

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**PAMELA MICHELE LOPES**

**VÁLVULAS DE EXPANSÃO: Comparação da aplicação de válvulas de expansão  
eletrônica e termostática em sistemas frigoríficos**

**Varginha**  
**2019**

**PAMELA MICHELE LOPES**

**VÁLVULAS DE EXPANSÃO: Comparação da aplicação de válvulas de expansão eletrônica e termostática em sistemas frigoríficos**

Apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação da Profa. Dra. Deborah Alvarenga.

**Varginha  
2019**

**PAMELA MICHELE LOPES**

**VÁLVULAS DE EXPANSÃO: Comparação da aplicação de válvulas de expansão eletrônica e termostática em sistemas frigoríficos**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para a obtenção de bacharel pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em:        /        /

---

Profa. Dra. Deborah Alvarenga

---

---

OBS.:

Dedico este trabalho a todos que junto de mim viveram e sonharam com este momento, a todos que se fizeram presentes e entenderam minha ausência quando ela foi necessária.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me permitido viver tudo conforme sonhei. Agradeço aos meus pais, ao meu noivo, ao meu irmão, meu cunhado, minha madrinha, minhas enteadas e aos amigos e colegas de serviço que me ajudaram em todos os momentos e foram minha base. Agradeço infinitamente a Maria Santíssima àquela que é um verdadeiro exemplo de mulher. A todos que contribuíram, meus sinceros agradecimentos!

“Não deixe ninguém destruir seus sonhos, mas não os realize pisando nas pessoas.”

Katy Perry

## RESUMO

Este projeto tem por princípio básico o estudo de um sistema de refrigeração. Seu objetivo é fazer uma comparação entre dois modelos de válvulas de expansão, componente responsável pela queda de temperatura e pressão no sistema. A partir da sua evolução, este dispositivo foi sendo aperfeiçoado e varia desde modelos exclusivamente mecânicos até o modelo mais atual, que é composto por dispositivo parte eletrônico, capaz ler as variações do sistema e modular de forma que seja possível obter o maior rendimento do sistema como um todo. Cada modelo deste dispositivo, independentemente de ser termostático ou eletrônico deve ser dimensionado em coerência com o restante do circuito, sendo assim o dispositivo de expansão conta com a abertura e o fechamento da agulha da válvula, quando eletrônico, esse componente verifica a presença ou não de líquido retornando para o compressor, e fecha a válvula, diminuindo a quantidade de fluido que será injetada no evaporador, fazendo com isso que o sistema seja totalmente eficiente. Os resultados obtidos mostram que a taxa de variação quando utilizada a válvula de expansão eletrônica é consideravelmente menor, evitando variações bruscas no sistema e mantendo-o em perfeito estado de funcionamento.

**Palavras-chave:** Sistema frigorífico. Válvula. Expansão.

## **ABSTRACT**

*This project has as a basic principle the study of a refrigeration system. Its goal is to make a comparison between two models of expansion valves, component responsible for falling temperature and pressure in the system. From its evolution, this device has been being improved and ranges from exclusively mechanical models to the most current model, which is composed of electronic part device, able to read system variations and modular so that it is possible to obtain the higher system yield as a whole. Each model of this device, regardless of whether thermostatic or electronic should be scaled in coherence with the rest of the circuit, so the expansion device relies on the opening and closing of the valve needle, when electronic, this component checks the presence or not of liquid returning to the compressor, and closes the valve, decreasing the amount of fluid that will be injected into the evaporator, making the system fully efficient. The results show that the rate of variation when using the electronic expansion valve is considerably lower, avoiding sudden variations in the system and keeping it in perfect working condition.*

**Keywords:** Refrigerator system. Valve. Expansion.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Ilustração das máquinas de fazer gelo criadas por Gorrie e Perkins.....	13
Figura 02 – Exposição de um refrigerador elétrico antigo .....	13
Figura 03 – Sistema de refrigeração .....	14
Figura 04 – Diagrama de Mollier (PxH) para refrigerante 22 (Freon 22).....	15
Figura 05 – Ciclo de refrigeração de Carnot .....	16
Figura 06 – Estado do fluido entre o compressor.....	17
Figura 07 - Estado do fluido entre o condensador.....	18
Figura 08 - Estado do fluido entre o dispositivo de expansão.....	18
Figura 09 - Estado do fluido entre o evaporador.....	19
Figura 10 – Representação simplificada do ciclo frigorífico e diagrama pressão – entalpia (P-h), destacando superaquecimento e subresfriamento .....	20
Figura 11 – Partes da válvula de expansão termostática .....	23
Figura 12 – Partes da válvula de expansão termostática .....	24
Figura 13 – Pressão no diafragma .....	25
Figura 14 – Leitura do Bulbo .....	25
Figura 15 – Movimento do diafragma.....	26
Figura 16 – Abertura da válvula.....	26
Figura 17 – Leitura do bulbo e fechamento da válvula .....	27
Figura 18 – Fechamento da válvula.....	27
Figura 19 – Válvula de expansão eletrônica.....	29
Figura 20 – Penta.....	30
Figura 21 – Manifold.....	31

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 01 – Equipamento 1 – Teste 1 de desempenho da válvula de expansão termostática..	33
Tabela 02 – Equipamento 2 – Teste 1 de desempenho da válvula de expansão eletrônica.....	33
Tabela 03 – Equipamento 1 – Teste 2 de desempenho da válvula de expansão termostática..	34
Tabela 04 – Equipamento 2 – Teste 2 de desempenho da válvula de expansão eletrônica.....	34

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Histórico da Refrigeração Mundial .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Sistema frigorífico .....</b>	<b>14</b>
2.2.1 Funcionamento do sistema frigorífico .....	15
2.2.2 Monitoramento do sistema frigorífico .....	19
<b>2.3 Válvulas de expansão .....</b>	<b>22</b>
2.3.1 Válvulas de expansão termostática com equalizador externo .....	23
2.3.2 Válvulas de expansão eletrônica .....	28
2.3.3 Seleção da válvula .....	28
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>29</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>37</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o aumento do consumo de produtos congelados, fast food, pratos prontos, a refrigeração tem tido um aumento considerável em seu consumo. Pratos congelados que podem ser facilmente regenerados e consumidos são a grande aposta do momento. Sem falar que o aumento da temperatura mundial, tem disparado o mercado de condicionadores de ar, ou ar condicionado, como são mais conhecidos.

Nada disso seria possível se o homem não tivesse desenvolvido e procurado soluções alternativas para o armazenamento de alimentos, isso porque antigamente, era quase impossível armazenar carnes e produtos perecíveis, o que levou o homem a gastar energia para achar uma solução.

Sabe-se que o armazenamento de alguns tipos de produtos só era possível utilizando o gelo proveniente das geleiras, porém nem todos os locais eram privilegiados com esse tipo de situação, além do mais o gelo derretia rapidamente, foi então que o homem começou a buscar incessantemente uma forma de produzir gelo artificialmente e descobriu a propriedade criogênica dos gases.

Após essa descoberta, grandes pesquisadores como Otto Von Guericke, que foi o primeiro a construir uma bomba de vácuo, Boyle e Hooke, que descobriram que existia uma correlação entre pressão, temperatura e volume para que então Sadi Carnot, que foi considerado o pai da termodinâmica, pudesse fazer seu discurso sobre calor, potência e eficiência de máquinas térmicas. (UFRGS, 2009, f.1).

Essa evolução trouxe com ela equipamentos fantásticos, tais como, ultracongeladores e câmaras frigoríficas, capazes de congelar produtos rapidamente e até mesmo manter produtos a temperaturas negativas, aumentando sua vida útil em até mesmo anos, o que antes, parecia ser impossível.

Com essa evolução aconteceu o desenvolvimento de grandes ciclos de refrigeração, que podem utilizar diversos modelos de dispositivo de expansão, que é o responsável pela queda de pressão e temperatura em um sistema. Grosseiramente falando, podemos dizer que o que acontece é uma restrição na passagem do fluido refrigerante dentro da tubulação do circuito. Com essa restrição e posteriormente com o aumento repentino, o fluido que se encontrava líquido passa a perder pressão, e basicamente em um sistema de refrigeração, pode-se dizer que pressão e temperatura caminham juntos, logo ocorre também a queda de temperatura no sistema, e por fim a refrigeração em si, acontece, como poderá ser observado, neste trabalho.

Existe diferentes modelos de dispositivos de expansão, eles serão escolhidos de acordo com a capacidade de todo o sistema, mas também com a viabilidade do projeto, por exemplo, grandes câmaras frigoríficas ou tuneis de congelamento, pedem válvulas de expansão que possam se autocompensar, isso porque ter uma válvula termostática, em sistemas industriais desse porte, dificultaria sua regulagem.

Sendo assim toma-se de base para este estudo, dois ultra congeladores, utilizados para o congelamento rápido de alimentos. Este equipamento, é capaz de atingir a temperatura de 30 graus negativos em sua câmara em um tempo estimado de aproximadamente 15 minutos.

Para este tipo de monitoramento será comparado o superaquecimento do sistema a cada 3 minutos e por fim será proposto um dos modelos que melhor atende ao sistema.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Histórico da Refrigeração Mundial**

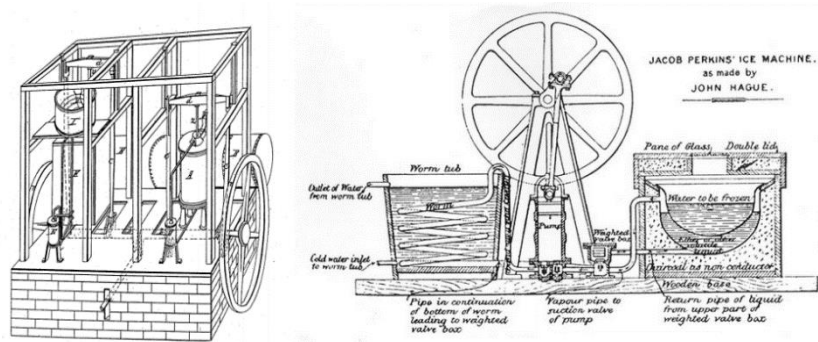
Se conhece por refrigeração, o processo de remoção de calor de um determinado produto ou ambiente, através da queda de temperatura no meio. De acordo com o dicionário DICIO, entende-se por refrigeração o processo de redução artificial de temperatura, produção de frio ou refrigeração de alimentos. É a ação ou o efeito de refrigerar, tornar frio ou gelado. (DICIO, 2019, f. 1)

Fernando França, cita que em meados do século XIX o homem começou a descobrir a propriedade criogênica dos gases. Ou seja, a capacidade de retirar calor de um sistema quando ele é submetido a uma expansão.

Ainda assim nessa época não era possível o armazenamento de grandes quantidades de carnes, logo o homem começou a fazer o transporte, utilizando gelo natural, porém havia muita dificuldade para obter-se o gelo natural das geleiras e além disso ainda existia o derretimento natural. Vendo isso diversos cientistas começaram a buscar uma forma alternativa para produção de gelo. (Apostila FIC de Instalador de Refrigeração e Climatização Doméstica, 2017, f.2).

Tendo isso por base, pode-se dizer que os primeiros cientistas que obtiveram uma patente de uma máquina de gelo, foram John Gorrie (1851) e Jacob Perkins (Figura 1). Porém o primeiro equipamento real foi construído entre 1856 e 1857 pelo escocês James Harrison. (Apostila FIC de Instalador de Refrigeração e Climatização Doméstica, 2017, f.2).

Figura 01- Ilustração das máquinas de fazer gelo criadas por Gorrie e Perkins



Fonte: Apostila FIC, 2017.

Durante décadas os sistemas foram sendo aperfeiçoados, e após a invenção dos motores elétricos foi desenvolvido os primeiros refrigeradores para uso doméstico, e passaram a ser vendidos na segunda década do século XX (Figura 2). (Apostila FIC de Instalador de Refrigeração e Climatização Doméstica, 2017, f.3).

Figura 02 – Exposição de um refrigerador elétrico antigo.



Fonte: Apostila FIC, 2017.

Sendo assim, dá-se o nome de refrigeração ao processo de remoção de calor de um meio, a partir da redução de temperatura e monitoramento do ambiente. Ela está presente de diversas formas, seja na conservação de alimentos, remédios, ou até mesmo na conservação de temperaturas de ambientes que exigem um controle exato, seja para conforto térmico, ou para prolongação da vida útil de alguns equipamentos.

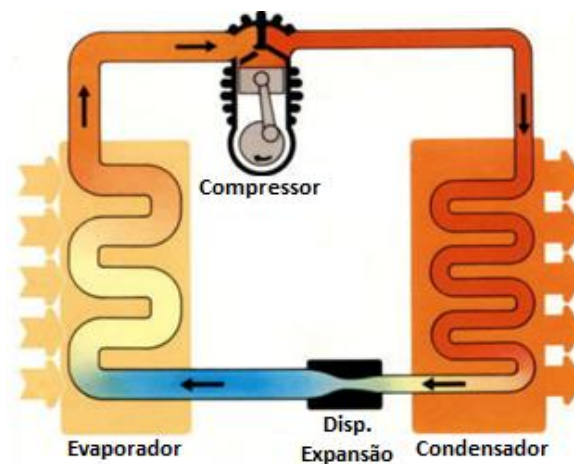
De acordo com o EPE, Empresa de Pesquisa Energética, o uso de aparelhos de condicionamento de ar, mais que triplicou nos últimos anos no Brasil, estima-se que o consumo de energia elétrica devido aos condicionadores no setor residencial tenha atingido 18,7TWh apenas em 2017. Houve também um aumento de 9% entre os anos de 2005 e 2017. (EPE, 2018, f.3).

Pode-se dizer então, que atualmente a população não sobrevive sem a utilização de refrigeradores em geral. Seria impossível imaginar, até mesmo nas zonas mais pobres das cidades, famílias que não possuem ao menos um aparelho refrigerador, para conservação dos alimentos, principalmente carnes e hortaliças.

## 2.2 - Sistema frigorífico

Basicamente sistemas simples de refrigeração são compostos por quatro componentes, estes também são os componentes principais de qualquer ciclo de refrigeração. São eles: compressor, evaporador, condensador e dispositivo de expansão. Entre eles circula um fluido refrigerante, de alta capacidade de absorção e expulsão de calor, que é o responsável pela troca de calor entre o produto ou ambiente a ser refrigerado e o meio externo.

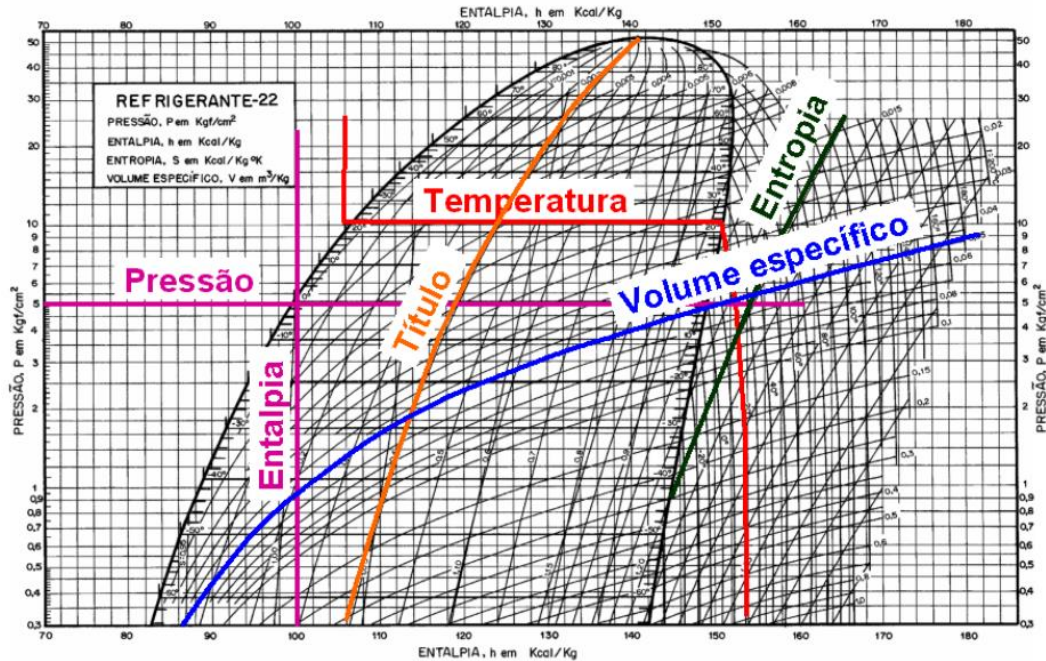
Figura 03 - Sistema de refrigeração



Fonte: USP, 2019.

Os ciclos de refrigeração, ou seja, ciclos termodinâmicos de fluidos refrigerantes em equipamentos frigoríficos por compressão de vapor, podem ser representados pelo diagrama de Mollier (pressão-entalpia) e o diagrama temperatura-entropia. Conforme mostrado abaixo na figura 4.

Figura 04 - Diagrama de Mollier (PxH) para refrigerante 22 (Freon 22)



Fonte: Unicamp, 2019.

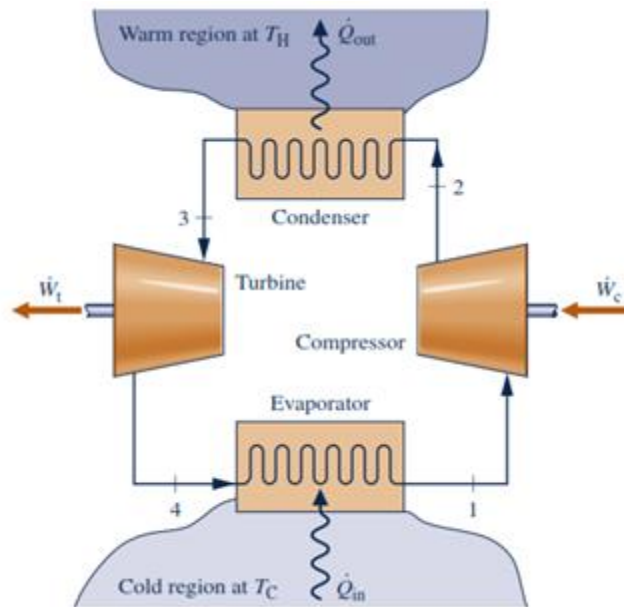
## 2.2.1 - FUNCIONAMENTO DO SISTEMA FRIGORÍFICO

Em meados de 1824, Sadi Carnot, publicou um tratado denominado “Reflections of the Motive of Heat”, ou seja, “Reflexões sobre a força motriz do calor”. Nele Carnot concluiu que o calor só poderia gerar trabalho quando este passasse de uma fonte de calor mais alta para uma fonte de calor mais baixa. (UFPR, 2019, f.12)

Os processos do ciclo de Carnot, são: compressão adiabática (1-2), liberação isotérmica de calor (2-3), expansão adiabática (3-4) e admissão isotérmica de calor (4-1), sendo assim pode-se dizer que os processos são reversíveis, uma vez que sempre voltam à posição inicial. Na figura 2.1.1, pode-se observar a representação deste ciclo. (UFPR, 2019, f.3).



Figura 05 - Ciclo de refrigeração de Carnot



Fonte: UFPR, 2019.

O que acontece em um ciclo de refrigeração pode ser descrito da seguinte forma:

1-2 - Existe uma descarga de fluido refrigerante no compressor, neste momento o compressor é o responsável por comprimir o fluido que se encontra a uma baixa pressão e baixa temperatura e vapor superaquecido, porém o fluido neste momento já ganhou calor proveniente do produto a ser refrigerado.

2-3 - O compressor será responsável por comprimir e succionar o fluido em forma de vapor, elevando sua pressão e temperatura de forma que seja possível expulsá-la no condensador.

3-4 - O condensador será responsável por expulsar o calor que o fluido absorveu durante a trajetória que fez no sistema, logo neste processo o fluido será condensado, de forma que chegue na válvula de expansão 100% líquido.

4-1 - O fluido passa pela válvula de expansão onde ocorre a queda de pressão e temperatura, neste momento o fluido entra no evaporador e consegue fazer a troca de calor com o produto/meio a ser refrigerado.

Portando é possível citar os componentes do sistema separadamente, cada um com as suas variações, podendo avaliar essas diferenças individualmente.

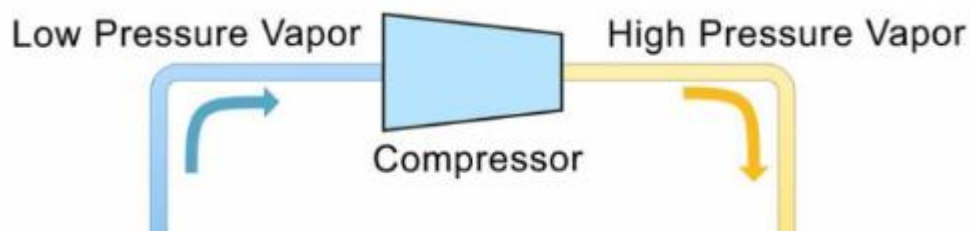
Para entender melhor como é feita a regulação do sistema e como acontece a queda de temperatura no mesmo observar-se-á os modelos de válvulas de expansão.

Partindo desse princípio, é possível descrever as mudanças que acontecem dentro do dispositivo de expansão. Logo, toma-se por base o comparativo dos dois modelos principais de válvulas de expansão, que são a válvula de expansão termostática e a válvula de expansão eletrônica.

De acordo com o site RTI automação, a função da válvula de expansão é controlar a quantidade de líquido que entra no evaporador. Pode-se dizer que funciona da seguinte maneira:

1. O fluido passa no compressor que tem como objetivo elevar sua pressão e temperatura, quando o fluido é comprimido é importante que ele esteja 100% na forma de vapor, pois como é conhecido pelos princípios da mecânica, um fluido líquido tem pouca capacidade de compressão.

Figura 06 – Estado do fluido entre o compressor.

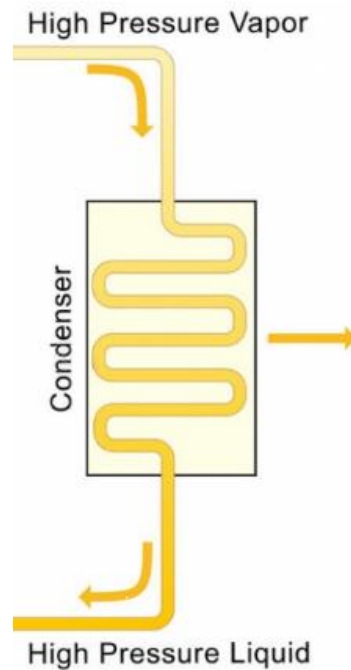


Fonte: Dreamstime, 2019.

Como é possível observar do lado esquerdo da figura 6, tem-se o fluido a baixa pressão e do lado direito, após sua passagem pelo compressor o fluido ganha pressão e se encontra a alta pressão, mas independente da pressão, neste momento o fluido se encontra na forma de vapor.

2. Depois de ter sua pressão elevada o fluido é direcionado para o condensador, nele o fluido irá expulsar o calor que absorveu do produto e o calor que ganhou ao ser comprimido. Sendo assim o fluido deixa de ser vapor e passa para sua forma líquida. Geralmente após o condensador é colocado um dispositivo conhecido por visor de líquido, este dispositivo serve para garantir que chegue 100% de líquido na válvula de expansão.

Figura 07 – Estado do fluido entre o condensador.

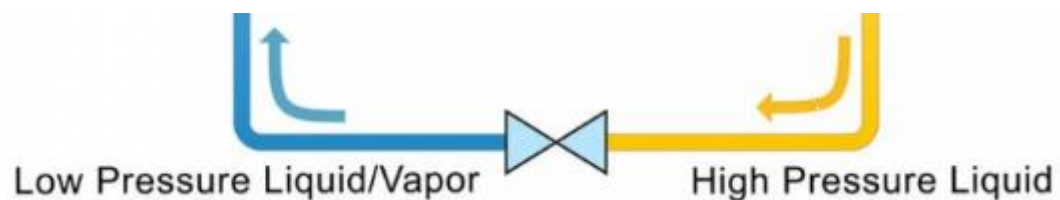


Fonte: Dreamstime, 2019.

Conforme figura 7 antes do condensador o fluido se encontra a uma alta pressão em forma de vapor, após o condensador o produto se encontra em alta pressão, porém no estado líquido.

3. A válvula de expansão por sua vez, será a responsável pela expansão do fluido, nela o fluido saíra de uma passagem restrita para um aumento considerável na tubulação, de forma que, após a passagem pela válvula o fluido se torne vapor saturado (vapor+líquido), conforme imagem 8. Neste momento, após a passagem pela agulha da válvula de expansão, ocorre a expansão do fluido, e o mesmo perderá pressão e temperatura.

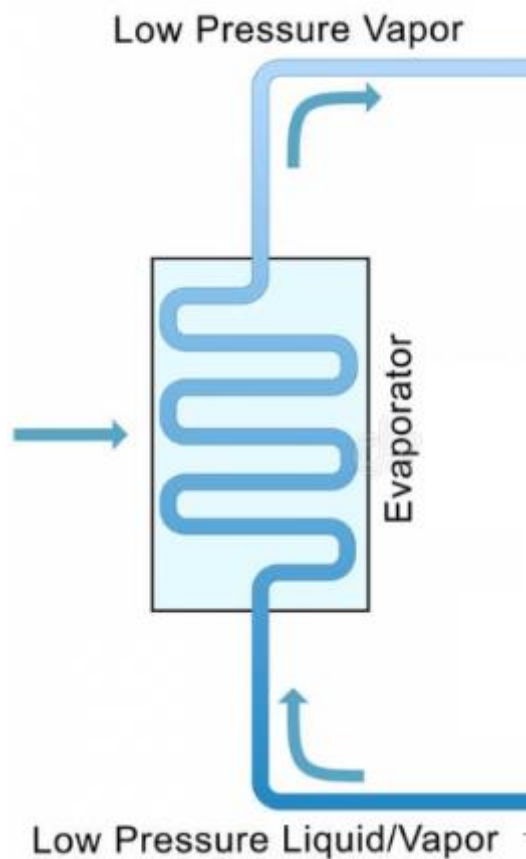
Figura 08 – Estado do fluido entre o dispositivos de expansão.



Fonte: Dreamstime, 2019.

4. E por fim observar-se-á o fluido antes e após sua passagem pelo evaporador. No evaporador o fluido está em seu estado saturado, nele, ao passar pela tubulação, o fluido irá realizar a troca de calor com o produto. Logo, de acordo com a figura 9, antes de entrar no evaporador o fluido se encontra a baixa pressão, no estado saturado, e após o evaporador, o fluido deverá se encontrar totalmente na forma de vapor.

Figura 09 – Estado do fluido entre o evaporador.



Fonte: Dreamstime, 2019.

A importância de se entender o comportamento do fluido no sistema, deve-se ao fato de que, será através do monitoramento de pressão do fluido que será possível observar e entender o que está acontecendo.

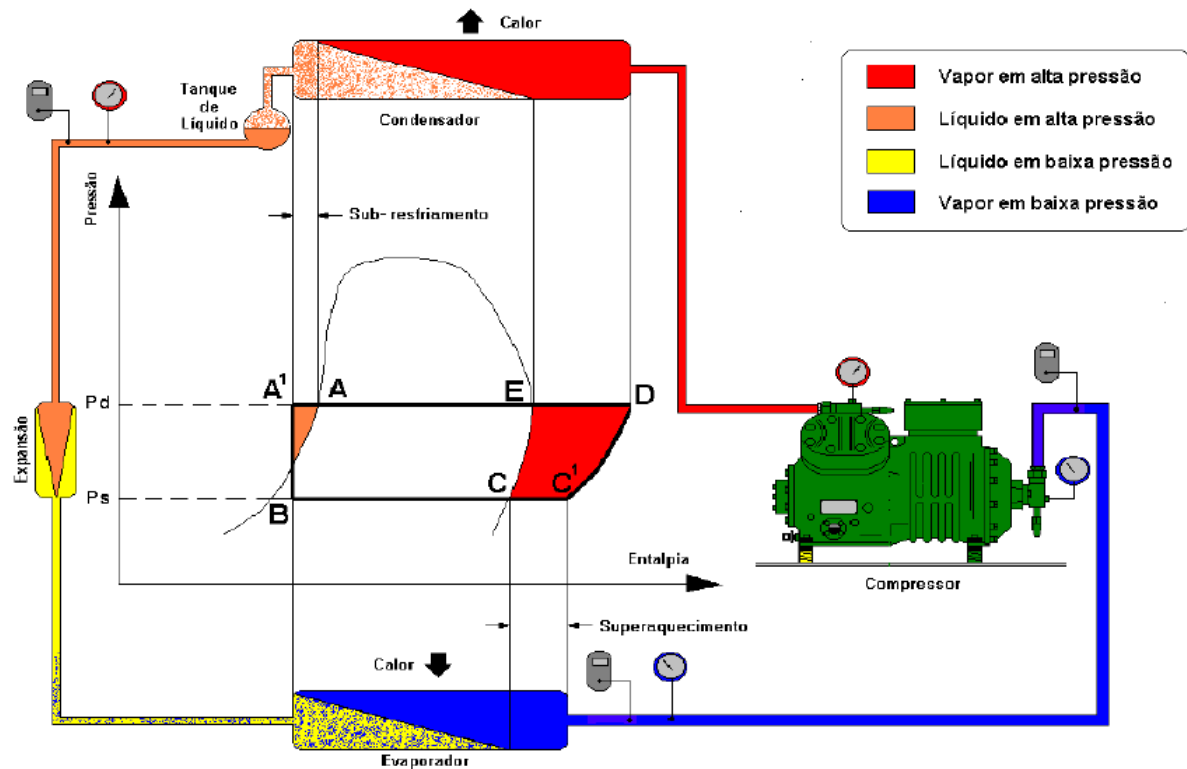
Haja vista que a pressão do fluido poderá representar se ele está sendo capaz de realizar a troca que deveria e está evaporando 100%. Outro caso é que através dela será possível monitorar o retorno de líquido para o compressor, o que é ruim e danoso ao mesmo.

## 2.2.2 - MONITORAMENTO DO SISTEMA FRIGORÍFICO

Geralmente em refrigeração, o monitoramento do sistema será feito através da medição da pressão e temperatura em determinados pontos do sistema, e isso será determinante.

Alguns termos conhecidos são o superaquecimento e subresfriamento do sistema.

Figura 10 – Representação simplificada do ciclo frigorífico e diagrama pressão – entalpia (P-h), destacando superaquecimento e subresfriamento.



Fonte: Boletim de Engenharia Bitzer, 2019.

De acordo com a figura 10, além da absorção de calor que acontece do ponto B ao ponto C, o fluido ganha um calor adicional que é absorvido pelo fluido refrigerante quando ele passa nas seções finais do evaporador, isso porque neste momento ele ainda está realizando troca de calor com o produto, além do mais ele também ganha calor dentro da linha de sucção, do ponto C ao C', que é chamado de superaquecimento. (Bitzer, 2019 , f.2))

Ainda, é adicionado grande quantidade de calor quando o fluido está sendo comprimido (do ponto C1 ao D). A isto dá-se o nome de calor mecânico da compressão, e pode ser explicado pelo fato de que, quando se realiza trabalho sobre um fluido, seja ele qual for, a sua temperatura aumenta na razão da taxa de compressão, sendo assim, quanto mais comprimido o fluido for, mais elevado será sua temperatura e sua pressão.

Como o fluido ganha calor e é aquecido, ele chega ao condensador em sua forma superaquecida, que é o ponto D na figura 10, sendo assim, é possível dizer que ele se encontra com a temperatura de saturação mais baixa, que é o correspondente à pressão de condensação do fluido, conforme indica o ponto E.

Antes de que aconteça a condensação, o fluido superaquecido será resfriado para sua temperatura de saturação e isso ocorrerá no próprio tubo de descarga do compressor e também nos primeiros tubos do condensador, que são referentes ao ponto D e E no diagrama. Conforme for acontecendo a troca de calor no condensador, o fluido passará progressivamente para sua forma de líquido, aumentando assim a quantidade de líquido no condensador. De acordo com a imagem, pode-se dizer que essa alteração acontece do ponto E ao ponto A.

Antes de sair do condensador o fluido é resfriado até uma temperatura um pouco menor do que aquela que foi condensado. Dá-se a esse processo o nome de sub-resfriamento, que nada mais é que a diferença de temperatura de condensação e a temperatura do fluido refrigerante na linha de líquido, aqui pode-se dizer que são as diferenças entre o ponto A até o ponto A1. Este monitoramento é a parte importante para que eu possa garantir que o fluido está chegando líquido na entrada da válvula de expansão.

A rejeição de calor no condensador é tão importante quanto qualquer outra, sendo assim pode-se dizer que qualquer calor absorvido na tubulação de sucção se tornará parte da carga que atua sobre o condensador.

Boas práticas de refrigeração indicam como um valor desejado de sub-resfriamento que irá variar de 3 à 5K. (BITZER, 2019, f.2)

Após a passagem pelo condensador, o fluido sai em seu estado líquido e é encaminhado para a válvula de expansão, onde ocorrerá a queda de pressão e temperatura (citadas no ponto A1 até o ponto B), com isso uma parcela do fluido será evaporado. Porém a válvula de expansão será o principal responsável por controlar o superaquecimento do sistema e a quantidade de líquido presente no evaporador, sendo assim pode-se dizer que a válvula é responsável por monitorar a temperatura de evaporação e a quantidade de líquido necessária para satisfazer as variações de carga térmica do evaporador.

No evaporador acontece a mudança de estado do fluido, isso porque o fluido que se encontrava em forma de líquido, absorve calor do produto e evapora, é o que acontece do ponto B ao ponto C do sistema. Sendo assim no ponto C o fluido deve se encontrar 100% em sua forma de vapor, pois depois disso ele será direcionado ao compressor.

Conseqüentemente, pode-se chamar de superaquecimento a diferença entre a temperatura de sucção e a temperatura de evaporação. Porém se a temperatura a ser monitorada for exatamente na saída do evaporador, diz-se que o superaquecimento calculado é o superaquecimento útil, que é o superaquecimento que a válvula de expansão termostática consegue monitorar e que os fabricantes de válvulas pré-dimensionam para uma faixa de 3 à 7K. (BITZER, 2019, f.2)

Contudo existe alguns sistemas que permitem a instalação do compressor próximo ou um pouco mais distante do evaporador, sendo assim essa distância de tubulação deverá ser levada em consideração para estes tipos de cálculos. Portanto tem-se o que é chamado de superaquecimento total, que é a diferença de temperatura de evaporação, até a temperatura de entrada do fluido no compressor.

Portanto para o superaquecimento total o que os fabricantes de compressores recomendam são valores com o no mínimo 8K, para evitar o fenômeno chamado de golpe de líquido, que nada mais é que o fluido que não foi evaporador 100% retorna para o compressor em forma de líquido. O que pode ocasionar a quebra mecânica do compressor. Mas mesmo assim existe uma faixa recomendada para este superaquecimento, que não deverá ultrapassar a faixa de 20K, que pode também ser danoso ao compressor, levando a carbonização do óleo, desgaste prematuro e outros defeitos mecânicos do mesmo.

### **2.3 – Válvulas de expansão**

O dispositivo de expansão, tem como função básica provocar a expansão do fluido refrigerante, baixão sua pressão e temperatura. Podem ser encontrados vários modelos e tipo, dentre eles têm-se válvula de expansão termostática, tubo capilar e válvulas de expansão eletrônica. (Apostila de Diagnóstico e análise de defeitos em sistemas de refrigeração e climatização, SENAI “Oscar Rodrigues Alves”, 2015, f.355).

O dimensionamento do dispositivo de expansão deverá estar de acordo com o sistema adotado. Por exemplo sistemas complexos exigem válvulas de expansão eletrônica, com maiores controles. Sistemas simples podem adotar, tubos capilares e válvulas de expansão mecânica. SENAI, 2015.

Quanto trata-se do dimensionamento do dispositivo de expansão, é necessário primeiro entender as características de funcionamento do sistema, onde o mesmo será colocado, e quais as solicitações deverá atender.

Após o dimensionamento do sistema, evaporador, compressor, condensador e a carga térmica que estes podem movimentar será feito o dimensionamento do dispositivo de expansão.

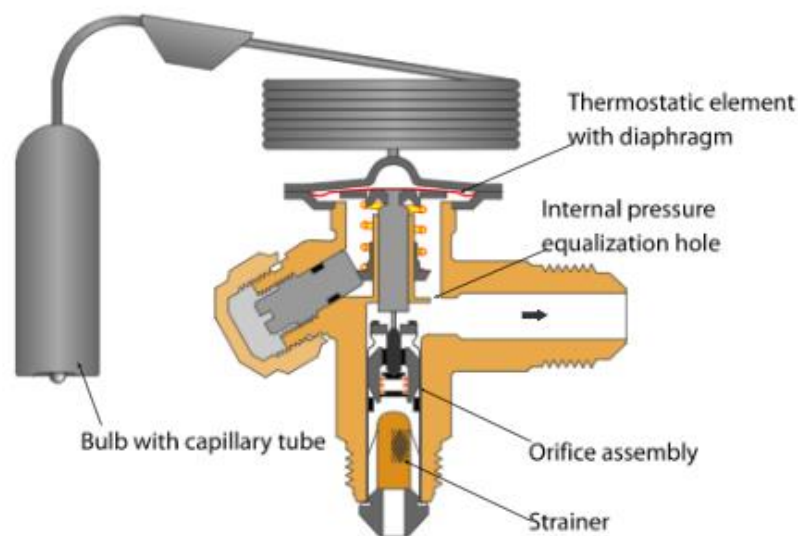
### 2.3.1 – Válvulas de expansão termostática com equalizador externo

Caracterizam-se por manterem um superaquecimento constante, independentemente das condições do sistema, isto é, promovem a alimentação do adequada de líquido, quaisquer sejam as condições de carga térmica, evitando o retorno de líquido para o compressor. Porém seu funcionamento depende tanto da pressão da mola, como da pressão de expansão e pressão do bulbo termostático.

O bulbo termostático, é instalado na saída do evaporador, em contato térmico com a tubulação de sucção, captando continuamente a temperatura de vapor superaquecido em baixa temperatura no final do evaporador, esta temperatura através da condução passa para o bulbo da válvula. O fluido contido no bulbo atua sobre o diafragma na parte superior, isso fara com que haja a variação na temperatura do mesmo. Porém na parte de baixo, atua a pressão proveniente da expansão, e a pressão da mola que é transmitida pelo pino de transmissão.

Abaixo na imagem 2.2.3.1.1, pode-se observar estas principais partes da válvula.

Figura 11 – Partes da válvula de expansão termostática



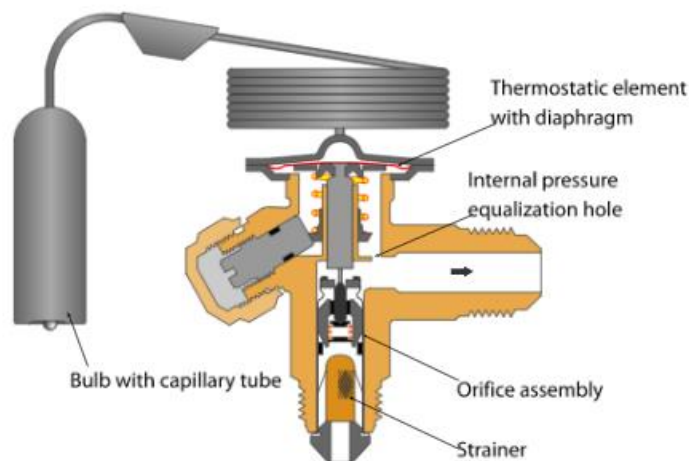


Explicando o que acontece, pode-se dizer que o movimento do diafragma para baixo, afasta a agulha do orifício através do pino de transmissão, abrindo-se certa área do orifício, permitindo a passagem do líquido refrigerante, esta ação acontece quando a temperatura do final do evaporador aumenta. Mas quando o diafragma está para cima, devido a pressão da mola e a pressão de expansão, estrangula-se a passagem de líquido, e isso só vai acontecer quando a passagem de fluido estiver muito alta, ou seja, quando a temperatura no fim do evaporador estiver baixa.

De acordo com a apostila de refrigeração do SENAI, “Oscar Rodrigues Alves”, que é uma referencia em seus cursos de refrigeração, pode-se dizer que na válvula de expansão termostática com equalização externa, a pressão de expansão localizada no interior da válvula, não tem contato com o diafragma, pois está separada pela parede divisória, a pressão do fim do evaporador localizada na câmara superior será transmitida através do equalizador externo de pressão que será conectado na saída do evaporador. Portanto a pressão do final do evaporador age em baixo do diafragma.

Este funcionamento pode ser explicado pela sequencia abaixo:

Figura 12 – Partes da válvula de expansão termostática



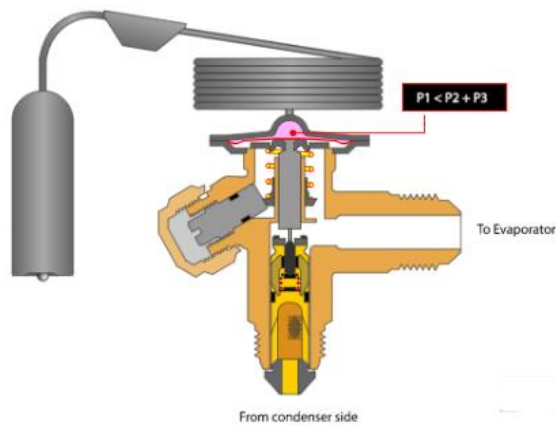
Fonte: Danfoss, 2019.

Na Figura 12, observa-se as principais partes de uma válvula de expansão termostática, pode-se observar o bulbo com tubo capilar, o elemento termostático com diafragma, que irá sofrer as variações de acordo com a expansão do fluido refrigerante, o orifício de equalização da pressão interna, o espaço reservado para montagem do orifício, e o filtro. Um componente

muito importante de função principal é o filtro, pois ele é o responsável por não permitir que nenhuma sujeira que possa estar presente no sistema pare no orifício de expansão do fluido, danificando o funcionamento da válvula.

A seta, indica o sentido de passagem do fluido dentro da válvula, ou seja, o fluido entra pelo filtro, passa pelo orifício, onde acontecerá a expansão e sai pela tubulação conforme indicado pela seta do lado direito da figura.

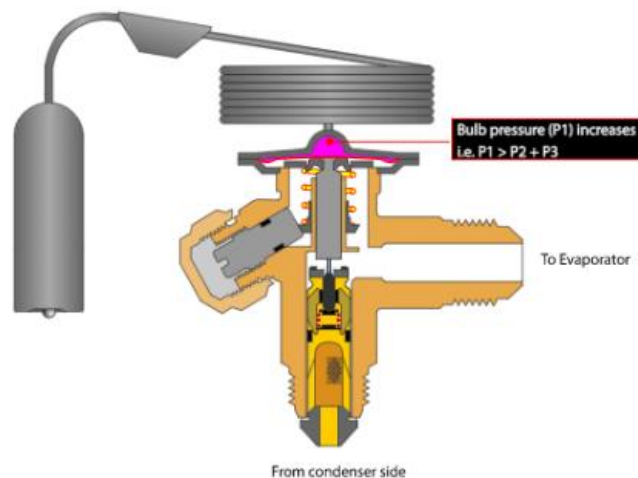
Figura 13 – Pressão no diafragma



Fonte: Danfoss, 2019.

Na figura 13 pode-se dizer que a válvula está começando a funcionar. O diafragma sofre uma variação de pressão que será responsável por dizer a válvula para que ela feche ou abra de acordo com a pressão que está sendo exercida.

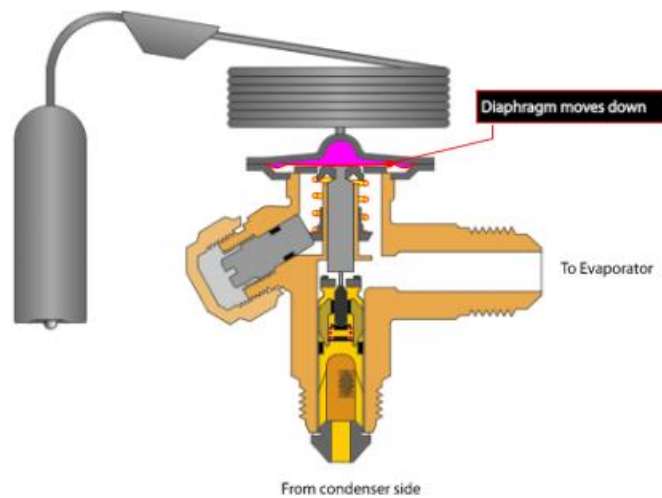
Figura 14 – Leitura do bulbo



Fonte: Danfoss, 2019.

O fluido presente na tubulação entre o diafragma e o bulbo é sempre compatível com o fluido que está no sistema e de alta capacidade termostática. O bulbo, posicionado no fim do evaporador, faz a leitura e identifica se existe a presente de líquido retornando para o compressor, se existe ele alivia o diafragma (Figura 15) de forma que a válvula se feche, se o fluido está com muito calor, ele pressiona o diafragma de forma que pressione a agulha da válvula e entre mais líquido nela. Porém esta é uma variação pequena, não sendo capaz de compensar erros de dimensionamento de projeto.

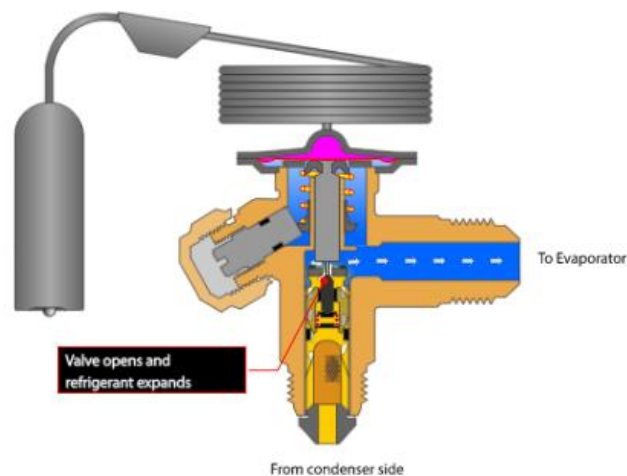
Figura 15 – Movimento do diafragma



Fonte: Danfoss, 2019.

Quando o diafragma é impulsionado para baixo, ele impulsiona a agulha da válvula e permite a entrada de fluido.

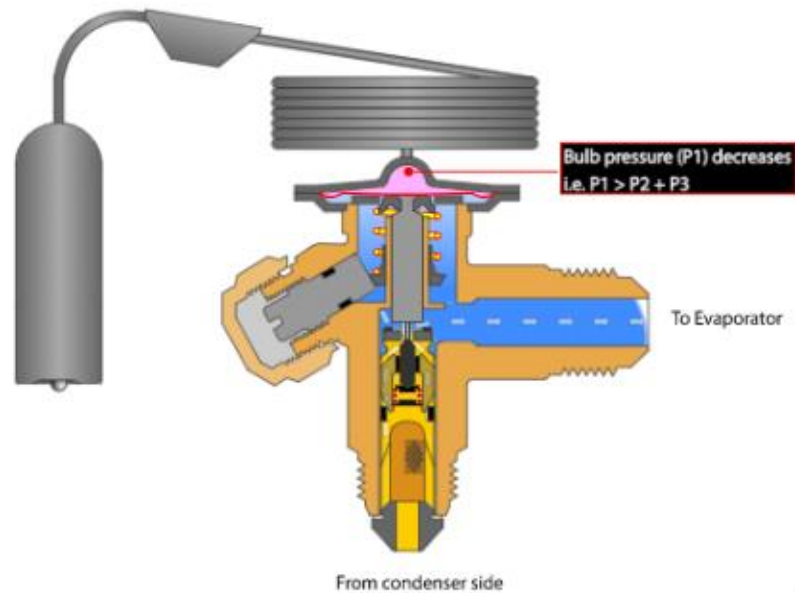
Figura 16 – Abertura da válvula



Fonte: Danfoss, 2019.

Quando a válvula é aberta o fluido refrigerante passa pelo orifício e expande e então entra no evaporador com baixa pressão, baixa temperatura e na forma de vapor superaquecido.

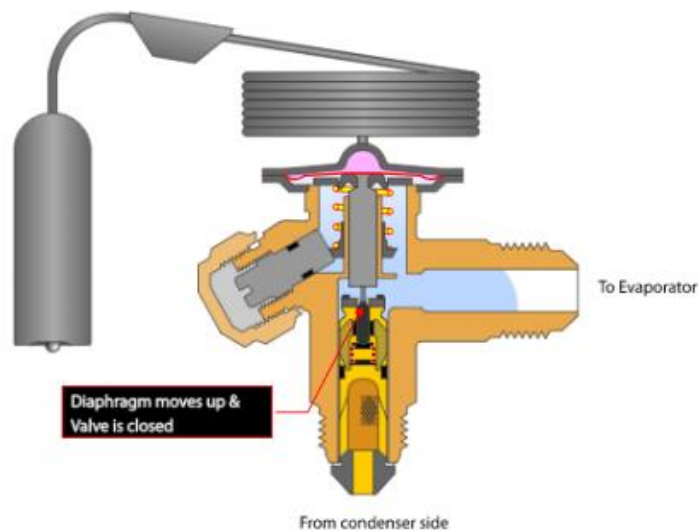
Figura 17 – Leitura do bulbo e fechamento da válvula



Fonte: Danfoss, 2019.

Quando a pressão no bulbo diminui, acontece o recolhimento do fluido refrigerante, logo o mesmo para de passar pela válvula e expandir, e acontece o fechamento da válvula conforme figura 18.

Figura 18 – Fechamento da válvula



Fonte: Danfoss, 2019.

### 2.3.2 – Válvulas de expansão eletrônica

De acordo com a empresa Carel, existem 6 boas razões para a utilização das válvulas de expansão eletrônicas.

- A primeira diz respeito a adaptação automática da válvula para a vasta gama de condições, não limitando o aparelho a trabalhar com pressões nominais de sucção e descarga, ou seja, a válvula de expansão é capaz de compensar variações presente no sistema e dessa forma garantir o maior rendimento do mesmo;
- A segunda é uma melhor alimentação do evaporador, um superaquecimento menor e uma melhor estabilidade e rápida precisão alcançando os objetivos, além de evitar o retorno de líquido para o compressor;
- O Comportamento da válvula é a terceira justificativa, já que possui um comportamento constante, evitando assim, ajustes periódicos, manutenção ou substituição;
- Outro ponto é que as válvulas de expansão eletrônicas podem ser reversíveis, podendo simplificar o circuito, para funcionamento de bombas de calor;
- A integração da válvula é feita diretamente com o controlador principal do sistema;
- E por fim, quando necessário a válvula possui uma capacidade variável.

### 2.3.3 – Seleção da válvula

Para a seleção da válvula de expansão que será instalada no evaporador do equipamento, o primeiro passo será dimensioná-la de acordo com a potência frigorífica do evaporador. Carel, 2019.

O dimensionamento incorreto pode causar diversos inconvenientes. O subdimensionamento da válvula, atrapalhará diretamente o rendimento do sistema, sendo assim ele não conseguirá atingir a tempera desejada e o superaquecimento será geralmente elevado ou superior ao setpoint pretendido. CAREL, 2019.

Porém quando acontece o sobre dimensionamento da válvula, o que pode ocorrer é a “bombagem” do sistema, ou seja, poderá haver amplas variações de temperatura, pressão e superaquecimento; com isso acontece um abaixa de eficiência no sistema, ou poderão ainda verificar-se retornos de líquidos para o compressor. CAREL, 2019.

Para que haja um sistema perfeito, é necessária uma abertura adequada da válvula, explicando o que acontece, quando a válvula de expansão eletrônica é posicionada em um sistema, o que ela faz é a leitura através das sondas de monitoramento, sendo assim a válvula consegue encontrar o superaquecimento correto na partida do equipamento, fechando ou abrindo de acordo com a necessidade do sistema.

Grosseiramente falando, é possível dizer, que em um sistema dimensionado corretamente, a válvula de expansão eletrônica consegue fazer a compensação de abertura e fechamento mais rapidamente que uma válvula de expansão mecânica, pois sua leitura e monitoramento funcionam mais rapidamente, além do mais, não é necessário fechar a válvula manualmente (apertando seu parafuso para fechar o orifício de passagem do fluido, como acontece na termostática), sendo assim, sua leitura passa a ser mais eficiente e mais rápida.

Figura 19 – Válvula de expansão eletrônica



Fonte: Carel, 2019.

### 3 METODOLOGIA

Para a elaboração do presente trabalho foi feita uma pesquisa bibliográfica em livros, artigos, periódicos, dissertações e teses com o intuito de apresentar como acontece as variações em um sistema de refrigeração e apresentar dois modelos distintos de válvulas de expansão. De forma que seja possível fazer o comparativo entre elas, considerando dois equipamentos submetidos as mesmas condições. E dessa forma propor o melhor modelo para o sistema.

Para este estudo foi utilizado como base um ultra congelador de canecas, que é utilizado para o congelamento de canecas de chopp, comumente presente no mercado de refrigeração e as ferramentas utilizadas para o monitoramento deste equipamentos foram o penta e o manômetro.

De acordo com a empresa Frimann o penta, é um termômetro portátil que monitora e indica a temperatura em 5 pontos distintos de um sistema. Por ser uma ferramenta versátil, é utilizada para medições de temperatura em aparelhos de ar condicionado: automotivo ou de janela; freezers; no balanceamento frigorífico de evaporadores, entre outros. (Frimann, 2019, f.1)

Figura 20 – Penta



Fonte: Frimann, 2019.

Já o manômetro, de acordo com Salvi Casa Grande, é um instrumento de medição de pressão para leituras locais, possuindo uma conexão com o sistema e um ponteiro, ou display. Podem ser utilizados para uso geral, tais como compressores de ar, gases e equipamentos pneumáticos. (Salvi Casa Grande, 2019, f.1.)

Em refrigeração o manômetro é mais conhecido por manifold, que nada mais é que um conjunto de manômetros, identificados com cores distintas, geralmente azul e vermelho, para fazer o monitoramento do sistema e da pressão de alta e de baixa do mesmo.

Como já conhecido, o manômetro varia de acordo com o fluido que está sendo monitorado, sendo assim eles devem ser compatíveis para que seja possível fazer uma aferição correta do sistema.

Para o estudo em questão, o modelo utilizado é um manifold para refrigeração com as escalas de leitura dos fluidos R12/R22/R134a/R404a.

Ele é composto por três mangueiras diferentes, sendo uma azul (pressão de baixa), uma vermelha (pressão de alta) e uma amarela (neutra), por onde poderá ser realizado as cargas de fluido.

Figura 21 – Manifold



Fonte: Frimann, 2019.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliação dos equipamentos em questão foram realizados 4 testes. Os dois primeiros foram realizados partindo os equipamentos a uma temperatura ambiente e monitorando a cada 3 minutos suas variações de temperatura em cada ponto do sistema.

Os pontos de monitoramento do sistema foram posicionados da seguinte forma:

- Sonda 1 (S1) – Sonda de sucção;
- Sonda 2 (S2) – Linha de líquido;
- Sonda 3 (S3) – Entrada da válvula de expansão;
- Sonda 4 (S4) – Saída da válvula de expansão;
- Sonda 5 (S5) – Saída do evaporador;
- Manômetro (M) – Entrada do compressor.



Para este tipo de avaliação irá se observar o superaquecimento útil e o superaquecimento total do sistema. O superaquecimento útil é medido através da seguinte equação:

$$Su = S1 - S5$$

Onde: Su é o superaquecimento útil do sistema, S1 é a temperatura da linha de sucção e S5 é a temperatura de saída do evaporador.

Já no superaquecimento total, que é o mais utilizado para este tipo de monitoramento, será utilizado a seguinte equação:

$$St = S1 - M$$

Onde: St é o superaquecimento total do sistema, S1 é a temperatura da linha de sucção e M é a pressão de entrada do compressor, que pode ser facilmente convertida para temperatura através de tabelas de equivalência.

A partir dessa relação realizou-se os testes da seguinte maneira:

1. Foram posicionadas todas as sondas de acordo com o descrito acima (S1, S2, S3, ...);
2. Após posicionamento das sondas, observou-se que o ambiente estava a uma temperatura de 27,8°C;
3. O primeiro teste a ser realizado foi no equipamento com válvula de expansão mecânica e depois o equipamento com válvula de expansão eletrônica. Os equipamentos possuíam as mesmas configurações, todos estavam sem carga e no equipamento com válvula termostática a mesma já estava devidamente regulada.
4. Deu-se início aos testes e o monitoramento foi feito com um intervalo de 3 minutos. Para válvula de expansão mecânica, foi monitorado o superaquecimento total quando o equipamento atingiu a temperatura de 24°C e 29°C na câmara, e o superaquecimento útil a cada análise de 3 em 3 minutos. Para o equipamento com válvula de expansão eletrônica foi feito o mesmo monitoramento, porém o superaquecimento total foi verificado apenas na temperatura de 29°C. Para realização do primeiro teste os dois equipamentos estavam desligados, sem carga e se encontravam com a temperatura equalizada com a temperatura ambiente. Abaixo as tabelas com os dados encontrados:

Tempo	S1	S2	S3	S4	S5	Câmara	Superaquecimento Total (K)	Superaquecimento útil (S1-S5) (K)
Desligado	27,7	28,2	26,9	26,8	26,5	26	-	1,20
00:00:00	27,5	29,4	27,6	18,2	23,3	24	-	4,20
00:00:03	1,1	37,3	30,9	1,1	1,1	-2,6	-	0,00
00:00:06	-9,7	35,4	25,7	-9,7	-9,6	-16	-	3,10
00:00:09	-16,7	33,7	21	-18,2	-15,8	-24	12,3	3,90
00:00:12	-19,8	32	17,2	-24	-18,7	-29	3,2	4,20
00:00:12:04	-20,2	32	16	-25,1	-19,1	-30	-	4,30
00:00:12:57	-20,9	31,6	16,1	-31,5	-15,9	-31	-	5,60

Fonte: O autor, 2019.

Na tabela 1, é possível observar a taxa de variação do superaquecimento útil, considerando que o mesmo varia aproximadamente 3K até que consiga estabilizar, ou seja, pode-se dizer que a válvula fica oscilando até atingir o superaquecimento desejado. Pode-se dizer que este é um valor representado em módulo, sendo sempre um valor positivo.

Tempo	S1	S2	S3	S4	S5	Câmara	Superaquecimento Total (K)	Superaquecimento útil (S1-S5) (K)
Desligado	24,6	24,7	23,5	23,3	23,6	26	-	1,00
00:00:00	24,3	24,7	26,3	0,1	23	23	-	1,30
00:00:03	3,7	33,9	27,2	-4,9	3,6	4	-	0,10
00:00:06	-11,6	34,4	24,8	-10,5	-8,5	-19	-	3,10
00:00:09	-20,4	32,8	20,5	-19	-16,5	-28	-	3,90
00:00:12	-21,8	32,3	19,2	-21,8	-17,6	-29	17	4,20
00:00:15	-22,5	32	18,6	-22,9	-18,2	-30	-	4,30
00:00:18	-23,3	32	16,6	-29,1	-17,7	-30	-	5,60

Fonte: O autor, 2019.

Na tabela 2 tem-se a válvula de expansão eletrônica e é possível perceber que a mesma parte com uma pequena abertura, fazendo o controle do superaquecimento, oscilando pouco e se aproximando do superaquecimento desejado de forma mais branda, ou seja, o sistema como um todo, sente menos a variação que está acontecendo, de forma que esta variação não é brusca e não afeta os demais componentes do sistema.

O mesmo comparativo pode ser observado nas tabelas 3 e 4 respectivamente, onde a mesma variação acontece, primeiro na válvula de expansão termostática e posteriormente na válvula de expansão eletrônica.

Tempo	S1	S2	S3	S4	S5	Câmara	Superaquecimento Total (K)	Superaquecimento útil (S1-S5) (K)
00:00:00	31,2	28,2	15	19,8	24	18	-	7,20
00:00:03	-3,5	36,9	28,3	-3,9	4,1	-13	-	7,60
00:00:06	-15,2	35,1	23,2	-16,5	-13	-22	-	2,20
00:00:07:04	-16,14	34,5	21,8	-18,8	-14,4	-24	13,6	1,74
00:00:09	-18,8	33,2	18	-24	-16,7	-28	-	2,10
00:00:10:31	-19,7	32,9	17,6	-24,8	-17,3	-29	14,3	2,40
0:00:11:22	-19,9	32,6	16,4	-26,7	-18	-30	-	1,90
0:00:11:35	-20	32,3	14	-31,9	-13	-31	-	7,00

Fonte: O autor, 2019.

Tempo	S1	S2	S3	S4	S5	Câmara	Superaquecimento Total (K)	Superaquecimento útil (S1-S5) (K)
00:00:00	14,7	27,8	26	21,1	14,7	16	-	0,00
00:00:03	1,1	33,8	25,7	-10,2	1,4	-10	-	0,30
00:00:06	-12,7	34,5	23,4	-15,5	-9,9	-22	-	2,80
00:00:09	-15,9	34,1	22,2	-17,8	-12,5	-24	15,1	3,40
00:00:12	-20,7	33,3	19,9	-22,5	-15,8	-28	-	4,90
00:00:15	-21,4	33,2	19,2	-25,7	-16,6	-29	-	4,80
00:00:18	-22,5	32,9	18,2	-25,5	-17,6	-30	-	4,90

Fonte: O autor, 2019.

Para que não haja confusão é importante ressaltar, que os valores, tanto do superaquecimento total, quanto do superaquecimento útil, são dados em Kelvin (K), que é a medida ideal para medição e transformação de pressão em temperatura. Isso porque, quando vai-se encontrar os valores de pressão/temperatura na escala do manômetro, essa conversão se encontra em Kelvin. Os valores de monitoramento da câmara e das demais temperaturas aparecem em °C, pois é uma forma mais fácil de ter se a visão do que está acontecendo dentro da câmara.

Foram realizados testes com o objetivo de comparar o comportamento das válvulas de expansão eletrônica e mecânica, com relação ao tempo de resposta para compensação do sistema.

Foram medidos os diferenciais de temperaturas entre as sondas S1, posicionada na tubulação de sucção do sistema, e S5 que estava localizada na saída do evaporador.

Os resultados estão apresentados nas tabelas de 1 a 4. Pode ser visto que a válvula de expansão eletrônica apresenta um crescimento linear com baixa variação em função do superaquecimento. Isso implica que a válvula consegue controlar de maneira mais eficiente o comportamento do fluido dentro do sistema.

Os resultados obtidos com os testes da válvula de expansão mecânica, apresentam grande variação em função do superaquecimento, mostrando que o tempo de resposta da válvula mesmo que curto, influencia em grande variação na temperatura, tendo resultados com grande faixa de variação.

## 5 CONCLUSÃO

Com o estudo realizado foi possível adquirir grande conhecimento, sendo possível entender a importância e o que a refrigeração representa na sociedade atualmente. Desde o começo até sua evolução grandes feitos foram possíveis, a evolução de equipamentos, o congelamento rápido de alimentos, dando a estes a qualidade no sabor. Diversas melhorias aconteceram com sua evolução.

Desde os primeiros estudos do ciclo ideal em Carnot até os modelos atuais, encontra-se após estes feitos grandes referências que são verdadeiros marcos para o mundo atual. O sistema de congelamento rápido de produtos permite que grandes quantidades possam ser armazenadas e enviadas a grandes distâncias.

Foi possível estudar os pontos principais de um sistema de refrigeração e avaliar o que acontece em cada ponto, de forma que fosse possível entender e avaliar as formas de comportamento do fluido no sistema.

Os resultados obtidos nos testes de desempenho dos dois equipamentos mostram que ambos os modelos de válvulas podem satisfazer o sistema em questão, e que mesmo a válvula de expansão mecânica atinge a temperatura esperada em um curto intervalo de tempo, mas ao mesmo tempo, avaliando a taxa de oscilação das válvulas a mais indicada seria a válvula de expansão eletrônica.

Isso porque a válvula de expansão eletrônica tem uma taxa linear menor de variação, ou seja, pode-se dizer que a válvula de expansão eletrônica consegue variar sua abertura sucintamente, de forma que o sistema não sinta grandes diferenças na injeção do fluido.

Percebe-se que com essas vantagens de utilização as válvulas de expansão eletrônicas ganham grande mercado, podendo ter versatilidade na sua aplicação e instalação e melhorando a eficiência do sistema.

Quanto menos bruscas as variações existentes no sistema forem, menos o sistema sentirá e maior será sua vida útil, pois dessa forma o mesmo não é sobrecarregado. Isso porque o sistema frigorífico, em sua maioria é composto por componentes mecânicos, que podem ser facilmente afetados quando submetidos ao extremo.

A válvula de expansão eletrônica oferece ao sistema um controle mais preciso da variação do superaquecimento, sendo capaz de controlar e evitar golpes de líquido no compressor, o que pode ocasionar sua quebra.

Sendo assim para o modelo estudado, de acordo com os resultados obtidos pode-se dizer que para testes com carga o equipamento se sairia melhor com a válvula de expansão eletrônica, pois para este caso, seu controle minucioso e sua variação menor no superaquecimento útil faz com que a válvula seja mais eficiente.

## REFERÊNCIAS

**BITZER. Boletim de Engenharia, Definição do superaquecimento e Sub-resfriamento.**

Bitzer Compressores Ltda. Disponível em:

<[http://www.bausch.eng.br/baixar/boletins\\_de\\_engenharia/be20-definicao-do-supaquecimento-e-sub-resfriamento.pdf](http://www.bausch.eng.br/baixar/boletins_de_engenharia/be20-definicao-do-supaquecimento-e-sub-resfriamento.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2019.

**CAREL. E2v smart.** Disponível em: <[https://www.carel.com.br/electronic-expansion-valve/-/journal\\_content/56\\_instance\\_i4q5kimlinkk/10191/92333](https://www.carel.com.br/electronic-expansion-valve/-/journal_content/56_instance_i4q5kimlinkk/10191/92333)>. Acesso em: 02 mar. 2019.

**CASAGRANDE, Salvi. O que é um manômetro?** Salvi Casagrande, Medição e Automatização. Disponível em: <<http://catalogo.salvicasagrande.com.br/wiki-duvidas/o-que-e-um-manometro/>>. Acesso em 2 nov. 2019.

**COSTA, Fernando Nascimento. Análise comparativa da válvula de expansão eletrônica e do tubo capilar em sistemas de refrigeração.** 2014. 81 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/265902>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

**DANFOSS. Válvulas de expansão termostática T2/TE2, orifício intercambiável.**

DANFOSS Engineering Tomorrow. Disponível em: <<https://www.danfoss.com/pt-br/products/valves/dcs/thermostatic-expansion-valves/t2-te2/#tab-how-it-works>>. Acesso em: 2 nov. 2019.

**DREAMSTIME. Ciclo de Refrigeração.** Dreamstime Fotografia. Disponível em:

<<https://pt.dreamstime.com/ilustra%C3%A7%C3%A3o-stock-ciclo-de-refrigera%C3%A7%C3%A3o-image42808207>>. Acesso em: 12 out. 2019.

**DICIO. Significado de Refrigeração.** Dicionário online de Português. Disponível em:

<<https://www.dicio.com.br/refrigeracao/>>. Acesso em: 12 out. 2019.

**ENSINO A DISTÂNCIA. Sistemas de Refrigeração – Parte I.** Universidade de São Paulo, SP. Disponível em:

<[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3550292/mod\\_resource/content/1/SEL0437\\_Aula10\\_Refrigeracao.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3550292/mod_resource/content/1/SEL0437_Aula10_Refrigeracao.pdf)>. Acesso em 12 out. 2019.

**EPE. Uso de ar condicionado no setor residencial brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética.** Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em:

<[http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030\\_2018\\_18Dez2018.pdf](http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030_2018_18Dez2018.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2019.

**IFSC. Curso de Formação Inicial e Continuada Instalador de refrigeração e climatização doméstica – Apostila FIC.** Instituto Federal Santa Catarina, Campus São José. Disponível em:

<<https://docplayer.com.br/64078735-1-evolucao-da-refrigeracao-e-da-climatizacao.html>>.

Acesso em: 10 out. 2019.

FRANÇA, Fernando. **Controle Térmico de Ambientes**. Universidade Estadual de Campinas, SP. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/31473973/-apostila-controle-termico-de-ambientes-ciclo-refrigeracao-refrigerantes-fernando-franca-unicamp>>. Acesso em 12 out. 2019.

FRIMANN. **Termômetro Potatil Penta III Full Gauge Cinco Sensores**. FRIMANN Sistemas de Refrigeração. Disponível em: <<https://www.frimann.com.br/termometro-portatil-penta-ill-full-gauge-cinco-sensores>>. Acesso em 2 nov. 2019.

IFSC. **Introdução RAC FICEAD**. Instituto Federal de Santa Catarina, Campus São José. Disponível em: <[https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/b/bf/Introducao\\_RAC\\_FICEAD.pdf](https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/b/bf/Introducao_RAC_FICEAD.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2019.

LAGO, Taynara Geysa Silva. **Estudo experimental e controle de um sistema de refrigeração com compressor de velocidade variável e válvula de expansão eletrônica**. 2016. 1 recurso online ( 153 p.). Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unica mp.br/handle/REPOSIP/305460>>. Acesso em: 09 mar. 2019.

LARA, João Fábio Parise De. **Análise teórico-experimental do escoamento de hfc-134a através de dispositivos de expansão para meso-sistemas de refrigeração**. Dissertação (mestrado) - Universidade federal de Santa Catarina, Centro tecnológico, Programa de pós-graduação em engenharia mecânica, Florianópolis, dez. 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/157332>>. Acesso em: 09 mar. 2019.

MATIAS, Guilherme. **Desenvolvimento de estratégia de controle para compressor de capacidade variável e válvula de expansão eletrônica em um sistema de refrigeração doméstico**. Universidade Federal de Santa Catarina, SC. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle /123456789/189322>>. Acesso em: 09 de mar. 2019.

RTI. **As vantagens de usar a válvula de expansão eletrônica**. RTI Automação, SP. Disponível em: <<https://www.rtiautomacao.com.br/as-vantagens-de-usar-a-valvula-de-expansao-eletronica/>>. Acesso em: 6 set. 2019.

SCHURT, Leonardo Cesar. **Modelagem matemática e controle multivariável de sistemas de refrigeração por compressão mecânica de vapor**. Programa de pós-graduação em engenharia de automação e sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, SC. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/92254>>. Acesso em: 07 mar. 2019.

SCHULZ, Daniel. **Leis da Termodinâmica**. Colégio Espírito Santo Canoas – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, RS. Disponível em: <[https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/leis\\_termodinamica.htm](https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/leis_termodinamica.htm)>. Acesso em: 6 set. 2019.