SENAI-SP editora

REFRIGERAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO

Boas práticas no uso do cobre para refrigeração e climatização

José de Jesus Amaral Marques

SENAI
ABRAVA
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO
Cu International Copper Association Brazil
Copper Alliance

Boas práticas no uso do cobre para refrigeração e climatização

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Marques, José de Jesus Amaral
Boas práticas no uso do cobre para refrigeração e climatização / José de Jesus Amaral Marques. – São Paulo : SENAI-SP Editora, 2018.

176 p. : il. -- (Refrigeração e Climatização)

Inclui referências
ISBN 978-85-534-0094-2

1. Refrigeração. 2. Climatização. 3. Cobre I. Título.

CDD 621.56

Índice para o catálogo sistemático:
1. Refrigeração 621.56

Bibliotecária responsável: Vera Lúcia Piorno Barbosa CRB-8/3279

SENAI-SP Editora
Avenida Paulista, 1313, 4º andar, 01311 923, São Paulo – SP
F. 11 3146.7308 | editora@sesisenaisp.org.br | www.senaispeditora.com.br

REFRIGERAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO

Boas práticas no uso do cobre para refrigeração e climatização

José de Jesus Amaral Marques

SENAI-SP editora

SENAI

Departamento Regional
de São Paulo

Presidente
Paulo Skaf

Diretor Regional
Walter Vicioni Gonçalves

Diretor Técnico
Ricardo Figueiredo Terra

Gerente de Educação
João Ricardo Santa Rosa

Material didático utilizado nos cursos do SENAI-SP.

Agradecimentos

Agradeço aos engenheiros Oswaldo de Siqueira Bueno (ABRAVA) e Antonio Maschietto Junior (Procobre) pela importante colaboração para a realização desta obra.

Apresentação

Ao coletar e armazenar neve e gelo do alto das montanhas, o homem de antigas civilizações buscava maneiras de reproduzir o frio. Séculos depois, a refrigeração se tornaria imprescindível à produção industrial. As atividades econômicas relacionadas ao setor ganharam maior relevância diante da evolução tecnológica em um mundo cada vez mais globalizado e cada vez mais dependente de energias renováveis.

Nesse sentido, o cobre, primeiro metal usado pelo homem, importante na história das civilizações e presente em todas as revoluções tecnológicas pelas quais passou a raça humana, vem, por suas características, enobrecer o desenvolvimento tecnológico da refrigeração. Desse modo, foi em razão da grande importância desse metal para a área de refrigeração e climatização que esta obra foi elaborada, em parceria com a ABRAVA e o Procobre.

Em decorrência da constante transformação dos processos produtivos e das formas de organização do trabalho, as demandas por educação profissional multiplicam-se e, sobretudo, diversificam-se. Em sintonia com essa realidade, o SENAI-SP desenvolve e valoriza a educação profissional.

Atende às prioridades estratégicas da Indústria e às prioridades sociais do mercado de trabalho, por meio da oferta de cursos de longa e de curta duração a jovens e adultos, incorporando firmemente em suas ações o conceito do aprender fazendo e do fazer bem feito. Nesse contexto, os livros continuam sendo ferramentas integrantes do processo de desenvolvimento.

Com satisfação, apresentamos ao leitor a presente publicação, que integra uma série da SENAI-SP Editora, especialmente criada para tal finalidade.

Walter Vicioni Gonçalves
Diretor Regional do SENAI-SP

Sumário

Introdução 11

1. Cobre – Características e benefícios 13

2. Sistemas de refrigeração e climatização 16
Sistemas de refrigeração 16
Sistemas de climatização 33

3. Tubos de cobre aplicados em refrigeração e climatização 46
Tipos de tubos de cobre 46
Características dos tubos de cobre 51

4. Segurança operacional 55
Os perigos dos fluidos frigoríficos 55
Tanque de líquido 57
Cilindros de fluido refrigerante 57
Manuseio de tubos de cobre 58
Limites de segurança para pressão em tubos de cobre e vasos de pressão 58
Normas técnicas para tubos de cobre e vasos de pressão 63

5. Fluidos refrigerantes 65
Tipos de fluidos refrigerantes 65
Propriedades físico-químicas do fluido refrigerante 70
Relação entre pressão e temperatura dos fluidos 71
Classificação por nível de toxicidade e inflamabilidade 73
Descarte correto do fluido refrigerante e lubrificante 75
Procedimentos para limpeza do sistema frigorífico 75
Programa Brasileiro de Eliminação de HCFCs (PBH) 77
Recomendações sobre substituição de fluidos frigoríficos (RENABRAVA) 78

6. Procedimentos de manuseio de tubos de cobre aplicados para refrigeração e climatização 80
Procedimentos para corte 80
Procedimentos para escareamento 84
Procedimentos para expansão dos tubos 87

Procedimentos para flangeamento 92
Procedimentos para confecção de curvas 99

7. Processo de brasagem em tubos de cobre 105
Metais de adição 107
Preparação do tubo 110
Equipamentos aplicados na brasagem 113
Regulagem do maçarico oxiacetilênico 117
Brasagem com aplicação de nitrogênio 137
Conexões 139

8. Boas práticas em sistemas de refrigeração e climatização 142
Técnicas de instalação 142
Técnicas de manutenção 158

Referências 163

Sobre o autor 167

Sobre a ABRAVA 169

Sobre o Procobre 171

Introdução

Este livro foi elaborado para apresentar as mais importantes ferramentas e práticas utilizadas nos serviços de instalação, operação, manutenção e reparo de sistemas de refrigeração e climatização.

Tem como objetivo oferecer orientação profissional aos técnicos que trabalham com climatização e refrigeração para a correta utilização do cobre nas instalações.

Boas práticas nos serviços de refrigeração e climatização trazem benefícios ao meio ambiente e qualidade aos serviços de instalação e manutenção, proporcionando maior tempo de vida útil e maior eficiência energética dos sistemas.

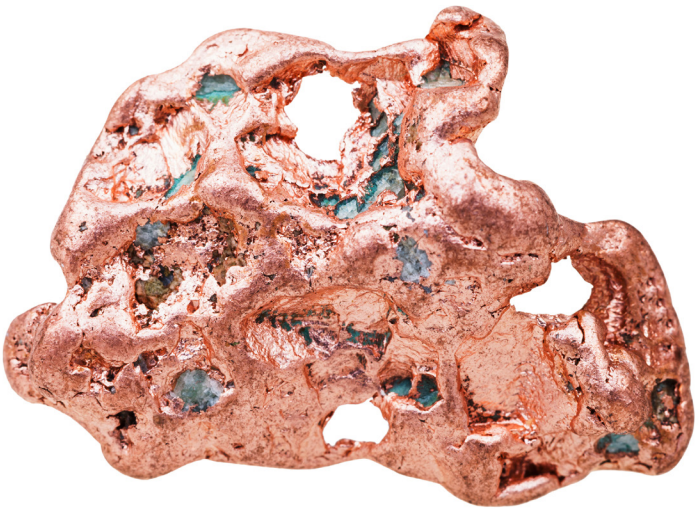
Espera-se que esta obra facilite e intensifique o intercâmbio de conhecimento entre os profissionais do setor, bem como oriente seus trabalhos de maneira prática e segura, além de contribuir para a melhoria do seu padrão e evolução profissional.

O conteúdo deste livro foi desenvolvido com base nas normas ABNT NBR vigentes à data de sua publicação.

Boa leitura a todos!

1. Cobre – Características e benefícios

Alguns registros e pesquisas indicam que o cobre foi o primeiro metal a ser manipulado pelo homem, o que teria acontecido na Pré-História (6.000 anos a.C.). Essa era, conhecida como Idade do Cobre, foi marcada pelo grande desenvolvimento humano, em que o homem começou a dominar técnicas de manuseio e fundição do metal e passou a substituir elementos como madeira, ossos e pedra na fabricação de armas, ferramentas, instrumentos de caça e utensílios agrícolas. A Figura 1 apresenta uma pedra de cobre.



VvoeVale/iStock/Thinkstock

Figura 1 – Cobre.

Classificado como metal nobre e elemento de transição, o cobre pertence ao grupo 11 (1B) da tabela periódica. De coloração avermelhada, exibe uma estrutura cristalina com propriedades semelhantes às da prata e do ouro. Entre algumas de suas características, é possível citar que é dúctil, maleável e resistente à corrosão, além de ter alta condutibilidade elétrica e térmica.

É impossível imaginar a vida sem o cobre, pois esse metal contribui para a qualidade de vida, para o avanço tecnológico e para os desenvolvimentos econômico e sustentável.

Desde a Antiguidade até os dias atuais, o cobre tem se mostrado indispensável e inovador, indo ao encontro dos desafios da sociedade moderna, como a escassez de recursos naturais e questões de saúde pública.

A demanda global pelo cobre continua a crescer, o consumo de produtos refinados mais que triplicou nos últimos cinquenta anos, refletindo o papel desse metal no avanço da tecnologia, na expansão da atividade econômica e na melhoria da qualidade de vida.

O cobre oferece múltiplos benefícios: contribui para o aumento da eficiência energética, estimula a energia sustentável e promove o desenvolvimento tecnológico, além de ter a qualidade de ser antimicrobiano.

Entre as inúmeras características que definem o cobre como o elemento ideal para a utilização em refrigeração e climatização, destaca-se sua alta condutividade térmica.

O Quadro 1 e a Figura 2 apresentam as principais características do cobre.

Quadro 1 – Características do cobre

Símbolo químico	Cu
Número atômico	29
Massa atômica	63,546 u
Densidade	8,91 g/cm³
Resistividade elétrica a 20°C	$0{,}017241 \times 10^{-6}\ \Omega \times m$
Condutividade térmica a 20°C	397 W/m × K
Coeficiente de expansão linear	$17 \times 10^{-6}\ ºC^{-1}$
Ponto de fusão	1.083°C
Módulo de elasticidade	118 Mpa

(continua)

Calor específico	385 J/Kg × K
Tensão de ruptura (material recozido)	23 kgf/mm²
Limite de escoamento (σ = 0,2%)	7,0 kgf/mm²
Estrutura cristalina	cfc

Fonte: Procobre.

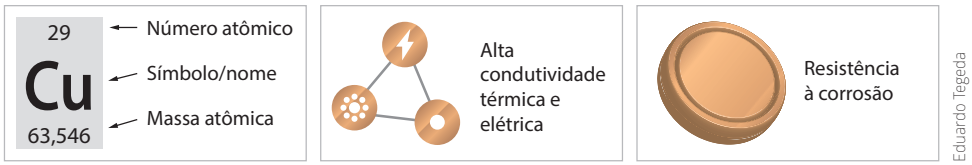


Figura 2 – Símbolo do cobre e suas principais características.

São propriedades e características do cobre para aplicação em sistemas de refrigeração e climatização:

- Boa resistência a pressões internas e golpes de aríete.
- Em caso de incêndio, não pega fogo nem libera gases tóxicos.
- É de fácil manuseio e transporte.
- Suas peças podem ser unidas por soldagem, garantindo segurança às tubulações.
- Tem boa deformação plástica, garantindo a confecção das tubulações.
- Resiste a altas e baixas temperaturas.
- Fornecido em barras rígidas e rolos flexíveis em grandes comprimentos.
- Não oxida facilmente quando exposto à atmosfera ambiente.
- Resistente às intempéries.
- Intercambiável com qualquer tubo e conexão.

2. Sistemas de refrigeração e climatização

Sistemas de refrigeração
Sistemas de climatização

O tubo de cobre é muito utilizado na refrigeração e na climatização, em razão de suas características, conforme descrito no Capítulo 1.

Para entender a aplicação do tubo de cobre na refrigeração e na climatização, é importante fazer uma breve descrição do processo de refrigeração.

Sistemas de refrigeração

O sistema de refrigeração é composto por quatro componentes básicos:

- compressor;
- condensador;
- dispositivo de expansão;
- evaporador.

A Figura 1 apresenta esses componentes.

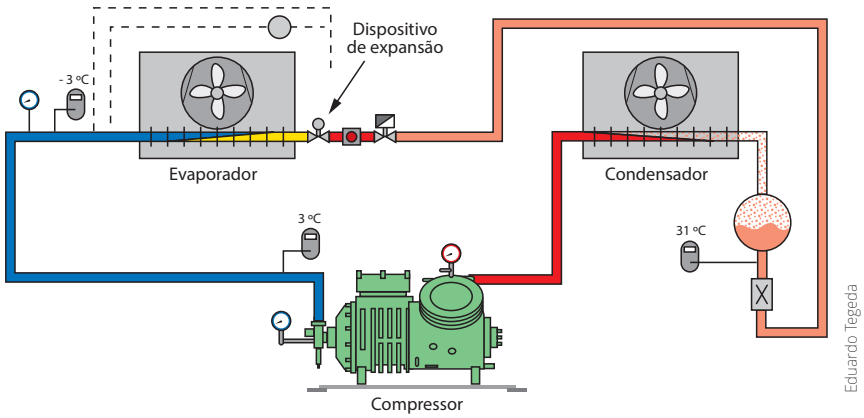


Figura 1 – Componentes do sistema de refrigeração.

Para facilitar o entendimento, será descrito, a seguir, cada componente do sistema de refrigeração.

Compressor

O compressor é classificado quanto à *compressão* e quanto ao *acoplamento*. Quanto à compressão, ele pode ser:

- alternativo;
- rotativo de palheta fixa ou de palheta móvel;
- *scroll*;
- parafuso;
- centrífugo.

A Figura 2, a seguir, apresenta os diferentes tipos de compressores, de acordo com sua compressão.

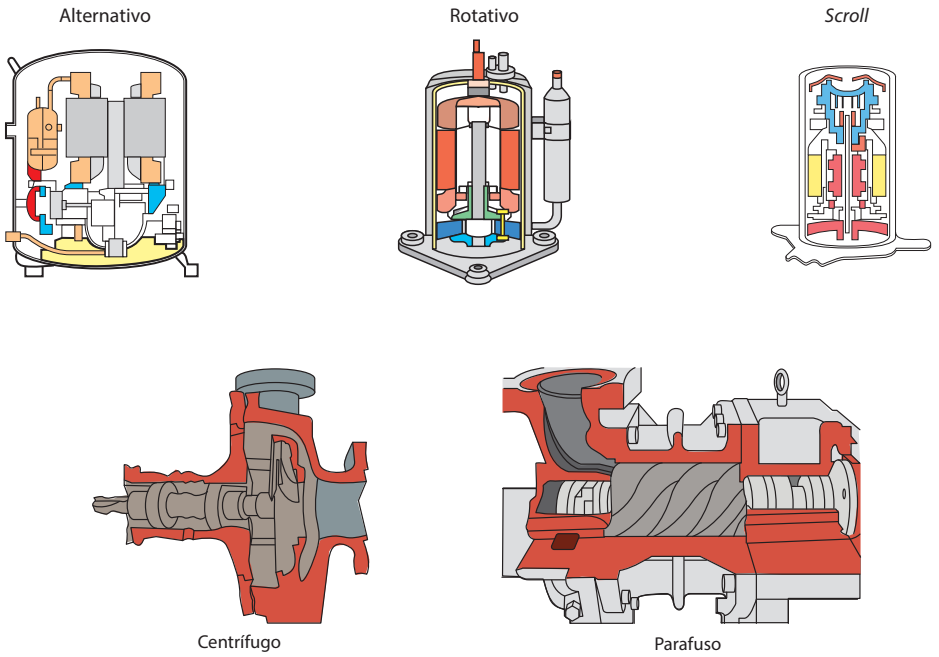


Figura 2 – Classificação dos compressores quanto à compressão.

Quanto ao acoplamento, o compressor pode ser (Figura 3):

- hermético;
- semi-hermético;
- aberto.

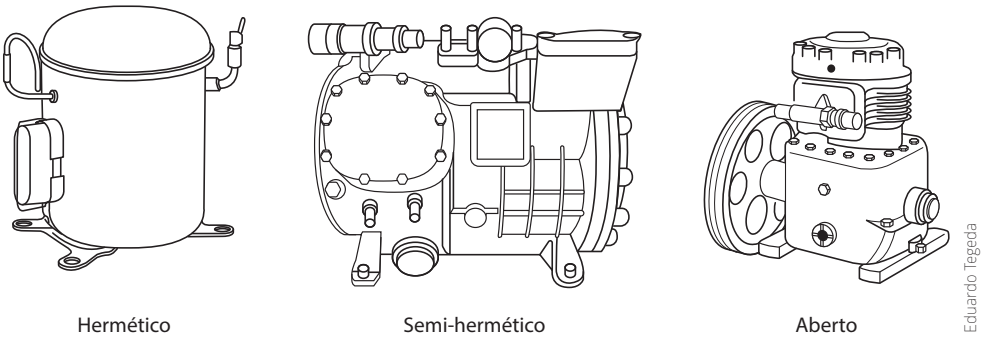


Figura 3 – Classificação dos compressores quanto ao acoplamento.

Os compressores em que o motor elétrico e a parte mecânica são montados juntos, dentro de uma carcaça, são denominados herméticos e semi-herméticos.

O motor elétrico é montado com bobinas de fio de cobre; já a carcaça é formada por peças de cobre ou ligas de cobre para facilitar a interligação da tubulação com o compressor. São exemplos os tubos de processo e as válvulas de serviço, que são resistentes à corrosão e ao engripamento e garantem, desse modo, operacionalidade e durabilidade.

Já os acoplamentos abertos geralmente são fabricados somente com válvulas de cobre ou liga de cobre.

Condensadores e evaporadores

O cobre é utilizado na fabricação de condensadores, evaporadores e tubulações frigoríficas por ser um elemento maleável, dúctil, resistente a altas pressões, a variações de temperaturas, à corrosão, ter boa condutividade térmica e boa soldabilidade. Portanto, as peças que são fabricadas com o material que reúne todas essas qualidades têm como resultado final ótima funcionalidade e alta durabilidade.

Condensador

O condensador é classificado em:

- tubular aletado (Figura 4);
- *tube in tube* (Figura 5);
- casco e tubo (Figura 6);
- placas (Figura 7).

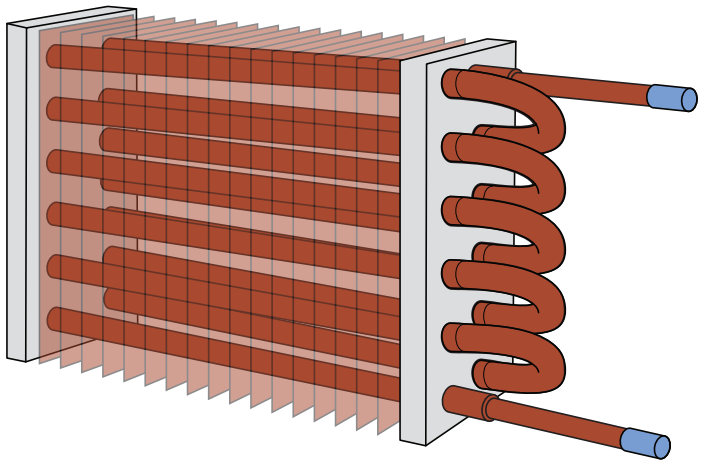


Figura 4 – Condensador tubular aletado.

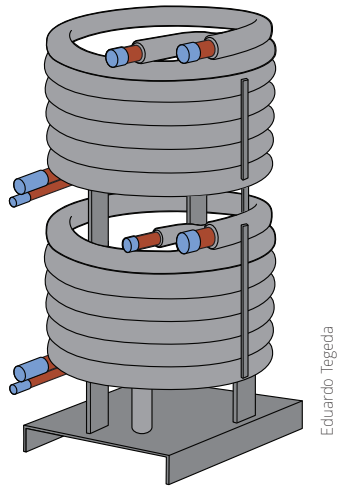
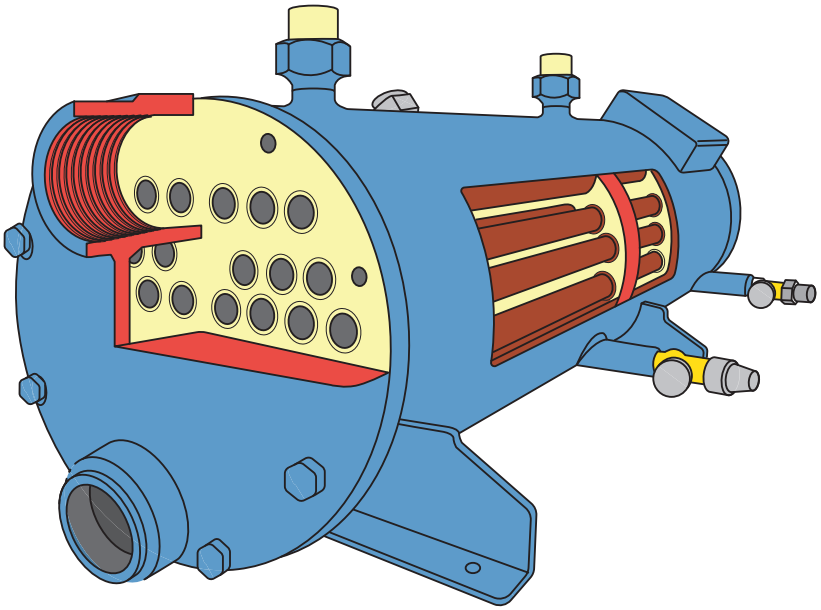
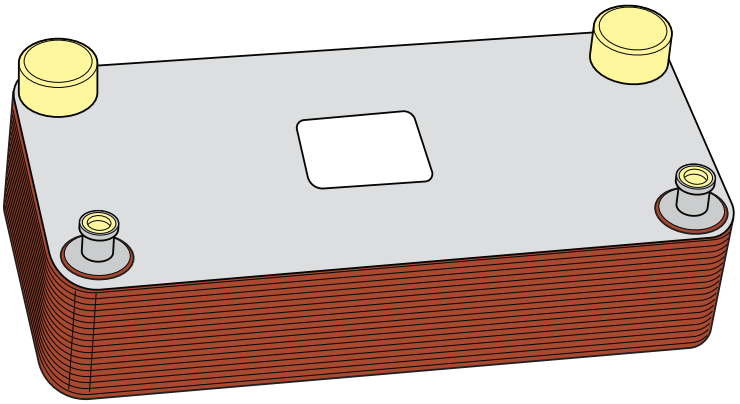


Figura 5 – Condensador *tube in tube*.



Eduardo Tegeda

Figura 6 – Condensador casco e tubo.



Eduardo Tegeda

Figura 7 – Condensador em placas.

Dispositivo de expansão

Os tipos de dispositivos de expansão utilizados em sistemas de refrigeração e climatização são:

- Válvula de expansão termostática (Figura 8).
- Tubo capilar (Figura 9).
- Tubo com orifício calibrado (Figura 10).

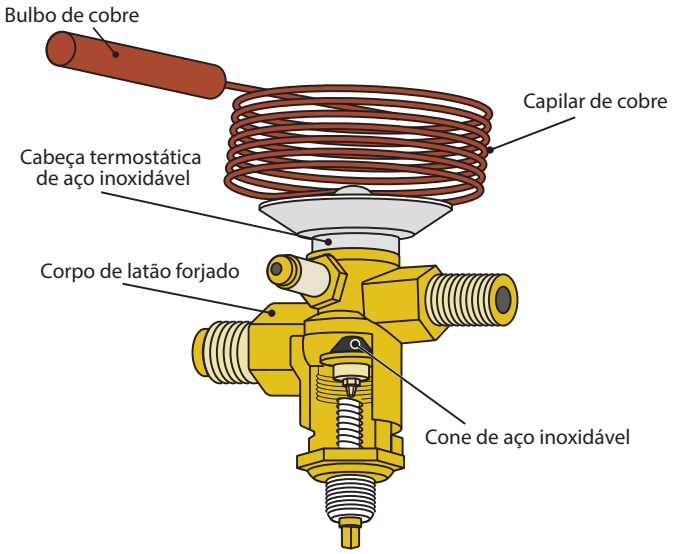
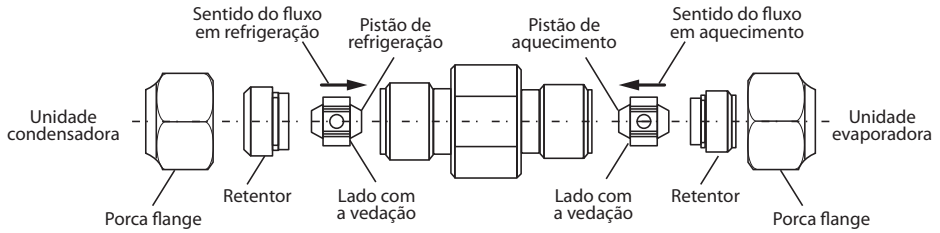


Figura 8 – Válvula de expansão termostática.

Figura 9 – Tubo capilar.



Eduardo Tegeda

Figura 10 – Tubo com orifício calibrado.

Os dispositivos de expansão que apresentam elementos móveis em seu interior são fabricados com materiais resistentes à corrosão, que são de cobre ou de ligas de cobre.

Evaporador

Os evaporadores podem ser:

- tubulares aletados (Figura 11);
- *tube in tube* (Figura 12);
- casco e tubo;
- em placas (Figura 13).

Acervo do autor

Figura 11 – Evaporador tubular aletado.

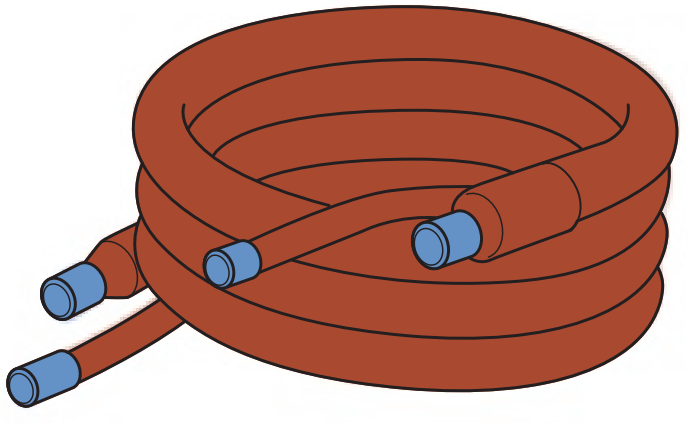


Figura 12 – Evaporador *tube in tube*.

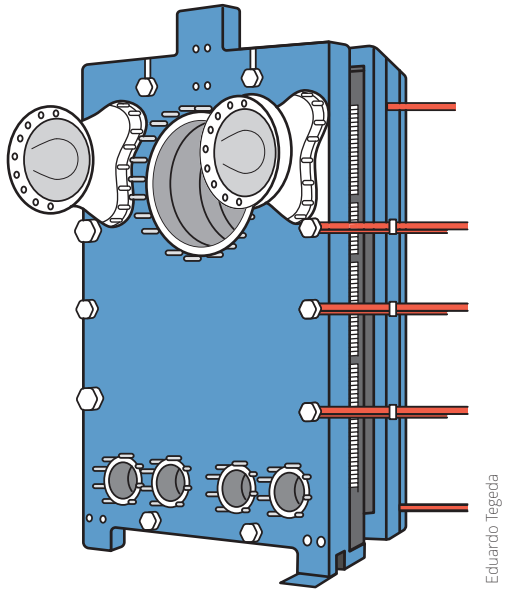


Figura 13 – Evaporador em placas.

Como se observa nas figuras dos trocadores de calor exibidas anteriormente, o cobre permite a fabricação desses componentes em diferentes formas geométricas, dando certo grau de liberdade para a criação de novos *designs* e garantindo a funcionalidade das máquinas nas mais variadas aplicações.

Funcionamento do sistema de refrigeração em condições normais

Com o sistema em funcionamento, o compressor succiona fluido refrigerante superaquecido a baixa temperatura e a baixa pressão, comprime e descarrega vapor superaquecido a alta temperatura e a alta pressão na linha de descarga, seguindo até o condensador. Ao circular pela serpentina do condensador nas duas primeiras voltas aproximadamente, o vapor sofre uma redução de temperatura. Da temperatura de descarga até a temperatura de condensação (100% vapor saturado), seguindo o percurso ao longo do condensador, todo fluido refrigerante é condensado antes das duas últimas voltas da serpentina, quando, neste ponto, o líquido encontra-se saturado. Ao percorrer as duas últimas voltas, o fluido refrigerante é sub-resfriado, garantindo que somente líquido chegue ao dispositivo de expansão; ao passar pelo dispositivo de expansão, sofre uma redução de pressão e temperatura; ao adentrar no evaporador, expande e evapora, absorvendo calor do meio a ser refrigerado e, aproximadamente antes das duas últimas voltas da serpentina do evaporador, o fluido refrigerante encontra-se 100% vapor saturado; ao percorrer essas duas últimas voltas, o vapor é superaquecido, garantindo que somente fluido refrigerante no estado de vapor adentre na linha de sucção e no compressor, completando o ciclo. Daí por diante, todos os processos voltam a se repetir continuamente, realizando a transferência de calor de um meio para outro.

Os componentes do sistema frigorífico são interligados um ao outro por meio de tubos, que são:

- linha de sucção;
- linha de descarga;
- linha de líquido.

A Figura 14 apresenta as linhas do sistema frigorífico.

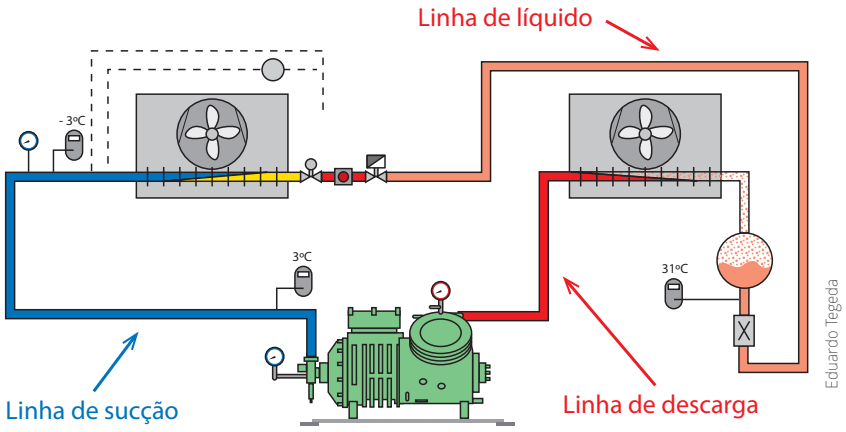


Figura 14 – Identificação das linhas do sistema frigorífico.

Linha de sucção

É a linha que liga o final da serpentina do evaporador com a sucção do compressor.

Linha de descarga

É a linha que liga a descarga do compressor com o início da serpentina do condensador.

Linha de líquido

É a linha que liga o final da serpentina do condensador com a entrada do dispositivo de expansão.

Processos que ocorrem no sistema de refrigeração

Os processos que ocorrem no sistema de refrigeração são (Figura 15):

- compressão;
- condensação;
- expansão;
- evaporação.

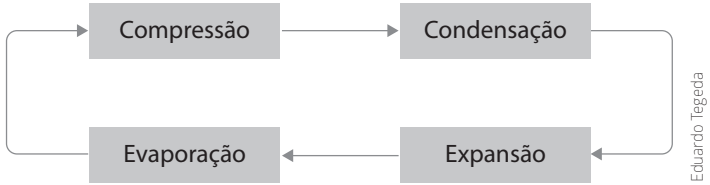


Figura 15 – Processos do sistema de refrigeração.

Sempre que o vapor é comprimido, sua energia cinética interna aumenta em uma quantidade igual à quantidade do trabalho realizado sobre ele. E quanto maior for o trabalho de compressão, maior será a temperatura do vapor.

O equivalente da energia do trabalho realizado para a compressão do vapor denomina-se **calor de compressão**.

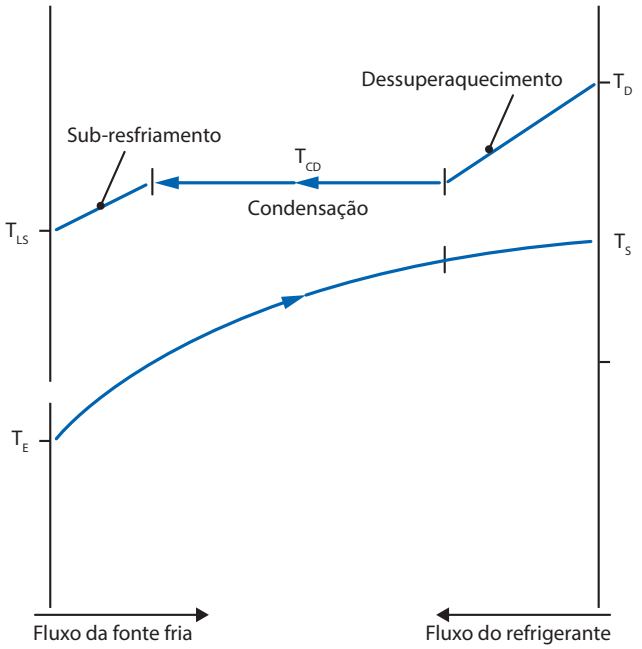
O vapor que se encontra após a descarga do compressor contém uma quantidade de calor igual ao calor absorvido do ambiente ou da substância a ser refrigerada mais o calor de compressão, ou seja, a temperatura do vapor no final da compressão vai ser alta, e tanto mais alta quanto maior for o superaquecimento e/ou a relação de compressão (menor fluxo de massa). Os valores de temperatura e pressão dependem do tipo de fluido refrigerante utilizado no sistema (de acordo com a aplicação do sistema, alta temperatura de evaporação, média temperatura de evaporação e baixa temperatura de evaporação).

Existem fluidos refrigerantes que são bons para uma determinada aplicação e não são tão bons assim para outras. Por exemplo, um determinado fluido é muito bom para sistemas de alta temperatura de evaporação, por apresentar alto valor de calor latente, baixo volume específico, baixa temperatura de descarga etc.; já para um sistema que trabalhe com baixa temperatura de evaporação, pode apresentar altas temperaturas de descarga, tornando-o desvantajoso para essa aplicação.

As curvas, reduções, válvulas e conexões representam perda de carga (aumento da resistência ao escoamento do fluido refrigerante) nas tubulações do sistema, tomando a linha de descarga como uma das "mais críticas". Por trabalhar em altas temperaturas e pressões, por exemplo, deve ser projetada com o menor número possível de curvas, reduções, válvulas e conexões. As perdas de carga causam baixo rendimento do sistema, sobrecarga do motor elétrico, aumento da temperatura de descarga, e comprometem a lubrificação do compressor.

No projeto de tubulações, certas grandezas físicas, como velocidade, temperatura, pressão etc., são analisadas a fim de selecionar o material da tubulação de modo que se garanta segurança, menor custo, maior durabilidade e funcionalidade do sistema.

Embora as duas temperaturas – a de descarga e a de condensação – estejam no lado de alta do sistema, elas não são a mesma coisa. Temperatura de descarga é a temperatura do vapor que se encontra da válvula de descarga do compressor até o início da serpentina do condensador. Temperatura de condensação é a temperatura na qual vapor e líquido coexistem na mesma pressão, ou seja, o vapor está se transformando em líquido. No Gráfico 1, observa-se a troca de calor entre o fluido refrigerante e o ar.



T_{LS} – Temperatura do líquido sub-resfriado
T_{CD} – Temperatura de condensação
T_D – Temperatura de descarga
T_E – Temperatura de entrada da substância condensante
T_S – Temperatura de saída da substância condensante

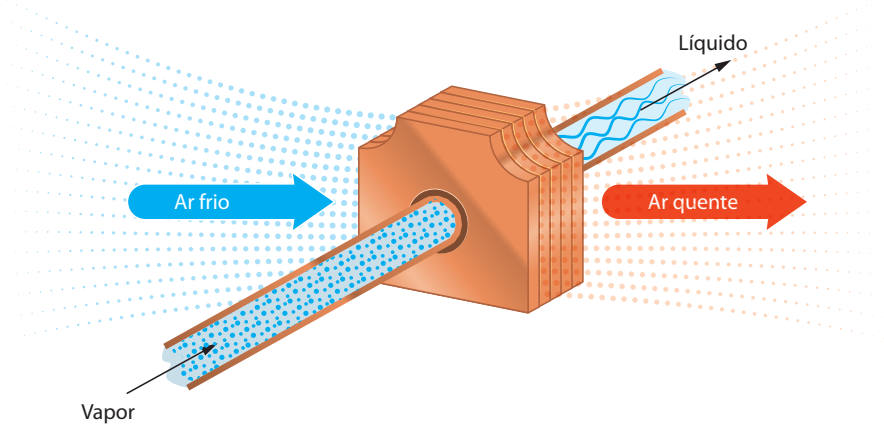
Eduardo Tegeda

Gráfico 1 – Troca de calor entre o fluido refrigerante e o ar (puramente ilustrativo).

A rapidez com que ocorre a transferência de calor pela superfície dos trocadores de calor, do refrigerante para o meio condensante, decorre de três fatores:

- Área da superfície de condensação ou evaporação (superfície de troca).
- Coeficiente de condutibilidade térmica das paredes, o qual depende do material empregado na construção dos trocadores de calor.
- Diferença de temperatura entre o meio condensante (ar ou água) e o fluido refrigerante.

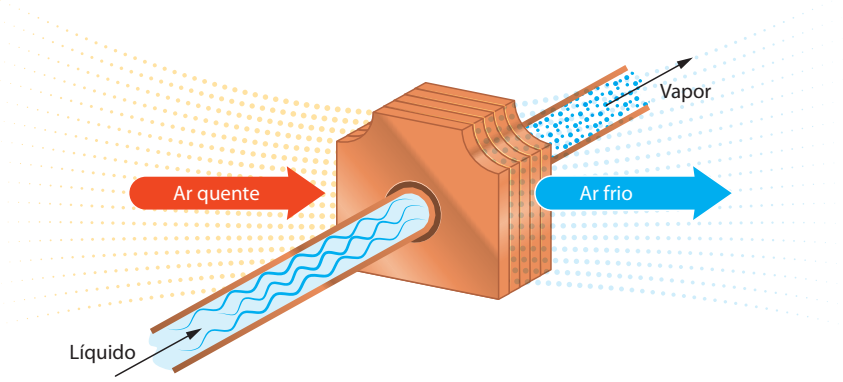
O condensador, um trocador de calor que favorece a transferência de energia térmica entre o fluido refrigerante e o meio condensante (ar ou água), pela sua superfície, promove a condensação do fluido refrigerante (Figura 16).



Eduardo Tegeda

Figura 16 – Troca de calor no condensador.

O evaporador, um trocador de calor que favorece a transferência de energia térmica entre o meio a ser refrigerado e o fluido refrigerante, através de sua superfície, proporciona a absorção de calor (Figura 17).

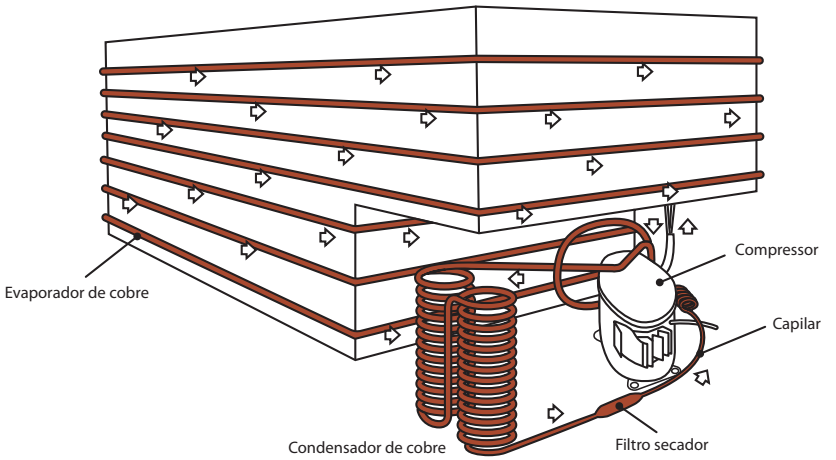


Eduardo Tegeda

Figura 17 – Troca de calor no evaporador.

Sistemas de refrigeração doméstica

Nos sistemas de refrigeração doméstica e comercial leve, os tubos de cobre são muito usados na confecção de evaporadores, condensadores e linhas de sucção, descarga e líquido para *freezers*, refrigeradores, bebedouros, adegas, condicionadores de ar do tipo janela (ACJ), minisplit etc. Na Figura 18, há o esquema de evaporador e condensador de *freezer* horizontal. Nas Figuras 19, 20 e 21, há, respectivamente, exemplos de evaporador de bebedouro, evaporador de balcão expositor e sistema frigorífico do ACJ.



Eduardo Tegeda

Figura 18 – Evaporador e condensador de *freezer* horizontal.

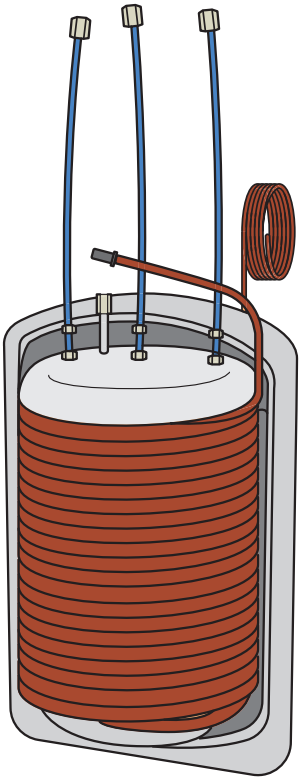


Figura 19 – Evaporador de bebedouro.

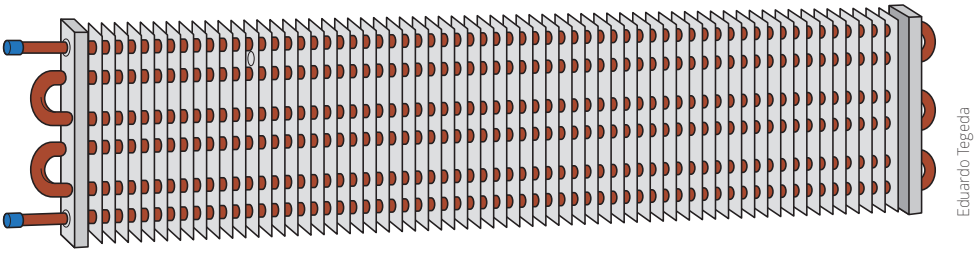
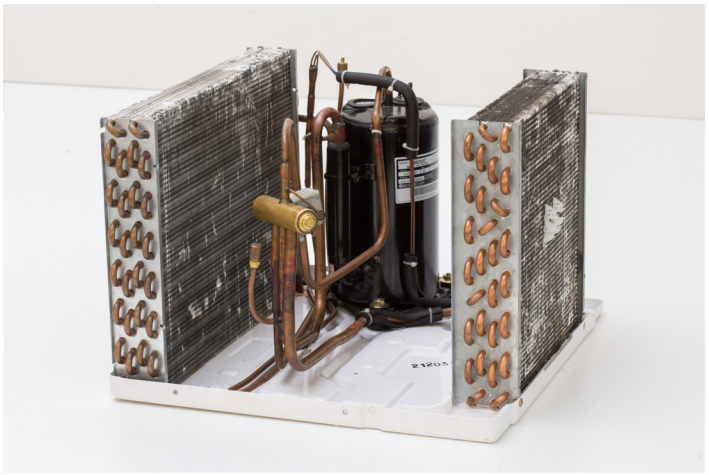


Figura 20 – Evaporador de balcão expositor.



Acervo SENAI-SP

Figura 21 – Sistema frigorífico do ACJ.

Eficiência energética e preservação do meio ambiente em sistemas de refrigeração

Nesses últimos anos, na área de refrigeração e climatização, têm sido procuradas alternativas que possibilitem a eficiência energética e a preservação do meio ambiente. A refrigeração residencial vem sofrendo algumas modificações para atender a essas necessidades, e isso também acontece com a refrigeração comercial e com os sistemas de ar-condicionado.

Já são comercializados no Brasil refrigeradores com compressores que trabalham com o fluido refrigerante isobutano R-600a, um fluido natural que tem grande capacidade de absorver calor (alto valor de calor latente), porém, é inflamável.

Para executar manutenção nesses sistemas, é imprescindível dispor de mão de obra qualificada. No procedimento de troca do compressor, o profissional deve garantir a estanqueidade dos pontos de solda, desidratação e eliminação dos incondensáveis (oxigênio, entre outros) do sistema, usando as técnicas corretas para esses procedimentos.

O R-600a trabalha com pressões negativas nas temperaturas de evaporação requeridas para o desempenho do sistema de refrigeração aplicado em refrigeradores domésticos, o que enfatiza, principalmente, o “saber fazer bem feito”

de todo o processo de brasagem. Se o ponto de solda tiver microvazamento, o oxigênio será, nesse caso, succionado para dentro do sistema e pode provocar uma explosão, dependendo da concentração.

No Brasil, a área de supermercado está passando por uma mudança de conceito. Cada vez mais, ela está deixando de investir em grandes lojas para investir mais em lojas de bairros, pequenas, que requerem aparelhos de refrigeração mais compactos e ao mesmo tempo dinâmicos. Por isso, há a necessidade de unidades autônomas, ou seja, aparelhos que têm a unidade condensadora integrada ao gabinete, possibilitando sua movimentação no interior da loja, favorecendo a mudança de leiaute e reduzindo os custos com a montagem e a manutenção de grandes sistemas de refrigeração.

Uma das alternativas que a indústria encontrou mediante o cenário atual, para que essas unidades atendam aos requisitos do meio ambiente e de eficiência energética, foi a aplicação do fluido refrigerante propano R-290, que é um fluido natural com alto valor de calor latente e também inflamável; por isso, para manuseio, devem ser adotados os mesmos procedimentos utilizados para o R-600a.

Nessas aplicações, o sistema trabalha com pressões positivas, portanto, é necessário ter os mesmos cuidados nos pontos de solda e conexões para que não ocorram vazamentos de fluido para a atmosfera, que, dependendo da concentração, podem causar incêndios quando em contato com superfícies quentes, faíscas etc.

Diante dessas características, o material a ser empregado na fabricação das tubulações deve ser resistente à corrosão em contato com a atmosfera do local, e o meio a ser refrigerado não deve reagir quimicamente com os outros elementos do sistema, evitando vazamento.

O profissional que trabalha com sistemas que utilizam hidrocarboneto deve ter bom conhecimento das substâncias empregadas com o fluido refrigerante, para evitar acidentes com os operadores, os usuários e as pessoas que circulam nas adjacências.

Sistemas de climatização

No caso dos condicionadores de ar do tipo vazão de fluido refrigerante variável (VRF), minisplit, multisplit, *self contained* (condensação a ar), sistemas de refrigeração do tipo compressores em paralelo (*rack*) e câmaras frias, seus sistemas são separados em unidades evaporadoras e condensadoras interligadas por tubos de dimensões variadas de acordo com a capacidade.

A Figura 22 ilustra o sistema frigorífico de um condicionador de ar tipo split. Esse sistema frigorífico é dividido em duas partes, que são interligadas por dois tubos de diâmetros diferentes, sendo o de menor diâmetro a linha de líquido e, o de maior diâmetro, a linha de sucção.

Quando o dispositivo de expansão for instalado dentro da unidade condensadora, antes da válvula de duas vias, o tubo de menor diâmetro é denominado linha de líquido saturado, e, quando o dispositivo de expansão for instalado na evaporadora, esse tubo é denominado linha de líquido sub-resfriado.

> FIQUE ALERTA
>
> O fluido refrigerante na fase líquida causa queimaduras gravíssimas. Use tubos resistentes e EPIs corretamente.

As tubulações de interligação desses aparelhos não saem prontas de fábrica, ou seja, são feitas na obra. Uma vez que o leiaute da instalação deve ser de acordo com a arquitetura do edifício, torna-se impraticável a confecção de tubulações pelo fabricante que atenda a todas as possibilidades de instalação.

Costuma-se dizer que o condicionador de ar do tipo split se divide em duas partes: unidade evaporadora e condensadora. Entretanto, a tubulação de interligação das unidades é considerada a terceira parte do sistema, a qual tem diâmetro, espessura, tipo de material e comprimentos máximo e mínimo determinados pelo fabricante.

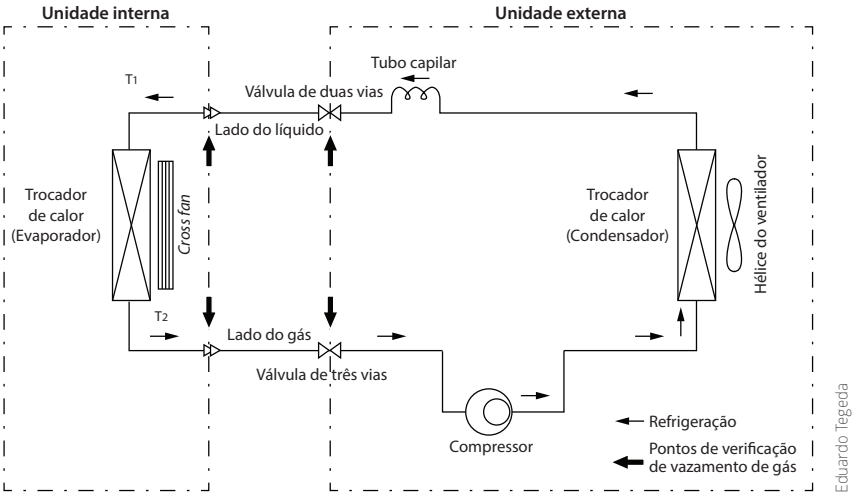


Figura 22 – Split somente frio.

Na Figura 23, há o esquema de split quente e frio. Também conhecido como bomba de calor (*heat pump* – HP), quando seu funcionamento estiver no modo frio, ele funcionará como descrito na Figura 22; quando for mudado para o modo quente, a bobina da válvula de quatro vias é energizada e o fluxo do fluido refrigerante é invertido, sendo descarregado no evaporador, que passa a ser o condensador trabalhando a altas temperaturas e pressões. Nesse modo, a linha de sucção passa a ser a linha de descarga.

Em todos os sistemas quente e frio ocorrerá essa inversão dos trocadores de calor, que remete ao compromisso de empregar materiais que mantenham suas propriedades mecânicas quando submetidas a variações de pressões e temperatura, assim como os tubos de cobre.

FIQUE ALERTA

Os tubos podem estourar se não forem resistentes a variações de pressão e temperatura.

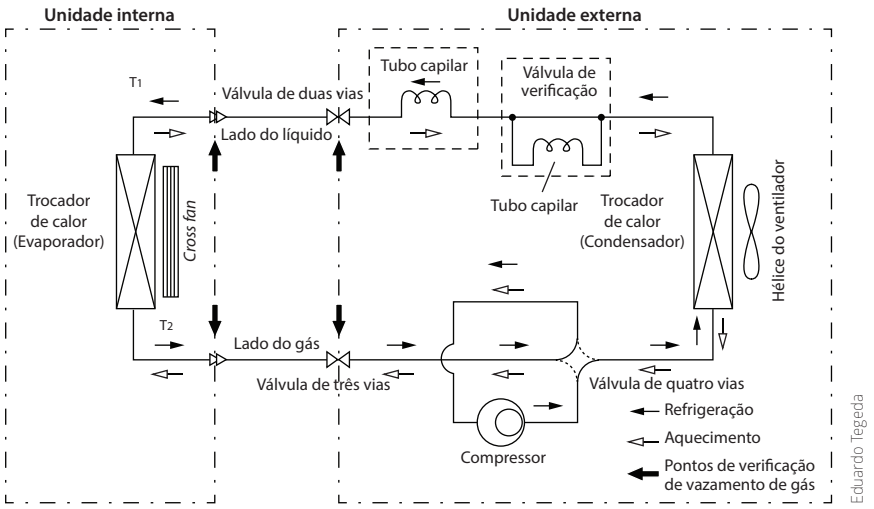


Figura 23 – Split quente e frio.

É importante que os equipamentos sejam instalados com a tubulação no diâmetro, espessura, desnível, isolação, comprimentos máximo e mínimo recomendados pelos fabricantes.

Os splits, assim como alguns modelos com rotação fixa, trabalham com fluido refrigerante R410A, que, para as mesmas faixas de temperaturas de trabalho, tem pressões mais altas do que o R22, como mostra a Tabela 4 do Capítulo 5.

Nos sistemas frigoríficos que trabalham com R410A, os tubos têm espessuras maiores do que os que trabalham com R22.

> FIQUE ALERTA
>
> Quanto maior for a espessura da parede do tubo, maior será também sua pressão de trabalho.

Sistema multisplit

O sistema multisplit trabalha com várias unidades evaporadoras, que variam de duas até cinco, e uma única unidade condensadora.

Nesse sistema, as linhas de sucção e líquido são independentes umas das outras, formando circuitos independentes, ou seja, não podem ser conectadas duas ou mais evaporadoras na mesma linha de sucção ou líquido do mesmo circuito. Cada circuito (A, B, C, D e E) tem seu dispositivo de expansão independente, que fica localizado na condensadora. A Figura 24 apresenta um sistema multisplit.

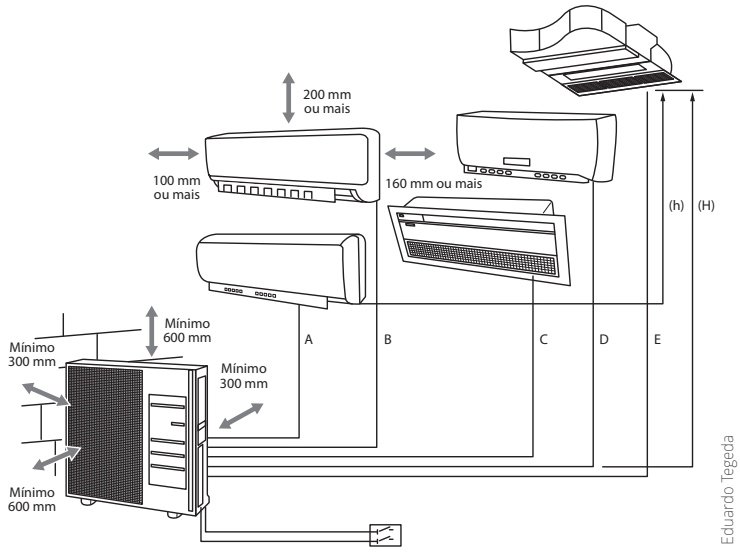


Figura 24 – Sistema multisplit.

O condensador é responsável pela produção de líquido em uma quantidade suficiente para abastecer todas as unidades evaporadoras. Nesse sistema, não funcionará simultaneamente um circuito no modo quente e outro no modo frio, ou seja, é tudo frio ou tudo quente. Portanto, ao ligar uma das evaporadoras, as outras assumirão o mesmo modo (quente ou frio) de operação.

Como em todo sistema, as recomendações sugeridas pelos fabricantes e pelos projetos devem ser seguidas.

A maioria das instalações dos minisplits e dos multisplits é feita em construções residenciais (casas e apartamentos), e, em grande parte, a tubulação fica embutida na parede para não alterar a decoração do ambiente. Porém, é necessário tomar todos os cuidados pertinentes ao processo de montagem, para que os tubos não fiquem sem isolação térmica, proteção mecânica, estrangulados, com mínimo número de curvas etc.

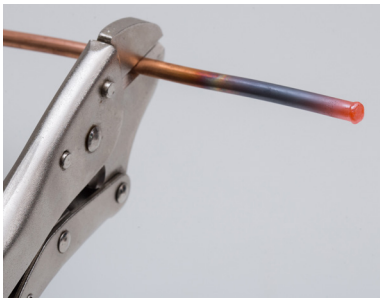
Em apartamentos, na maioria dos casos, a instalação dos tubos não é feita seguindo um padrão de instalação nem respeitando a carga térmica do ambiente. Isso gera o inconveniente de os tubos já instalados não serem compatíveis com o diâmetro e/ou material do tubo recomendado pelo fabricante do equipamento que atende a carga térmica do ambiente.

> FIQUE ALERTA
>
> Quando o equipamento for instalado com tubos de qualidade inferior aos dos recomendados pelo fabricante, podem ocorrer acidentes com os usuários do equipamento.

A ABNT NBR 16655 dispõe de orientações no que se refere ao projeto e à instalação de sistemas residenciais de ar-condicionado split compacto. Não é recomendável que seja preparada a instalação da tubulação frigorífica se não forem respeitadas algumas características do equipamento, como diâmetro da tubulação e/ou forma recomendados pelo fabricante; contaminação com resíduos sólidos ou umidade interna por falta de fechamento nas extremidades; isolamento deficiente quanto ao vapor de água; deformações no material que comprometem o fluxo de fluido frigorífico; entre outros.

> FIQUE ALERTA
>
> Umidade dentro dos tubos de cobre causa corrosão, que, em contato com o fluido frigorífico e o óleo, forma ácidos que atacam o isolamento elétrico do compressor.

Na Figura 25, tem-se exemplo de tubo lacrado.



Acervo SENAI-SP

Figura 25 – Exemplo de tubo lacrado.

Para a instalação desses sistemas, os tubos mais recomendados são os de cobre, pois eles mantêm suas propriedades mecânicas quando submetidos às variações das grandezas físicas do sistema dentro dos limites de trabalho, garantindo sua funcionalidade e eficiência energética.

VOCÊ SABIA?

Os tubos de cobre garantem ótima durabilidade e segurança.

FIQUE ALERTA

A presença de umidade no sistema pode formar compostos e carregar partículas que atacam as partes internas do compressor e bloqueiam as válvulas de expansão.

Sistema frigorífico do DVM e VRF

O sistema de vazão de fluido frigorífico variável é composto por uma ou mais unidades condensadoras e um determinado número de evaporadoras, de modo que a somatória das capacidades das evaporadoras seja compatível com a capacidade da condensadora.

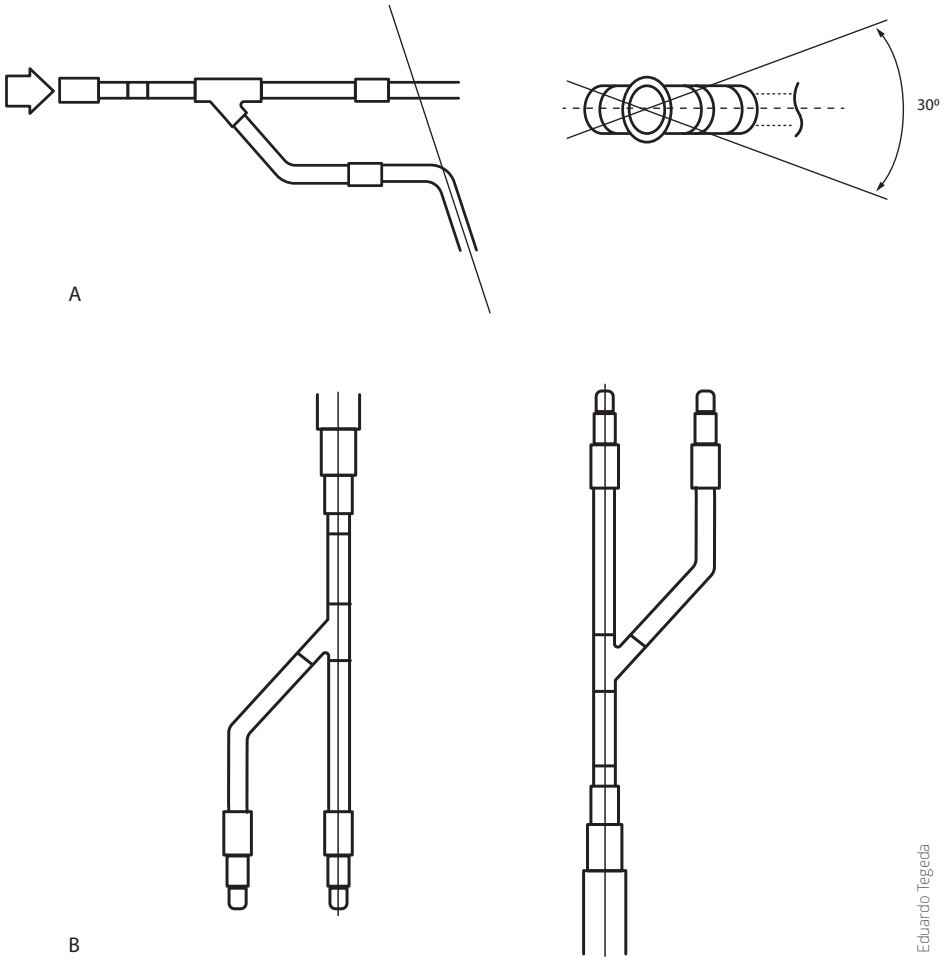
Quando houver a necessidade de capacidades maiores, acima da capacidade de um módulo, é possível fazer a montagem desses módulos em paralelo, ficando um sistema com mais de um módulo, conforme é mostrado na Figura 26. Essa montagem pode ser feita até uma capacidade-limite, pois o valor depende do fabricante.

Desse sistema saem somente dois tubos da unidade condensadora, sendo um deles a linha de líquido, o de alta pressão, e o outro a linha de sucção, que é o de baixa pressão. Esses dois tubos saem direto da condensadora e vão até a primeira derivação (Refnet®), mantendo o mesmo diâmetro; após a primeira derivação, o diâmetro vai sendo alterado de acordo com a capacidade frigorífica de cada trecho da tubulação e segue assim até atingir o diâmetro da última evaporadora.

Acervo SENAI-SP

Figura 26 – Derivadores.

Na Figura 27, são apresentadas as instalações horizontal (A) e vertical (B).



Eduardo Tegeda

Figura 27 – Instalação: (**A**) horizontal; (**B**) vertical.

FIQUE ALERTA

As derivações, quando montadas no sentido horizontal, podem ser instaladas com uma inclinação máxima de 30º.

O sistema VRF pode ser observado na Figura 28, a seguir.

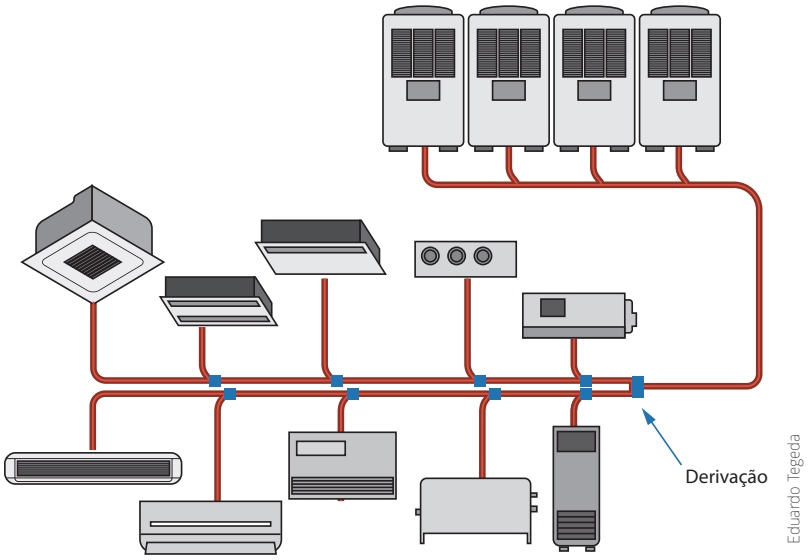


Figura 28 – Sistema VRF.

Na conexão das derivações, algumas dimensões devem ser respeitadas. Por exemplo, antes ou após as derivações, se houver a necessidade de fazer uma curva, é recomendado que esta seja feita a uma distância de 500 mm da derivação, e o comprimento do tubo que fica entre as derivações deve ter uma medida mínima de 1.000 mm, conforme indicado na Figura 29.

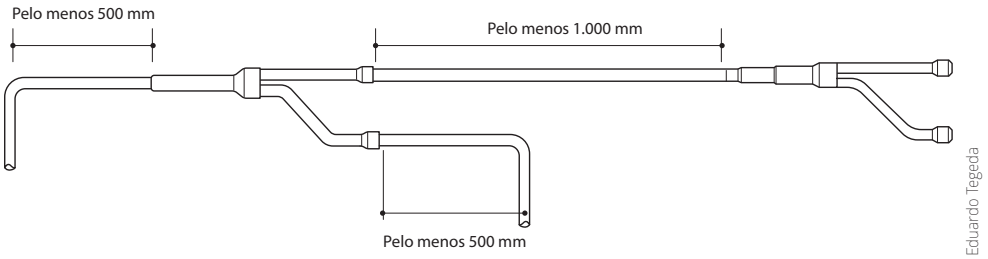


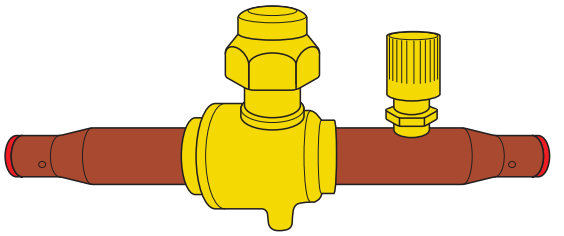
Figura 29 – Exemplo de interligação.

FIQUE ALERTA

Nas evaporadoras são conectados dois tubos: linha de líquido e linha de sucção. Na Figura 29, há somente a representação de uma linha.

Cada evaporadora é alimentada com fluido frigorífico líquido, independente uma da outra, por meio do seu dispositivo de expansão exclusivo, que é instalado no ramal que liga a evaporadora à derivação; o dispositivo de expansão é controlado pela placa eletrônica de acordo com a demanda de carga térmica.

É recomendada a instalação de válvulas de esfera entre as válvulas de expansão e antes da conexão da linha de sucção com a evaporadora. Esse procedimento permite a remoção de uma das unidades evaporadoras sem que o sistema fique inoperante. Ver na Figura 30 um exemplo de válvula de esfera.



Eduardo Tegeda

Figura 30 – Válvula de esfera.

FIQUE ALERTA

A válvula deve ser envolvida com um pano úmido no momento da solda, por ter assento de teflon.

Para o cálculo de tubulação para sistemas de refrigeração, levam-se em conta dois comprimentos: o linear e o equivalente. O comprimento linear é o da tubulação, que se mede com o metro, por exemplo. O comprimento equivalente é a soma das perdas de cargas, que advém de curvas e acessórios com o comprimento linear. Por exemplo, tendo-se como referência uma tubulação de 5 m com duas curvas que apresentam uma perda de carga de 0,5 m cada uma, o comprimento equivalente dessa tubulação é de: 5 m + 0,5 m + 0,5 m = 6 m.

Essas perdas de carga podem ser mais intensificadas se as junções estiverem com excesso de material de adição (solda) dentro dos tubos, que ficam parcialmente entupidos. Como a obstrução é interna, só é percebida quando a máquina está em funcionamento, seja por meio da queda de rendimento ou quando a perda de carga é maior que 1 K para as linhas de descarga e sucção e 0,5 K para a linha de líquido.

Refrigeração comercial

O sistema de refrigeração tipo *rack* para supermercados é composto por uma unidade com vários compressores em paralelo montados em uma estrutura metálica (*rack*) interligada a um condensador remoto (tanque de líquido) que alimenta os vários evaporadores da instalação, os quais estão instalados nas câmaras de resfriados, congelados, ilhas, balcões e expositores dispostos no interior da loja, com os produtos à venda ou armazenados.

Esse sistema, além dos quatro componentes básicos (compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador), contém vários outros acessórios, como: tanque de líquido, pulmão de óleo, separador de líquido (acumulador de sucção), distribuidor de líquido, coletor, válvulas de bloqueio, válvulas de retenção etc.

Cada um desses acessórios apresenta uma perda de carga no sistema, dificultando o fluxo de fluido frigorífico. Essas perdas já são calculadas no projeto. Recomenda-se, portanto, que sejam adotados os procedimentos básicos na preparação da tubulação.

A Tabela 1 apresenta o comprimento equivalente das singularidades.

Tabela 1 – Comprimento equivalente das singularidades

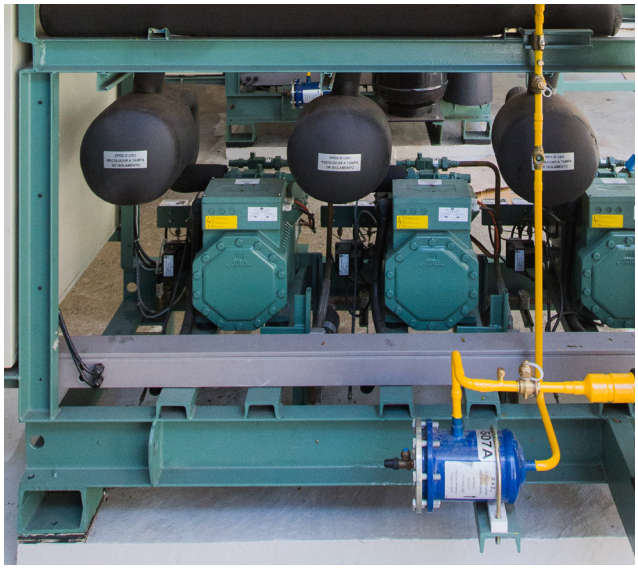
Diâmetro		Comprimento equivalente em m							
Polegada	mm	Curva de 90°	Curva de 45°	"T" de passagem	"T" de derivação	Sifão	Redução	Válvula de esfera	Visor de líquido
3/8	10	0,40	0,20	0,20	0,60	0,80	0,30	-	1,80
1/2	12	0,50	0,25	0,25	0,70	0,95	0,40	-	2,20
5/8	16	0,55	0,27	0,28	0,80	1,10	0,50	0,05	2,60
3/4	18	0,60	0,30	0,32	0,90	1,20	0,60	0,06	3,00
7/8	22	0,70	0,35	0,38	1,00	1,40	0,65	0,06	3,10

(continua)

Diâmetro		Comprimento equivalente em m							
Polegada	mm	Curva de 90°	Curva de 45°	"T" de passagem	"T" de derivação	Sifão	Redução	Válvula de esfera	Visor de líquido
1 1/8	28	0,80	0,45	0,45	1,20	1,65	0,70	0,08	3,80
1 3/8	35	1,20	0,60	0,60	1,50	2,30	1,00	0,10	4,90
1 5/8	42	1,40	0,70	0,80	2,10	2,70	1,20	0,11	6,10
2 1/8	54	1,50	0,75	0,90	2,50	3,10	1,60	0,13	7,30
2 5/8	65	1,90	0,95	1,20	3,20	3,80	2,00	0,15	8,40
3 1/8	80	2,40	1,20	1,50	4,20	4,70	2,50	0,19	8,80
3 5/8	90	2,80	1,40	2,00	5,00	5,50	3,00	0,23	10,00

Fonte: Apostila de treinamento técnico Heatcraft.

Ver, na Figura 31, um exemplo de sistema frigorífico de compressores em paralelo (*rack*).



Acervo SENAI-SP

Figura 31 – Sistema frigorífico de compressores em paralelo (*rack*) para supermercados.

FIQUE ALERTA

As peças que são conectadas aos vasos de pressão devem suportar pressões iguais ou superiores à pressão do vaso.

As interligações dos sistemas frigoríficos, como as dos condicionadores de ar do tipo VRF, assim como as dos compressores em paralelo (*rack*), têm suas tubulações montadas de acordo com as edificações. Dependendo de sua complexidade, há necessidade de mão de obra qualificada/especializada.

A tubulação do sistema frigorífico, seja ele de baixa ou alta capacidade, requer um alto grau de pureza e estanqueidade. Neste livro, será mostrado um conjunto de técnicas e procedimentos que visam a funcionalidade e a segurança das instalações frigoríficas.

Tubulação embutida

Tubulação disposta internamente a uma parede, piso, teto ou a qualquer outro elemento construtivo no instante da instalação.

Quando a parede for de alvenaria, a fixação deve ser feita com argamassa de cimento e areia; porém, deve-se evitar o contato com materiais corrosivos. A tubulação deve ser isolada e protegida desses materiais.

Em paredes de *drywall*, pisos elevados e tetos rebaixados, a tubulação deve ser fixada por meio de suportes adequados, de modo a mantê-la sempre fixa.

Quando as tubulações estiverem em pisos, deve-se fazer proteção adequada para evitar infiltrações de detergentes ou outros materiais que causem danos à tubulação.

Tubulação enterrada

Em tubulações enterradas, devem ser aplicadas proteções quando identificados meios agressivos ou esforço que possam causar danos ao material da tubulação.

Tubulação aparente

Tubulação disposta externamente a uma parede, piso, teto ou a qualquer outro elemento construtivo no instante da instalação.

As tubulações aparentes devem ser fixadas por meio de suportes adequados. Na refrigeração e na climatização, as tubulações são isoladas para que não ocorra transferência de calor nos pontos indesejados.

Para uma boa montagem da tubulação, o refrigerista deve conhecer os fatores que afetam o comportamento do fluido frigorífico dentro dos tubos, de acordo com cada linha. A linha de sucção tem a função de conduzir o fluido frigorífico e o óleo lubrificante do evaporador ao compressor nas velocidades admissíveis. Por ser um dos pontos críticos da instalação, deve ter a menor perda de carga possível; nessa linha, o fluido frigorífico encontra-se no estado de vapor, e, quanto menor for sua temperatura, menor será sua densidade, o que dificulta o arraste de óleo para o compressor. Em trechos ascendentes, a velocidade deve ser maior do que a velocidade dos trechos horizontais.

É importante evitar o máximo possível o número de curvas, reduções, número de válvulas etc. Tudo isso gera perda de carga. Se a perda de carga for maior do que a admissível, provocará o aumento da relação de compressão, afetando o desempenho do sistema. Em alguns casos, deve-se optar por uma das características: velocidade ou desempenho do sistema. Quando isso acontecer, é melhor optar pela velocidade adequada para garantir a lubrificação do sistema e a durabilidade.

O diâmetro interno e o percurso da linha de descarga devem:

- Evitar o retorno de óleo e fluido refrigerante líquido para o compressor no momento de sua parada.
- Eliminar o ruído durante o funcionamento.
- Absorver as vibrações produzidas pelo compressor.

Cada linha deve desenvolver suas funções características, sendo executadas para favorecer o retorno de óleo e a circulação do fluido frigorífico ao compressor em funcionamento e evitar o retorno de fluido frigorífico no estado líquido quando o compressor estiver parado.

3. Tubos de cobre aplicados em refrigeração e climatização

Tipos de tubos de cobre

Características dos tubos de cobre

No universo da refrigeração e da climatização, os tubos de cobre são utilizados na construção dos sistemas para garantir sua funcionalidade, eficiência e durabilidade. A seguir, será apresentada a tipologia usada na indústria do frio e do ar condicionado.

Tipos de tubos de cobre

Os tubos apropriados para a montagem dos sistemas frigoríficos devem favorecer o seu desempenho, segurança para os usuários, operadores e mantenedores.

Por trabalhar com fluido frigorífico em seu interior com pressões muito acima ou abaixo da pressão atmosférica, suas paredes devem suportar essas variações de pressão sem causar deformações ou rompimentos. Além disso, devem facilitar a transferência de calor entre as substâncias envolvidas nos pontos desejados do sistema.

Com o compromisso de fabricar tubos de cobre para a refrigeração e climatização, a indústria oferece os seguintes tipos de tubo com os mais variados diâmetros, cujas têmperas e ligas devem estar de acordo com a norma brasileira NBR 7541:

- Tubos de cobre flexível sem costura em pancakes.
- Tubos de cobre flexível sem costura em rolos.
- Tubos de cobre encruados sem costura em barras.

Tubos de cobre flexível sem costura em pancakes ou rolos

São próprios para serem aplicados em refrigeradores, congeladores domésticos, balcões frigoríficos e instalações de condicionadores de ar ou em longas instalações frigoríficas com leiaute adequado – por exemplo, tubulações embutidas, enterradas, aparentes sobre laje ou piso, desde que sejam bem dispostas de maneira a evitar sua deformação por resiliência, vibração ou fixação.

As tubulações montadas com esse tipo de tubo apresentam certas vantagens em relação aos tubos rígidos: podem ser montadas com o menor número de pontos de solda, diminuindo a contaminação do sistema e a probabilidade de vazamentos, já que são comercializadas em rolos de vários metros de comprimento ou em pancakes de 15 m, 30 m, 45 m ou mais. Na Figura 1, há exemplos de bobinas de cobre. Na Figura 2, observa-se um tubo de cobre flexível sem costura em pancakes.

Acervo do autor

Figura 1 – Bobinas de cobre.

Acervo do autor

Figura 2 – Pancakes.

O uso desse material permite a construção de certos acessórios e a adequação da tubulação, conforme a condição do local, com um único tubo sem pontos de solda, garantindo a funcionalidade do sistema frigorífico e promovendo a redução de custo para as instalações. A Figura 3 apresenta um exemplo de sifão.

Acervo SENAI-SP

Figura 3 – Exemplo de sifão.

Tubos de cobre encruados sem costura em barras

Os tubos de cobre sem costura em barras são fornecidos em barras de 4 m a 6 m, e são ideais para tubulações que são montadas sobre suportes espaçados um do outro – onde se deseja uma estrutura rígida – e em tubulações ascendentes em locais livres, sem auxílio de suportes na vertical (paredes, colunas etc.). Na Figura 4, vê-se uma tubulação ascendente do sistema *rack*.

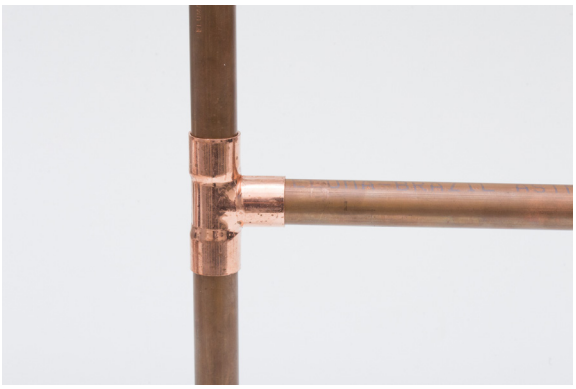
Acervo SENAI-SP

Figura 4 – Tubulação ascendente do sistema *rack*.

Na montagem da tubulação em que se usa esse tipo de tubo, o número de pontos de solda aumenta consideravelmente. Portanto, requer-se maior atenção quanto aos vazamentos e à contaminação do sistema por "carepas". Isso não quer dizer que essa tubulação é pior do que a que usa tubo flexível ou que esse tubo atende a essa aplicação e o outro, não. Na Figura 5, há exemplos de tubo rígido e acessórios. Na Figura 6, há um exemplo de interligação.

Acervo SENAI-SP

Figura 5 – Exemplo de tubo rígido e acessórios.



Acervo SENAI-SP

Figura 6 – Exemplo de interligação por meio de acessórios.

Os tubos encruados (rígidos) também podem ser aplicados em tubulações em que são usados os tubos flexíveis. Isso dependerá do projeto, e esses tubos não podem ser curvados nem sofrer deformações. Nessa situação, devem ser previstas interligações através de acessórios (conexões).

O ancoramento da tubulação para esse tipo de tubo é feito por meio de suportes que devem estar distantes uns dos outros a uma distância que evite a formação de curvas (embarrigamento). A Tabela 1 apresenta os espaçamentos dos suportes em relação aos diâmetros dos tubos e a direção da tubulação.

Tabela 1 – Espaçamento dos suportes em relação aos diâmetros dos tubos e a direção da tubulação (NBR 15345)

Diâmetro do tubo (mm)	Suportes em instalação vertical (m)	Suportes em instalação horizontal (m)
10	1,8	1,2
15	1,8	1,2
22	2,4	1,8
28	2,4	1,8
35	3,0	2,4
42	3,0	2,4
54	3,0	2,7
66	3,6	3,0
79	3,6	3,0
104	3,6	3,0

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15345**: instalação predial para tubos e conexões de cobre e ligas de cobre – Procedimento. Rio de Janeiro, 2013.

Características dos tubos de cobre

Liga

Os tubos flexíveis sem costura devem ser fabricados com a liga de cobre informada no Quadro 1.

Quadro 1 – Informações sobre a liga de cobre para fabricação de tubos flexíveis sem costura

Liga*	Designação comercial	Tipo de cobre
C12200	Cu DHP	Desoxidado, alto teor residual de fósforo

*Nota: A norma ABNT NBR 7541 também prevê outras ligas para essa aplicação. Entretanto, a liga C12200 é a mais comum e indicada.

Têmperas

Para fabricação de tubos, as têmperas recomendadas pela NBR 7541 são:

- Encruada dura: usada quando se necessita de um tubo com rigidez industrialmente possível para o tamanho solicitado.
- Recozida: utilizada para tubos flexíveis.

Fabricação

Os tubos devem ter seu início de fabricação por billets (processo de extrusão a quente) ou tubos (Cast & Roll), conservando uma seção contínua em todas as operações efetuadas posteriormente. Devem ser acabados a frio por trefilação, com ou sem tratamento térmico posterior, a fim de se obterem as propriedades especificadas na norma ABNT NBR 7541.

Dimensões

Os diâmetros e as espessuras de parede são especificados conforme a Tabela 2 (da norma ABNT NBR 7541). Outras dimensões podem ser fornecidas de acordo com o comprador e o fornecedor.

Tabela 2 – Tolerâncias dimensionais conforme a norma ABNT NBR 7541

Diâmetro externo nominal (mm)	**Espessura de parede nominal (mm)**										
	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
3,17									RF	RF	RF*
3,97									RF	RF	RF*
4,76			AC*	AC	AC	AC	AC	AC	RF	RF	RF*
6,35	AC	AC	AC*	AC	AC	AC	AC	AC	RF	RF	RF*
7,94	AC	AC	AC*	AC	AC	AC	AC	AC	RF	RF	RF*

(continua)

Diâmetro externo nominal (mm)	Espessura de parede nominal (mm)										
	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
9,52	AC	AC	AC*	AC	AC	AC	AC	AC	RF	RF	RF*
12,70			AC	AC	AC	AC	AC	AC	RF	RF	RF*
15,87			AC	AC	AC	AC/RF	AC/RF	AC/RF	RF	RF	RF*
19,05						AC/RF	AC/RF	AC/RF	RF	RF	RF*

AC – Dimensões usuais para ar-condicionado. RF – Dimensões usuais para refrigeração.
* Dimensões padronizadas

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7541**: tubo de cobre sem costura para refrigeração e ar-condicionado – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

Fornecimento

Pancakes

Os dimensionais padronizados da Tabela 2 são os mais utilizados no mercado, e os diâmetros mais comuns estão entre 4,76 mm e 19,05 mm, com uma espessura de parede nominal de 0,80 mm.

Os pancakes têm um comprimento-padrão de 15,24 m (simples), 30,48 m (duplo) e 45,72 m (triplo). Em geral, são fabricados na têmpera recozida.

Rolos

Os dimensionais padronizados da Tabela 2 são os mais utilizados no mercado, e os diâmetros mais comuns estão entre 4,76 mm e 15,87 mm, com uma espessura de parede nominal de 0,80 mm. Outros dimensionais podem ser fornecidos de acordo com o comprador e o fornecedor.

Os tubos fornecidos em rolos grandes têm normalmente uma massa entre 25 kg e 120 kg, sem emendas. Em geral, os rolos são fabricados na têmpera recozida.

Barras

Os dimensionais padronizados da Tabela 2 são os mais utilizados no mercado, e os diâmetros mais comuns estão entre 4,76 mm e 19,05 mm, com uma espessura de parede nominal de 0,80 mm.

Os tubos fornecidos em barras possuem um comprimento variável de 4.000 mm a 6.000 mm. Outros comprimentos podem ser fornecidos de acordo com o comprador e o fornecedor. Em geral, as barras são fabricadas na têmpera encruada dura (H80).

Limpeza

Os tubos recozidos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR 14665.

Requisitos físicos e metalográficos

Os tubos devem atender aos requisitos especificados na Tabela 10 da ABNT NBR 7541 (neste livro, conforme a Tabela 3).

Tabela 3 – Requisitos físicos e metalográficos

Requisitos	Tubo encruado duro H80	Tubo recozido mole O50	Tubo recozido extramole O60
Resistência à tração mínima (MPa)	310	205	205
Alongamento mínimo em 50 mm de comprimento (%)	–	40	40
Tamanho de grão	–	0,040 máximo	0,040 mínimo
Dureza superficial (escala/valor)	R 30T/55	R 15T/65 (máx.)	R 15T/60 (máx.)

NOTAS
- A dureza dos tubos deve ser determinada de acordo com a ABNT NBR NM 146-1.
- O tamanho do grão deve ser determinado de acordo com a ABNT NBR 11568.
- O limite de resistência à tração e alongamento deve ser determinado de acordo com a ABNT NBR ISO 6892.

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7541**: tubo de cobre sem costura para refrigeração e ar-condicionado – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

4. Segurança operacional

Os perigos dos fluidos frigoríficos

Tanque de líquido

Cilindros de fluido refrigerante

Manuseio de tubos de cobre

Limites de segurança para pressão em tubos de cobre e vasos de pressão

Normas técnicas para tubos de cobre e vasos de pressão

A segurança é primordial em todos os trabalhos, e os realizados nos sistemas de refrigeração e climatização não são exceção.

Em todos os trabalhos de instalação, reinstalação ou realização de manutenção, devem ser tomados todos os cuidados para evitar que as pessoas se exponham a situações de risco e minimizar danos aos equipamentos.

Há riscos nos circuitos elétricos e nas partes mecânicas, tais como a toxicidade dos fluidos refrigerantes, alta pressão na tubulação e vasos de pressão, choque elétrico, arco elétrico, campo magnético, altas temperaturas, congelamento, perigo no uso de ferramentas e nos equipamentos relacionados. Os trabalhadores devem possuir um conhecimento abrangente de todos os componentes e dos métodos de operação. A seguir, são apresentadas algumas considerações práticas.

Os perigos dos fluidos frigoríficos

O procedimento de reoperação deve ser realizado em locais abertos e ventilados para evitar a concentração de fluidos frigoríficos no local de trabalho. É importante lembrar que os fluidos HCFC, CFC e HFC devem ser recolhidos em

recipientes adequados. No caso de hidrocarbonetos (HC) usados como fluidos frigoríficos, por não terem potencial de destruição do ozônio (PDO) e apresentarem baixo potencial de aquecimento global (GWP), sua liberação para a atmosfera pode ser considerada aceitável, desde que respeitadas certas condições, como encontrar-se longe de fontes de calor e de ambientes em que circulam ou em que permaneçam pessoas. Por serem inflamáveis e mais pesados que o ar, permanecerão nos pontos mais baixos do ambiente. A liberação dos fluidos deverá atender a certos requisitos:

a. A liberação, em nenhuma circunstância, é permitida para dentro do edifício.

b. A liberação não deve ser feita para uma área pública ou onde as pessoas desconhecem que esse tipo de procedimento pode ocorrer.

c. A mangueira deve ser de comprimento suficiente, garantindo que se estenda a pelo menos 3 m de distância do exterior do edifício.

d. A liberação deve apenas ocorrer com a garantia de que o fluido frigorífico não entrará em nenhum edifício próximo a ele e que não migrará para um local abaixo do nível do solo.

e. Para prevenir a emissão de óleo de refrigeração e garantir sua coleta e descarte adequado, um separador de óleo deverá ser instalado próximo à entrada da mangueira.

f. Se o local de trabalho não for ventilado, o fluido ficará concentrado nesse ambiente e poderá causar incêndios e explosões ao se acender o maçarico ou por qualquer outra fonte de ignição.

Para realizar os procedimentos de brasagem, não deve restar nenhum fluido frigorífico nos tubos ou no ar circundante, pois o tubo pode explodir e causar sérios danos às pessoas e ao patrimônio quando aquecido com fluido frigorífico em seu interior. Se for em pequena quantidade que não cause explosões, quando queimado, libera substâncias tóxicas de cheiro forte prejudicial à saúde do trabalhador.

Ao conectar ferramentas (manifold) ou instrumentos no sistema, na parte em que se concentra fluido refrigerante na fase líquida, é recomendado o uso de luvas térmicas e todos os equipamentos de proteção individual pertinentes, a fim de evitar queimaduras de frio. A maioria dos refrigerantes tem ponto de ebulição

bastante baixo à pressão atmosférica. Por exemplo, a temperatura de ebulição correspondente do R-290, à pressão de 1 ATM, é de -42,5°C. Caso ocorra vazamento e o líquido entre em contato com a pele ou os olhos, este irá evaporar abruptamente, reduzindo a temperatura do local e provocando queimaduras.

Quando ocorre a queima do motor elétrico dos compressores herméticos e semi-herméticos, espalham-se contaminantes ácidos pelo sistema, que podem ser prejudiciais à pele e aos órgãos internos se inalados ou ingeridos.

Tanque de líquido

Os tanques de líquido são dimensionados para que somente 80% do seu volume seja preenchido, deixando uma folga para manter a pressão interna estável em caso de uma expansão menor ou igual a 20% do seu volume interno. O fluido frigorífico, quando aquecido, expande, aumentando sua pressão interna. Isso acontece para que essa elevação de pressão não cause a parada do equipamento, desperdício de fluido, e garanta a segurança do sistema e das pessoas. É essencial que a quantidade de fluido não ultrapasse os 80% da sua capacidade total e que também o fluido não fique exposto a fontes de calor.

Cilindros de fluido refrigerante

Os cilindros de fluido refrigerante são classificados em dois tipos: os descartáveis e os recarregáveis.

Os descartáveis não devem ser recarregados, pois não foram projetados para essa finalidade; quando se faz uso dessa "prática", a segurança fica comprometida.

Já os cilindros recarregáveis devem ser carregados com apenas 80% da sua capacidade e usar dispositivos de segurança.

Os cilindros devem ser armazenados em local seco, ventilado e arejado, longe de fontes de calor. Esse procedimento deve ser adotado independentemente do tipo de cilindro, quer seja descartável, recarregável ou de recolhimento.

Manuseio de tubos de cobre

Os tubos de cobre para uso em refrigeração e climatização devem ser acondicionados de acordo com a têmpera recozida ou encruada dura, e também quanto às suas dimensões em diâmetro nominal e espessura, comprimento das barras e bobinas.

Devem ser armazenados em locais cobertos e não ficar em contato direto com o solo nem com materiais que provoquem sua corrosão, protegidos de umidade e poeiras, permanecendo tamponados, ou seja, com as pontas lacradas.

O empilhamento deve ser feito de modo que os tubos não sofram danos no manuseio nem no transporte.

Esses mesmos cuidados devem ser tomados quando os tubos estiverem na obra estocados ou fazendo parte da própria tubulação. É comum, de um dia de trabalho para o outro ou aos finais de semana em que a obra é parada, para o descanso dos trabalhadores – ou até mesmo durante a execução em que um trecho é finalizado –, não serem tomados os devidos cuidados para a preservação da pureza do sistema.

Limites de segurança para pressão em tubos de cobre e vasos de pressão

Os limites de pressão para os sistemas de refrigeração e climatização são especificados pelos fabricantes dos equipamentos. É importante lembrar que os limites de pressão de um sistema muitas vezes não são os mesmos especificados pelo fabricante do tubo (pressão máxima de trabalho do tubo) que está sendo utilizado para fazer a interligação entre as unidades. Assim, recomenda-se seguir os limites determinados pelo fabricante.

Quando se quer pressurizar um sistema, não se deve considerar apenas os tubos, mas todos os componentes do sistema. É certo que o fabricante determinou a pressão máxima de teste em relação ao componente que suporta a menor pressão do sistema.

O gás utilizado para pressurizar os sistemas de refrigeração e climatização deve ser seco e inerte, ou seja, um gás que não reage quimicamente em contato com outras substâncias presentes no sistema, para evitar explosões.

O nitrogênio é um dos gases mais indicados para pressurizar os sistemas e é armazenado em cilindros próprios, oferecendo qualidade e segurança. Na Figura 1, é apresentado um cilindro de nitrogênio, e a Figura 2 apresenta a informação das capacidades dos cilindros.

scanrail/iStock/Thinkstock

Figura 1 – Cilindro de nitrogênio.

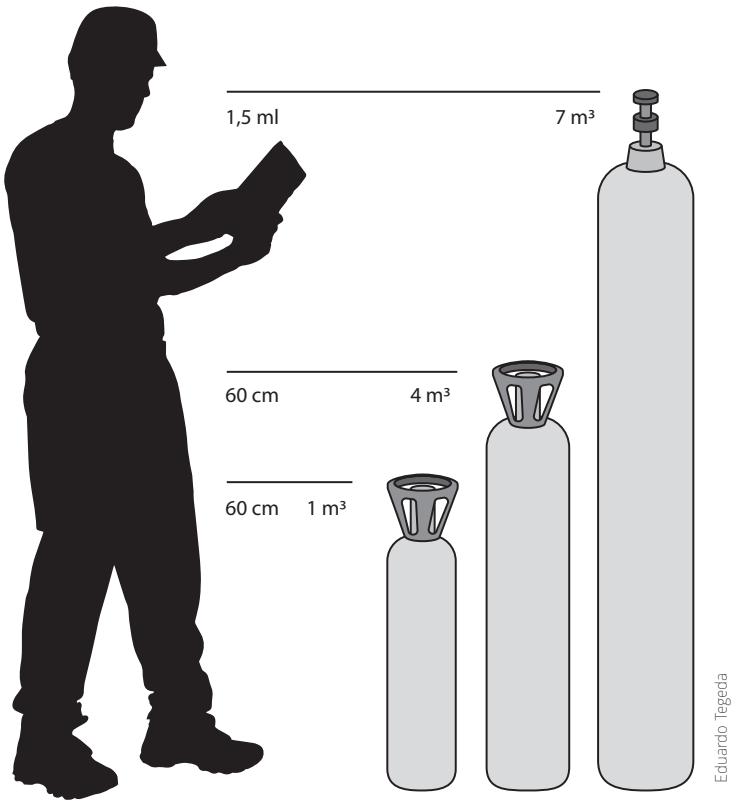


Figura 2 – Referências de capacidades dos cilindros.

Os cilindros de nitrogênio são usados obrigatoriamente com o regulador de pressão.

Os reguladores usados em refrigeração são praticamente de dois tipos: de baixa pressão e de alta pressão. Os de baixa pressão, em geral, têm a escala de 0 kgf/cm² a 18 kgf/cm², e os de alta pressão, de 0 kgf/cm² a 50 kgf/cm² aproximadamente. Nas Figuras 3 e 4, é possível conhecer a estrutura dos reguladores de pressão e de alta pressão, que devem sempre ser manuseados corretamente.

Acervo SENAI-SP

Figura 3 – Regulador de pressão.

Acervo SENAI-SP

Figura 4 – Regulador de alta pressão.

Nunca abrir a válvula do cilindro com o regulador de pressão aberto, pois esse procedimento danifica o dispositivo.

Primeiro, fechar todo o regulador girando a manopla de ajuste (parafuso de regulagem) no sentido anti-horário, e somente depois abrir a válvula do cilindro e regular a pressão de teste especificada pelo fabricante do equipamento. É importante, para a segurança do montador, que a pressão seja injetada no sistema, no mínimo, em três etapas intercaladas. Isso evita o rompimento (estouro) da tubulação proveniente de uma fragilidade existente em algum ponto de solda ou mesmo dos tubos.

O transporte dos cilindros de nitrogênio deve ser realizado em carrinho específico para esse fim; o cilindro deve estar fixado no carrinho e com a proteção da válvula (capacete).

Os cilindros devem ser armazenados em local fresco e arejado, longe de fontes de calor.

FIQUE ALERTA

O sistema não pode ser pressurizado com oxigênio ou ar comprimido.

Para detecção de microvazamentos ou para uma inspeção mais minuciosa da tubulação, o mais recomendado é o uso da mistura de nitrogênio com hidrogênio, com proporção de 95% N_2 e 5% H_2 com detector específico. Ver na Figura 5 um cilindro com essa mistura. Na Figura 6, há um exemplo de detector de hidrogênio.

Acervo SENAI-SP

Figura 5 – Cilindro de nitrogênio com hidrogênio.

Figura 6 – Detector de hidrogênio e vazamento de referência.

Quando o sistema é pressurizado com a mistura de nitrogênio e hidrogênio, a pressão máxima recomendada é de 50 psi com precisão de detecção de um grama por ano, quando calibrado com o vazamento de referência (recipiente indicado na Figura 6).

Normas técnicas para tubos de cobre e vasos de pressão

As normas são utilizadas para padronizar e indicam um padrão de qualidade. Segui-las é extremamente importante para que não existam conflitos. A padronização também auxilia na comparação de pesquisas relacionadas a um mesmo assunto.

Utilizar produtos que são fabricados conforme as normas garante maior confiabilidade e credibilidade ao produto.

No que se refere ao cobre, destacam-se as normas apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Principais normas referentes ao uso do cobre

Código	Título
ABNT NBR 7417:1982	Tubo extraleve de cobre, sem costura, para condução de água e outros fluidos
ABNT NBR 5020:2003	Tubos de cobre sem costura para uso geral – Requisitos
ABNT NBR 5030:2004	Tubo de cobre sem costura recozido brilhante, para usos gerais – Requisitos
ABNT NBR 7541:2004	Tubo de cobre sem costura para refrigeração e ar-condicionado – Requisitos
ABNT NBR 7247:2004	Tubo soldado de cobre e ligas de cobre para usos gerais – Requisitos

(continua)

Código	Título
ABNT NBR ISO 14623:2006	Sistemas espaciais – Projeto estrutural – Vasos de pressão e estruturas pressurizadas – Projeto e operação
ABNT NBR 15417:2007	Vasos de pressão – Inspeção de segurança em serviço
ABNT NBR ISO 16528-1:2008 Versão corrigida: 2015	Caldeiras e vasos de pressão Parte 1: Requisitos de desempenho
ABNT NBR ISO 16528-2:2008	Caldeiras e vasos de pressão Parte 2: Procedimentos para atendimento integral da ABNT NBR ISO 16528-1
ABNT NBR 15757:2009	Tubos e conexões de cobre – Métodos de ensaio
ABNT NBR 11720:2010	Conexões para união de tubos de cobre por soldagem ou brasagem capilar – Requisitos
ABNT NBR 13206:2010	Tubo de cobre leve, médio e pesado, sem costura, para condução de fluidos – Requisitos
ABNT NBR 14745:2010	Tubo de cobre sem costura flexível, para condução de fluidos – Requisitos
ABNT NBR 16069:2010	Segurança em sistemas frigoríficos
ABNT NBR 13598:2011	Vasos de pressão para refrigeração
ABNT NBR 15949:2011	Vaso de pressão para ocupação humana (VPOH) para fins terapêuticos – Diretrizes para construção, instalação e operação
ABNT NBR 16035-1:2012 Ed 2	Caldeiras e vasos de pressão – Requisitos mínimos para a construção Parte 1: Geral
ABNT NBR 16035-2:2012 Ed 2	Caldeiras e vasos de pressão – Requisitos mínimos para a construção Parte 2: Conforme ASME Code, Section I
ABNT NBR 16035-3:2012 Ed 2	Caldeiras e vasos de pressão – Requisitos mínimos para a construção Parte 3: Conforme ASME Code, Section VIII, Division 1
ABNT NBR 15345:2013	Instalação predial de tubos e conexões de cobre e ligas de cobre – Procedimento
ABNT NBR 16035-4:2013	Caldeiras e vasos de pressão – Requisitos mínimos para a construção Parte 4: Conforme ASME Code, Section VIII, Division 2
ABNT NBR 16035-5:2013	Caldeiras e vasos de pressão – Requisitos mínimos para a construção Parte 5: Vasos de pressão não sujeitos a chama – Padrão europeu
ABNT NBR NM 339:2014	Ensaios não destrutivos – Ensaio de emissão acústica (EA) em vaso de pressão metálico durante o ensaio de pressão – Procedimento
ABNT NBR ISO 16528-1:2008 Errata 1:2015	Caldeiras e vasos de pressão Parte 1: Requisitos de desempenho
ABNT NBR 16455:2016	Vasos de pressão – Metodologia para inspeção não intrusiva
MINISTÉRIO DO TRABALHO NR-13	Caldeiras, vasos de pressão e tubulação

5. Fluidos refrigerantes

Tipos de fluidos refrigerantes
Propriedades físico-químicas do fluido refrigerante
Relação entre pressão e temperatura dos fluidos
Classificação por nível de toxicidade e inflamabilidade
Descarte correto do fluido refrigerante e lubrificante
Procedimentos para limpeza do sistema frigorífico
Programa Brasileiro de Eliminação de HCFCs (PHB)
Recomendações sobre substituição de fluidos frigoríficos (RENABRAVA)

Tipos de fluidos refrigerantes

Atualmente, são vários os tipos de fluidos frigoríficos encontrados no mercado. Para fim de esclarecimento, será apresentado um breve histórico.

Por volta do século XIX, teve início o desenvolvimento de equipamentos que utilizavam o princípio de refrigeração por compressão mecânica, e a substância usada como fluido frigorífico foi o éter.

A partir de então, o desenvolvimento de novos fluidos frigoríficos ocorreu de acordo com cada época. Historicamente, são quatro gerações dos fluidos frigoríficos.

Primeira geração (1834-1930)

Nessa época, os equipamentos de refrigeração funcionavam com éter, amônia (R-717, NH_3), dióxido de carbono (R-744, CO_2), dióxido de enxofre (R-764, SO_2), cloreto de metila (R-40), hidrocarbonetos, entre outros. Muitos deles são hoje considerados fluidos naturais.

Muitos desses fluidos são tóxicos, explosivos, ou ambos, o que limitou a sua aplicação e o desenvolvimento de novos equipamentos.

Segunda geração (1931-1990)

Com a necessidade de novas aplicações, a empresa americana Frigidaire encarregou um grupo de cientistas, liderados por Thomas Medley, de desenvolver um novo fluido frigorífico que não fosse inflamável nem tóxico.

Nesse período, foram desenvolvidos os clorofluorcarbonos (CFCs), os hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) e os hidrofluorcarbonos (HFCs), que também não deixaram de usar a amônia.

A descoberta desses fluidos frigoríficos virou sinônimo de segurança e durabilidade. Com eles, houve o desenvolvimento de novos equipamentos e, consequentemente, o crescimento da indústria de refrigeração e climatização.

Terceira geração (1991-2010)

Surgem novas políticas públicas, como a proteção da camada de ozônio, regida pelo Protocolo de Montreal. Tem início o processo de eliminação dos CFCs.

Permanecem os fluidos ditos de transição, principalmente os HCFCs e os HFCs; mantém-se o uso da amônia, e voltam os hidrocarbonetos e o dióxido de carbono.

Quarta geração (a partir de 2010)

Esta geração é marcada pela eliminação dos fluidos frigoríficos que contribuem para o aumento do efeito estufa (aquecimento global).

Para a proteção do sistema climático global, devem ser eliminados os HCFCs e os HFCs, e incluídos novos fluidos que apresentem alta eficiência e menor impacto para o sistema climático global. Destacam-se os hidrofluorcarbonos insaturados (hidrofluorolefinas, HFO), a amônia, o dióxido de carbono e os hidrocarbonetos.

Com todas essas mudanças, foram desenvolvidos novos sistemas específicos para cada tipo de fluido frigorífico. Na transição de uma geração para outra, os equipamentos antigos continuaram funcionando, só que os sistemas não eram compatíveis com os novos fluidos frigoríficos. Por isso, foram desenvolvidos os fluidos refrigerantes chamados misturas (BLENDS), para evitar que esses sistemas fossem descartados.

Atualmente, há uma fase de mudança, em que está sendo eliminado o HCFC R-22, com a inserção de fluidos alternativos no mercado, que funcionam em sistemas projetados para o R-22. Isso também acontece com outros fluidos.

Percebe-se que se está voltando aos fluidos tóxicos e inflamáveis que foram usados nas gerações anteriores: são os fluidos naturais, que apresentam boa eficiência energética, não agridem a camada de ozônio nem causam o efeito estufa. No entanto, devem-se seguir as normas que classificam os fluidos frigoríficos quanto a sua toxicidade e inflamabilidade.

SAIBA MAIS

Com a substituição dos fluidos frigoríficos HCFC e HFC com alto GWP (potencial de aquecimento global) por uma nova geração de fluidos que trabalham com maior pressão no evaporador e no condensador, é necessária a utilização de tubos que resistam à pressão e à temperatura. O cobre adequa-se perfeitamente a essa necessidade.

Na Tabela 1, a seguir, é apresentada a classificação dos fluidos frigoríficos com os grupos de segurança e limite de exposição ocupacional. Na Tabela 2, tem-se a relação dos fluidos frigoríficos naturais alternativos ao R-22 na refrigeração comercial de supermercados.

Tabela 1 – Classificação dos fluidos frigoríficos com os grupos de segurança e limites de exposição ocupacional (média ponderada de 8 horas por dia)

Fluido frigorífico	Ponto de ebulição (°C)	Grupo de segurança	Perigo	LEO (ppm)
R744	-78,5	A1	Asfixiante	5.000
R717	-33,4	B2	Tóxico por inalação	25
R290	-42,1	A3	Asfixiante em altas concentrações	1.000
R600a	-11,7	A3	Asfixiante em altas concentrações	1.000
R410A	-52,2	A1	Asfixiante em altas concentrações	1.000
R404A	-46,8	A1	Asfixiante em altas concentrações	1.000
R507A	-46,7	A1	Asfixiante em altas concentrações	1.000
R407C	-43	A1	Asfixiante em altas concentrações	1.000
R134a	-26,2	A1	Asfixiante em altas concentrações	1.000
R22	-40,7	A1	Asfixiante em altas concentrações	1.000

Fonte: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs-PBH:** fluidos frigoríficos naturais em sistemas de refrigeração comercial. Brasília, 2015.

Tabela 2 – Fluidos frigoríficos naturais alternativos ao R22 na refrigeração comercial de supermercados

Fluido frigorífico	R22	R744	R290	R1270	R717
Substância natural	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Nome comercial	–	Dióxido carbono	Propano	Propileno	Amônia
Fabricante	Vários	Vários	Vários	Vários	Vários
Composição química	$CHCIF_2$	CO_2	C_3H_8	C_3H_6	NH_3

(continua)

Fluido frigorífico	R22	R744	R290	R1270	R717
Potencial de destruição do ozônio (PDO)	0,05	0	0	0	0
Potencial aquecimento global (GWP)	1.500	1	3	3	0
Temperatura Glide (K)[1]	0	0	0	0	0
Inflamabilidade	Não	Não	Alta	Alta	Baixa
Toxicidade	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Alta
Tipo de óleo lubrificante[2]	MO/AB/ MO + AB	POE	MO/PAE/ POE	MO/PAE/ POE	MA/PAO
Tipo de aplicação[3]	HT/MT/ LT	MT e LT	HT/MT/ LT (Sistemas indiretos)	MT/LT (Sistemas indiretos)	HT/MT/LT (Sistemas indiretos)
Tipo de equipamento[4]	–	Novos	Novos	Novos	Novos

NOTAS

1. Temperatura glide maior que zero significa que, em caso de vazamento parcial da substância, a recomposição final da carga de fluido no sistema não ficará com as mesmas características originais e, consequentemente, haverá perda de rendimento do equipamento frigorífico. Em alguns casos, dependendo da porcentagem de vazamentos que se perdeu, será necessário retirar o fluido remanescente no sistema, eliminar o vazamento e completar com nova carga.
2. MO = óleo mineral; MO + AB = mistura de óleo mineral com alquibenzeno (semissintético); POE = óleo poliéster; PAO = óleo polialfaolifina.
3. HT = alta temperatura de evaporação (ar-condicionado); MT = média temperatura de evaporação (sistema de resfriados); LT = baixa temperatura de evaporação (sistema de congelados).
4. As opções com fluidos alternativos naturais (CO_2, HCs e NH_3) somente serão válidas para os equipamentos novos; em hipótese alguma deverão ser utilizados para Retrofit com substituição direta do R22.

Fontes: EN 378-1; ASHRAE 34-2010; BITZER Refrigerant Report A-201-17; BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs-PBH:** fluidos frigoríficos naturais em sistemas de refrigeração comercial. Brasília, 2015.

Na Tabela 3, serão apresentadas as propriedades termofísicas, as propriedades de segurança e as propriedades ambientais dos fluidos frigoríficos.

Tabela 3 – Propriedades termofísicas, de segurança e ambientais dos fluidos frigoríficos

Fluido frigorífico		CO_2	R290	R1270	R600a	R717
Temperatura ebulição normal (ºC)		-78,5	-42,1	-47,7	-11,61	-33,3
Pressão crítica (bar)		73,6	42,48	46,65	36,31	111,3
Temperatura crítica (ºC)		31,1	96,7	92,40	134,70	132,3
Massa molecular (g/mol)		44,0	44,10	42,08	58,12	17,03
Limite de inflamabilidade (% volume ar)	Inferior	Nenhum	2,1	2,5	1,8	16
	Superior	Nenhum	9,5	10,1	8,4	28
Calor de combustão (MJ/Kg)		Nenhum	53,3	50,5	49,4	22,5
Tempo de vida na atmosfera (anos)		> 50	0,041	0,001	0,016	< 0,02

Fonte: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs-PBH:** fluidos frigoríficos naturais em sistemas de refrigeração comercial. Brasília, 2015.

Propriedades físico-químicas do fluido refrigerante

Um fluido refrigerante perfeito deveria apresentar as seguintes qualidades:

- Calor latente de vaporização muito elevado.
- Ponto de ebulição sob pressão atmosférica suficientemente baixo.
- Baixa relação de compressão.
- Baixo volume específico de vapor saturado.
- Temperatura crítica muita elevada.
- Inerência em relação ao lubrificante utilizado.
- Composição estável nas condições de funcionamento.
- Não ter reação sobre os metais componentes do circuito.
- Não ter ação sobre as juntas.
- Não ser "inflamável nem explosivo" misturado com o ar.
- Não ser prejudicial à saúde.
- Não ser prejudicial aos gêneros a conservar.
- Inodoro ou com cheiro não desagradável.
- Emanações fáceis de detectar.
- Não ter afinidade com os constituintes da atmosfera.

Relação entre pressão e temperatura dos fluidos

A Tabela 4 relaciona a temperatura e a pressão em que o fluido refrigerante muda de fase.

Tabela 4 – Temperatura e pressão em que o fluido refrigerante muda de fase

Condições de saturação – Pressão (psig)							
Temp. (°F)	Freon© 22 R-22	Suva© 123 R-123	Suva© 134a R-134a	Suva© 404A R-404A	Suva© 410A R-410A	Suva© 507 R-507	Temp. (°C)
-40	0,6	28,9”	14,8”	4,9	10,8	5,4	-40
-38	1,4	28,8”	13,9”	5,9	12,1	6,4	-39
-36	2,2	28,7”	12,9”	7,0	13,4	7,5	-38
-34	3,1	28,6”	12,0”	8,0	14,8	8,6	-37
-32	4,0	28,5”	10,9”	9,2	16,3	9,8	-36
-30	4,9	28,4”	9,8”	10,3	17,8	11,0	-34
-28	5,9	28,3”	8,7”	11,5	19,4	12,2	-33
-26	6,9	28,2”	7,5”	12,8	21,0	13,5	-32
-24	8,0	28,1”	6,3”	14,1	22,7	14,8	-31
-22	9,1	27,9”	5,0”	15,4	24,5	16,2	-30
-20	10,2	27,8”	3,7”	16,8	26,3	17,6	-29
-18	11,4	27,6”	2,3”	18,3	28,2	19,1	-28
-16	12,6	27,5”	0,8”	19,8	30,2	20,6	27
-14	13,9	27,3”	0,3”	21,3	32,2	22,2	-26
-12	15,2	27,2”	1,1’	22,9	34,3	23,8	-24
-10	16,5	27,0”	1,9	24,6	36,5	25,5	-23
-8	17,9	26,8”	2,8	26,3	38,7	27,3	-22
-6	19,4	26,6”	3,6	28,0	41,0	29,1	-21
-4	20,9	26,4”	4,6	29,8	43,4	30,9	-20
-2	22,4	26,2”	5,5	31,7	45,9	32,8	-19
0	24,0	25,9”	6,5	33,7	48,4	34,8	-18
2	25,7	25,7”	7,5	35,7	51,1	36,9	-17
4	27,4	25,4”	8,5	37,7	53,8	39,0	-16
6	29,1	25,2”	9,6	39,8	56,6	41,1	-14
8	31,0	24,9”	10,8	42,0	59,5	43,7	-13
10	32,8	24,6”	11,9	44,3	62,4	45,7	-12
12	34,8	24,3”	13,1	46,6	66,5	48,1	-11
14	36,8	23,9”	14,4	49,0	68,6	50,5	-10
16	38,8	23,6”	15,7	51,5	71,9	53,0	-9
18	40,9	23,2”	17,0	54,0	75,2	55,6	-8
20	43,1	22,9”	18,4	56,6	78,7	58,3	-7
22	45,3	22,5”	19,9	59,3	82,8	61,0	-6
24	47,6	22,1”	21,3	62,0	85,8	63,8	-4
26	50,0	21,7”	22,9	64,8	89,6	66,7	-3
28	52,4	21,2”	24,5	67,7	93,4	69,7	-2

(continua)

Condições de saturação – Pressão (psig)							
Temp. (°F)	Freon© 22 R-22	Suva© 123 R-123	Suva© 134a R-134a	Suva© 404A R-404A	Suva© 410A R-410A	Suva© 507 R-507	Temp. (°C)
30	55,0	20,8”	26,1	70,7	97,4	72,7	-1
32	57,5	20,3”	27,8	73,8	101,4	75,9	0
34	60,2	19,8”	29,5	76,9	105,6	79,1	1
36	62,9	19,3”	31,3	80,2	109,9	82,4	2
38	65,7	18,7”	33,1	83,5	114,3	85,8	3
40	68,6	18,2”	35,0	86,9	118,8	89,2	4
42	71,5	17,6”	37,0	90,4	123,4	92,8	6
44	74,5	17,0”	39,0	94,0	128,2	96,5	7
46	77,6	16,3”	41,1	97,6	133,0	100,2	8
48	80,8	15,7”	43,2	101,4	138,0	104,1	9
50	84,1	15,0”	45,4	105,3	143,2	108,0	10
52	87,4	14,3”	47,7	109,2	148,4	112,0	11
54	90,8	13,5”	50,0	113,3	153,8	116,2	12
56	94,4	12,8”	52,4	117,4	159,3	120,4	13
58	98,0	12,0”	54,9	121,7	164,9	124,7	14
60	101,6	11,2”	57,4	126,0	170,7	129,2	16
62	105,4	10,3”	60,0	130,5	176,6	133,7	17
64	109,3	9,4”	62,7	135,0	182,7	138,4	18
66	113,2	8,5”	65,4	139,7	189,9	143,1	19
68	117,3	7,6”	68,2	144,4	195,3	148,0	20
70	121,4	6,6”	71,1	149,3	201,8	153,0	21
72	125,7	5,6”	74,1	154,3	208,4	158,1	22
74	130,0	4,6”	77,1	159,4	215,2	163,6	23
76	134,5	3,5”	80,2	164,6	222,2	168,6	24
78	139	2,4”	83,4	169,9	229,3	174,1	26
80	143,6	1,2”	86,7	175,4	236,5	179,6	27
82	148,4	0,0”	90,0	181,0	244,0	185,3	28
84	153,2	0,6	93,5	186,7	251,6	191,1	29
86	158,2	1,2	97,0	192,5	259,3	197,1	30
88	163,2	1,8	100,6	198,4	267,3	203,1	31
90	168,4	2,5	104,3	204,5	275,4	209,3	32
92	173,7	3,2	108,1	210,7	283,6	215,6	33
94	179,1	3,9	112,0	217,0	292,1	222,1	34
96	184,6	4,6	115,9	223,4	300,7	228,7	36
98	190,2	5,3	120,0	230,0	309,5	235,4	37
100	195,2	6,1	124,2	236,8	318,5	242,3	38
102	201,8	6,9	128,4	243,6	327,7	249,3	39
104	207,7	7,7	132,7	250,6	337,1	256,5	40
106	213,8	8,5	137,2	257,8	346,7	263,8	41
108	220,0	9,4	141,7	265,1	356,5	271,2	42
110	226,4	10,3	146,4	272,5	366,4	278,8	43
112	232,8	11,2	151,1	280,1	376,6	286,8	44
114	239,4	12,1	156,0	287,9	387,0	294,5	46
116	246,1	13,1	160,9	295,8	397,6	302,6	47
118	253,0	14,1	166,0	303,8	408,4	310,8	48

(continua)

Condições de saturação – Pressão (psig)							
Temp. (ºF)	Freon© 22 R-22	Suva© 123 R-123	Suva© 134a R-134a	Suva© 404A R-404A	Suva© 410A R-410A	Suva© 507 R-507	Temp. (ºC)
120	260,0	15,1	171,2	312,1	419,4	319,2	49
122	267,1	16,1	176,5	320,4	430,7	327,8	50
124	274,3	17,2	181,2	329,0	442,1	336,5	51
126	281,7	18,3	187,4	377,7	453,8	345,4	52
128	289,2	19,4	193,0	346,6	465,8	354,5	53
130	296,9	20,6	198,7	355,6	477,9	363,8	54
132	304,7	21,7	204,6	364,9	490,3	373,2	56
134	312,6	22,9	210,6	374,3	503,0	382,9	57
136	320,7	24,2	216,7	383,9	515,9	392,7	58
138	329,0	25,5	222,9	393,7	529,1	402,7	59
140	337,4	26,8	229,2	403,7	542,5	413,0	60
142	345,9	28,1	235,7	413,9	556,2	423,4	61
144	354,6	29,5	242,3	424,3	570,2	434,1	62
146	363,5	30,9	249,0	434,9	584,5	445,0	63
148	372,5	32,3	255,9	445,7	599,0	456,1	64
150	381,7	33,8	262,9	456,8	613,88	467,4	66

”Indica polegadas de mercúrio (”Hg)

Fonte: Chemours. Disponível em: www.ambientegelado.com.brv51index.phpartigos-tecnicosfluidos-refrigerantestipos-de-fluidos372-dupont-suva. Acesso em: 13 mar. 2018.

Classificação por nível de toxicidade e inflamabilidade

Os fluidos frigoríficos são classificados em relação às características de toxicidade e inflamabilidade. O uso do fluido é determinado pela classificação de segurança.

Para a classificação de toxicidade, os fluidos são determinados para uma das duas classes – A e B –, baseando-se na exposição crônica autorizada para determinadas concentrações.

- Classe A (baixa toxicidade): fluidos frigoríficos com concentração média aferida, sem efeitos adversos para quase todos os trabalhadores que possam estar expostos diariamente em um dia normal de trabalho (8 h) e uma semana (40 h), cujo valor seja igual ou superior a 400 ppm por volume.
- Classe B (alta toxicidade): fluidos frigoríficos com concentração média aferida, sem efeitos adversos para quase todos os trabalhadores que possam estar expostos diariamente em um dia normal de trabalho (8 h) e uma semana (40 h), cujo valor seja inferior a 400 ppm por volume.

Para a classificação da inflamabilidade, os fluidos frigoríficos são determinados para uma das três classes – 1, 2 ou 3 –, baseados em testes de combustão e inflamabilidade.

- Classe 1 (sem propagação de chamas): o fluido não demonstra propagação de chama quando testado sob um ar de 60°C e pressão atmosférica padrão.
- Classe 2 (baixa inflamabilidade): o fluido encontra todas as três condições a seguir – exibe propagação de chamas quando testado a 60°C; tem LFL > 3,5% (limite inferior de inflamabilidade); e calor de combustão < 19.000 kJ/kg.
  - Subclasse 2 L (opcional): fluidos que atendem à condição de ter velocidade máxima de queima ≤ 10 cm/s (3,9 pol./s) quando ensaiados a 23°C (73,4ºF) e 101,3 kPa (14,7 psia).
- Classe 3 (alta inflamabilidade): o fluido frigorífico encontra as duas condições a seguir – exibe propagação de chama quando testado a 60°C e tem LFL < 3,5% ou calor de combustão> 19.000 kJ/kg.

No Quadro 1, é apresentada a classificação de segurança dos grupos de fluidos frigoríficos.

Quadro 1 – Classificação de segurança dos grupos de fluidos frigoríficos

			Grupo de segurança	
AUMENTO DA INFLAMABILIDADE ↑	**Maior inflamabilidade**		A3	B3
	Menor inflamabilidade	Velocidade de propagação 10 cm/s	A2	B2
		Velocidade de propagação ≤ 10 cm/s	A2L	B2L
	Sem a propagação de chama		A1	B1
			Menor toxicidade	**Maior toxicidade**
			AUMENTO DA TOXICIDADE →	

Fonte: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs-PBH**: fluidos frigoríficos naturais em sistemas de refrigeração comercial. Brasília, 2015.

Por exemplo, se o fluido estiver classificado no grupo A1, isso quer dizer que ele tem baixa toxicidade e não propaga chamas. Já o fluido que estiver no grupo B3 tem alta toxicidade e alta inflamabilidade. Na Tabela 5, há a classificação dos fluidos naturais.

Tabela 5 – Classificação dos fluidos naturais

Fluido frigorífico	Fórmula química	Substituto do	PDO (R11 = 1,0)	GWP 100a (CO_2 = 1,0)	Grupo de segurança	Limite prático (kg/m³)
R717	NH_3	R22 (R502)	0	0	B2	0,00035
R723	NH_3/R-E170	R22 (R502)		8	B2	N/A
R600a	C_4H_{10}	R114, R12		3	A3	0,011
R290	C_3H_8	R22 (R502)		3	A3	0,008
R1270	C_3H_6	R22 (R502)		3	A3	0,008
R170	C_2H_6	R13, R503		3	A3	0,008
R744	CO_2	Diversos		1	A1	0,07

Observação: o limite prático representa o maior nível de concentração a que uma pessoa poderia se expor sem apresentar efeitos nocivos à saúde.

Fontes: EN378-1:2012. ASHRAE 34: 2010; BITZER Refrigerant Report A-501-17. Fonte: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs-PBH**: fluidos frigoríficos naturais em sistemas de refrigeração comercial. Brasília, 2015.

Descarte correto do fluido refrigerante e lubrificante

Os fluidos frigoríficos dos equipamentos de refrigeração e climatização devem ser recolhidos e armazenados em cilindros de recolhimento apropriados para essa finalidade. Eles devem ser utilizados, reciclados por unidade local ou enviados em cilindros apropriados para uma unidade de reciclagem ou central de regeneração. Em hipótese alguma podem ser liberados na atmosfera, com exceção dos hidrocarbonetos.

Os lubrificantes também devem ser recolhidos em recipientes apropriados com as devidas identificações e enviados para os postos de reciclagem. Em hipótese alguma eles devem ser descartados no meio ambiente.

Procedimentos para limpeza do sistema frigorífico

A limpeza do sistema frigorífico começa com o acondicionamento e armazenamento das partes que formam o sistema ou parte dele. Não deixar, por exemplo,

os compressores com as válvulas ou tubos de processos abertos para que entre poeira e umidade; fechar as extremidades dos tubos no estoque ou na obra; quando realizar o corte dos tubos, não deixar os cavacos ou limalhas de cobre dentro deles; realizar a brasagem com atmosfera modificada (circulação de nitrogênio) para evitar a formação de carepas etc.

Ao se tratar da limpeza do sistema quando ocorre a queima do compressor ou quando, por algum motivo, os trocadores de calor e linhas estiverem impregnados de óleo, o recomendado é que se faça a limpeza com R141b.

A limpeza do sistema é feita circulando R141b com o auxílio de uma bomba, ou inundando o sistema; depois, retirar o R141b com nitrogênio pressurizando em um dos lados e aparando-o na outra extremidade para posterior reutilização, atendendo às legislações vigentes. Na Figura 1, observa-se uma situação de limpeza do sistema e os materiais utilizados.

Acervo SENAI-SP

Figura 1 – Exemplo de limpeza do sistema.

Programa Brasileiro de Eliminação de HCFCs (PBH)

Em comemoração aos 20 anos do Protocolo de Montreal em 2007, foi decidido, por meio da Decisão XIX/6, antecipar o cronograma de eliminação dos HCFCs (hidroclorofluorcarbonos).

Os HCFCs, além do potencial de destruição da camada de ozônio, têm alto impacto sobre o sistema climático global.

Todos os Estados participantes comprometeram-se a cumprir o novo cronograma de eliminação dos HCFCs. Para os países em desenvolvimento, os prazos foram determinados como ilustrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Cronograma de eliminação dos HCFCs para os países em desenvolvimento

Ano	Ação
2013	Congelamento do consumo dos HCFCs (média do consumo de 2009 e 2010) – Linha de base
2015	Redução de 10,0% do consumo sobre a linha de base
2020	Redução de 35,0% do consumo sobre a linha de base
2025	Redução de 67,5% do consumo sobre a linha de base
2030	Redução de 97,5% do consumo sobre a linha de base
2040	Eliminação do consumo

Fonte: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs-PBH**: fluidos frigoríficos naturais em sistemas de refrigeração comercial. Brasília, 2015.

Em 2009, o governo brasileiro, em seminário nacional, elaborou o Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH), documento que define as diretrizes e ações a serem executadas no Brasil relacionadas ao cumprimento das metas de eliminação do consumo dos HCFCs estabelecidas pelo Protocolo de Montreal até 2015.

A Tabela 6 mostra um resumo do que está sendo executado no Brasil.

Tabela 6 – Resumo do que está sendo executado no Brasil quanto à eliminação dos HCFCs

Substância	Setor	Aplicação	Quantidade (toneladas métricas)	Quantidade (toneladas PDO*)
HCFC-141b	Manufatura PU**	Painéis contínuos	294,1	32,4
		Pele integral/ flexível moldada	789,21	86,8
		PU rígido	450,91	49,6
	Subtotal		**1.534,22**	**168,8**
HCFC-22	Ações regulatórias	Refrigeração e ar condicionado	26,7	1,5
	Serviços	Refrigeração e ar condicionado	909,09	50
	Subtotal		**935,79**	**51,5**
TOTAL			**2.470,01**	**220,3**

NOTAS
*PDO = potencial de destruição do ozônio.
**PU = poliuretano.

Fonte: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs-PBH**: fluidos frigoríficos naturais em sistemas de refrigeração comercial. Brasília, 2015.

Mediante a retirada dos HCFCs, surgiram fluidos alternativos, como os HFCs, que, por sua vez, também já estão sendo eliminados em alguns países por terem um alto impacto sobre o sistema climático global.

Os fluidos naturais destacam-se por não agredir a camada de ozônio e ter um baixo impacto no sistema climático global.

Sobre o uso de dióxido de carbono (R-744, CO_2), amônia (R-717, NH_3) e hidrocarbonetos (R-600a, R-290 etc.), a aplicação dos fluidos naturais limita-se quanto à sua classificação em relação à toxicidade e à inflamabilidade.

Recomendações sobre substituição de fluidos frigoríficos (RENABRAVA)

É importante orientar os profissionais que atuam nas áreas de projeto, comissionamento, operação e manutenção de sistemas de refrigeração e de climatização quanto à alteração do fluido frigorífico em equipamentos de refrigeração e

condicionamento de ar, quanto aos aspectos de responsabilidade, em razão da toxicidade, da inflamabilidade e das pressões de trabalho.

Os itens a serem analisados quanto à substituição do fluido frigorífico são:

a. Aprovação da alteração do fluido frigorífico pelo fabricante do equipamento.

b. Reconhecimento como fluido frigorífico quanto à sua designação e às suas propriedades – listado na ASHRAE 34 e na AHRI 700.

c. Fabricante reconhecido com produto certificado e documentação técnica completa.

d. Classificação dos fluidos frigoríficos quanto à sua toxicidade e inflamabilidade.

e. Limitações de aplicação em função do ambiente atendido, limites de toxicidade e de inflamabilidade.

f. Cuidados com a análise de desempenho incompleta, em que somente as pressões de alta e baixa e as leituras de consumo elétrico são usadas para comparar desempenho.

6. Procedimentos de manuseio de tubos de cobre aplicados para refrigeração e climatização

Procedimentos para corte

Procedimentos para escareamento

Procedimentos para expansão dos tubos

Procedimentos para flangeamento

Procedimentos para confecção de curvas

Procedimentos para corte

Para realizar o corte dos tubos, primeiro deve-se escolher o tubo na medida correta. Para isso, é importante que se faça a medição dos tubos com o auxílio de um paquímetro, conforme demonstrado na Figura 1.

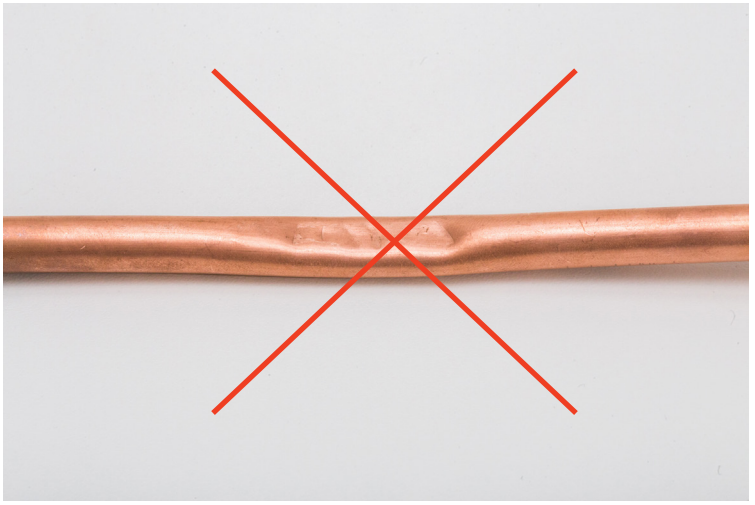
Acervo SENAI-SP

Figura 1 – Medição com paquímetro.

O tubo a ser cortado não deve estar empenado (torto) nem ovalizado, e, sim, o mais reto possível para que não se dificulte a confecção dos flanges, a passagem das porcas e do fluido frigorífico. A Figura 2 apresenta um exemplo de tubo reto, e a Figura 3, um exemplo de tubo ovalizado.

Acervo SENAI-SP

Figura 2 – Tubo reto.



Acervo SENAI-SP

Figura 3 – Tubo ovalizado.

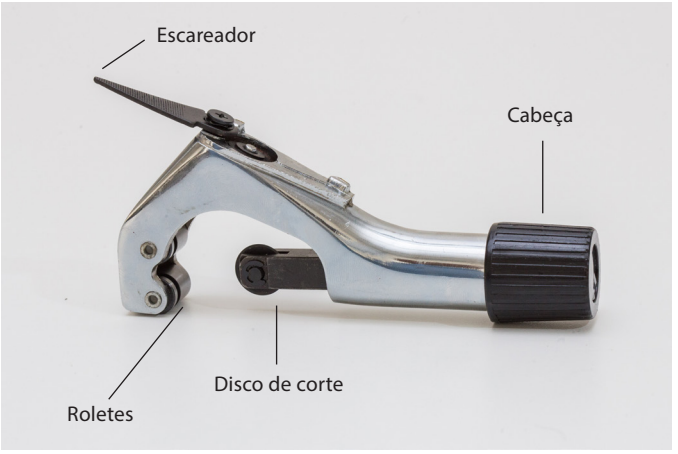
Para realizar o corte dos tubos, necessita-se de uma ferramenta que faça o corte o mais alinhado possível e que não danifique o tubo, não deixando cortes paralelos

ou amassados que comprometam a execução dos flanges e bolsas, ou até mesmo a resistência mecânica do material. Na Figura 4 há um exemplo de *kit* flangeador.

Acervo SENAI-SP

Figura 4 – *Kit* flangeador.

O cortador de tubos (ver Figura 5) é uma ferramenta utilizada na refrigeração para cortar tubos de cobre, de alumínio e de aço-carbono. Ele permite cortes sem rebarbas ou limalhas, que podem penetrar e obstruir o sistema.



Acervo SENAI-SP

Figura 5 – Exemplo de cortador de tubos.

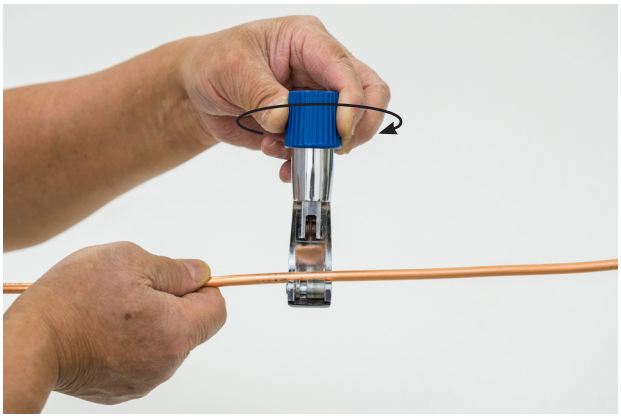
Para cortar tubos com auxílio de um cortador, deve-se proceder da seguinte maneira:

1. Girar a cabeça ou manopla do cortador de tubos no sentido anti-horário até que o disco de corte se afaste o suficiente para que se possa introduzir o tubo a ser cortado. Na Figura 6, é mostrada a abertura do cortador.

Acervo SENAI-SP

Figura 6 – Exemplo abertura da ferramenta.

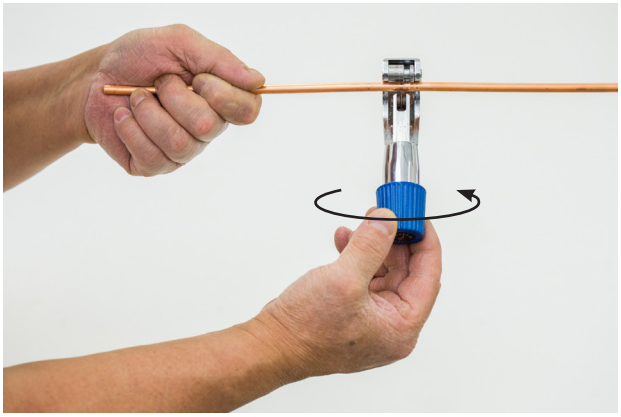
2. Girar a cabeça ou manopla do cortador no sentido horário até que a lâmina encoste no tubo com leve pressão (Figura 7).



Acervo SENAI-SP

Figura 7 – Exemplo do encaixe do tubo entre as roldanas da ferramenta.

3. Girar o cortador em torno do tubo. A cada volta, girar 1/4 de volta a cabeça do cortador no sentido horário e girar o cortador em torno do tubo até o seu corte final. Evitar apertar demasiadamente a cabeça do cortador de tubos, pois isso pode deformá-lo. Quando o local não permitir o movimento do cortador em torno do tubo, é possível cortá-lo em um movimento de vaivém girando o cortador em torno de 180º, como se vê na Figura 8.



Acervo SENAI-SP

Figura 8 – Exemplo do movimento de corte.

FIQUE ALERTA

Use equipamento de proteção individual nas atividades pertinentes, como no corte de tubos.

Procedimentos para escareamento

Quando se realiza o corte dos tubos, geralmente o diâmetro interno do tubo fica menor por causa do surgimento da rebarba (ver Figura 9). Para que isso não interfira no desempenho do sistema, é recomendada a retirada (escareamento) da rebarba com ferramentas apropriadas, as quais são mostradas na Figura 10.

Acervo SENAI-SP

Figura 9 – Exemplo de redução do diâmetro após o corte.

Acervo SENAI-SP

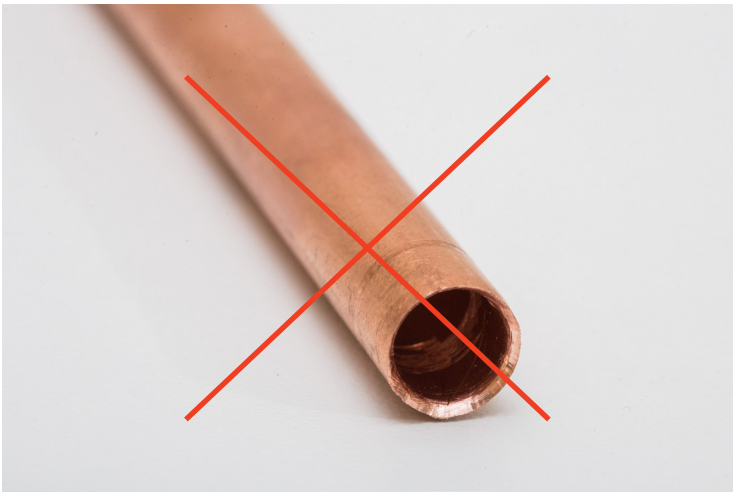
Figura 10 – Exemplos de escareadores.

É preciso, também, retirar as rebarbas do tubo com o auxílio de um escareador, que já vem incorporado no cortador de tubo. Ao escarear, virar a extremidade do tubo para baixo e retirar apenas a rebarba, tomando cuidado para não se ferir com a ponta do escareador, ou utilizar um escareador que não seja acoplado ao cortador de tubos. Na Figura 11, é apresentado um exemplo de escareamento.

Acervo SENAI-SP

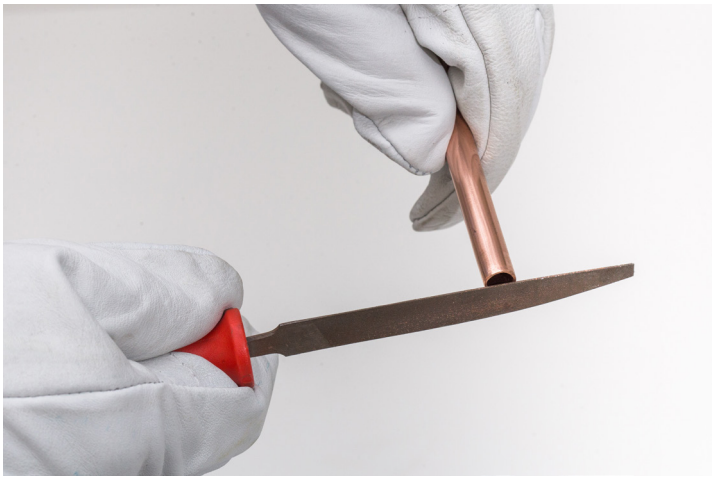
Figura 11 – Exemplo de escareamento.

Deve-se ter cuidado para não escarear em demasia (ver Figura 12). Quando isso acontece, a parede do tubo fica mais fina. Assim, deve-se limar a extremidade (boca) do tubo até atingir a sua espessura nominal. Esse procedimento deve ser feito com a extremidade do tubo (boca do tubo) para baixo, para evitar que a limalha de cobre fique dentro do tubo. Na Figura 13, há um exemplo de desbaste da parte do tubo que ficou com espessura menor, e a Figura 14 mostra um tubo com a espessura correta após ser escareado e limado.



Acervo SENAI-SP

Figura 12 – Exemplo de tubo escareado em excesso.



Acervo SENAI-SP

Figura 13 – Exemplo de desbaste da parte do tubo que ficou com espessura menor.

Acervo SENAI-SP

Figura 14 – Exemplo de tubo com a espessura correta após ser escareado e limado.

Após o corte e o escareamento, deve-se fazer a vedação do tubo com um tampão de borracha. Essa vedação pode ser feita também com uma fita adesiva e visa impedir a entrada de umidade, poeira ou qualquer corpo estranho no tubo.

Procedimentos para expansão dos tubos

Para a expansão dos tubos, usa-se o expansor (alargador) de tubos, que pode ser hidráulico ou de impacto (ver Figura 15). Essa técnica de expansão é direcionada aos tubos recozidos.

Acervo SENAI-SP

Figura 15 – Exemplo de expansores hidráulico e de impacto.

O expansor (alargador) de impacto, como mostrado na Figura 16, é uma peça cilíndrica, torneada com várias medidas em polegadas correspondentes às medidas dos diâmetros dos tubos a serem alargados. Serve para expandir a extremidade dos tubos, permitindo que o tubo possa ser colocado dentro de outro por meio da parte expandida (bolsa), reduzindo as alterações do diâmetro interno.

Acervo SENAI-SP

Figura 16 – Exemplo de expansor de impacto.

Para alargar tubos de cobre com o alargador de impacto, deve-se proceder da seguinte maneira:

1. Prender o tubo a ser alargado na base do flangeador, deixando uma saliência maior, de cerca de 3 mm do diâmetro do próprio tubo (Figura 17). O tubo a ser alargado deve estar previamente cortado e escareado.

Acervo SENAI-SP

Figura 17 – Determinação do comprimento da bolsa.

2. Segurar com firmeza a base com uma das mãos e introduzir a ponta do alargador no tubo. Com a ponta do dedo da mão que segura a base, segurar também o corpo do alargador, conforme mostrado na Figura 18. A Figura 19 apresenta um exemplo da aplicação do impacto com martelo.

Acervo SENAI-SP

Figura 18 – Exemplo da introdução do alargador no tubo.

Acervo SENAI-SP

Figura 19 – Exemplo da aplicação do impacto com martelo.

3. Girar o alargador a cada impacto dado pelo martelo, para evitar que o alargador trave no tubo.

FIQUE ALERTA

A altura da bolsa corresponde ao comprimento indicado no expansor conforme o diâmetro determinado.

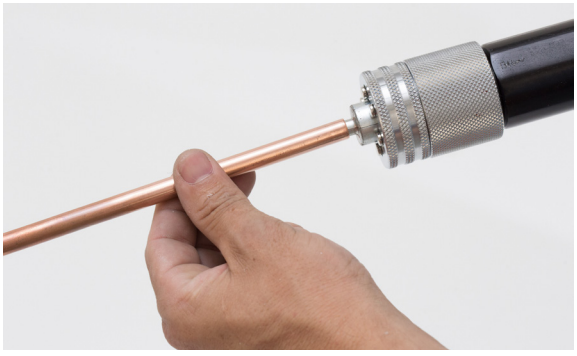
Com o uso do expansor hidráulico, não é necessário o uso da morsa (base) do flangeador. Para expandir o tubo com o uso do expansor hidráulico, deve-se proceder da seguinte maneira:

1. Selecionar o bico expansor de acordo com o diâmetro desejado e acoplá-lo no corpo do expansor, rosqueando-o (ver Figura 20).

Acervo SENAI-SP

Figura 20 – Exemplo da colocação do bico expansor.

2. Introduzir o bico expansor dentro do tubo e, então, começar a bombear até que se atinja o diâmetro adequado. Na Figura 21, é mostrada a inserção do bico no tubo.



Acervo SENAI-SP

Figura 21 – Exemplo da inserção do bico no tubo.

3. Após a inserção correta do bico expansor no tubo, girar o parafuso lateral do expansor no sentido "fechar" ("*close*") até que o óleo seja bombeado. Bombear movimentando a alavanca até o limite da bolsa (Figura 22).

Acervo SENAI-SP

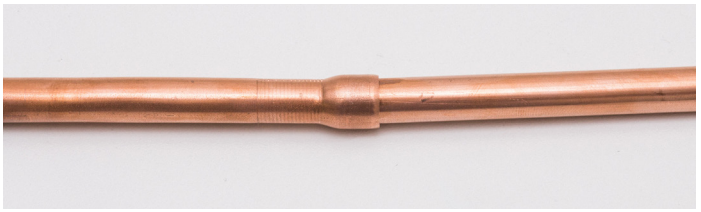
Figura 22 – Exemplo de expansão do tubo.

4. Após atingir o limite, girar o parafuso no sentido "abrir" ("*open*") até o bico voltar à posição inicial; desencaixar o bico da bolsa (Figura 23).

Acervo SENAI-SP

Figura 23 – Exemplo de bolsas.

A folga entre os tubos macho e fêmea não deve ser pequena demais nem muito grande; o ideal é que fique entre 0,05 mm e 0,18 mm para que ocorra uma boa penetração do material de adição na folga entre os tubos, ou seja, para que ocorra uma boa pressão capilar. Na Figura 24, tem-se um exemplo de união através de bolsa.



Acervo SENAI-SP

Figura 24 – Exemplo de união através de bolsa.

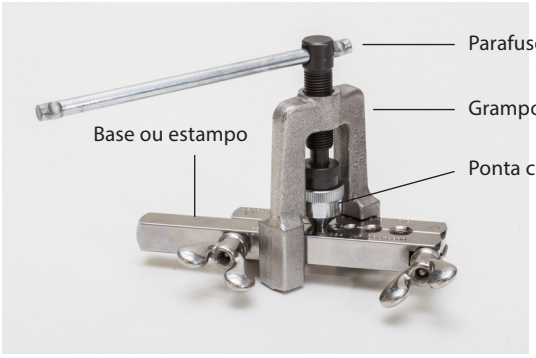
Procedimentos para flangeamento

Os flangeadores são ferramentas que servem para dar forma cônica à extremidade do tubo de cobre, permitindo conexão com vedação completa através de porca e uniões cônicas.

Para esse procedimento, os mais comuns são o flangeador convencional e o excêntrico.

Flangeador convencional

No flangeador convencional (Figura 25), o tubo é preso à base e fixado em suas paredes por anéis espaçados um do outro que se introduzem na parede do tubo, não permitindo a sua movimentação; a ponta cônica vai sendo introduzida no tubo concentricamente à medida que se gira o parafuso, formando, assim, o flange.



Acervo SENAI-SP

Figura 25 – Flangeador convencional.

Flangeador excêntrico

Nesse tipo de flangeador, o tubo é preso à base da mesma maneira que no convencional. A diferença está somente na conformação do flange: sua ponta cônica gira fora de centro em relação ao tubo, dando melhor acabamento e conformação. Um exemplo de flangeador excêntrico é mostrado na Figura 26.

Acervo SENAI-SP

Figura 26 – Exemplo do flangeador excêntrico.

Nesse flangeador é integrado um torquímetro, que, ao atingir o torque estabelecido, a borboleta do parafuso do grampo (alavanca) escorrega deixando de transferir o movimento para o parafuso, indicando que atingiu o limite de torque. Esse limite é para evitar o forjamento (endurecimento) da parede do flange contra a parede da base; quando a parede do flange é muito forçada contra a parede da base, o escoamento do material é limitado.

Uma vez que o escoamento da parede do flange limitado dificulta a vedação do tubo com o niple união, o ideal é que o material escoe no momento do aperto, aumentando a área de contato das partes cônicas entre o tubo e o niple, garantindo a vedação.

Os orifícios da base são chanfrados (escareados) e trazem estampadas as medidas dos respectivos diâmetros em polegadas, que podem ser usadas para medição do diâmetro dos tubos. A Figura 27 apresenta a base do flangeador convencional, e a Figura 28, a base do flangeador excêntrico.

Acervo SENAI-SP

Figura 27 – Base do flangeador convencional.

Acervo SENAI-SP

Figura 28 – Base do flangeador excêntrico.

Para flangear o tubo de cobre, proceder da seguinte maneira:

1. Soltar as borboletas da base e introduzir o tubo cortado e escareado no orifício correspondente ao diâmetro do tubo, deixando cerca de 3 mm de saliência do tubo acima da base cônica, conforme mostrado na Figura 29.

Acervo SENAI-SP

Figura 29 – Exemplo da medição da altura do tubo para fazer o flange.

2. Apertar as borboletas da base (Figura 30).

Acervo SENAI-SP

Figura 30 – Demonstração de como fixar o tubo na base.

3. Colocar o grampo com ponta cônica na base, de modo que fique alinhado com o orifício do tubo. Esse procedimento pode ser visto na Figura 31.

Acervo SENAI-SP

Figura 31 – Exemplo do flangeamento.

4. Apertar o parafuso do grampo, segurando a base, até que a ponta cônica do grampo estampe o flange. Se a parte flangeada ficar irregular, será preciso cortá-la e refazer o flange.

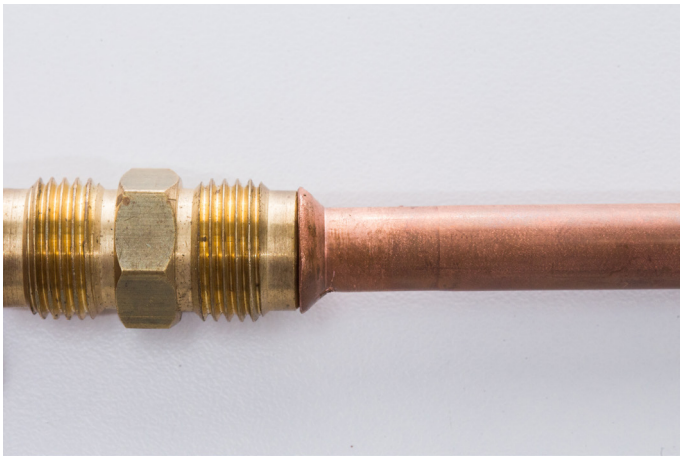
5. Verificar se o flange ficou bem feito.

Na Figura 32, há exemplos dos flanges bem-feitos.

A

Acervo SENAI-SP

B



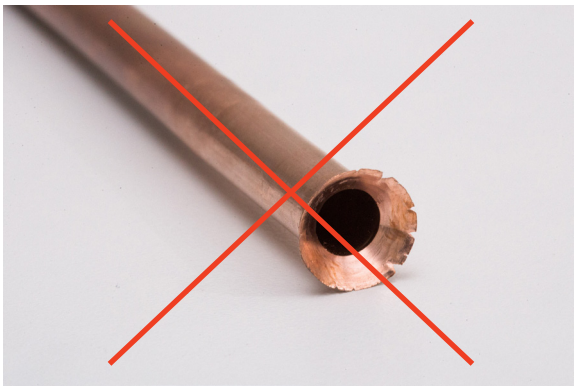
Acervo SENAI-SP

C

Acervo SENAI-SP

Figura 32 – **A** a **C**. Flanges.

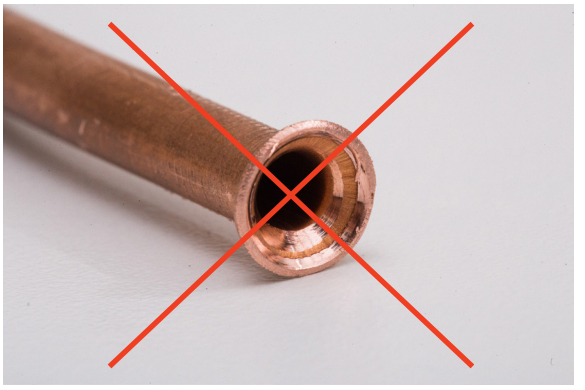
Quando o escareamento é feito em excesso e não é desbastado com lima, a tendência é que a parede do flange fique trincada por falta de material, limitando o escoamento. Isso pode ser visto na Figura 33.



Acervo SENAI-SP

Figura 33 – Exemplo do flange trincado.

Quando não é feito o escareamento, o material em excesso enrola para dentro do tubo, formando um ressalto na extremidade do flange que impede o contato de toda a área do flange com a área do cone do niple, impossibilitando sua vedação. A Figura 34 apresenta um exemplo de flange enrolado.



Acervo SENAI-SP

Figura 34 – Exemplo do flange enrolado.

Procedimentos para confecção de curvas

As curvas dos tubos devem ser feitas com o uso de ferramentas apropriadas para evitar que estas fiquem estranguladas ou enrugadas, aumentando a perda de carga na tubulação.

A ferramenta mais comum para fazer as curvas em tubos de cobre são os curvadores (Figura 35).

Acervo SENAI-SP

Figura 35 – Exemplo de curvadores.

Os curvadores apresentam vários tamanhos e formas. Para diâmetros menores, como 1/4", 5/16" e 3/8", essas três medidas já vêm em um único curvador. Já para as medidas maiores, é uma ferramenta por medida.

Quando se fala, por exemplo, do curvador de 1/2", quer-se dizer que essa ferramenta tem o raio apropriado para fazer a curva no tubo de 1/2", ou seja, não é necessário se preocupar em determinar a medida do raio para os diferentes diâmetros; é só usar o raio da ferramenta específica para o diâmetro desejado.

Para determinar o comprimento total da tubulação, é preciso que se determine o comprimento de tubo necessário que será consumido na confecção das curvas e, depois, somar o perímetro de cada curva ao restante da metragem.

Para o cálculo do perímetro, recorre-se à equação de acordo com cada ângulo.

Onde:

P = perímetro

2 = constante

$\pi = 3{,}14$

R = raio do curvador

$P = \pi \times r$ para curvas de 180°

$P = \frac{\pi \times r}{2}$ para curvas de 90°

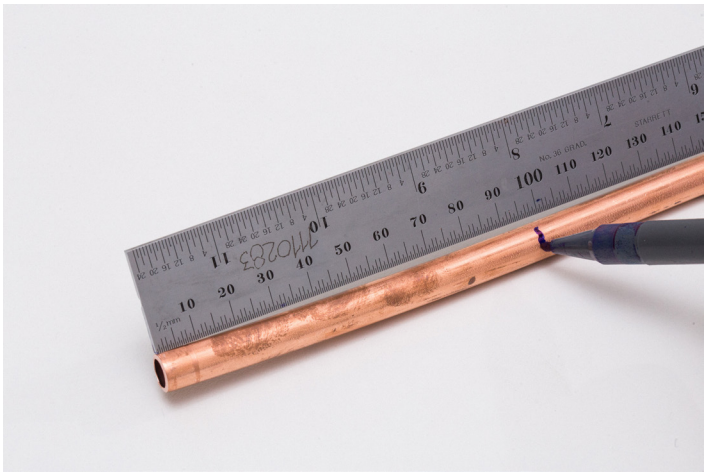
$P = \frac{\pi \times r}{4}$ para curvas de 45°

Para a confecção das curvas, deve-se:

1. Fazer o cálculo do perímetro de cada curva conforme as equações anteriores.

2. Depois de determinar o comprimento referente ao perímetro, deve-se somar com as outras medidas para se obter o comprimento total da tubulação.

3. Após a determinação do comprimento total, fazer as marcações dos comprimentos em que se deseja fazer as curvas. Na Figura 36, há um exemplo de marcação de tubo.

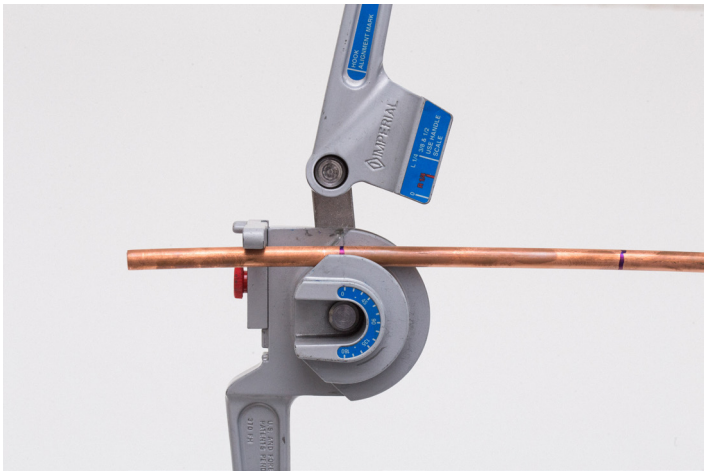


Acervo SENAI-SP

Figura 36 – Marcação de tubo.

4. Antes, fazer outra marcação, correspondente ao comprimento do raio da ferramenta. Esta será a marcação que ficará alinhada com o 0° (zero grau) da ferramenta.

5. Com o curvador apropriado, encaixar o tubo e alinhar a marcação do tubo com o zero da ferramenta (ver Figura 37).

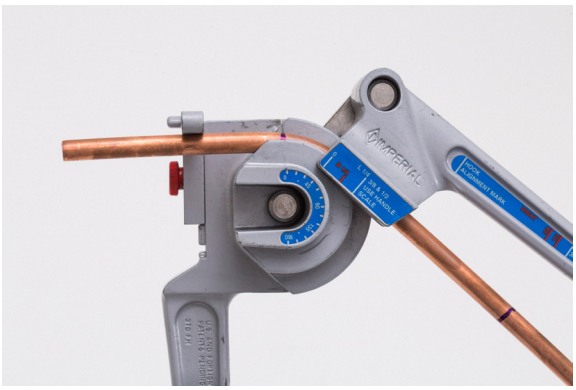


Acervo SENAI-SP

Figura 37 – Encaixe do tubo com a ferramenta.

6. Em seguida, começar a movimentar o cabo do curvador no sentido do ângulo desejado até formar a respectiva dobra. A sequência desse procedimento pode ser observada na Figura 38.

A



Acervo SENAI-SP

B

Acervo SENAI-SP

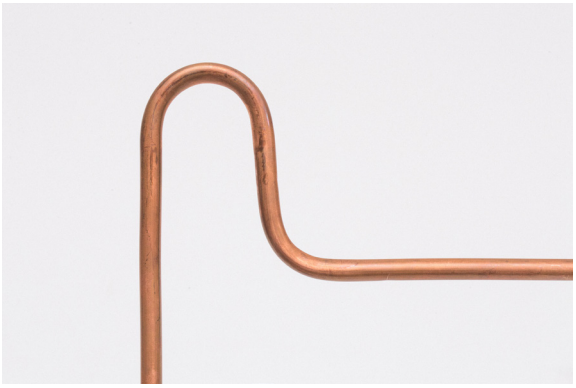
C

Acervo SENAI-SP

Figura 38 – **A** a **C**. Movimento do cabo curvador no sentido do ângulo desejado.

Na Figura 39, são apresentados exemplos de curvas corretas. Na Figura 40, há exemplos de curvas incorretas.

A



Acervo SENAI-SP

B

Acervo SENAI-SP

C

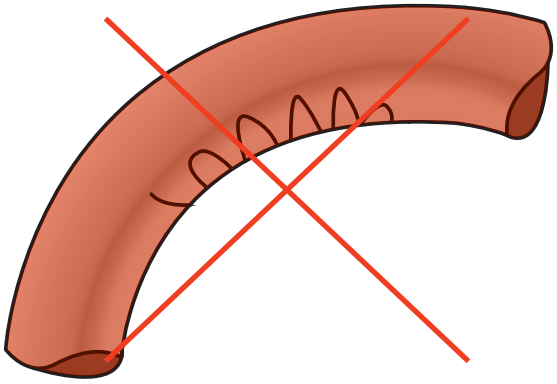
Acervo SENAI-SP

Figura 39 – **A** a **C**. Exemplos de curvas corretas.

A

Acervo SENAI-SP

B



Eduardo Tegeda

Figura 40 – **A** e **B**. Exemplos de curvas incorretas.

7. Processo de brasagem em tubos de cobre

Metais de adição

Preparação do tubo

Equipamentos aplicados na brasagem

Regulagem do maçarico oxiacetilênico

Brasagem com aplicação de nitrogênio

Conexões

Para o processo de brasagem, é necessário o uso de equipamentos de proteção individual (EPIs). Os EPIs recomendados para esse processo são:

- Óculos escuros para solda oxiacetilênica.
- Óculos de segurança.
- Avental de couro.
- Mangote de couro.
- Luva de raspa.
- Sapato de segurança.

A Figura 1 apresenta exemplos dos EPIs citados.

Acervo SENAI-SP

Figura 1 – EPIs que devem ser utilizados no processo de brasagem.

É essencial que o técnico de refrigeração e climatização (soldador) domine perfeitamente os processos de brasagem para o seu exercício profissional.

As ligações metálicas podem ser realizadas por: rebitagem, aparafusamento e soldagem (brasagem), que se classificam em uniões desmontáveis e fixas.

Soldagem é o processo de união metálica ou não metálica que ocorre por meio da fusão do metal de base, e pode utilizar ou não o metal de adição.

O tema tratado neste capítulo restringe-se à brasagem (solda forte), por ser o meio mais utilizado de união de tubos dos sistemas de refrigeração e climatização.

A brasagem é o processo pelo qual são realizadas as uniões metálicas por meio da fusão do metal de adição, sem, no entanto, fundir o metal de base. É classificada em solda branda e solda forte.

A solda branda diferencia-se pela menor resistência mecânica e em razão do fato de a temperatura de trabalho do metal de adição ser inferior a 450°C.

A solda forte é o processo pelo qual os metais de adição se fundem a uma temperatura menor que as do metal de base e acima de 450°C.

No processo de brasagem, na área de refrigeração como um todo, é importante conhecer o metal de adição e a fonte de calor aplicados no processo.

Por exemplo, para a solda fraca é utilizado o metal de adição de chumbo e estanho, e a fonte de calor é de uma resistência elétrica (ferro de solda); já para a brasagem, o metal de adição pode ser de cobre fosforoso ou liga de cobre mais prata, e a fonte de calor é proveniente da combustão, conjunto oxiacetileno.

Para a formação da brasagem, deve ocorrer a combinação de três fenômenos físicos: umectação, capilaridade e difusão molecular.

Umectação é a capacidade que o metal de adição na fase líquida tem de umectar um sólido (metal de base).

Para ocorrer a umectação, é preciso que existam entre as superfícies da junta:

- Compatibilidade entre o metal de adição e o metal de base.
- Limpeza, sem nenhum vestígio de óleo, graxa, gordura e óxidos.
- Temperatura: aquecer uniformemente a junta de maneira que o metal de adição, ao tocar o metal de base, se funda e flua por toda a superfície da junta.

Capilaridade é um conjunto de fenômenos físicos que promove a penetração do metal de adição entre as superfícies da junta. Para que o metal de adição preencha os vazios entre as superfícies a serem brasadas, é necessário obedecer ao intervalo de folga preestabelecido entre as superfícies, que é de 0,05 mm a 0,2 mm.

Na confecção da bolsa, por exemplo, é importante usar uma ferramenta que permita essa folga. Se a folga ficar menor, a junta não será preenchida por completo, pois o material de adição terá resistência para fluir; caso fique maior, formará bolhas de gás e óxidos na poça de fusão, comprometendo a qualidade do trabalho.

A difusão molecular ocorre quando há o aquecimento da peça e as moléculas se afastam uma da outra, facilitando a penetração do metal de adição entre essas moléculas. Quando ocorre o resfriamento da peça, as moléculas se atraem aprisionando o metal de adição, criando aderência entre o metal de base e o metal de adição. Esse fenômeno só ocorre com uma temperatura acima de 450°C.

Metais de adição

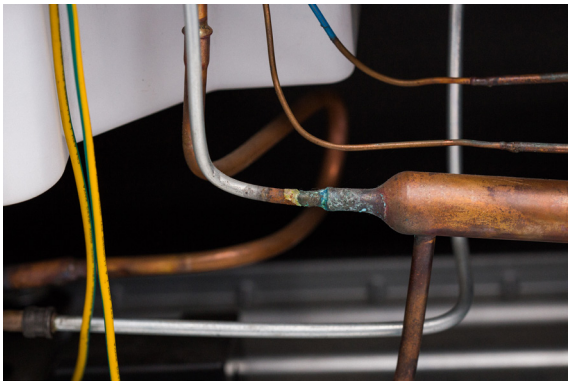
O metal de adição (vareta de solda) é o metal que se funde preenchendo o espaço entre as superfícies do metal de base a serem unidas, que podem ser de cobre com cobre, cobre com latão, cobre com ferro etc.

Na Figura 2, há um exemplo de solda de cobre com cobre (Figura 2A) e de solda de cobre com ferro (Figura 2B).

A

Acervo SENAI-SP

B



Acervo SENAI-SP

Figura 2 – (**A**) Solda de cobre com cobre. (**B**) Solda de cobre com ferro.

Para união dos tubos utilizados nos sistemas de refrigeração e climatização, os metais de adição mais usados são de: **foscoper**, **silfoscoper** e **prata**. Na Figura 3, há exemplos de varetas de prata e foscoper.

Acervo SENAI-SP

Figura 3 – Varetas de prata e foscoper.

Foscoper é uma liga de cobre com fósforo utilizada na união cobre com cobre; não é necessário o uso de fluxo, porém, as superfícies devem ser limpas (livre de óleos e graxas) e lixadas, a fim de eliminar os óxidos.

É desaconselhável o uso de foscoper em tubulações sujeitas a vibrações ou que trabalhem com temperaturas acima de 100°C.

Silfoscoper é uma liga de cobre, fósforo e prata. São comercializadas ligas silfoscoper com 2%, 5% e 15% de prata. Quanto maior o teor de prata, maior será a resistência das uniões a vibrações e tensões. Essa liga não é indicada para a brasagem de ferro, níquel e aço.

Para uniões de cobre com cobre, tem-se:

- Silfoscoper com 2% de prata: é indicada para a brasagem de tubos com o diâmetro de 1/2" até 1".
- Silfoscoper com 5% de prata: é indicada para brasagem de tubos com o diâmetro de 1" até 2".
- Silfoscoper com 15% de prata: é indicada para brasagem de tubos com o diâmetro acima de 2".

A silfoscoper é recomendada também para a brasagem dos tubos dos compressores, tubo de sucção, descarga e serviço. Os tubos são de aço banhados de cobre, e essas uniões estão sujeitas a vibrações e tensões.

As varetas de foscoper e silfoscoper dispensam o uso de fluxo, pois o fósforo faz com que essas ligas sejam autofluxantes. No entanto, quando for realizada a brasagem de latão ou bronze, será necessário o uso de fluxo.

> FIQUE ALERTA
>
> Foscoper e silfoscoper não devem ser usadas em tubulações expostas a agentes químicos derivados de enxofre, pois haverá reação com o fósforo e rápida degradação da junta.

A **solda prata** permite a união da maioria dos metais ferrosos e não ferrosos, com exceção do magnésio e alumínio ou de metais com ponto de fusão abaixo de 800°C. Podem ser também soldados aço, aço inoxidável, aço galvanizado e aço cobreado.

A solda prata, por apresentar alta resistência a vibrações e tensões, é indicada para brasagem dos tubos de processos dos compressores, separadores de líquido que são de aço cobreado ou somente de aço. Nos casos em que o diâmetro da tubulação for acima de 1/2" e sujeita a vibrações e altas temperaturas, dar preferência para a vareta de solda prata mesmo que a junta seja de cobre com cobre.

Nas juntas em que se utilizar solda prata, deve-se usar o fluxo para a eliminação dos óxidos e quebrar as tensões superficiais do líquido (vareta fundida), facilitando a umectação da junta.

São comercializadas, por exemplo, as varetas com 15%, 25%, 40% e 56% de prata; na composição dessa liga não é utilizado o fósforo.

As varetas devem ser acondicionadas em embalagens para evitar óxidos e contaminação com óleo, graxas etc.

São características comuns a todos os metais de adição:

- Temperatura de fusão adequada.
- Boa molhabilidade (umectação).
- Boa fluidez para assumir o lugar do fluxo na junta.
- Propriedades mecânicas compatíveis com a aplicação.

Preparação do tubo

A preparação dos tubos para brasagem é feita para que as superfícies dos tubos fiquem isentas de graxas, óleos e óxidos. Para remover esses vestígios, deve-se utilizar um pano que não solte fiapos e passá-lo sobre os tubos, removendo a sujeira, como mostrado na Figura 4.

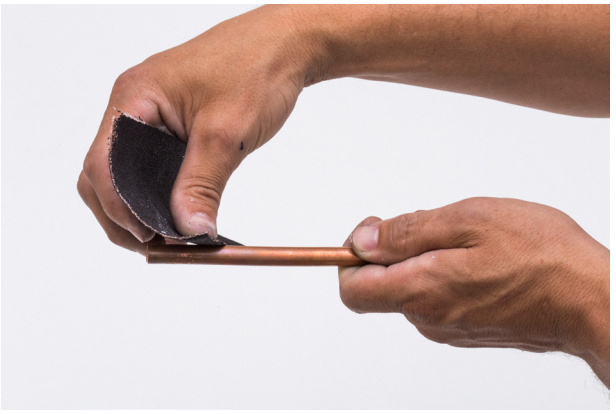
Acervo SENAI-SP

Figura 4 – Limpeza de tubo.

Para a remoção dos óxidos, faz-se o lixamento das superfícies, de preferência com uma lixa fina ou esponja abrasiva (de uso industrial), a fim de que as ranhuras formadas pelo lixamento favoreçam a distribuição do metal de adição ao longo da junta.

Deve-se evitar o lixamento do tubo macho no sentido circular e que os riscos fiquem profundos, dificultando a fluidez do metal de adição. Por esse motivo, é recomendado o uso da esponja abrasiva: quanto mais liso o tubo ficar, melhor será a fluidez (umectação).

Na Figura 5, tem-se um exemplo de lixamento do tubo.



Acervo SENAI-SP

Figura 5 – Lixamento de tubo.

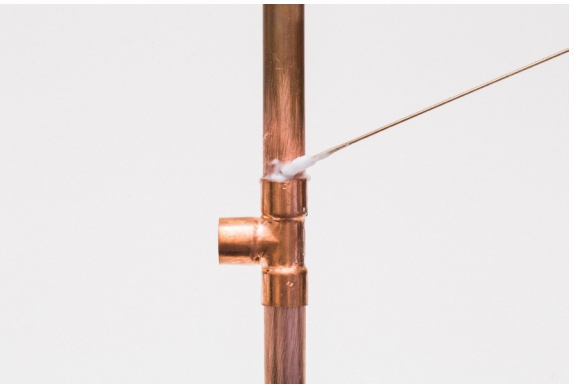
Como já se sabe, quando o metal de adição for a vareta de prata, deve ser aplicado o fluxo sobre as superfícies a serem brasadas.

É recomendado que a aplicação do fluxo nos tubos seja feita com um pincel ou com a própria vareta de solda, como mostrado na Figura 6. O fluxo pode ser aplicado antes ou durante o aquecimento. Deve-se evitar o excesso de fluxo, pois o excesso ficará dentro da tubulação e contaminará todo o sistema de refrigeração. O metal de adição substituirá o fluxo, removendo-o para fora da junta.

A

Acervo SENAI-SP

B



Acervo SENAI-SP

Figura 6 – (**A**) Aplicação do fluxo com pincel. (**B**) Aplicação do fluxo com vareta.

Fluxo

O fluxo é um decapante químico que ajuda na remoção de incrustações que impedem a fixação do material de adição no metal de base.

Os fluxos impedem a formação de óxidos durante o aquecimento; diminuem a tensão superficial do metal de adição na fase líquida, favorecendo a fluidez; indicam a temperatura de fusão do metal de adição, isto é, quando tiverem a mesma temperatura de fusão; e protegem a poça de fusão.

O processo de brasagem começa pela limpeza das superfícies a serem soldadas. Para eliminar os contaminantes e óxidos, aplica-se o fluxo para dissolver qualquer resquício de óxido metálico que tenha ficado nas superfícies. Em seguida, aquece-se uniformemente a área a ser soldada até que o fluxo atinja a temperatura de fusão e que o metal de base esteja na temperatura de fusão do metal de adição.

Como o metal de adição tem fluidez maior do que a do fluxo, o metal de adição desloca o fluxo para as extremidades da junta, o qual deve ser removido após o resfriamento, pois é quimicamente agressivo e pode causar corrosão.

FIQUE ALERTA

Remover todo o excesso de resíduo de fluxo utilizado na soldagem.

Equipamentos aplicados na brasagem

Entre os vários tipos de equipamentos dos quais se pode obter fonte de calor para a brasagem, serão abordados os mais utilizados na área de refrigeração e climatização. São eles: as unidades oxiacetileno, o oxigás e o turbo-tocha. Os gases usados nessas unidades de soldas são o oxigênio, o acetileno e o GLP.

São características do oxigênio (O_2):

- É um comburente para ambas as unidades.
- É incolor e insípido.
- Produzido comercialmente pela liquefação do ar.
- É armazenado em cilindros da cor preta para uso industrial, que podem chegar até uma pressão de 200 bar.

São características do acetileno:

- É um gás combustível, incolor e inodoro em sua forma pura.
- É mais leve que o ar.
- Obtido pela reação química de carbeto de cálcio (carboreto) e água.
- É armazenado em cilindros da cor vermelha em uma pressão de cerca de 15 bar.
- O cilindro é composto por uma pedra porosa.
- É dissolvido em acetona.

São características do GLP:

- É composto por butano e propano.
- É combustível.
- É incolor e inodoro em sua forma pura, porém, nele é adicionado o mercaptano, que tem odor; esse odor torna-se perceptível caso haja vazamento.
- É mais denso que o ar.
- É armazenado em cilindros da cor azul de várias capacidades, porém, os mais utilizados são os de 2 kg e 5 kg.

Conjunto oxiacetileno

É um conjunto formado por dois cilindros, um de oxigênio e outro de acetileno, com capacidades variadas, válvulas de segurança, mangueiras, maçarico e reguladores de pressão. Na Figura 7, há um exemplo de conjunto de solda portátil.

Acervo SENAI-SP

Figura 7 – Conjunto de solda portátil.

Conjunto de solda oxigás

São equipamentos constituídos por um botijão de gás liquefeito de petróleo (GLP) como combustível, gás oxigênio como comburente, reguladores de pressão, válvulas de proteção, maçarico, mangueiras e carrinho para transporte, formando o conjunto pronto para uso (PPU).

Turbo-tocha

O turbo-tocha é composto por um maçarico confeccionado em alumínio, que é acoplado diretamente em um cilindro que contém uma mistura de gases que fornece uma chama com temperatura de até 2.055°C. É indicado para brasagem de tubos de diâmetro de 1/4” até 11/4”.

A escolha de um ou de outro conjunto de solda depende da temperatura e do poder calorífico requerido para o processo de brasagem. O conjunto oxiacetileno tem maior poder calorífico, que chega até 3.100°C. O conjunto oxigás tem menor poder calorífico e atinge temperaturas na ordem dos 2.800°C, enquanto o turbo-tocha tem o menor poder calorífico e atinge temperaturas mais baixas.

Na Figura 8, a seguir, é apresentada a identificação dos componentes do conjunto de solda.

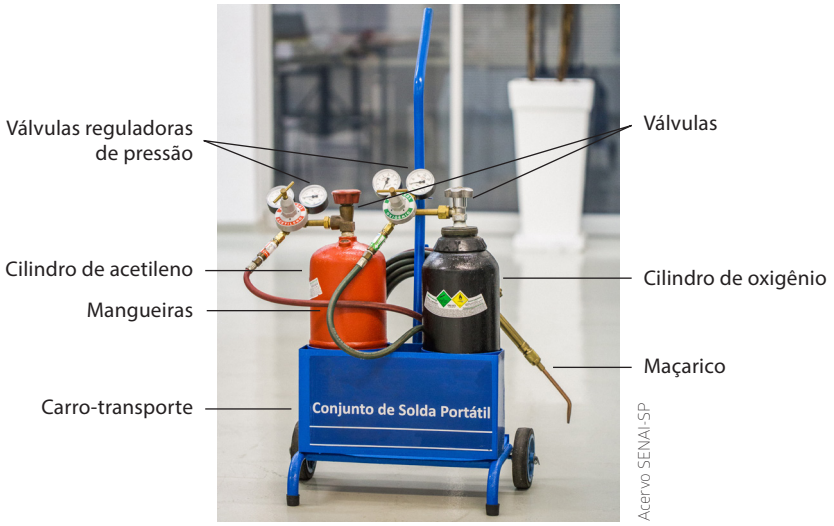


Figura 8 – Identificação dos componentes do conjunto de solda.

Sugere-se a quem ainda não tenha prática em soldagem que visite uma oficina e observe como se prepara um maçarico e como ele deve ser manuseado durante o processo de soldagem. É preciso acompanhar o processo de soldagem, observar o tipo de chama utilizada, o material a ser soldado, as precauções e os cuidados tomados para evitar acidentes.

O transporte dos cilindros de oxigênio e acetileno deve ser realizado em carrinho específico para esse fim, e os cilindros devem estar fixados no carrinho, sempre no sentido vertical, e não sofrer impacto.

Os cilindros devem ser armazenados em local fresco e arejado, sempre longe de fontes de calor, em razão do risco de explosão.

Além disso, não se deve lubrificar qualquer parte do conjunto de solda, por conter riscos de explosão, caso o lubrificante entre em contato com o oxigênio existente no cilindro.

Regulagem do maçarico oxiacetilênico

Para instalar os **reguladores de pressão** nos cilindros de oxigênio e acetileno, deve-se proceder da seguinte maneira:

1. Retirar os capacetes (tampas) e os lacres dos cilindros de acetileno e oxigênio. O cilindro de cada gás tem cor própria: o cilindro de oxigênio industrial utilizado na solda é de cor preta; e o acetileno é de cor bordô. É obrigatório o uso de capacete protetor dos cilindros para transporte. Por causa da alta periculosidade, é expressamente proibida a transferência de gases de um cilindro para outro.

2. Colocar os reguladores nos respectivos cilindros. Manter os cilindros fixos e na posição vertical. As válvulas de regulagem servem para diminuir a alta pressão dos gases nos cilindros e obter, assim, a pressão de trabalho.

3. Instalar as válvulas corta-fogo junto ao regulador de pressão ou junto ao cabo do maçarico. As válvulas corta-fogo servem para evitar que o maçarico engula a chama, o que é conhecido como "retrocesso". Em geral, esse importante acessório não acompanha o aparelho de solda de oxiacetilênica, sendo necessário adquiri-lo.

4. Verificar se as juntas das conexões dos reguladores estão corretamente fixadas e rosquear as conexões dos reguladores nas válvulas dos respectivos cilindros. Na Figura 9, são mostrados os componentes dos cilindros de oxigênio. É preciso ter atenção para não confundir as roscas das conexões: todas as conexões utilizadas no cilindro de oxigênio são roscas normais, isto é, roscas à direita (aperta-se à direta e afrouxa-se à esquerda). Já no cilindro de acetileno, todas as conexões utilizadas são roscas à esquerda, ou seja, não convencional (aperta-se à esquerda e afrouxa-se à direita).

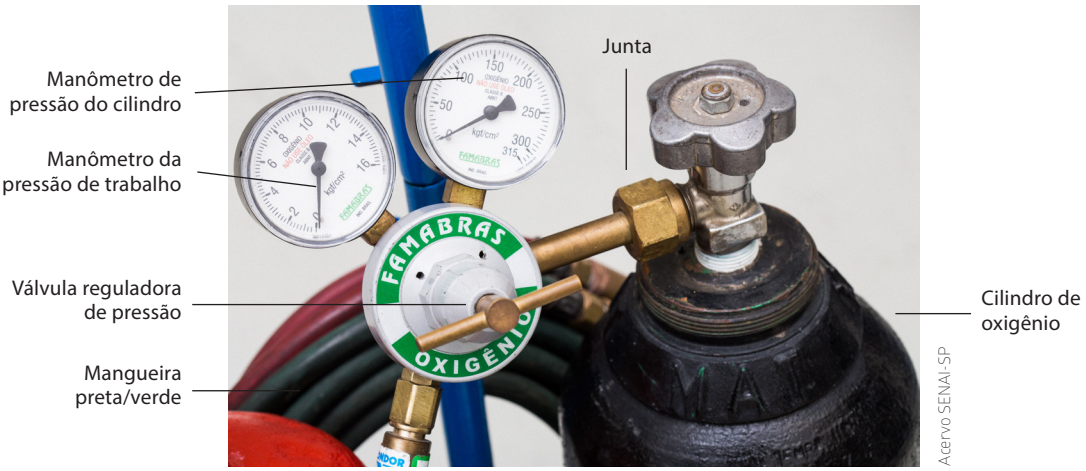


Figura 9 – Componentes do cilindro de oxigênio.

5. Apertar as conexões com o auxílio de uma ferramenta adequada.

6. Afrouxar os parafusos dos reguladores de pressão do oxigênio e do acetileno, girando-os completamente para a esquerda, antes de abrir as válvulas do acetileno ou do oxigênio. Ao apertar o parafuso regulador para a direita, obtém-se a pressão de trabalho, a qual pode ser observada no manômetro. Ao afrouxar o parafuso regulador para a esquerda, diminui-se a saída de pressão de trabalho. A Figura 10 demonstra o fechamento do regulador de pressão.

Figura 10 – Fechamento do regulador de pressão.

7. Dar 1/4 de volta na manopla e abrir o cilindro de oxigênio. O manômetro do lado do cilindro deve indicar a pressão do gás do cilindro (Figura 11).

Figura 11 – Abertura do registro no cilindro de oxigênio.

8. Apertar o parafuso regulador de pressão do oxigênio até que a pressão mostrada pelo manômetro do lado da mangueira indique cerca de 2 bar a 3 bar (kgf/cm²) (Figura 12). Regular a pressão de saída, de modo que a pressão de trabalho se mantenha sem variação.

Figura 12 – Regulagem da pressão de trabalho do oxigênio.

9. Apertar o parafuso regulador de pressão do acetileno até que a pressão mostrada pelo manômetro do lado da mangueira indique cerca de 0,4 bar a 0,5 bar (Figura 13). Regular a pressão de saída, de modo que a pressão de trabalho se mantenha sem variação.

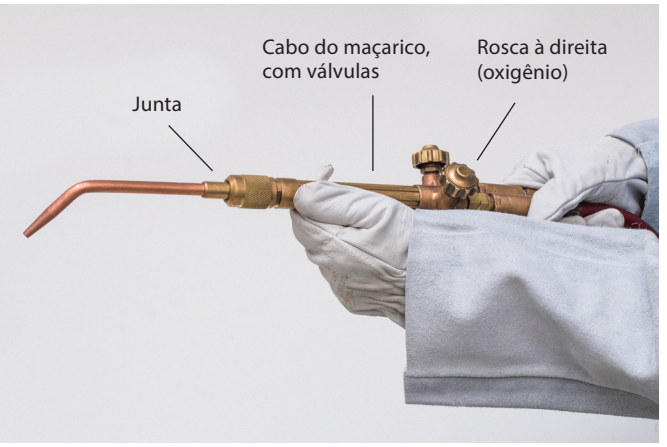
Acervo SENAI-SP

Figura 13 – Regulagem da pressão de trabalho do acetileno.

10. Verificar se há vazamento de gás, passando espuma de sabão nas conexões dos cilindros e das mangueiras do oxigênio e acetileno.

Para manusear o maçarico, seguir os procedimentos listados a seguir:

1. Colocar um bico médio no maçarico, de acordo com o material a ser soldado, e regular a pressão de saída do oxigênio. Geralmente, a soldagem utilizada em refrigeração é feita com bico médio (orifício de 1,6 mm de diâmetro), adequado para soldar material de 3 mm a 4 mm de espessura. Na Figura 14, são mostrados os componentes de um maçarico com oxiacetileno.



Acervo SENAI-SP

Figura 14 – Componentes do maçarico com oxiacetileno.

2. Abrir a válvula de acetileno, girando a manopla, que é de cor vermelha, e acender o maçarico apontando o bico para uma área segura. É obrigatória a utilização de óculos de segurança apropriados para solda oxiacetilênica. Procurar sempre manter o maçarico cerca de uns 4 m de distância dos cilindros de oxigênio e acetileno. Para acender o maçarico, recomenda-se usar somente o acendedor apropriado.

3. Abrir 1/4 de volta a válvula de acetileno e acender a chama. Depois, abrir a válvula de oxigênio, girando a manopla lentamente para obter a chama desejada. É importante saber distinguir os três tipos de chamas, que podem ser obtidos a partir da chama do acetileno já acesa com a liberação de uma quantidade igual (chama neutra), maior (chama oxidante) ou menor (chama carburante) de gás oxigênio. O acendimento da chama é apresentado na Figura 15.

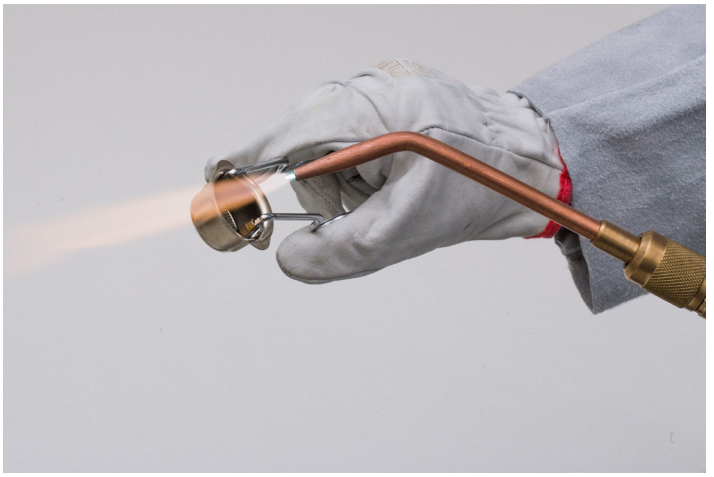


Figura 15 – Acendimento da chama.

4. Apagar a chama, fechando primeiro a válvula de acetileno e depois a de oxigênio do maçarico.

5. Fechar as válvulas dos cilindros do acetileno e oxigênio, e abrir as válvulas do maçarico para descarregar o gás retido nas mangueiras.

6. Fechar as válvulas do maçarico e soltar os parafusos dos reguladores de acetileno e oxigênio, fechando os reguladores.

Chama redutora ou carburante

A chama redutora ou carburante é obtida pela liberação de mais acetileno que oxigênio, o que faz com que essa chama seja menos quente que a chama neutra.

Esse tipo de chama caracteriza-se por uma cor azul-celeste e dois dardos: um dardo azul-claro sem brilho e outro azul-claro brilhante, como pode ser observado na Figura 16.

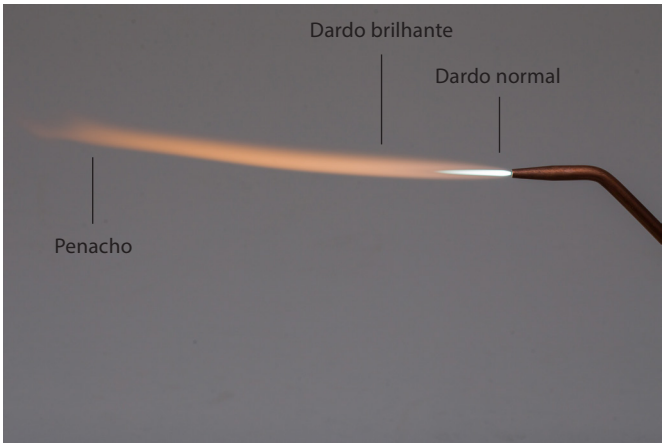


Figura 16 – Chama redutora ou carburante.

Chama neutra

A chama neutra é obtida pela liberação de quantidades iguais de oxigênio e de acetileno.

Esse tipo de chama caracteriza-se por uma cor azul-celeste e um dardo azul-claro brilhante com a ponta arredondada, como pode ser observado na Figura 17.

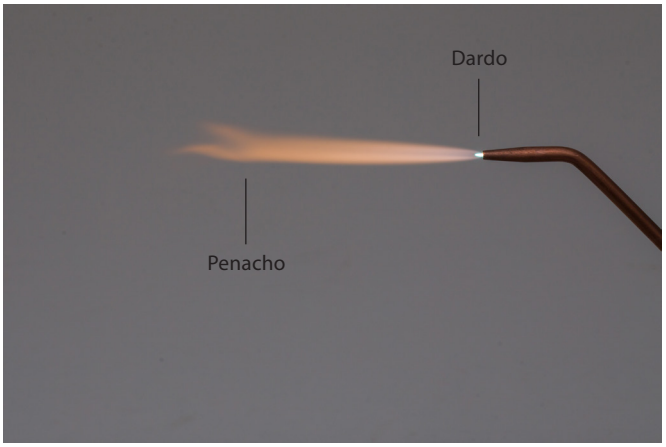
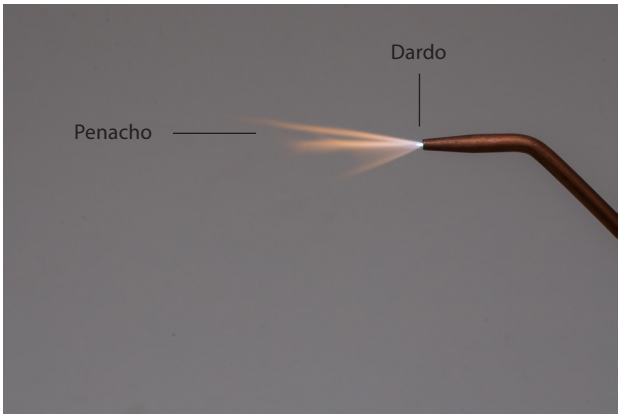


Figura 17 – Chama neutra.

Chama oxidante

A chama oxidante é obtida pela liberação de mais oxigênio que acetileno, e atinge temperaturas mais altas do que a chama neutra.

Esse tipo de chama caracteriza-se por uma chama azul-celeste e um dardo azul--claro brilhante com a ponta afinada, como se observa na Figura 18.



Acervo SENAI-SP

Figura 18 – Chama oxidante.

Brasagem de tubos de cobre

Para soldar juntas de encaixe de tubo de cobre com tubos de cobre, proceder da seguinte maneira:

1. Verificar se o tubo a ser soldado encontra-se com as superfícies limpas e livres de óleo e graxa. Para evitar que o maçarico "engula" a chama (retrocesso), não se esquecer de passar a agulha limpadora de orifício no bico de solda sempre que for utilizá-lo. Dependendo do local da solda, por exemplo, próximo ao gabinete do refrigerador, é necessário colocar uma placa de amianto entre o gabinete e a chama, para proteção da pintura, isolante térmico etc. Se o local de onde será feita a solda for de difícil acesso e fora do alcance visual, utilizar um espelho de bolso para verificar a solda por trás do tubo. A parte a ser soldada deve estar firmemente apoiada durante o processo de soldagem.

2. Alargar uma extremidade do tubo cerca de 10 mm de profundidade e encaixar a outra extremidade ou a medida da própria altura do tubo a ser soldado. Um exemplo da dimensão da bolsa pode ser observado na Figura 19.

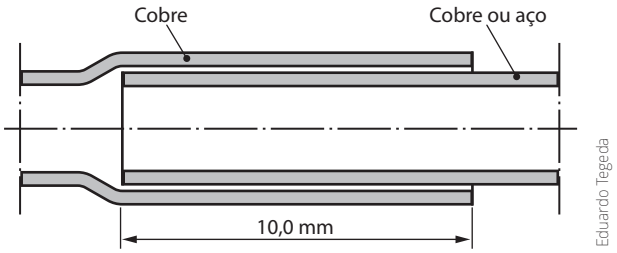


Figura 19 – Exemplo de dimensão da bolsa.

3. Acender o maçarico e o regular para chama neutra.

4. Soldar os tubos, procedendo-se da seguinte maneira:

- Pegar uma vareta de solda foscoper ou silfoscoper e o maçarico.
- Aproximar a chama do maçarico 2 cm ou 3 cm de distância da junta do tubo a ser soldado e fazer um rápido preaquecimento com movimentos circulares (Figura 20).

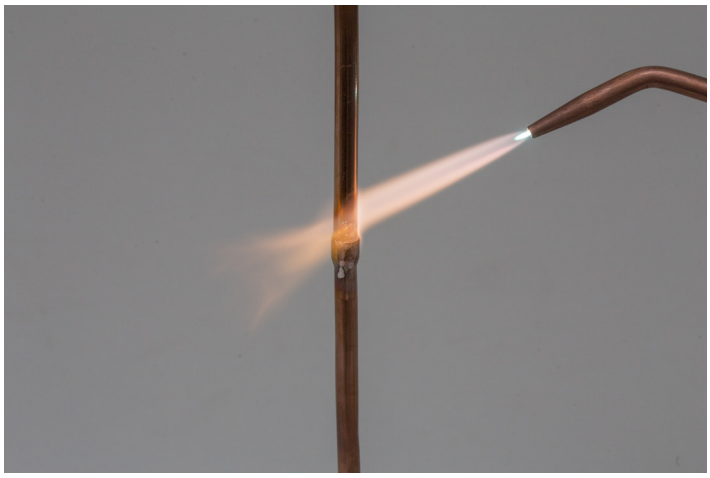
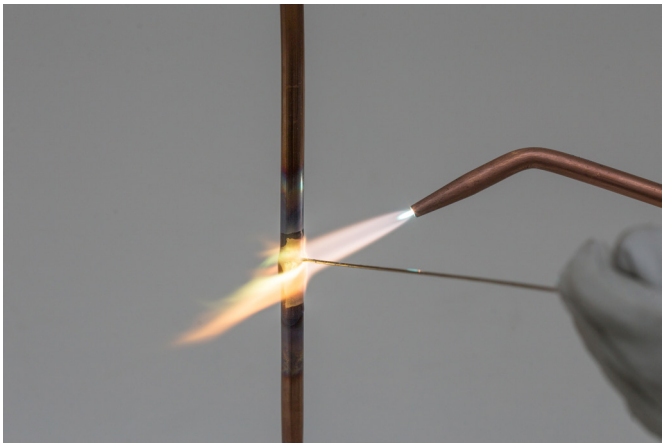


Figura 20 – Aquecimento do tubo.

- Direcionar a base da chama sobre a parte alargada e, quando os tubos ficarem avermelhados, encostar a ponta da vareta na extremidade alargada e soldar em torno do tubo, como mostra a Figura 21.



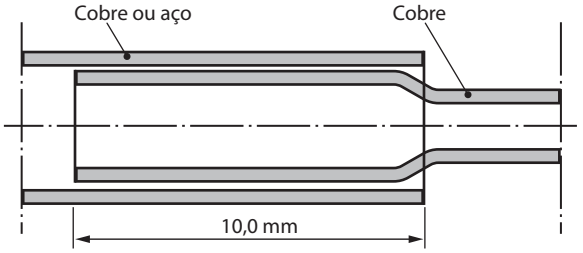
Acervo SENAI-SP

Figura 21 – Aplicação da vareta de solda.

- Limpar o local da solda com uma escova de aço e verificar se não há falhas na solda; corrigir, se for necessário.

Para soldar juntas de encaixe de tubo de cobre com tubo de aço, deve-se proceder da seguinte maneira:

1. Alargar apenas a extremidade do tubo de cobre e encaixar a extremidade do tubo de aço no tubo alargado, como mostrado na Figura 22.



Eduardo Tegeda

Figura 22 – Exemplo de redução de diâmetro.

2. Acender o maçarico e o regular para chama neutra.

3. Soldar os tubos procedendo do seguinte modo:

- Passar o fluxo apropriado em torno da extremidade do tubo expandido, usando para isso a própria vareta de solda ou um pincel. O fluxo serve para impedir a formação de óxidos, facilitar a liga entre o material de adição (vareta) e o material de adesão (tubos), e indicar através da cor (brilhante) a temperatura de liga entre a vareta de prata e os materiais a serem soldados.
- Pegar uma vareta de solda prata e o maçarico.
- Aproximar a chama do maçarico a uma distância de 2 cm ou 3 cm da junta do tubo a ser soldado e fazer um rápido preaquecimento com movimentos circulares.
- Direcionar a base da chama sobre a parte expandida e, quando a coloração do fluxo ficar brilhante, encostar a vareta de solda na extremidade expandida e soldar em torno do tubo. Para evitar entupimento do tubo, manter a chama sempre em movimento e, assim que a solda escorrer em torno do tubo, afastar a chama do ponto de solda.
- Verificar se há falhas na solda, limpando o ponto da solda com uma escova de aço, e corrigir as falhas, se necessário.

Para soldar juntas de encaixe de tubo de aço com tubo de aço, proceder da seguinte maneira:

1. Encaixar a extremidade do tubo de diâmetro menor cerca de 10 mm de profundidade no de diâmetro maior, como indica a Figura 23.

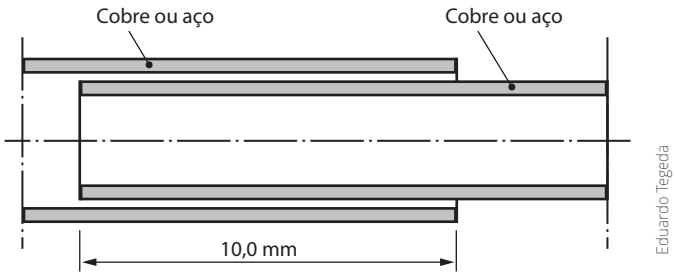


Figura 23 – Junta com tubo de aço.

2. Acender o maçarico e o regular para chama neutra.

3. Soldar os tubos, procedendo da seguinte maneira:

- Passar o fluxo apropriado em torno da extremidade do tubo expandido, usando para isso a própria vareta de solda ou um pincel.
- Pegar uma vareta de solda prata e o maçarico.
- Aproximar a chama do maçarico a uma distância de 2 cm ou 3 cm da junta do tubo a ser soldado e fazer um rápido preaquecimento com movimentos circulares.
- Direcionar a base da chama na junta de encaixe e, quando a coloração do fluxo ficar brilhante, encostar a vareta de solda na extremidade da junta e soldar em torno dos tubos. Ao aquecer o tubo de aço, seguir a indicação da temperatura de liga do fluxo, não deixando o tubo avermelhar, pois isso pode dificultar a liga da solda. Para evitar entupimento do tubo, manter a chama sempre em movimento e, assim que a solda escorrer em torno do tubo, afastar a chama do ponto de solda.
- Verificar se há falhas na solda, limpando o ponto da solda com uma escova de aço, e corrigir as falhas, se necessário.

Folga de introdução de tubos

A folga entre os tubos a serem brasados, bem como o comprimento mínimo a ser introduzido para garantir uma brasagem perfeita, deve ser conforme mostrado na Figura 24.

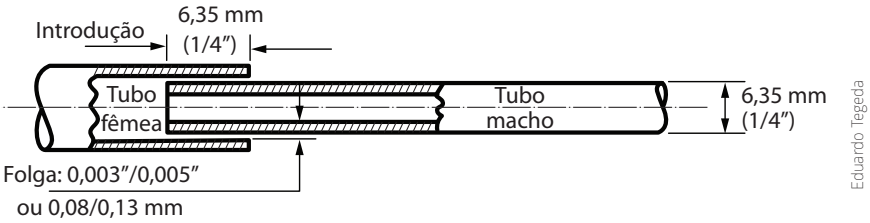


Figura 24 – Folga e introdução dos tubos.

Limpeza da tubulação a ser brasada

Os tubos a serem brasados devem estar livres de óleo, graxa, oxidação, tinta ou qualquer outra substância que possa prejudicar a ligação dos materiais. Deve ser

tomado um cuidado especial quando for necessário utilizar fluxo para facilitar a brasagem.

Recomenda-se utilizar os fluxos em forma de pó e na menor quantidade possível, pois estes, bem como os fluxos pastosos, podem se tornar fontes de contaminação do sistema de refrigeração com consequências indesejáveis, como o entupimento do tubo capilar. Esse risco é maior em sistemas que utilizam o R-134A e R-410A, uma vez que o fluxo ou outros agentes alcalinos podem reagir com o óleo éster e gerar a formação de sais, que se depositam no capilar.

Para uma maior e melhor homogeneidade na brasagem com maçarico, deve-se garantir o preaquecimento em toda a superfície e profundidade de inserção da peça. No caso de uma superfície plana, o preaquecimento deve ser realizado com movimentos circulares dirigindo a chama sobre toda a área a ser brasada.

Na Figura 25, tem-se um exemplo das temperaturas medidas sobre uma peça quando se varia a sua distância até a ponta do dardo, usando-se uma chama constante do tipo carburante.

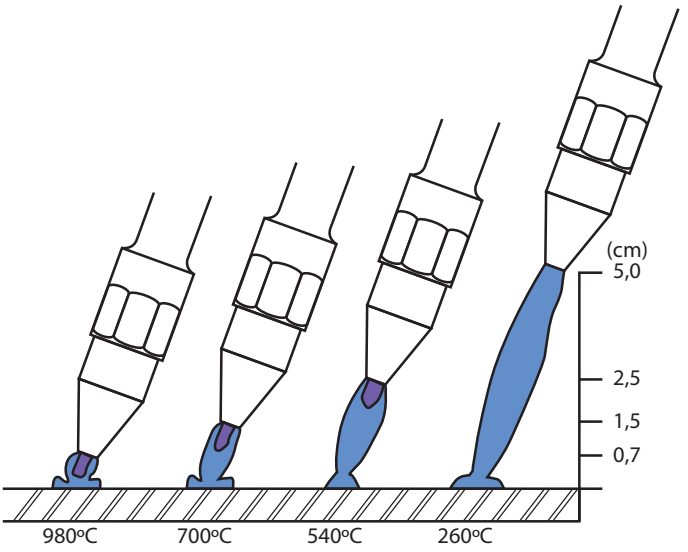


Figura 25 – Temperatura *versus* distância do dardo até a peça.

Na refrigeração, em que é comum a brasagem em tubulação, o preaquecimento com maçarico convencional é inadequado do ponto de vista da qualidade e da

produtividade. Nesse caso, recomenda-se utilizar o tipo de maçarico mostrado na Figura 26. Além de maior produtividade, a utilização desse tipo de maçarico proporciona as seguintes vantagens: preaquecimento mais rápido e uniforme, menor movimentação com o maçarico durante a brasagem e maior fluidez e, portanto, maior penetração do material de adição.

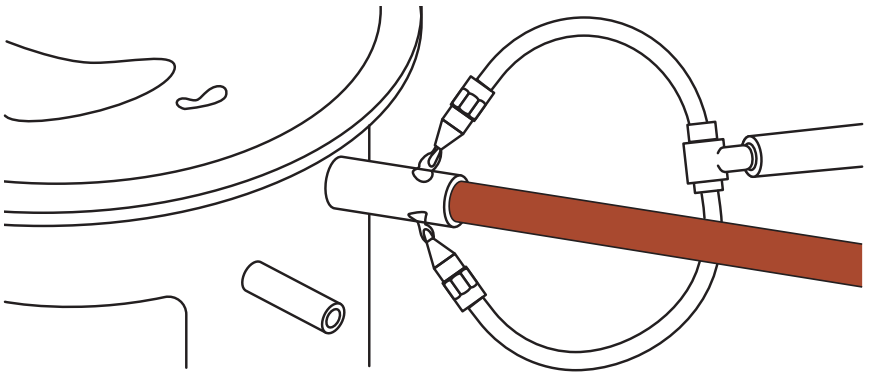


Figura 26 – Maçarico para brasagem em tubulações.

A brasagem de compressores com passadores de cobre requer um cuidado adicional, bem como um procedimento específico no que se refere ao preaquecimento.

Material de adição/fluxo de brasagem e regulagem da chama

Para esse tipo de brasagem, são usadas varetas de solda prata com o teor de prata variando de 50% a 25%, todas devendo apresentar alta fluidez. Nesse caso, é necessário trabalhar com ajuda de fluxo. No entanto, recomenda-se usar sempre a menor quantidade possível e dar preferência aos fluxos na forma de pó, uma vez que eles podem se constituir em uma fonte de contaminação do sistema de refrigeração.

Esse tipo de brasagem requer chama carburante ou redutora (com um pequeno excesso de acetileno).

Sequência de brasagem

Certifique-se de que a tubulação a ser brasada está livre de graxa, óleo, óxidos ou qualquer outra substância que possa prejudicar a ligação dos materiais.

Antes de aquecer os tubos, aplicar fluxo sobre o local a ser brasado.

Aquecer uniformemente o tubo macho e o tubo fêmea, sem incidir a chama diretamente sobre a porção que tem fluxo, movimentando a chama do ponto A ao ponto B, e vice-versa, como pode ser visto na Figura 27.

É preciso aquecer o tubo de aço com uma temperatura um pouco maior que a usada com tubo de cobre.

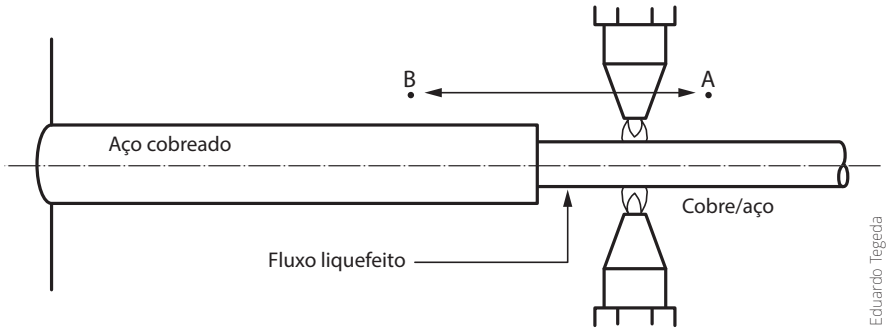


Figura 27 – Aquecimento dos tubos.

Imediatamente após ter aquecido os tubos e liquefeito o fluxo, encostar a ponta da vareta de solda preaquecida no passador, junto ao local a ser brasado.

É importante não forçar a vareta contra o ponto a ser brasado; deve-se simplesmente mantê-la apoiada e deixá-la fundir. Assim que fundir o material de adição, movimentar o maçarico do ponto A ao ponto B, e vice-versa, até que a solda penetre entre os tubos.

Na Figura 28, há uma demonstração do uso da vareta de adição.

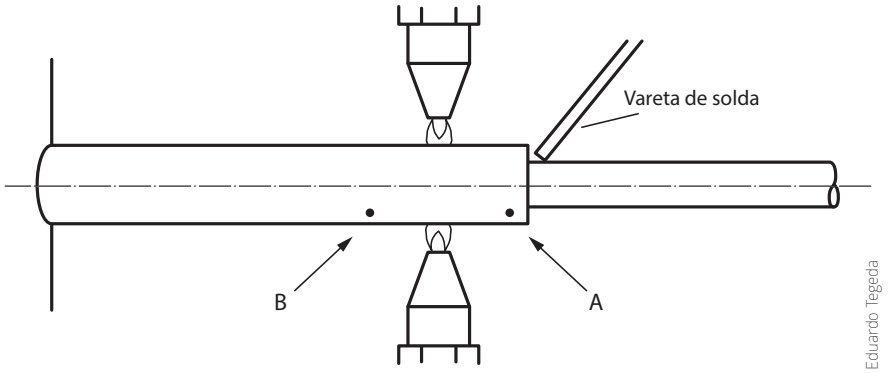


Figura 28 – Uso da vareta de adição.

É importante também que nunca se dirija a chama diretamente sobre a vareta. Deixar que ela funda pela transmissão de calor dos tubos.

Em seguida, deve-se retirar a chama do local da brasagem e manter a vareta encostada no ponto da brasagem durante alguns segundos (enquanto a temperatura no local for suficiente para fundir o material de adição).

A aparência da brasagem deve ser de acordo com a mostrada na Figura 29.

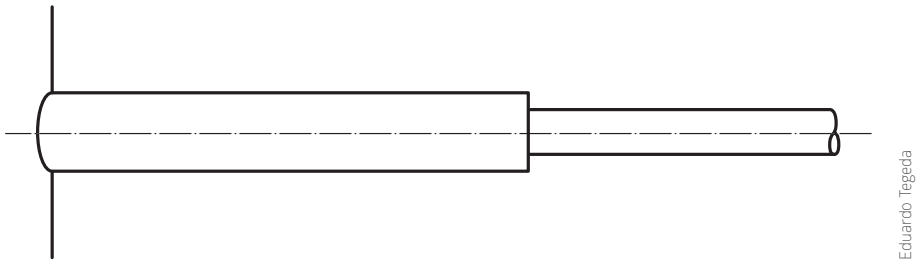


Figura 29 – Exemplo de boa brasagem.

Em caso de suspeita ou identificação de poros, aquecer novamente, movimentando o maçarico do ponto A ao ponto B, e vice-versa. Se necessário, acrescentar o mínimo possível de material de adição.

Para a brasagem dos tubos de processo, podem ser usadas varetas de solda silfoscoper com teor de prata variando de 15% a 5% ou varetas à base de cobre-fósforo (foscoper, por exemplo). Todas as varetas utilizadas devem apresentar

alta fluidez. Não há necessidade do uso de fluxos para esse tipo de brasagem. A regulagem da chama deve ser neutra.

Cuidados que devem ser tomados na brasagem de passadores de cobre

Durante o processo de brasagem dos passadores de cobre, deve-se tomar muito cuidado para não comprometer a solda dos passadores junto ao corpo do compressor, evitando, assim, possíveis vazamentos. A chama deve ser direcionada no sentido oposto ao compressor e incidir de maneira mais intensa na extremidade do tubo fêmea (6 mm finais), conforme mostrado na Figura 30.

A chama adequada é a neutra, e a vareta de solda é a que foi especificada antes. Portanto, evitar direcionar a chama sobre a parte brasada ao corpo do compressor e efetuar o preaquecimento do passador somente na área próxima à sua extremidade.

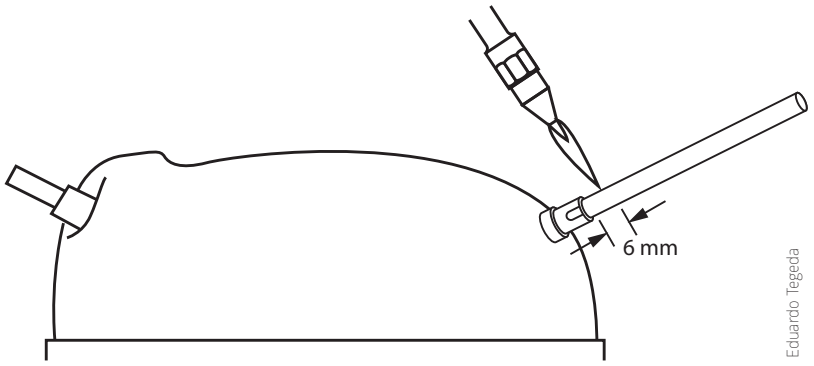


Figura 30 – Cuidados na brasagem com passadores de cobre.

É importante evitar que a tubulação a ser brasada fique tencionada, pois nessa situação é grande a probabilidade de ocorrência de trincas no tubo de cobre e no próprio material de adição.

Sequência de brasagem

É importante certificar-se de que a tubulação a ser brasada está livre de graxa, óleo, óxidos ou qualquer outra substância que possa prejudicar a ligação dos

materiais. O preaquecimento dos passadores deve seguir as recomendações apresentadas antes.

Aquecer uniformemente o tubo macho e o tubo fêmea, sem incidir a chama diretamente sobre a porção que tem fluxo, movimentando a chama do ponto A ao ponto B, e vice-versa, conforme mostrado na Figura 31.

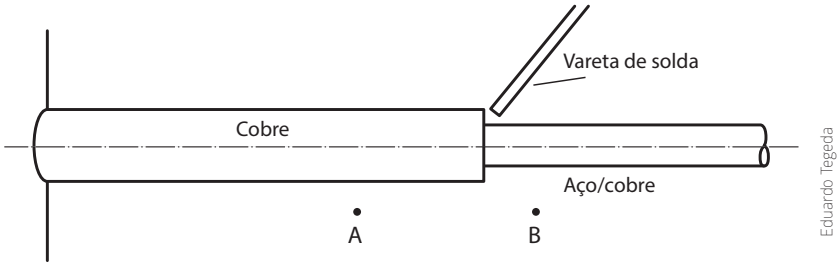


Figura 31 – Ponta da vareta de material de adição no local a ser brasado.

É importante não forçar a vareta contra o ponto a ser brasado; deve-se, simplesmente, mantê-la apoiada e deixá-la fundir até que o material de adição penetre totalmente entre o tubo macho e o tubo fêmea.

Também nunca se deve dirigir a chama diretamente sobre a vareta. É preciso deixar que ela funda pela transmissão de calor dos tubos.

Em seguida, deve-se retirar a chama do local da brasagem e manter a vareta encostada no ponto da brasagem, durante alguns segundos (enquanto a temperatura no local for suficiente para fundir o material de adição).

Em caso de suspeita ou identificação de poros, aquecer novamente movimentando o maçarico do ponto A ao ponto B, e vice-versa. Se necessário, acrescentar o mínimo possível de material de adição.

Falhas comuns na brasagem

A falta de penetração do material de adição é um tipo de falha geralmente observado quando o maçarico é direcionado somente à união a ser brasada, sem proporcionar um aquecimento da região vizinha a ela.

Os tubos não aquecidos adequadamente prejudicam a ação de capilaridade do material de adição, que se funde somente onde a chama foi aplicada (Figura 32).

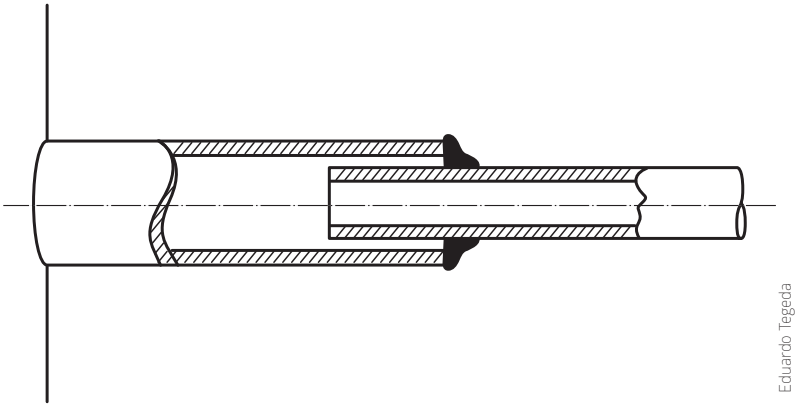


Figura 32 – Falta de penetração do material de adição.

Obstrução da tubulação

Essa falha ocorre por uso excessivo de material de adição e é geralmente acompanhada por situações de folga excessiva entre os tubos a serem brasados, introdução insuficiente entre os tubos ou má distribuição do calor. Na Figura 33, há uma representação de obstrução da tubulação.

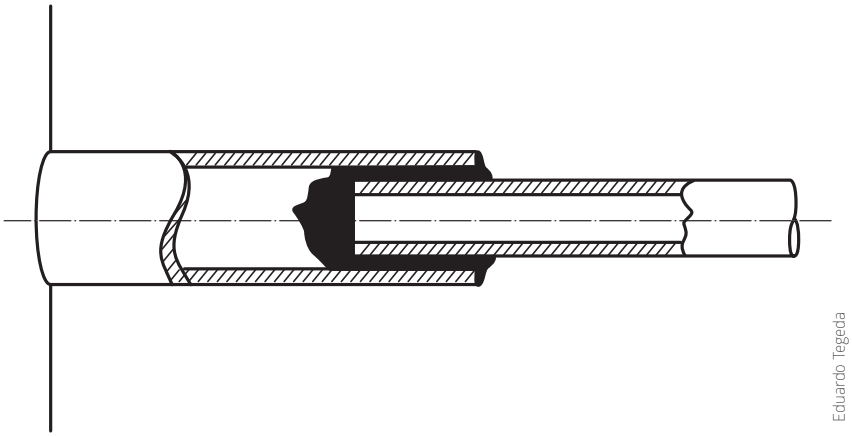
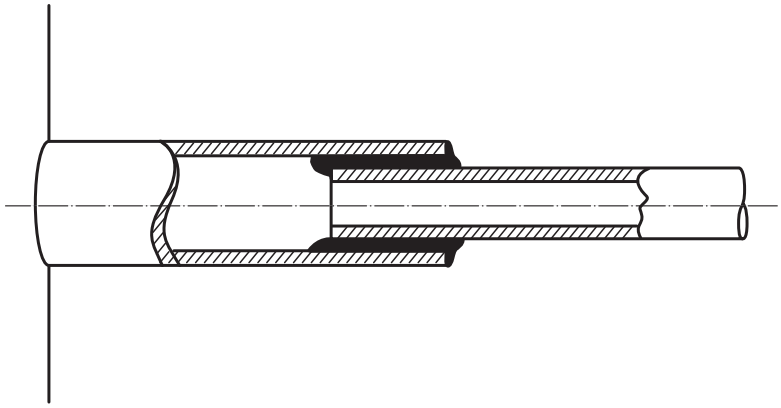


Figura 33 – Obstrução da tubulação.

Quebra, fragilização e porosidade

Essas três falhas são geralmente causadas pelo aquecimento excessivo da tubulação a ser brasada. A situação de porosidade pode ser observada na Figura 34.



Eduardo Tegeda

Figura 34 – Porosidade.

Utilização de chama inadequada

Esse item é muito importante e de grande influência no resultado final da brasagem.

A má regulagem da chama pode resultar em preaquecimento inadequado, encruamento ou fusão dos tubos, má distribuição do calor, baixa fluidez e má aderência do material de adição.

Esses aspectos resultam em má aparência da brasagem, bem como em fragilização do metal de base e porosidade.

A aplicação de material de adição em excesso não melhora a resistência da brasagem, apenas aumenta o consumo de material, oxigênio e acetileno, além de reduzir a produtividade do soldador. Ver exemplo de brasagem com excesso de material de adição na Figura 35.

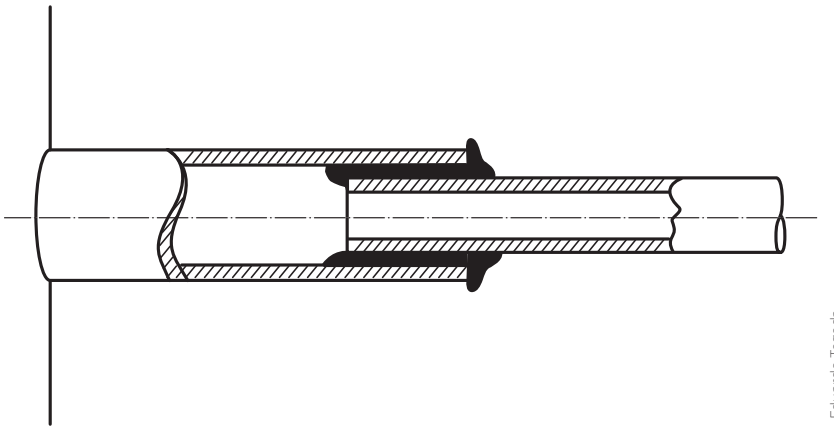


Figura 35 – Brasagem com excesso de material de adição.

É importante que em todos os processos de brasagem o tubo não seja aquecido por muito tempo, com vistas a um bom acabamento na peça, pois esse procedimento causa a liquação, que é a volatização do metal mais fusível, comprometendo, assim, a qualidade da brasagem.

Brasagem com aplicação de nitrogênio

No processo de brasagem, ocorre a formação de óxido de cobre (carepa, fuligem), que é um contaminante do sistema, quando o oxigênio entra em contato com o cobre em alta temperatura.

Para evitar a formação de carepas, um gás inerte (nitrogênio seco) deve circular pelos tubos a serem soldados em uma pressão que pode variar de 1 psi a 3 psi.

Em um dos lados do tubo será conectada a mangueira do conjunto manifold e na outra extremidade será fixada uma fita, de modo que um dos lados fique solto e indique a passagem do nitrogênio através de sua tremulação. A circulação do nitrogênio é ilustrada na Figura 36.

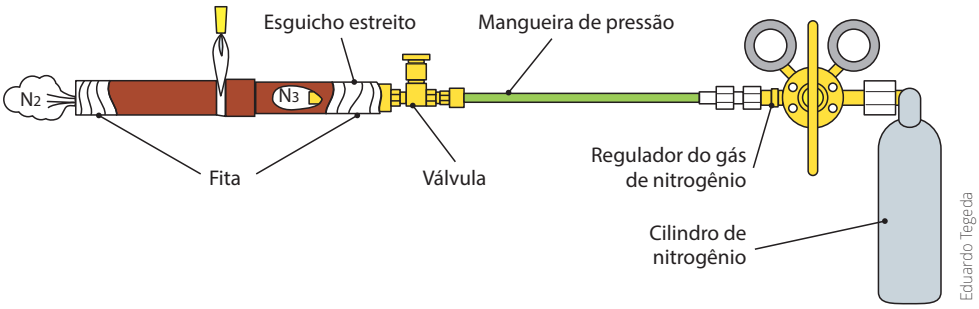


Figura 36 – Circulação do nitrogênio.

A carepa, em contato com o fluido refrigerante, o óleo lubrificante e a umidade, leva à formação de ácidos que provocam corrosão. O principal material a ser atacado é o cobre da tubulação, que irá se depositar nas partes mais quentes do sistema, o pistão e a placa de válvulas, causando o fenômeno chamado plaqueamento de cobre.

Todo esse problema é evitado quando a solda é feita com atmosfera modificada. Ver na Figura 37 uma junta soldada com circulação de nitrogênio e outra soldada sem circulação de nitrogênio, para comparação.

Figura 37 – (**A**) Solda com nitrogênio (N_2). (**B**) Solda sem nitrogênio (N_2).

Conexões

As conexões são elementos indispensáveis na montagem das tubulações e podem ser soldáveis ou roscadas. As mais usadas em refrigeração e climatização são as de cobre e de latão. Na Figura 38, são apresentados diferentes tipos de conexões.

Acervo SENAI-SP

Figura 38 – Diferentes tipos de conexões.

Comercialmente, encontra-se uma gama de acessórios de cobre, bronze e latão das mais variadas formas, que satisfaz todas as necessidades de conexões e atende aos mais variados projetos.

As uniões, como niple, porcas, cotovelos, joelhos, curvas, cruzetas, reduções, tês, anilhas, sifões, luvas (próprias para a união de tubos rígidos ou flexíveis), tampões, são os acessórios mais comuns para efetuar as ligações entre si, as ligações das linhas aos diversos componentes e dispositivos que formam o sistema de refrigeração e de climatização. Na Figura 39, tem-se um exemplo de uma dessas uniões: a rosca.

Acervo SENAI-SP

Figura 39 – Exemplo de rosca.

A fabricação de tubos e conexões é feita de acordo com as normas do setor; as dimensões, como comprimento, diâmetro, espessura, conicidade e roscas, são feitas segundo os critérios das normas adotadas pelo fabricante, sendo conhecidos como elementos normalizados. Por isso, deve-se prestar bastante atenção na interligação dessas peças, ou seja, verificar se são compatíveis. Na Figura 40, é apresentada uma compatibilidade das peças.

Acervo SENAI-SP

Figura 40 – Compatibilidade de peças.

Para as uniões acampanadas, utilizam-se as uniões roscadas (niple, porca, por exemplo). Para tanto, é necessário conhecer os tipos de roscas.

A rosca SAE/UNF foi desenvolvida pela Standard American Engineers e é muito usada na indústria de refrigeração para a interligação por meio do acampanamento (flange). Uma de suas principais características é o ângulo do filete de 60°, e a sua sede (cone) para assentamento do flange (parte cônica do tubo) é usinada com 90°.

A rosca NPT construtivamente é uma rosca cônica com um ângulo de 1,47° com o ângulo do filete de 60°. Ela é muito utilizada nas interligações que transportam fluidos sob pressões consideráveis, em que é exigida elevada estanqueidade.

A rosca métrica é muito usada em parafusos de fixação, e uma de suas principais características é o ângulo do filete de 60°. A Figura 41 apresenta o aperto das conexões.

Acervo SENAI-SP

Figura 41 – Aperto das conexões.

O torque necessário para cada conexão é fornecido pelos fabricantes dos equipamentos e/ou componentes.

8. Boas práticas em sistemas de refrigeração e climatização

Técnicas de instalação

Técnicas de manutenção

Neste capítulo, serão apresentadas as técnicas de instalação e de manutenção dos sistemas de refrigeração e de climatização.

Técnicas de instalação

A norma ABNT NBR 16655 oferece recomendações para um bom projeto de instalação e de operação de sistemas residenciais de ar-condicionado (split compacto). É importante a leitura das seguintes partes dessa norma: 1. Projeto e instalação; 2. Procedimento para ensaio de estanqueidade, desidratação e carga de fluido frigorífico; 3. Método de cálculo de carga térmica residencial.

Na instalação de sistemas de refrigeração e de climatização, um cuidado a ser tomado, em primeiro lugar, é evitar a penetração de umidade e poeira nos componentes do sistema, como:

- compressor;
- unidade condensadora;
- dispositivo de expansão;
- evaporador.

Compressor

Os compressores saem de fábrica com os tubos passadores (sucção, descarga e processo) ou válvulas fechadas; no caso dos compressores herméticos, os tubos são lacrados com tampões de borracha, os quais só podem ser retirados no momento da brasagem, ou seja, não devem ficar abertos em contato com o ar da atmosfera porque o óleo lubrificante é higroscópico (absorve umidade).

Fixar bem o compressor sobre a base com a utilização de amortecedores evita que o compressor ou a base fique com vibrações; assim, deve-se nivelar, utilizando os elementos de fixação corretos para cada caso.

Unidade condensadora

As unidades condensadoras devem ser instaladas em locais frescos e arejados, com boa circulação de ar, para favorecer a dissipação de calor e o desenho do sistema, de modo que:

- O ar de descarga da unidade não seja recirculado.
- O ar da descarga de uma unidade não seja descarregado na sucção da outra.
- Fique instalada nas dimensões recomendadas pelos fabricantes.
- Não sejam instaladas próximas de fontes de calor etc.

Na Figura 1, são apresentados exemplos de instalação inadequada das unidades condensadoras.

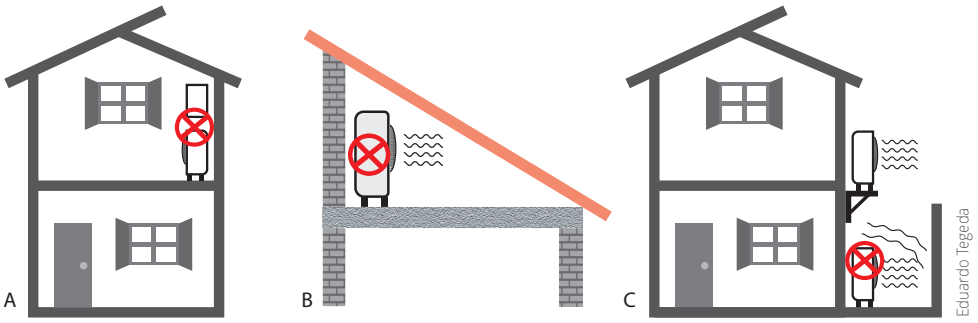


Figura 1 – Exemplos de instalação inadequada das unidades condensadoras. (**A**) Nunca colocar a unidade condensadora e a unidade evaporadora em um mesmo local. (**B**) Nunca colocar a unidade condensadora em laje com telhado ou forro sem troca de calor. (**C**) Nunca instalar as unidades condensadoras em local com obstruções na descarga do ar. Isso pode ocasionar recirculação.

Com a incidência de raios solares no condensador, ocorre o aumento das pressões e, consequentemente, a elevação da corrente elétrica, fazendo com que o compressor consuma mais e, em casos extremos, desligue e ligue pelo protetor térmico. Por isso, é recomendado fazer uma cobertura, como a mostrada na Figura 2, principalmente quando a instalação for do lado oeste.

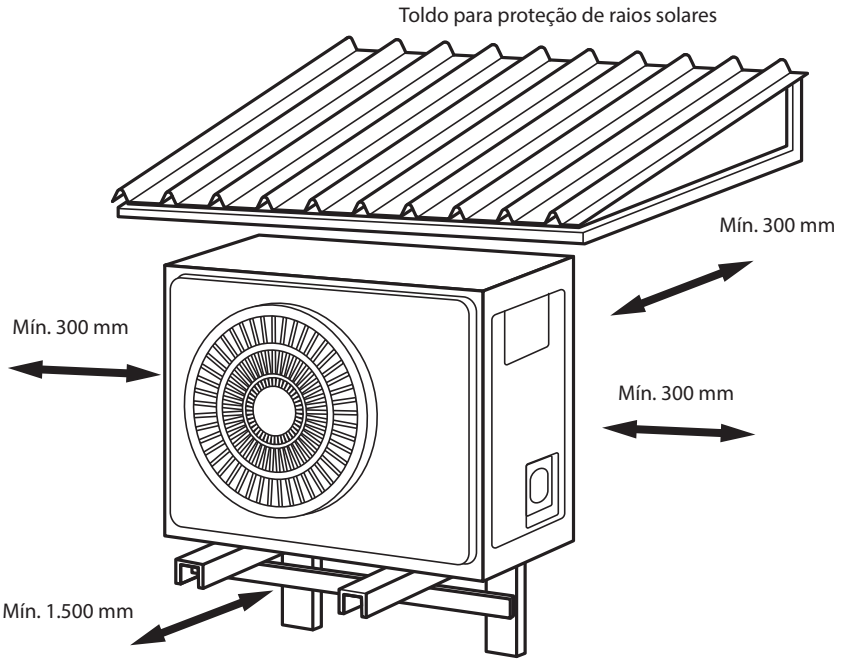


Figura 2 – Toldo para a proteção de raios solares.

A Figura 3 ilustra como deve ser feita a instalação das unidades condensadoras entre os diferentes obstáculos e o espaçamento entre unidades e obstáculos. As medidas são as mínimas recomendadas pelo fabricante.

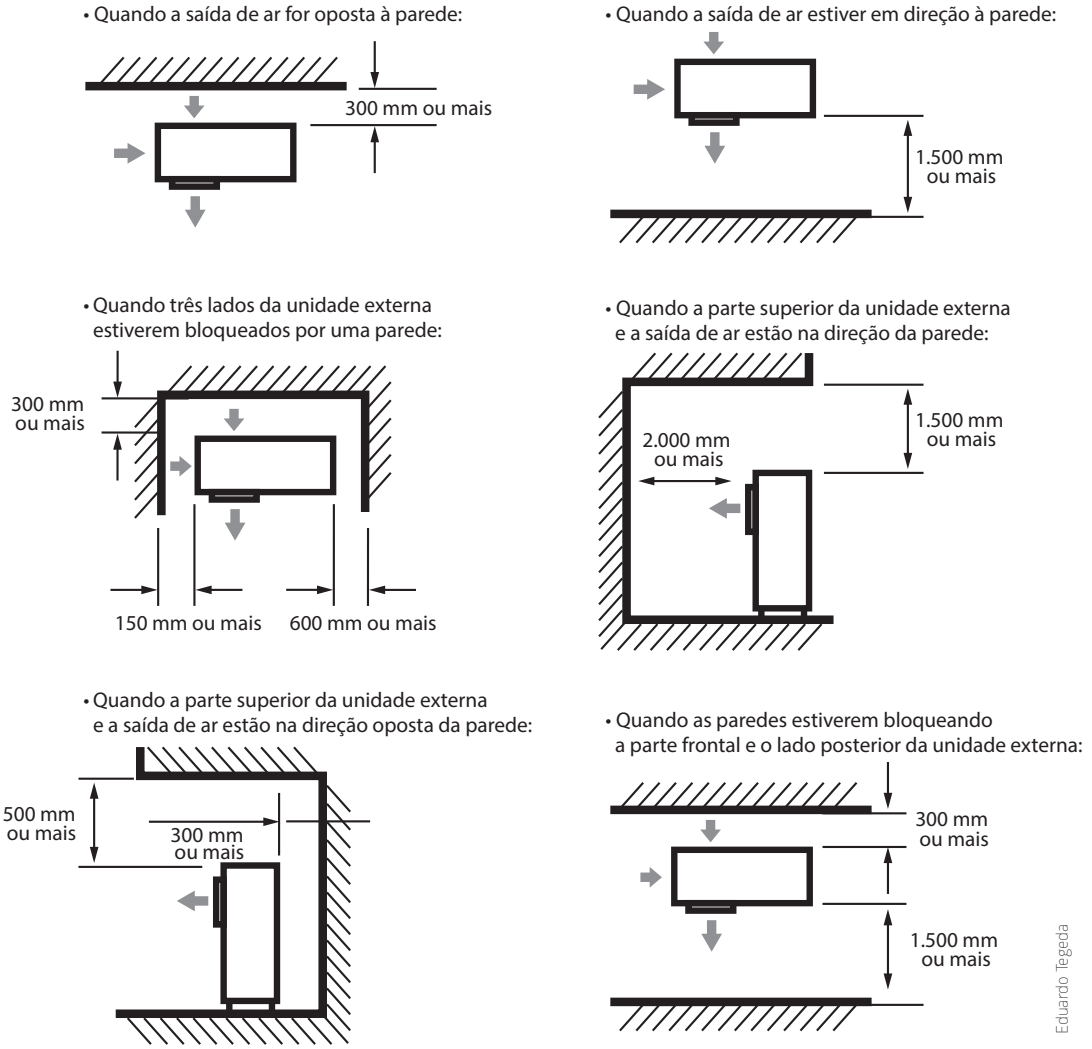


Figura 3 – Exemplos de instalação de unidade condensadora.

A Figura 4 apresenta o sentido do fluxo de ar. A Figura 5 ilustra uma instalação com bloqueio de ar, e a Figura 6 ilustra uma instalação com bloqueio de ar e descarga frontal.

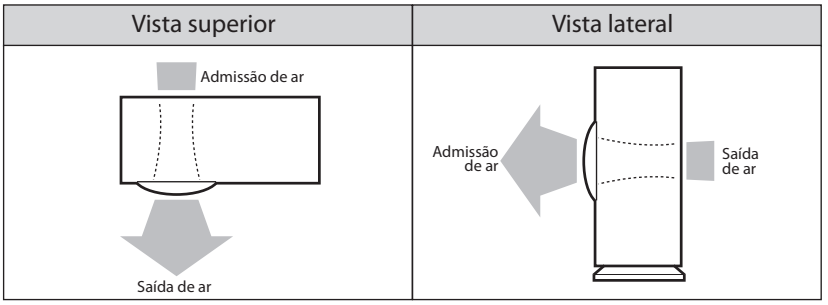


Figura 4 – Sentido do fluxo de ar.

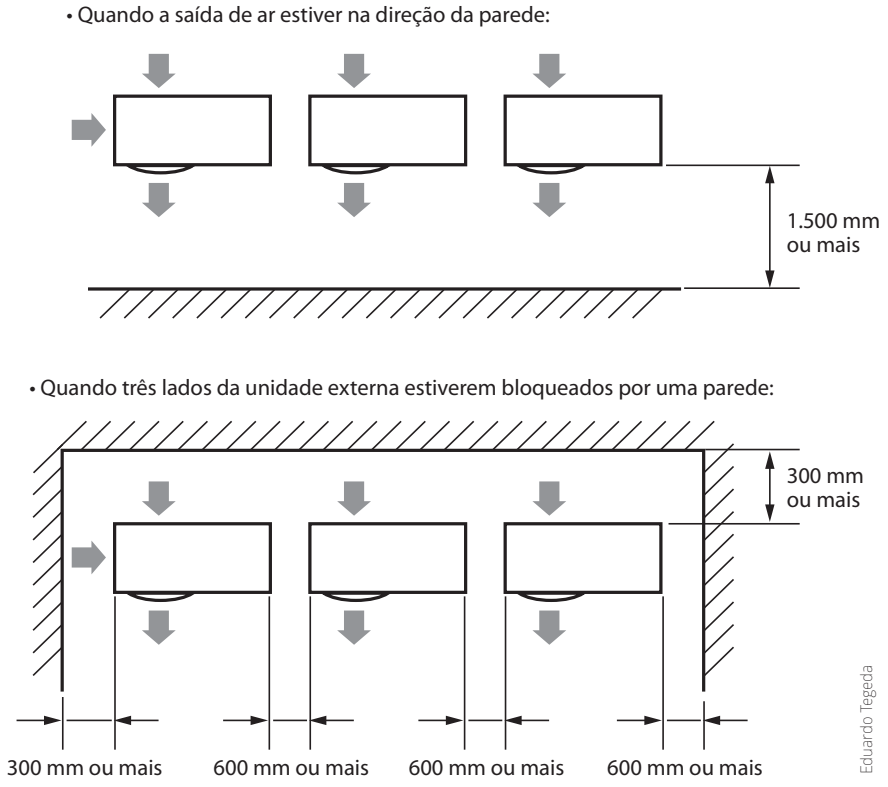


Figura 5 – Instalação com bloqueio de ar.

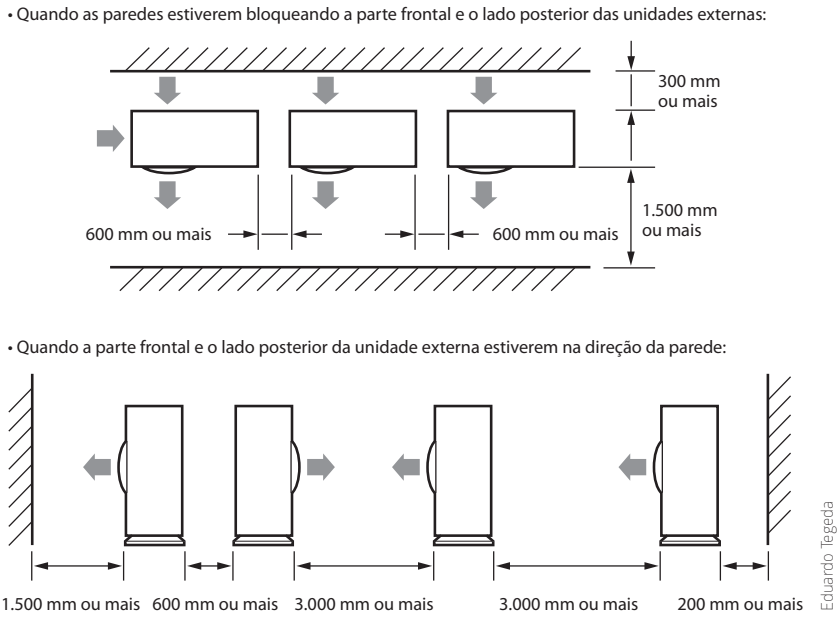


Figura 6 – Instalação com bloqueio de ar e descarga frontal.

A seguir, na Figura 7, há um exemplo de unidade condensadora. A Figura 8 apresenta um exemplo da circulação de ar na casa de máquinas, e a Figura 9 ilustra as dimensões de instalação.

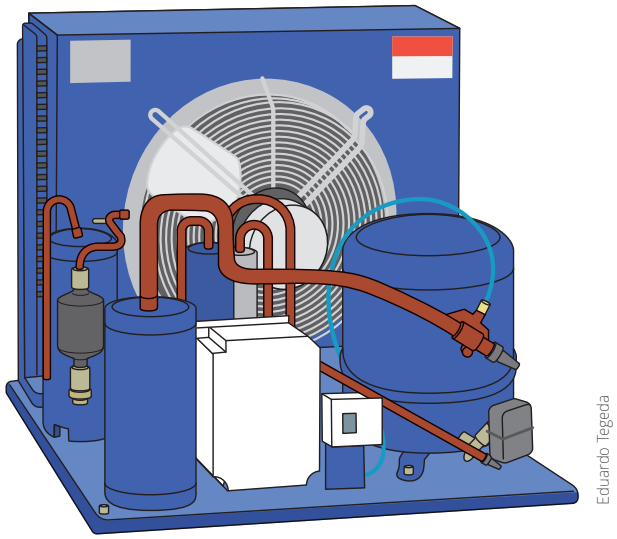


Figura 7 – Unidade condensadora.

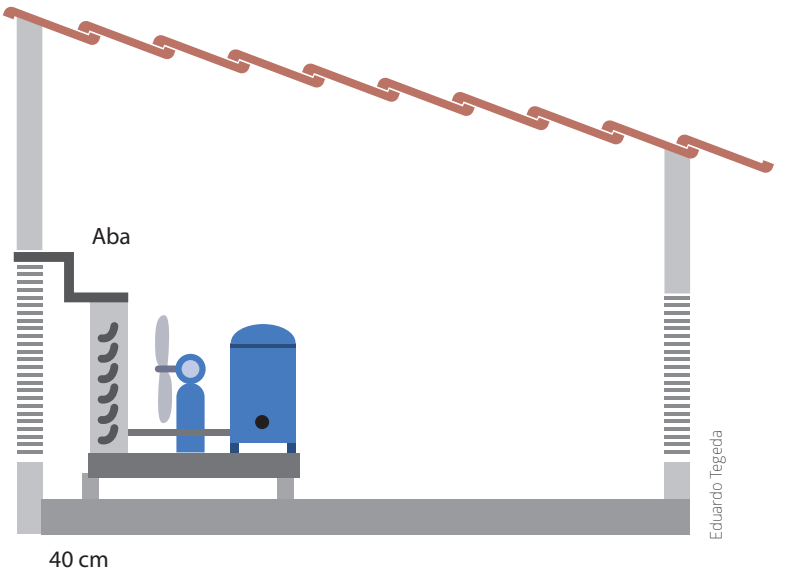


Figura 8 – Exemplo de circulação de ar na casa de máquinas.

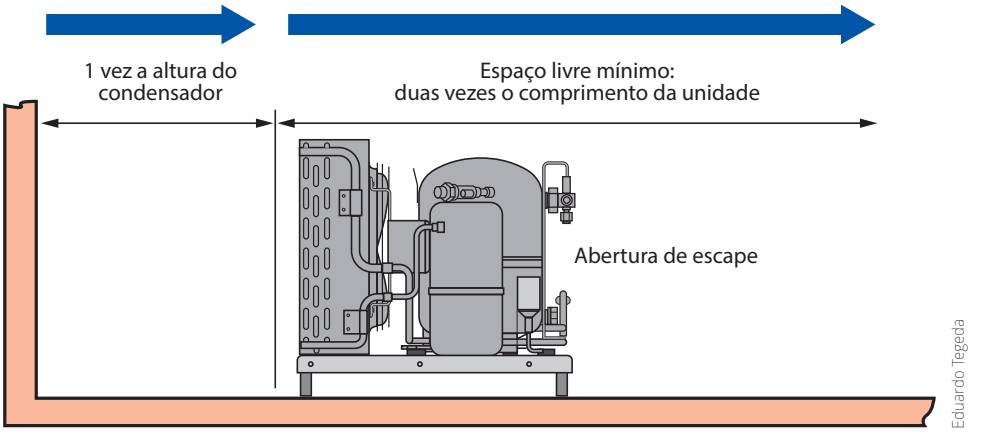


Figura 9 – Dimensões de instalação.

Para unidades instaladas uma ao lado da outra, a distância mínima entre elas deve ser a largura da unidade mais larga. No caso de os condensadores estarem um em frente do outro, a distância mínima deve ser a altura máxima (maior altura) da condensadora.

Na Figura 10, é possível observar o funcionamento do exaustor com qualquer unidade ligada. A Figura 11 representa a exaustão do ar pelo escape localizado no teto, e na Figura 12 há um exemplo de circulação de ar na casa de máquinas com mais de uma unidade.

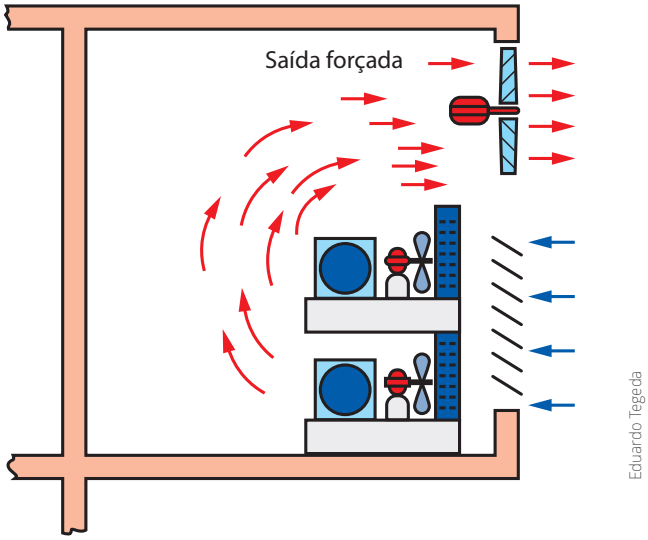


Figura 10 – Funcionamento do exaustor com qualquer unidade ligada.

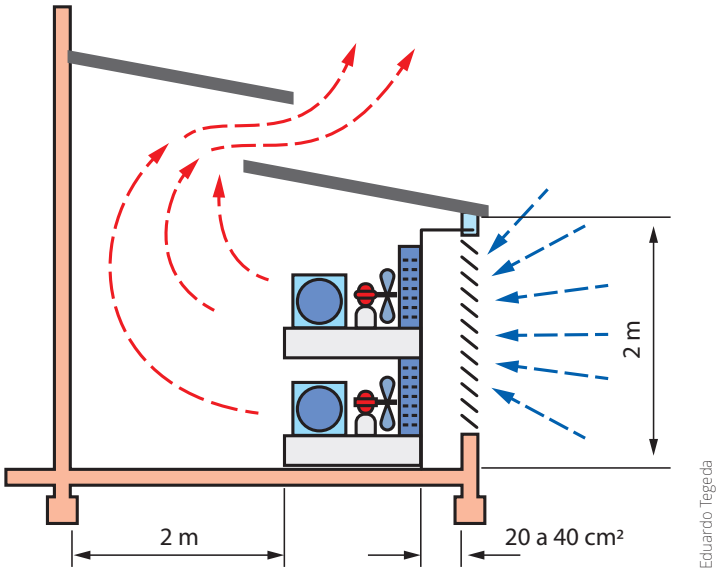


Figura 11 – Exaustão do ar pelo escape localizado no teto.

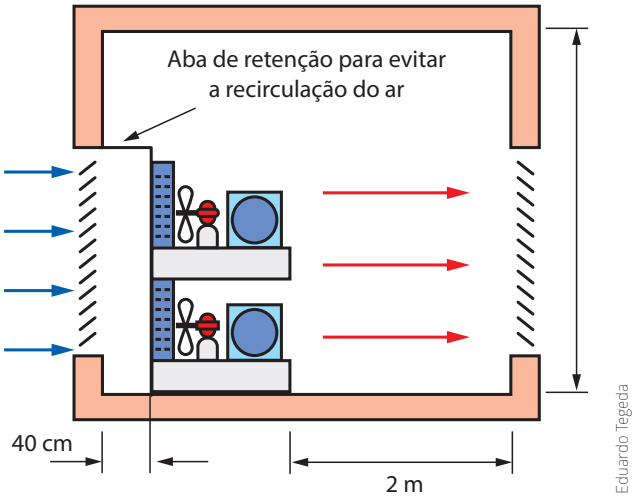


Figura 12 – Circulação de ar na casa de máquinas com mais de uma unidade.

Para evitar vibrações tanto na condensadora quanto na tubulação, é necessário que a base das unidades seja instalada sobre coxins.

Para a instalação dos dispositivos de expansão, os cuidados a serem tomados devem ser em relação à fixação do corpo da válvula e quanto à fixação do bulbo.

Dispositivos de expansão

Fixação do corpo por intermédio das conexões roscadas

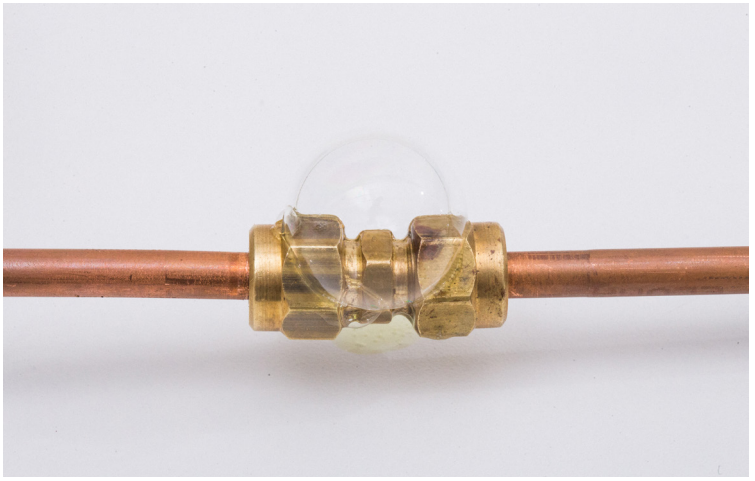
Para conectar o corpo da válvula com a tubulação, o montador deve se atentar para a confecção dos flanges e o aperto das porcas; depois, deve realizar a pressurização da linha com nitrogênio seco e espuma de sabão, ou com a mistura de nitrogênio com hidrogênio e detector de vazamento dentro das pressões recomendadas pelo fabricante.

O procedimento para pressurização das tubulações é:

- Com o cilindro de nitrogênio fechado, conectar o conjunto manifold (mangueira amarela) no regulador de pressão e, no lado do sistema, conectar a mangueira vermelha do manifold.

- Dividir a pressão máxima determinada pelo fabricante por três.
- Injetar um terço da pressão máxima e verificar se há vazamento.
- Se não for detectado vazamento, injetar mais um terço da pressão e verificar novamente se há vazamento.
- Se não for detectado vazamento, abrir o regulador de pressão até atingir a pressão máxima recomendada.
- Se não for identificado vazamento, finalizar o serviço; se houver vazamento, reapertar as porcas ou refazer o flange.

É importante dividir a pressão máxima recomendada pelos fabricantes em três partes e injetar dando um intervalo de tempo entre as quantidades injetadas, para que a tubulação não estoure ao receber alta pressão bruscamente. A Figura 13 apresenta um exemplo de vazamento.



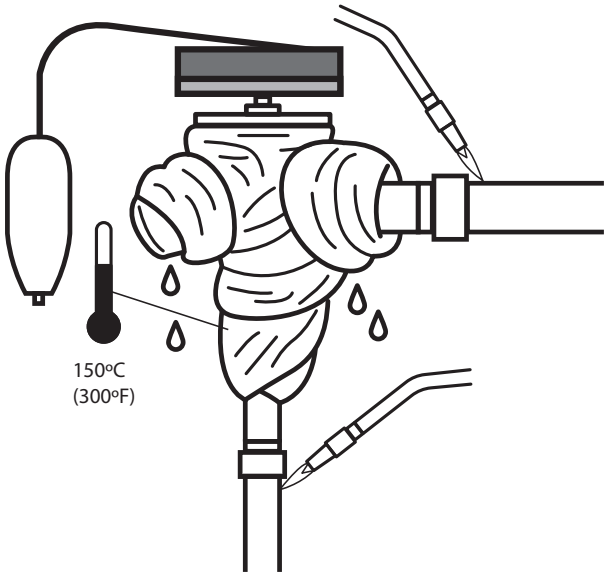
Acervo SENAI-SP

Figura 13 – Exemplo de vazamento.

Quando a válvula for conectada à tubulação pela solda, e o seu corpo não for desmontável, deve-se tomar cuidado para não danificar os elementos internos. É preciso envolvê-la com um pano molhado, tomando cuidado para que a água não entre na tubulação. Isso também deve ser feito para outras válvulas que tenham elementos internos que possam ser danificados ao ser submetidos a altas temperaturas. Consultar o manual do componente para informações específicas.

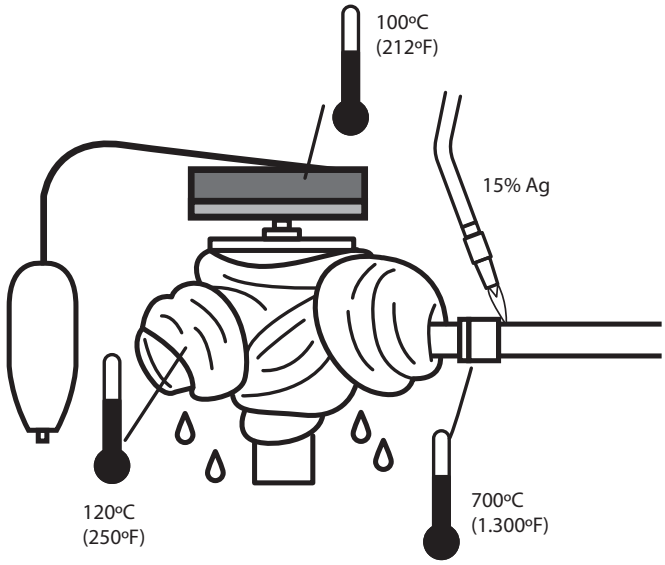
A Figura 14 ilustra a preparação da válvula de expansão para soldar. A Figura 15 ilustra a aplicação da chama do maçarico na válvula de expansão, e a Figura 16,

a aplicação da chama do maçarico na válvula de retenção manual. Já a Figura 17 ilustra a aplicação da chama do maçarico na válvula reguladora de pressão.



Eduardo Tegeda

Figura 14 – Preparação da válvula de expansão para soldar.



Eduardo Tegeda

Figura 15 – Aplicação da chama do maçarico na válvula de expansão.

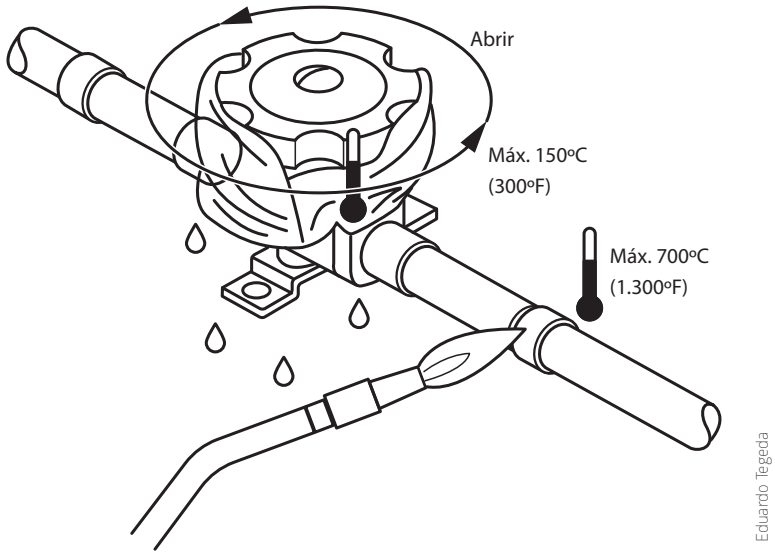


Figura 16 – Aplicação da chama do maçarico na válvula de retenção manual.

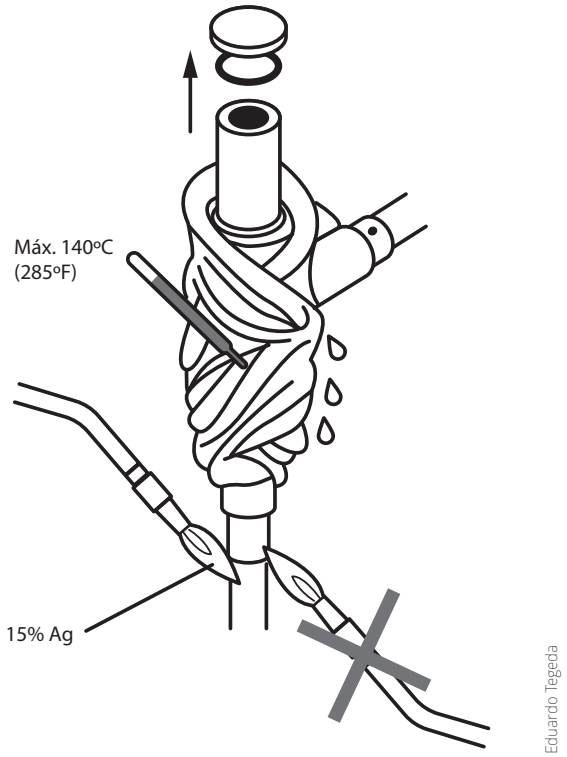


Figura 17 – Aplicação da chama do maçarico na válvula reguladora de pressão.

É importante que a chama do maçarico não seja direcionada para cima do componente, isto é, ela deve ser aplicada no sentido contrário, como mostrado nas Figuras 14 a 17.

A fixação do bulbo deve obedecer às recomendações dos fabricantes. Na Figura 18, a seguir, há um exemplo de instalação do bulbo e do tubo equalizador de pressão da válvula de expansão.

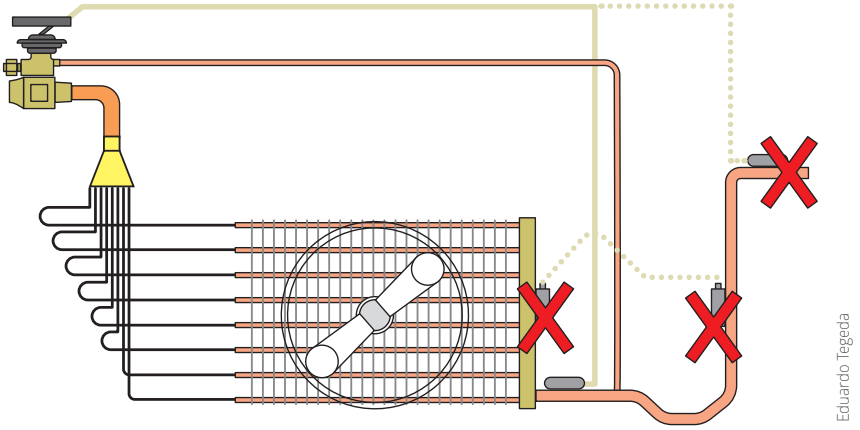


Figura 18 – Instalação do bulbo e do tubo equalizador de pressão da válvula de expansão.

O contato do bulbo da válvula com o tubo pode ser observado na Figura 19. A localização do bulbo de acordo com o diâmetro do tubo pode ser observada na Figura 20.

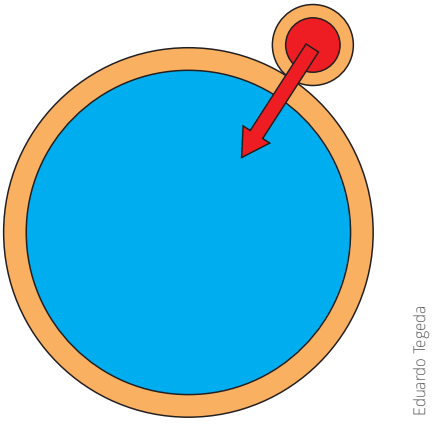


Figura 19 – Contato do bulbo da válvula com o tubo.

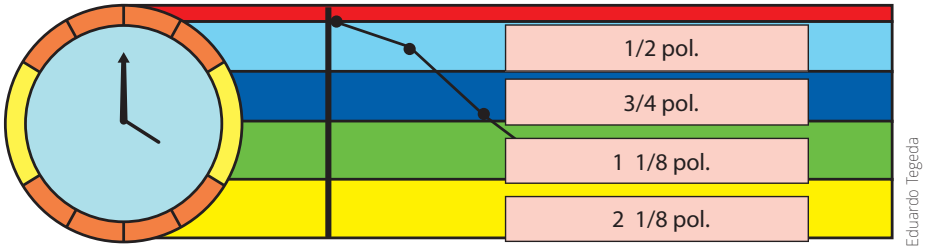


Figura 20 – Localização do bulbo de acordo com o diâmetro do tubo.

É necessário que o bulbo da válvula de expansão seja isolado, para que se realize a leitura correta da temperatura do tubo de sucção.

Evaporador

Recomenda-se que os evaporadores sejam montados com barras roscadas com tratamento anticorrosão, com arruelas lisas e de pressão ou porcas autotravantes. Nivelar de maneira a permitir o escoamento da água do degelo ou condensada.

É necessário que os evaporadores sejam instalados de acordo com as recomendações dos fabricantes, a fim de se obter a melhor distribuição de ar no interior da câmara (Figura 21), com o objetivo de garantir a conservação dos alimentos.

Um exemplo de evaporadores lado a lado pode ser observado na Figura 22. A Figura 23 apresenta um exemplo de evaporadores defasados.

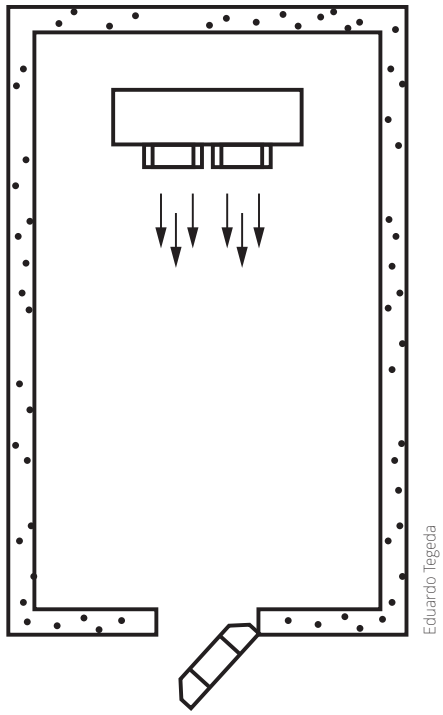


Figura 21 – Evaporador no fundo da câmara.

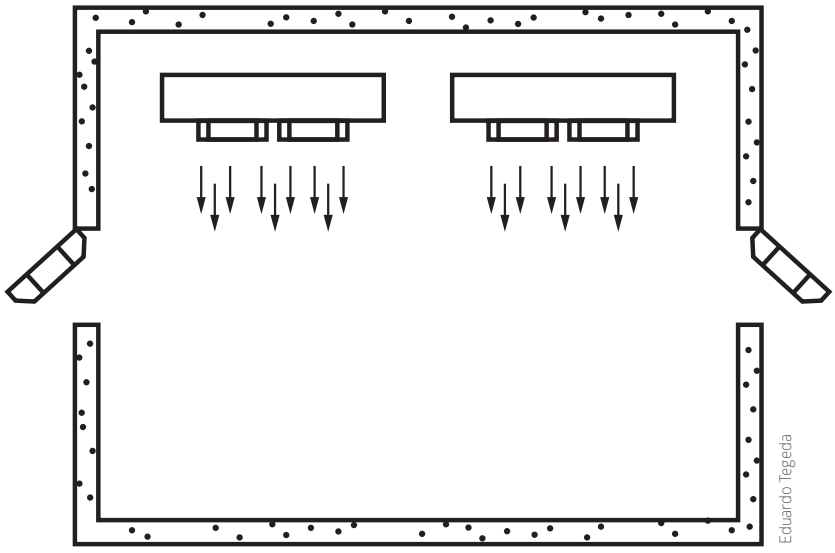


Figura 22 – Evaporadores lado a lado.

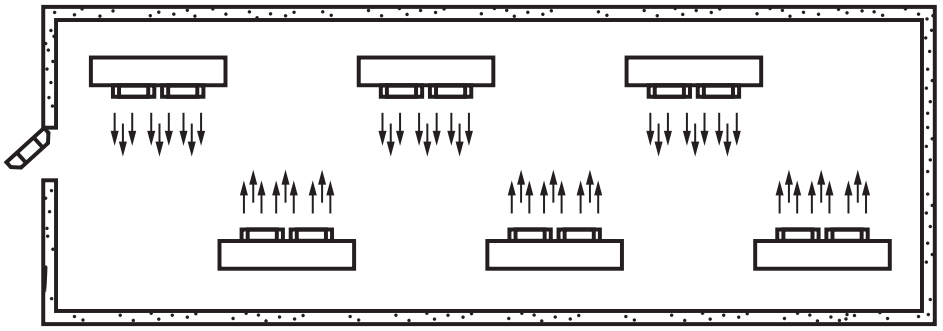


Figura 23 – Evaporadores defasados.

Para as unidades evaporadoras dos condicionadores de ar, o mesmo método pode ser adotado quando for favorável. Na Figura 24, é apresentada a instalação de uma evaporadora do tipo *hi-wall*.

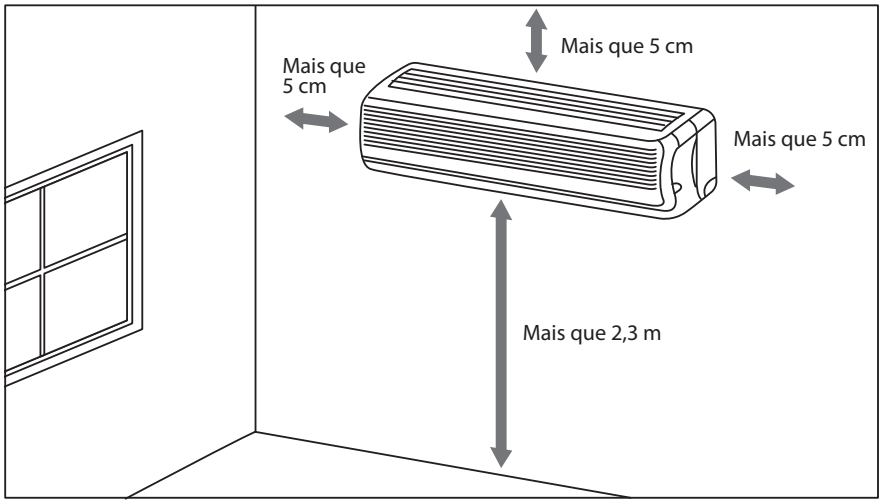


Figura 24 – Instalação da evaporadora do tipo *hi-wall*.

Tubulações

Para o perfeito funcionamento do sistema, é imprescindível que a tubulação seja montada corretamente. A seguir, são apresentadas algumas orientações para a instalação.

- As linhas devem ser montadas de maneira que não fiquem em atrito uma com a outra ou em alguma parte sólida, com o objetivo de evitar vazamentos.
- Quando montadas em suportes, as linhas devem ser fixadas por abraçadeiras apropriadas que não danifiquem o isolamento térmico.
- As linhas devem ser isoladas termicamente e, quando necessário, protegidas contra danos causados por impactos mecânicos.
- Usar silenciadores nas linhas de descarga para evitar o efeito pulsante do fluido frigorífico.
- Usar eliminadores de vibração, ou seja, tubos flexíveis instalados na linha de descarga e sucção, com o objetivo de minimizar as vibrações.

A tubulação tem por finalidade:

- Garantir o retorno contínuo e efetivo do óleo ao cárter do compressor.
- Garantir o retorno adequado de fluido frigorífico no estado de vapor ao compressor.
- Evitar as perdas de cargas excessivas, a fim de garantir o rendimento e a eficiência do sistema.
- Evitar retenção de óleo nos evaporadores e na linha de sucção.
- Garantir vazão adequada de fluido frigorífico na fase líquida para alimentar os evaporadores.
- Garantir a estanqueidade.
- Evitar o retorno de fluido frigorífico no estado líquido quando um compressor estiver em funcionamento ou parado.

Para o bom funcionamento do sistema, todos esses parâmetros relacionados devem ser considerados.

Técnicas de manutenção

Manutenção preventiva

É a manutenção programada, ou seja, é tudo que se faz seguindo um cronograma. Serve para prever alguma anomalia do sistema e para que as devidas ações sejam tomadas com o objetivo de evitar a parada inesperada (sem programação) da máquina.

Manutenção corretiva

É a manutenção não programada, aquela em que a máquina para inesperadamente porque não foi prevista a anomalia do sistema.

Sempre que se falar de um equipamento de refrigeração e climatização, é importante que se tenha em mente que essas máquinas são constituídas, na grande maioria, por três outros sistemas, que são:

- sistema de refrigeração;
- sistema elétrico;
- sistema de ventilação.

O monitoramento desses três sistemas é imprescindível para a eficácia da manutenção.

Os parâmetros a seguir devem ser levantados para análise dos sistemas.

Sistema de refrigeração

Devem ser levantados os seguintes parâmetros para análise do sistema de refrigeração:

- Medir a temperatura e a pressão de descarga do compressor.
- Com a pressão de descarga, identificar a temperatura saturada de condensação.
- Medir a temperatura da linha de líquido antes da válvula de expansão.
- Calcular o sub-resfriamento da linha de líquido.
- Medir a pressão de sucção do compressor. Com a pressão de sucção, estimar a pressão saturada de evaporação.
- Calcular o superaquecimento da linha de sucção.
- Confirmar que a carga do fluido frigorífico está correta.
- Confirmar que o compressor opera corretamente pela análise das temperaturas saturadas de descarga, de sucção, alimentação elétrica, corrente elétrica do compressor e folha de dados do compressor.
- Medir o diferencial de pressão ou a diferença de temperatura do filtro secador.
- Monitorar o nível de óleo, quando for o caso.

- Medir o diferencial de pressão da bomba de óleo, se aplicável.
- Medir a temperatura do cárter.

Sistema elétrico

Para a análise do sistema elétrico, devem ser levantados os seguintes parâmetros:

- Medir os parâmetros elétricos de alimentação em tensão V e corrente elétrica em A.
- Calcular o desbalanceamento de tensão.
- Calcular o desbalanceamento de corrente.
- Medir a potência ativa em W.
- A partir das temperaturas de condensação e de evaporação, comparar com os valores de catálogo do compressor.

Sistema de ventilação

Lado do ar (unidade interna)

Para a avaliação do lado do ar (unidade interna), devem ser avaliados os parâmetros indicados a seguir:

- Medir as velocidades do ar na unidade interna (evaporador) para a estimativa da vazão de ar.
- Medir o diferencial de pressão dos filtros de ar, se aplicável.
- Medir as temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido na entrada da unidade interna e na descarga da unidade interna.
- Calcular a capacidade de refrigeração sensível e latente.

Desempenho

- Comparar os valores de ensaio com a folha de dados e a curva de capacidade do compressor.
- Considerar a capacidade de refrigeração e a potência consumida.
- Considerar o coeficiente de desempenho (COP).

- Realizar manutenção e higienização relativas à qualidade do ar: limpeza ou substituição dos filtros de ar; limpeza das bandejas de condensados e da tubulação de drenagem, da casa de máquina, dos dutos de ar (se aplicável).

Os parâmetros apresentados em relação à manutenção dos sistemas de refrigeração e climatização têm apenas uma abrangência geral, porque dependem muito do equipamento e de sua aplicação. O ideal é que seja elaborado um plano de manutenção, operação e controle (PMOC), conforme a Portaria n. 3.523 do Ministério da Saúde e a Resolução RE 09.

Referências

ABRAVA. **RENABRAVA 5**: Guia para uso e aplicação dos fluidos frigoríficos. Disponível em: <http://abrava.com.br/wp-content/uploads/2017/04/170406-R3--REABRAVA-5-Flu%C3%ADdos-Frigor%C3%ADficos-Seguranca.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2017.

ANELLI, Giovanni. **Manual prático do mecânico e do técnico de refrigeração**. Rio de Janeiro: Centro Studi Ca Romana, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5020**: tubos de cobre sem costura para uso geral: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NBR 5030**: tubo de cobre sem costura recozido brilhante, para usos gerais: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **NBR 7247**: tubo soldado de cobre e ligas de cobre para usos gerais: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **NBR 7417**: tubo extraleve de cobre, sem costura, para condução de água e outros fluidos. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

_____. **NBR 7541**: tubo de cobre sem costura para refrigeração e ar-condicionado: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **NBR 11720**: conexões para união de tubos de cobre por soldagem ou brasagem capilar: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR 13206**: tubo de cobre leve, médio e pesado, sem costura, para condução de fluidos: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR 13598**: vasos de pressão para refrigeração. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____. **NBR 14745**: tubo de cobre sem costura flexível, para condução de fluidos: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR 15345**: instalação predial de tubos e conexões de cobre e ligas de cobre: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 15417**: vasos de pressão: inspeção de segurança em serviço. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

_____. **NBR 15757**: tubos e conexões de cobre: métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 15949**: vaso de pressão para ocupação humana (VPOH) para fins terapêuticos: diretrizes para construção, instalação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____. **NBR 16069**: segurança em sistemas frigoríficos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR 16035-1**: caldeiras e vasos de pressão: requisitos mínimos para a construção. Parte 1: geral. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR 16035-2**: caldeiras e vasos de pressão: requisitos mínimos para a construção. Parte 2: conforme ASME Code, Section I. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR 16035-3**: caldeiras e vasos de pressão: requisitos mínimos para a construção. Parte 3: conforme ASME Code, Section VIII, Division 1. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR 16035-4**: caldeiras e vasos de pressão: requisitos mínimos para a construção. Parte 4: conforme ASME Code, Section VIII, Division 2. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 16035-5**: caldeiras e vasos de pressão: requisitos mínimos para a construção. Parte 5: vasos de pressão não sujeitos a chama: padrão europeu. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 16455**: vasos de pressão – Metodologia para inspeção não intrusiva. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **NBR ISO 14623**: sistemas espaciais: projeto estrutural: vasos de pressão e estruturas pressurizadas: projeto e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. **NBR ISO 16528-1**: caldeiras e vasos de pressão. Parte 1: Requisitos de desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **NBR ISO 16528-2**: caldeiras e vasos de pressão. Parte 2: procedimentos para atendimento integral da ABNT NBR ISO 16528-1. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **NBR NM 339**: ensaios não destrutivos: ensaio de emissão acústica (EA) em vaso de pressão metálico durante o ensaio de pressão: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Manual de boas práticas em supermercado para sistemas de refrigeração e ar condicionado**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2008.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Orientações para uso seguro de fluidos frigoríficos:** hidrocarbonetos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2015.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs-PBH**: fluidos frigoríficos naturais em sistemas de refrigeração comercial. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2015.

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 13**: caldeiras, vasos de pressão e tubulações. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2014. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR13.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2017.

DANFOSS do Brasil S. A. **Instruções de instalação**: recomendações e instruções do instalador. Disponível em: <http://files.danfoss.com/technicalinfo/dila/01/PF000G128.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2017.

ELGIN. **Manual de instalação**: condicionador de ar *hi-wall*. Disponível em: <http://img.americanas.com.br/produtos/01/02/manual/7365960.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2017.

HARRIS PRODUCTS GROUP. **Programa de treinamento Harris**: brasagem. São Paulo, s.d.

HEATCRAFT. **Manual de instalação:** sistema de refrigeração. São José dos Campos, s.d. Disponível em: <http://heatcraft.com.br/download/manual/Manual_de_Instalacao_2015.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2017.

IENO, Gilberto; NEGRO, Luiz. **Termodinâmica**. São Paulo: Pearson Education, 2004. 227 p.

MILLER, Rex; MILLER, Mark R. **Ar condicionado e refrigeração**. Rio de Janeiro: LTC, 2014. 565 p.

MONTEIRO, Victor. **Refrigeração I**: técnicas e competências ambientais, bases e fundamentos. Lisboa: ETEP, 2016, v. 1.

TELECURSO. **Profissionalizante de mecânica**: materiais. Rio de Janeiro: Fundação Roberto Marinho, 2009. 182 p. (Novo Telecurso). Parceria da Fundação Roberto Marinho e Federação das Indústrias do Estado de São Paulo.

TELLES, Pedro Carlos da Silva. **Tubulações industriais**: materiais, projeto e montagem. Rio de Janeiro: LTC, 1994.

VAN VLACK, Lawrence H. **Princípios de ciência dos materiais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

Sobre o autor

JOSÉ DE JESUS AMARAL MARQUES

Nasceu no Maranhão, em 21/12/1980. Veio para São Paulo fazer o curso do SENAI, escolhendo a área de Refrigeração e Climatização. Formou-se em Técnico de Refrigeração e Climatização em 2007. Formou-se também pela FATEC-SP em Tecnólogo de Mecânica de Precisão, em 2014. Atualmente, trabalha no SENAI, na área de docência. Fez vários cursos na área de eficiência energética e é autor do livro *Eficiência energética em sistemas de refrigeração e climatização*, pela SENAI-SP Editora.

Sobre a ABRAVA

Este livro teve o apoio da Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), instituição sem fins lucrativos que está presente em todos os setores da economia brasileira, com empresas nacionais e multinacionais atuantes nas áreas de indústria, comércio e serviços. Fundada em 1962, tem a missão de incentivar o desenvolvimento tecnológico e competitivo dos setores representados no país; promover o uso correto de equipamentos, componentes, fluidos refrigerantes e insumos; difundir a aplicação responsável das boas práticas brasileiras e internacionais de engenharia; e desenvolver normas e procedimentos para garantir o bem-estar e a qualidade de vida nos ambientes internos e meio ambiente. Mantém diversos convênios, parcerias, acordos e iniciativas, nacionais e internacionais, com entidades de classes, instituições acadêmicas e órgãos governamentais em prol da sociedade e dos setores representados. Para mais informação sobre a ABRAVA, consultar o *site* <www.abrava.com.br>.

Sobre o Procobre

Este livro teve o apoio do Instituto Brasileiro do Cobre (Procobre), instituição sem fins lucrativos que faz parte da Internacional Copper Association (ICA), sediada em Nova York, líder mundial na promoção do cobre, metal importante para o desenvolvimento da humanidade. O Procobre tem como missão difundir informações sobre os atributos técnicos e científicos do cobre, gerar pesquisas, desenvolver processos e produtos tecnológicos e criar novos usos para o metal. Seus dois maiores desafios são posicionar a indústria do cobre como um setor fundamental para responder às necessidades da sociedade e posicionar o cobre como um material que atende às preocupações do desenvolvimento sustentável. Mais informações em <http://procobre.org/pt/>.

SENAI-SP editora

Conselho Editorial
Paulo Skaf
Walter Vicioni Gonçalves
Ricardo Figueiredo Terra
Roberto Monteiro Spada
Neusa Mariani

Editor-chefe
Rodrigo de Faria e Silva

Edição
Lyvia Felix

Preparação
Tomoe Moroizumi

Revisão
Ednéia Ferri
Paula Brito Araújo

Produção gráfica
Camila Catto
Sirlene Nascimento
Valquíria Palma
Vanessa Lopes

Diagramação
Globaltec Editora

Capa
Inventum Design

Ilustração
Eduardo Tegeda

Fotos
Acervo SENAI-SP

Comercial
Ariovaldo Camarozano

© SENAI-SP Editora, 2018

A SENAI-SP Editora empenhou-se em identificar e contatar todos os responsáveis pelos direitos autorais deste livro. Se porventura for constatada omissão na identificação de algum material, dispomo-nos a efetuar, futuramente, os possíveis acertos.

A comunicação impressa
e o papel têm uma ótima
história ambiental
para contar

www.twosides.org.br

Este livro foi composto em Minion Pro e impresso em papel Offset alta alvura 75 g/m² pela gráfica Nywgraf, em abril de 2018.

Boas práticas no uso do cobre para refrigeração e climatização *visa oferecer orientação profissional aos técnicos que trabalham com climatização e refrigeração para a correta utilização do cobre em instalações e projetos.*

Esta obra aborda a segurança operacional, o manuseio de tubos, o uso de fluidos frigoríficos e o processo de brasagem, com ênfase nas boas práticas. Auxilia também na escolha de tubos de cobre para a montagem de sistemas frigoríficos duráveis e sustentáveis, com vistas à proteção do meio ambiente e ao bem-estar da sociedade.

ISBN 978-85-534-0094-2