



DOUGLAS ANDRADE DE MORAIS

REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL

Poços de Caldas
2018

DOUGLAS ANDRADE DE MORAIS

REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Faculdade Pitágoras, como requisito parcial
para a obtenção do título de graduado em
Engenharia Mecânica

Orientador: José Bettio

DOUGLAS ANDRADE DE MORAIS

REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Pitágoras, como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em Engenharia Mecânica.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Mestre Gustavo Henrique Judice

Prof. Mestre Luan Rafael Silva

Poços de Caldas, 19 de Junho de 2018

Dedico este trabalho aos meus familiares
e amigos

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus professores que me proporcionaram trilhar um novo caminho em minha vida profissional. Aos meus familiares que me apoiaram e incentivaram durante todo o período de graduação. Ao suporte que minha namorada me forneceu, que me auxiliou para a conclusão desse trabalho. Aos meus amigos que estiveram ao meu lado durante os anos de formação e que possamos continuar trilhando a vida profissional junto.

MORAIS, Douglas Andrade de. **Refrigeração Industrial**. 2018. 41. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Pitágoras, Poços de Caldas, 2018.

RESUMO

Diversos setores utilizam da refrigeração, o que se alternam entre si são simplesmente seus objetivos. Quando se fala a respeito da refrigeração residencial e comercial o conforto térmico é colocado como primórdio, já para o setor industrial se tem o interesse em viabilizar processos, processar e conservar produtos. Logo a estrutura de um sistema de refrigeração industrial possui diferentes estruturas e equipamentos. O presente estudo busca apresentar quais as características que diferem a refrigeração industrial da refrigeração residencial e comercial. O método de pesquisa utilizado é a revisão de literatura advinda de livros e artigos de autores conceituados no setor de refrigeração industrial. A pesquisa transmite resultados qualitativos, sendo realizadas buscas nos principais bancos de dados, como Lilacs, Scielo e Capes. O trabalho conduz para compreensão dos ciclos de refrigeração e quais os fatores a serem levados em conta para a elaboração de um sistema de refrigeração industrial. Os componentes fundamentais da refrigeração industrial são detalhados, informando suas principais funções e modelos mais encontrados. Diferentemente de outros setores de refrigeração, os sistemas de refrigeração industrial necessitam levar em conta parâmetros de análise como o nível de temperatura, o controle de umidade e o elevado índice de filtração e remoção de contaminantes. Sem os devidos conhecimentos desses pontos em questão, o sistema poderá apresentar perda de eficiência e vazamentos do líquido refrigerante, o que acarretará o aumento significativo dos custos. Conhecer as diferenciações do sistema de refrigeração industrial permite determinar quais os gastos que se terá, além de prevenir as manutenções indesejadas do sistema.

Palavras-chave: Refrigeração Industrial; Ciclos Térmicos; Termodinâmica.

MORAIS, Douglas Andrade de. **Industrial Refrigeration**. 2018. 41. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Pitágoras, Poços de Caldas, 2018.

ABSTRACT

Many sectors use refrigeration, which alternate between them are simply their goals. When talking about residential and commercial refrigeration thermal comfort is placed as a primordium, already for the industrial sector has the interest in enabling processes, process and conserve products. Therefore the structure of an industrial refrigeration system has different structures and equipment. The present study tries to present which characteristics that differ the industrial refrigeration of the residential and commercial refrigeration. The research method used is the literature review from books and articles by renowned authors in the industrial refrigeration sector. The research conveys qualitative results, searching the main databases such as Lilacs, Scielo and Capes. The work leads to an understanding of the refrigeration cycles and what factors to take into account for the elaboration of an industrial refrigeration system. The fundamental components of industrial refrigeration are detailed, informing their main functions and most found models. Unlike other refrigeration sectors, industrial refrigeration systems need to take into account parameters of analysis such as temperature level, humidity control and the high index of filtration and removal of contaminants. Without proper knowledge of these points in question, the system may lose efficiency and coolant leaks, which will lead to a significant increase in costs. Knowing the differentiations of the industrial refrigeration system allows to determine what the expenses will be, besides preventing the unwanted maintenance of the system.

Key-words: Industrial Refrigeration; Thermal Cycles; Thermodynamics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Variação do coeficiente de convecção com a velocidade do ar	15
Figura 2 – Ciclo Padrão de Compressão a Vapor	17
Figura 3 – Tipos de condensadores: (a) resfriado a ar; (b) resfriado a água tipo carça-tubos; (c) resfriado a água tipo placas; (d) evaporativo	20
Figura 4 – Representação do Condensador Evaporativo	21
Figura 5 – Condensador Evaporativo	22
Figura 6 – Representação esquemática de uma serpentina	23
Figura 7 – Representação esquemática de um evaporador de placas.....	24
Figura 8 – Características de resfriadores de líquido de uso comum na indústria refrigerante.....	25
Figura 9 – Válvula de expansão termostática (equalização interna)	26
Figura 10 – Princípio de funcionamento de um compressor alternativo	27
Figura 11 – Compressor alternativo aberta	28
Figura 12 – Compressor parafuso	29
Figura 13 – Câmara Refrigerante ou Câmara Fria	32
Figura 14 – Evaporador de teto	33
Figura 15 – Evaporador de parede	33
Figura 16 – Exemplo de instalação de um Evaporador (vista superior)	34
Figura 17 – Exemplo de instalação de dois Evaporadores (vista superior)	35
Figura 18 – Exemplo de instalação de quatro Evaporadores (vista superior)	35
Figura 19 – Instalação incorreta	36
Figura 20 – Instalação correta	36
Figura 21 – Instalação correta	37
Figura 22 – Circuito Refrigerante ou Sistema de refrigeração de um Refrigerador “2 portas”	38
Figura 23 – Motocompressores Herméticos	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. PRINCÍPIOS DA REFRIGERAÇÃO	14
3. COMPONENTES DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	19
4. APLICAÇÕES DA REFRIGERAÇÃO NO SETOR INDUSTRIAL	30
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
REFERÊNCIAS.....	43

1. INTRODUÇÃO

A conservação do meio e de uma substancia é o que garante tanto o bem estar de pessoas quanto a qualidade de produtos. A busca por serviços de condicionamento de ar tem aumentando na sociedade moderna atual. Já é observado que em domicílios, escritórios e diversos setores industriais já utilizam da refrigeração para alcançar a qualidade e o bem estar desejado. No entanto é do setor industrial a utilização do condicionamento de ar em larga escala. Por este motivo há uma exigência de equipe especializada.

O conhecimento empregado neste trabalho possui uma linguagem de fácil compreensão a respeito das técnicas empregadas na refrigeração industrial, possibilitando um preparo adequado para técnicos e engenheiros.

A refrigeração industrial emprega um grande volume de mão de obra qualificada, além de possuir diversas unidades instaladas. Deixando assim evidente que há uma predominação significativa na utilização do condicionamento de ar por parte do setor industrial. Sendo assim, o que caracteriza a refrigeração industrial?

O objetivo geral é descobrir a respeito do que diferencia a refrigeração industrial de outras aplicações de condicionamento de ar.

Para o alcance do objetivo geral, é preciso primeiramente compreender os conceitos envolvidos da refrigeração, conhecer o sistema de refrigeração para o condicionamento de ar industrial, e por fim, evidenciar quais diferenças que a refrigeração industrial possui em relação à refrigeração doméstica e comercial.

O método empregado neste trabalho é a revisão bibliográfica advindo dos principais autores de refrigeração sendo: Stoecker e Jabardo (2002), Silva (2007), Costa (1974) e Frota e Schiffer (2000).

2. PRINCÍPIOS DA REFRIGERAÇÃO

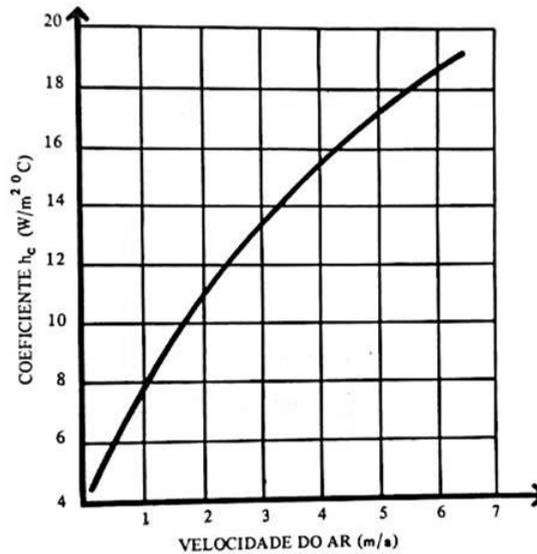
O objetivo da refrigeração é manter o ambiente em uma temperatura inferior ou superior desejada em relação à temperatura do meio ambiente. Naturalmente se observa que a tendência é do calor passar do corpo quente para o corpo frio, mas para manter um sistema refrigerado tem-se de realizar o segundo princípio da termodinâmica, onde o fluxo de calor precisa estar no sentido contrário. A possibilidade dessa inversão é apenas através do consumo de energia, podendo ser mecânica, calorífica ou elétrica (MARTINELLI, 2003).

De acordo com Frota e Schiffer (2000, p. 31) as trocas térmicas “advêm de uma das duas condições básicas: existência de corpos que estejam a temperaturas diferentes” e a “mudança de estado de agregação”. A nomenclatura utilizada para o calor envolto nestes mecanismos de troca é calor latente (COSTA, 1974, p. 155; PANATO, 2015).

2.1. TROCAS SECAS

Os mecanismos de trocas secas envolvem uma variação de temperatura e são divididos em convecção, condução e radiação. A convecção é a troca de calor entre um sólido e outro um fluido, onde o fluido pode ser um líquido ou um gás. É ocasionado a partir do movimento relativo das partículas do fluido gerado pela diferença da pressão. Ao o fenômeno receber uma agitação na massa fluida, como por exemplo, a velocidade do ar em superfícies planas, ocasiona-se uma intensificação da troca térmica (figura 1) conhecida como convecção forçada (COSTA, 1974; FROTA; SCHIFFER, 2000).

Figura 1 – Variação do coeficiente de convecção com a velocidade do ar



Fonte: Frota e Schiffer (2000, p. 33)

A condução ocorre quando há vários corpos intimamente em contato ou no mesmo corpo com diferentes temperaturas, sem haver o deslocamento de materiais no corpo. As moléculas dos corpos se encontram em movimento vibratório, que se intensifica com o aumento da temperatura. Como os corpos transmitem energia calorífica por radiação, semelhantes à luz, a transmissão de calor será “entre dois corpos de temperaturas diferentes, imersos em um mesmo meio mais ou menos transparente a esta espécie de radiação.” (COSTA, 1974, p. 67). Isto ocorre por causa na natureza eletromagnética da energia, que no momento que é absorvida ocasiona efeitos térmicos, não necessitando ser propagado através de meios, ocorrendo até mesmo no vácuo (FROTA; PIRANI, 2006; MARTINELLI, 2003; SCHIFFER, 2000).

Como apresentado às trocas térmicas secas sofre total influencia da variação de temperatura, algo divergente com as trocas térmicas úmidas que se envolvem com a água.

2.2. TROCAS TÉRMICAS ÚMIDAS

Este mecanismo de troca de calor advém das mudanças de estado da água, da troca do estado líquido para o estado de vapor e do estado de vapor para o estado líquido. Os mecanismos são a evaporação e a condensação. A evaporação ocorre a partir da mudança do estado líquido para o estado gasoso, algo que despende muita energia. A evaporação depende do estado higrométrico do ar e da sua velocidade, pois isto é o que determina a mudança de estado do líquido para o gasoso (ALVES, 2007; MARTINELLI, 2003).

Frota e Schiffer (2000, p. 36) dizem que “o ar tem capacidade de conter apenas certa quantidade de vapor d’água, inferior ou igual a um máximo denominado peso do vapor saturante.”. Há então a relação entre o peso de vapor d’água contido no ar, a certa temperatura, e o peso de vapor saturante do ar à mesma temperatura (COSTA, 1974; FROTA; SCHIFFER, 2000).

A condensação é o estado reverso da evaporação, onde ocorre a mudança do estado gasoso para o estado líquido. Quando o ar excede o vapor d’água este se condensa, pois o grau de higrométrico já superou o 100%, e a temperatura em que se encontra é definida como o ponto de orvalho. Tanto a evaporação quanto a condensação despendem energia para que seja possível a mudança de estado, a média de energia necessária é de 700 Joules (COSTA, 1974, p. 36; MARTINELLI, 2003, p. 53).

2.3. CICLO PADRÃO DE REFRIGERAÇÃO

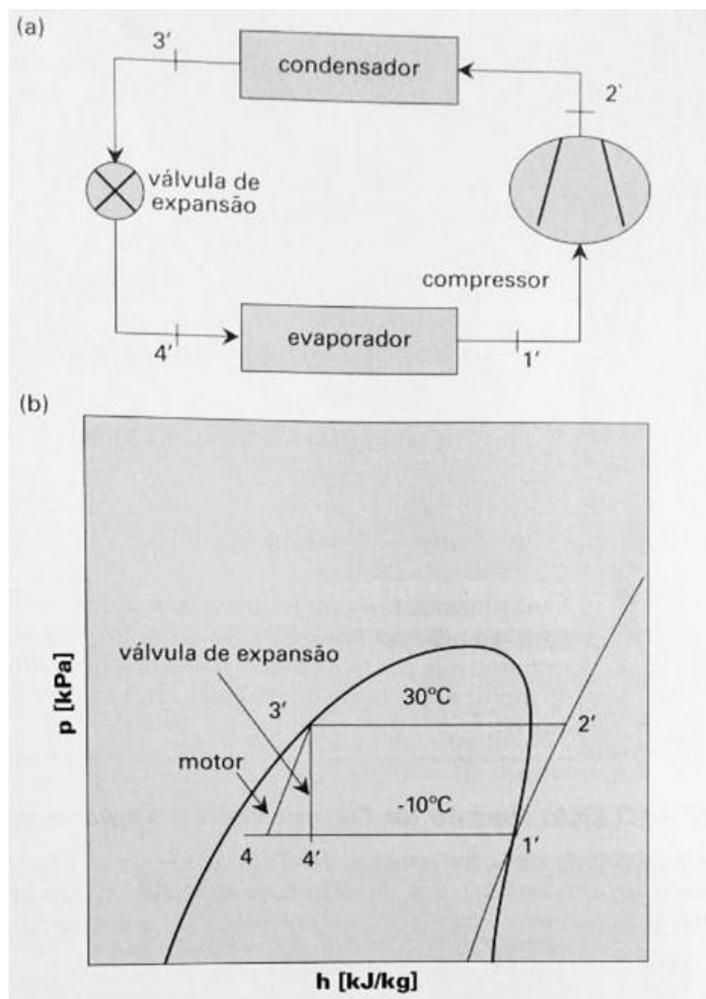
O processo de refrigeração consiste em fazer que um fluido refrigerante passe por diversos processos até que este retorne ao seu estado inicial. Desse modo é possível manter o fluido em um processo de ciclo com a sua mudança do estado líquido para o estado gasoso e vice-versa. A água e o ar são os refrigerantes mais comuns a serem utilizados nesses ciclos, no entanto há refrigerantes utilizados que cumprem com alguma exigência do sistema (VENTURINI; PIRANI, 2005; STOECKER; JABARDO, 2002).

O ciclo de refrigeração Carnot se destaca entre os outros ciclos frigoríficos existentes, por se tratar de um ciclo ideal (reversível) onde “opera entre dois níveis de temperatura e, portanto, aquele que apresenta a maior eficiência.” (STOECKER;

JABARDO, 2002, p. 19). O ciclo Carnot não é possível ser realizado na prática, mas com o seu estudo pode-se avaliar a influência das temperaturas de operação (ALVES, 2007; VENTURINI; PIRANI, 2005; STOECKER; JABARDO, 2002).

No entanto para uma avaliação do rendimento real de um sistema de refrigeração se utiliza do Ciclo Padrão (Ciclo Teórico), pois este é um ciclo que apresenta processos mais próximos do real. Abaixo temos os seguintes processos do Ciclo Padrão (figura 2):

Figura 2 – Ciclo Padrão de Compressão a Vapor



Fonte: Frota e Schiffer (2000, p. 33)

- 1-2 compressão isentrópica até a pressão de condensação;
- 2-3 redução da temperatura do vapor seguida de condensação até líquido saturado a pressão constante;

3-4 expansão isoentálpica até a pressão de evaporação no dispositivo de expansão;

4-1 evaporação até o estado de vapor saturado a pressão constante (STOECKER; JABARDO, 2002, p. 40; YAMANE, 1986).

Na figura 2 é observado os componentes que resultam em cada etapa do processo, o autor Stoecker e Jabardo (2002), citam que neste ciclo houve a substituição do motor térmico por um dispositivo de expansão resultando na diferenciação desse ciclo.

A compreensão de cada estado representativo do Ciclo Padrão permite que os engenheiros de refrigeração avaliem melhor a vazão de refrigerante e a vazão volumétrica, além de estimar as pressões e temperaturas. Esses fundamentos é o que proporcionam o planejamento de projetos de condicionamento de ar e a melhor compreensão dos componentes presentes no sistema de refrigeração industrial (ALVES, 2007; MARTINELLI, 2003; VENTURINI; PIRANI, 2005).

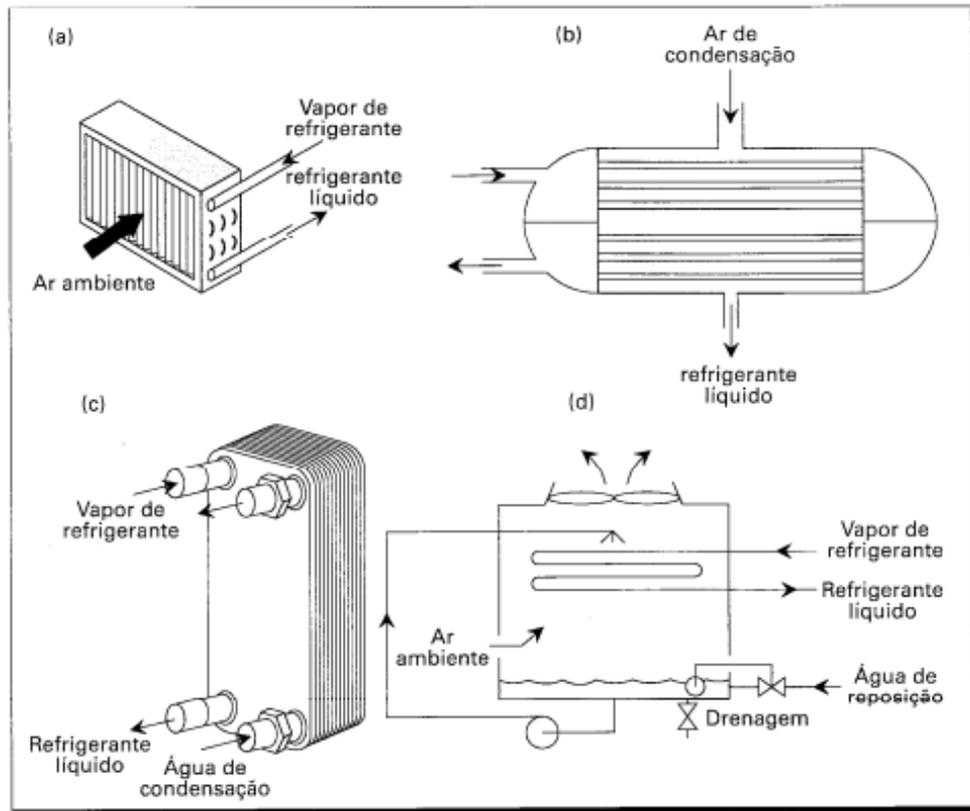
3. COMPONENTES DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

O sistema de refrigeração industrial possui uma variedade de componentes. Cada qual possui objetivos distintos para cumprir dentro do sistema de refrigeração, e se subdividem em trocadores de calor, evaporadores, dispositivos de expansão, válvulas de expansão e compressores.

3.1. TROCADORES DE CALOR

A transferência de calor eficiente de um meio para o outro é realizada por trocadores de calor. Tendo como objetivo central transferir o calor de um fluido para outro. Os componentes que realizam esta troca de calor entre os fluidos são chamados de condensador. Onde estes se subdividem em pelo menos três tipos básicos de condensadores. Sendo: resfriado a ar, resfriado a água e evaporativo. Todos ilustrados na figura 3 abaixo (MARTINELLI, 2003; SALVADOR, 1999; STOECKER; JABARDO, 2002; VENTURINI, 2005).

Figura 3 – Tipos de condensadores: (a) resfriado a ar; (b) resfriado a água tipo carcaça-tubos; (c) resfriado a água tipo placas; (d) evaporativo



Fonte: Stoecker e Jabardo (2002, p. 189)

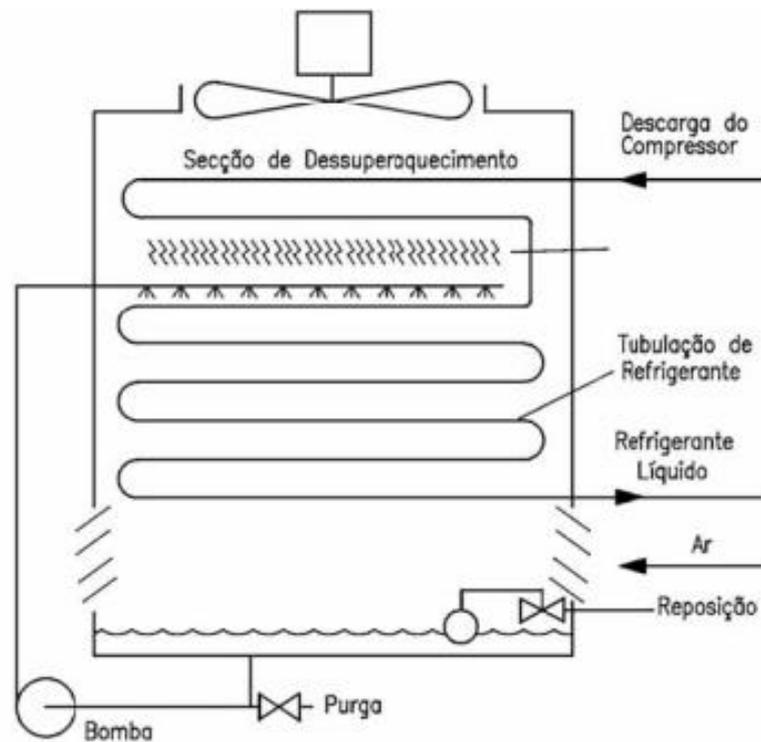
No setor industrial o condensador mais utilizado é do tipo evaporativo. Além disso, outro ponto que o setor industrial se destaca é a instalação em paralelo dos condensadores, algo que é pouco utilizado nos outros segmentos de refrigeração (MARTINELLI, 2003; SALVADOR, 1999; STOECKER; JABARDO, 2002; VENTURINI, 2005).

Um condensador evaporativo se assemelha com uma torre de resfriamento, por causa das suas características construtivas. Stoecker e Jabardo (2002) descrevem o processo de troca de calor da seguinte maneira: “O calor rejeitado pelo refrigerante é transferido sucessivamente à água e ao ar ambiente, que é, em última análise, o meio de resfriamento.”. Quando se utiliza a água de um poço, lago ou um rio, normalmente o ar não é utilizado (MARTINELLI, 2003; SALVADOR, 1999; STOECKER; JABARDO, 2002; VENTURINI, 2005).

No momento em que o fluido é admitido no condensador este se encontra no mesmo estado de gás quente e a alta pressão, logo após de ter saído do compressor. De acordo com Júnior (2003) este processo é preciso pois, o “objetivo é

evaporar o refrigerante (para resfriar calor de um ambiente e/ou produto), o refrigerante no estado gasoso deve ser condensado antes de retornar ao evaporador.". Esse processo de trocador de calor destitua-se de três fases: (1) Dessuperaquecimento, (2) Condensação e (3) Sub-Resfriamento. Todo este processo citado encontra-se ilustrado na figura 4 e 5 (MARTINELLI, 2003; SALVADOR, 1999; STOECKER; JABARDO, 2002; VENTURINI, 2005).

Figura 4 – Representação do Condensador Evaporativo



Fonte: Venturini (2005, p. 113)

Figura 5 – Condensador Evaporativo

Fonte: Júnior (2003, p. 71)

O consumo total de água desse tipo de condensador é da ordem de 8,8 a 12,1 l/h por tonelada de refrigeração. Os condensadores evaporativos são escolhidos pela sua diferença de 10 a 15°C, entre a temperatura de condensação e a temperatura de bulbo úmido do ar que entra no condensador. As menores diferenças de temperatura irão resultar um menor consumo de potência, pois a temperatura de condensação será mais baixa (MARTINELLI, 2003; SALVADOR, 1999; STOECKER; JABARDO, 2002; VENTURINI, 2005).

3.2. EVAPORADORES

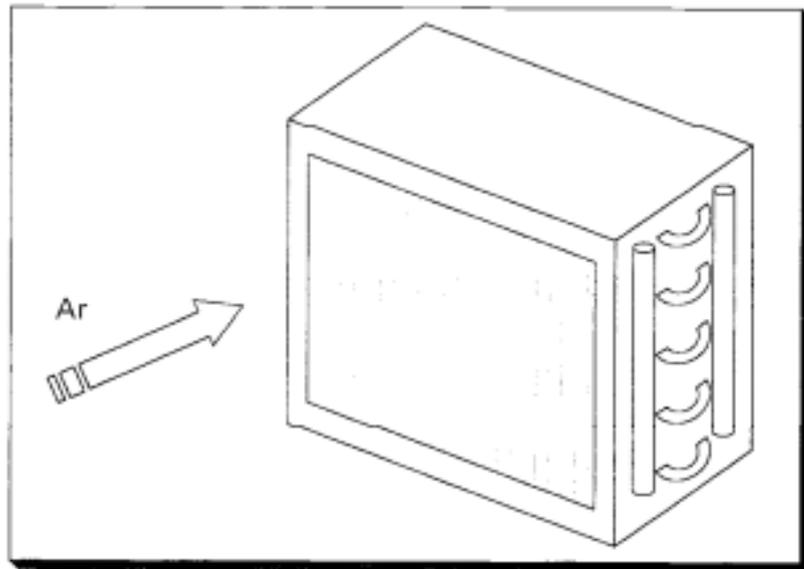
É no evaporador (figura 6) que a mudança de estado do fluido acontece, saindo do estado líquido para o estado gasoso. É conhecido também como serpentina de resfriamento, resfriador de unidade, serpentina de congelamento, congelador, dentre outros. Mesmo que o evaporador se apresente como um componente extremamente simples, este é considerado um dos mais importantes. O sistema de refrigeração se baseia exclusivamente em retirar o calor de alguma substância, assim tal ação é realizada pelos evaporadores no momento em que absorvem o calor (SALVADOR, 1999; STOECKER; JABARDO, 2002; VENTURINI, 2005; JÚNIOR, 2003).

Podem-se destacar alguns pontos em que os evaporadores devem apresentar para que estes cumpram com os seus principais objetivos:

- (1) Ter uma superfície suficiente para absorver a carga de calor necessária, sem uma diferença excessiva de temperatura entre o refrigerante e a substância a resfriar.
- (2) Deve apresentar espaço suficiente para o refrigerante líquido e também espaço adequado para que o vapor do refrigerante se separe do líquido.
- (3) Ter espaço suficiente para a circulação do refrigerante sem queda de pressão excessiva entre a entrada e a saída. (JÚNIOR, 2003, p. 74).

O evaporador mais utilizado no passado era o de carcaça-tubos, no entanto atualmente os evaporadores que se destacam são os de placas (figura 7). Estes apresentam melhor desempenho térmico, o que ocasiona a diminuição do seu tamanho, diferente do de carcaça-tubos que apresenta um tamanho relativamente maior (MARTINELLI, 2003; SALVADOR, 1999).

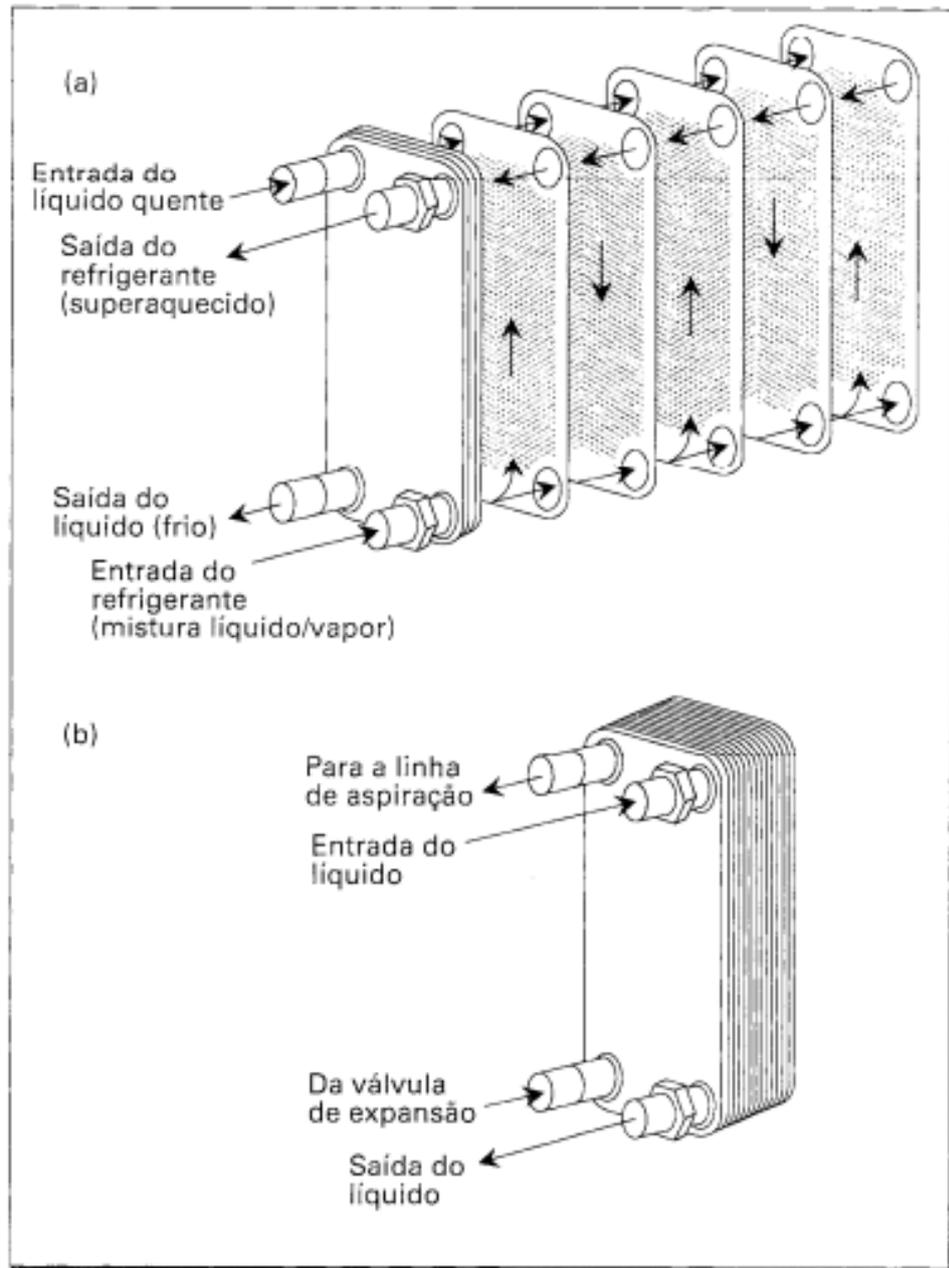
Figura 6 – Representação esquemática de uma serpentina



Fonte: Stoecker e Jabardo (2002, p. 113)

Mas ainda apresentam problemas como excessiva perda de carga e distribuição inadequada de refrigerante (MARTINELLI, 2003; SALVADOR, 1999; STOECKER; JABARDO, 2002; VENTURINI, 2005).

Figura 7 – Representação esquemática de um evaporador de placas



Fonte: Stoecker e Jabardo (2002, p. 114)

Na refrigeração industrial podem-se destacar os refrigeradores de líquidos mais usuais, e para que a escolha do melhor seja adequado ao sistema de refrigeração projetado, é preciso primeiramente analisar os dispositivos de expansão

associados, a capacidade usual e por fim os tipos de refrigerantes utilizados. Na figura 8 há a demonstração dos evaporadores mais utilizados na indústria de refrigeração (MARTINELLI, 2003; STOECKER; JABARDO, 2002; VENTURINI, 2005).

Figura 8 – Características de resfriadores de líquido de uso comum na indústria frigorífica

Tipo	Dispositivo de expansão associado	Capacidade usual [kW]	Refrigerantes
Carcaça-tubos/ inundado	Bóia de baixa pressão Bóia de alta pressão Orifício fixo	90 a 7000	R-11, R-12, R-22, R-113, R-114, R-123, R-134a, R-500, R-502, Amônia
Carcaça-tubos/ película descendente	Bóia de baixa pressão Bóia de baixa pressão	180 a 35.000	R-11, R-12, R-13B1; R-22, R-113, R-114, R-123, R-134a, Amônia
Carcaça-tubos/ expansão direta	VET* Válvula eletrônica	7 a 3.500	R-12, R-22, R-134a, R-500, R-502, Amônia
Boudelot inundado	Bóia de baixa pressão	35 a 350	R-22 e Amônia
Boudelot expansão direta	VET	18 a 90	R-12, R-22, R-134a, Amônia
Tubos concêntricos	VET	18 a 90	R-12, R-22, R-134a, Amônia
Carcaça/ serpentina	VET	7 a 35	R-12, R-22, R-134a, Amônia
Placas brazado e soldado	VET Orifício fixo	2 a 7000	R-12, R-22, R-134a, R-500, R-502, Amônia

* VET – Válvula de Expansão Termostática

Fonte: Stoecker e Jabardo (2002, p. 115)

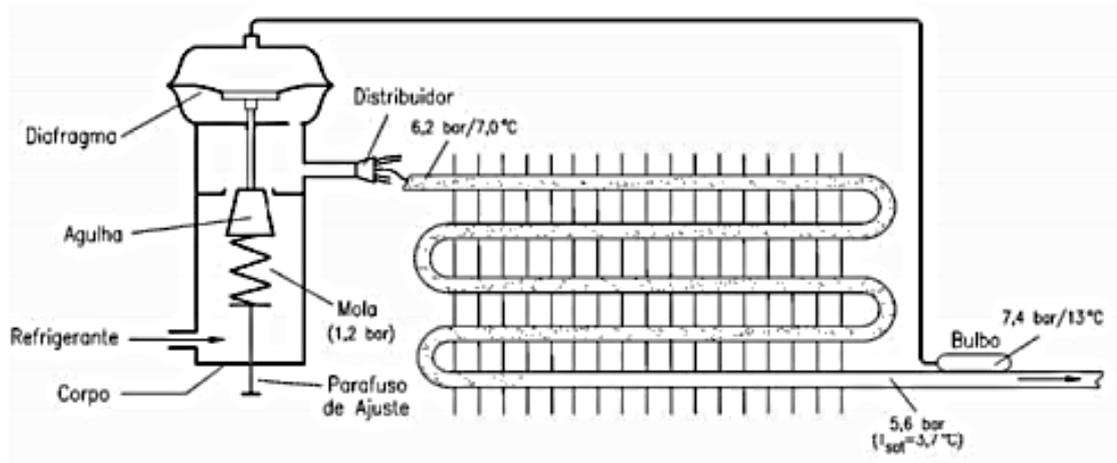
Com base nas informações citadas é possível realizar uma análise econômica para a seleção do evaporador mais adequado para a instalação e utilização na refrigeração industrial.

3.3. DISPOSITIVOS DE EXPANSÃO

Em um sistema de refrigeração, um dispositivo de expansão é instalado no evaporador, e que 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.” (VENTURINI, 2005, p. 129), satisfazendo assim a carga térmica aplicada no mesmo. As válvulas mais comuns utilizadas são a manual, automática, de bóia, elétrica e termostática (MARTINELLI, 2003; VENTURINI, 2005).

Neste trabalho há o destaque na válvula de expansão termostática (figura 9) por ser mais utilizada em sistemas de refrigeração de expansão direta. Esta apresenta as vantagens de possuir alta eficiência e pela sua pronta adaptação a qualquer tipo de aplicação (MARTINELLI, 2003; VENTURINI, 2005).

Figura 9 – Válvula de expansão termostática (equalização interna)



Fonte: Venturini (2005, p. 132)

O processo se constitui em reduzir a pressão do refrigerante quando este passa através do orifício da válvula, sendo reduzida até a pressão de vaporização. O refrigerante líquido escoar através do distribuidor e dos tubos do evaporador, vaporizando-se à medida que recebe calor. Em determinada posição ao longo do comprimento dos tubos, todo o refrigerante líquido já se vaporizou. A partir desse ponto, qualquer fluxo adicional de calor provocará aumento da temperatura do

refrigerante. Assim, quando alcança a saída do evaporador, o refrigerante apresenta pequeno grau de superaquecimento, com relação à temperatura de saturação, para a pressão de vaporização. (VENTURINI, 2005, p. 131).

3.4. COMPRESSORES

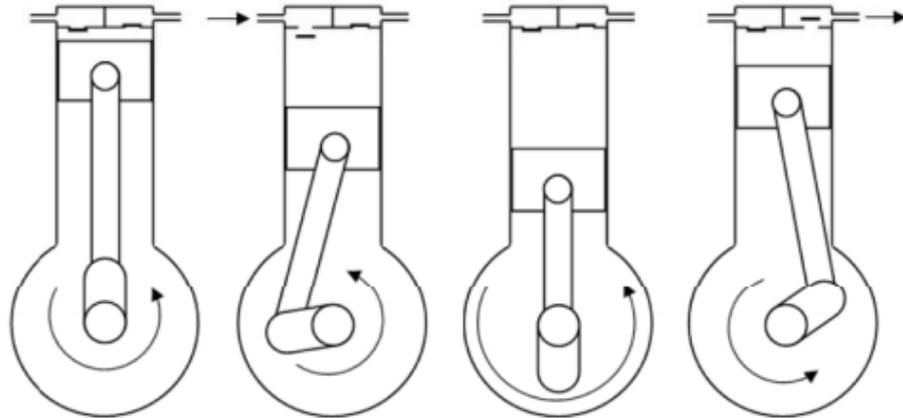
Na industrial de refrigeração os compressores são diversificados como, por exemplo, compressores alternativos, compressores rotativos de parafuso e de palhetas e centrífugos. No entanto desses os que possuem capacidade de até 1.000 kW são os alternativos e os rotativos de parafuso, ou simplesmente parafuso (MARTINELLI, 2003; STOECKER; JABARDO, 2002; VENTURINI, 2005).

A função de um compressor é aumentar a pressão do fluido refrigerante e promover a circulação desse fluido no sistema. A escolha do compressor depende exclusivamente da capacidade da instalação que pode ser dividida, em termos de temperatura de vaporização e do fluido frigorífico utilizado (MARTINELLI, 2003; STOECKER; JABARDO, 2002; VENTURINI, 2005).

Os compressores alternativos são os mais usuais e “encontram-se em estágio de desenvolvimento bastante avançado e são amplamente utilizados em sistemas de pequena e média capacidade.” (VENTURIN, 2005, p. 79). Em sistemas de refrigeração industrial o refrigerante mais utilizado é o R-717 (amônia) (MARTINELLI, 2003; STOECKER; JABARDO, 2002; VENTURINI, 2005).

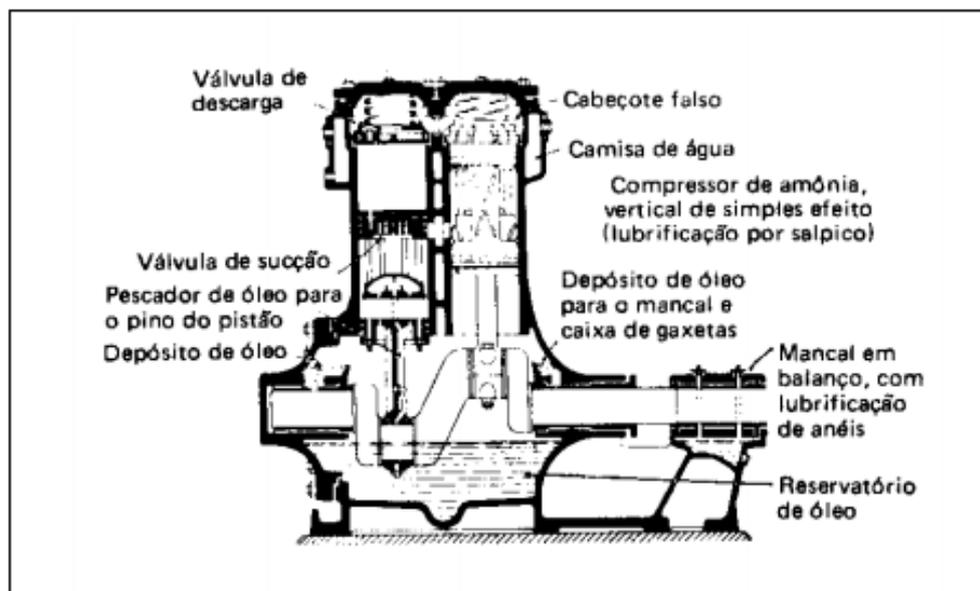
A representação de um compressor alternativo esta esquematizado na figura 10 e 11.

Figura 10 – Princípio de funcionamento de um compressor alternativo



Fonte: Venturini (2005, p. 132)

Figura 11 – Compressor alternativo aberta



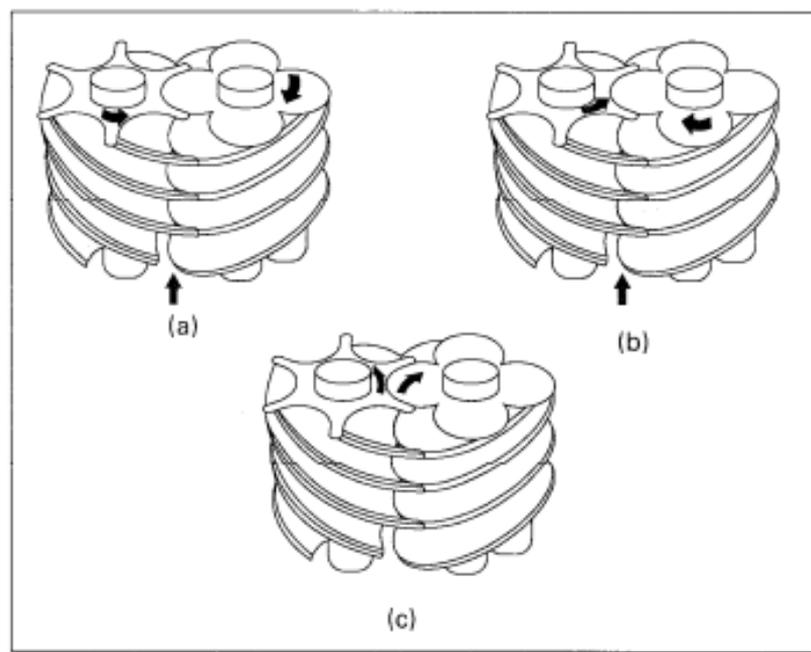
Fonte: Júnior (2003, p. 98)

O processo acontece com a expansão do êmbolo, gás refrigerante é aspirado pela válvula de admissão, localizada no êmbolo ou no cabeçote. O êmbolo comprime o refrigerante, empurrando-o para fora da através da válvula de descarga,

localizada no cabeçote do cilindro (ALVES, 2007; STOECKER; JABARDO, 2002; VENTURINI, 2005).

O funcionamento do compressor de parafuso se resume em duas seções transversais de dois tipos de elementos rotativos. O gás entra pela parte superior e deixa o compressor pela parte inferior, como observado na figura 12. Na figura 12 (a), o refrigerante já penetrou os espaços vazios entre dois lóbulos adjacentes. À medida que os rotores giram o gás a região de entrada, começando a ser comprimido pelo encaixe do lóbulo do rotor macho na reentrância do rotor fêmea (ALVES, 2007; ALVES; RODRIGUES, 2017).

Figura 12 – Compressor parafuso



Fonte: Stoecker e Jabardo (2002, p. 94)

A etapa final (c) ocorre quando o gás atinge a região de saída, sendo então descarregado. O desempenho do compressor parafuso é avaliado a partir da relação do volume na cavidade quando a abertura de entrada se fecha, com o volume na cavidade quando a abertura de descarga é descoberta (STOECKER; JABARDO, 2002; VENTURINI, 2005).

4. APLICAÇÕES DA REFRIGERAÇÃO NO SETOR INDUSTRIAL

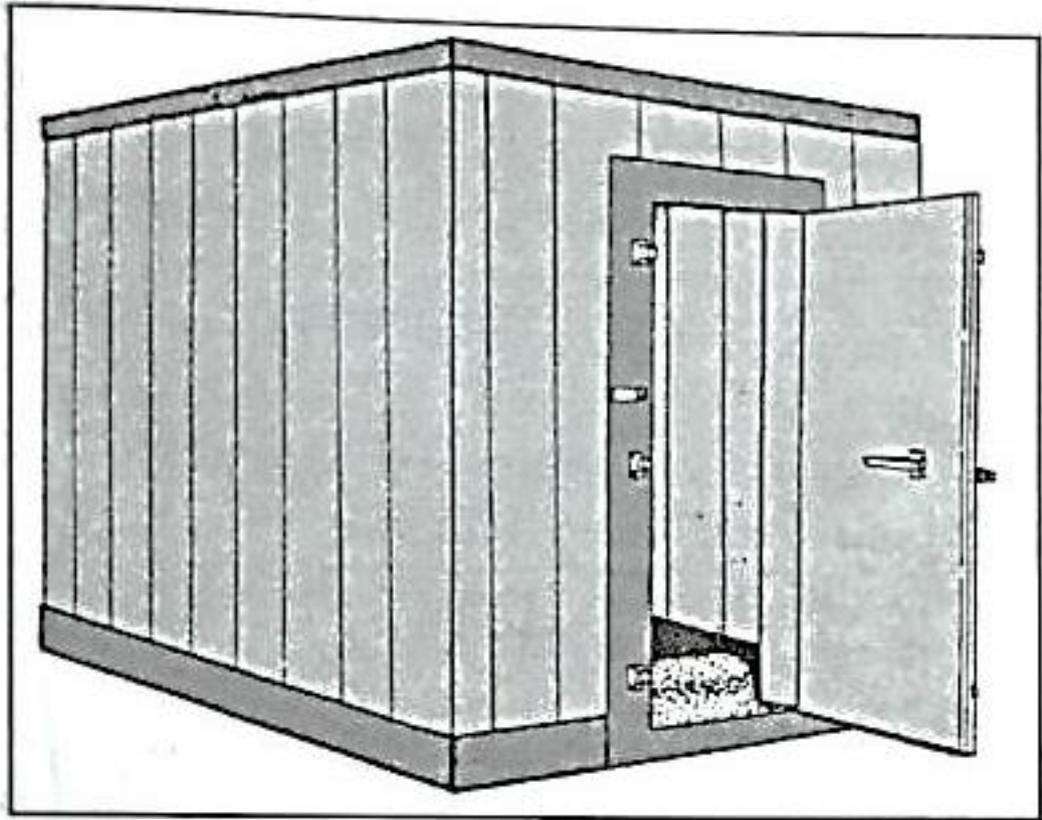
A refrigeração residencial e comercial possuem algumas diferenças da refrigeração industrial. Alguns componentes do sistema são diferentes e também os objetivos do condicionamento de ar. Conhecer tais diferenças possibilita aplicar os corretos conceitos para cada setor (SALVADOR, 1999; VENTURINI, 2005).

4.1. REFRIGERAÇÃO COMERCIAL

Na refrigeração comercial há o grande uso de câmaras frigoríficas que geralmente são utilizados para armazenar grande quantidade de alimentos ou produtos químicos. Utiliza-se desse tipo de refrigeração os supermercados, hotéis, restaurantes, açougues e até mesmo a indústria. Pode-se fabricar em alvenaria ou em painéis-moldados, seguindo as necessidades do produto. Podendo também ser fixos ou desmontáveis. De acordo com Silva e Silva (2007) a câmara pode possuir antecâmara ou cortina de ar, dependendo do produto, estocagem e as temperaturas de conservação (armazenagem) (SALVADOR, 1999; SILVA; SILVA, 2007).

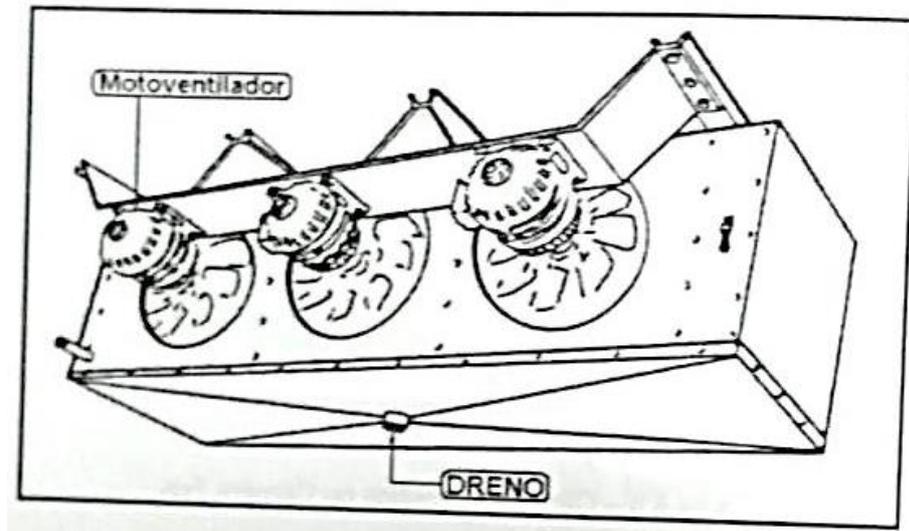
As temperaturas de conservação definem-se em Câmara de Resfriados ou como Câmara de Congelados (figura 13). A antecâmara é necessária para evitar a entrada de calor externo conduzido pelo ar externo e para conseguir uma temperatura média entre as temperaturas da câmara e do ar externo (SILVA; SILVA, 2007).

Figura 13 – Câmara Frigorífica ou Câmara Fria



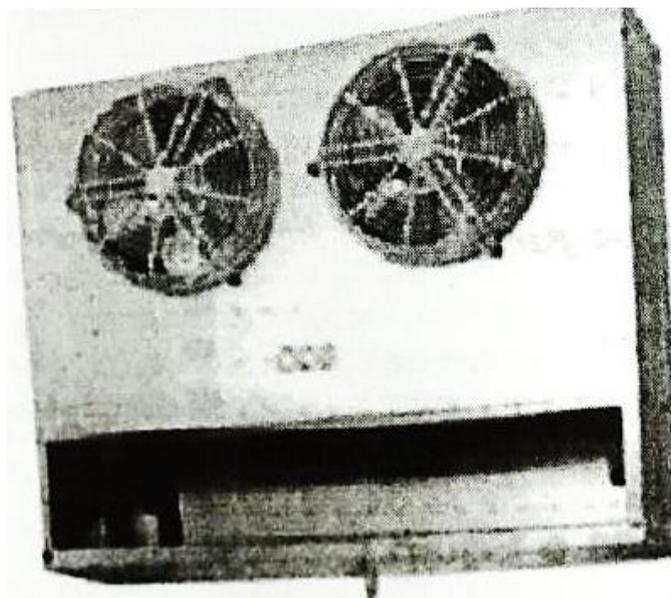
Fonte: Silva e Silva (2007, p. 157)

O evaporador retira o calor do ar interno da câmara frigorífica e transfere para o fluido refrigerante. Logo os produtos ou alimentos serão resfriados ou congelados por perdendo calor para o ar interno. A figura 14 ilustra um evaporador de teto enquanto que a figura 15 ilustra um evaporador de parede (SALVADOR, 1999; SILVA; SILVA, 2007).

Figura 14 – Evaporador de teto

Fonte: Silva e Silva (2007, p. 158)

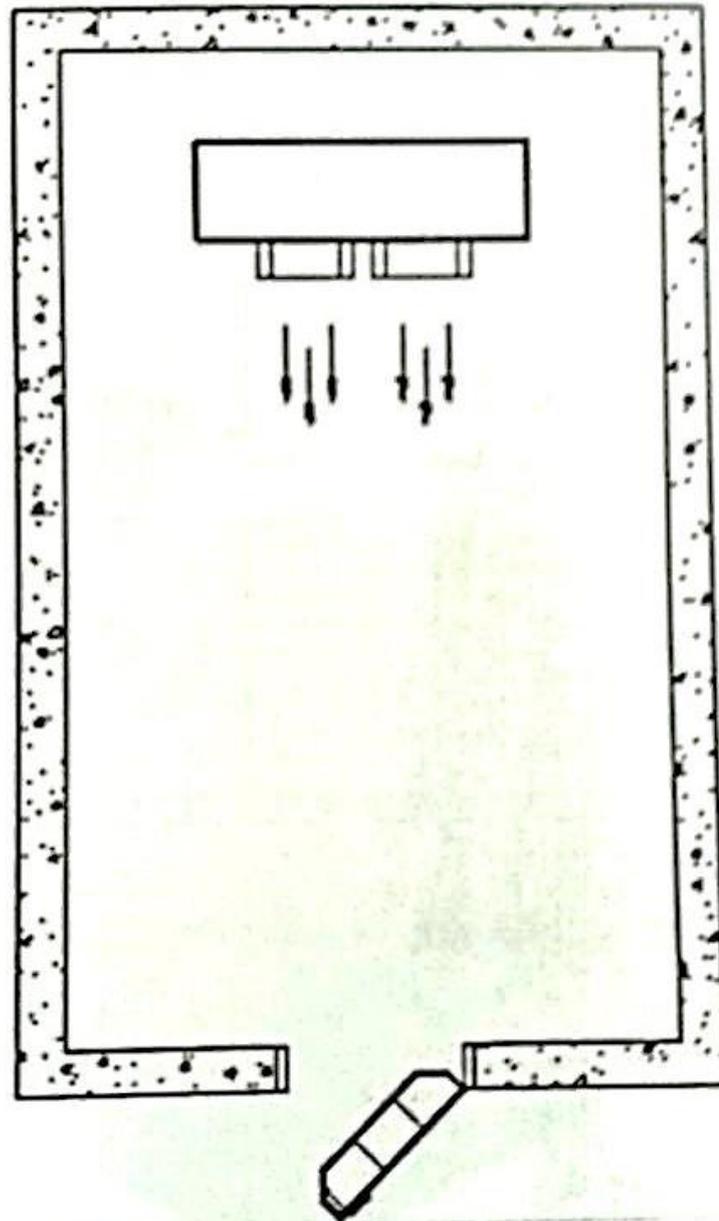
Dependendo do projeto o evaporador pode ser do tipo de teto ou do tipo de parede. A escolha depende do layout em que os produtos se encontram distribuídos dentro da câmara fria.

Figura 15 – Evaporador de parede

Fonte: Silva e Silva (2007, p. 158)

Em alguns casos é preciso instalar um número maior de evaporadores, assim deve-se disponibiliza-los em locais adequados dentro da câmara frigorífica, como ilustrado nas figuras 16, 17 e 18 (MARTINELLI, 2003; SILVA; SILVA, 2007).

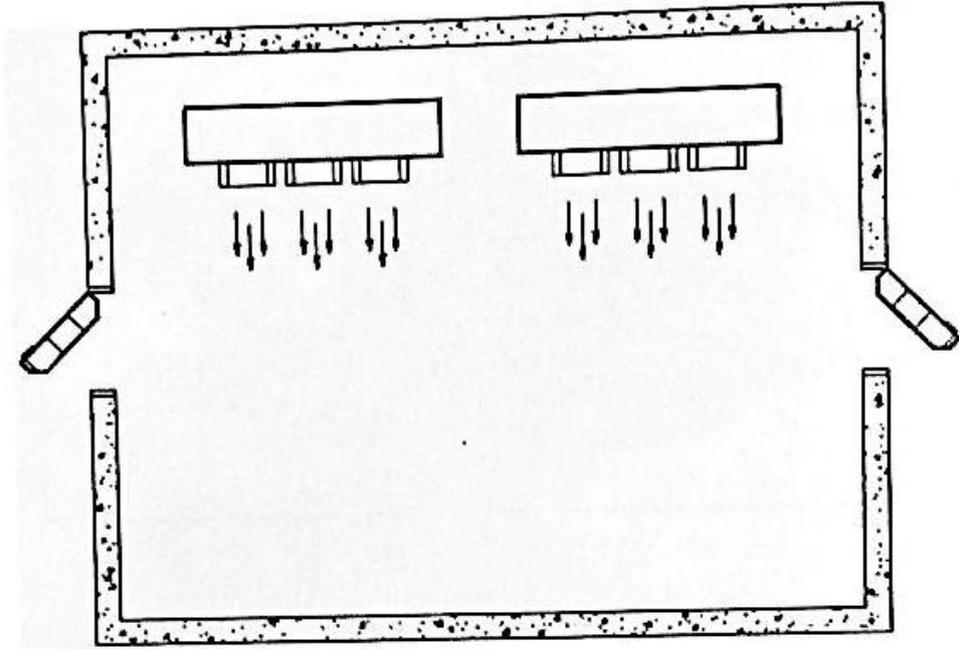
Figura 16 – Exemplo de instalação de um Evaporador (vista superior)



Fonte: Silva e Silva (2007, p. 159)

A figura 17 a seguir demonstra a utilização de dois evaporadores em uma câmara fria com duas portas laterais. Sendo que os evaporadores se encontram de frente com a parede oposta.

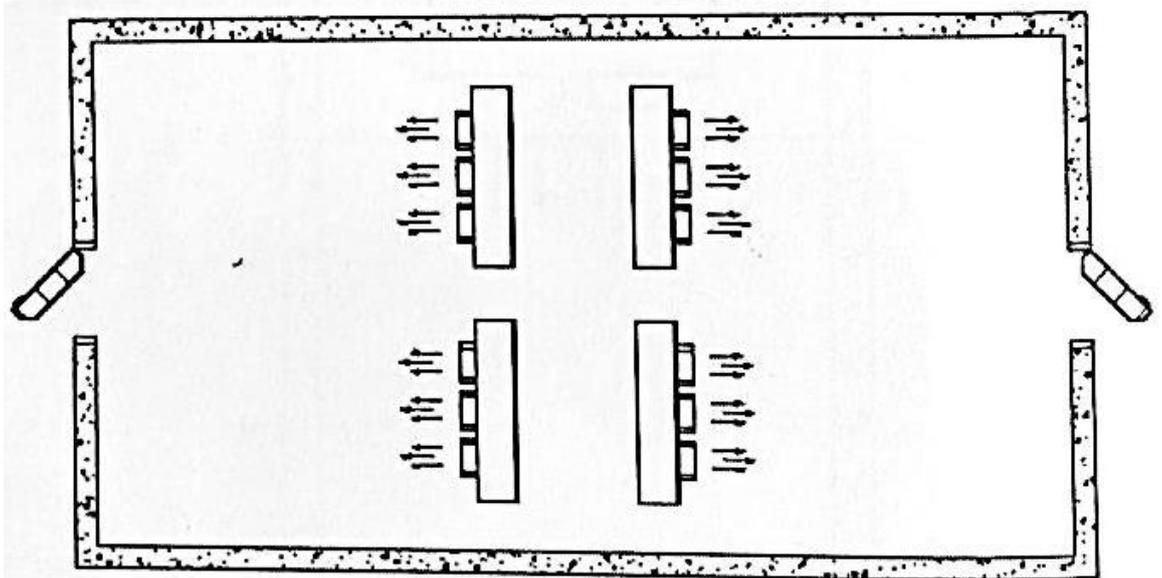
Figura 17 – Exemplo de instalação de dois Evaporadores (vista superior)



Fonte: Silva e Silva (2007, p. 159)

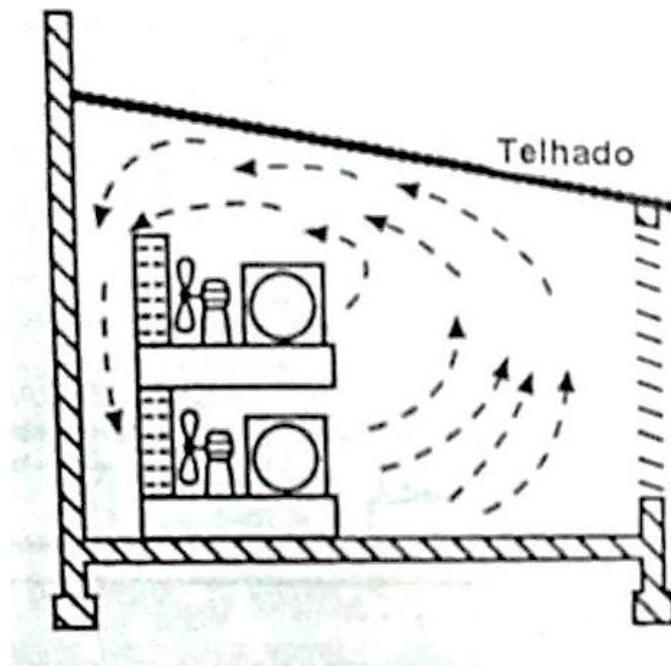
A figura 18 a seguir demonstra a utilização de quatro evaporadores em uma câmara fria com duas portas também nas laterais, no entanto os evaporadores se encontram em posição oposta entre si.

Figura 18 – Exemplo de instalação de quatro Evaporadores (vista superior)



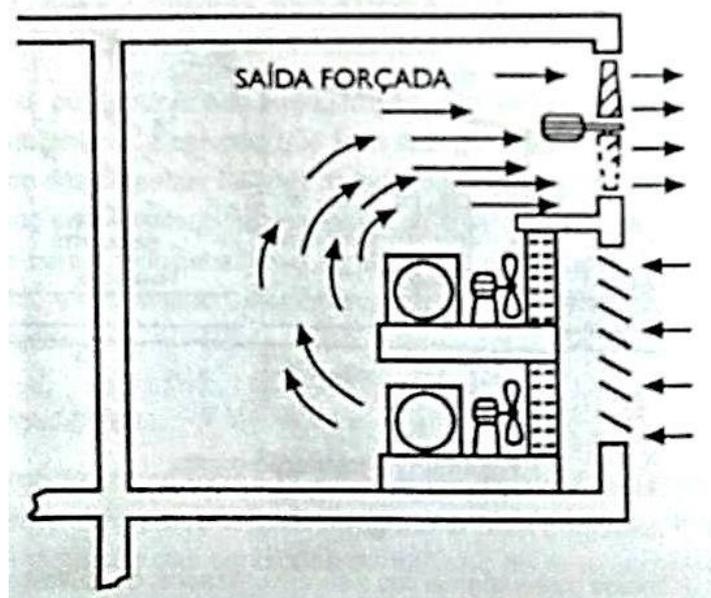
Fonte: Silva e Silva (2007, p. 159)

Na câmara fria é comum haver o conjunto de compressor e condensador, este conjunto é nomeado como Unidade Condensadora. Para a instalação das unidades condensadoras é preciso nivelar o piso, manter o ambiente limpo e retirar do ambiente tudo que possa comprometer a circulação do ar pelo condensador e com espaço suficiente para a manutenção. Importante ressaltar que há o meio correto para a instalação, para que haja a correta troca do ar interno com o ar externo (figura 19 e 20) (COSTA; 1974; SILVA; SILVA, 2007).

Figura 19 – Instalação incorreta

Fonte: Silva e Silva (2007, p. 163)

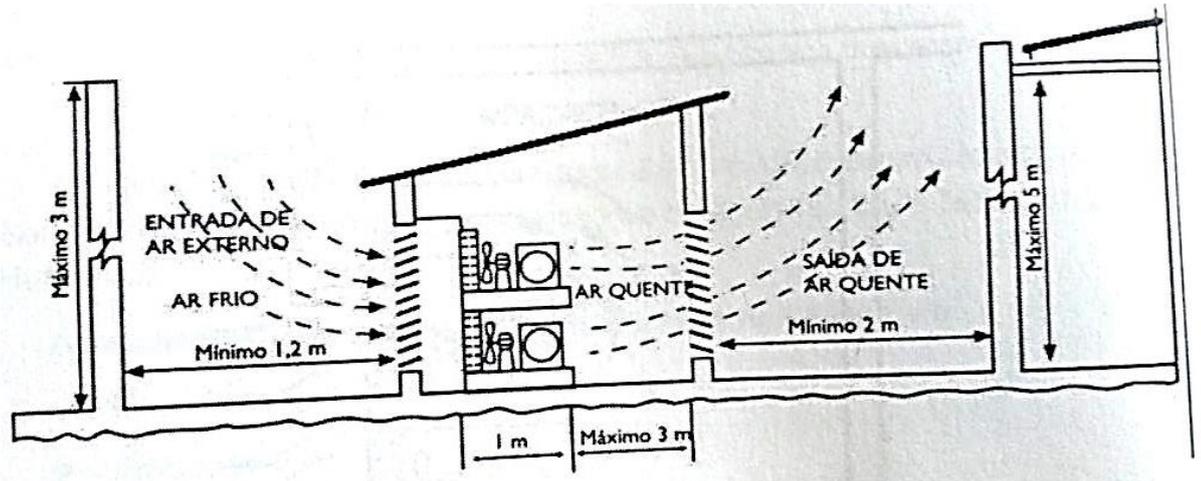
Na instalação correta o ar interno e externo circula livremente dentro da câmara fria, realizando normalmente o fluxo de ar, ao contrário da figura 19 que não há a troca constante do ar.

Figura 20– Instalação correta

Fonte: Silva e Silva (2007, p. 163)

Observa-se na figura 21 que o ar quente interno é retirado pela lateral direita, e o fluxo de externo realiza a entrada para o ar frio.

Figura 21– Instalação correta



Fonte: Silva e Silva (2007, p. 163)

As faixas de temperaturas de evaporação para a refrigeração comercial são: (1) Baixa temperatura para congelados (-40°C a -20°C), (2) Média temperatura para resfriados (-15°C a -10°C) e (3) Alta temperatura para resfriados (-5°C a $+2^{\circ}\text{C}$). As unidades de condensadoras se subdividem de acordo com o tipo de motocompressor. Podendo ser Hermético, semi-hermético e hermético scroll (COSTA; 1974; SILVA; SILVA, 2007).

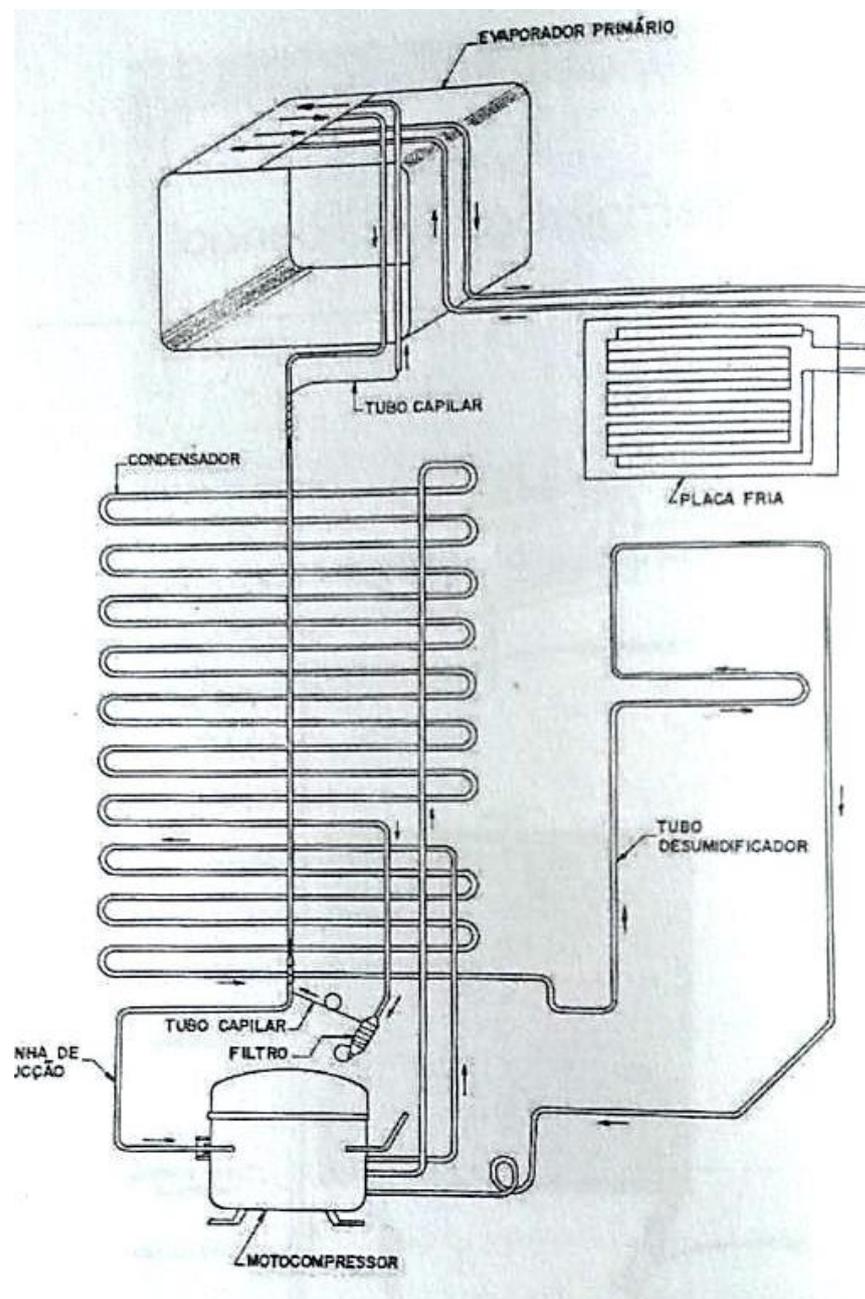
A escolha do local para a instalação é de mera importância, pois a incorreta instalação provocará o mau funcionamento. De acordo com Silva e Silva (2007) “é indispensável o espaço para a ventilação, entrada e saída de ar com qualidade e quantidade suficiente para que o condensador consiga executar essa troca de calor.” (COSTA; 1974; MARTINELLI, 2003 SILVA; SILVA, 2007).

4.2. REFRIGERAÇÃO RESIDENCIAL

Na refrigeração comercial há os refrigeradores e freezers como os maquinários mais conhecidos e utilizados. A sua função é manter os alimentos em temperaturas adequadas para a sua boa conservação (COSTA; 1974; SILVA; SILVA, 2007).

Os componentes de um refrigerador são basicamente os mesmos da refrigeração industrial, no que se difere em tamanho e eficiência. Claramente o sistema possui menos componentes que a refrigeração industrial ou até mesmo da comercial, mas os princípios de troca de calor são basicamente os mesmos. Na figura 22 há a ilustração dos principais componentes de um refrigerador (COSTA; 1974; SILVA; SILVA, 2007).

Figura 22– Circuito Frigorígeno ou Sistema de refrigeração de um Refrigerador “2 portas”



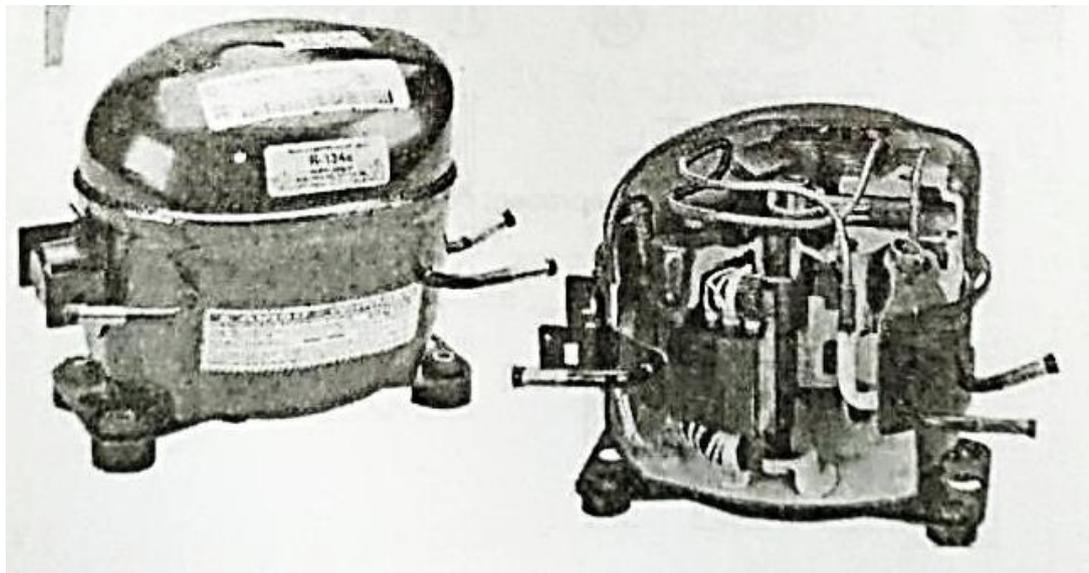
Fonte: Silva e Silva (2007, p. 117)

Nos sistemas domésticos os motocompressores são do tipo hermético. Hermético é o conceito de não poder realizar reparos quando o equipamento apresentar algum defeito. Isto advém por estar totalmente lacrado, impedindo a abertura do mesmo (COSTA; 1974; MARTINELLI, 2003; SILVA; SILVA, 2007).

Muitos tentam realizar a manutenção deste tipo de equipamento, no entanto é uma ação errônea, pois quando aberto o mesmo nunca terá a mesma qualidade e eficiência como anteriormente (COSTA; 1974; MARTINELLI, 2003; SILVA; SILVA, 2007).

O motocompressor hermético se divide em duas partes: o compressor que é a sua parte mecânica e o motor que é a sua parte elétrica. Sendo suspenso por molas este conjunto. Na figura 23 há um exemplo de um motocompressor hermético (COSTA; 1974; MARTINELLI, 2003; SILVA; SILVA, 2007).

Figura 23– Motocompressores Herméticos



Fonte: Silva e Silva (2007, p. 117)

O motocompressor hermético é um dos componentes destinados mais para a refrigeração residencial, os outros componentes mesmo que sejam diferenciados para outros setores da refrigeração, ainda possuem princípios semelhantes (COSTA; 1974; MARTINELLI, 2003; SILVA; SILVA, 2007).

4.3. REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL

O conforto térmico para pessoas é apenas uma aplicação comum para a refrigeração comercial ou residencial. Já a refrigeração industrial o objetivo é garantir as condições requeridas pelo processo. Outros aspectos diferenciais do condicionamento de ar para a refrigeração industrial são o nível de temperatura, o controle de umidade e o elevado índice de filtragem e remoção de contaminantes (ALVES, 2007; MARTINELLI, 2003; STOECKER; JABARDO, 2002; VENTURINI, 2005).

Pode-se dar como exemplo, as indústrias editoriais, têxteis, fibras naturais e manufaturas. São setores que necessitam um controle específico da temperatura e umidade, pois podem afetar o produto. Diversos produtos eletrônicos também requerem que as salas de fabricação permaneçam limpas, pois os circuitos integrados são afetados quando há a presença de partículas no ar (STOECKER; JABARDO, 2002; VENTURINI, 2005).

O controle de temperatura também auxilia nos materiais e instrumentos além de conforto térmico para operadores que trabalham com vestimentas especiais. Na indústria de precisão a temperatura durante o processo de fabricação é importante, pois possibilita que os instrumentos, ferramentas e materiais não sejam afetados pela temperatura (ALVES, 2007; MARTINELLI, 2003; VENTURINI, 2005).

O efeito de conservação de alimentos só será obtido através de uma alta conservação de água em gelo, algo em torno de 80% da água livre do produto. Sendo necessária a correta manutenção desse estado durante a subsequente armazenagem (GEORGE, 1993; SALVADOR, 1999).

O modo como ocorre o congelamento da água afeta a qualidade do produto, pois é o tempo de congelamento que determina o tamanho dos cristais de gelo. A quantidade de água não congelada pode ocasionar a degradação do produto, sendo que a porcentagem de congelamento vem a variar de acordo com a temperatura e do produto a ser congelado (ASHRAE, 1989; SALVADOR, 1999).

Os sistemas futuros estão se adequando para parâmetros mais complexos para manter a qualidade específica do produto. Como modelos de transferências de calor e mudança de fase e deverão oferecer recursos de controle das condições de congelamento em função das características do produto, especificando também as taxas e tempo de congelamento (GEORGE, 1993; SALVADOR, 1999).

Todas as informações a respeito da capacidade de produção e a qualidade que se deseja para o tipo de produto direcionam para a capacidade de dimensionamento de equipamentos e sistemas de refrigeração, referenciando as taxas de energia térmica removidas do sistema (ASHRAE, 1989; GEORGE, 1993; SALVADOR, 1999).

Diversos testes são realizados na indústria e em laboratório que possuem o intuito de determinar a curva de resfriamento e congelamento do produto. O que determina tais parâmetros são a forma, tamanho e embalagem do produto, além do coeficiente de condutibilidade térmica e da temperatura do ar (ASHRAE, 1989; GEORGE, 1993; SALVADOR, 1999).

Contudo a previsão do tempo de congelamento será o determinante para conhecer o custo total do sistema a ser projetado. Este período se relaciona o tempo que o calor leva para deixar o produto por sua superfície, à relação entre a superfície e o peso. Por tais motivos que na indústria os produtos passam por vários testes de congelamento para que seja possível determinar uma curva efetiva de congelamento (GEORGE, 1993; SALVADOR, 1999).

É importante ressaltar que outra característica presente na refrigeração industrial que se difere dos outros tipos de refrigeração é a utilização de sistema de multipressão, onde se utiliza da compressão por vapor com dois ou mais níveis de baixa pressão. Entende-se que baixa pressão é aquela que está presente entre o dispositivo de expansão e da sucção do compressor (ALVES, 2007).

Este sistema de multipressão é comumente encontrado em indústrias de laticínios e em matadouros frigoríficos. Há dois elementos que integram o sistema de multipressão sendo o separador de líquido e o separador-resfriador de líquido (ALVES, 2007; SALVADOR, 1999).

Por fim á diversas vantagens em se utilizar este sistema, principalmente que a “remoção e a recompressão do vapor produzido pela redução de pressão antes de se completar a expansão reduz a potência requerida pelo compressor, para uma mesma capacidade de refrigeração” (ALVES, 2007, p. 142). No entanto para a utilização do sistema é preciso primeiramente realizar uma análise econômica. Pois há fatores a serem levados em consideração, como o refrigerante a ser usado, o tipo do compressor e a capacidade frigorífica do sistema. A redução na potência consumida precisa compensar o custo dos equipamentos adicionais para que possa ser justificado o investimento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os princípios fundamentais da refrigeração se distinguem em mecanismos de troca seca ou troca úmida. Durante um sistema de refrigeração pode-se observar ambos os mecanismos de troca de calor, no entanto a troca úmida ocorre com mais frequência por todo o sistema. O fluido refrigerante específico para o sistema passe por ele realizando ciclos térmicos de evaporação e condensação sendo constantemente reutilizado dentro do sistema.

Em sistemas de refrigeração industrial os componentes estão dentro de padrões específicos para que seja possível que os engenheiros de refrigeração avaliem melhor a vazão de refrigerante e a vazão volumétrica, além de estimar as pressões e temperaturas. Os componentes que se destacam são trocadores de calor, evaporadores, compressores e dispositivos de expansão, sendo que há modelos específicos para que se adequam com a estrutura e objetivo de cada sistema.

Os produtos apresentam exigências a serem seguidas, pede-se que estes sejam adequando dentro de parâmetros mais complexos que viabilizam manter a qualidade específica do produto. Logo o sistema precisa oferecer recursos como componentes mais modernos e atualizados para efetuar um controle das condições de congelamento em função das características do produto. O que resulta em um sistema de multipressão que acelera a eficiência de refrigeração garantindo um controle mais efetivo do sistema.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Miquéias Carlos Rodrigues. **Refrigeração Industrial**. Minas Gerais: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2007.
- ALVES, Nathamy Freitas; RODRIGUES, Stéfanny Guimarães. **Análise da influência de diferentes fluidos refrigerantes no coeficiente de desempenho do ciclo de refrigeração por compressão a vapor ideal**. Rio Verde: Universidade de Rio Verde, 2017.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS- ASHRAE. **Handbook of Equipment**. Atlanta: 1988.
- COSTA, Ennio Cruz da. **Física Aplicada à Construção: Conforto Térmico**. 3. ed. São Paulo: Blücher, 1974.
- FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico**. 4. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2000.
- GEORGE, R. M. **Freezing Processes Used in the Food Industry**. Treds in Food & Technology, vol. 4, p. 134-138, 1993.
- MARTINELLI, Luiz Carlos JR. **Refrigeração**. Panambi: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2003.
- PANATO, Victor Hugo. **Análise experimental da operação de substituição do R22 em sistema de refrigeração operando com compressor scroll**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2015.
- PIRANI, Marcelo José. **Refrigeração e Ar Condicionado: Parte I**. Bahia: Universidade Federal da Bahia, 2006.
- SALVADOR, Francisco. **Projeto de um Sistema de Refrigeração Industrial com 'Set-Point' Variável**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1999.
- SILVA, José de Castro; SILVA, Ana Cristina G. Castro. **Refrigeração e Climatização para Técnicos e Engenheiros**. 1. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2007.
- STOECKER, Wilbert. F.; JABARDO, J. M. **Refrigeração Industrial**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2002.
- VENTURINI, Osvaldo José; PIRANI; Marcelo José. **Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial**. 1. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.
- YAMANE, E. ; SAITO, H. **Tecnologia do Condicionamento de Ar**. 1ª. ed. São Paulo: Editora Edgar Blucher, 1986.