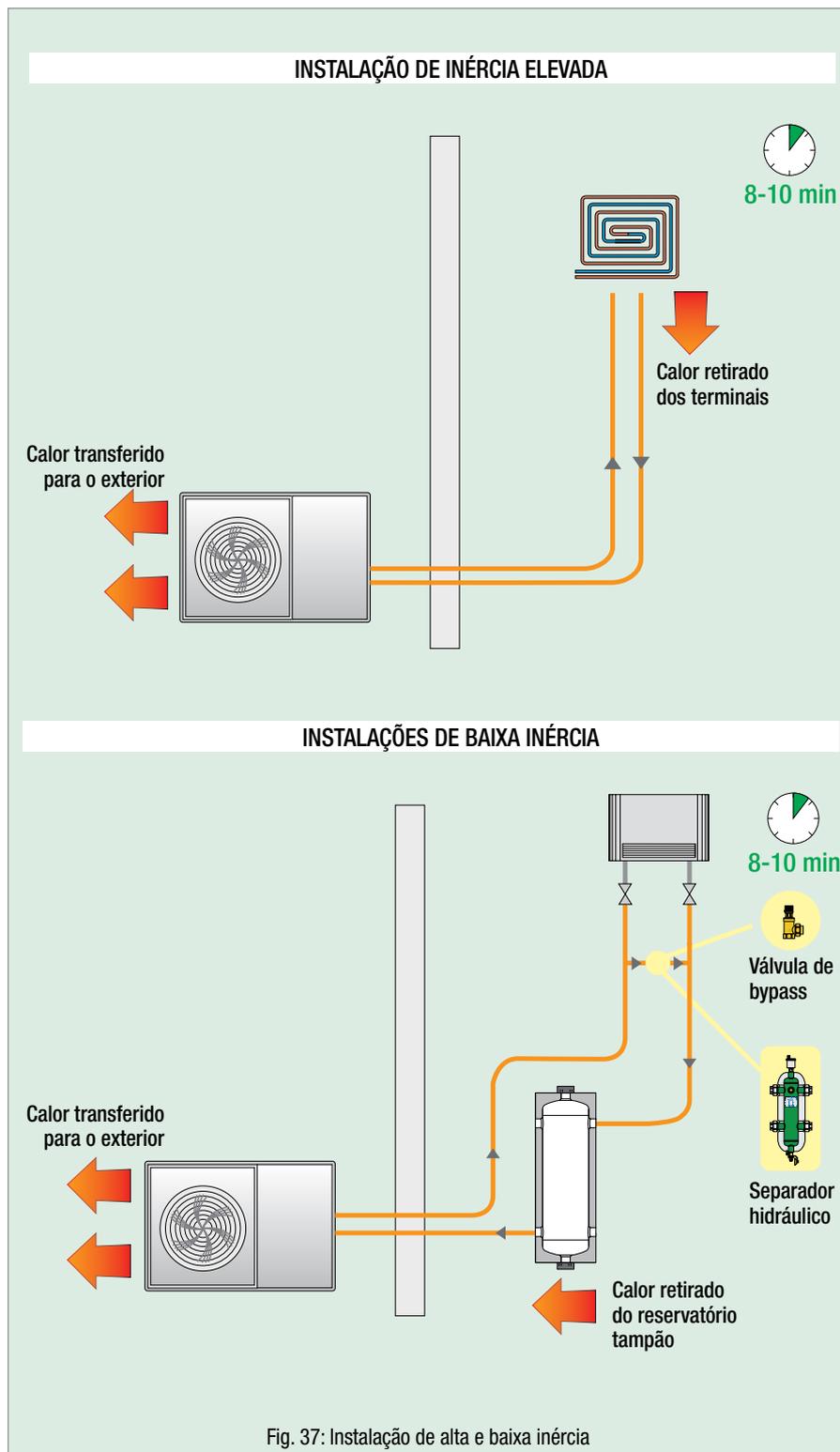


Fig. 37: Instalação de alta e baixa inércia

PRODUÇÃO DE ÁGUA QUENTE SANITÁRIA

Geralmente, as bombas de calor não têm potência suficiente para a produção instantânea de água quente sanitária. Por este motivo, a produção deve ser efetuada através de sistemas de acumulação. Uma vez que a temperatura de ida durante a produção de água quente sanitária não pode ser demasiado elevada, quer devido a limitações físicas, quer para evitar uma queda significativa do rendimento, deve ser tomado especial cuidado na projeção. Um termoacumulador para AQS dimensionado para uma bomba de calor requer volumes maiores e superfícies de permuta maiores do que uma caldeira. Deve também ser capaz de satisfazer toda a necessidade de água quente sanitária durante o período de pico, uma vez que a recarga do acumulador requer um período de tempo relativamente longo devido à potência limitada disponível.

O **volume de água armazenada** deve ser suficientemente **abundante** a fim de permitir que a água seja acumulada a uma temperatura entre 45 °C e 50 °C. No entanto, cada grau adicional de temperatura exigido pela bomba de calor reduz a sua eficiência em aproximadamente 3%.

O **permutador deve ser sobredimensionado** em relação a um combinado com uma caldeira para limitar a diferença entre a temperatura da AQS e da água técnica. Além disso, permutadores de pequenas dimensões prolongam o tempo de arranque do termoacumulador, retirando a máquina da função de aquecimento durante mais tempo.

O acumulador deve ser **bem isolado** para reduzir o mais possível as perdas de calor e assegurar uma elevada poupança nos custos de gestão.

Por norma, o termoacumulador é do tipo com serpentina imersa, com uma superfície de permuta aumentada. Este sistema pode aquecer o depósito de água quente sanitária até temperaturas de conforto apenas com a máquina em funcionamento, ou utilizando um aquecedor elétrico de reserva a fim de atingir temperaturas mais elevadas. O termoacumulador pode ser exterior ou integrado nos módulos da BC.

Existem também modelos de bombas de calor que, a fim de otimizar ainda mais a permuta térmica, utilizam um acumulador técnico e um permutador externo de placas para a produção instantânea de água quente sanitária. O calor não é armazenado na água potável mas sim num depósito de água técnica onde a estratificação da temperatura assegura a produção de AQS. Com esta solução, a água potável é aquecida instantaneamente através de um permutador de calor em aço inoxidável e permanece higienicamente não contaminada.

A AQS é produzida desviando a água da instalação através de uma válvula de três vias. Esta última é controlada pela bomba de calor, uma vez que a máquina, além de operar a permuta, deve aumentar a sua temperatura de ida e inverter o ciclo se estiver a produzir água refrigerada. Quando a produção de AQS é levada a cabo por um termoacumulador exterior, o desvio pode ser realizado por uma válvula de 3 vias, quer integrada na máquina, quer externa (Fig. 38). Em qualquer caso, a válvula é controlada eletronicamente pela bomba de calor, que deteta a temperatura do termoacumulador por meio de uma sonda apropriada.

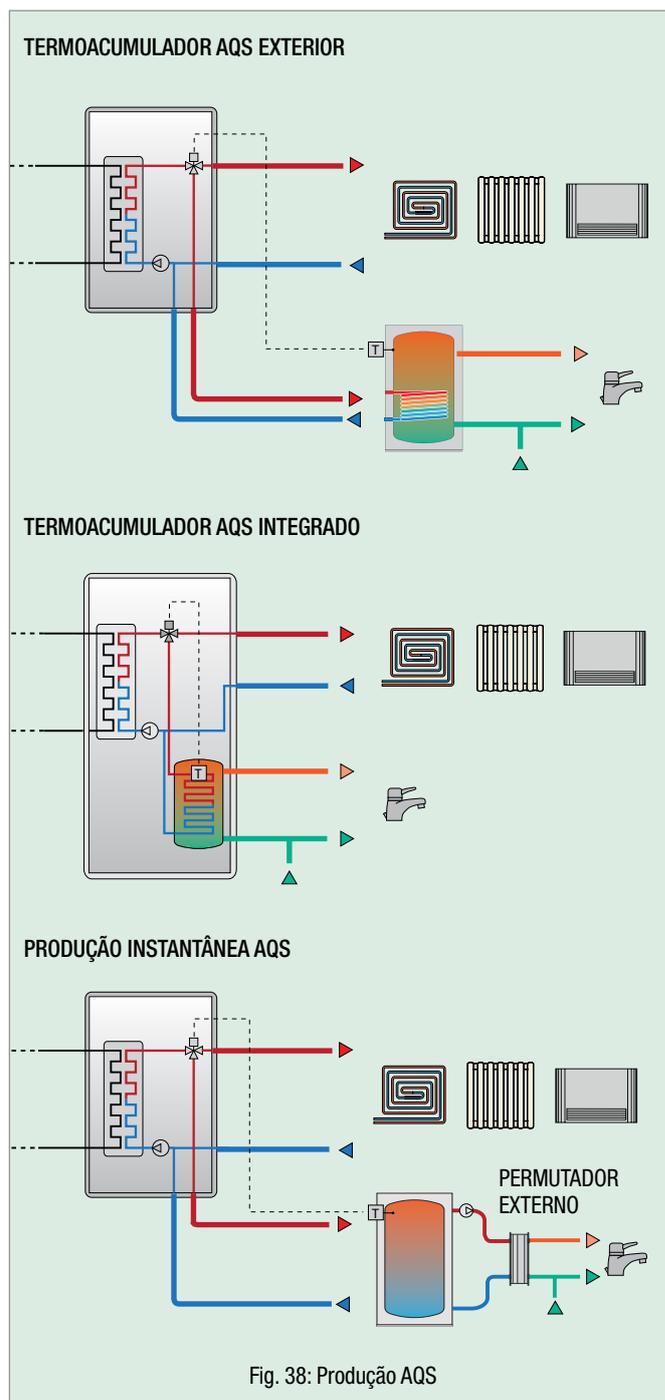
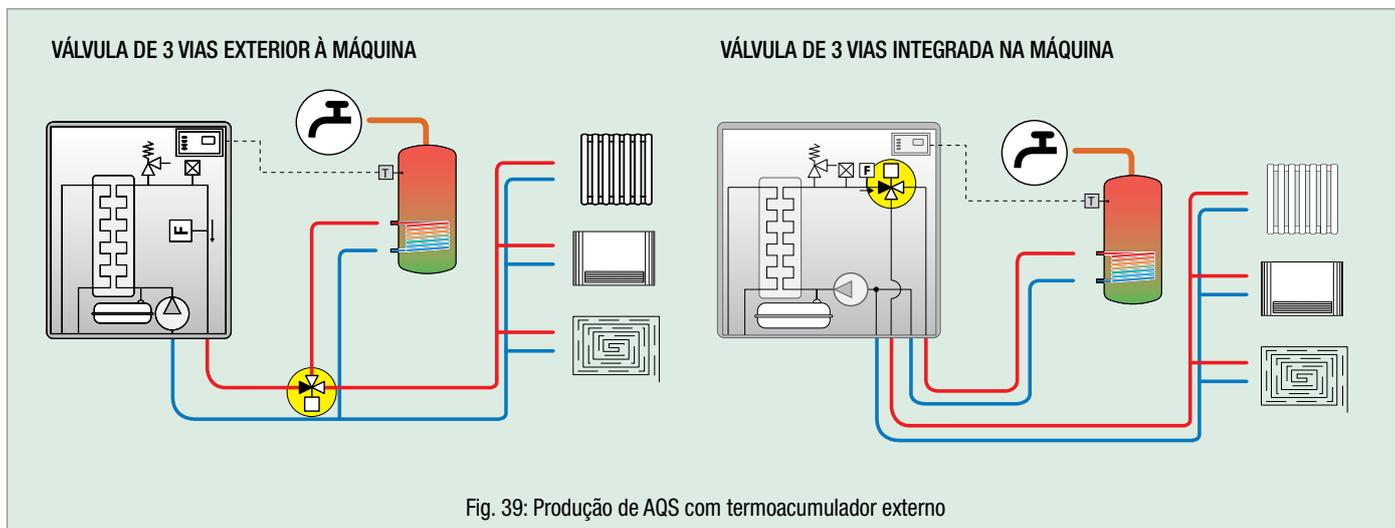


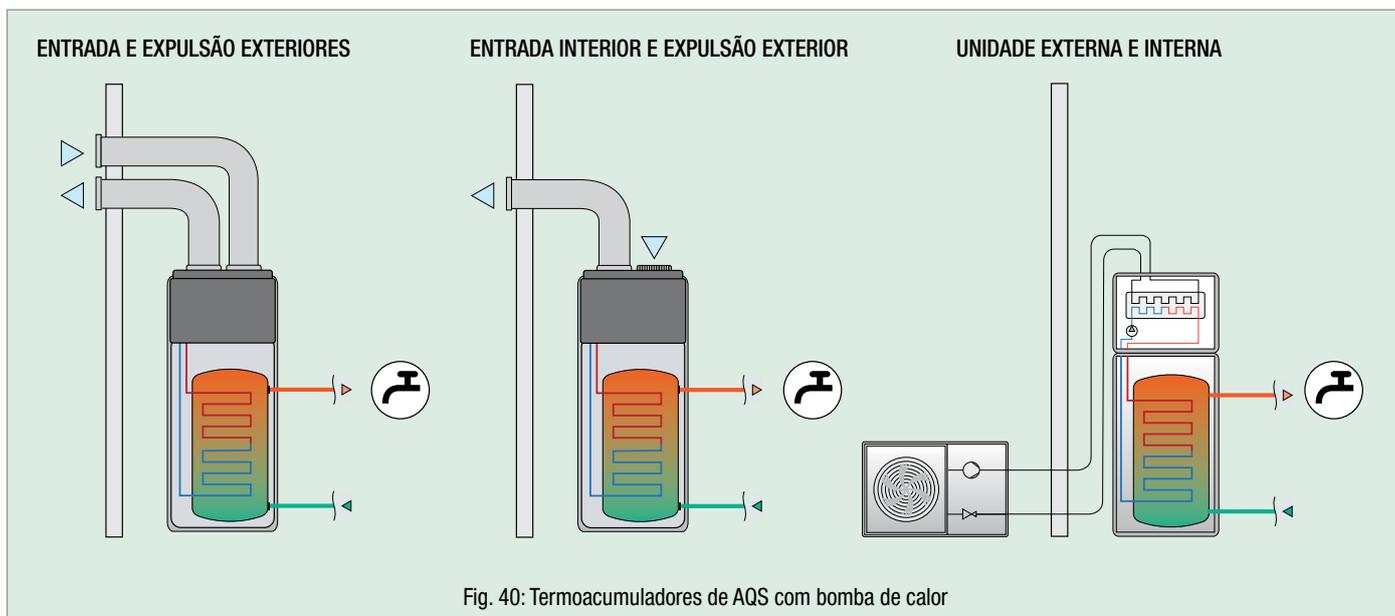
Fig. 38: Produção AQS

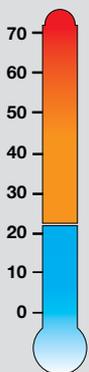


Finalmente, em algumas aplicações é conveniente manter a produção de AQS separada da produção de aquecimento. Isto pode ocorrer: em reestruturações (onde estamos vinculados à distribuição de AQS existente), em instalações centralizadas com produção independente de AQS, ou em instalações de BC (por exemplo, ar-ar) sem produção de AQS. Nesses casos, existem **termoacumuladores com bomba de calor ar-água**.

Podem funcionar por meio de duas condutas para o exterior (entrada e expulsão do ar) ou utilizando o ar ambiente como entrada e, em seguida, descarregando-o através de uma conduta para o exterior. Existem também modelos com uma unidade externa e interna (*split*).

Embora o termoacumulador com bomba de calor ar-água tenha um custo de aquisição mais elevado, evita a necessidade de comutar de frio a quente durante a função de arrefecimento, aumentando assim o rendimento da máquina.





A PROTEÇÃO ANTILEGIONELLA NAS INSTALAÇÕES COM BOMBA DE CALOR

A bactéria *Legionella* sobrevive e prolifera em água entre aproximadamente os 20 e 45 °C. Sobrevive de forma inativa abaixo dos 20 °C. Acima dos 50 °C não há risco da *Legionella* se desenvolver, pelo que é eliminada em algumas horas. Acima dos 60 °C, a morte da bactéria ocorre em dois minutos, enquanto acima dos 70 °C é instantânea.

A bomba de calor, em funcionamento normal, pode fornecer água quente até cerca dos 55 °C. Nestes casos, a proteção antilegionella pode ser obtida por meio de uma resistência de aquecimento de integração com a potência adequada (**Fig. A**). A bomba de calor aquece o acumulador até à temperatura de regulação e, em seguida, a resistência elétrica de integração entra em funcionamento a fim de atingir a temperatura de desinfecção. Deve ser dada especial atenção à escolha da temperatura de desinfecção e ao tempo mínimo para a manutenção do ponto de regulação antilegionella, a fim de inativar quaisquer bactérias presentes na água.

Apenas algumas máquinas trabalham com temperaturas mais elevadas até 70 °C. A estas temperaturas é possível efetuar ciclos periódicos de desinfecção térmica do termoacumulador (**Fig. B**). Em qualquer caso, o rendimento nestas condições é significativamente reduzido.

Para a desinfecção térmica, não só do termoacumulador como também da rede de distribuição (nos casos em que é particularmente extensa), é fundamental um sistema de recirculação sanitária tanto no sistema ilustrado na Fig. A como no da Fig. B.

Como alternativa aos tratamentos térmicos, é possível realizar o tratamento antilegionella com sistemas de desinfecção não térmicos (**Fig. C**), como o tratamento com raios UV, a utilização de microfiltros e o tratamento com dióxido de cloro ou peróxido de hidrogénio.

A produção de AQS através de um acumulador de água técnica e de um permutador externo (**Fig. D**), combinados com uma pequena rede de distribuição, é o único sistema que não requer proteção antilegionella.

Fig. A: RESISTÊNCIA ELÉTRICA DE INTEGRAÇÃO

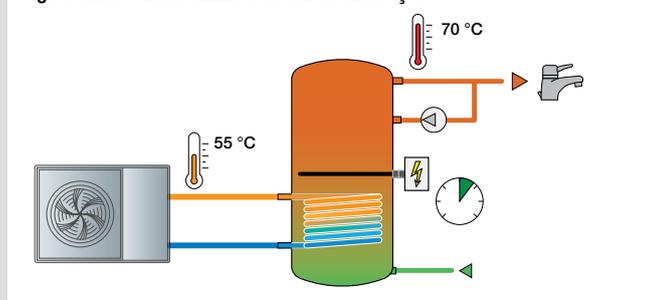


Fig. C: DESINFEÇÃO NÃO TÉRMICA

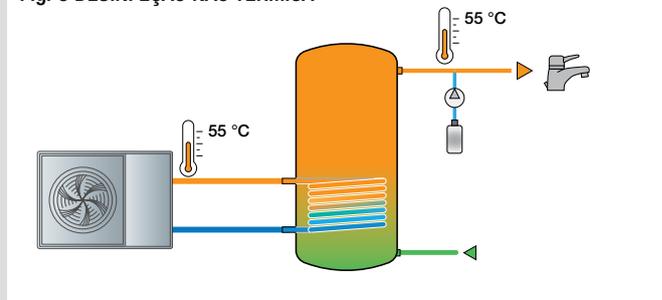


Fig. B: BC ALTA TEMPERATURA

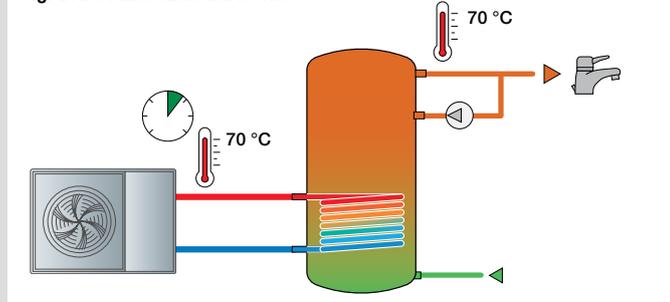
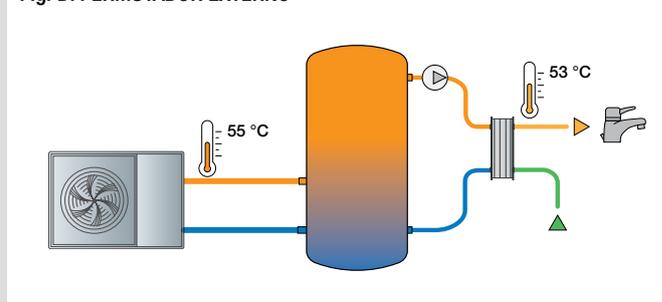


Fig. D: PERMUTADOR EXTERNO



Componentes de uma instalação com BC

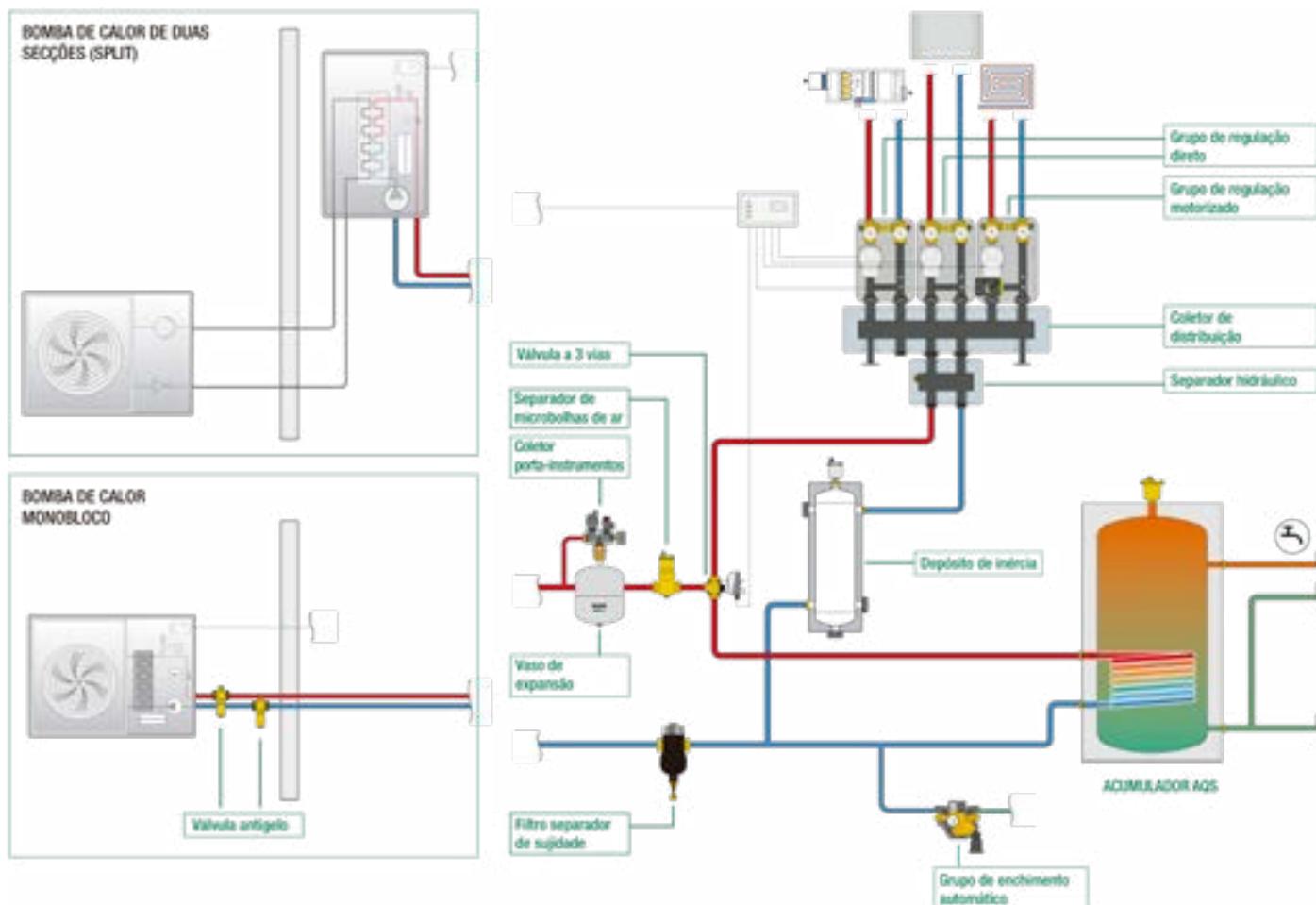


Fig. 41: Esquema típico de instalação com bomba de calor

TERMINAIS DE EMISSÃO

Numa instalação com bomba de calor utilizada para aquecimento, os terminais de emissão (emissores de calor) devem ser dimensionados com a temperatura de ida mais baixa possível. A escolha mais simples passa por utilizar painéis radiantes, quer montados no chão ou no teto. Os ventiloincutores não são uma boa combinação para bombas de calor, uma vez que não é possível baixar a temperatura de ida a meio da estação, devido à sensação de ar frio na pele.

As novas normas do mercado de bombas de calor garantem uma temperatura da água de aquecimento até 60–65 °C, sem necessidade de apoio de resistências elétricas, mesmo a uma temperatura externa muito baixa de -20 °C. Isto permite reduzir os custos energéticos e integrar também os radiadores (muitas vezes, já

presentes nas habitações) como possíveis terminais de emissão.

As bombas de calor ar-água são também capazes de produzir água refrigerada a temperaturas normalmente utilizadas em instalações de arrefecimento. Não existem limitações particulares na escolha do design dos sistemas de ar condicionado à base de água associados a estas máquinas.

RADIADORES DE BAIXA TEMPERATURA

Apenas podem ser utilizados para **aquecimento e só se estiverem bem dimensionados**. Numa instalação completamente requalificada (substituição dos radiadores), a projeção considera a temperatura de ida a fim de calcular a superfície necessária do novo radiador. Por outro lado, quando a intervenção se centra apenas no gerador (com a substituição de uma caldeira por uma bomba de calor), é necessário verificar

a potência que os radiadores existentes são capazes de emitir à nova temperatura de ida.

Vejamos um exemplo com os seguintes dados:

- carga térmica do ambiente = 700 W
- temperatura de ida = 70 °C
- potência do elemento radiador individual em alumínio = 150 W (de acordo com a norma EN 442).

O número de elementos do radiador é calculado como a relação entre a carga térmica do ambiente e a potência do elemento individual:
 $700 / 150 = 5$ elementos.

Ao contrário, alimentar o radiador a 40 °C em vez de 70 °C resultará numa potência inferior (aprox. 85 W por elemento individual). A potência total do radiador será de 428 W (85 W × 5 elementos) em vez dos 700 W necessários.

Há duas formas de alcançar a potência necessária:

1. aumentar o número de elementos até ser alcançada (se ainda não tiverem sido sobredimensionados);
2. intervir na estrutura de dispersão para baixar a necessidade.

De facto, muitas vezes, quando um gerador é substituído, também se atua sobre o isolamento da estrutura em dispersão através de isolamento composto térmico, do isolamento de tetos e do pilotis e, se necessário, da substituição de janelas e portas. Só com estas intervenções, será possível manter os radiadores existentes com a instalação de uma bomba de calor.

PISO RADIANTE

O sistema radiante, seja no teto ou sob o pavimento, é a melhor combinação com a bomba de calor, sendo que pode tornar a instalação o mais eficaz e económica possível. A superfície ampla do sistema radiante assegura o melhor conforto com uma temperatura de superfície (e portanto a temperatura de ida da bomba de calor) mais baixa que a de um radiador.

No modo de aquecimento, as tempera-

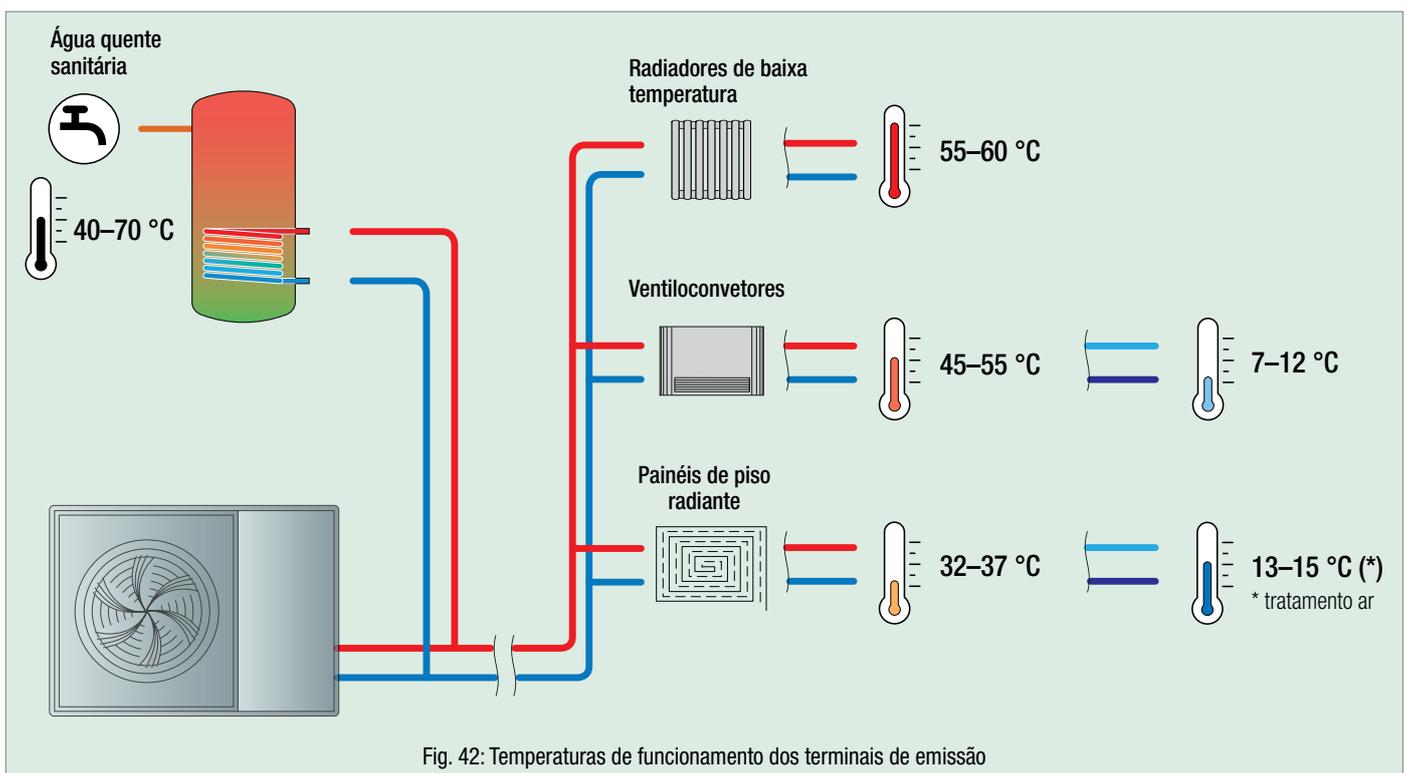
turas típicas de funcionamento situam-se entre os 35 e 40 °C, mas por vezes podem ser alcançadas temperaturas mais baixas através do espessamento da passagem do painel ou da utilização de uma espessura da argamassa reduzida. É possível manter estas temperaturas de funcionamento apenas se o edifício estiver bem isolado, já que a potência de emissão de uma instalação radiante está relacionada com a superfície em que está instalado.

No modo de arrefecimento permite a produção de água refrigerada a temperaturas mais próximas das requeridas no ambiente. O arrefecimento radiante, combinado com o correspondente sistema de desumidificação, permite manter uma temperatura mais elevada de ida aos terminais (13/15°C em comparação com 7/9 °C para um sistema tradicional). Isto permite um maior rendimento do ciclo frigorífico. No entanto, os sistemas de arrefecimento radiante têm algumas limitações, incluindo baixa potência específica, alta inércia e elevados custos do sistema de desumidificação, o que muitas vezes os torna pouco vantajoso economicamente.

VENTILOCONVETORES

O ventiloconvetor pode desempenhar a dupla função de aquecimento e arrefecimento, e por esta razão, aparentemente seria o complemento ideal para a bomba de calor. No entanto, **quando se trata de aquecimento**, os modelos mais antigos fornecidos a 65 °C não podem ser combinados com bombas de calor, e os modelos atuais com temperaturas de ida entre 45 e 55 °C sacrificam alguns pontos de rendimento, especialmente a meio da estação.

No modo de arrefecimento, utilizam água refrigerada para arrefecer e desumidificar numa única solução. Estão equipados com uma bacia apropriada para recolher o vapor condensado durante a desumidificação. Trabalham geralmente com uma temperatura de ida de 7 °C, pelo que é possível elevar a temperatura da água num certo limite (até à temperatura do orvalho) a fim de garantir a desumidificação correta dos ambientes.



SEPARADOR HIDRÁULICO

Nas instalações com bomba de reforço, é aconselhável separar o circuito primário do circuito secundário por meio de um separador hidráulico. Pode consistir num disjuntor hidráulico (de pequeno volume) ou num depósito inercial instalado como separador. Ambos são capazes de separar os dois circuitos (primário e secundário), uma vez que são compostos por uma zona de baixa perda de carga. A sua função é evitar interferências e perturbações entre os próprios circuitos devido a variações dos caudais e à altura

manométrica dos circuladores.

A escolha do tipo de separador é influenciada principalmente pelos caudais máximos presentes no sistema.

Em vez disso, deve ser instalado um tanque de armazenamento técnico em vez de um simples compensador hidráulico nos seguintes casos:

- para assegurar o teor mínimo de água (em instalações compostas principalmente por ventilosconvetores e radiadores);
- para aumentar a inércia térmica da instalação a fim de obter um melhor controlo na modulação;

- quando está prevista a instalação em paralelo de fontes de calor alternativas à bomba de calor (por exemplo, salamandras a pellets);
- para otimizar o funcionamento durante o processo de descongelação, evitando a introdução de água fria na instalação.

Na presença de um separador hidráulico ou depósito inercial, é essencial equilibrar corretamente os caudais dos dois circuitos, primário e secundário.



DIMENSIONAMENTO DO SEPARADOR HIDRÁULICO

Se $G_{\text{PRIM}} = G_{\text{SEC}}$, as temperaturas primária e secundária podem ser assumidas como sendo iguais a uma boa aproximação.

Se $G_{\text{PRIM}} < G_{\text{SEC}}$, a temperatura de ida secundária é inferior à temperatura de ida primária. Numa instalação com bomba de calor, poderá não ser assegurada a temperatura correta nos terminais.

Se $G_{\text{PRIM}} > G_{\text{SEC}}$, a temperatura de retorno do primário (isto é, a temperatura de retorno ao gerador) é superior à temperatura de retorno do secundário. Por outro lado, a temperatura de ida para o secundário (ida para o terminal) permanece inalterada. Este é o caso típico de funcionamento das instalações com bombas de calor, que requerem um caudal constante e suficiente durante todo o funcionamento, com um salto térmico bem definido.

O separador hidráulico *é dimensionado com referência ao caudal máximo na entrada. O valor escolhido deve ser o maior entre a soma dos caudais do circuito primário (G_{PRIM}) e a soma dos caudais do circuito secundário (G_{SEC}).*

A separação hidráulica induz a recirculação de água quente e um aumento da temperatura de retorno do primário. Numa instalação com BC isto pode conduzir a ciclos curtos de funcionamento da máquina, degradando o seu desempenho. *O aumento do caudal no primário deve, portanto, ser controlado de tal forma que seja no máximo cerca de 30% mais elevado do que o secundário.*

| Medida | Caudal [m³/h] |
|--------|---------------|
| 1" | 2,5 |
| 1 1/4" | 4,0 |
| 1 1/2" | 6,0 |
| 2" | 8,5 |

Tabela 4: Caudal máximo à entrada do separador hidráulico

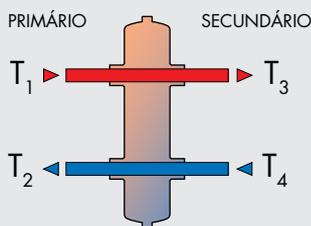
| Medida | Caudal [m³/h] |
|--------|---------------|
| DN 50 | 9 |
| DN 65 | 18 |
| DN 80 | 28 |
| DN 100 | 56 |
| DN 125 | 75 |
| DN 150 | 110 |
| DN 200 | 180 |
| DN 250 | 300 |
| DN 300 | 420 |

$$G_{\text{PRIM}} = G_{\text{SEC}}$$



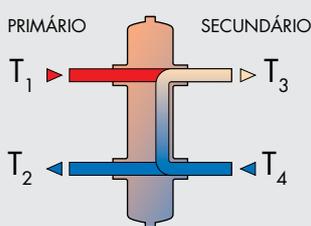
$$G_{\text{PRIM}} < G_{\text{SEC}}$$

$$G_{\text{PRIM}} > G_{\text{SEC}}$$



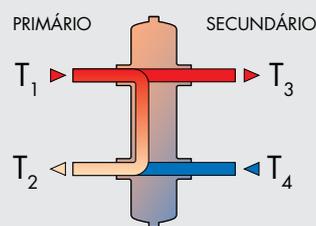
$$T_1 = T_3$$

$$T_2 = T_4$$



$$T_1 > T_3$$

$$T_2 = T_4$$



$$T_1 = T_3$$

$$T_2 > T_4$$

DEPÓSITO DE INÉRCIA

É essencial o volume mínimo de água necessário que vise o funcionamento ideal para todas as operações da bomba de calor (aquecimento, arrefecimento e descongelamento) e deve ser garantido mesmo nas condições mais desfavoráveis, ou seja, com zonas total ou parcialmente fechadas.

A fim de garantir um volume mínimo de água para a bomba de calor, é possível instalar um depósito de inércia, prestando especial atenção à sua localização e dimensionamento.

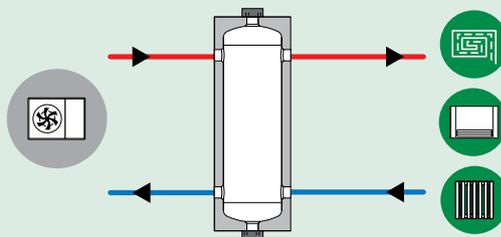
O depósito de inércia pode ser **ligado como um separador hidráulico** entre os circuitos primário e secundário, tornando os dois circuitos hidráulicamente independentes. Este tipo de configuração assegura uma reserva de energia para os pontos de utilização e, portanto, uma maior inércia nos terminais de emissão em caso de paragem da máquina.

Em alternativa, pode ser **instalado em linha no retorno** da instalação, por exemplo, em instalações sem circuito de reforço. Em máquinas ON/OFF e naquelas com inversores obsoletos, esta disposição permite reduzir o número de ciclos do compressor, garantindo uma menor solicitação à máquina. É garantida a temperatura mínima de retorno da água ao gerador para as operações de descongelamento do evaporador.

O acumulador técnico **localizado no lado de ida** desempenha a mesma função que o volante térmico no lado de retorno mas, uma vez que funciona como uma reserva energética para o sistema de emissão, requer mais tempo para realizar o arranque da instalação.

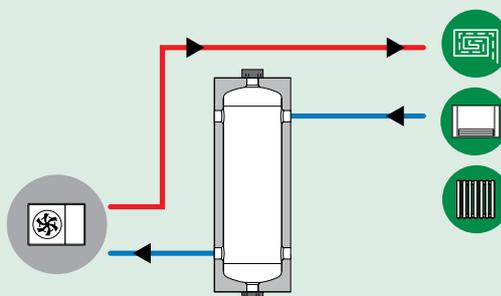
É possível, por fim, instalar o acumulador técnico na **versão de três tubos**. Semelhante à versão com separador hidráulico, permite a compensação hidráulica dos circuitos e, simultaneamente, fornece um reservatório de energia a fim de servir os pontos de utilização. A principal diferença é que existe uma ligação direta da máquina aos pontos de utilização, o que permite um arranque rápido.

DEPÓSITO DE INÉRCIA COMO DISJUNTOR TÉRMICO



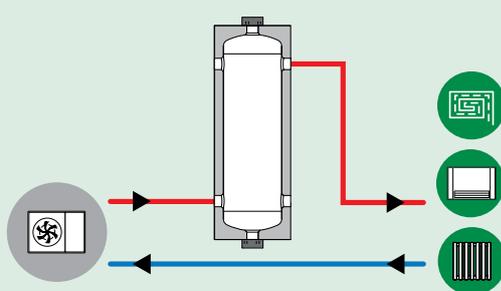
- Separação dos circuitos e volante inercial (2 em 1).
- Depósito mais eficiente.
- Temperatura da instalação mais homogênea durante a descongelamento.
- Possibilidade de utilizar um salto térmico no secundário diferente do da bomba de calor.

DEPÓSITO DE INÉRCIA INSTALADO NO RETORNO



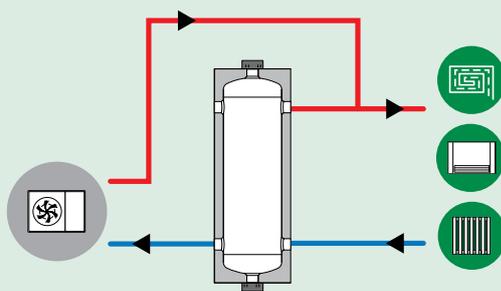
- Arranque mais imediato.
- Requer separador hidráulico ou bypass a jusante do acumulador.
- Em máquinas ON/OFF e naquelas com inversores obsoletos, esta disposição permite reduzir o número de ciclos do compressor.
- Temperatura mínima de retorno da água ao gerador garantida para as operações de descongelamento do evaporador.

DEPÓSITO DE INÉRCIA INSTALADO NA IDA



- Em máquinas ON/OFF e naquelas com inversores obsoletos, esta disposição permite reduzir o número de ciclos do compressor.
- A continuidade da temperatura nos emissores é garantida.
- Conteúdo mínimo durante os ciclos de descongelamento garantido.
- Requer separador hidráulico ou bypass a jusante do acumulador.

DEPÓSITO DE INÉRCIA VERSÃO DE 3 TUBOS



- Separação dos circuitos e volante inercial (2 em 1).
- A continuidade da temperatura nos emissores é garantida.
- Temperatura da instalação mais homogênea durante a descongelamento.
- Ligação direta da máquina ao ponto de utilização.
- Possibilidade de utilizar um salto térmico no secundário diferente do da bomba de calor.
- Arranque mais imediato.

Fig. 43: Possíveis ligações no depósito de inércia



DIMENSIONAMENTO DO DEPÓSITO DE INÉRCIA

O volume do depósito de inércia depende do volume mínimo de água exigido pelo fabricante para assegurar o funcionamento correto da máquina, mesmo nas fases de descongelação. Este valor é influenciado pelas características da instalação, a sua extensão e o modo de gestão (presença da válvula de bypass) e deve ser garantido após dedução do conteúdo de água da bomba de calor e do sistema de emissão: efetivamente, com uma regulação por zona de 2 vias, o conteúdo de água do sistema de emissão é excluído do volume total do sistema quando a temperatura ambiente é alcançada.

O volume mínimo de água pode ser calculado com base na potência da máquina: *de um modo geral, podemos assumir um valor de 5–7 litros por kW térmico*. Em qualquer caso, é essencial seguir as instruções do fabricante.

TRATAMENTO DA ÁGUA

No que diz respeito ao tratamento da água, uma instalação com bomba de calor comporta-se como uma instalação tradicional com caldeira e está sujeita às mesmas obrigações legislativas (em Itália, representado pelo Decreto de Requisitos Mínimos de 2015). Além disso, muitos fabricantes referem na sua documentação técnica o cumprimento destas obrigações, com o intuito de manter a garantia. Finalmente, manter a qualidade da água adequada para a circulação na instalação poderá permitir uma poupança energética da instalação superior a 8–10%.

ELIMINAÇÃO DO AR

A presença de um dispositivo separador de microbolhas de ar é obrigatória em cada um dos circuitos fechados. Por conseguinte, deve ser instalado um separador de microbolhas de ar a jusante da bomba de calor e uma válvula de purga de ar não é suficiente, exceto no caso de instalações com um conteúdo de água inferior a 300 litros.

ELIMINAÇÃO DE IMPUREZAS

Muitas bombas de calor no mercado estão equipadas com um filtro, imediatamente a montante da ligação de entrada de água ao permutador de placas. Na ausência do filtro, lascas, detritos e impurezas presentes na instalação poderiam entupir o permutador e provocar a corrosão de outros componentes. No entanto, para evitar que a sujidade excessiva do filtro interno da máquina cause uma redução no caudal do circuito e perdas de carga adicionais, é aconselhável instalar um filtro separador de sujidade na linha de retorno ao gerador. Desta forma, as impurezas são retidas pelo filtro separador de sujidade externo, mais fácil de manter.



DIMENSIONAMENTO SEPARADORES DE MICROBOLHAS DE AR E SEPARADORES DE SUJIDADE

Os separadores de microbolhas de ar e os separadores de sujidade são dimensionados de acordo com a velocidade máxima recomendada do fluido nas ligações do dispositivo.

Velocidade máxima = 1,2 m/s

Por conveniência, o tamanho do dispositivo é escolhido com base no caudal máximo recomendado para assegurar o funcionamento eficaz do dispositivo.

SEPARADORES DE MICROBOLHAS DE AR E SEPARADORES DE SUJIDADE

| DN | 20 | 25 | 32 | 40 |
|-------------------|------|------|--------|--------|
| Ligações | 3/4" | 1" | 1 1/4" | 1 1/2" |
| l/min | 22 | 35 | 58 | 90 |
| m ³ /h | 1,36 | 2,11 | 3,47 | 5,42 |

Tabela 5: Caudais máximos recomendados para separadores de microbolhas de ar e separadores de sujidade



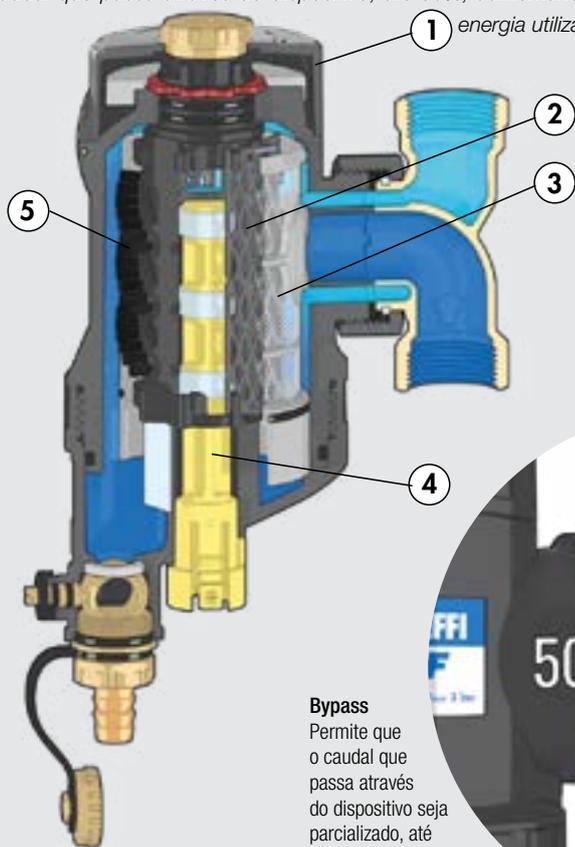
- Capacidade filtrante elevada
- Atração magnética de impurezas ferrosas
- Corpo em tecnopolímero
- Orientável em instalações em tubagens horizontais ou verticais
- Escovas internas para limpeza da malha filtrante
- Bypass regulável (apenas na versão DN 40 e DN 50)

O filtro separador de sujidade magnético CALEFFI XF **separa as impurezas presentes na instalação e minimiza o problema de obstrução da malha filtrante**. A operação baseia-se na ação de três elementos separados a fim de assegurar a proteção contínua do gerador e dos dispositivos contra as impurezas formadas no circuito hidráulico, tanto durante o arranque da instalação como em condições normais de funcionamento. A água da instalação passa primeiro através do **elemento interno reticular** (2), que separa as impurezas mais grosseiras por colisão, provocando a sua precipitação para a ampla câmara de recolha inferior. Posteriormente, o **ímã central** (4) retém todas as impurezas ferrosas até às mais diminutas. Finalmente, a água passa através do **filtro na saída** (3) que, graças à sua grande superfície filtrante e malha muito fina (0,16 mm), garante a captura de todas as impurezas residuais não bloqueadas pelos dois primeiros elementos.

Não são necessárias válvulas de interceção para a manutenção, uma vez que o dispositivo está equipado com um mecanismo de **limpeza da malha filtrante através de escovas internas** (5). Girando o manípulo superior (1), as escovas limpam o filtro internamente, precipitando as impurezas para a parte inferior do componente.

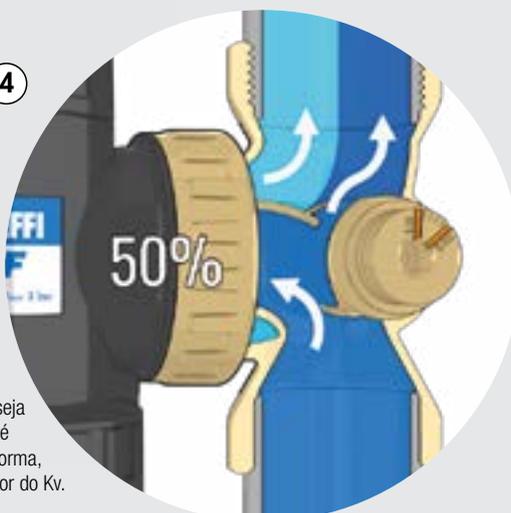
A instalação é simples e versátil graças à possibilidade de **instalação em tubagem horizontal ou vertical**.

As medições superiores (DN 40 e DN 50) estão equipadas com um **bypass** que permite a parcialização do caudal que passa através do dispositivo, até 50%, aumentando assim o valor do Kv e reduzindo a



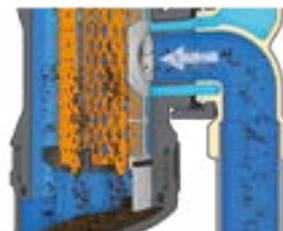
1 energia utilizada pelo circulador.

Bypass
Permite que o caudal que passa através do dispositivo seja parcializado, até 50% e, desta forma, aumentar o valor do Kv.



Elemento interior reticular em leque

Promove a precipitação de impurezas na parte inferior do corpo.



Ímã central

Captura magnetite e impurezas ferrosas mesmo com dimensões ínfimas.



Malha filtrante

Retém as impurezas residuais através da seleção mecânica das partículas de acordo com a dimensão.



Escovas internas

Girando o manípulo situado na parte superior do componente, é possível limpar o filtro interno.



ADITIVOS QUÍMICOS

Os aditivos químicos numa instalação de aquecimento ou arrefecimento são sempre obrigatórios, independentemente da potência ou dureza da água. O enchimento de uma instalação deve ser realizado com água que cumpra os critérios e parâmetros de potabilidade. Após o enchimento, é obrigatório realizar a lavagem da instalação e, posteriormente, aplicar um agente protetor anticorrosão e anti-incrustante para manter uma elevada eficiência das instalações.

Deve ser dada especial atenção às instalações térmicas recentes com bomba de calor, que exploram as baixas temperaturas do fluido vetor mas que, precisamente por isso, podem favorecer a formação de resíduos biológicos nas instalações. Neste caso, é indispensável a utilização de um biocida juntamente com o agente protetor. O biocida é útil para a prevenção e controlo do crescimento microbiano num amplo espectro de bactérias e outros microrganismos presentes nas águas de climatização.

VÁLVULA DE ZONA DE 3 VIAS

As válvulas de desvio motorizadas permitem a gestão do fluxo entre a instalação de climatização e a sanitária. A gestão é, geralmente, confiada à parte eletrónica da própria bomba de calor, através de uma sonda instalada no termoacumulador sanitário.

O desvio do fluxo é totalmente eficaz quando não há fugas e quando o tempo de manobra é reduzido. Por esta razão, as válvulas desviadoras de esfera de 3 vias são preferíveis às válvulas de pistão devido à sua conceção.

Se possível, a válvula motorizada deve ter um **tempo de manobra** de aproximadamente 10 segundos, mas não mais de 50 segundos, a fim de otimizar as operações de produção de AQS.



DOSAGEM DE ADITIVOS QUÍMICOS

O Decreto Ministerial 26/06/2015 prevê sempre a inclusão de aditivos químicos nas instalações de aquecimento, independentemente da potência do gerador instalado.

São doseados em função do volume de água presente na instalação.



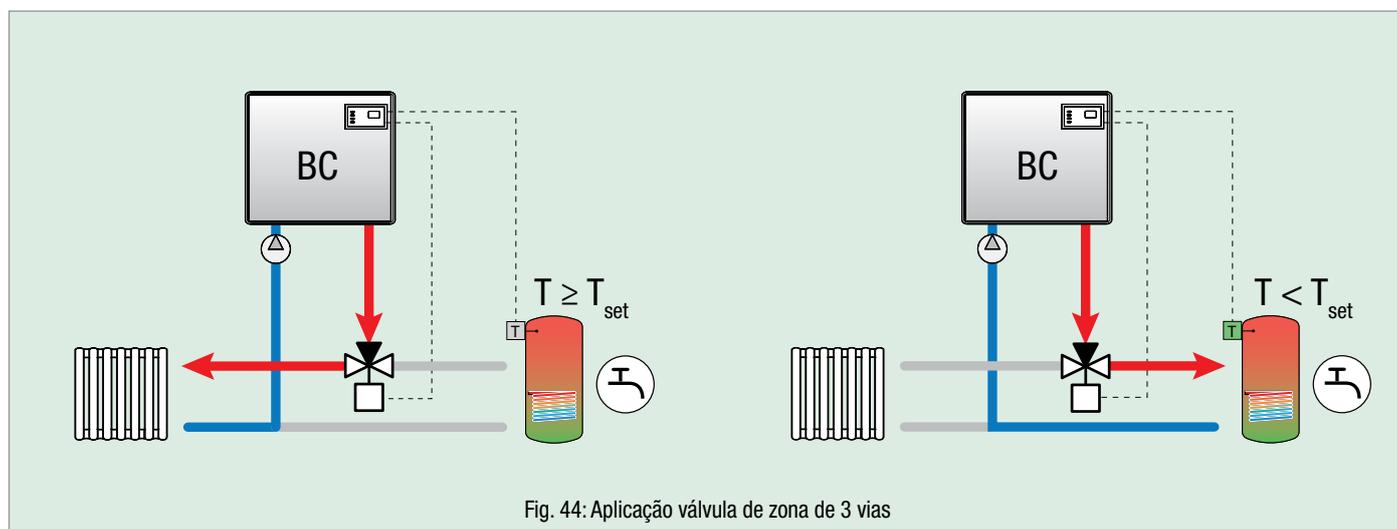
DIMENSIONAMENTO DA VÁLVULA DE 3 VIAS

Por ser uma válvula desviadora, é *dimensionada de acordo com o Kv*, o único valor de interesse para que a perda de carga seja adequada à disponível na instalação. São considerados os seguintes valores médios de perda de carga:

- 200–300 mm c.a. (instalação com perda de carga reduzida)
- 500–600 mm c.a. (instalação com perda de carga elevada)

| DN | 20 | 25 | 32 | 40 |
|----------|------|----|--------|--------|
| Ligações | 3/4" | 1" | 1 1/4" | 1 1/2" |
| Kv | 9 | 12 | 25 | 47 |

Tabela 6: Valores médios Kv



INSTALAÇÃO MONOFÁSICA OU TRIFÁSICA?

As bombas de calor em geral, mas principalmente as bombas de calor ar-água, apresentam um consumo elétrico considerável. Por este motivo, dever-se-á ter cuidado na escolha do tamanho da máquina (consultar “Dimensionamento das bombas de calor” pág. 28), na escolha dos componentes acessórios com elevada absorção elétrica, tais como resistências de integração, e na gestão e regulação do aquecimento.

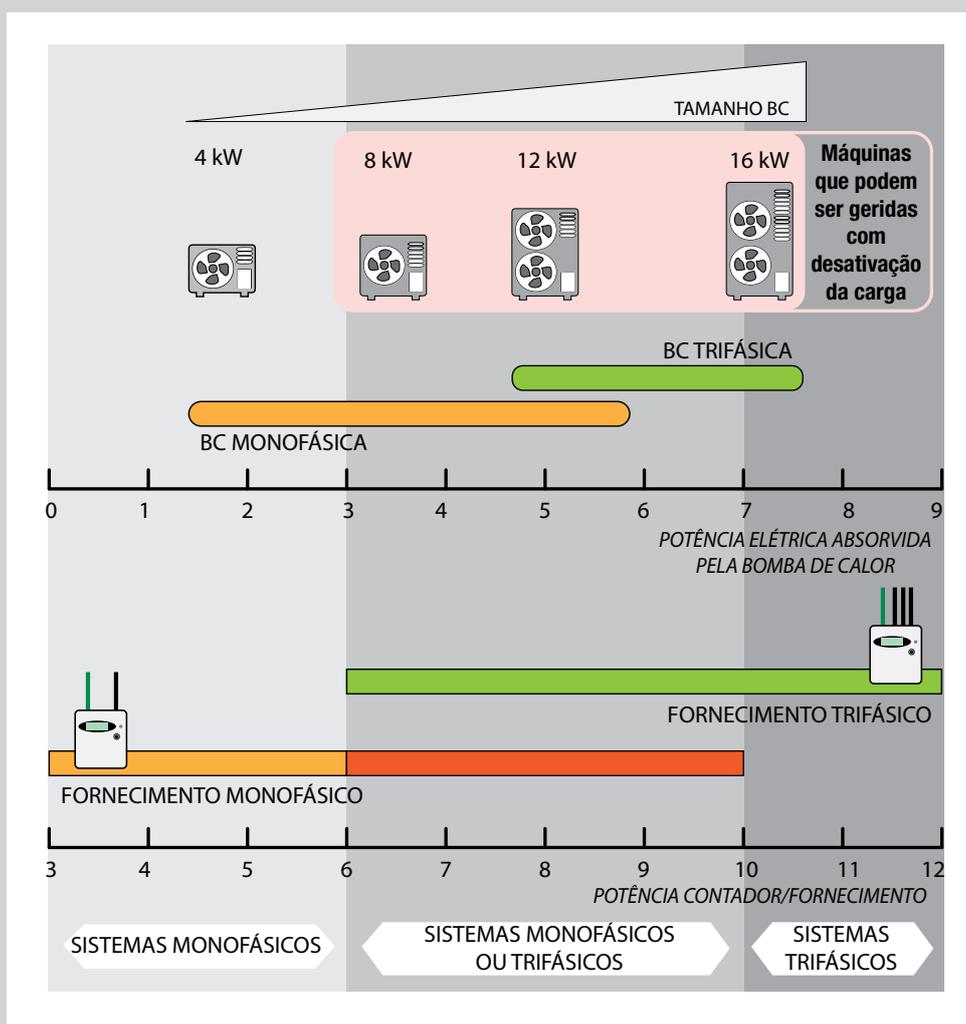
Para além dos picos de consumo, também se deve prestar atenção ao tipo de alimentação elétrica: as bombas de calor podem funcionar com alimentação monofásica (geralmente até uma potência térmica nominal de 12 kW) ou trifásica (geralmente para absorção de mais de 9 kW).

Em Itália, os tipos de pontos de utilização domésticos de eletricidade podem ser monofásicos ou trifásicos. Os fornecimentos monofásicos são garantidos até 6 kW, mas em alguns casos podem ser alargados até 10 kW, mediante avaliação e subsequente autorização do fornecedor. Para absorções superiores a 6 kW, é possível uma alimentação trifásica, obrigatória acima dos 10 kW.

Ao avaliar uma instalação doméstica, é sempre preferível privilegiar soluções monofásicas, uma vez que são mais fáceis de implementar e menos dispendiosas de instalar. Além disso, os aparelhos são monofásicos, pelo que, numa alimentação trifásica, têm de ser divididos pelas três fases para que as cargas sejam o mais equilibradas possível: num fornecimento de 9 kW, não é possível, por exemplo, derivar uma instalação de uma única fase de 9 kW. Em vez disso, será necessário dividir as cargas por três instalações monofásicas de 3 kW, sendo que cada uma será ligada a uma fase do fornecimento. Isto torna a conversão de uma instalação trifásica em monofásica ainda mais dispendiosa.

Dado o limite de potência dos fornecimentos monofásicos e considerando que o consumo normal de uma habitação será, pelo menos, 3 kW, é fácil atingir o limite de fornecimento para este tipo de alimentação durante a utilização comum de aparelhos elétricos. A crescente popularidade das placas de indução também deve ser considerada, especialmente em combinação com a instalação de bombas de calor, já que evitam a necessidade de gás natural; estes sistemas aumentam ainda mais a solicitação de potência elétrica pelo ponto de utilização.

À primeira vista, poder-se-ia pensar que as bombas de calor com uma absorção superior a 3–4 kW requerem fornecimentos trifásicos (ou monofásicos aumentados). No entanto, é possível manter uma potência mais baixa no contador mesmo para bombas de calor com maior absorção elétrica, utilizando sistemas de gestão da carga. Efetivamente, existem sistemas eletrónicos que podem desligar temporariamente as cargas quando o consumo da habitação atinge o limite de fornecimento. Os sistemas de gestão de carga são perfeitamente adaptáveis às bombas de calor ar-água, uma vez que uma desconexão momentânea do gerador não conduz a qualquer perda de conforto térmico. Este sistema é essencial sempre que a instalação de aquecimento deva ser requalificada, mas não seja possível refazer a instalação elétrica ao mesmo tempo.



DISPOSITIVOS PARA MANUTENÇÃO DA CIRCULAÇÃO

Nas bombas de calor, é necessário manter a circulação ativa no permutador de refrigerante/água para assegurar a eliminação adequada do calor libertado pelos próprios permutadores e aproveitar a massa de água contida na instalação durante os ciclos de descongelação.

O bloqueio da circulação ou um caudal de água insuficiente pode conduzir a avarias graves, chegando mesmo a causar a rutura de determinados componentes da máquina. A fim de evitar estes problemas, os fabricantes de bombas de calor utilizam fluxóstatos que, por meio de um sinal, permitem que as máquinas parem quando o caudal desce abaixo de um valor limite de segurança.

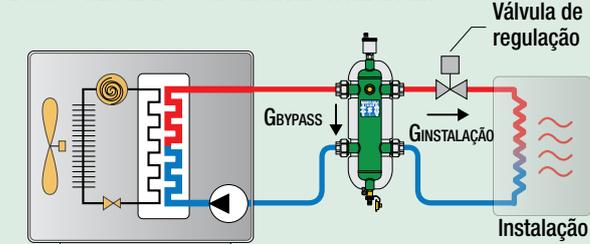
Com o intuito de garantir a circulação correta às bombas de calor, é possível adotar:

- 1. Separador hidráulico.** É simples e seguro, mas é necessário equilibrar corretamente os caudais entre o primário e o secundário (consultar “Separador hidráulico” na pág. 43). Requer ainda sistemas de circulação secundários. É o mais utilizado para médias e grandes distribuições.
- 2. Bypass regulado com válvula de balanceamento.** É adequado para pequenas distribuições sem circuitos secundários. Contudo, precisa de ser regulado e reduz o caudal da bomba para a instalação na proporção da quantidade transportada no bypass. É preferível utilizar este sistema quando os circuladores são colocados numa altura manométrica constante, de modo a que o caudal possa ser regulado através da válvula de regulação.
- 3. Bypass com AUTOFLOW®.** É uma solução semelhante à anterior, mas não requer regulação nem altura manométrica constante.
- 4. Bypass com válvula de diferencial.** Trata-se de uma solução que permite a abertura da válvula de bypass diferencial, permitindo a circulação de água no bypass, apenas quando o caudal para a instalação diminui. O sistema é adequado tanto para circuladores de rotações fixas como para circuladores de rotações variáveis definidos a uma altura manométrica constante. Neste último caso, é importante posicionar e regular corretamente a válvula de bypass diferencial, para evitar que esta permaneça sempre aberta ou sempre fechada.

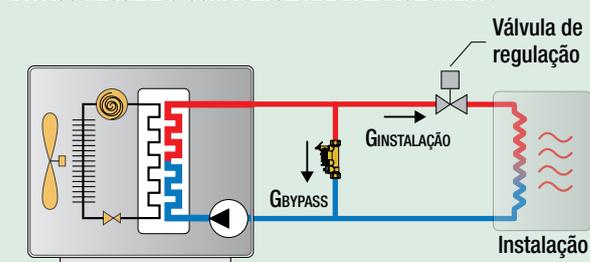
DIMENSIONAMENTO

São dimensionados com base no caudal mínimo exigido pela bomba de calor.

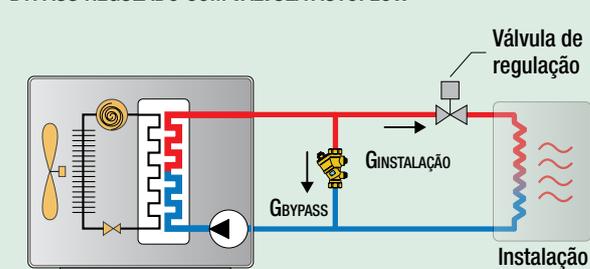
BYPASS REGULADO COM SEPARADOR HIDRÁULICO



BYPASS REGULADO COM VÁLVULA DE BALANCEAMENTO



BYPASS REGULADO COM VÁLVULA AUTOFLOW®



BYPASS REGULADO COM VÁLVULA DE BYPASS

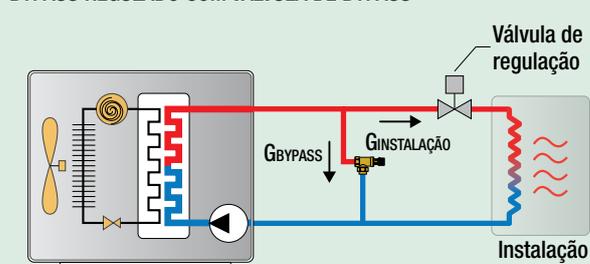


Fig. 45: Dispositivos para manutenção da circulação

VASO DE EXPANSÃO

O vaso de expansão é um “recipiente” que está ligado à instalação térmica e que serve para limitar os aumentos de pressão devido a alterações de volume causadas pelo aquecimento/arrefecimento da água no interior da instalação. Consiste num recipiente dividido em duas partes por uma membrana: uma para a água da instalação e a outra para um gás cuja função consiste em absorver as variações no volume da água. A pressão de pré-carga do gás deve ser igual à pressão hidrostática da água no ponto de instalação somada a um valor de 0,3 bar.

Regra geral, as bombas de calor contêm um vaso de expansão; quando o volume deste vaso não é suficiente para o sistema, deve ser instalado um vaso adicional.

DIMENSIONAMENTO DO VASO DE EXPANSÃO

A capacidade de um vaso de expansão fechado com membrana (diafragma) para instalações de aquecimento é calculada aplicando a fórmula seguinte:

$$V_n = \frac{e \cdot (V_a + V_v)}{P_a - \frac{P_e}{Pe}}$$

Sendo

V_n = volume do vaso de expansão [litros], a calcular

V_a = conteúdo de água da instalação [litros]

V_v = volume mínimo de água contido no vaso a frio, recomendado 0,5% de V_a (mínimo 3 litros) [litros]

V_e = volume de expansão devido ao aquecimento da água [litros]

e = coeficiente de expansão da água, calculado com base na diferença máxima entre a temperatura da água com a instalação fria (T₁) e a máxima de funcionamento (T₂). Calcula-se com a fórmula:

$$e = n/100$$

em que o coeficiente n é obtido pela fórmula:

$$n = 0,31 + 3,9 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta t_m^2$$

Δt_m = temperatura máxima permitida em graus Celsius referida à intervenção dos dispositivos de segurança

P_a = pressão absoluta inicial no lado do gás [bar] igual à pressão P₀ mais a pressão atmosférica (igual a 1 bar) mais um eventual Δp circulador relativo ao próprio circulador

$$P_a = P_0 + 1 + [\Delta p \text{ circulador}]^*$$

Sendo

P₀ = pressão de pré-carga do vaso do lado gás [bar] igual à pressão hidrostática no ponto de instalação (**P_{st}**) somada a um valor de pressão de precaução para garantir que não ocorrem depressões na instalação

$$P_0 = P_{st} + 0,3 \text{ bar}$$

Δp circulador* = a montagem do vaso a jusante do circulador prevê que o cálculo de P_a considere a altura manométrica do próprio circulador [bar]

P_e = pressão absoluta final lado gás [bar], dada pela P_{er} mais a pressão atmosférica (igual a 1 bar)

$$P_e = P_{er} + 1 = P_{vs} - 0,5 \text{ bar [ou } -10\% P_{vs}] + 1$$

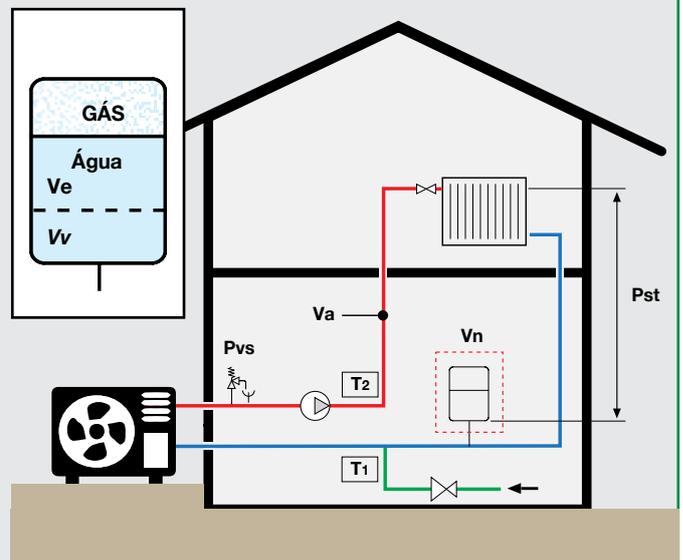
Sendo

P_{er} = pressão máxima de funcionamento da instalação lado gás [bar], ou seja, P_{vs} reduzida por um valor de pressão que previne a abertura da válvula de segurança

$$P_{er} = P_{vs} - 0,5 \text{ bar (se } P_{vs} \leq 5 \text{ bar)}$$

$$P_{er} = P_{vs} - 10\% P_{vs} \text{ (se } P_{vs} > 5 \text{ bar)}$$

P_{vs} = pressão de regulação da válvula de segurança [bar]



Exemplo:

| Descrição | | Unidade medida | Valor | |
|---------------------------------|----------------------|-----------------|-----------|----------------|
| Volume da instalação | V _a | [litros] | 200 | INPUT DE DADOS |
| Pressão hidrostática | P _{st} | [bar] | 0,6 | |
| Pressão de regulação válv. seg. | P _{vs} | [bar] | 2,5 | |
| Pressão de enchimento | P _f | [bar] | 1,5 | |
| Conteúdo de glicol | Gl | % | 0 | |
| Temperatura final | T _f | [°C] | 65 | |
| Coeficiente de expansão | e | | 0,017 | DADOS CÁLCULO |
| Volume mínimo do vaso | V _v | [litros] | 3 | |
| Pressão inicial lado gás | P _a | [bar] | 1,9 | |
| Pressão final lado gás | P _e | [bar] | 3 | |
| Pressão máx. funcion. lado gás | P _{er} | [bar] | 2 | |
| Pressão de pré-carga lado gás | P ₀ | [bar] | 0,9 | |
| Temperatura inicial | T _i | [°C] | 10 | |
| Salto térmico | DT | [°C] | 60 | |
| Coeficiente | n° | | 1,7 | |
| Volume vaso de expansão | V_n | [litros] | 10 | |



DIMENSIONAMENTO DO VASO DE EXPANSÃO

No caso de instalações com bombas de calor, o *volume necessário para a expansão pode ser aproximadamente dimensionado em cerca de 5% do volume máximo da instalação.*

O valor de 5% foi avaliado de acordo com as seguintes hipóteses:

- regulação das válvulas de segurança = 2,5 bar
- pressão de pré-carga do vaso = 0,9 bar
- temperatura máxima = 65 °C (limite físico da máquina) na presença de água sem glicol
- estimativa do conteúdo de água por tipo de instalação.

Para facilidade de cálculo, pode ser feita referência à Tabela 7, que mostra o volume mínimo do vaso de expansão necessário. *Na máquina, está normalmente presente um vaso de 6–8 litros. Se esta capacidade não for suficiente, deve ser instalado um vaso suplementar na instalação para cobrir a diferença.*

$$V_{\text{mínimo}} = V_{\text{vaso máquina}} + V_{\text{vaso adicional}}$$

Atenção: se estiverem presentes resistências de integração, o volume necessário para expansão é de aproximadamente 10% do volume máximo da instalação. A temperatura máxima de cálculo deve ser assumida como equivalente a 100 °C.

| TIPOS DE TERMINAIS |  23 l/kW |  ferro fundido 14 l/kW |  aço 11 l/kW |  8 l/kW |
|--------------------|---|---|---|---|
| Pot. nom. BC [kW] | V _{MIN} v. exp. [litros] | V _{MIN} v. exp. [litros] | V _{MIN} v. exp. [litros] | V _{MIN} v. exp. [litros] |
| 3 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| 4 | 5 | 3 | 3 | 2 |
| 5 | 6 | 4 | 3 | 2 |
| 6 | 7 | 4 | 4 | 3 |
| 7 | 8 | 5 | 4 | 3 |
| 8 | 9 | 6 | 5 | 3 |
| 9 | 10 | 6 | 5 | 4 |
| 10 | 11 | 7 | 6 | 4 |
| 11 | 12 | 8 | 6 | 5 |
| 12 | 13 | 8 | 7 | 5 |
| 14 | 16 | 10 | 8 | 6 |
| 16 | 18 | 11 | 9 | 6 |
| 18 | 20 | 12 | 10 | 7 |
| 22 | 24 | 15 | 12 | 9 |
| 25 | 27 | 17 | 13 | 10 |

 Volume de expansão normalmente incluído na máquina.

Tabela 7: Volume mínimo do vaso de expansão numa instalação de BC ar-água.

PROTEÇÃO ANTIGELO

DURANTE O FUNCIONAMENTO NORMAL

As bombas de calor estão equipadas com uma função antigelo intrínseca para proteger o permutador de calor gás/água e a tubagem do circuito hidráulico. Quando a bomba de calor é desligada e a temperatura externa desce abaixo de um valor crítico, o circulador da máquina é ligado para manter a água técnica em movimento, a fim de evitar a sua congelação. Se, nestas condições, a temperatura da água em circulação descer abaixo de um limite definido por segurança, o compressor é também ativado como suporte para aumentar a temperatura do fluido para o valor ideal.

Outro sistema de proteção antigelo consiste em colocar uma resistência elétrica no lado do permutador que trabalha com o ar exterior. Desta forma, em determinadas condições de temperatura externa, a superfície do permutador de calor pode ser aquecida em modo direto a fim de derreter o gelo que se forma sobre o mesmo.

Na ausência da resistência, ou quando esta é adicionada, os fabricantes podem necessitar de um cabo de aquecimento alimentado eletricamente para proteger a tubagem exposta às intempéries.

AUSÊNCIA DE ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA

Em caso de ausência de corrente elétrica, podem ser utilizados os seguintes sistemas de segurança:

- **Glicol.** Em todos os tipos de bombas de calor, é possível adicionar glicol à água. A concentração do líquido antigelo deve ser verificada ciclicamente com um controlo periódico da vedação da instalação para evitar possíveis fugas para o ambiente (composto tóxico); se necessário, deve ser reabastecido. A adição de glicol gera um aumento da perda de carga devido à elevada viscosidade do produto. Além disso, se o glicol atingir temperaturas elevadas, pode decompor-se e tornar-se corrosivo para a instalação.
- **Válvulas de proteção antigelo,** apenas na presença de uma bomba de calor monobloco (ou *hydrosplit*) quando não for utilizado glicol.

VÁLVULA ANTIGELO

A válvula antigelo é um sistema de proteção passivo que permite a descarga da água contida no circuito. Quando a temperatura da água na tubagem desce dos 3 °C, o obturador da válvula antigelo abre-se e descarrega a água (é indispensável um grupo de enchimento ativo). O obturador fecha quando a temperatura do fluido regressa aos 4 °C.

O dispositivo deve ser instalado apenas na posição vertical, na parte inferior da tubagem, evitando as ligações ao sifão e mantendo uma distância mínima de 15 cm do solo, a fim de evitar que a formação de uma eventual coluna de gelo na zona inferior impeça a saída de água da válvula.

Se forem utilizadas válvulas de proteção antigelo, é necessário definir o ponto de regulação mínimo, no modo de arrefecimento, pelo menos 2 °C acima da temperatura nominal de descarga da válvula. Caso contrário, a válvula antigelo pode efetuar a descarga durante o funcionamento da bomba de calor no modo de arrefecimento.

A fim de ultrapassar este problema, existem atualmente no mercado tipos de válvulas antigelo equipadas com um sensor de ar para gerir o funcionamento durante o verão. Quando a temperatura externa excede os 5 °C, a intervenção da válvula antigelo é impedida graças à presença de um sensor de temperatura do ar. Esta ação evita a intervenção da válvula durante o funcionamento no modo de arrefecimento no verão.

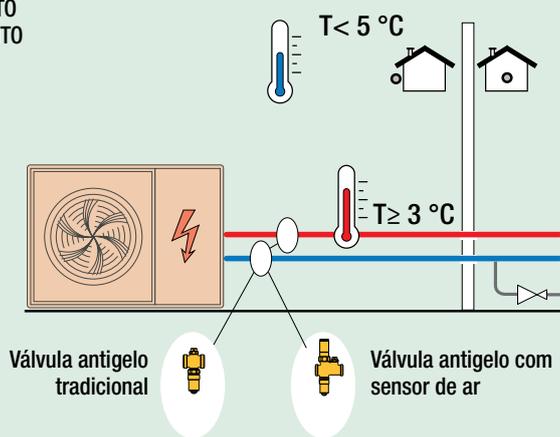
DIMENSIONAMENTO VÁLVULA ANTIGELO

O caudal de descarga não depende da dimensão da válvula, mas apenas da dimensão da tubagem.

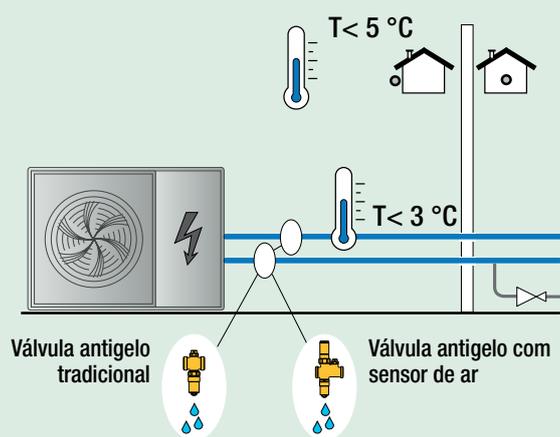
A dimensão da válvula é selecionada em função da tubagem.

FUNCIONAMENTO NO INVERNO

FUNCIONAMENTO EM AQUECIMENTO

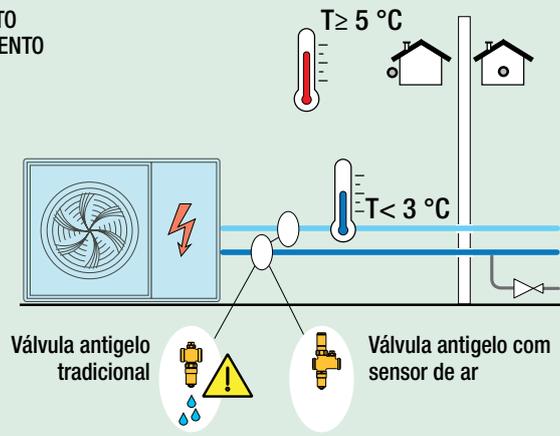


FALTA DE ELETRICIDADE



FUNCIONAMENTO NO VERÃO

FUNCIONAMENTO EM ARREFECIMENTO



FUNCIONAMENTO EM ARREFECIMENTO

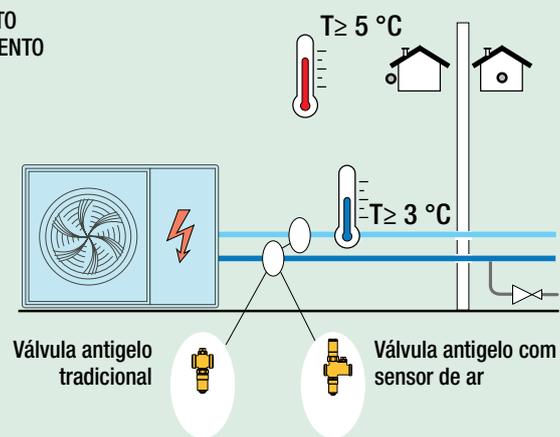


Fig. 46: Funcionamento da válvula antigelo tradicional e da válvula antigelo com sensor de ar

VÁLVULA ANTIGELO TRADICIONAL E COM SENSOR DE AR

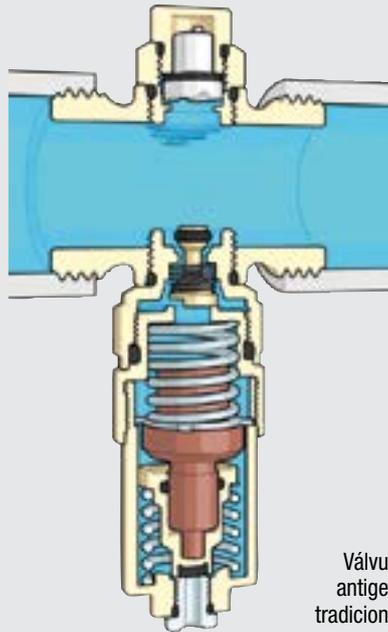


- Proteger a instalação do gelo
- Funcionamento mecânico
- Fácil instalação
- Sensor de ar para funcionamento no verão
- Evita o uso de glicol

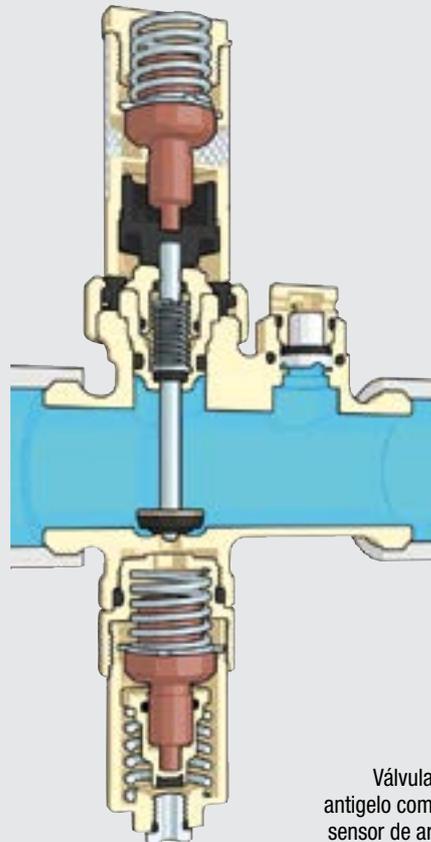
A válvula antigelo permite a **descarga da água** do circuito quando a temperatura da água atinge os **3 °C**. Este valor é típico do inverno, na condição particular de **falta de fornecimento de alimentação elétrica à máquina**.

Durante o funcionamento no verão, quando a temperatura de ida, no modo de arrefecimento, é inferior a 3 °C, a **válvula antigelo tradicional** descarrega a água apesar do funcionamento correto da máquina.

Para evitar este inconveniente, é preferível utilizar a **válvula antigelo com sensor de ar** exterior. Em condições de temperatura externa superior a 5 °C, mas com água na tubagem a uma temperatura < 3 °C, a intervenção da válvula antigelo é impedida pelo sensor de temperatura do ar. Esta ação evita que a válvula atue durante o funcionamento no modo de arrefecimento no verão.

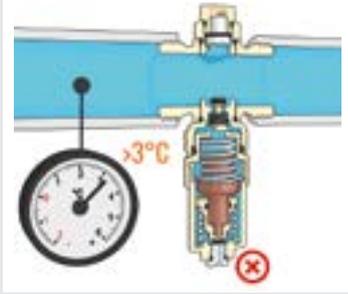


Válvula antigelo tradicional

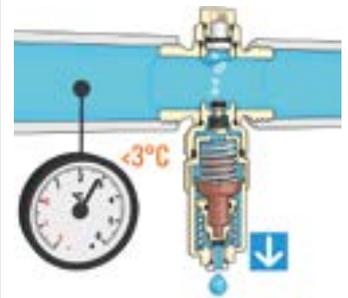


Válvula antigelo com sensor de ar

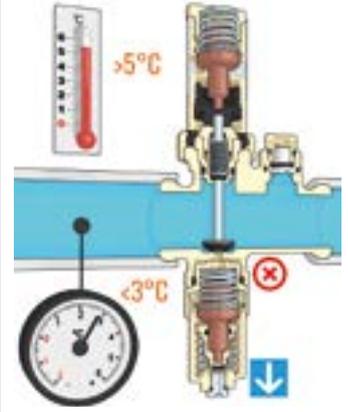
Válvula antigelo tradicional
Funcionamento no inverno com
TÁGUA ≥ 3 °C



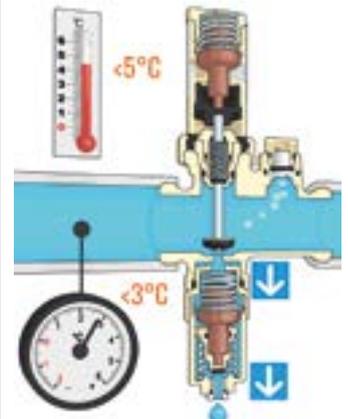
Válvula antigelo tradicional
Funcionamento no inverno com
TÁGUA < 3 °C



Válvula antigelo com sensor de ar
Funcionamento no inverno com
TÁGUA < 3 °C e TAR > 5 °C



Válvula antigelo com sensor de ar
Funcionamento no inverno com
TÁGUA < 3 °C e TAR < 5 °C



DOUBLE X

SEGURANÇA EXTRA PROTEÇÃO EXTRA



São o nosso par perfeito para as caldeiras murais. O Caleffi XP assegura uma instalação sanitária protegida sem afetar a potabilidade da água. O Caleffi XS® elimina as impurezas da água da instalação de aquecimento. Pequenos, belos e eficientes, trabalham juntos para oferecer uma proteção total. **GARANTIA CALEFFI.**

CALEFFI XS®



CALEFFI XP

