



INFRAERO

Aeroportos Brasileiros

MANUTENÇÃO BÁSICA EM SISTEMAS DE AR CONDICIONADO

Guarulhos, Janeiro de 2009

INDICE

1. Introdução.....	03
2. Conceitos Fundamentais.....	10
3. Normas e Legislações.....	15
4. Ciclos de Refrigeração.....	19
5. Psicrometria.....	34
6. Equipamentos para Climatização.....	43
7. Componentes de Equipamentos para Climatização.....	47
8. Características dos Sistemas de Climatização.....	73
9. Termoacumulação.....	78
10. Atividades de Manutenção.....	83
11. Bibliografia.....	109
12. Anexos.....	110

1. INTRODUÇÃO

1.1. O Desenvolvimento da Climatização

Os métodos para se conseguir o frio artificial e aplicá-lo aos processos produtivos, estocagem e conforto evoluíram, transformaram-se, foram abandonados ou retomados, conforme as exigências de casa, época ou tipo de aplicação.

No início, havia só a busca por maior eficiência ao menor custo de instalação. Com o tempo o mundo passou a sofrer sucessivas crises no fornecimento de energia, fosse ela de origem orgânica, como o petróleo, ou físico-química, como a energia elétrica. Otimizar o consumo de energia passou, então a ser o fator obrigatório para o bom projeto e bom equipamento de ar condicionado (e refrigeração).

A busca pelo modelo mais eficiente e menos pródigo fez ressurgir, em alguns casos, processos dos primórdios da refrigeração, como a absorção por água, ou mesmo técnicas de climatização conhecida pelos árabes já na antiguidade, como o resfriamento evaporativo. Em outros casos, deu margem a novos conceitos de trabalho, como a termo-acumulação ou, no caso do frio para conforto, a distribuição de ar pelo piso, às vezes inovadoras, outras vezes nem tanto, mas sempre criativas, as formas não convencionais de se fazer frio fora do tradicional sistema eletromecânico vem ganhando espaço. O fato é que formas alternativas de ar condicionado (e refrigeração) conquistam profissionais e usuários do setor, no entanto o tradicional sistema eletromecânico ainda é imbatível, porém, nem sempre necessário.

O uso da climatização e da refrigeração para conforto e processos industriais data do final do século XIX quando em 1897, Joseph McCrearty criou e patenteou o que pode ser considerado o primeiro equipamento – um lavador de ar (sistema de resfriamento baseado no borrifamento de água no ar).

Mas foi em 1902 que Willis Carrier, um engenheiro de 25 anos formado pela Universidade de Cornell, inventou um processo mecânico de condicionar o ar. O controle do clima finalmente se tornou realidade, dando resposta direta a problemas específicos de uma indústria : a Sackett-Wilhelms Lithography and Publishing. Co (foto 1). no Brooklin, New York, que estava tendo problemas com trabalhos de impressão durante os meses mais quentes de verão. O papel absorvendo a umidade do ar, estava se dilatando. As cores impressas em dias úmidos não se alinhavam e nem se fixavam com as cores impressas em dias mais secos. Isso gerava imagens borradas e obscuras.



Foto 1 - Sackett-Wilhelms Lithography and Publishing. Co. onde foi feita a 1ª instalação de condicionador de ar por Carrier

Carrier, que estava trabalhando para Buffalo Forge Co., foi chamado para resolver o problema. Ele teorizou que poderia retirar a umidade da fábrica através do resfriamento do ar. Desenhou, então, uma máquina que fazia circular o ar por dutos artificialmente resfriados. Este processo, que controlava a temperatura e umidade, foi o 1º exemplo de condicionamento de ar contínuo por processo mecânico

A primeira instalação de condicionador de ar residencial aconteceu na mansão de Charles G. Gates em 1914 (foto 2), em Minneapolis. Carrier desenhou o aparelho medindo 6m de profundidade, 1,8m de largura, 2,1m de altura, maior e menos potente que os atuais.

Outra importante aplicação se deu também em 1914, quando Carrier instalou o condicionador de ar hospitalar. O sistema introduzia umidade extra no berçário de partos prematuros da Maternidade de Pittsburgh's Allegheny General Hospital (foto 3)



Foto 2 - Mansão G Gates

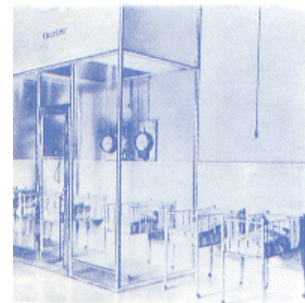


Foto 3 - Maternidade de Pittsburgh's Allegheny General Hospital

O condicionador de ar teve seu 1º "debut" em público em 1922, no Grauman's Metropolitan Theatre em Los Angeles. Em 1925 foi a vez do Rivoli Theatre, no Times Square do Broadway, atrair grande público com a promessa de oferecer uma central de refrigeração para mantê-lo confortável. Na verdade o condicionador de ar ajudou muito a indústria cinematográfica, pois nos meses de verão, a frequência dos cinemas caía muito e vários deles permaneciam fechados nesse período. Por isso mesmo os estados do sul dos Estados Unidos, foram os primeiros a utilizarem os novos sistemas que, por volta dos anos 30, já equipavam a maioria dos teatros e cinemas do país.

A máquina de refrigeração centrífuga, desenvolvida em 1922 por Willis Carrier, que já comandava sua própria empresa desde 1915, usava refrigerante de sua própria criação, o Dielene, em substituição à amônia. Durante a década de 20, com o advento do Dielene, o ar condicionado para conforto tornou-se mais acessível para o público em teatros, lojas de departamentos e outros prédios públicos

Em 1924, o condicionador de ar passou a ser utilizado para resfriar os ambientes de grandes estabelecimentos comerciais e lojas de departamentos de Detroit, Boston e New York, além dos prédios e escritórios. O Edifício Milan, em San Antonio, Texas, construído em 1928, foi o 1º edifício comercial multipiso projetado desde o início para incorporar um sistema de ar condicionado.

O uso do ar condicionado em veículos de transporte deu-se pela primeira vez em 1930, quando equipamentos foram instalados em vagões ferroviários de passageiros da ferrovia B&O.

No entanto, apesar do grande impulso na área de climatização proporcionado pelo invento de Carrier, havia um grande entrave: o tamanho das máquinas, que ocupavam muito espaço.

Nessa época começa a tornar-se viável a introdução no mercado de equipamentos compactos destinados ao condicionamento de ar em comércios e residências, em função do uso de um novo gás refrigerante não inflamável, o freon, mais apropriado para o uso em sistemas de menor capacidade, além de mais seguro e barato.

Ainda assim o custo do equipamento doméstico não era muito acessível, ficando quase que limitado ao uso em pequenos estabelecimentos comerciais. A adoção de ar condicionado residencial só pode ser disseminada com mais ênfase, a partir de 1950 com a produção em série de unidades com formato de caixas de aço para instalações suspensas, os hoje considerados ultrapassados equipamentos do tipo "janela".

No Brasil, a primeira instalação de um sistema de condicionamento de ar de que se tem notícia foi em 1909 no City Theater, no Rio de Janeiro. Entretanto, apenas muitos anos mais tarde é que a técnica começaria a se desenvolver de fato no país. Por volta de 1965 foi lançado o primeiro aparelho de ar condicionado no Brasil, pela empresa Coldex. Tratava-se de um equipamento do tipo “self contained” de 5 TR, cuja fabricação foi impulsionada pelo processo de industrialização que o país experimentava naquele momento. A evolução do setor de ar condicionado no Brasil acompanha de perto a evolução da economia. O Brasil é um território propício para o uso do ar condicionado e hoje o produto deixou de ser supérfluo, sendo considerado necessário e fundamental para o conforto humano e aumento de produtividade.

1.2. O Cenário Energético e o Sistema de Climatização

Um levantamento do panorama mundial energético dos últimos séculos nos remete a uma significativa e sempre crescente dependência da energia. Deste os primórdios, o desenvolvimento humano é condicionado às formas de energias conhecidas e acessíveis.

A lenha e o carvão vegetal foram as primeiras fontes de energia utilizadas, dando início à metalurgia e à indústria. Mas foi com a descoberta do carvão mineral que ocorreu uma das mais profundas mudanças no mundo, originada pela Revolução Industrial, a metalurgia e a indústria se desenvolveram, proporcionando, além do crescimento do comércio, a descoberta de novas tecnologias. O “gás manufacturado”, subproduto do craqueamento do carvão mineral e rico em hidrogênio, deu origem a iluminação pública, e proporcionou o uso de fogões e aquecedores de água residenciais.

No século XVIII, com a descoberta da energia elétrica, o “gás manufacturado” utilizado na iluminação pública foi substituído por esta forma de energia e o carvão mineral perdeu espaço nos processos industriais.

No final do século XIX, o petróleo e seus derivados são descobertos e com eles novas tecnologias e produtos. Surge o plástico, nasce a indústria automobilística e o mundo conhece o asfalto, sub-produto do petróleo, utilizado na construção de ruas e rodovias.

Já no século XX, os Estados Unidos dão maior apropriação ao gás natural desenvolvendo tecnologias para a utilização em termelétrica, em fogões, calefação e aquecedores. A Rússia, detentora das maiores reservas mundiais, passa então a exportar o combustível que ganha espaço e minimiza o uso do carvão mineral e do “gás manufaturado”, que dominava, até então, o cenário mundial na geração de energia. Ainda no século XX surge a energia nuclear e com ela o desenvolvimento de usinas termonucleares.

Porém, de todas as fontes energéticas descobertas até então, foi o petróleo que proporcionou o maior desenvolvimento econômico mundial, justificado por fatores como elevada capacidade energética, uso flexível e se apresentar na forma líquida, esta última possibilitando a facilidade para o transporte, o petróleo passou não só a ser a fonte de todos os combustíveis líquidos, mas também, a matéria prima de grande parte dos produtos ditos modernos. Nascia então a dependência mundial ao petróleo, sem haver preocupação quanto a dispersão dos mananciais petrolíferos no mundo, que no caso, encontram-se na sua grande maioria no Oriente Médio.

No final da Segunda Guerra, em 1945, surgiam os primeiros sinais da importância geoestratégica do petróleo, pois os países árabes ameaçavam um embargo petrolífero, se os Estados Unidos ajudassem o então Estado de Israel (atual Israel).

Em 1960 é criada a OPEP e já no final desta década a ameaça de outrora passa a ser realidade, surgindo o primeiro embargo aos Estados Unidos e Grã-Bretanha devido ao auxílio dado a Israel na Guerra dos Seis Dias, porém de curta duração.

A primeira crise decorrente do petróleo foi deflagrada em outubro de 1973. Com o início da guerra entre Arábia Saudita e Israel é declarado um embargo pelas nações árabes. Em 1974 a OPEP aumenta significativamente o preço do petróleo provocando consequências nefastas à economia mundial a aos mercados financeiros.

O crescimento econômico dos Estados Unidos diminuiu drasticamente e a inflação subiu rapidamente, culminando em estagnação da economia.

Com o domínio sobre as maiores reservas e o preço do petróleo nas mãos da OPEP, desperta a preocupação do Brasil e do mundo, visto a dependência da economia mundial ao petróleo. O mundo reagiu de diferentes formas. No Brasil, a crise de 1973, desencadeou, entre outras ações e programas, a intensificação de construções de hidrelétricas para reduzir a dependência do petróleo. De 1973 à 2006, a parcela da matriz energética brasileira, referente a energia hidráulica, aumentou de maneira muito significativa, passando de 6,1% para 14,8%. Em contra partida, a parcela referente ao petróleo reduziu, passando de 45,5% em 1973 para 37,7% em 2006. Outras formas de energia, como aquela proporcionada pelo carvão mineral, gás natural e nuclear apareceram de maneira mais significativa na composição da matriz energética brasileira em 2006. Nesse período, a oferta de energia no Brasil sofreu um aumento de aproximadamente 175%.

Comparando a matriz energética brasileira com aquela referente à média dos demais países mundiais, constata-se uma forte dependência da energia elétrica brasileira às fontes hidráulicas, conforme pode ser visto na Figura 1.

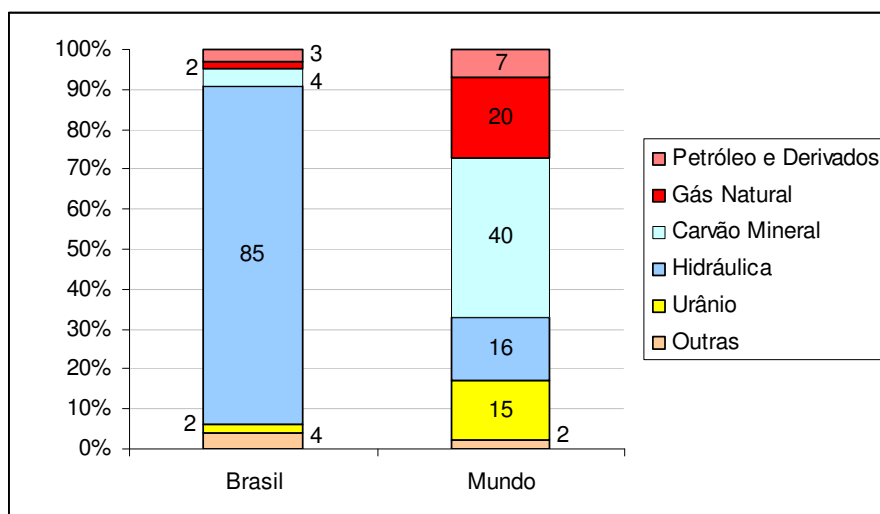


Figura 1 – Matriz de oferta de energia elétrica no Brasil e no Mundo em 2005
 Fonte: Ministério de Minas e Energia – Relatório de Energia Elétrica 2007

Esta dependência é temerosa, uma vez que as termelétricas dependem de reservatórios cheios, e estes por sua vez, de chuvas. Porém, a hidrologia é uma ciência incerta, ou seja, um longo período de estiagem pode levar a racionamentos e “apagões”, como ocorreu em 2001, quando em abril daquele ano os reservatórios atingiram o nível de 33%, decretando o início do racionamento e impondo a população uma forte meta de redução de consumo.

Para alguns estudiosos o risco de racionamentos é permanente em um país que tem na água a sua matriz energética. Este aponta ainda, como uma preocupação extra, os efeitos do aquecimento global sobre os cursos de água.

Para outros o crescimento econômico caracteriza um perigo para o sistema elétrico e segundo previsões, para cada ponto percentual de crescimento do PIB, a oferta energética precisaria aumentar 1,2 a 1,3%.

Segundo estudos feitos pelo PROCEL, em 2030 o Brasil terá uma demanda elétrica estimada em 1195 TWh, um crescimento de 159% (4,2% a.a.), quando comparado aos 460,5 TWh consumidos em 2006. Em contra partida, o mesmo estudo prevê que a energia elétrica gerada de fonte hidráulica terá uma redução de 12,6 pontos percentuais, passando de 85% para 72,4%, sendo que deste montante, 84% é, e continuará sendo, gerado pelo setor público.

Os números apresentados nos revelam três importantes cenários, quais sejam, a continuidade da dependência brasileira à energia elétrica de origem hidráulica, a necessidade de implementos nas hidrelétricas geridas pelo governo e, considerando os estudos realizados e os dados previstos pelo PROCEL para o crescimento da demanda elétrica, limitando o PIB a, no máximo, 3,5% ao ano.

Porém, de acordo com as previsões do ministro do planejamento, feitas em abril de 2008 a meta brasileira é que o PIB cresça 5% ao ano até 2011. Desta maneira, estaríamos fadados a novos racionamentos e “apagões”, a menos que seja executado pelo governo um plano de contingenciamento, considerando hipóteses de operacionalizar termelétricas a gás natural e/ou outras fontes energéticas geradoras de eletricidade, ainda que de maneira temporária e mais onerosa.

A saída a uma possível restrição na oferta de energia elétrica esta na diversificação e na implementação imediata de programas de conservação e eficiência energética. Uma melhoria na eficiência energética em edifícios existentes e em outras infra-estruturas representaria uma economia de milhões de dólares e também de centenas de milhões de toneladas em emissões.

No PNE 2030, o Ministério de Minas e Energia considera que aproximadamente 10% da demanda de eletricidade em 2030 sejam atendidas por ações de eficiência energética, incluindo neste o progresso autônomo e programas específicos.

Um programa específico já empreendido é o PROCEL, que já apresenta resultados positivos.

Sempre focado na implementação de programas de conservação e eficiência energética, o PROCEL publicou em 2001, entre outras, uma cartilha intitulada de “Orientações Gerais para Conservação de Energia Elétrica em Prédios Públicos”, onde apresenta inúmeras dicas para auxiliar a obtenção de resultados que tragam redução no consumo energético. Esta foi uma medida implementada em face ao grande choque no sistema elétrico brasileiro naquele ano.

No intuito de evidenciar as formas de consumo do setor público, o PROCEL apresentou naquele ano um perfil de consumo de energia elétrica em prédios públicos, destacando-se neste os sistemas de ar condicionado, responsáveis pela apropriação de 48% da energia elétrica, constituindo-se desta maneira como uma vitrine para aplicação de estudos no intuito de otimizar este consumo.

Somado a todo esse cenário de incertezas e insegurança quanto ao futuro da oferta de energia elétrica manifesta-se ainda o significativo e crescente avanço tecnológico no tocante às edificações. Cada vez mais optam-se por construções que proporcionem conforto aos usuários, destacando-se, dentre outros, o conforto térmico o qual demanda o “enclausuramento” dos ambientes no intuito de se minimizar as perdas térmicas e conseqüentemente otimizar o consumo energético dos sistemas de climatização.

É dentro deste cenário que a manutenção de equipamentos de climatização de ar vem ganhando notória importância, pois proporciona a otimização do consumo energético, e conseqüentemente, a redução de custos, e ao mesmo tempo a garantia de continuidade do conforto térmico das edificações.

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1. Ar Condicionado

2.1.1. Definição ASHRAE

Condicionamento de ar é o processo de tratamento do ar de modo a controlar simultaneamente a temperatura, a umidade, a movimentação e a pureza do ar para atender as necessidades do recinto condicionado.

2.1.2. Definição ABNT (NBR 6401)

O condicionamento de ar, qualquer que seja a finalidade a que se destine, implica preliminarmente a limitação entre os seguintes valores preestabelecidos das grandezas discriminadas, representativos das condições que devem coexistir nos recintos, no período de tempo em que se considera a aplicação do processo:

- a) temperatura do ar no termômetro de bulbo seco;
- b) umidade relativa do ar;
- c) movimentação do ar;
- d) grau de pureza do ar;
- e) nível de ruído admissível;
- f) porcentagem ou volume de renovação de ar.

2.2. Calor Sensível: É o calor que ocorre devido à variação de temperatura, em quase todos os ambientes temos um elevado teor de calor sensível nas lâmpadas tanto frio como as normais, na insolação, na condução, etc;

2.3. Calor Latente: É o calor que ocorre nas mudanças de estado, normalmente onde temos temperatura elevada como muitas pessoas fazendo um grande esforço físico, temos muito calor latente, a exemplo das boates, danceterias, academias, etc.

2.4. Calor Total: É a soma dos calores sensível e total.

2.5. Cargas de Calor ou Cargas Térmicas: São todos aqueles fatores que contribuem para aumentar a temperatura ambiente acima dos níveis de conforto. As cargas podem ser internas (pessoas, iluminação, eletrodomésticos, etc) ou externas (irradiação solar, condução através de paredes, etc).

2.6. Pressão Atmosférica: é a pressão da massa de ar sendo exercida sobre a superfície da terra;

2.7. Pressão Relativa: é a pressão de um sistema, também conhecida como pressão manométrica;

2.8. Unidades de Calor

2.8.1. BTU (unidade britânica de temperatura): É a quantidade de calor necessária para variar em 1°.F a quantidade de 1 lb de água;

2.8.2. kcal (quilocaloria): É a quantidade de calor necessária para variar em 1°.C a quantidade de 1 kg de água.

2.8.3. TR (tonelada de refrigeração): é a quantidade de calor necessária para fundir uma tonelada de gelo em 24 horas

2.8.4. Calor Específico: É a quantidade de calor necessária para variar em 1°.C a quantidade de 1 kg de determinada substância. Essa unidade é dada por [kcal / kg x °C]

Conversões:

$$1 \text{ kW} = 860 \text{ kcal} = 0.284 \text{ TR}$$

$$1 \text{ TR} = 3.024 \text{ kcal} = 12.000 \text{ BTU}$$

2.9. Superaquecimento: É o calor contido em um vapor acima de seu teor de calor no ponto de ebulição à pressão existente.

2.10. Frost Back ou Retrocongelamento: É a inundação de líquido proveniente do evaporador na linha de sucção, acompanhada, na maioria dos casos, pela formação de gelo na linha de sucção.

2.11. Carta Psicrométrica: Carta utilizada para determinar o volume específico, ponto de orvalho, umidade relativa, umidade absoluta, temperatura de bulbo úmido, temperatura de bulbo seco e entalpia. Para tanto deve-se conhecer duas propriedades do ar dentre aquelas citadas.

2.12. Linha de Alta: Parte de um sistema de refrigeração contendo o refrigerante à alta pressão. Também usado para referir à unidade de condensação.

2.13. Linha de Baixa: Parte de um sistema de refrigeração que normalmente funciona sob baixa pressão, como o oposto ao lado de alta. Também usado para se referir ao evaporador.

2.14. Linha de Sucção: Tubulação ou cano que transporta o refrigerante (em forma de vapor) do evaporador para a linha de admissão do compressor.

2.15. Linha de Líquido: Tubulação ou encanamento que leva o refrigerante (em forma líquida) de um condensador para um sistema de redução de pressão (válvula de expansão).

2.16. Não Condensáveis: Gases estranhos misturados com o refrigerante e que não podem ser condensados na forma líquida às temperaturas e pressões nas quais o refrigerante se condensa.

2.17. Refrigerante: Meio de transmissão de calor em um sistema de refrigeração que absorve calor por evaporação à baixa temperatura e fornece calor pela condensação à alta temperatura.

2.18. Termostato: Disjuntor atuado pela temperatura.

2.19. Umidade Absoluta: É a quantidade de água contida em uma quantidade definida de ar. Geralmente expressa por “gramas de água por quilogramas de ar”

2.20. Válvula de Expansão: É o componente que promove a expansão do gás, reduzindo sua pressão e temperatura, tornando-o vapor. Esta localizada entre o condensador e o evaporador. Possui ainda a função de regular o fluxo de refrigerante no evaporador.

2.21. Evaporador: É um trocador de calor que absorve o calor para o sistema de refrigeração. Ele recebe líquido refrigerante frio, de baixa pressão vindo do dispositivo de expansão e através da absorção do calor de alguma substância (ou meio), vaporiza-o em seu interior.

2.22: Condensador: É o componente do ciclo de refrigeração responsável por transferir o calor do sistema para o ar ou para a água (ou ainda para os dois ao mesmo tempo – no caso de condensadores evaporativos). O calor é absorvido pelo evaporador e deslocado até o condensador pelo compressor.

2.23: Filtro Secador: É um componente composto de partículas dessecantes que tem por finalidade reter impureza solidas e absorver umidade. Geralmente é instalado na linha de líquido, antes da válvula de expansões, mas também pode ser montado na linha de sucção para eliminar compostos ácidos decorrentes da decomposição parcial do refrigerante com óleo.

2.24: Compressor: É o componente responsável por criar o fluxo de refrigerante ao longo do sistema de refrigeração. No processo, recebe vapor refrigerante em baixas temperaturas e pressão e eleva o vapor até uma pressão e temperatura maior.

2.25. Entropia (s): Esta propriedade termodinâmica representa, segundo alguns autores, uma medida da desordem molecular da substância ou, segundo outros, a medida da probabilidade de ocorrência de um dado estado da substância.

2.26. Entalpia (h): Na análise térmica de alguns processos específicos, freqüentemente são encontradas certas combinações de propriedades termodinâmicas. Uma dessas combinações ocorre quando se tem um processo a pressão constante, resultando a combinação $u + P_v$. Assim é conveniente definir uma nova propriedade termodinâmica chamada entalpia, a qual é representada pela letra h.

- u : é a energia interna;
- P_v : é a pressão de vapor

2.2.27. COP: Coeficiente de performance do ciclo de refrigeração

2.2.28. Temperatura de saturação: é uma temperatura limite, ou seja, aquela que proporciona uma condição tal que qualquer calor adicional que se aplique no líquido faça com que parte do mesmo se transforme em vapor, diz-se que o líquido esta saturado.

2.2.29. Sub-resfriamento: é uma temperatura limite, abaixo da qual o vapor d'água deixa de existir, ou seja, abaixo desta somente líquido existirá.

2.2.30. Psicrometria: É a ciência que estuda a mistura de ar seco e vapor.

2.2.31. Temperatura de bulbo seco: É a temperatura indicada por um termômetro comum, não exposto a radiação. É a verdadeira temperatura do ar úmido. É freqüentemente denominada apenas temperatura do ar.

2.2.32. Temperatura de bulbo úmido: Se o bulbo de um termômetro for coberto com uma mecha de algodão saturado com água a sua temperatura descerá, primeiro rapidamente e depois lentamente até atingir um ponto estacionário. A leitura neste ponto é chamada de temperatura de bulbo úmido do ar. Para se obter valores corretos para a temperatura de bulbo úmido, a velocidade do ar, que se deseja medir a temperatura deve ser de 5 m/s, com relação ao bulbo.

2.2.33. Temperatura de orvalho (ou ponto de orvalho): A temperatura de orvalho é a temperatura na qual o vapor de água se condensa, ou solidifica, quando resfriado a pressão e umidade absoluta constante.

2.2.34. Umidade relativa: A umidade relativa é definida como a relação entre a pressão parcial do vapor de água na mistura e a pressão de saturação correspondente à temperatura da mistura.

2.2.35. Pressão parcial de vapor: é a pressão parcial exercida pelas moléculas de vapor d'água presentes no ar úmido.

2.2.36. Pressão de vapor: idem à pressão parcial de vapor, porém tomada quando o ar está saturado.

3. NORMAS E LEGISLAÇÕES

Como quase toda atividade, a Refrigeração e a Climatização tem que atender uma série de normas e legislações legais.

Grande parte dos profissionais envolvidos com estes processos ainda desconhecem boa parte delas. Para eles e, é claro, seus clientes, isso pode se tornar um problema sério caso não sejam atendidas.

Considere um centro cirúrgico de um grande hospital interditado porque a climatização do mesmo não atende a determinação da portaria 3523 do Ministério da Saúde, por exemplo. O prejuízo pode ser grande mas o dano a imagem do hospital é talvez, irreparável.

Abaixo encontram-se relacionados um apanhado das principais normas e legislações que regem a refrigeração e climatização.

3.1. Legislações

3.1.1. Portaria nº. 3253/MS, de 28 de Agosto de 1998: Determina a criação de um plano de manutenção, operação e controle (PMOC) para ambientes climatizados.

3.1.2. Resolução 09 da ANVISA (2003): Estabelece padrões de qualidade do ar para ambientes interiores climatizados artificialmente.

3.1.3. Decisão normativa 42 do CONFEA: Determina o registro no CREA local de toda pessoa jurídica que execute instalação e manutenção de sistemas de condicionadores de ar.

3.1.4. Instrução normativa 37 do IBAMA: Determina o registro de pessoas físicas e jurídicas que lidem com substâncias controladas pelo Protocolo de Montreal – Cadastro Técnico Federal (substâncias controladas: clorofluorcarbono, halon, metilclorofórmio, tetracloreto de carbono, brometo de metila, hidrocloreto de carbono).

3.1.5. Decreto Lei 99.280-90: Promulga a Convenção de Viana e o Protocolo de Montreal sobre substâncias que destroem a camada de ozônio

3.1.6. Resolução 267 do CONAMA: Proíbe o uso e comercialização de várias substâncias utilizadas na refrigeração

3.1.7. Resolução 340 do CONAMA: Proíbe o uso de alguns cilindros e dá instruções sobre a reciclagem de gases.

3.1.8. Lei nº. 9605/98: Lei dos crimes ambientais. Aplica-se em alguns casos de descumprimentos.

3.1.9. NR 10: Instalações e serviços em eletricidade

3.1.10. Há de se verificar a existências de legislações no âmbito municipal e estadual.

Ex 01. Lei Municipal nº. 2.749 de 23 de Março de 1999 – Cidade do Rio de Janeiro:
Coíbe o gotejamento proveniente de aparelhos de ar condicionado

Ex 02. Lei Estadual nº. 4.192 de 01 de Outubro de 2003 – Cidade do Rio de Janeiro:
Dispõem sobre a limpeza e inspeção de ar condicionado.

3.2. Normas

3.2.1. NBR 10.080 - Instalações de ar condicionado para salas de computadores;

Descrição: Fixa condições exigíveis para a elaboração de projetos de instalações de ar condicionado para salas de computadores.

3.2.2. NBR 16401-1 - Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 1: Projetos e Instalações

Descrição; Estabelece os parâmetros básicos e os requisitos mínimos de projeto para sistemas de ar condicionado, centrais e unitários.

3.2.3. NBR 16401-2 - Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 2: Parâmetros de conforto térmico

Descrição: Especifica os parâmetros do ambiente interno que proporcionem conforto térmico aos ocupantes de recintos providos de ar condicionado.

3.2.4. NBR 16401-3 - Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 3: Qualidade do ar interior

Descrição: Especifica os parâmetros básicos e os requisitos mínimos para sistemas de ar condicionado, visando à obtenção de qualidade aceitável de ar interior para conforto.

3.2.5. NBR 6675 – Instalação de ar condicionado de uso doméstico (tipo monobloco ou modular)

Descrição: Fixa condições exigíveis na execução de instalação de aparelhos condicionadores de ar de uso doméstico, tipo monobloco ou modular, de forma a garantir sua segurança e bom funcionamento

3.2.6 NBR 7256: Tratamento de ar de estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) – Requisitos gerais para projeto e execução

Descrição: Estabelece os requisitos mínimos para projeto e execução de instalações de tratamento de ar em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS).

3.2.7. NBR 11215 – Equipamentos unitários de ar-condicionado e bomba de calor – Determinação da capacidade de resfriamento e aquecimento.

Descrição: Prescreve o método para determinar a capacidade de resfriamento do equipamento unitário de condicionamento de ar e as capacidades de resfriamento e aquecimento do equipamento unitário de bomba de calor.

3.2.8. NBR 14679 – Sistemas de condicionamento de ar e ventilação – Execução de serviços de higienização.

Descrição: Tem por objetivo estabelecer os procedimentos e diretrizes mínimas para execução dos serviços de higienização corretiva de sistemas de tratamento e distribuição de ar contaminados microbiologicamente.

3.2.9. NBR 13971 – Sistemas de refrigeração, condicionamento de ar e ventilação – Manutenção programada.

Descrição: Estabelece orientações básicas para as atividades e serviços necessários na manutenção programada de conjuntos e componentes em sistemas e equipamentos de refrigeração, condicionamento de ar e ventilação.

3.2.10. NBR 5858 – Ar condicionado doméstico.

Descrição: Esta norma fixa condições exigíveis para determinar o desempenho do condicionador de ar doméstico sob condições determinadas de ensaio, e estabelece os padrões mínimos de qualidade e capacidade.

3.2.11. NBR 5882 – Condicionador de ar doméstico – Determinação das características.

Descrição: Esta norma prescreve métodos de ensaio para determinação das características dos condicionadores de ar domésticos. Não se aplica a condicionadores de ar domésticos que utilizam condensadores a água.

3.2.12. NBR 10.142 – Condicionador de ar do tipo compacto – Ensaio de aceitação em fábrica.

Descrição: Prescreve o método de ensaio em fábrica de condicionadores do tipo compacto, visando avaliar se o desempenho desses equipamentos está compatível com as especificações do fabricante.

3.2.13. NBR 12.010 – Determinação do coeficiente de eficiência energética.

Descrição: Prescreve o método de ensaio utilizado para determinação do coeficiente de eficiência energética de condicionadores de ar domésticos, operados eletricamente.

3.2.14. NBR 12.967 – Condicionador de ar de uso doméstico (tipo monobloco ou modular) – Instrumentos de medição.

Descrição: Esta norma visa padronizar os instrumentos utilizados e fixa faixa limite de exatidão.

3.2.12. ASHRAE Handbook 2008 – HVAC Systems e Equipment

3.2.13. ASHRAE Handbook 2007 – HVAC Applications

3.2.14. ASHRAE Handbook 2006 – Refrigeration

3.2.15. ASHRAE Handbook 2005 – Fundamentals

3.2.16. ASHRAE Standard 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (Estabelece parâmetros para condições térmicas ambientais para ocupação humana)

3.2.17. SMACNA – HVAC Duct Construction Standards – Metal and Flexible (Estabelece padrões para construção de dutos)

3.2.18. SMACNA – HVAC Air Duct Leakage Test Manual

3.2.19. SMACNA – Residential Comfort System Installation Standards Manual

4. CICLOS DE REFRIGERAÇÃO

4.1. Diagrama de Mollier para Fluidos Refrigerantes

As propriedades termodinâmicas de uma substância são freqüentemente apresentadas, além das tabelas, em diagramas que podem ter por ordenada e abscissa, temperatura e entropia, entalpia e entropia, pressão absoluta e volume específico ou pressão absoluta e entropia.

Os diagramas tendo como ordenada pressão absoluta (P) e como abscissa a entalpia específica (h) são bastante utilizados para apresentar as propriedades dos fluidos frigoríficos, visto que estas coordenadas são mais adequadas à representação do ciclo termodinâmico de refrigeração por compressão de vapor. Estes diagramas são conhecidos como diagramas de Mollier. A Figura 2 mostra os elementos essenciais dos diagramas pressão-entalpia, para qualquer substância pura.

Diagramas completos para leitura de dados a serem usados nas análises térmicas de sistemas de refrigeração podem ser obtidos facilmente através de literatura especializada.

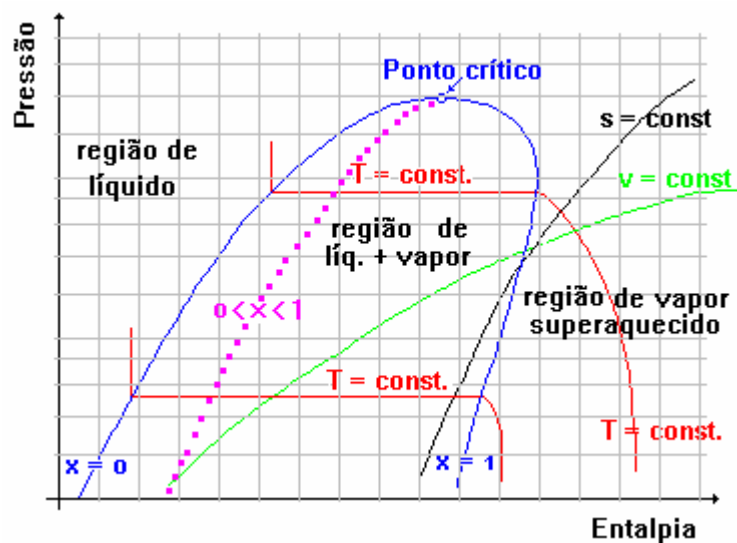


Figura 2 - Esquema de um diagrama de P-h (Mollier) para um refrigerante

Estes diagramas são úteis, tanto como meio de apresentar a relação entre as propriedades termodinâmicas, como porque possibilitam a visualização dos processos que ocorrem em cada uma das partes do sistema. Assim, no estudo de um ciclo de refrigeração será utilizado o diagrama de Mollier para mostrar o que ocorre em cada componente do sistema de refrigeração (compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador). O ciclo completo de refrigeração por compressão de vapor também será representado sobre o diagrama de Mollier.

No diagrama de Mollier podem se destacar três regiões características, que são:

- a) A região à esquerda da linha de líquido saturado ($x=0$), chamada de região de líquido subresfriado.
- b) A região compreendida entre as linhas de líquido saturado ($x=0$) e vapor saturado ($x=1$), chamada de região de vapor úmido ou região de líquido mais vapor.
- c) A região à direita da linha de vapor saturado ($x=1$), chamada de região de vapor superaquecido.

Para determinar as propriedades termodinâmicas de um estado nas condições saturadas, basta conhecer uma propriedade e o estado estará definido. Para as regiões de líquido sub-resfriado e vapor superaquecido é necessário conhecer duas propriedades para definir um estado termodinâmico.

4.2. Ciclos de Refrigeração por Compressão de Vapor

Se um líquido for introduzido num vaso onde existe, inicialmente, um grau de vácuo e cujas paredes são mantidas a temperatura constante, ele se evaporará imediatamente. No processo, o calor latente de vaporização, ou seja, o calor necessário para a mudança do estado líquido para o estado vapor é fornecido pelas paredes do vaso. O efeito de resfriamento resultante é o ponto de partida do ciclo de refrigeração.

À medida que o líquido se evapora, a pressão dentro do vaso aumenta até atingir, eventualmente, a pressão de saturação para a temperatura considerada. Depois disto nenhuma quantidade de líquido evaporará e, naturalmente, o efeito de resfriamento cessará. Qualquer quantidade adicional de líquido introduzido permanecerá neste estado, isto é, como líquido no fundo do vaso. Se for removida parte do vapor do recipiente conectando-o ao lado de sucção de uma bomba,

a pressão tenderá a cair, isto provocará uma evaporação adicional do líquido. Neste aspecto, o processo de resfriamento pode ser considerado contínuo. E, para tal, necessita-se: de um fluido adequado, o refrigerante; um recipiente onde a vaporização e o resfriamento sejam realizados, chamado de evaporador; e um elemento para remoção do vapor, chamado de compressor.

O sistema descrito acima não é prático, pois envolve um consumo contínuo de refrigerante. Para evitar que isso ocorra é necessário converter o processo num ciclo. Para fazer o vapor retornar ao estado líquido, o mesmo deve ser resfriado e condensado. Usualmente, utiliza-se a água ou o ar, como meio de resfriamento, os quais se encontram a uma temperatura, substancialmente, mais elevada do que a temperatura reinante no evaporador. A pressão de vapor correspondente à temperatura de condensação deve, portanto, ser bem mais elevada do que a pressão no evaporador. O aumento desejado de pressão é promovido pelo compressor.

A liquefação do refrigerante é realizada num condensador que é, essencialmente, um recipiente resfriado externamente pelo ar ou água. O gás refrigerante quente (superaquecido) com alta pressão é conduzido do compressor para o condensador, onde é condensado. Resta agora completar o ciclo, o que pode ser feito pela inclusão de uma válvula ou outro dispositivo regulador, que será usado para injeção de líquido no evaporador. Este é um componente essencial de uma instalação de refrigeração e é chamado de válvula de expansão

4.3. Ciclo Teórico de Refrigeração por Compressão de Vapor

Um ciclo térmico real qualquer deveria ter para comparação o ciclo de CARNOT, por ser este o ciclo de maior rendimento térmico possível. Entretanto, dado as peculiaridades do ciclo de refrigeração por compressão de vapor, define-se um outro ciclo que é chamado de ciclo teórico, no qual os processos são mais próximos aos do ciclo real e, portanto, torna-se mais fácil comparar o ciclo real com este ciclo teórico (existem vários ciclos termodinâmicos ideais, diferentes do ciclo de Carnot, como o ciclo ideal de Rankine, dos sistemas de potência a vapor, o ciclo padrão ar Otto, para os motores de combustão interna a gasolina e álcool, o ciclo padrão ar Brayton, das turbinas a gás, etc). Este ciclo teórico ideal é aquele que terá melhor performance operando nas mesmas condições do ciclo real.

A Figura 3 mostra um esquema básico de um sistema de refrigeração por compressão de vapor com seus principais componentes, e o seu respectivo ciclo teórico construído sobre um diagrama de Mollier, no plano P-h. Os equipamentos esquematizados na Figura 3 representam, genericamente, qualquer dispositivo capaz de realizar os respectivos processos específicos indicados.

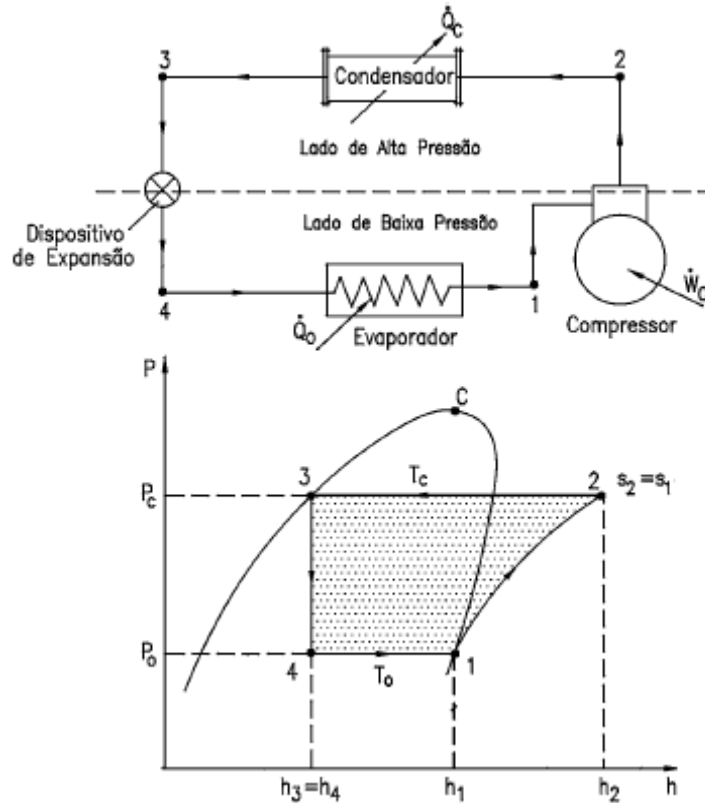


Figura 3 - Ciclo teórico de refrigeração por compressão de vapor.

Os processos termodinâmicos que constituem o ciclo teórico em seus respectivos equipamentos são:

- Processo 1→2. Ocorre no compressor, sendo um processo adiabático reversível e, portanto, isentrópico, como mostra a Figura 3. O refrigerante entra no compressor à pressão do evaporador (P_o) e com título igual a 1 ($x = 1$). O refrigerante é então comprimido até atingir a pressão de condensação (P_c) e, ao sair do compressor está superaquecido à temperatura T_2 , que é maior que a temperatura de condensação T_c .
- Processo 2→3. Ocorre no condensador, sendo um processo de rejeição de calor, do refrigerante para o meio de resfriamento, à pressão constante. Neste processo o fluido frigorífico é resfriado da temperatura T_2 até a temperatura de condensação T_c e, a seguir, condensado até se tornar líquido saturado na temperatura T_3 , que é igual à temperatura T_c .
- Processo 3→4. Ocorre no dispositivo de expansão, sendo uma expansão irreversível a entalpia constante (processo isentálpico), desde a pressão P_c e líquido saturado ($x=0$), até a pressão de vaporização (P_o). Observe que o processo é irreversível e, portanto, a entropia

do refrigerante na saída do dispositivo de expansão (s_4) será maior que a entropia do refrigerante na sua entrada (s_3).

- d) Processo 4→1. Ocorre no evaporador, sendo um processo de transferência de calor a pressão constante (P_o), conseqüentemente a temperatura constante (T_o), desde vapor úmido (estado 4), até atingir o estado de vapor saturado seco ($x=1$). Observe que o calor transferido ao refrigerante no evaporador não modifica a temperatura do refrigerante, mas somente muda sua qualidade (título).

4.4. Ciclo Real de Refrigeração por Compressão de Vapor

As diferenças principais entre o ciclo real e o ciclo teórico estão mostradas na Figura 4 e serão descritas a seguir.

Uma das diferenças entre o ciclo real e o teórico é a queda de pressão nas linhas de descarga, líquido e de sucção assim como no condensador e no evaporador. Estas perdas de carga ΔP_d e ΔP_s estão mostradas na Figura 4.

Outra diferença é o sub-refriamento do refrigerante na saída do condensador (nem todos os sistemas são projetados com sub-refriamento) e o superaquecimento na sucção do compressor, sendo este também um processo importante que tem a finalidade de evitar a entrada de líquido no compressor. Outro ponto significativo é o processo de compressão, que no ciclo real é politrópico ($s_1 \neq s_2$), e no processo teórico é isentrópico.

Devido ao superaquecimento e ao processo politrópico de compressão a temperatura de descarga do compressor (T_2) pode ser muito elevada, tornando-se um problema para os óleos lubrificantes usados nos compressores frigoríficos. A temperatura de descarga não deve ser superior a 130 °C, o que, por vezes, exige o resfriamento forçado do cabeçote dos compressores, principalmente quando são utilizados os refrigerantes R717 e R22, (com baixas temperaturas de evaporação). Muitos outros problemas de ordem técnica, dependendo do sistema e sua aplicação, podem introduzir diferenças significativas além das citadas até aqui.

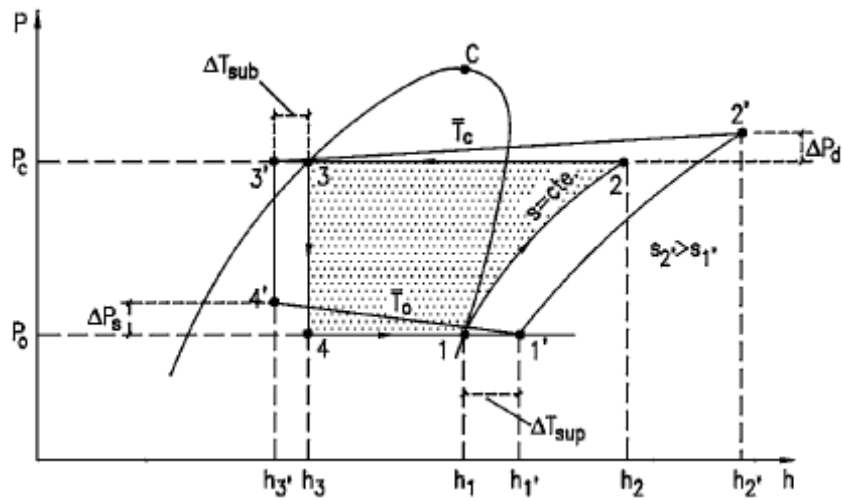


Figura 4 - Diferenças entre o ciclo teórico e o real de refrigeração.

4.5. Balanço de Energia para o Ciclo de Refrigeração por Compressão de Vapor

O balanço de energia do ciclo de refrigeração é feito considerando-se o sistema operando em regime permanente nas condições de projeto, ou seja, à temperatura de condensação (T_C) e temperatura de vaporização (T_O) constantes. Os sistemas reais e teóricos têm comportamentos idênticos, tendo o ciclo real apenas um desempenho pior. A análise do ciclo teórico permitirá, de forma simplificada, verificar quais parâmetros têm influência no desempenho do ciclo.

4.5.1. Capacidade Frigorífica

A capacidade frigorífica (Q_O), é a quantidade de calor, por unidade de tempo, retirada do meio que se quer resfriar (produto), através do evaporador do sistema frigorífico. Este processo está indicado na Figura 5.

Considerando-se que o sistema opera em regime permanente e desprezando-se as variações de energia cinética e potencial, pela primeira lei da termodinâmica, tem-se:

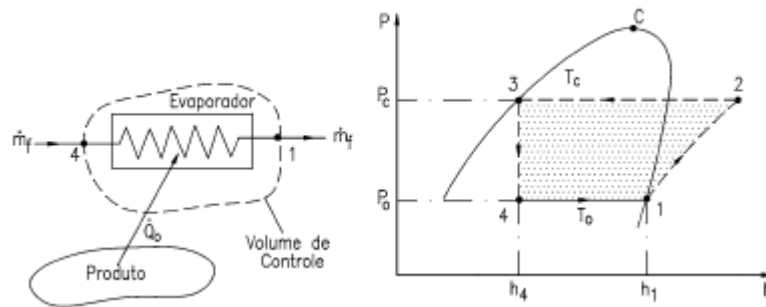


Figura 5 - Processo de transferência de calor no evaporador

$$Q_0 = m_f (h_1 - h_4)$$

Normalmente, se conhece a capacidade frigorífica do sistema de refrigeração, a qual deve ser igual à carga térmica, para operação em regime permanente. Se for estabelecido o ciclo e o fluido frigorífico com o qual o sistema deve trabalhar, pode-se determinar o fluxo mássico que circula através dos equipamentos, pois as entalpias h_1 e h_4 são conhecidas e, conseqüentemente o compressor fica determinado.

A quantidade de calor retirada no evaporador é chamada de Efeito Frigorífico. (EF), e é um dos parâmetros usados para definir o fluido frigorífico que será utilizado em uma determinada instalação.

$$EF = h_1 - h_4$$

4.5.2. Potência Teórica de Compressão

Chama-se de potência teórica de compressão à quantidade de energia, por unidade de tempo, que deve ser fornecida ao refrigerante, no compressor, para se obter a elevação de pressão necessária ao do ciclo teórico. Neste ciclo o processo de compressão é adiabático reversível (isentrópico), como indicado na Figura 6. No sistema de refrigeração real o compressor perde calor para o meio ambiente, entretanto, este calor é pequeno quando comparado à energia necessária para realizar o processo de compressão. Aplicando-se a primeira lei da termodinâmica, em regime permanente, no volume de controle da figura baixo e desprezando-se a variação de energia cinética e potencial tem-se que:

$$W_C = m_f (h_2 - h_1)$$

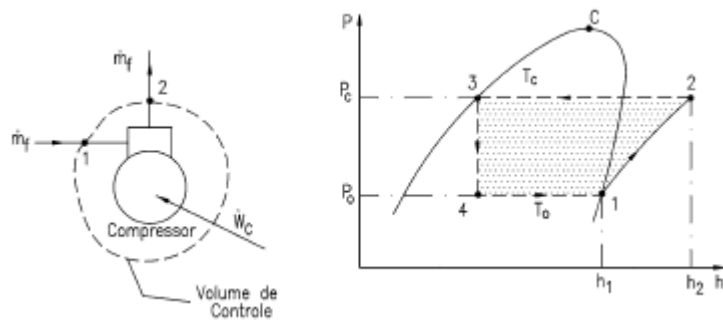


Figura 6 - Processo de compressão adiabático reversível no compressor

4.5.3. Calor Rejeitado no Condensador

Conforme mencionado, a função do condensador é transferir calor do fluido refrigerante para o meio de resfriamento do condensador (água ou ar). Este fluxo de calor pode ser determinado através de um balanço de energia no volume de controle da Figura 7. Assim, considerando o regime permanente, tem-se que:

$$Q_C = m_f (h_2 - h_3)$$

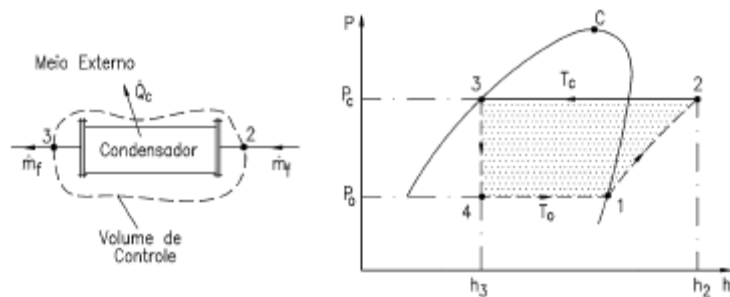


Figura 7 . Processo de transferência de calor no condensador.

Assim, o condensador a ser especificado para o sistema de refrigeração deve ser capaz de rejeitar a taxa de calor calculada pela acima, a qual depende da carga térmica do sistema e da potência de compressão.

4.5.4. Dispositivo de Expansão

No dispositivo de expansão, que pode ser de vários tipos, o processo teórico é adiabático, como mostra a Figura 8, e, neste caso, aplicando-se a primeira lei da termodinâmica, em regime permanente, desprezando-se as variações de energia cinética e potencial, tem-se:

$$h_3 = h_4$$

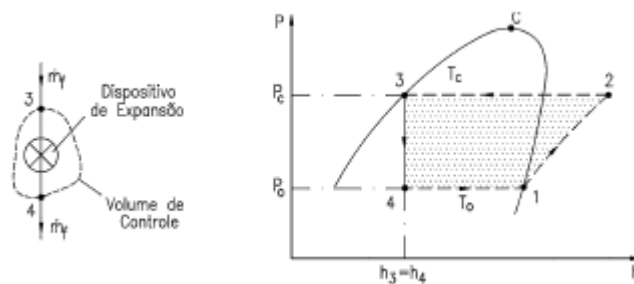


Figura 8 - Processo no dispositivo de expansão.

4.5.5. Coeficiente de Performance do Ciclo - COP

O coeficiente de performance, COP, é um parâmetro importante na análise das instalações frigoríficas. Embora o COP do ciclo real seja sempre menor que o do ciclo teórico, para as mesmas condições de operação, pode-se, com o ciclo teórico, verificar que parâmetros influenciam no desempenho do sistema. Assim, o COP é definido por:

$$COP = \frac{\text{Energia Útil}}{\text{Energia Gasta}} = \frac{Q_o}{W_c}$$

Pode-se deduzir da equação acima que, para ciclo teórico, o COP é função somente das propriedades do refrigerante, conseqüentemente, depende das temperaturas de condensação e vaporização. Para o ciclo real, entretanto, o desempenho dependerá em muito das propriedades na sucção do compressor, do próprio compressor e dos demais equipamentos do sistema.

4.6 Parâmetros que Influenciam o COP do Ciclo de Refrigeração

Vários parâmetros influenciam o desempenho do ciclo de refrigeração por compressão de vapor. A seguir será analisada a influência de cada um deles separadamente.

4.6.1 – Influência da Temperatura de Evaporação no COP do Ciclo Teórico

Para ilustrar o efeito que a temperatura de evaporação tem sobre a eficiência do ciclo será considerado um conjunto de ciclos em que somente a temperatura de evaporação (T_0), é alterada.

Estes ciclos estão mostrados na Figura 9. Nesta análise utilizou-se R22 como refrigerante, o qual é típico de sistemas de ar condicionado. Como pode ser observado, há uma redução na temperatura de evaporação resulta em redução do COP, isto é, o sistema se torna menos eficiente.

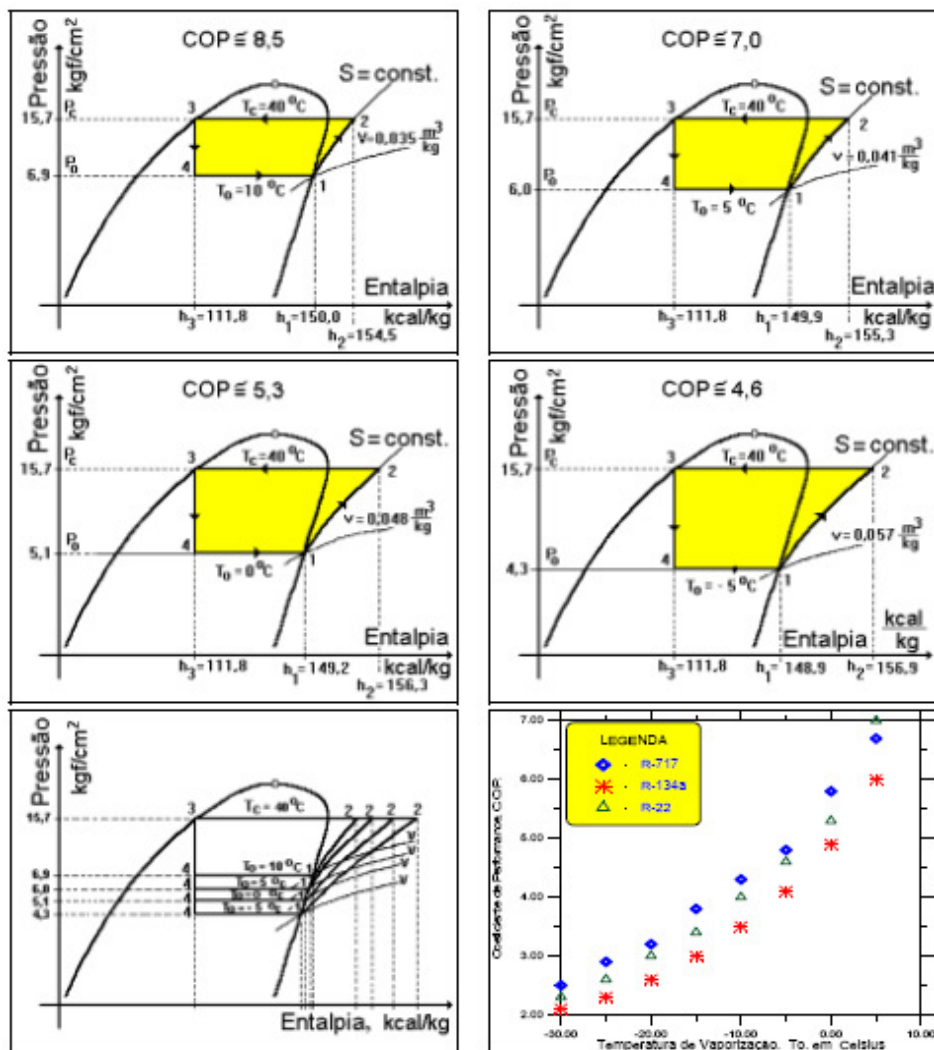


Figura 9 - Influência da temperatura de evaporação no COP do ciclo teórico.

4.6.2. Influência da Temperatura de Condensação no COP do Ciclo Teórico

Como no caso da temperatura de vaporização, a influência da temperatura de condensação é mostrada em um conjunto de ciclos onde apenas se altera a temperatura de condensação (T_c). Esta análise está mostrada na Figura 10. Observe que uma variação de 15 °C na temperatura de condensação, resultou em menor variação do COP, se comparado com a mesma faixa de variação da temperatura de evaporação.

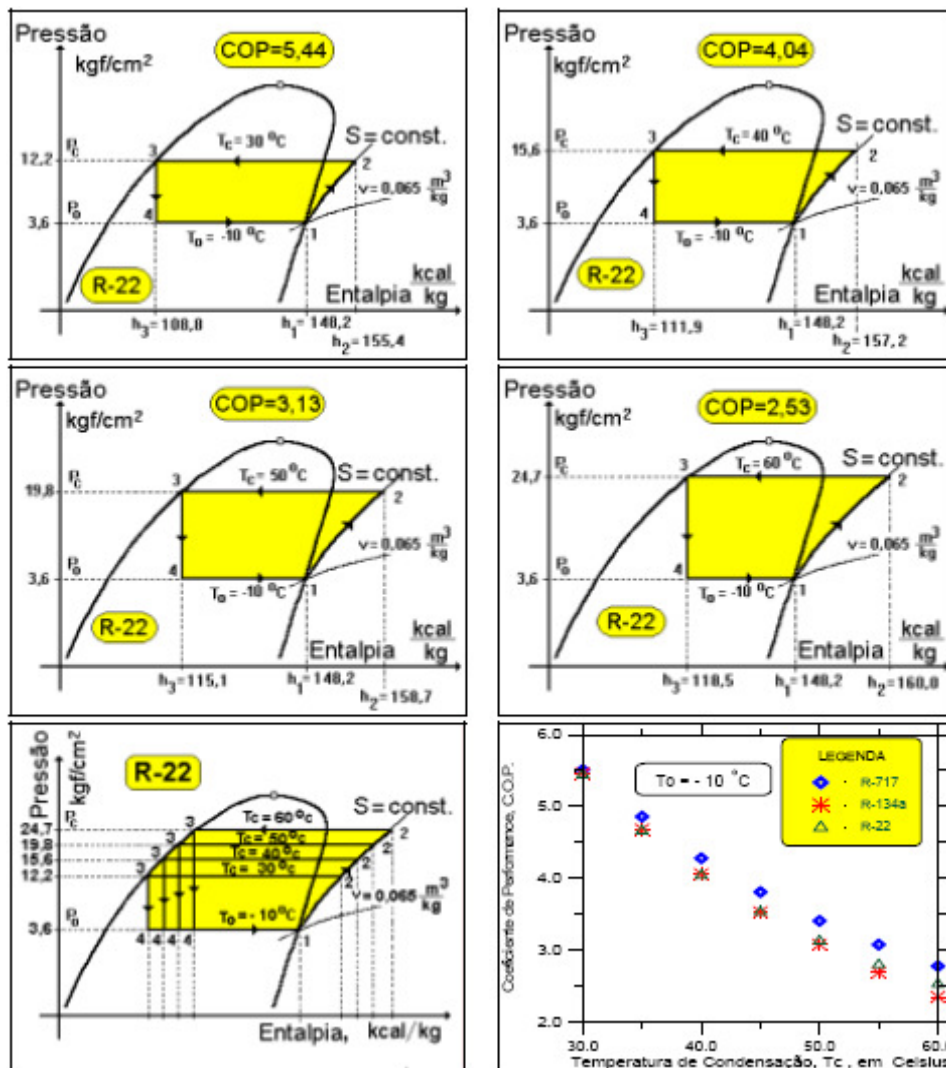


Figura 10 - Influência da temperatura de condensação no COP do ciclo teórico.

4.6.3. Influência da Sub-Resfriamento do Líquido no COP do Ciclo Teórico

De forma idêntica aos dois casos anteriores, a Figura 11 mostra a influência do sub-resfriamento do líquido na saída do condensador sobre a eficiência do ciclo. Embora haja um aumento no COP do ciclo com o aumento do sub-resfriamento, o que é ótimo para o sistema, na prática se utiliza um sub-resfriamento para garantir que se tenha somente líquido na entrada do dispositivo de expansão, o que mantém a capacidade frigorífica do sistema, e não com o objetivo de se obter ganho de eficiência.

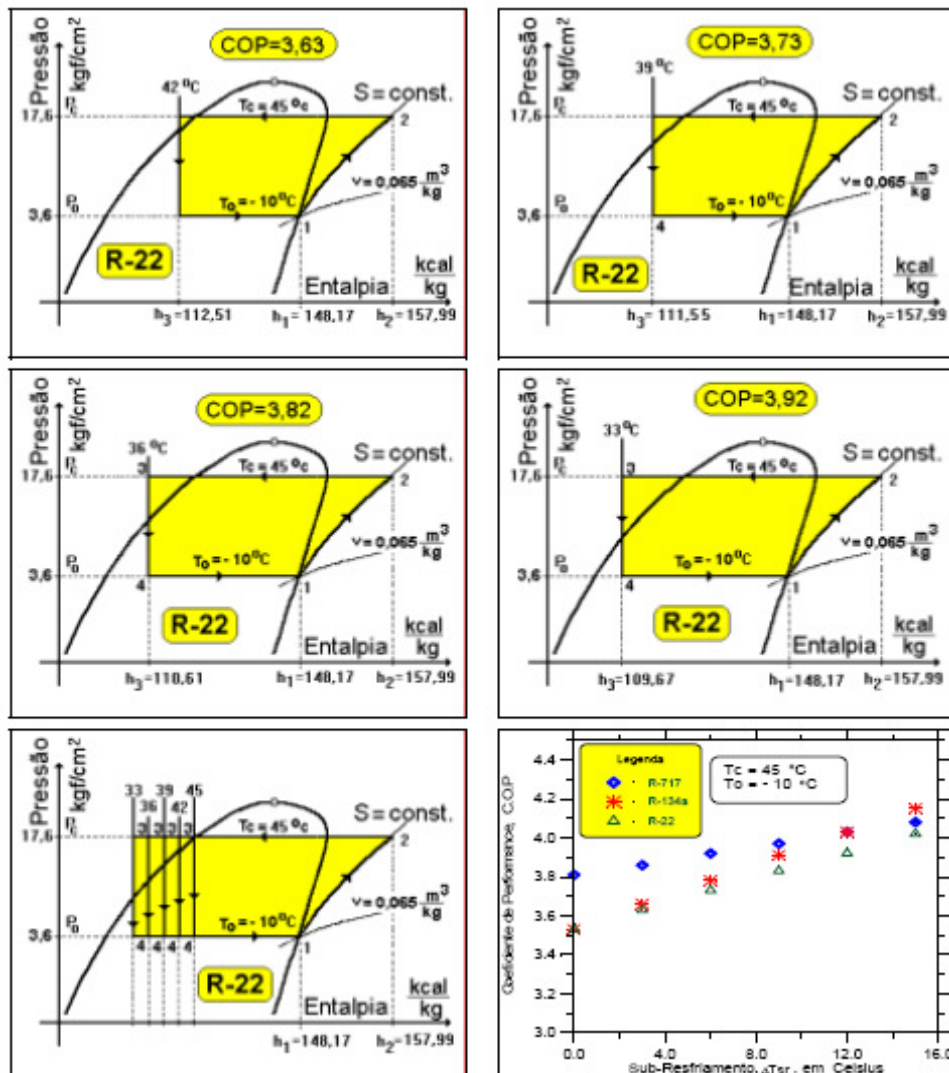


Figura 11 - Influência do sub-resfriamento no COP do ciclo teórico.

4.6.4 Influência do Superaquecimento Útil no COP do Ciclo Teórico

Quando o superaquecimento do refrigerante ocorre retirando calor do meio que se quer resfriar, chama-se a este superaquecimento de .superaquecimento útil. Na Figura 12 é mostrada a influência desse superaquecimento na performance do ciclo de refrigeração. Como pode ser observado no último gráfico desta figura, a variação do COP com o superaquecimento depende do refrigerante. Nos casos mostrados, para o R717 o COP sempre diminui, para R134a o COP sempre aumenta e para o R22, o caso mais complexo, há aumento inicial e depois uma diminuição. Para outras condições do ciclo, isto é, T_0 e T_c , poderá ocorrer comportamento diferente do aqui mostrado.

Mesmo o para os casos em que o superaquecimento melhora o COP ele diminui a capacidade frigorífica do sistema de refrigeração. Assim, só se justifica o superaquecimento do fluido, por motivos de segurança, para evitar a entrada de líquido no compressor.

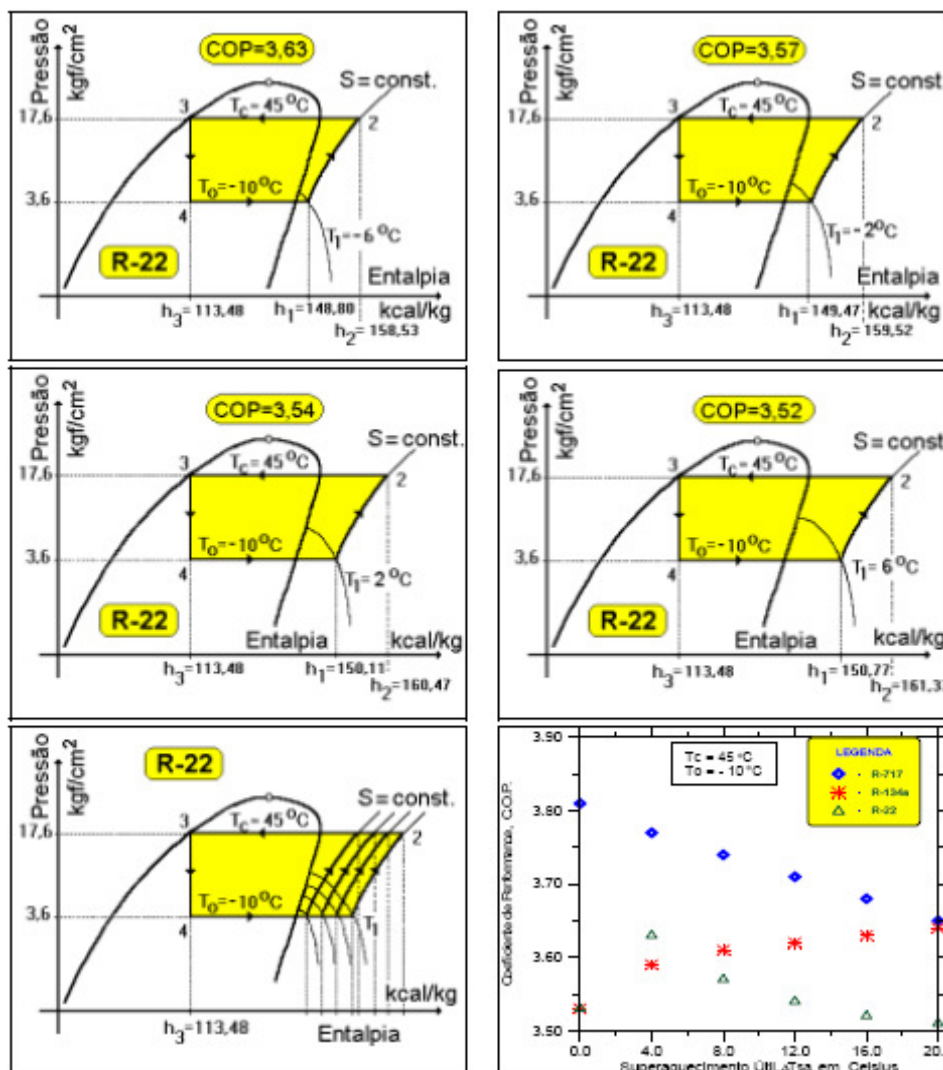


Figura 12 - Influência do superaquecimento no COP do ciclo teórico.

4.6.5. Ciclo de Refrigeração Usual

Conforme visto nos itens anteriores, a adoção de sub-resfriamento antes da válvula de expansão acarreta em um aumento no COP, garantindo ainda a capacidade frigorífica do sistema. Por outro lado, a adoção de superaquecimento na saída do evaporador, garante maior durabilidade do compressor, visto proporcionar apenas refrigerante na forma de vapor na sucção deste componente. Neste caso, a variação provocada no COP é negativa, ou seja, a uma diminuição na performance do sistema, ainda que bem pequena.

Devido às vantagens apresentadas pelo sub-resfriamento e pelo superaquecimento do refrigerante ao sistema, sem que este seja afetado negativamente (considerando a aplicação de superaquecimento e sub-resfriamento concomitantemente), os sistemas de climatização por compressão de vapor encontrados no comércio estão dotados destas configurações. Basicamente o ciclo é o mesmo, apenas adota-se a inclusão de um trocador de calor o qual é disposto imediatamente antes da válvula de expansão, conforme mostrado na figura 13.

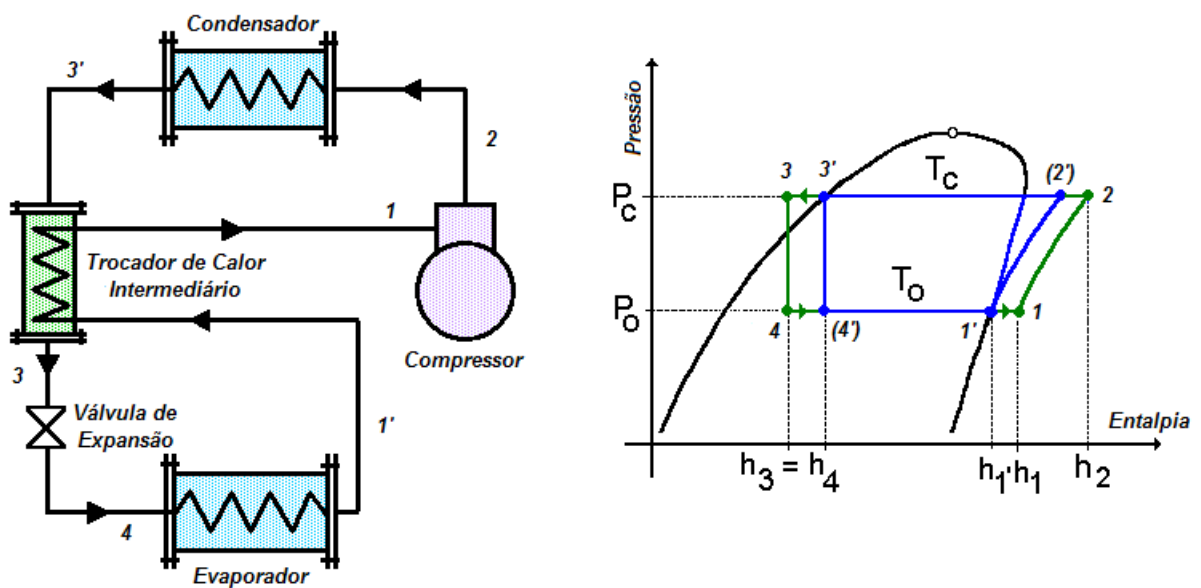


Figura 13 – Ciclo de refrigeração com sub-resfriamento e superaquecimento

5. PSICROMETRIA

O estudo detalhado da mistura ar seco e vapor d'água é de tal importância que constitui uma ciência à parte, a Psicrometria, que é definida como o ramo da física relacionado com a medida ou determinação das condições do ar atmosférico, particularmente com respeito à mistura ar seco e vapor d'água., ou ainda, aquela parte da ciência que está de certa forma intimamente preocupada com as propriedades termodinâmicas do ar úmido, dando atenção especial às necessidades ambientais, humanas e tecnológicas.

O conhecimento das condições de umidade e temperatura do ar é de grande importância. Além do conforto térmico, que depende mais da quantidade de vapor presente no ar do que propriamente da temperatura, também em muitos outros ramos da atividade humana. A conservação de produtos como frutas, hortaliças, ovos e carnes, em câmaras frigoríficas depende da manutenção da umidade relativa adequada no ambiente. Por exemplo, a perda de peso depende da umidade do ar na câmara de estocagem, se a umidade é baixa, a perda de peso é elevada e vice-versa.

5.1. Ar

O ar atmosférico é constituído de uma mistura de gases, assim como de vapor d'água, e uma mistura de contaminantes (fumaça, poeira e outros poluentes gasosos ou não) presentes normalmente em locais distantes de fontes poluidoras.

5.1.1. Ar Seco

Por definição, ar seco (dry air) é a mistura dos gases que constituem o ar atmosférico com exclusão do vapor d'água, isto é, quando todo o vapor d'água e os contaminantes são removidos do ar atmosférico.

Extensivas medições têm mostrado que a composição do ar seco é relativamente constante, tendo pequenas variações na quantidade dos componentes com o tempo, localização geográfica e altitude. A composição percentual, em volume ou número de moles por 100 moles do ar seco, é dada na Tabela 1.

Componente	Fórmula	% em volume	Massa molecular (kg/kg-mol)
Nitrogênio	N ₂	78,084	28,016
Oxigênio	O ₂	20,9476	32,000
Argônio	Ar	0,934	39,948
Dióxido de carbono	CO ₂	0,0314	44,010
Neônio	Ne	0,001818	20,183
Hélio	He	0,000524	4,0026
Metano	CH ₄	0,00015	16,03188
Dióxido de Enxofre	SO ₂	0 a 0,0001	64,064
Hidrogênio	H ₂	0,00005	2,01594
Criptônio	Kr	0,0002	93,80
Ozônio	O ₃	0,0002	48,000
Xenônio	Xe	0,0002	131,3

Tabela 1 - Composição do ar seco ao nível do mar:

Fonte: ASHRAE Fundamentals, 1997

A mistura ar seco e vapor d'água é denominada de ar úmido (moist air) ou de mistura binária (binary mixture) de ar seco e vapor d'água. A quantidade de vapor d'água presente na mistura pode variar de zero até um valor correspondente à condição de saturação. Isso corresponde à quantidade máxima de vapor d'água que o ar pode suportar em determinada condição de temperatura.

Ar não saturado é a mistura de ar seco e vapor de água superaquecido, e ar saturado é a mistura de ar seco e de vapor de água saturado. Mais precisamente é o vapor de água que está saturado e não o ar.

A Figura 14 mostra o esquema de uma carta psicrométrica, tendo como eixo das abscissas a temperatura e como eixo das ordenadas a umidade absoluta, que será definida no próximo item, onde somente aparece a linha de saturação. Quando o ar está saturado, o estado do mesmo se dá sobre a linha de saturação da carta psicrométrica, significando que uma redução de temperatura causará uma condensação do vapor de água do ar.

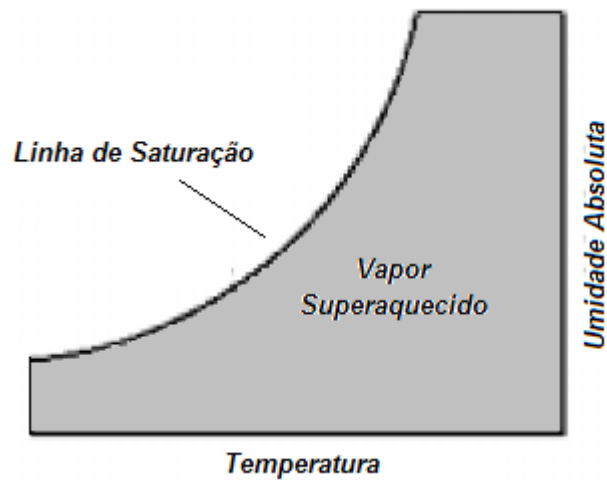


Figura 14 - Esquema de uma carta psicrométrica para o ar saturado.

5.1.2. Propriedades Termodinâmicas do Ar Úmido

Diversas propriedades termodinâmicas fundamentais da ar úmido estão associadas com as propriedades do ar úmido de maneiras diferentes.

Três propriedades estão associadas com a temperatura:

- a) Temperatura do bulbo seco (t_{BS});
- b) Temperatura do bulbo úmido (t_{BU});
- c) Temperatura do ponto de orvalho (t_o).

Algumas propriedades termodinâmicas caracterizam a quantidade de vapor d.água presente no ar úmido:

- d) Pressão de vapor (P_v);
- e) Razão de umidade ou umidade absoluta (W);
- f) Umidade relativa (ϕ);
- g) Grau de saturação ou título da mistura (x).

Outras propriedades de fundamental importância, relacionadas com o volume ocupado pelo ar e com a energia do ar, respectivamente, são:

- h) Volume específico (v) e
- i) Entalpia (h).

5.1.3. A Carta Psicrométrica

As propriedades termodinâmicas da mistura ar seco e vapor d'água que constituem o ar atmosférico podem ser convenientemente apresentadas em forma de cartas, denominadas Cartas Psicrométricas (ou Diagramas Psicrométricos). Estes são construídos para determinada pressão atmosférica, ou seja, a cada pressão considerada, enseja uma nova carta psicrométrica.

O uso das cartas psicrométricas permite a análise gráfica dos processos que envolvem o ar úmido, facilitando assim a solução de muitos problemas típicos dos sistemas de condicionamento de ar. A Figura 15 apresenta a carta psicrométrica para o nível do mar. Esta carta contém todas as propriedades do ar úmido, apresentadas no item anterior.

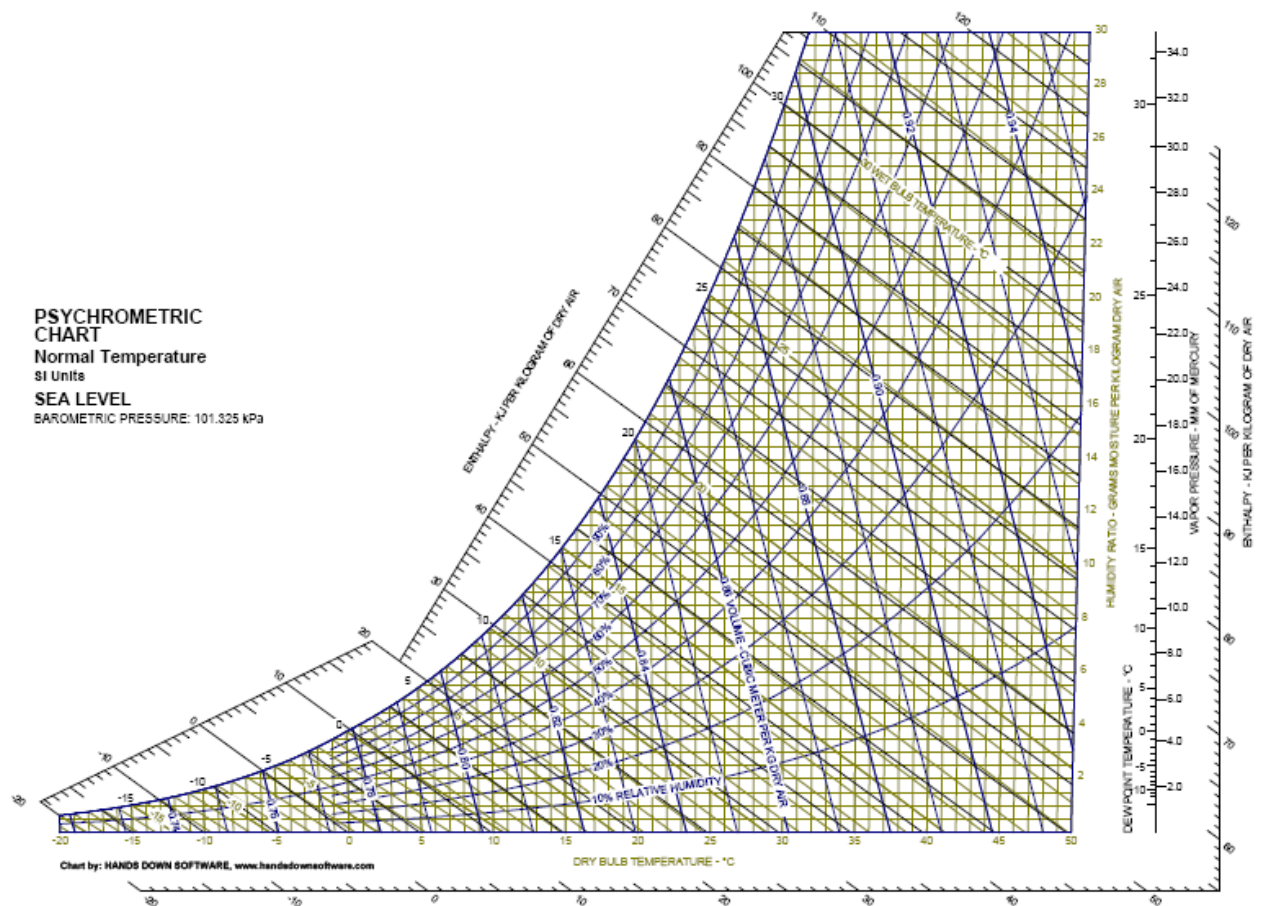


Figura 15 – Carta psicrométrica para o nível do mar.

A carta apresentada na figura 15 representa as propriedades do ar úmido. Na figura 16, é mostrado o significado de cada uma das linhas da carta psicrométrica.

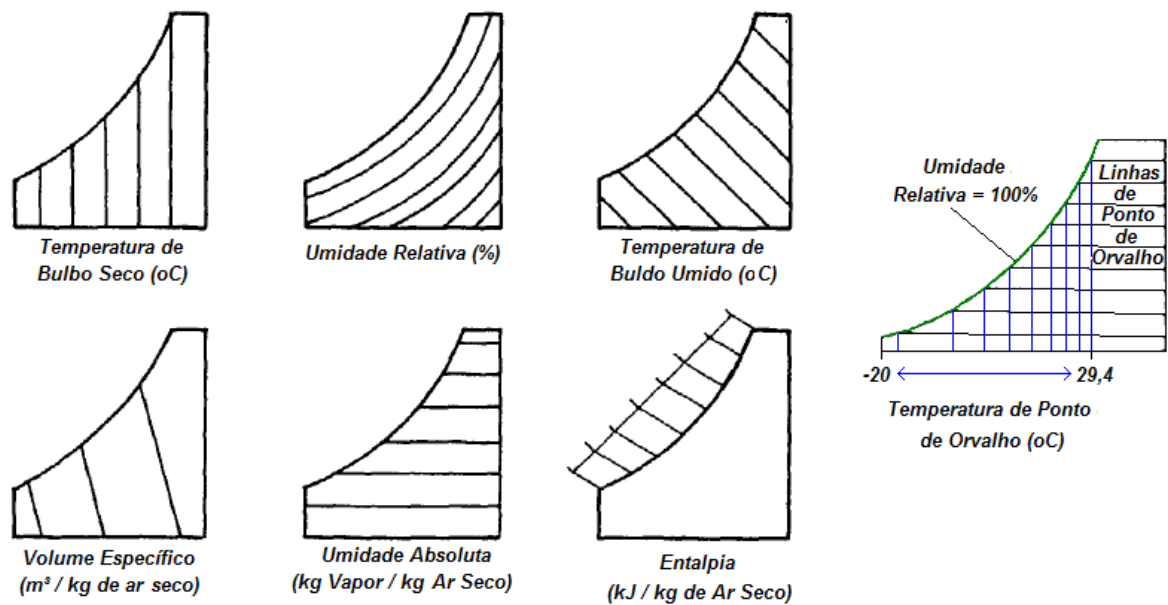


Figura 16 - Esquemas representativos das linhas das propriedades do ar na carta psicrométrica

5.1.4. Processos Psicrométricos

São 07 os processos psicrométricos, a saber:

- a) Mistura adiabática de duas quantidades de Ar Úmido;
- b) Aquecimento sensível (aquecimento seco);
- c) Resfriamento sem desumidificação (resfriamento seco);
- d) Resfriamento com desumidificação;
- e) Resfriamento e umidificação;
- f) Aquecimento e umidificação;
- g) Aquecimento com desumidificação.

a. Mistura Adiabática de Duas Quantidades de Ar Úmido

A mistura de duas correntes de ar é um processo muito comum em ar condicionado. É muitas vezes utilizado para se obter o ar nas características aceitáveis para um ambiente, isto é, mistura-se

uma parte do ar interno (retorno do ambiente), com uma parte de ar externo (higienização). Como o ar interno, de retorno, normalmente está mais próximo das características desejadas para o ambiente, a mistura possibilita uma economia de energia.

A Figura 17 mostra a mistura de m_A de ar no estado A com m_B de ar no estado B. A mistura resultante encontra-se no estado C, mostrado na Carta Psicrométrica na figura 17.

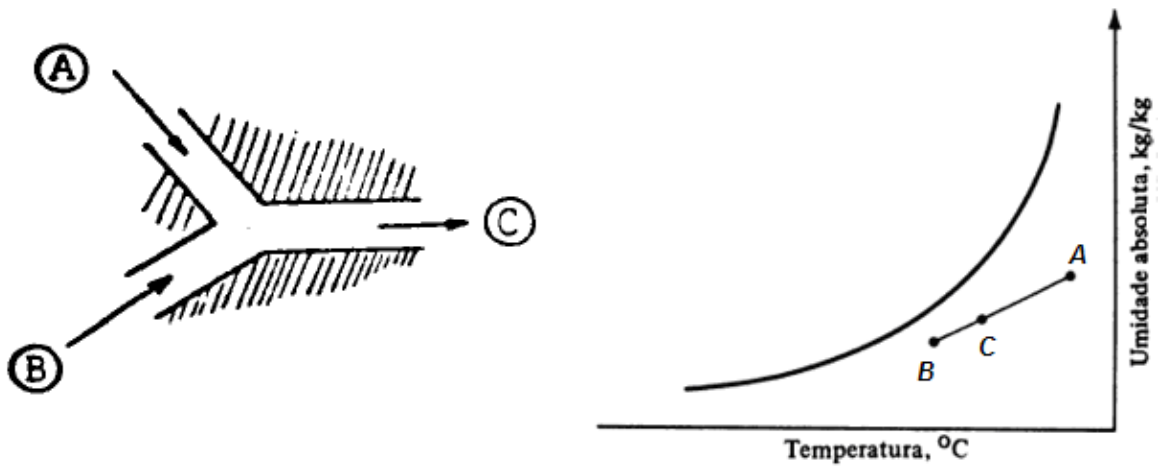


Figura 17 – Mistura de 2 correntes de ar e a representação destas na carta psicrométrica

Observa-se que a entalpia final é a média ponderada das entalpias das correntes que se misturam o mesmo ocorrendo com a razão de umidade (umidade absoluta final) em relação às umidades absolutas das correntes de ar que se misturam.

As equações fundamentais neste processo são:

$$a) \dot{m}_A + \dot{m}_B = \dot{m}_C ;$$

$$b) \dot{m}_A \cdot W_A + \dot{m}_B \cdot W_B = \dot{m}_C \cdot W_C$$

$$c) \dot{m}_A \cdot h_A + \dot{m}_B \cdot h_B = \dot{m}_C \cdot h_C$$

Onde “m” é a vazão mássica de ar do ponto, “W” é a umidade absoluta do ponto e “h” é a entalpia do ponto.

Partindo-se da premissa que as propriedades do ar no ponto A e B são conhecidas e fazendo uso das equações expostas nos itens a, b e c acima, é possível determinar duas propriedades do ar no ponto C, e com isso, encontrar, através da carta psicrométrica todas as demais propriedades.

b. Aquecimento Sensível ou Aquecimento a Seco

Quando se fornece energia ao ar, a temperatura aumenta, mas a razão de umidade permanece constante, pois não há aumento nem diminuição na quantidade de massa da mistura (ar seco e vapor d'água).

Assim, o processo de aquecimento sensível (aumento de temperatura somente) é representado no gráfico por linhas horizontais, paralelas à abscissa, a partir do ponto de estado em que se encontra o ar. O processo 1-2, da Figura 18 corresponde a um processo de aquecimento sensível.

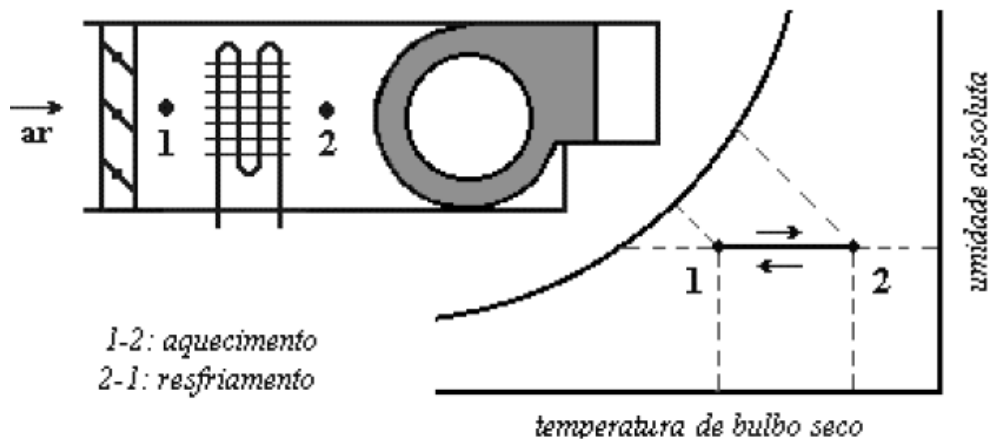


Figura 18 – Aquecimento e resfriamento sensível

c. Resfriamento Sensível ou Resfriamento a Seco

Se o ar for resfriado sem haver condensação, isto é, se somente ocorrer remoção de calor sensível do ar úmido, o processo de resfriamento também pode ser representado na carta psicrométrica por uma linha horizontal.

O processo 2-1 da Figura 18 corresponde a um processo de resfriamento sensível.

d. Resfriamento com Desumidificação

Um processo que envolva resfriamento e desumidificação resulta em uma redução da temperatura de bulbo seco e da umidade absoluta do ar úmido. O equipamento mais utilizado para

realizar este processo (Figura 19), é a serpentina de resfriamento e desumidificação, sendo que esta pode ser de expansão direta ou indireta (água gelada).

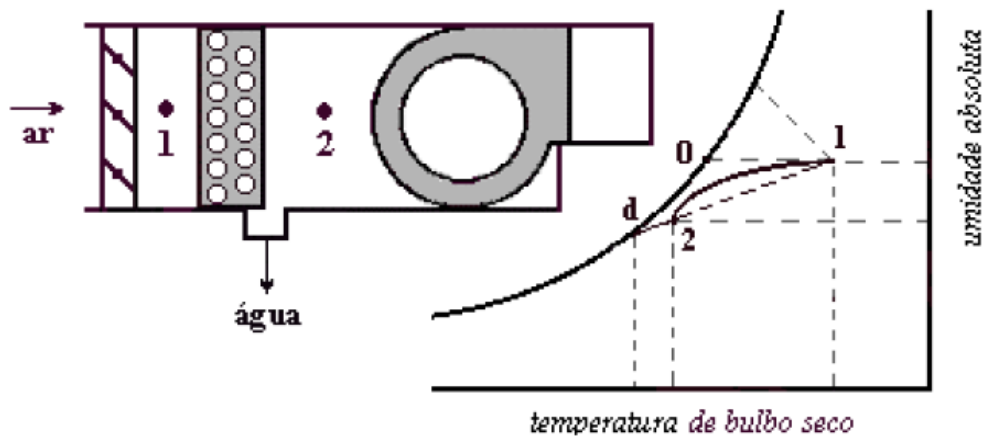


Figura 19 - Resfriamento com Desumidificação

Para que ocorra condensação da umidade do ar, este deve ser resfriado a uma temperatura inferior à sua temperatura de orvalho. Assim, considerando o processo de resfriamento e desumidificação ideal, representado pelo processo 1-0-d na Figura 19, onde toda a massa de ar mantém um contato direto e uniforme com a superfície da serpentina de resfriamento, só ocorrerá condensação da umidade quando for atingido o estado indicado pelo ponto 0, isto é, quando a temperatura média do ar for igual à temperatura de orvalho.

No entanto, em um processo real, nem toda a massa de ar mantém um contato direto e uniforme com a superfície da serpentina. A parcela do ar que está em contato com esta superfície se resfria primeiro e, portanto terá uma temperatura inferior à da massa de ar que não está em contato direto com a serpentina. Assim, pode ocorrer condensação da umidade do ar mesmo que a temperatura média de toda a massa de ar seja superior à do ponto de orvalho. Como na carta psicrométrica representa-se a temperatura média da massa de ar, o processo real pode ser representado pela linha 1-2 da Figura 19.

e. Resfriamento e Umidificação

Se ar não saturado entra em um equipamento semelhante ao da Figura 20, o ar será resfriado e umidificado. O processo, que está representado na Figura 21 pelo segmento de reta 1-2, ocorre praticamente com temperatura de bulbo úmido constante.

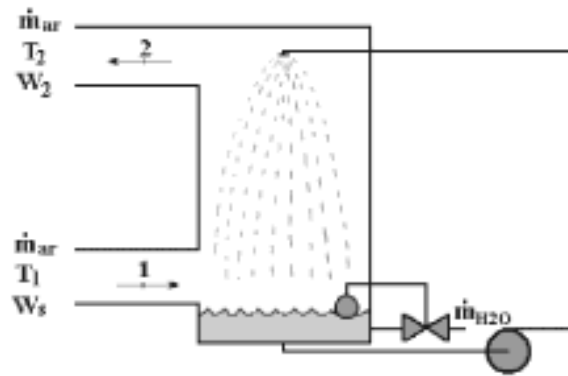


Figura 20 – Saturador adiabático

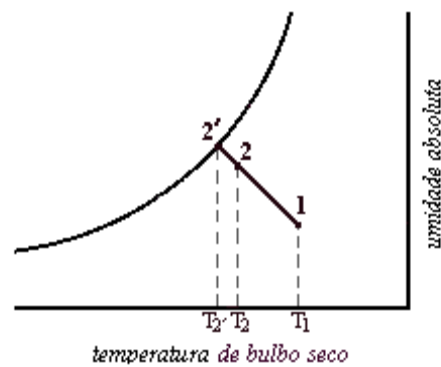


Figura 21 – Resfriamento e umidificação

f. Aquecimento e Umidificação

O ar pode ser aquecido e umidificado ao mesmo tempo, fazendo-o passar sobre uma bandeja de água quente ou simplesmente pela injeção direta de água quente ou vapor.

Este processo é caracterizado por um aumento de entalpia e umidade absoluta do ar tratado. Se a temperatura da água é maior que a temperatura de bulbo seco do ar na entrada do condicionador, o ar terá sua temperatura de bulbo seco aumentada, conforme pode ser observado no processo 1-2, da Figura 22.

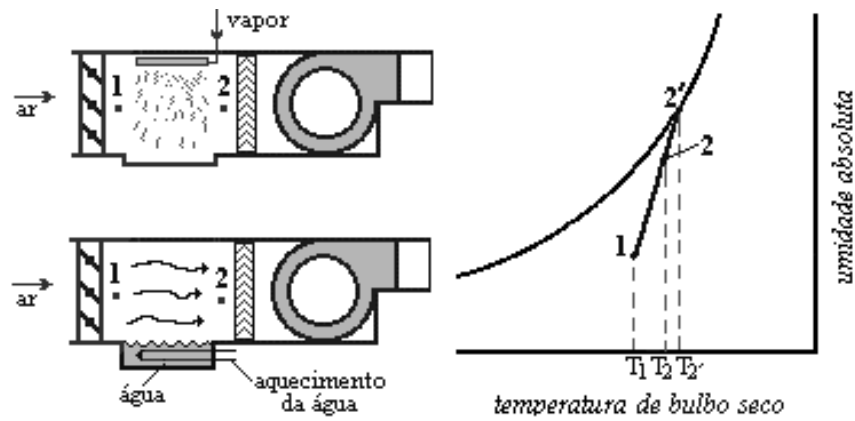


Figura 22 – Aquecimento e umidificação

g. Aquecimento com Desumidificação

Quando o ar passa por um desumidificador químico o vapor de água é absorvido ou adsorvido por uma substância higroscópica, como por exemplo, a sílica gel, a alumina ativada e o cloreto de cálcio ou lítio. No caso ideal o processo ocorre adiabaticamente, portanto a entalpia do ar se mantém constante. Assim, desde que a umidade absoluta do ar é reduzida, a sua temperatura deve aumentar, como mostrado no processo 1-2 da Figura 23.

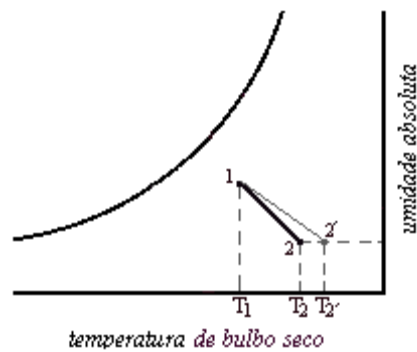


Figura 23 – Desumidificação química

No processo real, há um aumento de entalpia e, portanto o estado final do ar corresponde ao 2' da Figura 23.

6. EQUIPAMENTOS PARA CLIMATIZAÇÃO

6.1. Ar Condicionado de Janela: Como o próprio nome diz, estes condicionadores geralmente são instalados em janelas ou em paredes. Apresentam, normalmente, capacidade de resfriamento que variam de 7000 a 30000 BTUs, sendo resfriados a ar. Na Figura 24 abaixo ilustra-se o circuito de refrigeração de um condicionador de janela típico. Nota-se que o mesmo é composto de uma única unidade que contém todos os componentes básicos do ciclo de refrigeração: evaporador, compressor, condensador e válvula de expansão.

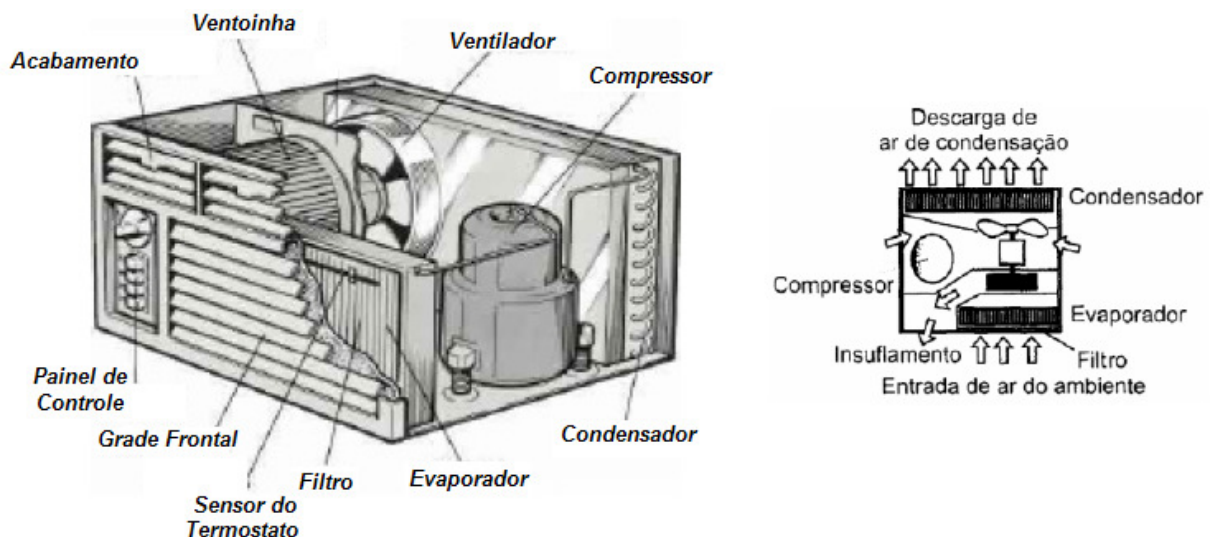


Figura 24 – Ar condicionado de janela

6.2. Split System: Os splits são equipamentos bastante adaptáveis ao ambiente em termos estéticos e funcionam com baixo nível de ruído, uma vez que seu compressor fica na parte externa junto ao condensador. Sua aplicação pode ser feita junto ao piso, ao teto e até de forma embutida no forro. São aparelhos bastante versáteis, podendo ser utilizados a uma diversidade de aplicações. Este sistema pode ser simples com 1 evaporador e 1 condensador ou ainda complexo com 1 condensador atendendo à diversos evaporadores. Na figura 25 pode ser visualizado tal equipamento, assim como a disposição de seu condensador e evaporador quando de uma instalação.

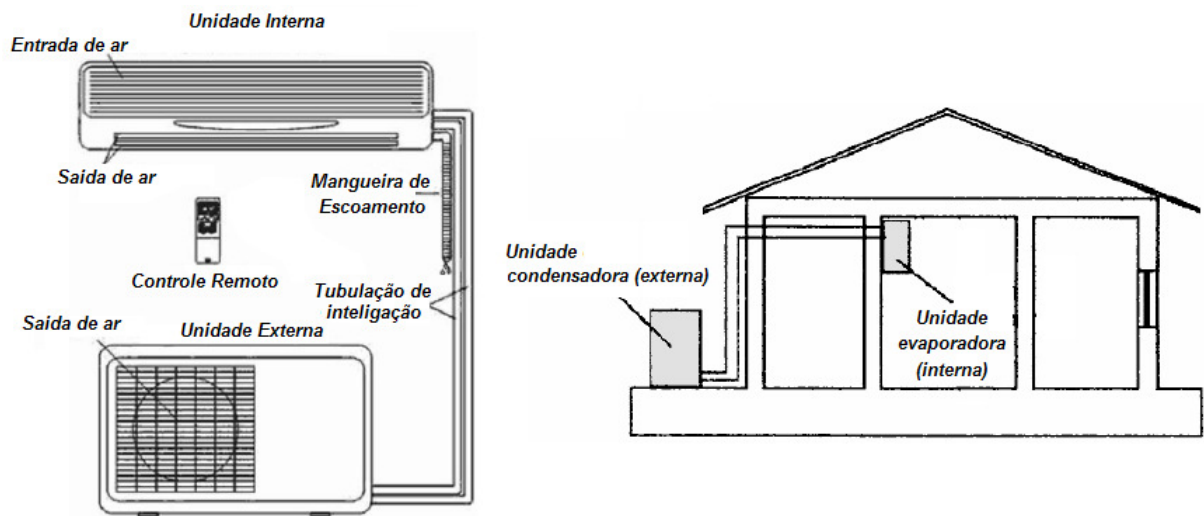


Figura 25 – Split System

6.3. Self- Contained: Os condicionadores de ar tipo self-contained podem ser instalados diretamente no recinto a receber o ar-condicionado ou nas casas de máquinas, podendo desta forma conter dutos de insuflamento. Na Figura 26 ilustra-se um self-contained típico com condensação a ar remoto (pode ser com condensação a água). Neste sistema, a unidade evaporadora é instalada, nas proximidades ou no próprio local a ser condicionado e a unidade condensadora é instalada externamente ao ambiente. Diferencia-se construtivamente do split basicamente por conter o compressor na unidade evaporadora.

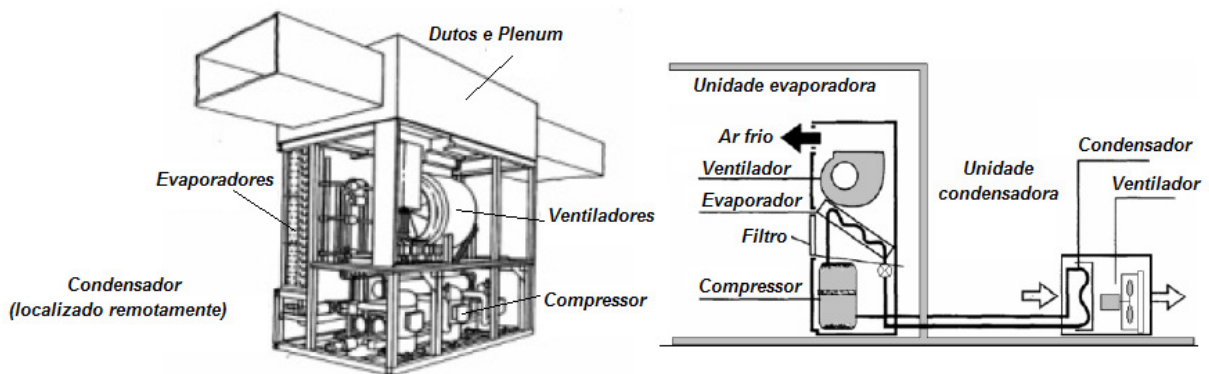


Figura 26 – Self-Contained

6.4. Fan-Coil: Aparelho de ar condicionado, que se utiliza de água gelada, proveniente de uma unidade resfriadora (como um chiller) pra resfriar o ar. Sua forma construtiva mais elementar é análoga a um evaporador de um split system, ou seja, um gabinete dotado de um ventilador, uma serpentina por onde passa água gelada e o filtro. Na figura 27 é mostrado uma instalação típica na qual é utilizado um fancoil. Comercialmente, tais equipamentos podem ser encontrados com duas serpentinhas (uma para água fria e outra para água quente) com múltiplos sistemas de filtragem, atenuador de ruído, umidificador, etc.

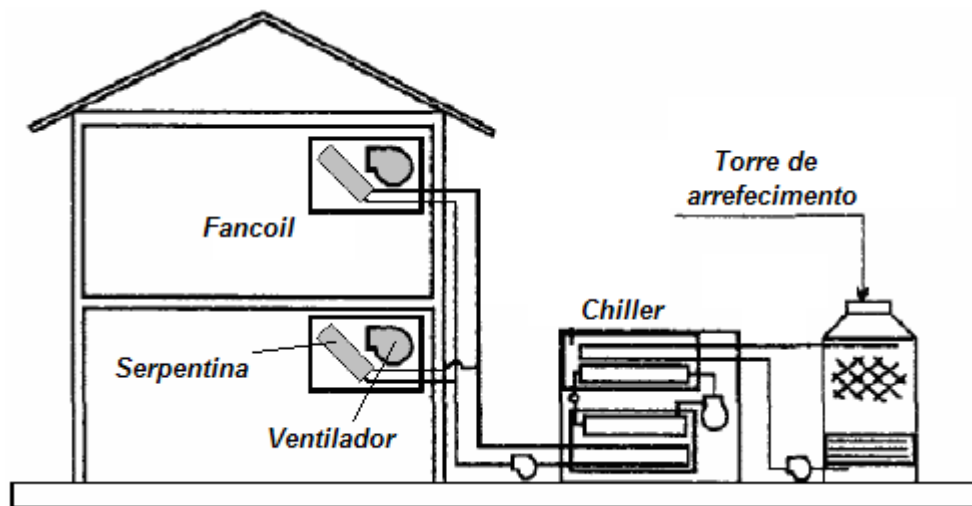


Figura 27 - Fancoil

6.5. Chiller: É um equipamento que tem como função arrefecer água (ou outro líquido) em diferentes tipos de aplicações, para equilibrar o aumento das necessidades de frio com a diminuição das necessidades de calor num período estável, através de um ciclo termodinâmico.



Figura 28 – Chiller (condensação a ar e a água respectivamente)

6.6. Torre de Resfriamento: A torre de resfriamento é um equipamento de rejeição de calor: rejeita calor para a atmosfera, resfriando um fluxo de água quente. A água resfriada na torre de resfriamento é usada para resfriar o refrigerante em um condensador ou para resfriar a água de refrigeração de uma usina ou para resfriar a água que circula em um equipamento qualquer, etc, e várias outras aplicações. O resfriamento da água se dá, fundamentalmente, pela transferência de calor latente, ou seja, pela evaporação de uma parcela da água proporcionada pelo uso de uma corrente de ar. Um desenho esquemático de uma torre é mostrado na figura 29.

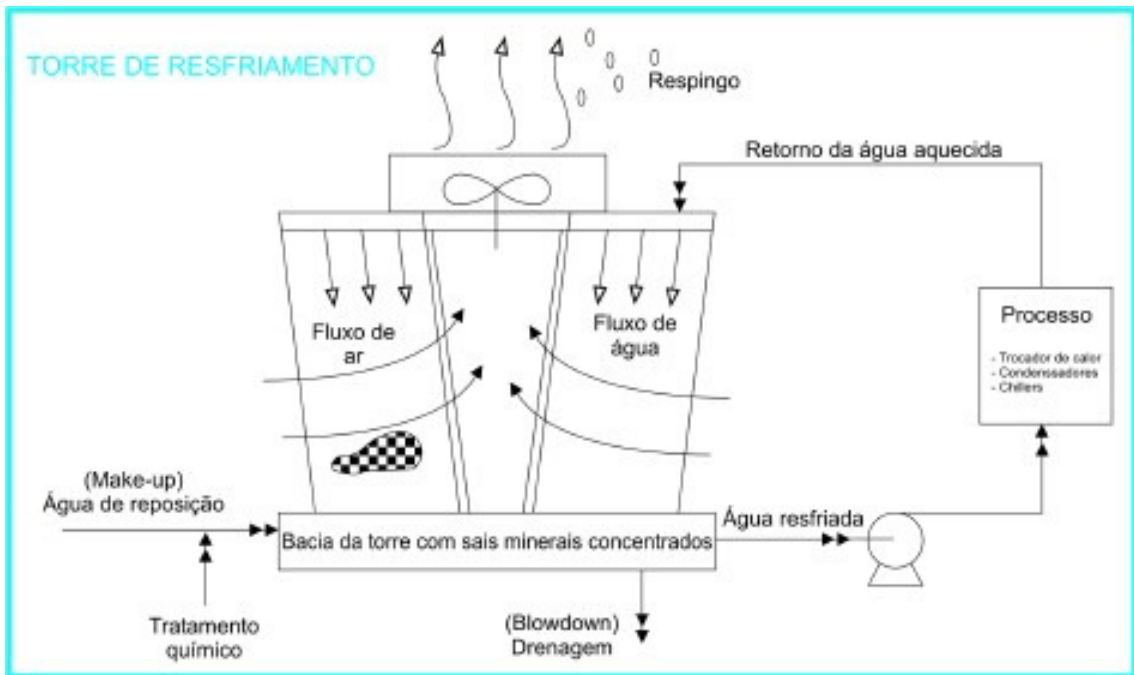


Figura 29 – desenho esquemático de uma torre

7. COMPONENTES DE EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO

O circuito de refrigeração é composto por um número indeterminado de componentes, os quais são definidos como sendo fundamentais e auxiliares, conforme segue:

a. Componentes fundamentais

- Compressor;
 - Alternativo;
 - Parafuso;
 - Palheta;
 - Centrífugo;
 - Scroll.
- Evaporador
 - Secos
 - Inundador.
- Condensador
 - Refrigerados a ar
 - Refrigerados a água
 - Evaporativos
- Válvula de Expansão
 - Termostática;
 - Eletrônica;
 - De bóia;;
 - De pressão constante;
 - Tubo capilar.

b. Componentes auxiliares

- Pressostato;
- Termostato;
- Filtros e secadores;
- Separador de óleo;
- Válvula solenóide;
- Visor de líquido;
- Reservatório de líquido;
- Acumulador de sucção;
- Trocador de calor;
- Válvula de retenção.

7.1. Compressores

7.1.1. Introdução

O compressor é um dos principais componentes do sistema de refrigeração, sua função é aumentar a pressão do fluido refrigerante e promover a circulação desse fluido no sistema. Os principais tipos de compressores utilizados são: alternativo, centrífugo, de parafusos, palhetas e Scroll. A escolha do tipo de compressor depende essencialmente da capacidade da instalação, que pode ser dividida em pequena capacidade (< 2,5 TR), média capacidade (entre 2,5 e 75 TR) e grande capacidade (> 75 TR), da temperatura de vaporização e do fluido frigorífico utilizado. O símbolo TR é a tonelada de refrigeração, um termo comumente utilizado em refrigeração que corresponde a energia necessária para liquefazer, aproximadamente, uma tonelada de gelo em 24 horas (1,0 TR = 3,53 kW = 3024 kcal/h).

De acordo com as características do processo de compressão, os compressores utilizados em refrigeração podem ser classificados como máquinas de deslocamento positivo ou máquinas de fluxo. O compressor de deslocamento positivo aumenta a pressão do vapor de fluido refrigerante pela redução do volume interno de uma câmara de compressão através de uma força mecânica aplicada. Os compressores alternativos, de parafusos, de palhetas e Scroll são de deslocamento positivo. O único compressor classificado como máquina de fluxo em sistemas de refrigeração é o centrífugo. Nesse tipo

de compressor, o aumento de pressão se deve, principalmente, a conversão de pressão dinâmica em pressão estática.

Dependendo da concepção de construção, os compressores podem ser classificados como herméticos, semi-herméticos e abertos. No compressor hermético tanto o compressor, propriamente dito, quanto o motor de acionamento são alojados no interior de uma carcaça, possuindo como acesso de entrada e saída apenas as conexões elétricas do motor. Esse tipo de compressor opera predominantemente com refrigerantes halogenados e o vapor de fluido refrigerante entra em contato com o enrolamento do motor, resfriando-o. São geralmente utilizados em refrigeradores domésticos e condicionadores de ar com potências da ordem de 30kW. Os compressores semi-herméticos são semelhantes aos herméticos, porém, permitem a remoção do cabeçote, tornando possível o acesso às válvulas e aos pistões, facilitando os serviços de manutenção.

Nos compressores do tipo aberto, o eixo de acionamento do compressor atravessa a carcaça permitindo o acionamento por um motor externo. Esse tipo de compressor é adequado para operar com amônia, podendo também utilizar refrigerantes halogenados.

7.1.2 – Compressores Alternativos

Os compressores alternativos são os mais utilizados em sistemas de refrigeração, se encontram em estágio de desenvolvimento bastante avançado e são amplamente utilizados em sistemas de pequena e média capacidade. São fabricados com capacidades que variam desde uma fração de TR até cerca de 200 TR (de 1 a 700kW). Os refrigerantes HCFC-22, HFC-134a, HFC- 404A, HFC-407A e HFC-407C são freqüentemente utilizados com esses compressores em sistemas de ar condicionado para conforto e processos, enquanto o refrigerante R-717 (amônia) é utilizado em sistemas de refrigeração industrial.

Os compressores alternativos podem ser:

- De simples ou duplo efeito;
- De um ou mais cilindros;
- Abertos, herméticos ou semi-herméticos;
- Horizontais, verticais, em V, em W ou radiais.

A Figura 30 apresenta esquematicamente o princípio de funcionamento de um compressor alternativo. Durante a expansão do êmbolo, gás refrigerante é aspirado pela válvula de admissão, que pode estar localizada no próprio êmbolo ou no cabeçote. Durante a compressão, o êmbolo comprime o

refrigerante, empurrando-o para fora através da válvula de descarga, localizada normalmente no cabeçote do cilindro.

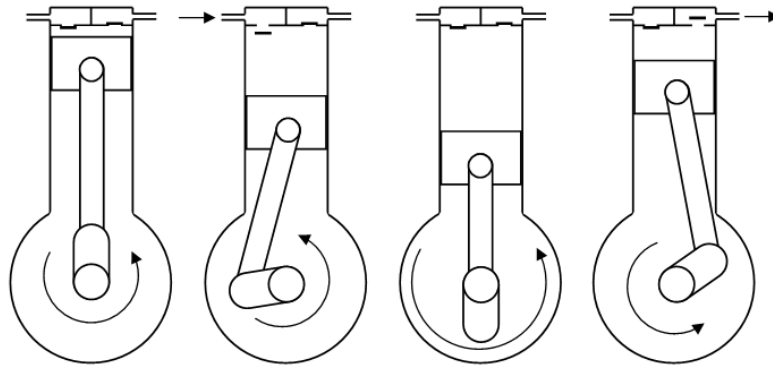


Figura 30 - Princípio de funcionamento de um compressor alternativo

Quando o compressor possui um virabrequim que atravessa a carcaça de maneira que um motor externo possa ser acoplado ao seu eixo, ele é denominado “compressor aberto”. Nesse tipo de compressor deve ser previsto um selo de vedação para evitar fugas de gás refrigerante ou infiltração de ar externo, quando a pressão do sistema for inferior a atmosférica. Para evitar esse tipo de problema pode-se alojar o motor e o compressor dentro da mesma carcaça, nesse caso tem-se um compressor hermético. A grande maioria das aplicações de pequeno porte utiliza esse tipo de compressor. Compressores herméticos de grande capacidade possuem cabeçotes removíveis permitindo a manutenção das válvulas e dos êmbolos. Tais compressores são denominados semi-herméticos. Há compressores que apresentam molas na parte que fixa as sedes das válvulas de descarga, funcionando como segurança do compressor ao abrir passagem para gotículas de líquido.

7.1.3 – Compressor Parafuso

Os compressores parafuso podem ser classificados como de parafuso simples e duplo. Os compressores de parafuso duplo são mais amplamente utilizados que os simples, devido a sua eficiência isentrópica ligeiramente maior, em torno de 3 a 4%.

A Figura 31 apresenta um corte transversal dos rotores de um compressor de parafuso duplo.

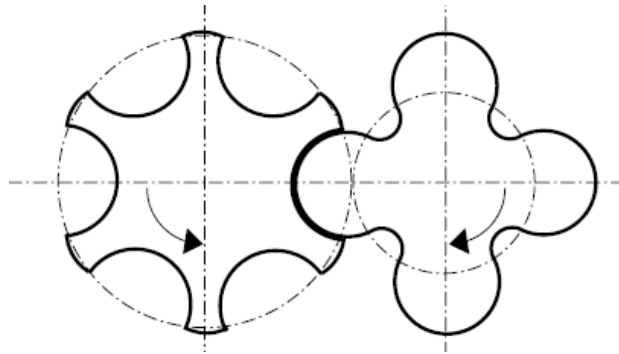


Figura 31: Rotores de um compressor parafuso e corte transversal

O rotor macho aciona o rotor fêmea, o qual fica alojado em uma carcaça estacionária. O refrigerante entra pela parte superior em uma das extremidades e sai pela parte inferior da outra extremidade. Quando o espaço entre os ressaltos passa pela entrada, a cavidade é preenchida pelo refrigerante, na medida em que rotação continua o refrigerante retido na cavidade move-se, circulando pela carcaça do compressor, até encontrar um ressalto do rotor macho, que começa a se encaixar na cavidade do rotor fêmea, reduzindo o volume da cavidade e comprimindo o gás. Ao atingir o orifício de saída ocorre a descarga devido ao encaixe do ressalto na cavidade. Com a finalidade de lubrificação e vedação, óleo é adicionado ao sistema, assim, em sistemas operando com compressores parafuso, torna-se necessário à instalação de um separador de óleo.

A capacidade de resfriamento dos compressores de parafuso duplo está na faixa de 20 a 1300TR (70 a 4570kW). Capacidades de resfriamento entre 50 e 350TR (176 a 1230kW) são normalmente utilizadas. A relação de pressão em compressores parafuso pode ser da ordem de 20:1 em simples estágio. Os refrigerantes HCFC-22, HFC-134a e HFC-407C são normalmente empregados em compressores parafuso para condicionamento de ar para conforto e a amônia (R-717) é utilizada para aplicações industriais.

Os requerimentos mínimos de eficiência em função da capacidade, segundo a ASHRAE, para resfriadores de água com compressores parafuso com condensação a água são:

- Capacidade inferior a 150TR: COP = 3,8
- Capacidade entre 150 e 300TR: COP = 4,2
- Capacidade superior a 300TR: COP = 5,2

O controle de capacidade em compressores parafuso pode ser feito através de válvulas corredeiras localizadas na carcaça do compressor, que se movem na direção axial provocando um retardamento do início da compressão.

7.1.4 – Compressor de Palhetas

Os compressores de palhetas podem ser classificados em dois tipos básicos:

- Compressor de palheta simples;
- Compressor de múltiplas palhetas.

A Figura 32 apresenta um compressor de palheta simples. Nesse tipo de compressor a linha de centro do eixo de acionamento coincide com a do cilindro, porém, é excêntrica em relação ao rotor, de maneira que, o rotor e o cilindro permanecem em contato à medida que gira. Uma palheta simples acionada por mola divide as câmaras de aspiração e descarga.

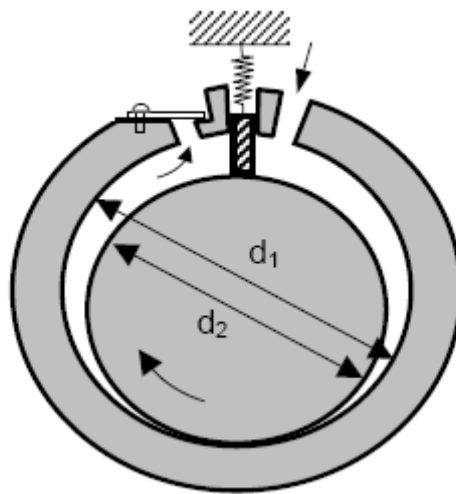


Figura 32 – Compressor de palheta simples

O HCFC-22 é o refrigerante mais utilizado nesse tipo de compressor e os refrigerantes HFC-407C e HFC-410A são seus substitutos.

A Figura 33 apresenta compressores de múltiplas palhetas. Nesses compressores o rotor gira em torno do próprio eixo, que não coincide com o eixo do cilindro. O rotor possui duas ou mais palhetas que permanecem em contato com a superfície do cilindro pela ação da força centrífuga.

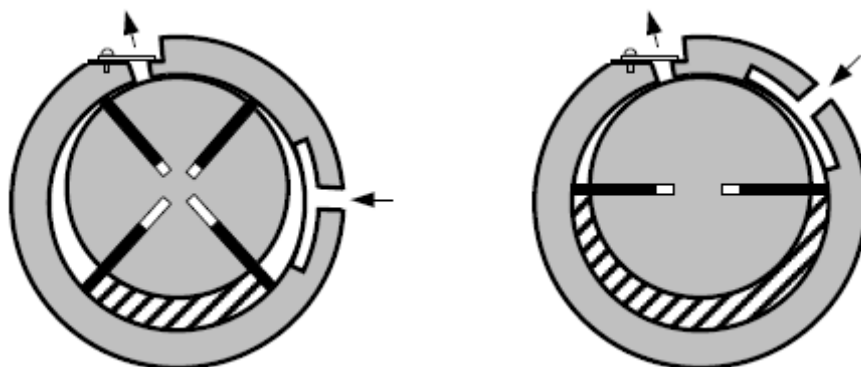


Figura 33 – Compressor de múltiplas palhetas

7.1.5 – Compressores Centrífugos

Os compressores centrífugos foram introduzidos em instalações frigoríficas por Willis Carrier em 1920, são amplamente utilizados em sistemas de grande porte. Seu princípio de funcionamento é semelhante ao de uma bomba centrífuga. O refrigerante entra pela abertura central do rotor e, devido à ação da força centrífuga, ganha energia cinética à medida que é deslocado para a periferia. Ao atingir as pás do difusor ou a voluta, parte de sua energia cinética é transformada em pressão. Em situações onde são necessárias altas razões de pressão podem-se utilizar compressores de múltiplos estágios. A Figura 34 apresenta o desenho esquemático de um compressor centrífugo.

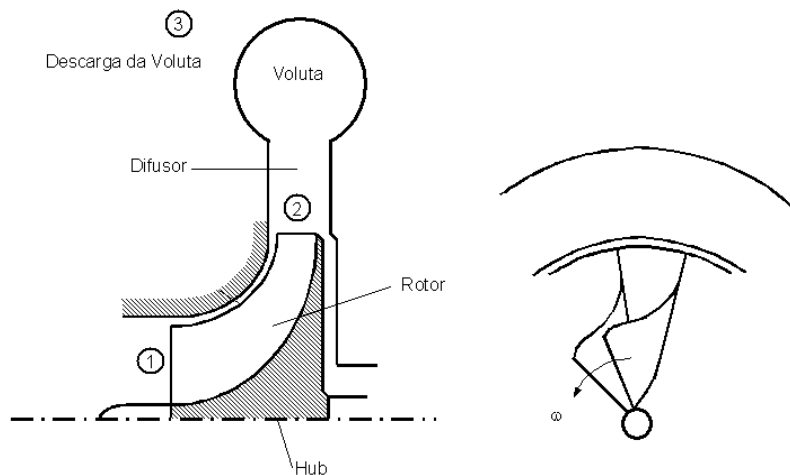


Figura 34 - Desenho esquemático de um compressor centrífugo

Os requerimentos mínimos de eficiência em função da capacidade, segundo a ASHRAE, para resfriadores de água com compressores centrífugos com condensação a água são idênticos aos compressores parafuso, ou seja:

- Capacidade inferior a 150TR COP = 3,8
- Capacidade entre 150 e 300TR COP = 4,2
- Capacidade superior a 300TR COP = 5,2

Os métodos mais eficientes para o controle de capacidade de compressores centrífugos são:

- Regulagem das pás de pré-rotação na entrada do rotor,
- Variação da rotação.

Pode-se ainda desviar o refrigerante da descarga do compressor para aspiração, porém este não é um método eficiente. Em compressores centrífugos acionados por turbina a gás ou vapor, o controle de capacidade pode ser feito pela variação da rotação.

7.1.6 – Compressores Scroll

O compressor Scroll foi inventado em 1905 pelo engenheiro francês Léon Creux. Na época, a tecnologia disponível não era avançada o suficiente para permitir a fabricação de um protótipo, devido a, principalmente, problemas de vedação. Para um funcionamento efetivo, o compressor Scroll requer tolerâncias de fabricação muito pequenas, que foram atendidas apenas a partir da segunda metade do século 20, com desenvolvimento de novas tecnologias de máquinas operatrizes e processos de manufatura.

O princípio de funcionamento do compressor Scroll, baseado num movimento orbital, difere fundamentalmente do tradicional compressor a pistão, baseado num movimento alternativo, apresentando diversas vantagens como

- Eficiência de 5 a 10 % maior que um compressor alternativo de igual capacidade;
- Ausência de válvulas;
- Menor quantidade de partes móveis em relação a um compressor alternativo;
- Operação suave e silenciosa
- Baixa variação de torque com conseqüente aumento da vida útil e redução de vibração;

A Figura 35 apresenta um compressor Scroll indicando seus diversos componentes.

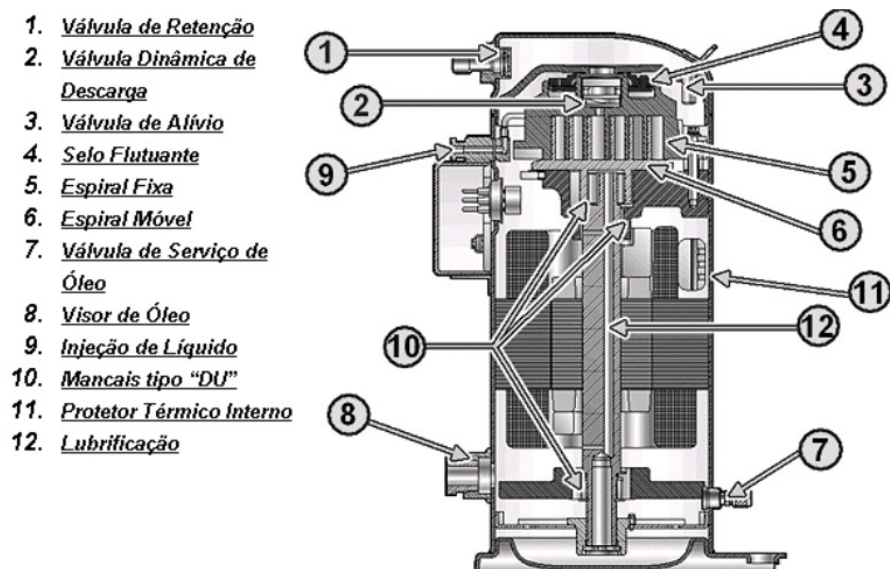


Figura 35 -Compressor Scroll e componentes

Para realizar o trabalho de compressão, o compressor Scroll possui duas peças em forma de espiral, conforme Figura 36, encaixadas face a face uma sobre a outra. A espiral superior é fixa e

apresenta uma abertura para a saída do gás. A espiral inferior é móvel, acionada por um motor com eixo excêntrico.



Figura 36: Espirais do compressor Scroll

A sucção do gás ocorre na Figura 37. A espiral superior possui selos que deslizam sobre a espiral inferior atuando de maneira semelhante aos anéis do pistão de um compressor alternativo, garantindo a vedação do gás entre as superfícies de contato das espirais.

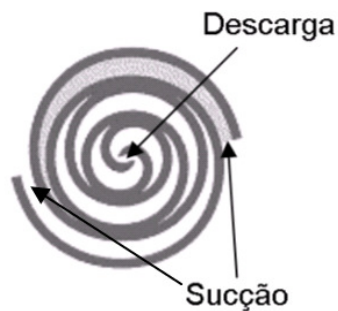


Figura 37: Sucção e descarga nas espirais

Como ilustrado na Figura 38 o processo de compressão ocorre da seguinte forma:

1. Durante a fase de sucção o gás entra pela lateral da espiral;
2. As superfícies das espirais na periferia se encontram formando bolsas de gás;
3. Na fase de compressão, o volume da bolsa de gás é progressivamente reduzido, e o gás caminha para o centro das espirais;
4. O volume da bolsa de gás é reduzido ainda mais, o gás caminha para o centro e a compressão continua;
5. Na fase de descarga, o volume na parte central das espirais é reduzido a zero, forçando o gás a sair pela abertura de descarga.



Figura 38 - Processo de compressão em um compressor Scroll

A capacidade de refrigeração dos compressores Scroll, para sistemas de expansão direta, está na faixa de 1 a 15 TR (52,3 kW) e para resfriadores (Chiller) está na faixa de 10 a 60 TR (35 a 210kW). Os compressores Scroll possuem alta eficiência volumétrica, variando de 96,9 a 93,6% para um aumento de relação de pressão de 2,77 para 3,58. Para relações de pressão em torno de 3, a eficiência isentrópica é de 70%. Os compressores Scroll possuem maior COP (3,35) em relação aos compressores rotativos e alternativos.

O HCFC-22 é o refrigerante utilizado atualmente em compressores Scroll e os refrigerantes HFC-407C e HFC-410A são, em longo prazo, seus substitutos. O ano previsto para o fim da fabricação do refrigerante HCFC-22 é 2020.

7.2. Evaporadores

7.2.1. Evaporadores secos ou de expansão direta

Nestes evaporadores o refrigerante entra no evaporador, de forma intermitente, através de uma válvula de expansão, geralmente do tipo termostática, sendo completamente vaporizado e superaquecido ao ganhar calor em seu escoamento pelo interior dos tubos (Figura 39). Assim, em uma parte do evaporador existe fluido frigorífico saturado (líquido + vapor) e na outra parte fluido superaquecido. Estes evaporadores são bastante utilizados com fluidos frigoríficos halogenados, especialmente em instalações de capacidades não muito elevadas.

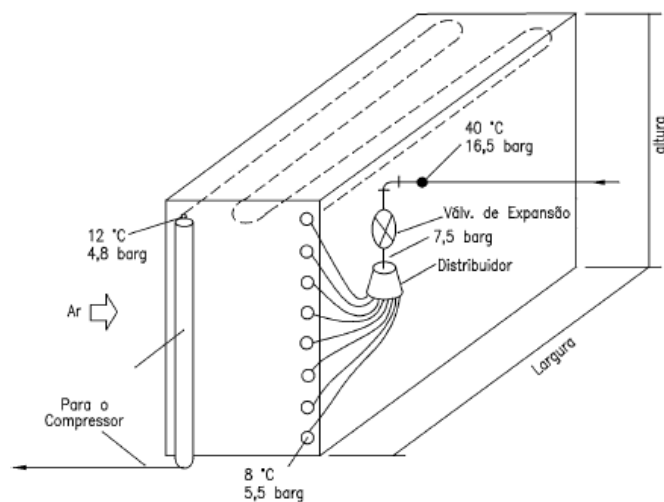


Figura 39 – Evaporadores de expansão direta

A principal desvantagem deste tipo de evaporador está relacionada com o seu, relativamente baixo, coeficiente global de transferência de calor, resultante da dificuldade de se manter a superfície dos tubos molhadas com refrigerante e da superfície necessária para promover o superaquecimento.

7.2.2. Evaporadores Inundados.

Nos evaporadores inundados, o líquido, após ser admitido por uma válvula de expansão do tipo bóia, escoar através dos tubos da serpentina, removendo calor do meio a ser resfriado. Ao receber calor no evaporador, uma parte do refrigerante evapora, formando uma mistura de líquido e vapor, a qual, ao sair do evaporador, é conduzida até um separador de líquido. Este separador, como o próprio nome diz, tem a função de separar a fase vapor da fase líquida. O refrigerante no estado de vapor saturado é aspirado pelo compressor, enquanto o líquido retorna para o evaporador, à medida que se faz necessário. Como existe líquido em contato com toda a superfície dos tubos, este tipo de evaporador usa de forma efetiva toda a sua superfície de transferência de calor, resultando em elevados coeficientes globais de transferência de calor.

Estes evaporadores são muito usados em sistemas frigoríficos que utilizam amônia como refrigerante, porém seu emprego é limitado em sistemas com refrigerantes halogenados devido à dificuldade de se promover o retorno do óleo ao cárter do compressor. Exigem grandes quantidades de refrigerante e também possuem um maior custo inicial.

Os evaporadores inundados podem ser ainda ter sua alimentação classificada em:

- Alimentação por gravidade. Nestes sistemas os separadores de líquido, que podem ser individuais, parciais ou único, alimentam por gravidade todos os evaporadores da instalação.
- Recirculação de Líquido. Nestes sistemas os evaporadores são alimentados com fluido frigorífico líquido, geralmente por meio de uma bomba, em uma vazão maior que a taxa de vaporização, portanto o interior destes evaporadores também sempre contém fluido frigorífico líquido (Figura 40). A relação entre a quantidade de refrigerante que entra no evaporador e a quantidade.

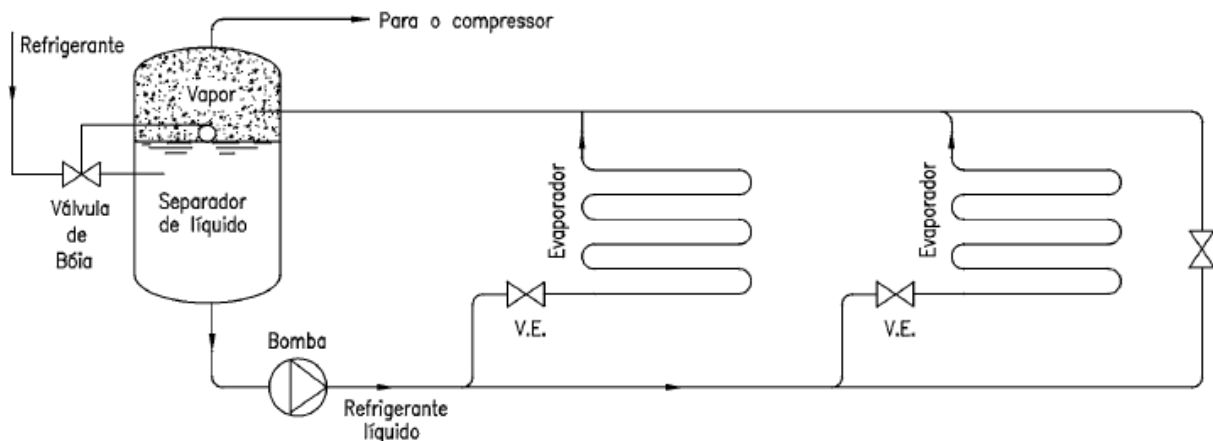


Figura 40 – Evaporadores inundados com recirculação de líquido (por bomba).

Conforme mencionado anteriormente, o evaporador é um dos quatro componentes principais de um sistema de refrigeração, e tem a finalidade de extrair calor do meio a ser resfriado, isto é, extrair calor do ar, água ou outras substâncias. Assim, de acordo com a substância ou meio a ser resfriado, os evaporadores podem ser classificados em:

- Evaporadores para ar.
- Evaporadores para líquidos.
- Evaporadores de contato.

7.3. Condensadores

7.3.1. Condensadores Refrigeraados a Ar

Os condensadores resfriados a ar são normalmente utilizados com parte integrante de unidades produzidas em fábricas (unidades condensadoras) de pequena ou média capacidade.

Grandes condensadores a ar também podem ser aplicados onde não é econômica a utilização de sistemas resfriados a água, devido ao alto custo ou indisponibilidade da água. A faixa de capacidades mais comum destes condensadores, cobre a gama de valores de 1 a 100 TR (7 a 352 kW), porém é usual a sua montagem em paralelo, atingindo capacidades bastante superiores.

Para um determinado compressor e para uma determinada temperatura do ar de resfriamento que entra no condensador, aumenta-se a pressão de condensação e diminui-se a capacidade frigorífica com a diminuição do tamanho do condensador. Um aumento da temperatura do ar de resfriamento também resulta nos mesmos efeitos acima, para um determinado condensador.

A temperatura de condensação deve ser fixada em um valor entre 11 °C e 15 °C maior que a temperatura de bulbo seco do ar que entra no condensador (embora h autores que recomendam 10°C). E, do ponto de vista econômico, o valor ótimo da diferença entre a temperatura de condensação e a temperatura do ar que deixa o condensador deve estar entre 3,5 e 5,5 °C.

Recomenda-se que, em qualquer situação, a temperatura de condensação nunca seja superior a 55 °C. No entanto, para garantir a eficiência do sistema de compressão e, ao mesmo tempo, obter uma maior vida útil dos compressores, a temperatura de condensação não deve ser maior que:

- 48 °C, quando a temperatura de evaporação do sistema frigorífico for maior ou igual a 0 °C;
- 43 °C, quando a temperatura de evaporação do sistema frigorífico for menor que 0 °C;

Os condensadores a ar devem ser instalados elevados, com relação ao nível do solo, para prevenir acumulação de sujeira sobre as serpentinas. Deve-se sempre garantir que existam aberturas adequadas e livres de qualquer obstrução para entrada de ar frio e para a saída do ar quente. As entradas de ar devem ser localizadas longe do lado de descarga do ar para evitar a aspiração de ar quente pelos ventiladores (curto-circuito do ar).

Devido à grande quantidade de ar manejada por estes condensadores eles geralmente são bastante barulhentos. Assim, quando da sua instalação devem ser levadas em consideração as normas locais, que definem os níveis máximos de ruído permitidos. Em algumas situações, especialmente dentro de zonas residências em centros urbanos, deverão ser empregados sistemas para controle da rotação dos ventiladores (motores de duas velocidades ou inversores de frequência), os quais atuam no período noturno, reduzindo a rotação dos ventiladores, e conseqüentemente o ruído emitido por estes condensadores.

Em sistemas que usam válvulas de expansão termostáticas, a pressão de condensação deve ser mantida relativamente constante. Temperaturas ambientes, isto é, temperaturas de entrada do ar no condensador muito baixas podem resultar numa pressão de condensação tão baixa que as válvulas de expansão dos evaporadores não operarão corretamente. Em climas moderados, o controle da operação dos ventiladores (liga-desliga) pode manter a pressão de condensação dentro dos níveis fixados em projeto, garantindo a correta operação das válvulas de expansão. Em climas mais frios, podem ser necessários outros sistemas automáticos para controle da pressão de condensação, como por exemplo:

- Instalação de dampers para controlar a vazão de ar de resfriamento dos condensadores.
- Instalação de válvulas de estrangulamento que controlam a pressão de condensação reduzindo o fluxo de líquido do condensador. Assim há inundação de parte do condensador, reduzindo a superfície de condensação útil.

7.3.2. Condensadores Resfriados a Água

Condensadores resfriados a água, quando limpos e corretamente dimensionados, operam de forma mais eficiente que os condensadores resfriados a ar, especialmente em períodos de elevada temperatura ambiente. Normalmente estes condensadores utilizam água proveniente de uma torre de resfriamento, sendo que usualmente utiliza-se, para a condição de projeto do sistema, o valor de 29,5 °C para a temperatura da água que deixa a torre. A temperatura de condensação, por sua vez, deve ser fixada em um valor entre 5,0 °C e 8,0 °C maior que a temperatura da água que entra no condensador, isto é, da água que deixa a torre.

Quatro tipos de condensadores resfriados a água são discutidos abaixo, considerando aspectos relacionados com sua aplicação e economia.

7.3.2.1. Condensador duplo tubo

Estes condensadores são formados por dois tubos concêntricos, geralmente 1 ¼” para o tubo interno e 2” para o externo. O tubo por onde circula a água é montado dentro do tubo de maior diâmetro. O fluido frigorífico, por sua vez, circula em contracorrente no espaço anular formado pelos dois tubos, sendo resfriado ao mesmo tempo pela água e pelo ar que está em contato com a superfície externa do tubo de maior diâmetro. Estes condensadores são normalmente utilizados em unidades de pequena capacidade, ou como condensadores auxiliares operando em paralelo com condensadores a ar, somente nos períodos de carga térmica muito elevada. Esses condensadores são difíceis de limpar e não fornecem espaço suficiente para a separação de gás e líquido.

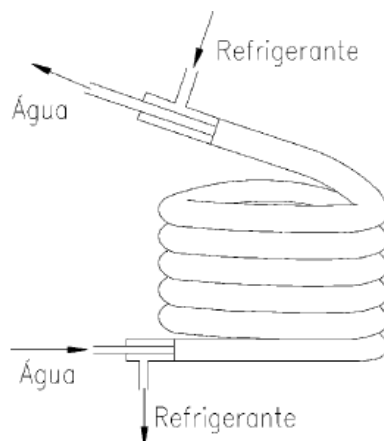


Figura 41 - Condensador duplo tubo

7.3.2.2. Condensador Carcaça e Serpentina (Shell and Coil)

Os Condensadores Carcaça e Serpentina (Shell and Coil) são constituídos por um ou mais tubos, enrolados em forma de serpentina, que são montados dentro de uma carcaça fechada (Figura 42). A água de resfriamento flui por dentro dos tubos, enquanto o refrigerante a ser condensado escoo pela carcaça. Embora, sejam de fácil fabricação, a limpeza destes condensadores é mais complicada, sendo efetuada por meio de produtos químicos (solução com 25% de HCl em água, com inibidor). São usados em unidades de pequena e média capacidade, tipicamente até 15 TR.

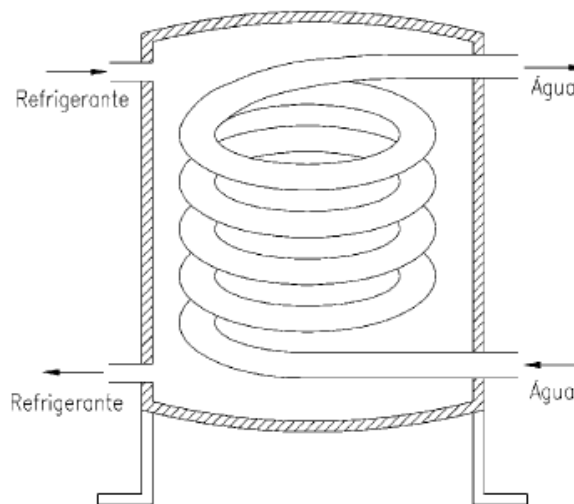


Figura 42 – Carcaça e Serpentina (Shell and Coil)

7.3.2.3 - Condensador Carcaça e Tubo (Shell and Tube).

Os condensadores Shell and Tube são constituídos de uma carcaça cilíndrica, na qual é instalada uma determinada quantidade de tubos horizontais e paralelos, conectados a duas placas dispostas em ambas as extremidades (Figura 43). A água de resfriamento circula por dentro dos tubos e o refrigerante escoo dentro da carcaça, em volta dos tubos. Os tubos são de cobre e os espelhos de aço para hidrocarbonetos halogenados e, para amônia, tanto os tubos como os espelhos devem ser aço. São de fácil limpeza (por varetamento) e manutenção. São fabricados para uma vasta gama de capacidades, sendo amplamente utilizados em pequenos e grandes sistemas de refrigeração.

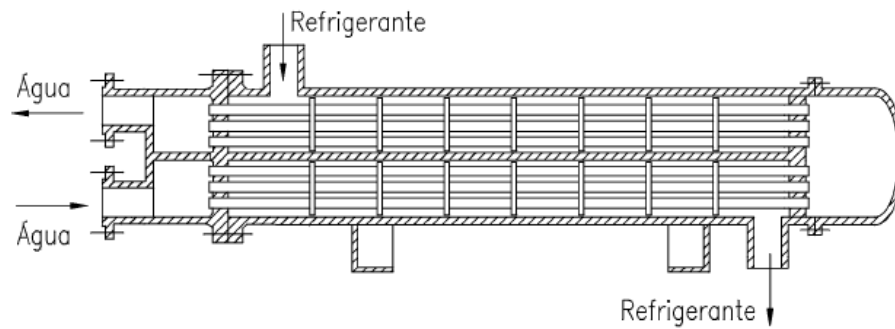


Figura 43 - Condensador Carcaça e Tubo (Shell and Tube)

7.3.2.4 Condensador de Placa

Os condensadores de placas são geralmente constituídos de placas de aço inox ou, em casos especiais, de outro material, de pequena espessura (0,4 a 0,8 mm). As placas são montadas paralelamente umas as outras, com um pequeno afastamento (1,5 a 3,0 mm). A água de resfriamento e o fluido frigorífico circulam entre espaços alternados, formados pelas placas.

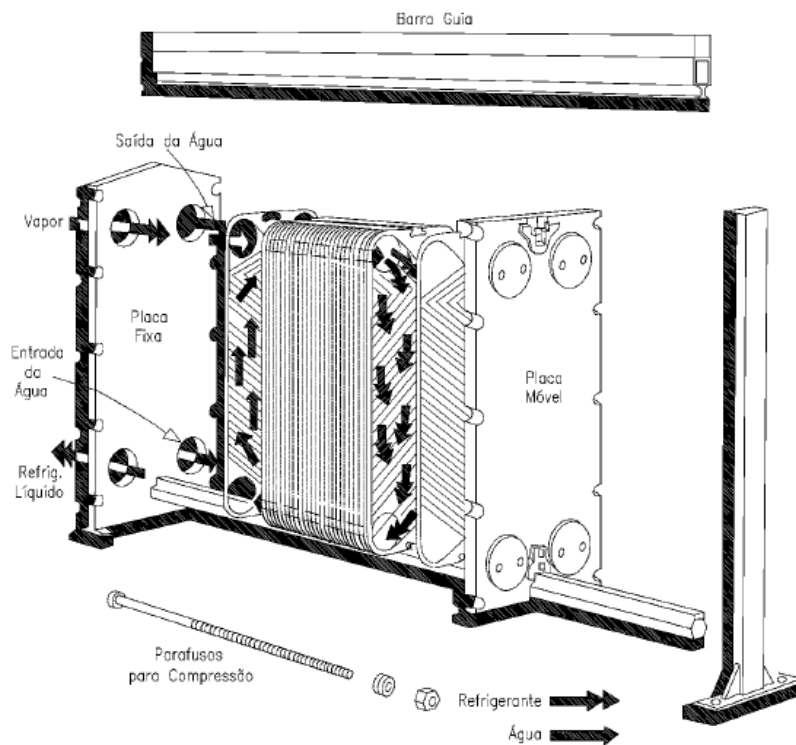


Figura 44 – Condensador de placas.

7.3.3. Condensadores Evaporativos

Os condensadores evaporativos são formados por uma espécie de torre de resfriamento de tiragem mecânica, no interior da qual é instalada uma série de tubos, por onde escoam o fluido frigorífico (Figura 45). No topo destes condensadores são instalados bicos injetores que pulverizam água sobre a tubulação de refrigerante. A água escoam, em contracorrente com o ar, em direção à bacia do condensador. O contato da água com a tubulação por onde escoam o refrigerante provoca a sua condensação. Ao mesmo tempo uma parcela da água evapora e, num mecanismo combinado de transferência de calor e massa entre a água e o ar, esta última é também resfriada. A água que chega à bacia do condensador é recirculada por uma bomba, e a quantidade de água é mantida através de um controle de nível (válvula de bóia), acoplado a uma tubulação de reposição.

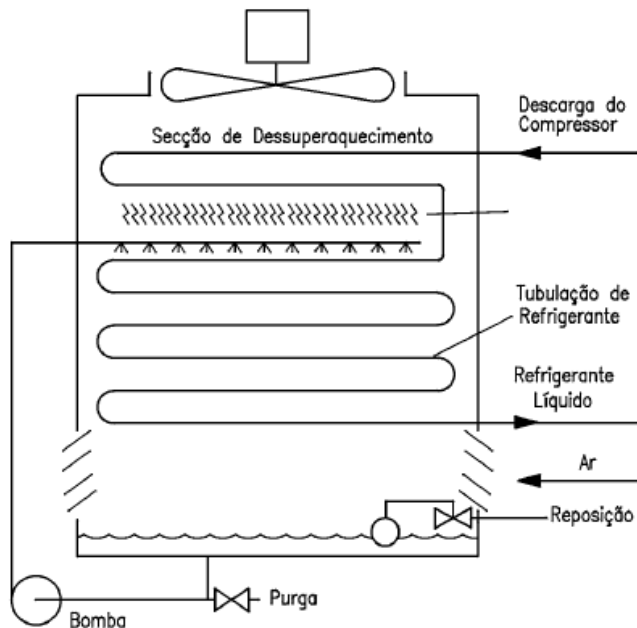


Figura 45 – Condensador evaporativo

7.4. Dispositivos de Expansão ou Válvulas de Expansão.

Em um sistema de refrigeração, o dispositivo de expansão tem a função de reduzir a pressão do refrigerante desde a pressão de condensação até a pressão de vaporização. Ao mesmo tempo, este dispositivo deve regular a vazão de refrigerante que chega ao evaporador, de modo a satisfazer a carga térmica aplicada ao mesmo. Neste item serão considerados alguns dos princípios de tipos de

dispositivos de expansão, entre eles: válvula de expansão termostática, válvulas de expansão eletrônicas, válvulas de bóia.

7.4.1. Válvula de Expansão Termostática

Devido a sua alta eficiência e sua pronta adaptação a qualquer tipo de aplicação, as válvulas de expansão termostática (VET) são o dispositivo de expansão mais utilizados em sistemas refrigeração de expansão direta. Estas válvulas regulam o fluxo de refrigerante que chega ao evaporador de forma a manter um certo grau de superaquecimento do vapor que deixa o mesmo.

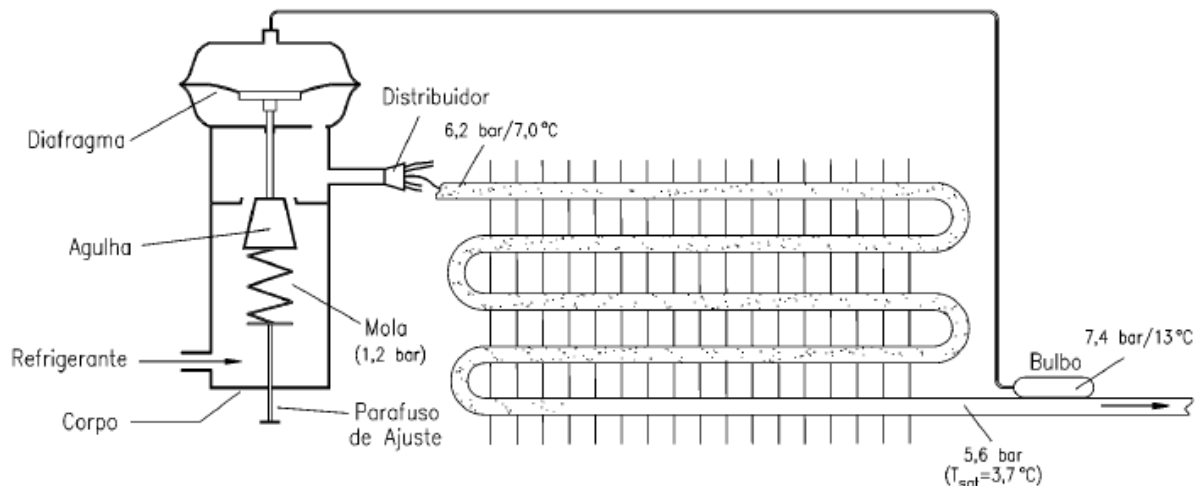


Figura 46 – Válvula de expansão termostática (equalização interna)

A Figura 46 mostra o esquema de uma válvula de expansão termostática, conectada a uma serpentina de expansão direta. Estas válvulas são constituídas de corpo, mola, diafragma, parafuso de ajuste e bulbo sensível. O bulbo, que contém em seu interior fluido refrigerante saturado do mesmo tipo que o utilizado no sistema frigorífico, é conectado com a parte superior do diafragma através de um tubo capilar e deve ser posicionado em contato com a tubulação de saída do evaporador, bem próximo a este. A saída da VET é conectada com a tubulação de entrada do evaporador e, caso este seja de múltiplos circuitos, deve-se utilizar um distribuidor de líquido.

Quando o refrigerante passa através do orifício da válvula a sua pressão é reduzida até a pressão de vaporização. O refrigerante líquido escoar através do distribuidor e dos tubos do evaporador, se vaporizando a medida que recebe calor. Em uma determinada posição ao longo do comprimento dos tubos, todo o refrigerante líquido já se vaporizou e, a partir deste ponto, qualquer fluxo adicional de calor provocará um aumento da temperatura do refrigerante. Assim, quando o refrigerante alcança a saída do evaporador ele apresenta um pequeno grau de superaquecimento, com relação à temperatura de saturação, para a pressão de vaporização.

Se a carga térmica aumenta, mais refrigerante se vaporiza. Conseqüentemente a posição do ponto onde termina a vaporização do refrigerante se move em direção à entrada do evaporador. Isto causa aumento do superaquecimento do refrigerante, o que está associado a um aumento de temperatura na região onde está instalado o bulbo da válvula. Como dentro do bulbo existe refrigerante saturado, este aumento de temperatura provoca um aumento de pressão no interior do mesmo e na parte superior do diafragma, o que move a agulha obturadora para baixo, abrindo a válvula e aumentando a vazão de refrigerante. Assim, mais líquido entra no evaporador de forma a satisfazer a carga térmica.

Se ocorrer diminuição da carga térmica, o superaquecimento do refrigerante na saída do evaporador tende a diminuir, o que provoca o fechamento da válvula, diminuição da vazão de fluido frigorífico e aumento da diferença de pressão entre entrada e saída da válvula.

O grau de superaquecimento pode ser ajustado pela variação da tensão impressa à mola da válvula. Maiores tensões na mola exigirão maiores pressões no bulbo para a abertura da válvula o que implica em maiores superaquecimentos.

Uma VET de equalização externa (Figura 47) possui uma tubulação de pequeno diâmetro que conecta a câmara localizada abaixo do diafragma com a saída do evaporador. Assim a pressão reinante embaixo do diafragma é a mesma da saída do evaporador. As serpentinas de expansão direta, principalmente aquelas alimentadas por distribuidores de líquido, apresentam perda de carga considerável, portanto as válvulas de expansão utilizadas com serpentinas de expansão direta são geralmente do tipo equalização externa.

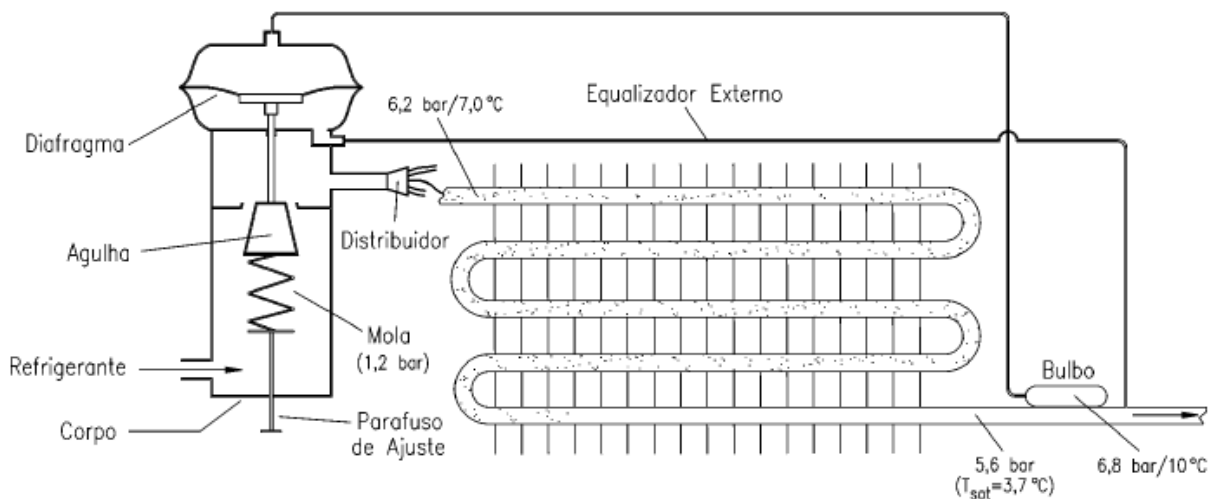


Figura 47 – Válvula de expansão termostática (equalização externa)

7.4.2. Válvulas de Expansão Eletrônicas

As válvulas de expansão elétricas, ou mais precisamente as eletrônicas ou microprocessados, são capazes de promover um controle mais preciso e eficiente do fluxo de refrigerante, resultando em economia de energia. Atualmente, existem três tipos básicos de válvulas de expansão elétricas: as acionadas por motores de passo, as de pulsos de largura modulada e as analógicas.

Os motores de passo podem ser eletronicamente controlados, de forma que se pode obter rotação contínua do seu eixo nas duas direções. Além disto, eles podem ser ter o seu eixo movimentado de forma discreta, em frações da sua rotação. Utilizando um acoplamento por engrenagens e cremalheiras, o movimento de rotação destes motores pode ser facilmente transformado em movimento de translação, o que permite executar movimentos de abertura e fechamento das válvulas de expansão.

No caso do controle por pulsos de largura modulada são utilizadas válvulas solenóides para controlar a vazão. Como se sabe as válvulas solenóide operam de forma on/off, isto é, elas podem estar completamente abertas ou completamente fechadas. No entanto, pode-se controlar a vazão de refrigerante com estas válvulas alterando-se o seu tempo, largura do pulso, ou duração de abertura. Por exemplo, se uma válvula com largura de pulso modulada opera com 5 pulsos por segundo, e se a vazão deve ser reduzida para 40% da nominal, a válvula deverá ficar aberta por 5 segundos e fechada por 5 segundos.

O fechamento repentino da válvula pode causar golpes de líquido na linha de refrigerante que alimenta a válvula, gerando vibração excessiva. A introdução de um amortecimento, onde o refrigerante líquido é forçado acima ou debaixo do êmbolo da válvula, por uma pequena passagem pode ser uma forma efetiva de reduzir a velocidade de abertura e fechamento.

Ao invés de abrir ou fechar completamente a válvula, pode-se utilizar uma válvula analógica e variar a intensidade do campo magnético aplicado à sua bobina, de forma que a agulha da válvula (ou êmbolo) pare em várias posições intermediárias. Uma vez que o circuito de acionamento destas válvulas é mais complicado do que o necessário para se gerar o sinal digital requerido para o controle dos motores de passo e para modulação de pulsos, necessários aos outros dois tipos de válvulas, a eficiência das válvulas analógicas não é tão boa quanto a dos outros dois modelos.

Entre os três tipos de válvulas citados, as acionados por motores de passo são as que têm melhor eficiência e promovem o controle mais preciso.

7.4.3. Válvulas de Bóia.

A válvula de bóia é um tipo de válvula de expansão que mantém constante o nível de líquido em um recipiente, diretamente no evaporador ou nos separadores de líquido. Existem dois tipos de válvulas de bóia para sistemas de refrigeração: as de alta pressão e as de baixa pressão.

As válvulas de bóia de alta pressão controlam de forma indireta a vazão de refrigerante que vai ao evaporador, mantendo constante o nível de líquido em uma câmara de alta pressão. A Figura 48 mostra o esquema de uma válvula de bóia de alta pressão. A agulha obturadora da válvula está conectada com o flutuador, de forma que qualquer elevação do nível da câmara abrirá a válvula, permitindo a passagem de refrigerante para o evaporador.

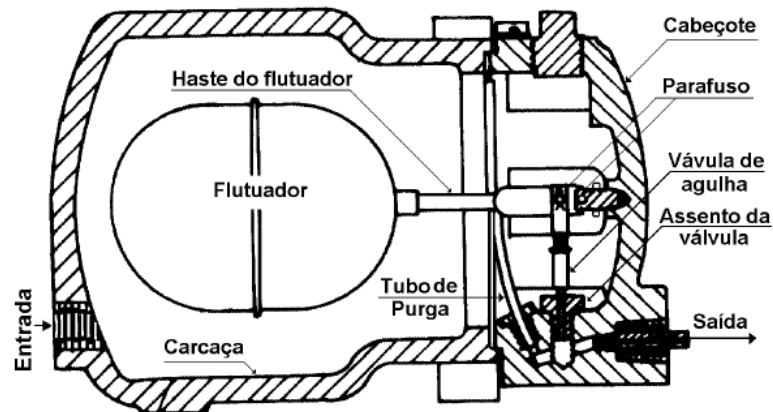


Figura 48 – Válvula de bóia de alta pressão

As válvulas de bóia de baixa pressão (Figura 49) controlam a alimentação de refrigerante de forma a manter um nível de líquido constante no evaporador. Quando cai o nível de líquido no evaporador o flutuador se move para baixo, abrindo a válvula e injetando mais refrigerante no mesmo.

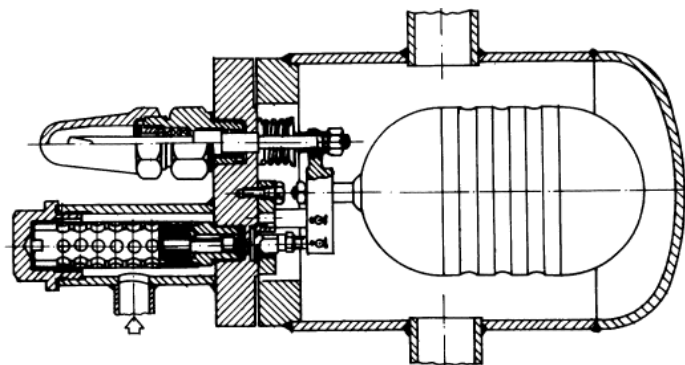


Figura 49 – Válvula de bóia de baixa pressão

7.4.4. Válvula de Expansão de Pressão Constante

A válvula de expansão de pressão constante mantém uma pressão constante na sua saída, inundando mais ou menos o evaporador, em função das mudanças de carga térmica do sistema. A pressão constante, característica da válvula, resulta da interação de duas forças opostas: pressão do fluido refrigerante no evaporador e da pressão de mola, como mostrado na Figura 50. A pressão do fluido refrigerante exercida sobre um lado do diafragma age para mover a agulha na direção de fechamento do orifício da válvula, enquanto a pressão de mola, agindo sobre o lado oposto do diafragma, move a agulha da válvula na direção de abertura do orifício.

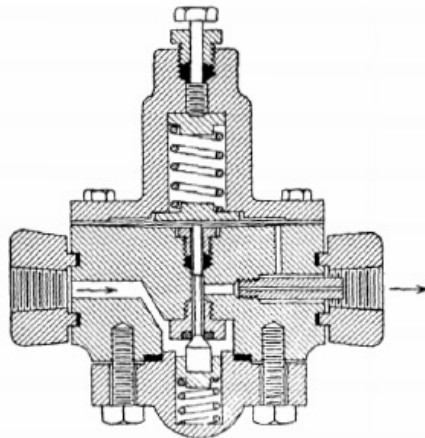


Figura 50 - Válvula de expansão de pressão constante

7.4.5. Tubos Capilares.

Nos sistemas de pequena capacidade (geladeiras, aparelhos de ar condicionado de janela, freezers, etc.) o dispositivo de expansão mais utilizado é o tubo capilar, o qual nada mais é que um tubo de pequeno diâmetro, com determinado comprimento, que conecta a saída do condensador com a entrada do evaporador. A expansão do refrigerante ocorre devido a alta perda de carga proporcionada pelo tubo capilar.

7.5. Componentes Auxiliares

7.5.1. Pressostato

Os pressostatos são interruptores elétricos comandados pela pressão. O ajuste da pressão se faz por meio de um parafuso. Em alguns modelos o diferencial de pressão, diferença entre pressão de desarme e rearme, é regulável. O rearme pode ser automático ou manual.

Os pressostatos podem ser classificados em:

- Pressostatos de baixa pressão, que desligam, quando a pressão de sucção se torna menor do que um determinado valor;
- Pressostatos de alta pressão, que desligam, quando a pressão de descarga se torna maior do que um determinado valor;
- Pressostatos de alta e baixa, que reúnem os dois tipos anteriores num único aparelho;
- Pressostatos diferenciais, destinados ao controle da pressão do óleo de lubrificação dos compressores, que desligam quando a diferença entre a pressão da bomba e o cárter do compressor é insuficiente para uma lubrificação adequada.

7.5.2. Termostatos

Indicam variações de temperatura e fecham ou abrem os contatos elétricos. Os termostatos podem ser classificados de acordo com o elemento de medição de temperatura como bimetálico, de bulbo sensor de temperatura e de resistência elétrica.

- Bimetálico: converte variações de temperatura em deflexões de uma barra metálica, fechando abrindo os contatos. O bimetal é preparado justapondo-se dois tipos de metais diferentes, que apresentam diferentes coeficientes de dilatação térmica. Assim o conjunto se deplete quando a temperatura varia.
- Termostato com bulbo sensor de temperatura: o bulbo contém um gás ou um líquido que quando a temperatura no bulbo aumenta, há também aumento de pressão no fluido que é transmitido ao fole do termostato. O movimento do fole proporciona o fechamento ou abertura dos contatos através do mecanismo de alavanca.

- Termostato eletrônico: composto por um termistor que é um resistor cuja resistência varia (de forma não linear) com a temperatura. O termistor pode estar em contato com o ar ou a água. A comutação dos contatos fica sendo em função da temperatura. Um aumento de temperatura resultará na diminuição da resistência.

7.5.3. Filtros e Secadores

Os filtros são empregados para eliminar partículas estranhas nas tubulações de sistemas refrigeração. São constituídos por um invólucro metálico, no interior do qual se encontra uma tela de malha fina feito de níquel ou bronze. Os filtros podem ser montados tanto na linha de sucção como na linha de líquido. Quando colocados na linha de sucção evitam que impurezas penetrem no compressor juntamente com o vapor de refrigerante. O filtro na linha de líquido destina-se a evitar que impurezas fluam para o evaporador juntamente com o refrigerante líquido.

Os filtros secadores são dispositivos destinados a eliminar a umidade que, apesar dos cuidados tomados antes e durante a carga, sempre está presente nas instalações de refrigeração, ocasionando diversos problemas. São constituídos por um corpo com elementos filtrantes, cheio de material altamente higroscópico (sílica gel). Os filtros secadores são colocados normalmente nas linhas de líquido.

7.5.4. Separadores de Óleo

Os separadores de óleo são utilizados quando o retorno de óleo em um sistema é inadequado, difícil de ser obtido ou ainda, quando a quantidade de óleo em circulação é excessiva, causando perda de eficiência devido ao acúmulo nas superfícies de troca de calor. Os compressores frigoríficos são lubrificados pelo óleo colocado no cárter, que circula por suas diversas partes. Em um compressor hermético, o óleo também lubrifica os rolamentos do motor. Durante a operação do compressor, uma pequena quantidade do óleo de lubrificação é arrastada pelo vapor na descarga.

Esse óleo, circulando ao longo do sistema frigorífico, não provoca danos, porém uma quantidade excessiva de óleo no condensador, dispositivos de controle do fluxo de refrigerante, evaporador e filtros interferirá no funcionamento destes componentes. Em instalações de baixa temperatura, se o óleo escoar ao longo do sistema ele se tornará espesso e dificilmente poderá ser

removido do evaporador. A fim de se evitar estes problemas instala-se um separador de óleo entre a descarga do compressor e o condensador.

7.5.5. Válvulas Solenóide

São válvulas comandadas eletricamente por meio de solenóides. Podem ser classificadas em normalmente abertas e normalmente fechadas. O comando elétrico pode ser acionado por um termostato, pressostato, ou mesmo por um simples interruptor manual. Seu princípio de operação, como pode ser visto na Figura 51, é o seguinte:

- Quando o circuito elétrico da válvula é aberto, a bobina é desenergizada de modo que o peso da armadura e a ação da mola forcem a agulha de volta ao seu assento.
- Ao se energizar a bobina, a armadura se move para cima em direção ao centro da bobina, abrindo a válvula

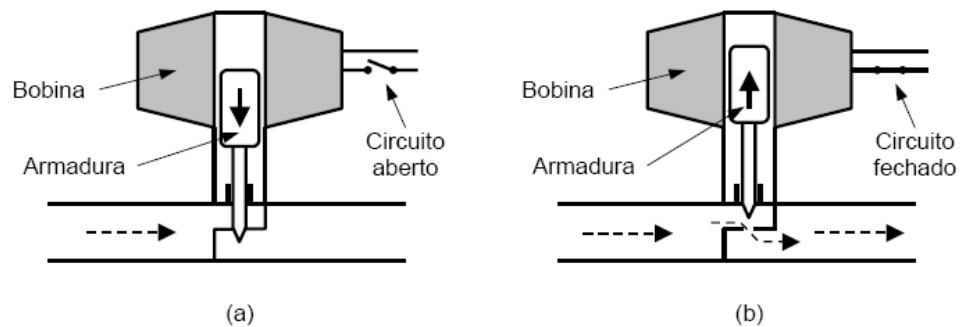


Figura 51 - Válvula Solenóide, (a) Válvula fechada (b) Válvula aberta

7.5.6. Visores de Líquido

São peças com visores para verificar a passagem de líquido e a presença de umidade. São colocados na saída do reservatório de líquido ou na entrada do evaporador, permitindo verificar se a carga de refrigeração está completa e se existe umidade no sistema. As seguinte cores são utilizadas para indicar a quantidade de umidade no sistema:

- Verde → Ausência de umidade
- Amarelo → Presença de umidade
- Marrom → Contaminação total do sistema

7.5.7. Acumuladores de Sucção

É o componente no qual o refrigerante líquido proveniente do evaporador (em condições anormais) fica retido por diferença de densidade e o vapor é aspirado pelo compressor.

É análogo ao separador de óleo.

7.5.8. Trocador de calor

É o componente no qual as linhas de líquido e sucção trocam calor entre si a fim de sub-resfriar a linha de líquido e superaquecer a linha de sucção

7.5.9. Válvula de retenção

É o componente no qual o fluxo refrigerante fica retido em “determinados pontos” do circuito quando se deseja modificar o sentido do fluxo.

8. CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO

Uma instalação de ar condicionado deve ser capaz de manter ao longo de todo o ano e em todos os ambientes condicionados, as condições de temperatura e umidade especificadas. Deve também promover a higienização dos ambientes, mediante a introdução de uma quantidade de ar externo adequada, a qual, juntamente com o ar de recirculação, deve ser devidamente filtrada. O sistema de ar condicionado necessita ainda ser capaz de manter a velocidade do ar, nos ambientes ocupados, dentro dos limites requeridos para proporcionar um máximo conforto aos seus ocupantes.

O controle da pureza e do movimento do ar normalmente não apresenta grandes dificuldades, bastando um cálculo correto da vazão de ar, um projeto eficiente do sistema de distribuição e a seleção adequada do sistema de filtragem.

O grande problema apresentado pelas instalações de ar condicionado para conforto, é conseguir manter as temperaturas nos diferentes ambientes, dentro dos limites estabelecidos em projeto, durante todo o ano. Este problema se torna ainda mais importante quando são considerados edifícios que estão submetidos simultaneamente a cargas térmicas positivas (necessidade de resfriamento) e negativas (necessidade de aquecimento), em diferentes zonas.

Os diferentes tipos de instalações de ar condicionado se classificam de acordo com o fluido(s) utilizado(s) para “transportar energia”, de forma a equilibrar as cargas térmicas sensíveis e latentes do ambiente. Assim, se distinguem as seguintes instalações:

- a) Instalações de expansão direta.
- b) Instalações de expansão indireta

Do ponto de vista funcional, é importante salientar que as nas edificações se distinguem, em geral, dois tipos fundamentais de zonas: as internas e as perimetrais.

- Zonas Internas. Caracterizam-se por possuir uma carga térmica positiva e uniforme ao longo de todo o ano. Estas zonas são normalmente condicionadas por uma instalação independente, freqüentemente de duto único com reaquecimento ou com vazão de ar variável. A diferença entre o ar ambiente e o ar insuflado é geralmente baixa.
- Zonas Perimetrais (ou externas). Estas zonas são caracterizadas por possuírem cargas térmicas fortemente variáveis em função da hora e da estação do ano, podendo ser positivas ou

negativas, de acordo com as condições exteriores. Assim, as instalações destinadas a condicionar estas zonas devem ser dotadas de grande flexibilidade.

8.1. Instalações de Expansão Direta

Um sistema de climatização de expansão direta é aquele em que o evaporador do sistema, empregando um refrigerante de expansão direta, esta em contato direto com o espaço ou material que esta sendo refrigerado, conforme ilustram as figuras 52 e 53

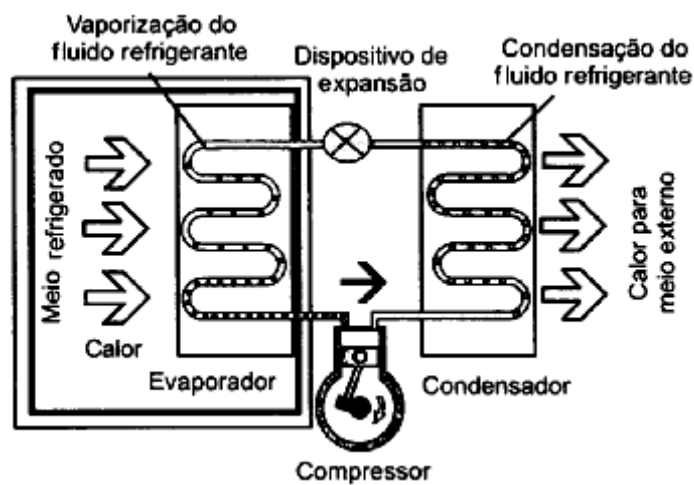


Figura 52 – Ciclo de refrigeração de expansão direta – Condensador refrigerado a ar.

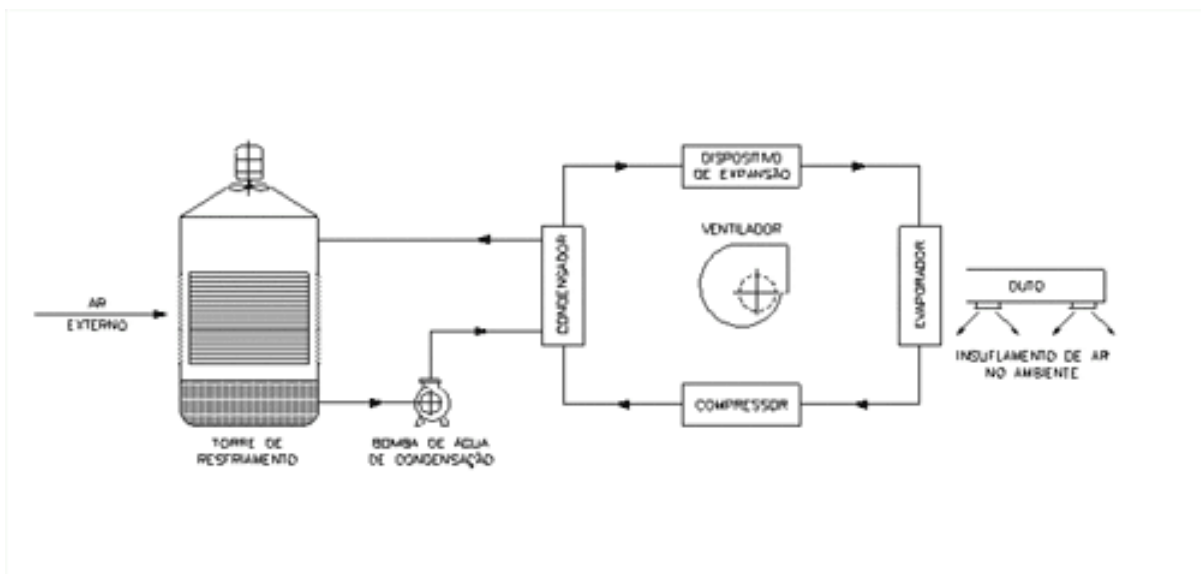


Figura 53 – Ciclo de refrigeração de expansão direta – Condensador refrigerado a água.

O sistema de climatização de expansão direta mais elementar é, sem dúvida alguma, o condicionador de ar de janela. Estes aparelhos são dotados de compressor, condensador resfriado a ar, dispositivo de expansão, serpentina de resfriamento e desumidificação do tipo expansão direta, filtros e ventiladores para circulação do ar condicionado e para resfriamento do condensador. Normalmente o aquecimento é feito normalmente por meio de uma bateria de resistências elétricas, muito embora possam existir aparelhos de janela que podem operar como bomba de calor, através da inversão do ciclo frigorífico. São comumente encontrados com capacidades variando entre 7500 a 30000 Btu/h.

Outros equipamentos cujo sistema é por expansão direta são os Splits (ou Mini-Split). Estes são equipamentos que pela capacidade e características aparecem logo após os condicionadores de janela. Estes aparelhos são constituídos em duas unidades divididas (evaporadora e condensadora), que devem ser interligadas por tubulações de cobre, através das quais circulará o fluido refrigerante. São aparelhos bastante versáteis, sendo produzidos com capacidades que variam de 7.500 a 60.000 Btu/h (há no mercado equipamentos de maior capacidade como, por exemplo, o condicionador de ar Gree GST80-22R Split High Wall de 80000 BTUs Quente/Frio e o Fujitsu ASBA18 Split High Wall 180000 BTUs Quente/Frio).

8.1.1. Vantagens e desvantagens

Constitui vantagens a utilização de sistemas de climatização por expansão direta:

- Compactos e não requerem instalação especial;
- Fácil manutenção;
- Controle e atendimento específico de uma determinada área;
- Não ocupam espaço interno (útil) significativo;
- São produzidos para aquecimento por reversão de ciclo (bomba de calor).
- Tem grande versatilidade;
- Distribuição de ar por dutos (selfs) ou não (janeleiros ou splits);

Por outro lado apresenta as seguintes desvantagens:

- Capacidade limitada;
- Limitados para atender satisfatoriamente a variações de carga;
- Interferem em fachadas (condensador é exposto).

8.2. Instalações de Expansão Indireta

Muitas vezes é inconveniente ou antieconômico circular um refrigerante de expansão direta para a área, ou áreas, onde é requerida a climatização. Em tais casos é empregado um sistema de refrigeração por expansão indireta (figura 54 e 55) que é aquele em que aparece um agente intermediário, como por exemplo, água. A água é resfriada por um refrigerante de expansão direta através de um resfriador de líquido (um trocador de calor, por exemplo) e então bombeada através de tubulação apropriada para o espaço que esta sendo climatizado, onde trocava calor com o ar do ambiente e retornará ao resfriador (trocador de calor) para ser resfriada e novamente recirculada.

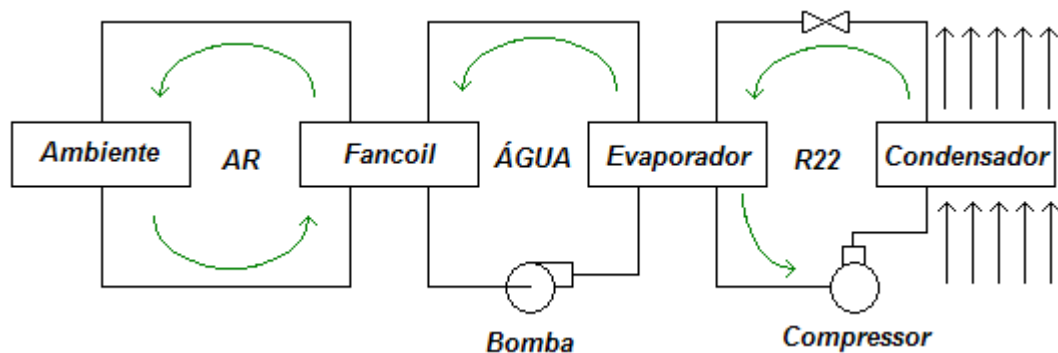


Figura 54 - Ciclo de refrigeração com expansão indireta refrigerado a ar

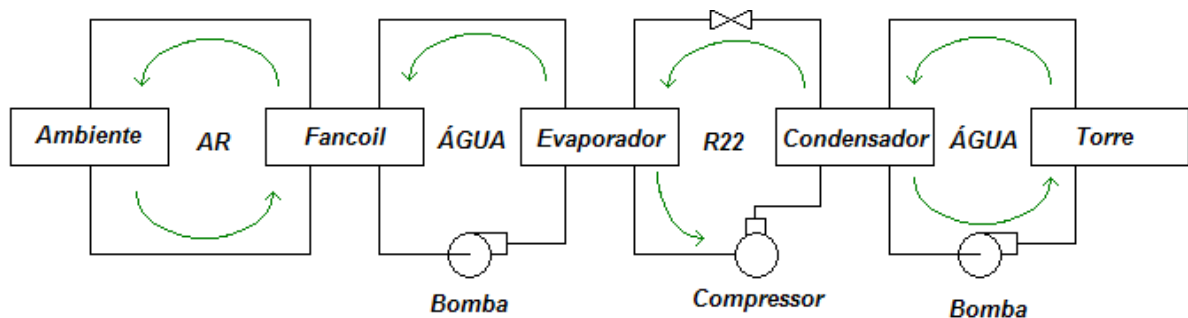


Figura 55 - Ciclo de refrigeração com expansão indireta refrigerado a água

8.2.1. Vantagens e desvantagens

São vantagens do sistema de expansão indireta:

- É mais fácil distribuir água do que halogenados;
- O fluido refrigerante não circula dentro do meio a resfriar;
- A parte frigorífica do sistema fica concentrada (CAGs);

- A flutuação da carga é mais bem atendida;
- O uso de automação é mais fácil, principalmente em grandes instalações.
- Não influencia ou provoca modificações em fachadas

Por outro lado apresenta as seguintes desvantagens:

- A temperatura de evaporação é menor, portanto
 - O COP também é menor;
 - O compressor e o motor são de maior porte,
- O sistema é mais complexo;
- Apresenta custo maior

9. TERMOACUMULAÇÃO

9.1. Classificação dos Sistemas de Termoacumulação

De maneira geral, os termoacumuladores para aplicação em sistemas de climatização que fazem uso de água como meio de estocar energia proveniente de resfriadores de líquido estão divididos em duas classes:

- a) Acumuladores de calor latente: caracteriza-se pela estocagem de gelo, seja em sua forma sólida, em placas ou ainda em pasta, encapsulado ou não. As diferentes concepções construtivas podem ser classificadas em:
 - Banco de gelo ou “ice chiller”: neste processo, uma solução de água e etileno-glicol, com temperatura negativa, circula através de uma serpentina multi-tubular, submersa em um tanque com água. O processo culmina com o congelamento da água exterior à serpentina, formando um bloco de gelo uniforme dentro do tanque.
 - Placas de gelo ou “ice harvesting”: consiste na formação de placas de gelo em evaporadores planos localizados acima do tanque de armazenamento. Sistemas de controle derivam gás quente aos evaporadores e, com isto, as placas de gelo caem pela ação da gravidade no tanque;
 - Cápsulas de gelo ou “ice balls”: esferas de material plástico (polietileno, por exemplo) preenchidas em seu interior com água deionizada e um agente nucleante, são dispostas dentro de um tanque e submergidas por uma solução de água e etileno-glicol. A solução é resfriada a temperaturas negativas pelo resfriador de líquido, levando ao congelamento das esferas.
 - Cristais de gelo: neste caso a acumulação se dá através de finos cristais de gelo, obtidos do super resfriamento de uma solução aquosa que escoam através de um sistema de concepção semelhante a um evaporador. O resfriamento é lento o suficiente para permitir a obtenção de temperaturas negativas na solução sem que esta se congele. Quando em temperatura super resfriada, o escoamento da solução aquosa é perturbado, dando origem aos cristais que são então depositados em um tanque

contendo a mesma solução, que será recirculada continuamente pelo sistema, aumentando a fração dos cristais na solução armazenada.

- b) Acumuladores de calor sensível: é a estocagem pura e simples da água líquida gelada. Neste processo em particular deve haver uma preocupação com os fatores que influem na obtenção da estratificação térmica e, portanto, formação da termoclina, que deve ser de espessura tão fina quanto possível para proporcionar o maior rendimento do acumulador. A termoclina é uma região de transição entre a água quente (que retorna dos climatizadores) localizada na porção superior do tanque e a água fria, localizada na porção inferior do tanque. Assim como no caso da termoacumulação com gelo, o sistema à água também possui diferentes formas construtivas, podendo ser dividido nas seguintes classes:
- Tanque vazio: visa separar completamente a água gelada armazenada e aquela que retorna dos climatizadores, a temperatura mais elevada, minimizando a troca térmica entre a água de retorno e a água gelada. Nesta concepção o termoacumulador é composto de diversos tanques para água, onde um deles, alternadamente, fica vazio, ou seja, a água sai de um tanque e retorna em um outro vazio, enchendo este de água de retorno (quente) e deixando aquele sem água, tornando-o o tanque vazio da vez.
 - Tanque labirinto: o tanque é composto de vários cubículos intercomunicáveis. A água circula entre eles, respeitando um processo seqüencial, possibilitando assim minimizar os efeitos da mistura da água quente com a água fria e melhorando, portanto, a eficiência do tanque.
 - Tanque estratificado: nesta concepção e em um tanque único, busca-se a disposição em camadas superpostas de água à temperatura crescente, partindo-se da menor na base do tanque para a maior no topo, ou seja, a estratificação da temperatura. A estratificação deve permitir ainda a formação de uma termoclina, tão fina quanto possível. É esta termoclina que fará a transição de temperaturas entre a água quente do topo e a água fria da base do tanque. Nesta forma construtiva, diversos fatores, como por exemplo a velocidade do fluido e a forma do difusor, são preponderantes na formação e manutenção da termoclina, e portanto, na eficiência do tanque.

9.2. Termoacumulação Através de Água Gelada: por quê?

Os sistemas de termoacumulação que utilizam água ou que utilizam gelo apresentam vantagens e desvantagens quando comparados entre si, devendo, para cada instalação, ser feito um estudo prévio para que seja determinado o melhor custo-benefício.

No caso de armazenadores de calor sensível utilizando-se líquido em baixas temperaturas, a água é considerada o fluido mais adequado, pois reúne fatores importantes como alto calor específico, baixo custo, grande capacidade de armazenamento e segurança no seu manuseio, uma vez que é atóxica e não inflamável.

Abaixo, estão elencadas algumas vantagens e desvantagens oferecidas por cada um dos sistemas.

a) Água

– Vantagens

- Produção de água gelada a uma temperatura de evaporação mais alta, gastando menos energia.
- Utilização de um sistema convencional, sem a necessidade de equipamentos que proporcionem temperaturas negativas à água;
- O funcionamento simultâneo do chiller e do armazenamento é facilitado;
- É possível combinar o reservatório de água gelada com o reservatório para combate a incêndio;
- Não há necessidade de utilização de aditivos anti congelamento na água do sistema.

– Desvantagens

- Necessidade de um grande espaço para a colocação do(s) tanque(s).
- Grande volume de água no circuito, pois o sistema fará uso do calor específico da água, no caso de 4,18 kJ/kgK. Considerando uma diferença de temperatura de 10 K entre a água gelada introduzida no tanque e a água que retorna após atender a carga térmica, cada quilograma desta estoca 41,8 kJ. Quando comparado ao calor latente do gelo, que é de 334 kJ por quilo de gelo (a 0° C), constata-se que neste a capacidade de estocar energia é aproximadamente 8 vezes superior à da água líquida.
- Dificuldade em evitar a mistura de água quente com a água fria

b) Gelo

– Vantagens

- Redução do tamanho do(s) acumulador(es), uma vez que neste caso o sistema fará uso do calor latente de fusão da água (gelo), no caso de 334 kJ/kg a 0° C.
- Vazão de água gelada menor;
- Menores serpentinas nos fan-coils;
- Menor vazão de ar.

– Desvantagens

- Requer equipamento de refrigeração especial, que suporte trabalhar em condições que proporcionem temperaturas negativas à água;

- Produção de água gelada a temperaturas muito mais baixas, demandando maior consumo energético;
- Uso de aditivo à água para evitar o congelamento.

No caso de aplicações em aeroportos, a opção pela água apresenta significativa vantagem sobre o gelo em função da norma ICA 92-1 do Comando da Aeronáutica que versa sobre nível de proteção contra incêndio em aeródromos.

Outro fator relevante e favorável a adoção de acumulação de água gelada é o fato de que em muitas instalações há períodos durante o dia em que a carga térmica é baixa em relação a outros períodos, como por exemplo, no caso do Aeroporto de Londrina, a carga térmica observada no período das 13:00 as 17:00 e bem inferior àquelas verificadas no período das 7:00 as 12:00. Desta maneira, o chiller poderia ser utilizado nesses períodos para, concomitantemente, gerar água gelada para climatizar o terminal e também par armazenamento, uma vez é possível utilizar o mesmo setpoint para isso, minimizando o tempo de operação deste equipamento e o gasto energético, uma vez que o resfriador irá operar com temperaturas de evaporação maiores se comparado a um processo com armazenamento de calor latente.

9.3. Estratégias de Operação de Sistemas com Termoacumulação

Duas são as estratégias operacionais para sistemas de ar condicionado central que utilizam a termoacumulação. Em ambas, a opção por uma ou por outra é função das necessidades da instalação e da edificação.

Na operação dita de armazenamento total o objetivo é utilizar o frio armazenado para deslocar a carga térmica (e conseqüentemente o consumo energético) de uma edificação, de um período de pico para um período fora de pico. Neste sistema de operação, o resfriador de líquido trabalha a toda carga durante a noite, quando as cargas térmicas são menores, carregando o termoacumulador e simultaneamente suprindo as necessidades da edificação ou então simplesmente gerando água gelada para armazenamento, quando não há esta necessidade. Esta decisão é função dos requisitos da edificação. Uma vez carregado com água gelada o termoacumulador, o sistema de climatização poderá utilizar somente esta para suprir as cargas térmicas da edificação durante os horários de pico, onde as tarifas energéticas são mais caras. Na figura 56, pode-se visualizar esquematicamente o armazenamento a carga total.

No caso do armazenamento parcial, o objetivo é um nivelamento de carga e/ou a manutenção da carga dentro dos limites da demanda contratada (nivelamento de demanda). Desta maneira, o chiller poderá funcionar continuamente, resfriando água ou formando gelo nos períodos de menores cargas e

tarifas, geralmente à noite, e durante o dia refrigerando diretamente a edificação com ajuda do frio armazenado. Neste modo operacional, somente uma fração (de água ou gelo) é gerada fora do horário de pico ou maior demanda térmica e armazenada, para que no período de pico de demanda térmica, ou em momentos em que esta seja superior à capacidade do chiller, seja satisfeita simultaneamente pelos equipamentos de refrigeração e pelo que havia sido estocado previamente. A representação esquemática deste modo operacional é evidenciada na figura 57 e 58.

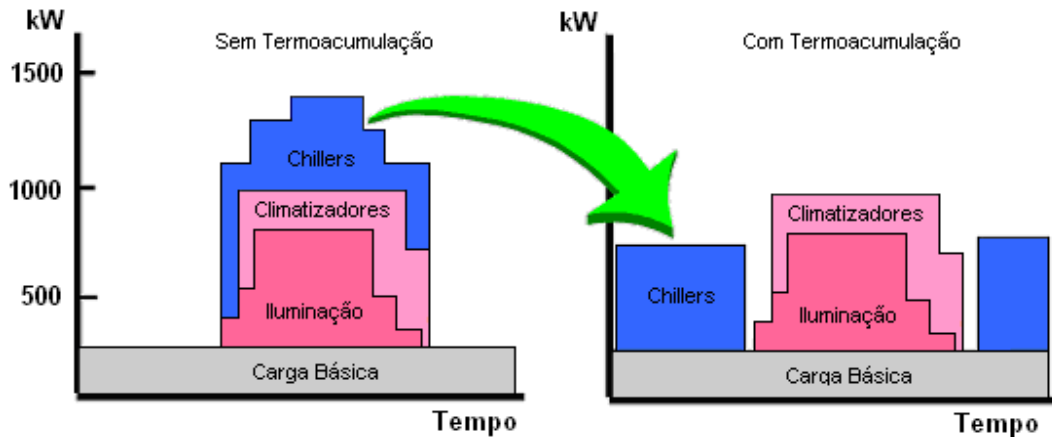


Figura 56 – Armazenamento a carga total

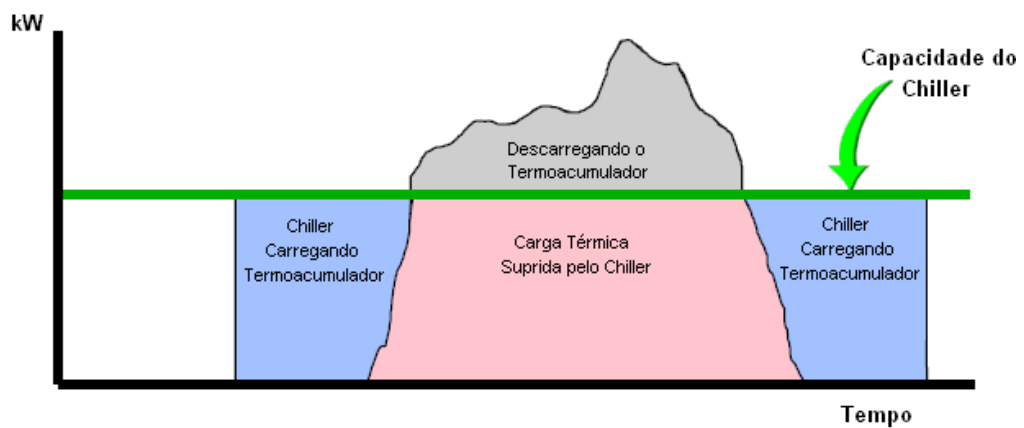


Figura 57 – Armazenamento a carga parcial

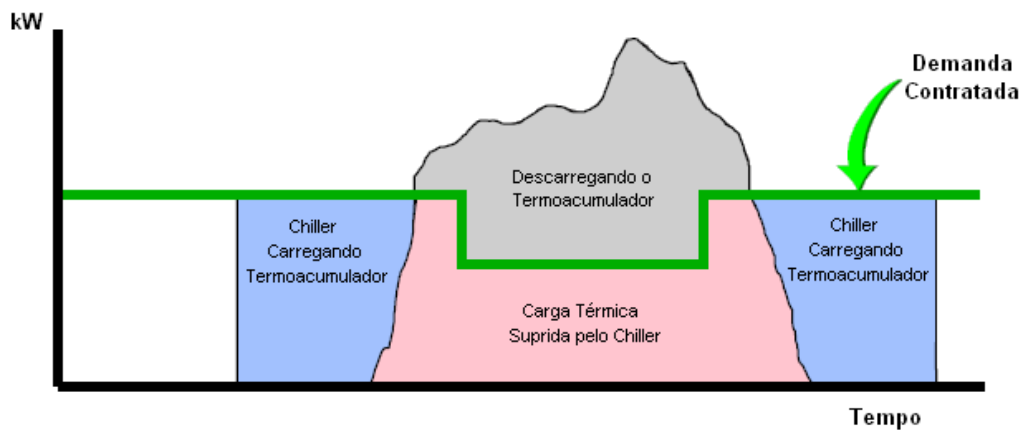


Figura 58 – Armazenamento a carga parcial – nivelamento de demanda

10. ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO

10.1. Ferramentas e Instrumentos

As ferramentas e equipamentos mais utilizados por um mecânico de ar condicionado são:

10.1.1. Ferramentas

- chave de boca fixa
- chave de estria
- chave ajustável
- chave de fenda
- chave allen
- chave cachimbo
- alicate universal
- alicate de bico
- alicate de pressão
- saca polia pequeno
- rebitador pop

10.1.2. Equipamentos

- monômetro e vacuômetro
- termômetro eletrônico
- psicrômetro
- vacuômetro eletrônico
- paquímetro

- aparelho de solda oxi Acetilênico
- bomba de alto vácuo
- carregador de líquido
- detector de vazamento
- corta tubos
- flangeador de tubos
- dobrador de tubos
- expansor de tubos
- manifold

A aplicação das ferramentas é de forma direta e não requer conhecimentos especiais. No entanto, a aplicação dos equipamentos requer maior conhecimento, demandando tratamento adequado e/ou instruções específicas.

10.2. Tarefas

Dentre as atividades desenvolvidas pelo mantenedor de um sistema de climatização, algumas requerem uma atenção especial, as quais seguem:

- a) Cortar tubos
- b) Dobrar tubos
- c) Expandir tubos
- d) Flangear tubos
- e) Soldar tubos
- f) Testar vazamento com nitrogênio
- g) Testar vazamento com detetor
- h) Evacuar e desidratar sistema
- i) Carregar o sistema de gás
- j) Manutenção de: filtro de ar, correia, ventiladores e mancais, condensadores, evaporadores, motores elétricos, circuitos elétricos, gabinetes, pressostatos, visor de líquido, etc.

10.2.1. Cortar tubos

Cortar tubos é uma tarefa relativamente fácil, mas requer do mecânico alguma prática.

Para executar bom corte deve-se obedecer a seguinte ordem:

- a. Posicione o tubo entre a lâmina e as roldanas;
- b. Não aperte demasiadamente o tubo;
- c. Guie o corta tubos no sentido da seta
- d. Gire pelo menos 1,5 volta;
- e. Gire (1/4) de volta o dispositivo no sentido da seta
- f. Continue alternando o giro até cortar o tubo.

10.2.2. Dobrar tubos

Os dobradores de tubos são de bancada ou portáteis, servindo cada um para um determinado diâmetro externo.

Para dobrar tubos deve-se obedecer a seguinte seqüência:

- a) Introduza o tubo na guia, medindo com a trena a distância entre a ponta exterior do tubo e a referência (corte) no calço fixo do dobrador
- b) Posicione o calço no dobrador;
- c) Aperte o calço através do excêntrico;
- d) Dobre o tubo movendo a alavanca do dobrador até o ângulo desejado;
- e) Retire o calço, soltando o excêntrico;
- f) Retire o tubo, movendo-o para fora.

Observação:

- Os dobradores servem para as seguintes medidas: 3/8" , 1/2" , 5/8" , 3/4" , 1.1/8" , 1.3/8" .
- Os tubos "duros" (trefilados) devem ser recosidos antes de serem dobrados.

10.2.3. Expandir Tubos

O expansor de tubos é constituído basicamente de um corpo provido de alavancas, dispositivo de expansão mecânico e um jogo de expansores para expandir tubos de vários diâmetros.

Para expandir tubos deve-se obedecer a seguinte seqüência:

- a) Instale o expansor no corpo conforme o diâmetro do tubo;
- b) Introduza a extremidade do tubo no expansor;
- c) Expanda o tubo, fechando a alavanca;
- d) Retire o tubo expandido, abrindo a alavanca.

Observação:

O expansor serve para tubos “moles” (recosidos) dos seguintes diâmetros: $\frac{1}{4}$ ” , $\frac{5}{16}$ ” , $\frac{3}{8}$ ” , $\frac{1}{2}$ ” , $\frac{5}{8}$ ” e $\frac{3}{4}$ ” .

10.2.4. Flangear Tubos

O flangeador constitui-se basicamente de 2 placas de aço com furos coincidentes (suporte) presas por parafusos montados na placa, duas porcas borboletas e um alargador (prensa).

Os furos do suporte tem diferentes medidas que permitem flangear tubos de diâmetros de $\frac{1}{4}$ ” , $\frac{5}{16}$ ” , $\frac{3}{8}$ ” , $\frac{1}{2}$ ” , $\frac{5}{8}$ ” etc.

O alargador é movido por uma rosca acionada por um eixo transversal.

Para flangear tubos deve-se obedecer a seguinte ordem:

- a. Verifique se o corte do tubo está limpo (rebarbas);
- b. Instale a porca no tubo;
- c. Instale o tubo no orifício do suporte correspondente ao seu diâmetro.
- d. A extremidade a ser flangeada deve estar voltada para o lado escareado do suporte;
- e. O tubo deve ficar com espaço tal que ao ser flangeado preencha totalmente o escareado do suporte;
- f. Prenda o tubo no suporte, roscando as porcas borboleta no sentido do da esquerda para a direita;
- g. Encaixe a prensa no suporte;
- h. Gire o eixo transversal no sentido da esquerda para a direita;

- i. O avanço do eixo deve ser lento para não “trincar” a flange;
- j. Se houver dificuldade em roscar a prensa, lubrifique-a com óleo incongelável;
- k. Retire a prensa, desroscando o eixo;
- l. Retire o tubo, desroscando as porcas borboletas.

10.2.5. Soldar tubos

Esta tarefa requer conhecimentos teóricos e práticos do mecânico a fim de que a mesma seja executada dentro das normas de qualidade e segurança.

Por definição, soldar é unir permanentemente duas ou mais peças metálicas. Dentre os processos de solda, o que possui mais aplicabilidade no âmbito da climatização é o processo oxi-acetilênico. Neste processo o metal de adição é depositado em camadas sobre a peça que está sendo soldada e quando se solidifica mantém a união das peças.

10.2.5.1. Equipamento Oxi-Acetilênico

Constitui-se basicamente de:

- a) Cilindro de oxigênio
- b) Cilindro de acetileno
- c) Reguladores de pressão
- d) Mangueiras
- e) Maçarico

10.2.5.2. Os gases

O oxigênio é um gás incolor, inodoro e insípido, não é combustível.

Pressão do oxigênio: Os cilindros de oxigênio são carregados a uma pressão de 2.200 psi a temperatura de 21°C.

No processo de soldagem o oxigênio atua como agente comburente (ativa a queima do acetileno).

O acetileno é um gás incolor de odor característico, é altamente combustível. Se dissolve em cetona na proporção de 25 volumes de gás para 1 de cetona. É um composto instável, sujeito a violentas explosões quando se decompõe.

Pressão de acetileno: não deve ser comprimido além de 15 psi.

O gás acetileno requer ainda

10.2.5.3. Regulador de pressão

Os reguladores mantêm estável a pressão na linha de soldagem (mangueiras). No processo de solda oxi-acetilênica, o soldador precisa dispor de oxigênio e acetileno em uma pressão estável e de fácil controle.

Os cilindros de oxigênio e acetileno não preenchem essas necessidades sendo necessário instalar reguladores de pressão em ambos.

O regulador possui dois manômetros: Um registra a pressão do cilindro e o outro a pressão da mangueira.

10.2.5.4. Mangueiras

São mangueiras especiais construídas para suportarem a pressão do gás oferecendo boas condições de segurança.

Mangueira para o oxigênio – normalmente na cor preta

Mangueira para o acetileno – normalmente cor vermelha

10.2.5.5. A chama Oxi-Acetilênica

De acordo com o ajuste efetuado nos reguladores do cabo do maçarico as chamas podem ser:

- Neutra: quando a mistura dos gases está em igual proporção (volumes iguais).
- Oxidante: quando o volume de oxigênio é maior que o volume de acetileno;
- Carburante: quando o volume de acetileno é maior que o volume de oxigênio.

10.2.5.6. Emprego do Maçarico

Uso correto para acender o maçarico

- a) Abra os registro dos cilindro de acetileno e oxigênio
 - 1,5 voltas são suficientes;
- b) Regule através do regulador a pressão de trabalho do oxigênio e acetileno;
 - Para o oxigênio 5 kg e acetileno 2,5 kg;
- c) Abra a válvula do acetileno (no corpo do maçarico) e acenda-o;
 - Abrir somente ½ volta;

- d) Abra a válvula de oxigênio até obter uma chama neutra;
- e) Ajuste a chama desejada (neutra, oxidante ou carburante) conforme a necessidade.
 - A regulagem final da chama depende do material a ser soldado.

Uso correto para apagar o maçarico

- a) Abra a válvula (do maçarico) de oxigênio até obter uma chama “oxidante”;
- b) Fechar a válvula (do maçarico) de acetileno;
- c) Com movimento rápido, abra e feche a válvula de oxigênio;
- d) Feche os reguladores (a esquerda) e os cilindros.

Observações:

- Se por um motivo qualquer houver retrocesso da chama, feche a válvula de oxigênio.

10.2.5.7. Maçarico Oxi-Acetilênico

O maçarico tem como função receber o oxigênio e o acetileno misturá-los numa determinada proporção e produzir a “chama” de acordo com a regulagem recebida.

Componentes de maçarico

- a) Bico do Maçarico
- b) Extensão do Maçarico
- c) Passagem do Oxigênio
- d) Passagem do Acetileno
- e) Válvula de entrada de Oxigênio
- f) Válvula de entrada do Acetileno
- g) Cabo do Maçarico
- h) Conexão
- i) Misturador

No cabo estão situadas as conexões para as mangueiras, válvulas de regulagem e os tubos de condução do oxigênio e acetileno.

Observações:

- A conexão destinada ao oxigênio tem rosca para a direita e a do acetileno para a esquerda;
- As válvulas abrem e fecham a passagem dos gases e controlam a proporção da mistura;

- Os tubos são em forma de mola para conduzir o oxigênio e em forma de S para conduzir o acetileno;
- As extensões constituem junto com o corpo o misturador e conduzem a mistura até o bico do maçarico;
- O bico adapta-se na extremidade da extensão e determina a velocidade e o volume dos gases.

Dependendo do fabricante, um mesmo cabo pode conectar-se a diversas extensões de acordo com a exigência da solda a ser executada.

10.2.5.7. Empunhamento do maçarico

O empunhamento correto do maçarico permite controlar a inclinação, ângulo e distância no processo de soldagem.

O empunhamento deve obedecer a seguinte ordem:

- a) Segure o cabo do maçarico como se fosse uma caneta;
- b) Apoie a mangueira entre o braço e o antebraço;
- c) Mova somente o braço para mover o maçarico na vertical;
- d) Mova o braço e o punho para mover o maçarico na horizontal.

10.2.5.8. Pré- aquecimento das peças

Antes de soldar deve-se pré-aquecer a peça. O pré-aquecimento tem como finalidade levar a peça próxima a temperatura de fusão do material de adição (vareta). Soldar sem pré-aquecimento provoca defeito na peça soldada.

O pré-aquecimento deve ser feito em movimentos circulares por toda área a ser soldada.

10.2.5.9. Os fluxos

Os fluxos tem grande importância na solda oxi-acetilênica. Todas as varetas de solda devem ser empregadas com o fluxo correspondente com exceção para certos tipos de soldas.

Na soldagem o fluxo tem as seguintes funções:

- a) Impedir a formação de óxidos (durante o aquecimento);
- b) Eliminar os óxidos que se forma (durante a soldagem);
- c) Diminuir a tensão superficial do material de adição (vareta);
- d) Indicar a temperatura;

- A composição dos fluxos são especialmente estudadas para agir como verdadeiros “indicadores de temperatura”, pois a temperatura de fusão do fluxo corresponde a temperatura de fusão do material de adição.

Após a soldagem os resíduos de fluxo devem ser eliminados.

10.5.2.10. Aplicação dos fluxos

Os fluxos líquidos ou em pasta “devem” ser aplicados a frio sobre a superfície a ser soldada.

Os fluxos em pó são aplicados na vareta (aquecendo a vareta e mergulando-a no pó.)

É importante ressaltar que para cada tipo de vareta deve-se utilizar um tipo de fluxo

10.5.2.11. A importância do nitrogênio na soldagem

A chama oxi-acetilênica provoca oxidação no interior dos tubos quando de sua execução. Esta oxidação é prejudicial ao equipamento, podendo provocar entupimento no filtro ou desarranjo no compressor, bem como, contaminar o circuito. A fim de evitar a oxidação no interior dos tubos, deve-se fluir nitrogênio durante a operação de soldagem.

10.5.2.12. Soldas

As soldas podem ser:

- Homogêneas: quando se unem **dois** materiais iguais.
 - Ex. cobre + cobre, latão + latão, etc
- Heterogêneas: Quando se une dois metais diferentes
 - Ex: cobre + latão, cobre + aço, etc

Na soldagem oxi-acetilênica, o metal base (peça) permanece no estado sólido e o metal de adição se funde.

Na tabela abaixo encontram-se indicados o fluxo e o material a serem soldados pelas varetas mais utilizadas.

Vareta	Fluxo	Material a soldar	Chama
Phoscopper AWS BCUP 2	Não requer	Cobre + Cobre	Neutra Carburante
Silphoscopper AWS BCUP 3	Não requer	Cobre + Cobre	Neutra Carburante
Prata 15% AWS BCUP 5	Ajaj 445	Cobre + Latão	Neutra Carburante
Prata 45% AWS BAG 1	Ajaj 445	Cobre + Latão	Neutra
Latão	Trincalox	Aço + Cobre	Neutra Oxidante

10.5.2.13. Seqüência para soldar

- a) Limpe as peças e ajuste-as (o espaço livre entre as paredes dos tubos deve ser de 0,07 a 0,1 mm)
- b) Aplique o fluxo correspondente ao tipo de solda (se necessário)
- c) Instale cilindro de nitrogênio, de forma que o nitrogênio flua pelo local de soldagem
- d) Acenda o maçarico e efetue o pré-aquecimento
- e) Localize a chama um ponto até a fusão do fluxo (se houver) ou até atingir a temperatura de fusão da vareta (nível de adição)
- f) Aplique a vareta em movimentos alternados (vai e vem)
- g) Preencha todo espaço a ser soldado.
- h) Retire o cilindro de nitrogênio e limpe a peça;
- i) Promover a limpeza do fluxo.

OBS: Depois de aquecida a peça, é conveniente afastar o maçarico, a fim de que a fusão da vareta se de pelo valor da peça e não do maçarico.

10.5.2.14. Segurança

A tarefa de soldar exige do soldador a obediência de algumas regras a fim de garantir sua integridade:

- a) Os cilindros, reguladores, mangueiras e maçaricos devem operar completamente isentos de “óleos e graxas”;
 - O oxigênio ativa a combustão dos materiais;
- b) Todos os componentes do equipamento devem estar em boas condições de operação;
- c) Use o equipamento de proteção individual sempre que soldar. (óculos e luvas);
- d) Estacione o aparelho de solda em local adequado evitando que o mesmo seja derrubado ou sofra choques;
- e) Isole o local da solda quando a mesma situar-se próxima a isolação térmica do aparelho, borrachas etc.
- f) Não solde próximo a materiais combustíveis (querosene, óleo, gasolina, etc.)
- g) Não deixe os cilindros (cheios ou vazios) expostos ao sol.

10.2.6. Testar vazamento com nitrogênio

O cilindro de nitrogênio é dotado de 1 regulador de pressão, no qual estão instalados 2 manômetros que indicam, respectivamente a pressão do cilindro e a pressão do circuito (mangueira).

As escala dos manômetros são:

- Do manômetro do cilindro: 0 a 250 kg/cm²
- Do manômetro do circuito: 0 a 30 kg/cm²

Procedimento:

- a) Conectar o rabicho do cilindro à válvula de baixa do compressor (na extensão de ¼”).
- b) Posicionar a haste das válvulas de alta e baixa do compressor no centro de seu curso (4 voltas).
- c) Retirar a vedação (se houver) nos tubos de entrada e saída do filtro secador.
- d) Abrir válvula (1. 1/2 volta) do cilindro de nitrogênio.
- e) Roscar a válvula (para a direita) do regulador até o gás fluir para o circuito.
- f) Vedar com as mãos os tubos de entrada e saída do filtro.
- g) Expurgar 4 ou 5 vezes (abrindo e fechando os tubos de entrada e saída).
- h) Roscar a válvula (para a esquerda) do regulador até interromper o fluxo de gás.
- i) Instalar filtro secador.
- j) De forma que o sentido do fluxo coincida com a indicação da seta.
- k) Roscar a válvula (para a direita) do regulador até a pressão do manômetro do circuito indicar 250 psig (17,6 kg/cm²)
- l) Roscar a válvula (para a esquerda) do regulador e do compressor.
- m) Fechar a válvula do cilindro de nitrogênio.
- n) Retirar o rabicho e o cilindro.
- o) Testar cobrindo com espuma todas as soldas, conexões e flanger do circuito.
 - Se todos os pontos não apresentarem borbulhamento, proceder:
 - Confirmar leitura de pressão após 8 horas.
 - Se “algum” ponto apresentar borbulhamento verificar possibilidade de ser:
 - Em Flange: se for, apertar e testar vazamento
 - Em solda: se for:
 - Descarregar o circuito;
 - Reprocessar.

Segurança:

- Ao carregar o circuito ou qualquer componente, verifique a escala do manômetro a fim de não ultrapassar o limite máximo (17,6 kg/cm²).
- Instale o cilindro fora da área de circulação de carrinhos e pessoal.

10.2.7. Testar vazamento com detector

O teste de vazamento com detector de vazamento eletrônico (Rilo) se faz necessário quando o vazamento é infinitamente pequeno, como por exemplo, se após o teste com nitrogênio o manômetro indicar pequena perda de pressão, o vazamento será de pequenas proporções e o teste com espuma é incapaz de localizá-lo; neste caso deve-se usar o detector.

O detector é basicamente constituído de:

- a. 1 circuito eletrônico
- b. 1 micro ventilador que succiona o ar através da mangueira;
- c. 1 elemento sensível a variações na composição do ar atmosférico;
- d. 1 miliamperímetro graduado de 0 a 1 m.a . cujo ponteiro se desloca sobre a escala em função dos elementos constituintes do “ar” que é succionado pela mangueira;
- e. 2 seletores que regulam a sensibilidade do som (a esquerda) e do miliamperímetro (a direita).

Seqüência para efetuar teste com o detector, considerando o exemplo anterior

- a. Descarregar o nitrogênio
- b. Carregar o circuito com R.22 (500 gramas);
- c. Carregar o circuito com nitrogênio (até 250 psig);
- d. Ligar o plug do detetor à tomada;
 - Verificar se a tensão da tomada corresponde a indicada na placa do detetor (110V)
- e. Selecione a sensibilidade do miliamperímetro,
- f. Ligue o detector através do seletor, girando-o sobre a escala numerada até o nº 5
- g. Aguarde de 1 a 2 minutos o ponteiro do miliamperímetro coincidir com o ponto zero;
- h. Procurar vazamentos, passando a boca da mangueira (sem encostar) sobre os locais suspeitos, soldas, conexões e flanges.
- i. Se em determinado ponto o aparelho aumentar o som e deslocar o ponteiro do miliamperímetro, naquele ponto haverá vazamento.

A fim de evitar “falso alarme” no detetor, alguns cuidados devem ser tomados:

- a. Não dobrar a mangueira;
- b. Não encostar a boca da mangueira em tubos, peças ou manchas de óleo;
- c. Não usar mangueiras mais longas que a original.

Cuidados com o aparelho:

- a. Não testar vazamentos em válvulas de cilindros abertas;
 - O detector deve testar vazamento não concentrações de refrigerante.
- b. Não fechar a boca da mangueira para testar o aparelho;
 - O elemento sensível é resfriado pela passagem do ar, na falta deste o elemento se sobreaquece.

10.2.8. Evacuar e desidratar circuito

Uma das condições mais importantes para o bom desempenho de um circuito frigorífico é a pureza do refrigerante, do óleo e limpeza das partes internas.

Entende-se por pureza do refrigerante a manutenção das suas qualidades.

No circuito de refrigeração com compressores herméticos o refrigerante entra em contato com alta temperatura (no estator) e em presença de vapor de água ocorrem reações químicas que comprometem estas qualidades além de provocarem oxidações (na região de alta pressão), efeitos galvânicos (de posição do cobre sobre as palhetas e acertos da válvula) e cristalização do vapor d'água na válvula de expansão (este último, menos comum em ar condicionado).

Outra causa de defeitos no circuito é a existência de gases incondensáveis nas temperaturas e pressões do circuito.

O nitrogênio usado no teste de vazamento é um dos gases que são incondensáveis nestas condições. Com o circuito em operação o nitrogênio permanece no condensador, provocando aumento de pressão adicional.

Diante do exposto é evidente a necessidade de efetuar-se a desgaseificação (remoção dos gases incondensáveis) e a desidratação (remoção do vapor de água) existentes no sistema.

A bomba de vácuo normalmente utilizada é a do tipo rotativo com palhetas duplas.

Esta bomba consiste de um rotor com palhetas que giram em uma carcaça de diâmetro maior. As palhetas empurram o gás que se encontra entre elas e o estator do canal de entrada para a válvula de descarga. O óleo do reservatório flui através dos canais e lubrifica e resfria as superfícies internas. A lubrificação forma um filme de óleo que promove a vedação entre o rotor e o estator. A usinagem de uma bomba de vácuo é de grande precisão, chegando a 0,0001" (0,0025 mm) de folga entre o rotor e o estator.

A bomba de vácuo quando ligada a um circuito promove a extração dos vapores e gases existentes no circuito, ou seja, efetua o "vácuo"

A fim de eliminar a água no circuito é necessário que a bomba efetue vácuo próximo ao zero absoluto.

Seqüência para evacuar e desidratar circuito

- a. Conectar as duas extensões da bomba as válvulas de alta e baixa do compressor;
- b. Verificar se as válvulas de saída da bomba estão fechadas (caso contrário fechar);
- c. Ligar a bomba;
- d. Conectar o soquete do cabo do vacuômetro no plug do sensor;
- e. Medir vácuo com vacuômetro eletrônico;
 - 5.1- O vacuômetro deve indicar medida inferior a 100
 - 5.2- Verificar se a válvula principal da bomba está aberta, caso contrário abrir antes de medir;
 - 5.3- Repetir teste com as válvulas de saída das bombas abertas;
- f. Abrir válvula de baixa do compressor e a válvula de saída correspondente da bomba;
- g. (Após 5 minutos) abrir válvula de alta do compressor e a válvula correspondente da bomba;
- h. Retirar o soquete do cabo do vacuômetro do plug do sensor;
- i. Dependendo do volume do circuito o tempo para atingir 150 varia em média de 4 a 5 horas;
- j. Medir vácuo;
 - Instalar soquete ao plug;
 - Fechar válvula principal da bomba.
- k. O vácuo acusado no início da operação tende a aumentar quando se fecha a válvula principal, todavia, após 10 a 15 minutos o vácuo não deve ser superior a 150;
- l. Retirar bomba de vácuo;
 - 12.1 – retirar o plug do cabo do soquete;
 - 12.2 – fechar as válvulas do compressor;
 - 12.3 – fechar as válvulas da bomba
 - 12.4 – desconectar as extensões da bomba.

10.2.9. Carregar refrigerante (no Carregador)

A quantidade de refrigerante depende de:

- a. Tipo do compressor (hermético ou semi-hermético);
- b. Tipo do dispositivo de expansão (válvula ou capilar);
- c. Volume e nº de componentes auxiliares.

De forma geral é “carregado” 1 kg/TR

O procedimento é executado com auxílio de um carregador, que é o equipamento utilizado para controlar a quantidade de refrigerante.

A seqüência encher o carregador é:

- a. Conectar a extensão do carregador à válvula do cilindro de R.22
- b. Abrir a válvula do cilindro;
- c. Expurgar refrigerante (desroscando a conexão);
- d. Abrir a válvula do cilindro carregador;
- e. Deixe o gás fluir até equilibrar as pressões;
- f. Expurgar gás pela válvula superior do carregador até o nível de refrigerante atingir a máxima graduação correspondente à pressão registrada no manômetro do carregador;
- g. Fechar válvula do cilindro;
- h. Aquecer flexível (atritando-o com a mão);
- i. Fechar válvula do cilindro;
- j. Desconectar a extensão do carregador da válvula do cilindro;

10.2.10. Filtro de Ar

Os filtros de ar devem ser inspecionados e limpos mensalmente, no mínimo.

Dependendo do local da instalação, o filtro deverá ser limpo semanalmente.

Os filtros permanentes e laváveis fornecidos com o condicionador de ar, podem ser limpos com solução de água fria e detergente. O filtro deve ser escovado dentro da solução, enxaguado em água fria e soprado com jato de ar comprimido.

10.2.11. Correia

A tensão, estado de conservação e alinhamento das correias, devem ser verificados mensalmente.

Para verificação do ajuste, a correia deve ser comprimida com o polegar e apresentar uma flecha de + 10 mm.

10.2.12. Ventiladores e Mancais

O rotor e a voluta do ventilador centrífugo devem ser limpos quinzenalmente. Os parafusos de fixação da voluta e os parafusos de fixação dos mancais e polias devem ser verificados e reapertados quando necessário.

Os mancais dos ventiladores são auto alinhantes e não requerem manutenção especial, devem ser trocados quando apresentarem ruído.

10.2.13. Condensador

O condensador “Shell and Tube” raramente requer manutenção. Pode-se determinar a necessidade da limpeza, observando a pressão de funcionamento, 220 psig com água entrando a 28°C e saindo a 38°C. É necessário desmontar as tampas e efetuar limpeza com escova cilíndrica quando a pressão aumentar de 10 a 20 psig nas condições normais de funcionamento. O período de manutenção do condensador será prolongado efetuando-se limpeza mensal na torre de arrefecimento.

10.2.14. Evaporador

O evaporador deve ser limpo mensalmente, com escova e jato de ar comprimido. Deve-se evitar o amassamento das aletas por ocasião da limpeza.

Dependendo das condições do local a limpeza deve ser quinzenal.

10.2.15. Motores Elétricos

Os motores elétricos admitem uma variação de + 10% na tensão, caso a variação exceda a 10%, recomenda-se instalar estabilizador de voltagem.

As fases R.S.T., devem estar equilibradas, caso contrário, a corrente e a temperatura tendem a ser maior que a normal, obrigando o rearme do rele do contator.

As providências cabíveis para o caso de desequilíbrio das fases são:

- a. Verificar a distribuição das fases no prédio;
- b. Pedir a correção das fases ao concessionário de energia elétrica;
- c. Instalar estabilizador de tensão especial.

O sentido de rotação dos ventiladores são indicados por uma seta aplicada à voluta do ventilador, caso o sentido estiver em desacordo com a indicação da seta, deve-se permutar duas das três fases na saída de força do rele do contator.

10.2.16. Circuito elétrico de princípio e carga.

O circuito elétrico de “carga” compreende os fusíveis de proteção do circuito de carga, platinados principais dos contadores, lamina bi-metálicas dos reles dos contadores e reles de sobrecarga internos e externos do compressor, os motores de indução e, eventualmente as resistências de aquecer e umidificar e seus respectivos contadores (platinados principais).

O circuito elétrico de princípio compreende os fusíveis de proteção do comando, botoeiras, interruptores, contadores, comutadores dos reles dos contadores e platinados auxiliares dos reles de sobrecarga externos do compressor, termostatos internos, pressostatos, termostato de ambiente, bobinas dos contadores, lâmpadas e eventualmente, umidistatos, termostatos de segurança, termostato de estabilização de temperatura de água, resistência de carter, bobina de válvula solenóide piloto, sensores de temperatura e bloco de controle transistorizado para os sensores.

- a. O aperto dos parafusos dos componentes do quadro elétrico;
- b. O aperto dos fusíveis de proteção dos circuitos de carga e comando;
- c. A regulagem dos reles dos contadores;
 - O rele do contator do motor do evaporador deve ser ajustado para o valor da corrente nominal multiplicado pelo fator de serviço do motor.
 - O rele do contator do compressor deve ser ajustado para 10% a menos do valor da corrente nominal do motor do compressor.

Os reles de sobrecarga externos e internos, e o termostato interno são calibrados pelo fabricante.

Os sensores de temperatura variam a soma da resistência elétrica em função da temperatura do estator possibilitando o funcionamento da bobina do bloco transistorizado.

Para efetuar teste de continuidade nos sensores de temperatura deve-se:

- a. Desligar os terminais dos sensores;
- b. Testar com Ohmímetro;
- c. O valor da soma da resistência deve situar-se abaixo de 1000.

Importante:

- Não efetuar teste com lâmpada série ou indutor de manivela (Megôhmetro) sob pena de danificar os sensores.
- O termostato de ambiente deve ser lubrificado (partes móveis) com óleo fino pulverizado.
- O umidostato deve ser limpo com escova de cerdas macias embebida em água destilada.

10.2.17. Gabinete

Os gabinetes devem ser limpos mensalmente, as bandejas podem ser limpas com solução de água e detergente, as partes estruturais e os componentes devem ser limpos com jatos de ar.

Após a limpeza recomenda-se desentupir o dreno de água e pulverizar querosene ou óleo fino nas bandejas do condicionador.

A isolação térmica e as guarnições de borracha dos painéis devem ser trocadas quando apresentarem defeitos.

A pintura interna e externa deve ser retocada a fim de evitar a oxidação das partes metálicas.

10.2.18. Pressões de Serviço

A tomada de pressões se faz a fim de determinar as condições de trabalho do condicionador. É necessário efetuá-la de 3 em 3 meses, devendo situar-se em:

- Pressão de alta: de 200 a 220 psig com água entrando a 28°C e saindo a 38°C;
- Pressão de baixa: de 62 a 72 psig com ar de retorno entrando no evaporador a 27°C e umidade relativa de 50%;
- Pressão do óleo (para compressores semi-herméticos): de 10 a 20 psig maior que a pressão de baixa.

É condição mínima para que as pressões situem-se nas faixas determinadas que:

- A diferença de temperatura de entrada e saída de água no condensador seja no mínimo de 10° C e no máximo de 11° C;
- A vazão de ar no evaporador seja de 400 cfm por tonelada de refrigeração.

A seqüência para instalação dos manômetros é a seguinte:

- a. Retirar painel frontal inferior do condicionador;
- b. Retirar capuz das válvulas de alta e baixa do compressor;
- c. Verificar, com a chave catraca, se as válvulas estão fechadas para a saída das porcas cegas;
- d. Retirar as porcas cegas, (inclusive a porca cega da válvula “Schrader” da descarga da bomba de óleo, caso o compressor seja semi-hermético);
- e. Instalar rabichos (mangueiras ou tubos de cobre) dos manômetros ou manifold;
- f. Abrir as válvulas do compressor, até os manômetros acusarem pressão;
- g. Ligar condicionador;
- h. Efetuar leitura.

Observação: O nível de óleo dos compressores semi-herméticos devem ser verificados com o condicionador operando em regime normal e deve estar + no centro do visor de óleo do carter do compressor.

10.2.19. Pressostatos

Os pressostatos devem ter suas pressões de ligar e desligar verificados de 3 em 3 meses.

1º - Para os condicionadores de ar da série ÁGUA dotados de válvula solenóide piloto, a seqüência para verificação é a seguinte:

- Pressostato de Baixa com Rearme Automático
 - a. Jumper ligação de termostato de ambiente, com interruptor, no quadroelétrico;
 - b. Ligar o condicionador;
 - c. Abrir o contato no interruptor;
 - d. Efetuar leitura de pressão de desligar do pressostato de baixa (normal 45 + 2 psig);
 - e. Fechar contato no interruptor;
 - f. Efetuar leitura da pressão de ligar do pressostato de baixa (normal 60 + 5 psig).

Importante: O pressostato de baixa de rearme automático é calibrado para fins de garantia, a violação do mesmo implica em suspensão da garantia.

2º - Para os condicionadores de ar da série ÁGUA não dotados de válvula solenóide piloto, a seqüência para verificação é a seguinte:

- Pressostato de baixa com retenção
 - a. Retirar capuz da válvula do registro instalado na saída de líquido do condensador;
 - b. Fechar registro do condensador;
 - c. Ligar condicionador;
 - d. Efetuar leitura de desligar do pressostato de baixa (normal 45 + 2 psig),
 - e. Verificando se o pressostato apresenta retenção simultaneamente ao
 - f. Desligamento da parte elétrica;
 - g. Abrir registro do condensador;
 - h. Armar manualmente o pressostato através da haste de rearme (reset)

Importante: O pressostato de baixa de rearme com retenção é calibrado pelo fabricante e lacrado para fins de garantia, a violação do mesmo implica em perda da garantia.

3º - Para todos os condicionadores de ar da série ÁGUA.

- Pressostato de alta com retenção
 - a. Fechar registro de entrada de água do condensador;
 - b. Efetuar leitura da pressão de desligar do pressostato de alta com retenção (normal 250 + 5 psig). Verificando se o pressostato apresenta retenção simultaneamente ao desligamento da parte elétrica.

Importante: O pressostato de alta com retenção é calibrado pelo fabricante e lacrado para fim de garantia, a violação do mesmo implica em perda da garantia.

Nota: Todo pressostato que apresentar valor diferente dos acima indicados, devem ser substituídos por pressostatos novos aferidos e lacrados.

10.2.20. Visor de líquido e indicador de umidade.

- Manutenção preventiva

O visor de líquido deve ser inspecionado mensalmente.
Com o condicionador operando normalmente o visor indica:

 - a. Borbulhamento
 - Falta de refrigerante
 - Filtro secador semi-obstruído
 - Válvula de expansão muito aberta
 - Sub-resfriamento nulo
 - b. Coloração amarela (Sporlan)
 - Umidade residual no circuito refrigerante
 - c. Ausência de borbulhamento e coloração verde
 - Carga de refrigerante completa, circuito frigorífico desidratado.

Nota: Quando for usado visor cuja convenção de cores no indicador de umidade diferir da acima descrita, consultar a convenção de cores gravada nas bordas do visor em questão.

10.2.21. Recolhimento de refrigerante

Deve-se recolher o refrigerante quando existe a necessidade de bloquear parte do circuito frigorífico ou ainda trocar ou reparar determinados componentes.

A seqüência par recolher o refrigerante é a seguinte:

- a. Instalar manômetro de baixa;
- b. Jumper a ligação elétrica do pressostato de baixa ou jumper a ligação do termostato de ambiente quando o circuito for dotado de válvula solenóide piloto;
- c. Fechar registro na saída de líquido do condensador “Shell and Tube” ou abrir o circuito elétrico no interruptor;
- d. Ligar o condicionador;
- e. Observar a queda de pressão no manômetro de baixa até a marca de 2 psig;
- f. Desligar condicionador pelo interruptor refrigerar.

Procedendo da forma acima descrita, o refrigerante ficará recolhido entre o registro de saída de líquido do condensador ou a válvula de expansão termostática e a válvula de descarga da placa de válvulas do compressor. O restante do circuito ficará com pressão de 2 psig., podendo ser temporariamente aberto sem dano para o interior do circuito.

10.2.22. Carga de refrigerante

Deve-se carregar refrigerante no condicionador quando ocorrer perdas causadas por vazamentos ou a reparos que impliquem na perda (parcial ou total) do refrigerante.

A carga de refrigerante deve ser precedida de vácuo em todo circuito, quando o circuito apresentar as seguintes condições:

- a. Umidade no circuito;
- b. Circuito exposto a atmosfera.

O vácuo poderá ser em apenas uma parte (baixa) do circuito quando o reparo for executado com o refrigerante recolhido.

Nos outros casos deve-se evacuar todo o circuito.

Observações:

1º - Toda vez que o circuito for aberto, deve-se trocar o filtro secador.

2º - Usar “bomba de alto vácuo” para efetuar vácuo no circuito. O próprio compressor ou outro tipo de bomba não efetuam vácuo além de 25 IN Hg, insuficiente para eliminar todo resíduo de ar atmosférico e umidade existente no circuito.

3º - Efetuar vácuo através das válvulas de alta e baixa do compressor, com a finalidade de diminuir o tempo de funcionamento da bomba de vácuo e garantir a saída dos gases incondensáveis e umidade do ar.

4º - Fluir nitrogênio nos tubos e componentes nos quais seja necessário efetuar soldagem, no intuito de evitar oxidação no interior dos tubos ou componentes. Não fluir oxigênio pela tubulação na execução de solda. O oxigênio causaria explosão com sérias conseqüências.

5º - A carga de refrigerante deve ser tal que: o super aquecimento seja de 3 a 7°C e o sub-resfriamento de 4 a 8°C, nas seguintes condições:

- Temperatura do retorno: 26° C
- Diferença de temperatura da água de condensação: 10 a 11°C.

Como o super aquecimento e o sub-resfriamento são influenciados pela afinação da válvula de expansão e pela quantidade de refrigerante existente no circuito, deve-se carregar refrigerante de acordo com o peso indicado pela placa do aparelho (afixada internamente ao quadro elétrico de cada condicionador).

Tratando-se de carga total, deve-se carregar conforme a indicação da placa.

6º - A carga de refrigerante (quando total) deve ser executada com o compressor parado, usando o carregador de refrigerante graduado, a fim de controlar rigorosamente a quantidade de refrigerante injetada no circuito.

Seqüência para carga de refrigerante (total)

- a. Verificar na placa afixada no condicionador a quantidade exata para aquele modelo;
- b. Instalar manômetros ou manifold;
- c. Instalar rabicho (mangueira) do carregador a conexão do manovacuômetro (ou Manifold).
- d. Abrir válvula de saída de refrigerante do carregador;
- e. Expurgar refrigerante na conexão da válvula do compressor com a porca do rabicho do Manovacuômetro (ou Manifold)
- f. Verificar pressão no manômetro do carregador e ajustar a escala graduada (correspondente a pressão indicada pelo manômetro) ao visor de líquido do carregador;
- g. Abrir válvula de baixa do compressor;

- h. Controlar (pelo registro de saída de líquido) a entrada do refrigerante no circuito;
- i. Fechar registro quando o visor apresentar o nível próximo a graduação desejada;
- j. Ajustar a escala graduada (correspondente a pressão indicada pelo manômetro) ao visor de líquido do carregador.

Atenção: O item “j” é necessário devido a variação de pressão na operação de carga.

- k. Completar carga de gás;
- l. Fechar válvula de baixa do compressor e o registro do carregador;
- m. Desconectar rabicho do carregador da conexão do Manovacuômetro (ou Manifold).
- n. Ligar o condicionador e observar seu desempenho, verificando se as pressões (de alta e baixa) mantém-se nas faixas indicadas (ver item 4.9 e 4.13.a);
- o. Retirar manômetros ou manifold.

Outro meio de carregamento seria a pesagem do cilindro de refrigerante antes e após a carga.

A afinação da válvula de expansão termostática é executada na fábrica em cabines de testes que possibilitam o controle de todas as condições de funcionamento.

Uma vez executada a carga de refrigerante a válvula de expansão deverá estar na melhor faixa de trabalho, tornando-se dispensável a sua regulagem no campo.

Entretanto, como a carga de refrigerante em alguns casos, poderá ser parcial, seguem as instruções que auxiliem o pessoal técnico a executá-la sem expor o compressor ao risco de:

- a. Quebra das válvulas e migração de óleo por retorno de líquido (super aquecimento baixo);
- b. Queima do motor do compressor por mal resfriamento do estator (super aquecimento alto).
- c.

Seqüência para carga de refrigerante (parcial)

- a. Instalar manômetros ou manifold;
- b. Instalar termopares no;
 - Retorno de ar do evaporador;
 - Entrada e saída de água do condensador;
 - Linha de líquido, 10 cm antes do filtro secador;
 - Tubo de sucção, 10 cm antes da válvula do compressor;
- c. Instalar carregador (ou cilindro) à conexão do manovacuômetro ou ao manifold e expurgar o ar atmosférico;
- d. Ligar condicionador;

- e. Verificar através dos termopares e manômetros a condição de funcionamento
- f. Regular a diferença de temperatura de entrada e saída de água do condensador;
- g. Calcular o sub-resfriamento;
 - Tomando a temperatura de ebulição do R.22 à pressão indicada pelo manômetro de alta;
 - Tomando a temperatura da linha de líquido indicada pelo termopar;
 - Subtrair a temperatura da linha de líquido da temperatura de ebulição à pressão de alta;
 - O resultado do cálculo deve indicar de 4 a 8°C, caso seja menos que 4°C, deve-se carregar refrigerante;
- h. Abrir válvula de baixa do compressor e o registro do carregador;
 - Observando o diferencial de temperatura da água de condensação (10 a 11°C), a pressão de alta e a temperatura da linha de líquido;
 - Fechar registro do carregador ou cilindro quando o diferencial de temperatura entre a temperatura da linha de líquido e a temperatura de ebulição do R.22 estiver na faixa indicada (4 a 8°C)
- i. Calcular o super aquecimento
 - Tomando a temperatura de sucção indicada pelo termopar e a temperatura de ebulição do R.22 à pressão de baixa;
 - Subtrair a temperatura de ebulição da temperatura da sucção;
 - O resultado do cálculo deve indicar de 3 a 7°C.
- j. Para diferentes temperaturas de retorno as faixas de pressão admissíveis serão diferentes.

Temperatura (°C)	Pressão (Psig)
25	63 a 73
24	62 a 72
23	61 a 71
22	60 a 70
21	59 a 69
20	58 a 68

- k. Caso o cálculo do superaquecimento indicar diferencial de temperatura maior que 7°C ou menor que 3°C, deve-se
 - Maior que 7°C (superaquecimento alto): abrir a válvula de expansão
 - Menor que 3°C (superaquecimento baixo): fechar a válvula de expansão

A regulagem da válvula da expansão só deverá ser executada por técnicos especializados e munidos de todo equipamento necessário a execução desta tarefa, sob pena de dano ao compressor.

10.2.23. Compressor defeituoso

O compressor pode apresentar basicamente dois defeitos:

- a. Compressor inoperante;
- b. Motor elétrico queimado.

Em ambos o compressor deve ser trocado por novo ou recuperado (não recomendado).

Dependendo da classe do defeito (elétrico ou mecânico) deve-se proceder o reparo eliminando a origem, da seguinte forma:

Compressores inoperante

Podem ser trocados sem cuidados especiais quanto à limpeza do circuito, obedecendo a seguinte seqüência:

- a. Fechar as válvulas de alta e baixa do compressor;
- b. Abrir porcas das conexões das válvulas ao compressor e rabichos dos pressostatos;
- c. Desligar o circuito elétrico do compressor;
- d. Retirar o compressor;
- e. Instalar compressor novo ou recuperado;
- f. Instalar circuito elétrico e os rabichos dos pressostatos;
- g. Evacuar o compressor até 150u;
- h. Abrir válvulas do compressor.

Motor queimado

A queima do motor implica em formação de ácidos e deposição de óxidos e borra em partes do circuito, daí a necessidade de efetuar a limpeza na tubulação de todo o circuito.

Nesse caso a limpeza pode ser procedida da seguinte forma:

- a. Descarregar todo refrigerante
 - i. É conveniente fluir o refrigerante, através de mangueira ou tubo, para fora do ambiente.

- b. Retirar o compressor;
- c. Retirar o filtro secador;
- d. Injetar R.141 B, através da válvula de alta do compressor (é necessário usar dispositivo de conexão roscado à válvula até a limpeza completa);
- e. Fluir nitrogênio e aplicar calor no condensador e tubos, a fim de eliminar o R.141B;
- f. Retirar válvula solenóide piloto (se houver) vedando os tubos de ligação com a linha de líquido, sucção e equalização;
 - Quando não houver válvula piloto, desconectar o tubo equalizador da válvula de expansão e vedá-lo;
- g. Fluir nitrogênio através da válvula de baixa do compressor (é necessário usar dispositivo de conexão roscado à válvula);
- h. Instalar compressor, válvula solenóide piloto e filtro secador;
- i. Efetuar vácuo;
- j. Carregar refrigerante

10.2.24. Teste de fuga de refrigerante

Preventivamente o teste de vazamento com aplicação de espuma de sabão deverá ser executado após a leitura de pressões

O teste de vazamento com detector eletrônico deverá ser executado sempre que o visor de líquido apresentar borbulhamento ou após o aparelho sofrer reparos no circuito frigorífico.

11. BIBLIOGRAFIA

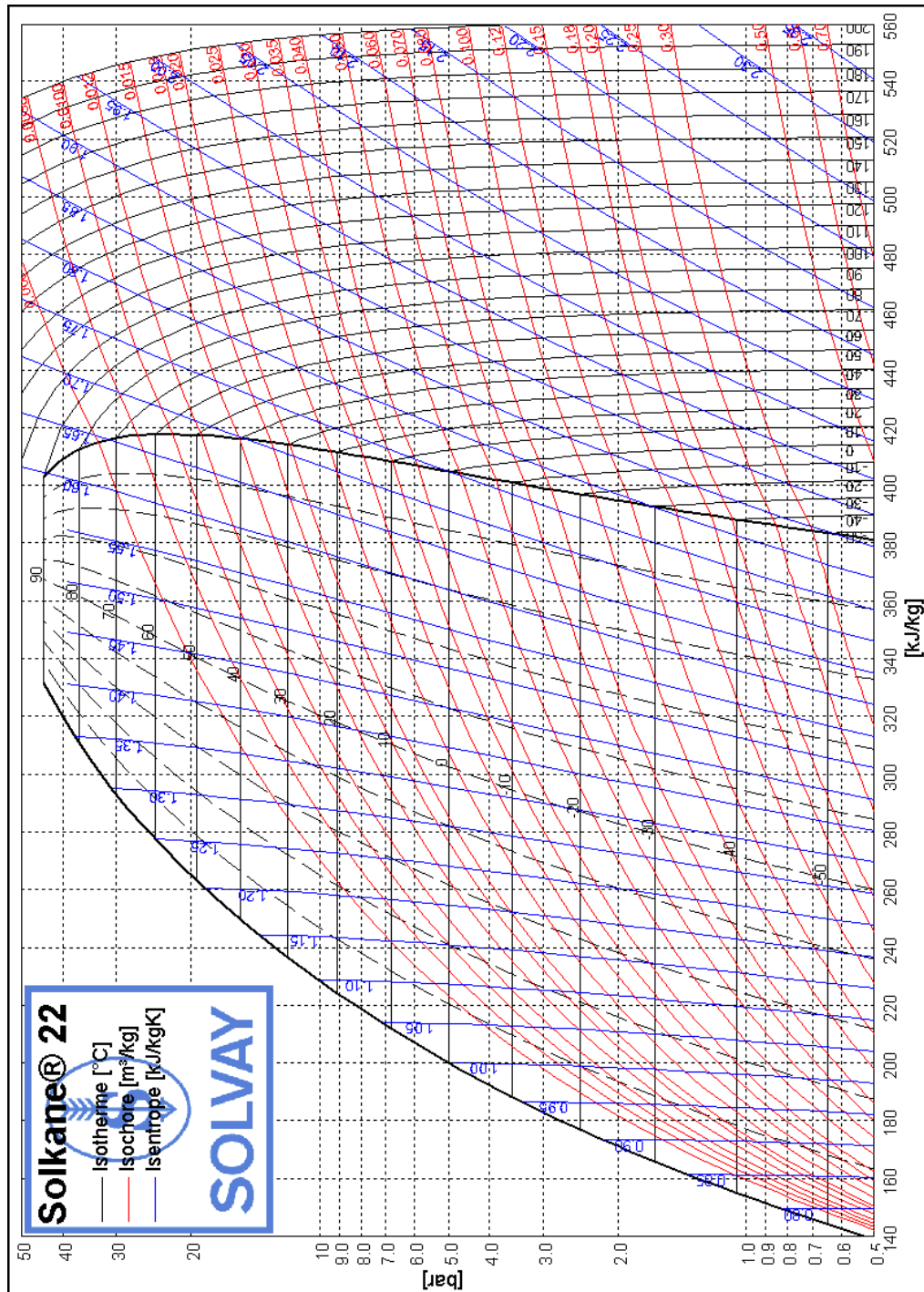
- BARROS, Roberto; Apostila de Ar Condicionado, Confins, MG, Setembro de 2008;
- DOSSAT, Roy J., Princípios de Refrigeração: Teoria, Prática, Exemplos, Problemas e Soluções, Ed. Hemus 2004;
- MENDES, Luis Magno de oliveira; Refrigeração e Ar Condicionado – Teoria, Prática e Defeitos, Ed. Ediouro, SP, 1994;
- CREDER, Hélio; Instalações de Ar Condicionado; 3ª. Edição, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., RJ, 1988;
- ELONKA, S. M. e MINICH, Q. W.; Manual de Refrigeração e Ar Condicionado; Editora McGraw-Hill, SP, 1978;
- STOECKER, W. F. e JONES, J. W.; “Refrigeração e Ar Condicionado; Editora McGraw-Hill, SP, 1985
- MATOS, Rudmar S.; Apostila de Refrigeração, UFPR, Curitiba, PR
- MATOS, Rudmar S.: Apostila de Climatização, UFPR, Curitiba, PR
- ____; Apostila de Mecânico de Ar Condicionado, Escola Técnica Profissional, Curitiba PR;
- ____; Apostila de Mecânico de Refrigeração e Ar Condicionado, Escola Técnica Profissional, Curitiba PR;

Páginas na Internet

- <http://www.refrigeracao.net>;
- <http://www2.unijui.tche.br/~martinelli>
- <ftp://ftp.sj.cefetsc.edu.br/rac/refribasica>
- <http://www.tecunseh.com.br>
- <http://www.embraco.com.br>
- <http://www.cabano.com.br>
- http://www.arcondicionado.ind.br/historia_ar_condicionado.asp
- <http://www.ashrae.com>
- <http://ari.org>
- <http://www.amca.org>
- <http://www.athisa.esp>
- <http://www.abrava.com.br>

12. ANEXOS

12.1. Diagrama de Mollier para Fluido Refrigerante R-22



Fábio Rosa Martelozo
AS III - Eng. Mecânico

Aeroporto Governador José Richa – Londrina / PR
Encarregadoria de Atividades de Manutenção

Contatos:

Telefones: 43-3315-9119 / 43-3315-9115 / 43-3027-2000

Fax: 43-3315-9116

e-mail: fabio_martelozo.cnpa@infraero.gov.br

Endereço:

Rua Tenente João Maurício de Medeiros, 300

Bairro Aeroporto

CEP 86039-090 – Londrina / PR