

## 9 DISPOSITIVOS MEDIDORES

A função de qualquer dispositivo medidor é modular até certo ponto o fluxo de refrigerante da linha líquida para o evaporador mantendo um equilíbrio entre o efeito de refrigeração e a carga térmica do espaço condicionado e também manter a diferença de pressão entre os lados alta e baixa do sistema de refrigeração. Isto é realizado restringindo o volume de refrigerante que entra no evaporador a uma taxa abaixo da taxa de fluxo de volume (capacidade) do compressor. Sem este diferencial de pressão, o refrigerante não poderia vaporizar a temperatura desejada no evaporador. Os tipos básicos de dispositivos medidores são: o tubo capilar, a válvula de expansão manual, a válvula de expansão automática, a válvula de expansão termostática, a bóia de baixa pressão, a bóia de alta pressão, a válvula de expansão elétrica e a válvula de expansão eletrônica.

### 9.1 TUBO CAPILAR

O tubo capilar é um tubo de 1 a 6m de comprimento e diâmetro interno variando de 0,5 a 2mm (fig. 91a). O nome não é apropriado, uma vez que os diâmetros são muito grandes para produzir uma ação capilar. O refrigerante líquido que entra no tubo capilar perde pressão à medida que escoar por ele, em virtude do atrito e da aceleração do fluido, resultando na evaporação de parte do refrigerante.

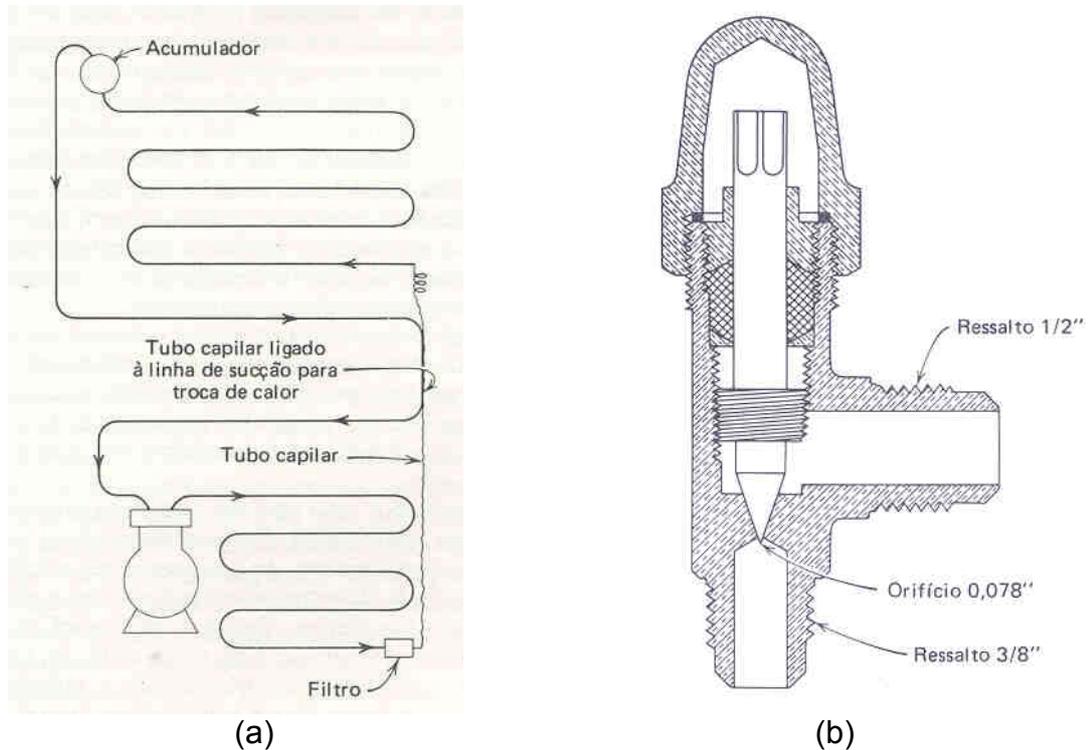
Diversas combinações de diâmetro interno e comprimento de tubo podem ser feitos para obter o efeito desejado. Entretanto, para uma dada combinação, não é possível acomodar vazão para variações da carga ou das pressões de descarga e aspiração. O compressor e o dispositivo de expansão atingem uma condição de equilíbrio na qual as pressões de aspiração e de descarga são tais que o compressor bombeia exatamente a quantidade de refrigerante com que o dispositivo de expansão alimenta o evaporador. A condição de desequilíbrio entre esses componentes é temporária.

O projetista de uma unidade frigorífica nova dotada de tubo capilar deve escolher o diâmetro e o comprimento do tubo de modo que o ponto de equilíbrio corresponda à temperatura de evaporação desejada. O comprimento definitivo do tubo capilar é, não raro, obtido por tentativas. Assim, um tubo mais comprido que o de projeto é instalado no sistema, resultando uma temperatura de evaporação mais baixa que a desejada. A seguir o tubo é cortado sucessivamente até a obtenção da condição de equilíbrio desejada.

Os tubos capilares são usados em sistemas frigoríficos pequenos, com capacidades da ordem de 10 kW, como por exemplo, condicionadores de ar de janela.

A instalação deve ser perfeitamente limpa e isenta de umidade para impedir a obstrução do capilar.

FIGURA 91 - a) TUBO CAPILAR, b) VÁLVULA DE EXPANSÃO MANUAL



## 9.2 VÁLVULA DE EXPANSÃO MANUAL

Trata-se de uma válvula de comando manual (fig. 91b), através da qual o líquido refrigerante alimenta o evaporador. Para aumentar o fluxo do refrigerante para o evaporador, a válvula é aberta, enquanto que para diminuir, a válvula é fechada manualmente. A principal desvantagem da válvula de expansão manual é que ela é inflexível às mudanças na carga do sistema e, portanto deve ser ajustada manualmente cada vez que muda a carga do sistema, a fim de evitar falta de lubrificação ou sobre-alimentação do evaporador, dependendo da direção de mudança de carga. Também, a válvula deve ser aberta e fechada manualmente cada vez que o compressor é ligado ou desligado. Obviamente, a válvula de expansão manual é apropriada somente para uso em sistemas grandes onde trabalha um operador e onde a carga do sistema é relativamente constante.

## 9.3 VÁLVULA BÓIA DE ALTA PRESSÃO

É colocada no lado de alta pressão do sistema e imersa no líquido a alta pressão, o qual é o seu principal controle (fig. 92a). Este tipo de dispositivo medidor implica numa carga crítica de refrigerante no sistema. Tão rapidamente quanto o gás quente é condensado, ele flui para o dispositivo medidor. Assim que o nível do líquido na câmara do flutuador sobe, o flutuador abre e permite que o líquido refrigerante passe para o evaporador. Este controle permite que o líquido passe para o evaporador em quantidade igual aquela que é condensada, deste

modo, não se poderá fazer provisões no sistema para um armazenamento automático do líquido refrigerante, além daquele do evaporador. Então uma sobrecarga de refrigerante resultaria numa inundação do compressor. Uma carga insuficiente de refrigerante resultaria numa subalimentação do evaporador. Frequentemente são usados acumuladores na sucção, a fim de tornar a carga de refrigerante menos crítica, particularmente em sistemas de amônia.

#### 9.4 VÁLVULA BÓIA DE BAIXA PRESSÃO

O nome é devido ao fato da bóia do flutuador estar colocada no lado de baixa pressão do sistema. O seu principal controle é o nível do líquido dentro da câmara do flutuador (fig. 92b).

Este tipo de controle é sempre usado com um evaporador tipo inundado. A bóia do flutuador pode ser colocada diretamente no evaporador ou numa câmara apropriada adjacente a ele.

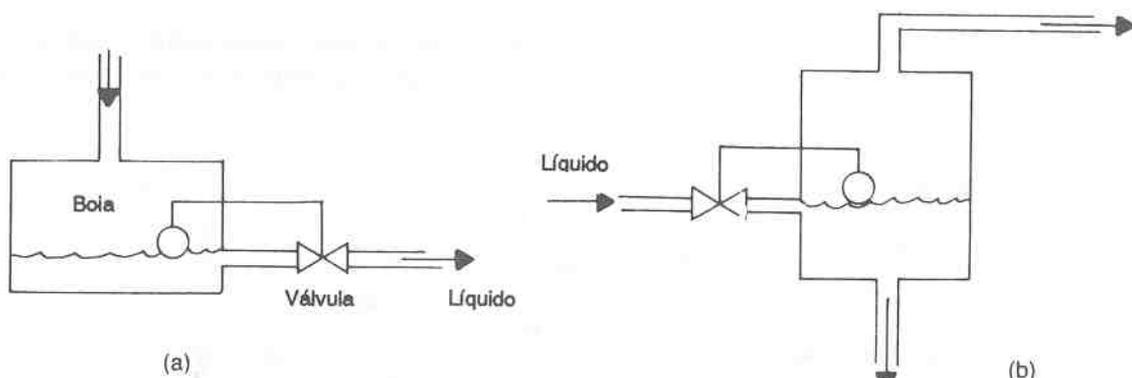
Se a câmara de flutuação é utilizada, tanto a parte superior como a inferior dela devem estar ligadas ao evaporador, a fim de que o nível do líquido em ambos permaneça o mesmo em qualquer circunstância.

Ao aumentar a demanda no evaporador, maior quantidade de líquido é evaporado e o seu nível dentro do evaporador e a câmara do flutuador, baixa. Quando isto acontece o flutuador baixa igualmente, abre o orifício, e é admitido mais líquido vindo do lado de alta pressão.

Ao diminuir a demanda no evaporador, menor quantidade de líquido é evaporado e o flutuador subirá até que o orifício seja fechado. O tipo mais simples de mecanismo de flutuação é mostrado aqui. A construção destas válvulas pode tomar as mais variadas formas.

A válvula bóia de baixa pressão é considerada um dos melhores dispositivos medidores que existem para "Sistemas Inundados". Ela consegue um excelente controle e a sua simplicidade a faz quase livre de avarias. Ela pode ser aplicada em qualquer dos sistemas inundados, quer eles sejam pequenos ou grandes, e ainda usados com qualquer refrigerante.

FIGURA 92 - a) VÁLVULA BÓIA DE ALTA PRESSÃO, b) VÁLVULA BÓIA DE BAIXA PRESSÃO



#### 9.5 VÁLVULA DE EXPANSÃO AUTOMÁTICA

São empregadas exclusivamente em instalações com apenas um evaporador, principalmente para capacidades reduzidas e com pequenas variações de carga térmica.

Aplicável para todos os refrigerantes, com exceção da amônia, permite a regulação de temperatura de evaporação numa faixa bastante ampla.

As válvulas de expansão automáticas operam segundo o princípio da válvula redutora de pressão, (fig. 93).

Durante o funcionamento da máquina, conservam a pressão no evaporador sempre no valor ajustado, independente das condições de temperatura, obstruindo a passagem do refrigerante ao evaporador quando a máquina para, devido ao aumento de pressão que se produz. O diafragma, pelo seu lado inferior, está sujeito à força de uma mola de fechamento, cujo ajuste é fixo, mais a pressão do evaporador.

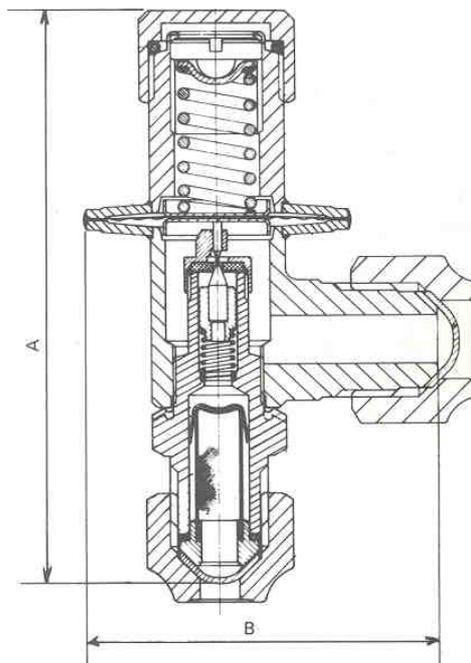
No seu lado superior atuam a pressão atmosférica e a força de uma mola, cuja tensão prévia pode ser alterada através do parafuso de regulação situado na cabeça (parte superior) da válvula.

Quanto maior for a tensão da mola de regulação, tanto maior será a pressão de evaporação, e vice-versa.

Assim a cada posição da mola de regulação, corresponderá uma pressão de evaporação determinada, que permanecerá automaticamente constante, a despeito das mudanças de temperatura que ocorram na câmara ou balcão frigorífico.

O corpo, niple e conjunto de regulação são em latão; o diafragma e mola de fechamento em aço inoxidável; a agulha em monel e o orifício em nylon especial. O filtro de tela de bronze é removível para facilitar a limpeza.

FIGURA 93 - VÁLVULA DE EXPANSÃO AUTOMÁTICA



## 9.6 VÁLVULA DE EXPANSÃO TERMOSTÁTICA

A válvula de expansão termostática é o dispositivo medidor mais extensamente usado em aplicações residenciais e comerciais, por causa de sua alta eficiência e sua pronta adaptação a qualquer tipo de aplicação.

Por suas características de auto-regulagem e desempenho, são destinadas a instalações de refrigeração e ar condicionado com um ou mais evaporadores.

Caracterizam-se por manterem o superaquecimento constante, independentemente das condições do sistema, isto é, promovem a alimentação adequada de líquido, quaisquer que sejam as condições de carga térmica, evitando o retorno de líquido ao compressor. As válvulas de expansão termostática podem ser de equalização interna ou de equalização externa dependendo da perda de carga no evaporador para a escolha do tipo de equalização.

### 9.6.1 VÁLVULA DE EXPANSÃO TERMOSTÁTICA DE EQUALIZAÇÃO INTERNA

O funcionamento da válvula de expansão termostática de equalização interna como ilustra a (fig. 94), depende tanto da pressão do evaporador como da pressão de comando do bulbo termostático.

O bulbo termostático (6) se instala na saída do evaporador, em contato térmico com a tubulação de sucção, captando continuamente a temperatura do gás refrigerante que sai do evaporador.

Sobre o diafragma (1) atua pelo lado de cima a pressão,  $P_b$  que depende da temperatura do bulbo, sendo, portanto, variável. Pelo lado de baixo, em sentido contrário, atuam a pressão do evaporador,  $P_{ev}$  e a pressão da mola,  $P_m$ , que é transmitida pelo pino de transmissão (2).

O movimento do diafragma (1), para baixo, afasta a agulha (3) do orifício (7) através do pino de transmissão (2), abrindo-se uma certa área do orifício, permitindo a passagem do líquido refrigerante.

O movimento contrário, ou seja, para cima, devido à pressão da mola (4), estrangula a passagem de líquido, podendo chegar até ao fechamento total.

Da figura se deduz claramente que, ao subir a temperatura do bulbo e conseqüentemente a pressão,  $P_b$ , ou também baixar a pressão do evaporador,  $P_{ev}$ , a agulha (3) abre, dando maior vazão de líquido refrigerante ao evaporador. Porém, com uma queda de pressão do bulbo,  $P_b$  e um aumento da pressão do evaporador,  $P_{ev}$ , há um fechamento da agulha, estrangulando a passagem de líquido refrigerante ao evaporador.

Após um determinado período de refrigeração em que a máquina para, a pressão de evaporação,  $P_{ev}$ , fechando totalmente a válvula de expansão. Entre a câmara debaixo do diafragma (1) e a saída da válvula de expansão (entrada do evaporador) existe uma via de comunicação, de forma que a pressão de entrada do evaporador,  $P_{ev}$  se transmite ao diafragma (1).

Esta via inferior da válvula é chamada de equalização interna.

Portanto, na válvula de expansão termostática com equalizador interno, a pressão de evaporação,  $P_{ev}$  é igual à pressão de entrada do evaporador, ou seja, não é considerada a perda de carga ou resistência do evaporador.

A válvula de expansão termostática com equalização interna é empregada em instalações com um ou mais evaporadores de injeção simples, com pequenas perdas de carga (menos que 20 kPa).

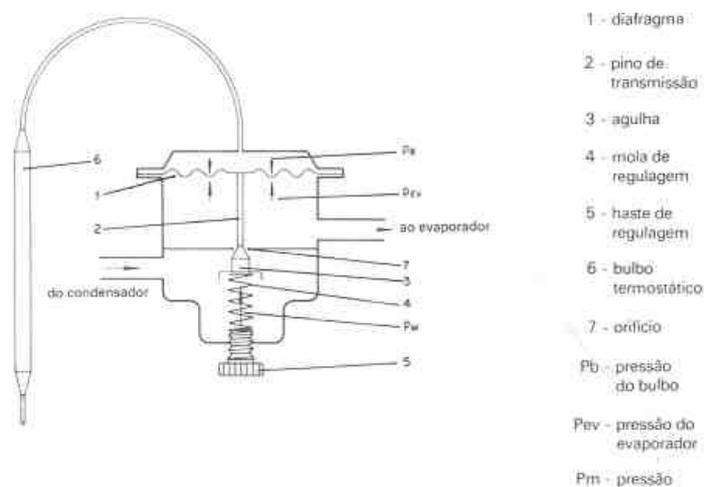
Quanto mais elevado for o rendimento do evaporador e maior sua tubulação, tanto maior será sua resistência à circulação de líquido refrigerante (maior perda de carga).

Aumentando-se a perda de carga, maior será a diferença de pressão entre a entrada e a saída do evaporador. Essa pressão mais elevada na entrada do evaporador produzirá, nas válvulas com equalização interna, uma força maior embaixo do diafragma (1). Para a válvula permanecer aberta, é necessário que a pressão do bulbo,  $P_{ev}$  aumente.

Isto será conseguido com o aumento do superaquecimento sentido na saída do evaporador, pelo bulbo. Para se conseguir esse aumento é necessário que uma parte da área útil do evaporador seja inutilizada.

A perda dessa área, que é necessária para evaporação de líquido refrigerante, implicará nas seguintes conseqüências: evaporador parcialmente coberto de gelo, más condições de troca de calor, redução do rendimento de toda a instalação e um mau funcionamento da válvula de expansão.

FIGURA 94 - VÁLVULA DE EXPANSÃO TERMOSTÁTICA DE EQUALIZAÇÃO INTERNA



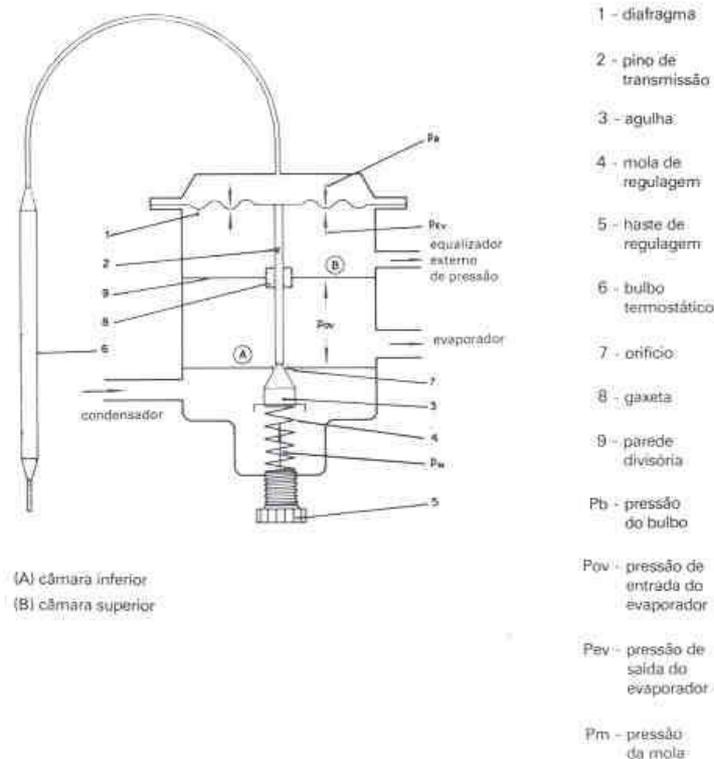
### 9.6.2 VÁLVULA DE EXPANSÃO TERMOSTÁTICA DE EQUALIZAÇÃO EXTERNA

Na válvula de expansão termostática com equalização externa, como ilustra a (fig. 95), a pressão de entrada do evaporador,  $P_{ev}$  localizada na câmara inferior (A) não tem contato com o diafragma (1), pois está separada pela parede divisória (9). A pressão do evaporador,  $P_{ev}$  localizada na câmara superior (B) será transmitida através do equalizador externo de pressão, que será conectado na saída do evaporador. Portanto, a pressão,  $P_{ev}$  que age embaixo do diafragma(1), nas válvulas com equalização externa de pressão, é igual à pressão de saída do evaporador.

Com esta equalização externa se elimina a influência da resistência da circulação de refrigerante (perda de carga) sobre os processos de comando e, por conseguinte, sobre o funcionamento das válvulas de expansão termostática.

Equipamentos de refrigeração de pequena e grande capacidade, com um ou mais evaporadores de injeção simples ou múltipla com alta perda de carga (diferença entre a pressão de entrada e saída do evaporador maior que 20 kPa), é necessário utilizar válvula de expansão termostática com equalização externa de pressão.

FIGURA 95 - VÁLVULA DE EXPANSÃO TERMOSTÁTICA DE EQUALIZAÇÃO EXTERNA



### 9.6.3 MODO DE ATUAÇÃO DA VÁLVULA DE EXPANSÃO

A operação característica da válvula de expansão termostática resulta da ação recíproca de três forças independentes, a saber: a pressão do evaporador,  $p_e$ , a pressão da mola,  $p_m$  e a pressão exercida pela mistura líquido-vapor saturado no bulbo remoto,  $p_b$  cuja mistura trata-se geralmente do mesmo refrigerante usado no sistema.

Como mostra a (fig. 96), o bulbo remoto da válvula de expansão é firmemente preso à linha de sucção na saída do evaporador, onde ele é sensível a mudanças na temperatura do vapor refrigerante neste ponto. Embora exista um leve diferencial de temperatura entre a temperatura do vapor refrigerante na linha de sucção e a temperatura da mistura saturada de líquido e vapor no bulbo remoto, para todos os fins práticos, a temperatura dos dois é a mesma e, portanto, pode-se

considerar que a pressão exercida pelo fluido no bulbo é sempre a pressão de saturação da mistura líquido-vapor no bulbo, correspondente à temperatura do vapor na linha de sucção no ponto do contato do bulbo.

Observe-se que a pressão do fluido no bulbo remoto age sobre um lado do fole ou diafragma através do tubo capilar e tende a mover a válvula na direção de abertura, enquanto que a pressão do evaporador e a pressão da mola agem juntas sobre o outro lado do fole ou diafragma e tendem a mover a válvula numa direção de fechamento. Os princípios de operação da válvula termostática de expansão são melhor descritos através do uso de um exemplo.

Com referência à (fig. 96), suponha que o líquido refrigerante, R-22 está vaporizando no evaporador a uma temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$  de modo que a pressão do evaporador,  $p_e$  é 396,6 kPa, a pressão de saturação do R-22 correspondendo a uma temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$ . Considere depois que a tensão da mola é ajustada para exercer uma pressão,  $p_m$  de 142,91 kPa de modo que a pressão total que tende a mover a válvula na direção de fechamento é 539,5 kPa, a soma de  $p_e$  e  $p_m$  ( $396,6+142,91$ ). Se a queda de pressão no evaporador é ignorada ( $\Delta p_e < 20$  kPa), pode-se considerar que a temperatura e pressão do refrigerante são as mesmas em todas as partes do evaporador onde a mistura líquido-vapor do refrigerante está presente. Contudo, em certo ponto B perto da saída do evaporador, todo líquido terá vaporizado da mistura e o refrigerante neste ponto ficará na forma de vapor saturado na temperatura e pressão de vaporização. Quando o vapor refrigerante se desloca do ponto B através da porção remanescente do evaporador, ele continuará a absorver calor dos arredores, tornando-se assim superaquecido, de modo que sua temperatura é elevada enquanto sua pressão permanece constante. Nesta circunstância, considere que o vapor refrigerante é superaquecido  $8^{\circ}\text{C}$  de  $0^{\circ}\text{C}$  para  $8^{\circ}\text{C}$  durante seu trajeto do ponto B para a localização do bulbo remoto no ponto C. A mistura saturada do ponto B para a localização do bulbo remoto no ponto C. A mistura saturada líquido-vapor no bulbo remoto, estando à mesma temperatura que o vapor superaquecido na linha, terá pois, uma pressão,  $p_b$  de 539,5 kPa, a pressão de saturação do R-22 a  $8^{\circ}\text{C}$  a qual é exercida sobre o diafragma através do tubo capilar e que constitui a força total que tende a mover a válvula na direção de abertura.

Sob as condições agora descritas, a força que tende a abrir a válvula é exatamente igual à força que tende a fechar a válvula ( $p_b = p_e + p_m$ ) e a válvula ficará em equilíbrio. A válvula permanecerá em equilíbrio até o momento em que a mudança no grau do superaquecimento de sucção desequilibre as forças e faça com que a válvula se mova numa ou noutra direção.

Pela análise cuidadosa do exemplo precedente pode ser visto que, para as condições descritas, a válvula ficará em equilíbrio quando, e somente quando, o grau de superaquecimento do vapor de sucção na localização do bulbo remoto for  $8^{\circ}\text{C}$  que é exatamente a quantidade requerida para compensar a pressão exercida pela mola. Qualquer mudança no grau de superaquecimento de sucção fará com que a válvula se mova numa direção de compensação a fim de restituir a quantidade de superaquecimento requerida e restabelecer o equilíbrio. Por exemplo, se o grau de superaquecimento de sucção torna-se menor que  $8^{\circ}\text{C}$  a pressão no bulbo remoto será menor que as pressões no evaporador composto e na mola e a válvula mover-se-á em direção à posição fechada, estrangulando deste modo, o fluxo de líquido dentro do evaporador até que o superaquecimento seja aumentado para os  $8^{\circ}\text{C}$  requeridos. Por outro lado, se o superaquecimento se



específicas fornecendo várias respostas de controle das válvulas de expansão às condições variáveis de carga do evaporador. Com a carga convencional de líquido, o bulbo é carregado com o mesmo refrigerante utilizado no sistema. O volume interno do bulbo e a quantidade da carga são tais que o líquido permanece no bulbo em todas as condições de temperatura. Isto assegura um controle contínuo do fluxo de refrigerante mesmo quando a temperatura junto ao elemento de potência da válvula for inferior à temperatura do bulbo remoto. Quando existir uma dessas condições de temperatura, o vapor de refrigerante pode-se condensar dentro do elemento de potência reduzindo a pressão na parte de cima do diafragma. Contudo, como o bulbo contém líquido mais vapor é gerado, restaurando-se a pressão no diafragma. Válvulas com carga de líquido são usadas geralmente em aplicações em que se prevê uma larga gama de temperaturas no evaporador.

Por outro lado, um bulbo carregado de gás usa uma quantidade limitada do mesmo refrigerante usado no sistema. A quantidade da carga é ajustada de modo a que numa temperatura pré-determinada do bulbo todo o líquido se encontra vaporizado. Assim, qualquer aumento de temperatura de sucção acima deste ponto não resulta em aumento na pressão do bulbo. Os bulbos carregados com gás limitam-se a aplicações de conforto que operam dentro de uma gama estreita de temperaturas e em que a queda de pressão na serpentina seja suficiente para assegurar uma temperatura do bulbo relativamente baixa.

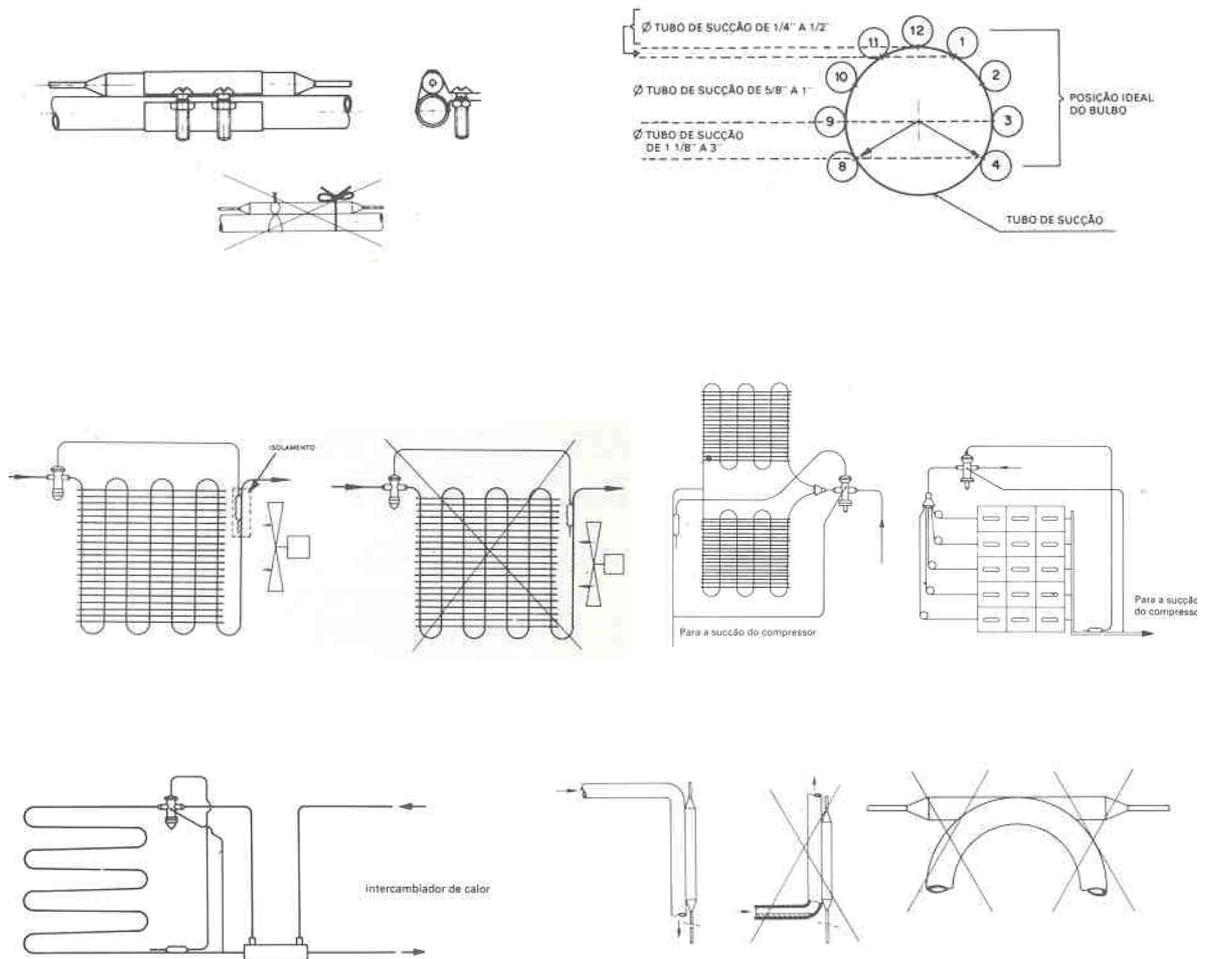
Quando o bulbo contém uma carga diferente do refrigerante usado no sistema, chama-se de carga cruzada. A carga cruzada produz uma curva pressão-temperatura mais plana do que a do refrigerante a ser controlado. O volume do bulbo e a quantidade de carga são tais que algum líquido permanece no bulbo em todas as condições de temperatura. Estas válvulas existem para praticamente todas as aplicações comerciais e de baixa temperatura.

O bulbo termostático de uma válvula de expansão deve estar fixado na saída do evaporador. O bulbo termostático deve estar preso por braçadeiras sobre uma superfície limpa e plana, para que haja um contato térmico ideal com a tubulação de sucção. De acordo com os diâmetros da tubulação de sucção, o bulbo deverá ser montado na posição correspondente aos ponteiros de um relógio entre 8 e 4 horas. O bulbo termostático deve estar fora das correntes de ar e totalmente isolado, para evitar impulsos falsos na válvula de expansão. Deve-se tomar o cuidado de não instalar o bulbo e o equalizador após o intercambiador de calor. O bulbo deve ser instalado sempre na parte horizontal da tubulação de sucção. Deve-se evitar a colocação do bulbo em curvas ou linha vertical. Caso seja necessária a instalação do bulbo numa linha vertical, seguir a indicação da (fig. 97).

O tubo equalizador externo deve ser instalado após o bulbo cerca de 10 a 20 cm.

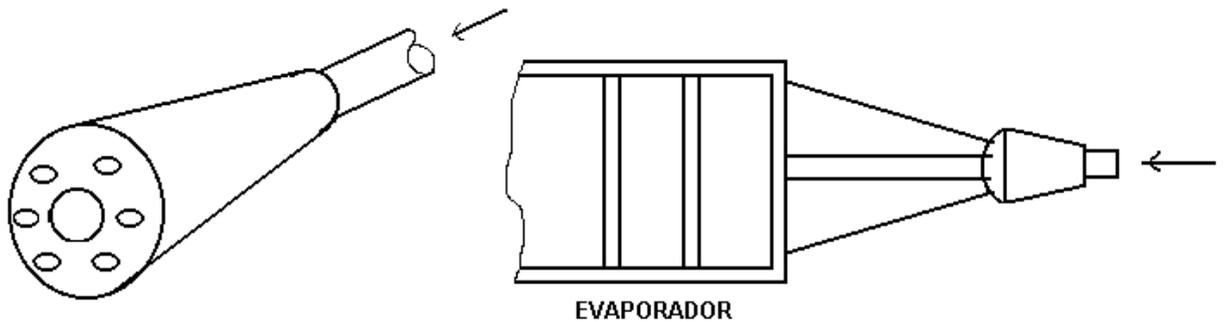
Se uma válvula de expansão estiver alimentando mais de um evaporador, instalar o bulbo termostático e o equalizador externo na saída do coletor que contém a tubulação de sucção, conforme indica a (fig. 97).

FIGURA 97 - CUIDADOS NA INSTALAÇÃO DA VÁLVULA DE EXPANSÃO TERMOSTÁTICA



Quando um evaporador possui mais de um circuito de refrigerante, o refrigerante da válvula de expansão é levado aos vários circuitos do evaporador através de um distribuidor de refrigerante como ilustra a (fig. 98). Em alguns casos, o distribuidor do refrigerante é uma parte integral da própria válvula. Em outros, é uma unidade completamente separada. Em cada um dos casos, é importante que o projeto do distribuidor seja tal que a mistura líquido-vapor que deixa a válvula seja distribuída igualmente para todos circuitos do evaporador para um desempenho máximo do evaporador.

FIGURA 98 - DISTRIBUIDOR DE REFRIGERANTE



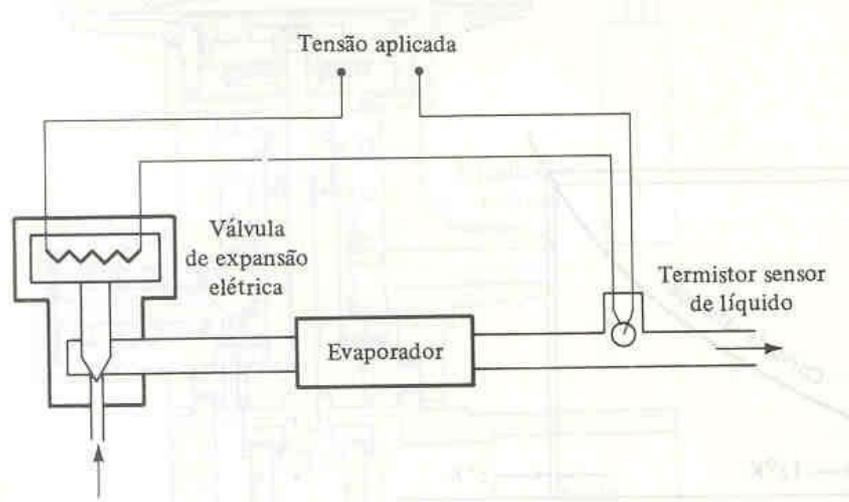
Para o correto seccionamento de uma válvula de expansão termostática é necessário que se conheça:

- capacidade da instalação(carga térmica);
- temperatura de evaporação;
- temperatura de condensação;
- tipo de refrigerante;
- perda de carga no evaporador.

### 9.7 VÁLVULA DE EXPANSÃO ELÉTRICA

Utiliza um termistor para detectar a presença de refrigerante líquido na saída do evaporador. Quando não ocorre a presença de líquido, a temperatura do termistor se eleva, o que reduz a sua resistência, permitindo uma corrente maior através da válvula, (fig. 99). A válvula é assim aberta, permitindo uma vazão maior de refrigerante.

FIGURA 99 - VÁLVULA DE EXPANSÃO ELÉTRICA



## 9.8 VÁLVULA DE EXPANSÃO ELETRÔNICA

Estas válvulas (fig. 100) controlam o fluxo de refrigerante para o evaporador. Elas são comandadas por microprocessador com o objetivo específico de manter o superaquecimento no compressor, controlado através de termistores, o gás entra no motor do compressor (o termistor está localizado entre o motor e os cilindros do compressor).

O líquido refrigerante com alta pressão entra pela parte inferior da válvula. Uma série de orifícios calibrados estão localizados internamente ao conjunto de orifícios. Assim que o refrigerante passa através dos orifícios, a pressão diminui e o refrigerante troca para a condição de 2 fases (líquido e vapor). Para controlar a vazão do refrigerante em função das diferentes condições de operação, a bucha deslizante move-se para cima e para baixo sobre os orifícios, aumentando ou diminuindo a área de passagem do refrigerante. A bucha é movida por um motor de passos. O motor move-se em incrementos e é controlado diretamente pelo microprocessador. Assim que o motor gira, o movimento é transferido para a rosca sem fim gerando um movimento linear. São possíveis 760 posições distintas da bucha deslizante. O grande número de estágios e deslocamento resulta num controle acurado do fluxo de refrigerante garantindo o superaquecimento.

FIGURA 100 - VÁLVULA DE EXPANSÃO ELETRÔNICA

