

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS - APMA.1/2019

CAROLINE DA COSTA

REFRIGERAÇÃO A BORDO: ar condicionado

RIO DE JANEIRO
2019

CAROLINE DA COSTA

REFRIGERAÇÃO A BORDO: ar condicionado

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, como parte dos requisitos para obtenção do Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Orientador: Ramesses Cesar da Silva Ramos.

**RIO DE JANEIRO
2019**

CAROLINE DA COSTA

REFRIGERAÇÃO A BORDO: ar condicionado

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, como parte dos requisitos para obtenção do Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data de Aprovação: ____/____/____

Orientador: Ramesses Cesar da Silva Ramos.

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Assinatura do Aluno

Dedico este trabalho à minha querida mãe por sempre me encorajar a buscar novos desafios e estar ao meu lado sempre.

Viver é a coisa mais rara do mundo.
A maioria das pessoas apenas existe.
(Oscar Wilde)

RESUMO

Este trabalho tem como finalidade demonstrar a importância da refrigeração a bordo, assim como seus principais conceitos técnicos, equipamentos constituintes de cada sistema e possíveis problemas comumente frequentes. Um sistema de ar condicionado adequado é fundamental para que haja uma considerável conservação, se inadequado ou mal dimensionado acarretará diminuição a vida útil do equipamento. Para que o ar condicionado contribua perfeitamente para uma resposta positiva do que se espera é fundamental o conhecimento sobre o sistema como um todo por seus operadores.

Palavras-chave: Refrigeração. Climatização. Compressores. Condensadores. Evaporadores. *Chiller*.

ABSTRACT

The purpose of this work is to demonstrate the importance of on-board refrigeration, as well as its main technical concepts, the equipment constituting each system and possible common problems. An adequate air conditioning system is essential for considerable conservation, if inadequate or poorly dimensioned will reduce the life of the equipment. For air conditioning to contribute perfectly to a positive response to what is expected, knowledge about the system as a whole by its operators is fundamental.

Keywords: Refrigeration. Air Conditioning. Compressors. Condensers. Evaporators. Chiller.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES/FIGURAS

Figura 1:	Sistema de Climatização a bordo	15
Figura 2:	Esquema simplificado do sistema de refrigeração por compressão de vapor, mostrando os componentes principais	19
Figura 3:	Funcionamento do Evaporador	21
Figura 4:	Funcionamento de um condensador por feixes tubulares	22
Figura 5:	Condensador marítimo típico usado em embarcações	22
Figura 6:	Esquema básico de uma válvula solenoide	24
Figura 7:	Pressostato de baixa pressão e alta pressão com botão de rearme manual	25
Figura 8:	Diagrama da válvula de expansão	26
Figura 9:	Esquema de um separador de óleo	27
Figura 10:	Secador	28
Figura 11:	Planta de refrigeração com todos os componentes em conjunto	28
Figura 12:	Sistema <i>Chiller</i>	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ONU	Organização das Nações Unidas
GWP	Global Warming Potential
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
PMS	Ponto Morto Superior
PMI	Ponto Morto Inferior
PMOC	Plano de Manutenção Operação e Controle
PPM	Partes por milhão
LFL	Limite Inferior de Inflamabilidade

LISTA DE SÍMBOLOS

R₁₂	Diclorodifluorometano
O³	Ozônio
HFCs	Hidrofluorcarbonetos
CFCs	Clorofluorcarboneto ou clorofluorcarbono
R_{134a}	Tetrafluoroetano
CO₂	Dióxido de carbono
CH₄	Metano
N₂O	Óxido nítrico
PFCs	Perfluorcarbonetos
SF₆	Hexafluoreto de enxofre

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	BREVE VISÃO HISTÓRICA DA REFRIGERAÇÃO	12
3	FLUIDOS REFRIGERANTES	14
3.1	Os agentes refrigerantes	14
3.2	Quanto à classificação	15
4	SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO	18
4.1	Sistemas de climatização a bordo	18
4.2	Sistema de refrigeração por compressão de vapor	19
4.3	Equipamentos do sistema de compressão de vapor	20
4.3.1	<u>Evaporadores</u>	20
4.3.2	<u>Condensadores</u>	21
4.3.3	<u>Compressores</u>	22
4.3.4	<u>Controle de capacidade e termostato</u>	23
4.3.5	<u>Chave de controle de baixa pressão</u>	24
4.3.6	<u>Pressostato de alta pressão</u>	25
4.3.7	<u>Válvula de expansão</u>	26
4.3.8	<u>Separador de Óleo</u>	26
4.3.9	<u>Secador</u>	27
4.4	Sistema indireto de refrigeração: <i>Chiller</i>	29
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
	REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

A refrigeração a bordo, costuma ser dominada por poucos. Sendo fator relevante para os aspectos físicos e para a qualidade de vida do tripulante assim como também aos inúmeros equipamentos eletroeletrônicos instalados a bordo, além de várias cláusulas que protegem esse serviço a bordo, e que são exigidas pelos contratos de afretamento, sua manutenção e operação requer conhecimento do operador.

Baseado nisso, o foco deste estudo é entender como funciona o sistema de ar condicionado aplicado nas embarcações em geral.

De acordo com a empresa *Refrimaq*® (2015), “a refrigeração é o processo de reduzir a temperatura de um corpo ou espaço determinado tirando uma parte do seu calor natural”.

Abordam-se principalmente os conceitos de refrigeração, equipamentos constituintes do sistema e normas regulamentadoras. Baseado em experiência própria, os contratos estão cada vez mais rígidos. Onde, o não cumprimento das cláusulas baseadas nas Normas Regulamentadoras e ANVISA provoca custos de *downtime* (paradas não programadas) e multas aplicadas pelo cliente.

Este estudo está estruturado em capítulos que abordam uma breve trajetória histórica da refrigeração e sua evolução, conceitos básicos, e os tipos de refrigerantes, os sistemas de refrigeração comumente empregados nos sistemas de ar condicionado a bordo e normas regulamentadoras.

2 BREVE VISÃO HISTÓRICA DA REFRIGERAÇÃO

Já sabemos que refrigeração é processo no qual se retira calor de uma substância ou ambiente com o objetivo de baixar sua temperatura e, feito isso, mantê-la. A bordo de navios ela é indispensável, quando pensamos em conservação dos alimentos assim como na climatização do ambiente de trabalho e conservação de aparelhos eletroeletrônicos (ROY, 2016).

Desde o início das navegações, uma grande preocupação sempre foi quanto à conservação dos alimentos. Antes da refrigeração chegar a bordo das embarcações havia uma grande necessidade de se conservar alimentos, pois as viagens eram longas e isso fazia com que a comida, normalmente armazenada em ambientes pouco arejados, quentes e úmidos, apodrecesse rapidamente criando as condições ideais a proliferação de ratos e insetos. Esses fatores comprometiam seriamente a saúde dos tripulantes. Não havia alimentos frescos ao longo das viagens, os animais que eram embarcados vivos como galinhas, porcos e cabritos, eram consumidos nos primeiros dias enquanto que na maior parte da viagem a comida era estocada sem as condições necessárias para retardar sua deterioração e logo apodreciam (Ibid., 2016).

Num tempo em que não havia geladeira nem técnicas mais elaboradas de conservação de alimentos, os temperos serviam principalmente para disfarçar o sabor meio passado dos alimentos, sobretudo os que eram guardados por mais tempo para consumo no inverno (Ibid., 2016).

No final do século XVII, foi inventado o microscópio e, com o auxílio deste instrumento, verificou-se a existência de microrganismos (micróbios e bactérias) invisíveis à vista sem auxílio de um instrumento dotado de grande poder de ampliação.

Os micróbios existem em quantidades enormes, espalhados por todas as partes, água, alimentos e organismos vivos.

Estudos realizados por cientistas, entre eles o célebre químico francês Louis Pasteur, demonstraram que alguns tipos de bactérias são responsáveis pela putrefação dos alimentos e por muitos tipos de doenças e epidemias. Ainda através de estudos, ficou comprovado que a contínua reprodução das bactérias podia ser impedida em muitos casos ou pelo menos limitada pela aplicação do frio, isto é, baixando suficientemente a temperatura do ambiente em que os mesmos proliferam. Essas conclusões provocaram, no século XVIII, uma grande expansão da indústria do gelo, que até então se mostrava incipiente (SOARES, 2016).

Assim, ficava-se na dependência direta da natureza para a obtenção da matéria primordial, isto é, o gelo, que só se formava no inverno e nas regiões de clima bastante frio. O fornecimento, portanto, era bastante irregular e, em se tratando de países mais quentes, era sujeita a um transporte demorado, no qual a maior parte se perdia por derretimento, especialmente porque os meios de conservá-lo durante este transporte eram deficientes. Mesmo nos locais onde o gelo se formava naturalmente, isto é, nas zonas frias, este último tinha grande influência, pois a estocagem era bastante difícil, só podendo ser feita por períodos relativamente curtos. Por este motivo, engenheiros e pesquisadores voltaram-se para a busca de meios e processos que permitissem a obtenção artificial de gelo, liberando o homem da dependência da natureza (Ibid., 2016).

Em 1834, a primeira patente para um sistema de refrigeração mecânica foi dada em Londres, ao americano Jacob Perkins. O Sistema era baseado no princípio de que quando um líquido, gases liquefeitos ou ar comprimido se expande, ele absorve calor. Os agentes refrigerantes são substâncias com baixa temperatura de ebulição e com grande capacidade de absorver calor. Promove, no ciclo de refrigeração, uma dissipação de calor, em temperaturas moderadas.

Em 1918 apareceu o primeiro refrigerador automático, movido à eletricidade, e que foi fabricado pela *Kelvinator Company*, dos Estados Unidos. Logo, a evolução foi tremenda, com uma produção sempre crescente de refrigeradores mecânicos.

Com o surgimento das máquinas a vapor no século XVII, e com a utilização de geradores elétricos, as embarcações passaram a utilizar-se de sistemas de conservação através de câmaras frias e implementação de sistemas de ar condicionado para climatização (ROY, 2016).

3 FLUIDOS REFRIGERANTES

3.1 Os agentes Refrigerantes

Fluido refrigerante é o fluido que absorve calor de uma substância do ambiente a ser resfriado. No passado, os gases mais comuns para o uso na refrigeração eram a amônia, o dióxido de carbono, o dióxido de enxofre e o cloreto metílico. Porém, esses gases eram tóxicos ou altamente asfixiantes. De acordo com *Refrimaq*® (2015), em 1918, a *Frigidaire*, maior fabricante de refrigeradores na época, solicitou a um grupo de cientistas, liderados por Thomas Midgley a elaboração de um refrigerante não tóxico ou inflamável. Alguns meses depois, nasceu o primeiro refrigerante sintético R₁₂. Em 1930, em um encontro da Sociedade Americana de Química. Migley apresentou este refrigerante demonstrando suas vantagens em termos de segurança e eficiência. Comenta-se que durante a apresentação, Migley inalou o refrigerante e o soprou sobre a chama de uma vela, apagando-a, demonstrando suas características não toxicidade e não inflamabilidade. Um ano mais tarde, o R₁₂ foi introduzido na refrigeração comercial, nascendo a indústria dos fluorcarbonos. Da união de duas empresas, *DuPont* e *General Motors*, nasceu a *Kinetic Chemicals Inc.*, quando então foi registrado a marca *Freon*®. Um ano mais tarde, o *Freon*® 12 começa ser produzido em grande escala, nascendo então a indústria da refrigeração como é conhecida hoje. Os refrigerantes *Freon*® são seguros e não tóxicos e seu desenvolvimento foi responsável pela tremenda evolução da indústria de refrigeradores e ar condicionados. A aplicação de *Freon*® foi um marco na revolução da refrigeração (ROY, 2016).

O Protocolo de Montreal sobre substâncias que empobrecem a camada de ozônio é um tratado internacional em que os países signatários comprometem-se a substituir as substâncias que demonstrarem estar reagindo com o ozônio (O³) na parte superior da estratosfera. O tratado esteve aberto para adesões a partir de 16 de setembro de 1987 e entrou em vigor em 1 de janeiro de 1989. Ele teve adesão de 150 países e foi revisado em 1990, 1992, 1995, 1997 e 1999. Devido a essa grande adesão mundial, Kofi Annan disse sobre ele: "*Talvez seja o mais bem-sucedido acordo internacional de todos os tempos...*" Em comemoração, a ONU declarou a data de 16 de Setembro como o Dia Internacional para a Preservação da Camada de Ozônio.

Os refrigerantes hidrofluorcarbonados (HFCs) foram desenvolvidos nos anos 80 e 90 como alternativa aos CFCs (R₁₂) e HCFCs (R₂₂). HFCs como o R_{134a} não contêm cloro, somente Carbono e, desta forma, não destroem a camada de ozônio, mas contribuem para o processo de aquecimento global, sendo considerados gases de efeito estufa que fazem parte da "cesta de seis gases" cujas emissões devem ser reduzidas, de acordo com o Protocolo de Kyoto redigido e assinado no Japão em 1997. Estes gases são: Dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido nítrico (NO), Hidrofluorcarbonetos (HFCs), Perfluorcarbonetos (PFCs) e Hexafluoreto de enxofre (SF₆). Pelo Protocolo de Kyoto as emissões individuais dos gases de efeito estufa serão integradas como emissões equivalentes de CO₂ utilizando seus potenciais de aquecimento global GWP (*Global Warming Potential*) (SOARES, 2016).

3.2 Quanto à classificação

Os refrigerantes são classificados de acordo com as características de toxicidade e inflamabilidade (ASHRAE 32-94/ EN378-1). A classificação de segurança serve para determinar como o refrigerante deve ser usado, por exemplo, sua aplicabilidade em lugares ocupados ou a sua quantidade máxima permitida para espaços confinados. A classificação de segurança consiste em dois dígitos alfanuméricos (ex. A2 ou B1). O símbolo alfabético indica a toxicidade e o numeral a inflamabilidade (PEREIRA, 2016).

Para classificação de toxicidade, os refrigerantes são determinados para uma das duas categorias – A e B – baseada na exposição crônica autorizada para determinadas concentrações.

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

Para classificação de inflamabilidade, os refrigerantes são determinados para uma das 3 categorias – 1, 2, ou 3 – baseadas em teste de combustão e inflamabilidade.

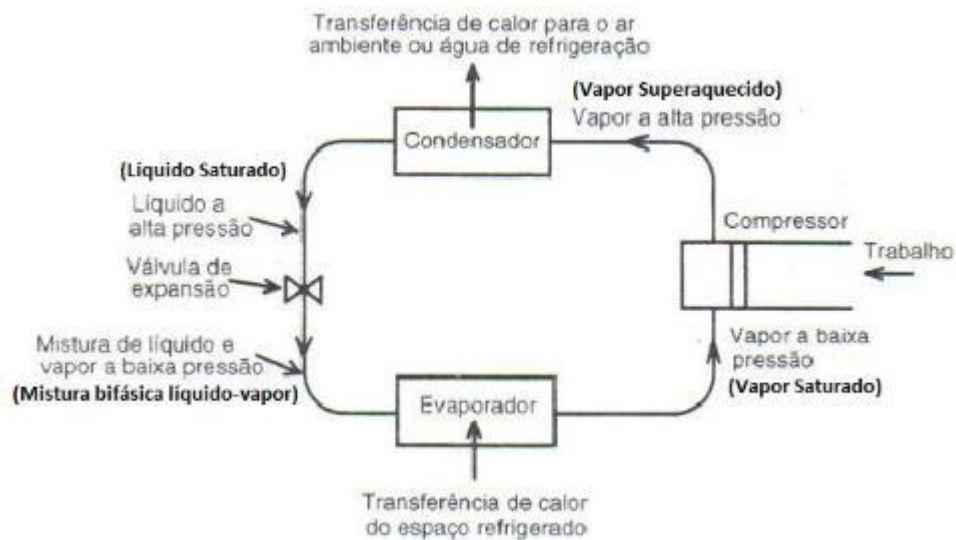
- Classe 1 (Sem Propagação de Chamas): O refrigerante não demonstra propagação de chama quando testado sob um ar de 60 °C e pressão atmosférica padrão. Resfriam materiais por absorção de calor latente, o que significa que mudam seu estado físico. Entre eles estão os CFC's, HCFC's e HFC's. Entretanto, nos anos 80, o Protocolo de Montreal, com o objetivo de proteger a camada de ozônio, estabeleceu que fosse retirado o elemento Cloro da composição desses gases; atualmente procura-se utilizar os HFC's, sem a partícula de Cloro, portanto. Contudo, é preciso um prazo para adequação dos usuários a esse acordo, que vai até meados de 2020 (para os países desenvolvidos) e, para alguns países ainda pouco desenvolvidos, esse prazo se estende até 2040. A princípio, os Estados Unidos não aderiram às condições estabelecidas pelo Protocolo de Montreal, apenas aderindo no presente ano (2016), juntamente com a China, fortalecendo assim os esforços para controle de emissões de gases poluentes, de forma global.

Devido ao prejuízo que os gases CFC's e HCFC's trazem a natureza existe, a constante procura pela utilização de refrigerantes naturais que causam menores impactos ao meio ambiente, entre eles o dióxido de carbono (CO₂) também chamado de R-744, que já está sendo utilizado na refrigeração de supermercados na Europa e em países emergentes como o Brasil, estima-se que em breve chegará ao ar condicionado. A sua utilização reúne várias vantagens como: alta disponibilidade no planeta, reduzindo o custo para adquiri-lo e da instalação em geral; baixa incidência de vazamentos; alta capacidade volumétrica de refrigeração; não é inflamável e é pouco tóxico, por último, sua desvantagem é que ele necessita de uma maior pressão, o que requer adaptações por parte dos fabricantes (PEREIRA, 2016).

- Classe 2 (Baixa Inflamabilidade): O refrigerante encontra todas as 3 condições a seguir: exibe a propagação de chamas; tem um LFL > 3.5 % (Limite Inferior de Inflamabilidade) e um calor de combustão < 19.000 kJ/kg. Resfriam materiais por absorção de calor sensível, não mudando seu estado físico. Entre eles estão ar, salmoura de cloreto de cálcio, salmoura de cloreto de sódio e álcool. A bordo são utilizadas as salmouras combinadas com gases da classe 1.

- Classe 3 (Alta Inflamabilidade): O refrigerante encontra ambas as condições a seguir: exibe a propagação de chamas, e tem a LFL 19.000 kJ/kg. Esse grupo consiste de soluções que contêm vapores absorvidos de agentes liquidificáveis ou meios refrigerantes. Essas soluções funcionam pela natureza de sua habilidade em conduzir os vapores liquidificáveis que produzem um efeito de resfriamento pela absorção do calor latente.

Figura 1: Sistema de Climatização a bordo.



Fontes: Pereira, Y. Monografia, Rio de Janeiro, 2016.

4 SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

4.1 Sistema de climatização a bordo

O sistema de ar condicionado, ênfase deste trabalho, quando bem operado, ajuda a evitar paradas desnecessárias ou mesmo quebra do equipamento. Numa atualidade onde o fator custo é primordial, operação e manutenção devem ter suma importância para a operação de uma embarcação (JÚNIOR, 2010).

O objetivo da climatização é conseguir condições agradáveis e estáveis de temperatura, umidade e qualidade do ar (Ibid., 2010).

Os princípios básicos de funcionamento dos sistemas de ar condicionado se baseiam em: o compressor eleva a pressão e temperatura do fluido refrigerante que ao chegar ao condensador rejeitará seu calor adquirido na compressão e terá sua temperatura reduzida devido a troca de calor com a água salgada, vindo a condensar. Na sequência, o refrigerante agora líquido encontra o dispositivo de expansão, reduzindo rapidamente sua pressão, entra na unidade evaporadora em estado líquido e, ao receber calor através do trocador de calor, se evaporará e voltará para a aspiração do compressor no estado gasoso.

O controle é realizado por sistemas automatizados. A automação está no presente como item imprescindível no sistema. Para tornar contínuo um processo de refrigeração, o líquido no condensador deve realimentar o evaporador. Como a pressão no condensador sempre é mais alta que no evaporador, isso pode ser facilmente feito estabelecendo-se uma conexão de tubo do condensador ao evaporador. Se uma válvula estiver montada neste tubo, a quantidade de meio de resfriamento pode ser ajustada. Normalmente esta válvula é automática, e é chamada de válvula de expansão termostática. Esta válvula mede a pressão do evaporador e a temperatura do tubo de sucção e se abre de acordo com a temperatura do compartimento refrigerado (JÚNIOR, 2010).

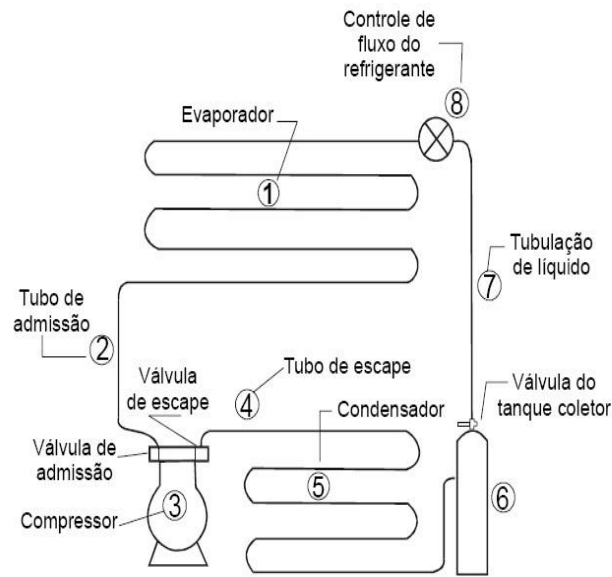
Os elementos de controle, basicamente, são: válvula solenoide, termostatos e pressostatos (de baixa e de alta pressão).

Os tipos de sistemas mais usados a bordo são: Sistema de refrigeração por compressão de vapor e o Sistema *Chiller*.

4.2 Sistema de refrigeração por compressão de vapor

Este é com certeza o sistema mais aplicado tanto em terra quanto a bordo. Ele é utilizado para fins comerciais, domésticos e industriais. A bordo de navios e pequenas embarcações, o ciclo de compressão, que, de forma básica, é mostrado abaixo (JÚNIOR, 2010).

Figura 2: Esquema simplificado do sistema de refrigeração por compressão de vapor, mostrando os componentes principais.



Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado Mark Richard Miller, 2008.

Conforme se observa, o ciclo é composto por: evaporador, tubo de alimentação, compressor, tubo de escape, condensador, receptor de líquido (tanque coletor ou vaso acumulador), tubulação de líquido, controle de fluxo do refrigerante ou válvula de expansão. O fluido refrigerante na forma de líquido saturado passa pelo dispositivo de expansão (restrição), onde é submetido a uma queda de pressão brusca, onde passa a ter dois estados, o líquido e o gasoso. O fluido refrigerante, nesse ponto, é denominado de flash gás. Então o fluido é conduzido pelo evaporador, onde absorverá calor do ar do ambiente a ser refrigerado, vaporizando-se (pois sua temperatura de ebulição é menor do que a do ambiente) (JÚNIOR, 2010).

Na saída do evaporador, na forma de gás ele é succionado pelo compressor, que eleva sua pressão e temperatura para que possa ser conduzido através do condensador, que cederá calor ao ambiente externo, no caso a água salgada, condensando o fluido e completando o ciclo. O ventilador ou fan efetua a circulação de ar, fazendo com que o ar a ser resfriado entre em contato com a serpentina do evaporador (Ibid., 2010).

4.3 Equipamentos do sistema de refrigeração por compressão de vapor

A seguir, detalharei os componentes pertencentes ao Circuito de Refrigeração por Compressão. O evaporador, o condensador, válvula expansora, válvula solenoide e o compressor são as partes mais importantes desse sistema. Em conjunto, serão citados alguns componentes auxiliares que ajudam na operação do sistema de ar condicionado.

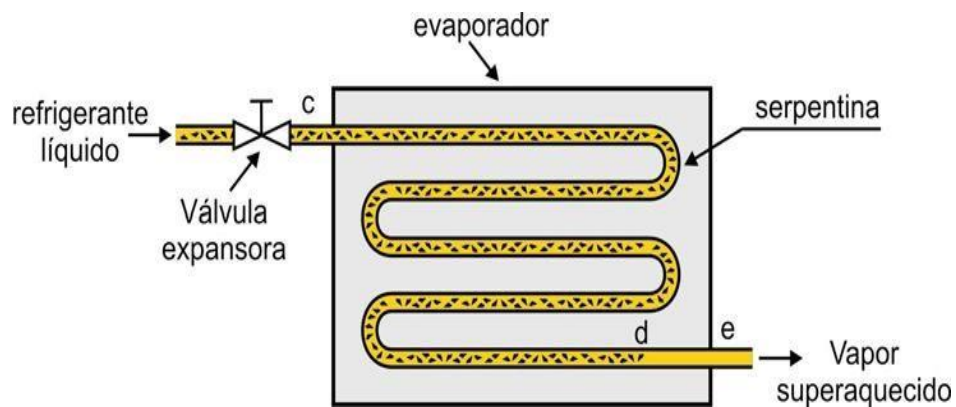
4.3.1 Evaporadores

O evaporador é a parte do sistema onde se realiza a “produção do frio”. É por onde o refrigerante se vaporiza através da serpentina, retirando calor do ambiente existente onde será inserido. Dentro das serpentinas o gás, que já passou pela válvula expansora, está em um estado ideal para iniciar sua ebulição. Sendo assim, como a temperatura de vaporização do gás refrigerante é menor que a temperatura ambiente, o calor do ambiente é utilizado para vaporizar o refrigerante que circula na serpentina (MAGALHÃES, 2016).

Uma importante característica do sistema direto é que a troca de calor é feita através de calor latente, o que caracteriza um processo mais rápido. Ainda muito utilizado a bordo, o Sistema Direto, onde o evaporador atua diretamente no ambiente que se deseja refrigerar vem sendo substituído nos sistemas de ar condicionado pelo Sistema Indireto *Chiller*, que será abordado nesse trabalho mais adiante. Utilizado em frigoríficos, geladeiras e condicionadores de ar domésticos (ABRUNHOSA, 2015).

Resumindo, um evaporador consiste num permutador de calor para aquecer a solução á ebulição e um separador do vapor formado pela fase líquida em ebulição. O produto de um evaporador é geralmente a solução concentrada.

Figura 3: Funcionamento do Evaporador.

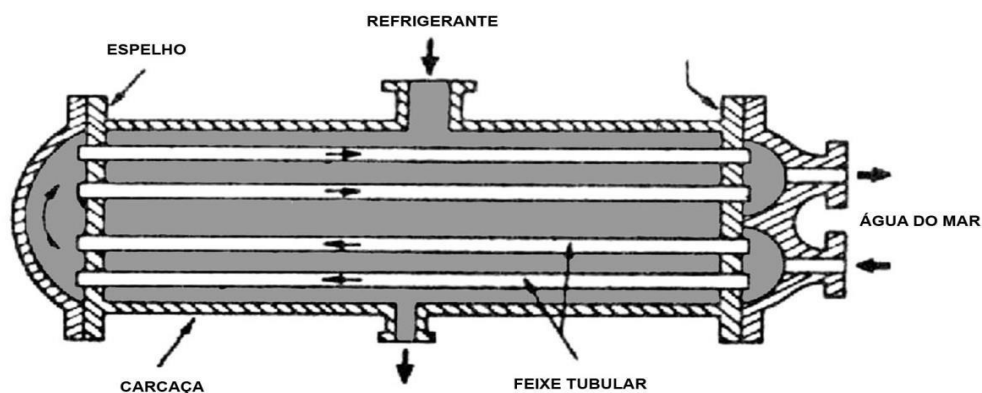


Fonte: Módulo EAD Refrigeração.

4.3.2 Condensadores

O gás convertido em vapor quente anteriormente condensa ao trocar calor com a água do mar no condensador, isto é, transfere o calor do fluido refrigerante para a água do mar. O tipo condensador mais usado a bordo dos navios consiste em uma carcaça cilíndrica que possui feixes tubulares fechada em ambas as extremidades por placas que são chamadas de espelhos.

Figura 4: Funcionamento de um condensador por feixes tubulares.



Fonte: Refrigeração Industrial.

Figura 5: Condensador marítimo típico usado em embarcações.



Fonte: <http://www.apema.com.br/produtos-detalhes/casco-e-tubos/>.

4.3.3 Compressores

A função dos compressores nos sistemas de refrigeração é aspirar o vapor superaquecido proveniente do evaporador, aumentando a sua pressão e, conseqüentemente a sua temperatura e descarrega-lo no condensador.

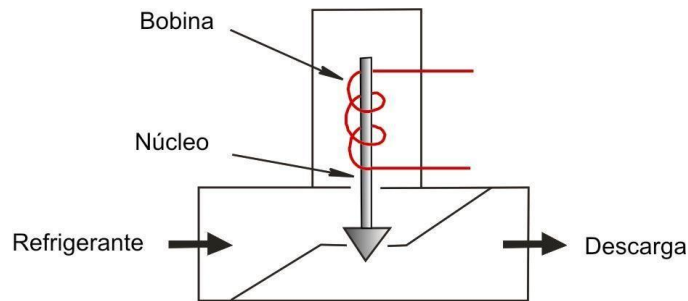
Existem vários tipos de compressores, como o de parafuso, o centrífugo e o de palhetas, nos sistemas de ar condicionado a bordo o utilizado é o alternativo.

Os compressores alternativos baseiam-se no movimento de um pistão dentro de um cilindro. Quando o pistão desloca-se do ponto morto superior (PMS) para o ponto morto inferior (PMI), o vapor entra no cilindro através de uma válvula de sucção, que se abre automaticamente pela diferença de pressão. Nesse deslocamento, o volume do cilindro é quase que totalmente preenchido pelo vapor do refrigerante. No movimento ascendente, o pistão movimenta-se desde o PMI até o PMS. Nesse momento a válvula de sucção encontra-se fechada pela ação de uma mola e a pressão no interior do cilindro aumenta pela diminuição do volume do cilindro. Esse processo continua até que a pressão no interior do cilindro consiga vencer a pressão da mola da válvula de descarga, próxima da pressão de condensação. Nesse processo, parte do vapor permanece dentro do cilindro, na pressão de descarga, uma vez que o pistão não consegue varrer todo o volume do cilindro (STOECKER, 2002).

4.3.4 Controle de capacidade e termostato

O controle de capacidade é realizado proporcionalmente por descarga dos cilindros. A atuação do termostato de controle se faz sobre válvulas solenoides, que por sua vez comandam o sistema hidráulico que age nos cabeçotes dos compressores descarregando-os. No cilindro, o refrigerante é succionado a baixa pressão e posteriormente descarregado a alta pressão indo circular novamente no sistema. Ao descarregar-se o cilindro, faz-se com que a válvula de sucção permaneça constantemente aberta. Com isso, o refrigerante é succionado, mas não é comprimido, pois, o refrigerante que entrou no cilindro sai através da abertura da válvula de sucção que não fecha quando o pistão sobe. O termostato é utilizado para pôr em funcionamento o compressor, regular a capacidade ou desliga-lo quando a temperatura desejada for atingida na saída do evaporador (SOARES, 2016).

Figura 6: Esquema básico de uma válvula solenoide.



Fonte: Refrigeração & Climatização.

4.3.5 Chave de controle de baixa pressão

A chave de controle de baixa pressão é um dispositivo colocado normalmente no circuito de aspiração do compressor para desligá-lo, quando a pressão cair abaixo do limite pré-estabelecido. Ele funciona da seguinte forma: quando a temperatura chega a mínima determinada no termostato, a válvula solenoide que é comandada por ele se fecha, interrompendo o fluxo do refrigerante. Ao se fechar, o refrigerante deixa de circular desde a solenoide até a entrada do compressor. Isto acarreta numa queda de pressão na aspiração do compressor que é sentida pelo controle de baixa pressão que imediatamente desliga o compressor (SOARES, 2016).

A chave de baixa pressão também tem o papel de ligar o compressor quando a pressão do refrigerante for normal. Tal processo será explicado a seguir:

O compressor tem a função de fazer o refrigerante circular pelo sistema. Quando ele para, a circulação do refrigerante é interrompida. Com a interrupção da circulação, o refrigerante eleva sua temperatura gradualmente e quando a temperatura atinge o ponto máximo regulado pelo termostato, o bulbo do mesmo comanda a abertura da solenoide que ao abrir-se, permite a passagem do refrigerante que atinge a válvula de expansão termostática e entra nas serpentinas do evaporador, chegando até a aspiração do compressor. Ao chegar a canalização de aspiração do compressor o refrigerante, no estado de vapor, vai se acumulando e aumentando sua pressão até atingir a pressão normal. Quando o controle de baixa pressão sente que a pressão voltou ao normal, ele liga novamente o compressor e a circulação de refrigerante se reestabelece (Ibid., 2016).

4.3.6 Pressostato de alta pressão

É um elemento de controle e segurança que atua com o aumento da pressão de condensação (descarga). Um exemplo em que ele atua é quando os tubos da água de circulação do condensador estão sujos, ou a pressão da água de circulação do condensador está muito quente causando um aumento da pressão de condensação (descarga). Quando isso ocorre, o pressostato é ativado, desligando o compressor. É importante comentar que o pressostato de alta é regulado e rearmado manualmente. Ele possui um diferencial fixo que atua da seguinte forma: se a pressão de corte do compressor for regulada para 18 Bar e seu diferencial fixo for de 1,5 Bar, o rearme só poderá ocorrer quando a pressão cair para $18 - 1,5$, ou seja, 16,5 Bar. Após atingir a pressão a qual ele pode ser rearmado, o operador pode rearmá-lo manualmente (SOARES, 2016).

Figura 7: Pressostato de baixa pressão e alta pressão com botão de rearme manual.



Fonte: Acervo pessoal. Laboratório de Refrigeração do CIAGA.

4.3.7 Válvula de expansão

Essa válvula regula a vazão de refrigerante líquido em função da taxa de evaporação. Essa válvula funciona da seguinte forma: um bulbo contendo o mesmo refrigerante líquido da instalação frigorífica é preso ao tubo de saída do evaporador, de modo que sua temperatura e a do gás de aspiração são praticamente idênticas. Assim, quando a temperatura do bulbo atinge temperaturas maiores que a de saturação do evaporador, a força exercida pelo vapor do refrigerante do bulbo sobre a superfície do diafragma supera a força da mola presente na haste da válvula, abrindo-a. Em suma, quando ocorre superaquecimento do gás de aspiração, a válvula de expansão é aberta aumentando a vazão do refrigerante líquido para o interior do evaporador (SOARES, 2016).

Figura 8: Diagrama da válvula de expansão.

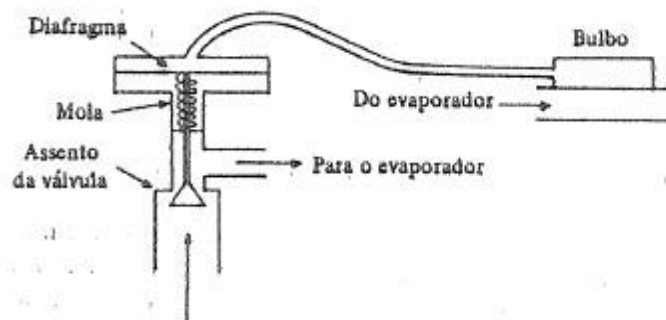


Figura 13-12 Um diafragma esquemático da válvula de expansão controlada por superaquecimento.

Fonte: Refrigeração & Climatização.

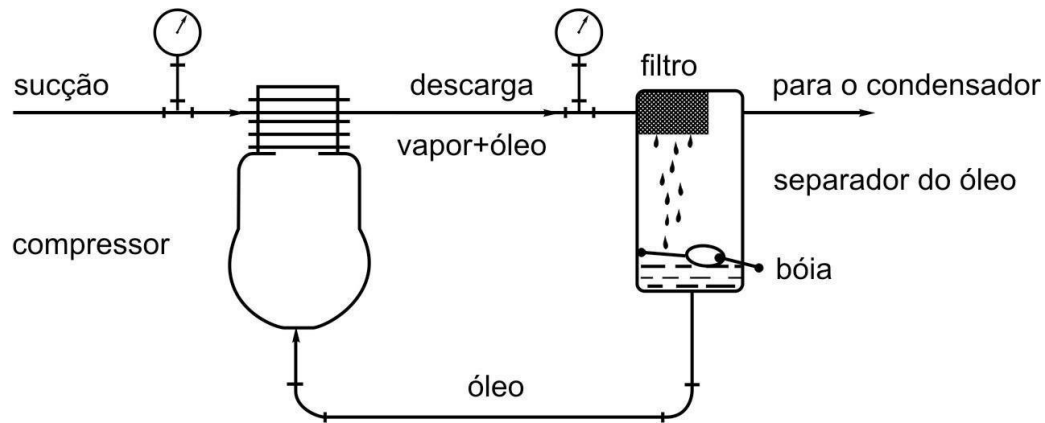
4.3.8 Separador de óleo

Localizado entre o compressor e o condensador, é responsável por separar as partículas de óleo lubrificante que são arrastadas pelo gás refrigerante durante sua passagem pelo compressor. Existe um controle por boia que permite ao óleo coletado, um retorno ao cárter do compressor

através de uma canalização. Quando o nível de óleo no separador atinge o máximo, a boia abre a passagem do óleo, permitindo seu retorno ao cárter (MAGALHÃES, 2016).

O separador de óleo possui um papel importantíssimo na planta de refrigeração pois o óleo quando aderido às serpentinas do evaporador, dificultam a troca de calor com o ar ambiente devido a obstrução da superfície de contato. Isso reduz a pressão de sucção do compressor e pode ocasionar na entrada de líquido refrigerante no compressor (Ibid., 2016).

Figura 9: Esquema de um separador de óleo.



Fonte: Módulo EAD Refrigeração.

4.3.9 Secador

Localizado após o depósito de líquido, serve para reter a umidade e impurezas presentes no sistema de refrigeração. A sílicagel é usada como agente absorvedor na maioria das vezes, mantendo a umidade agregada a superfície. Quando o filtro secador encontra-se saturado, ou seja, não possui mais a capacidade de reter a umidade por atingir seu limite máximo de absorção, é efetuada a sua troca (SOARES, 2016).

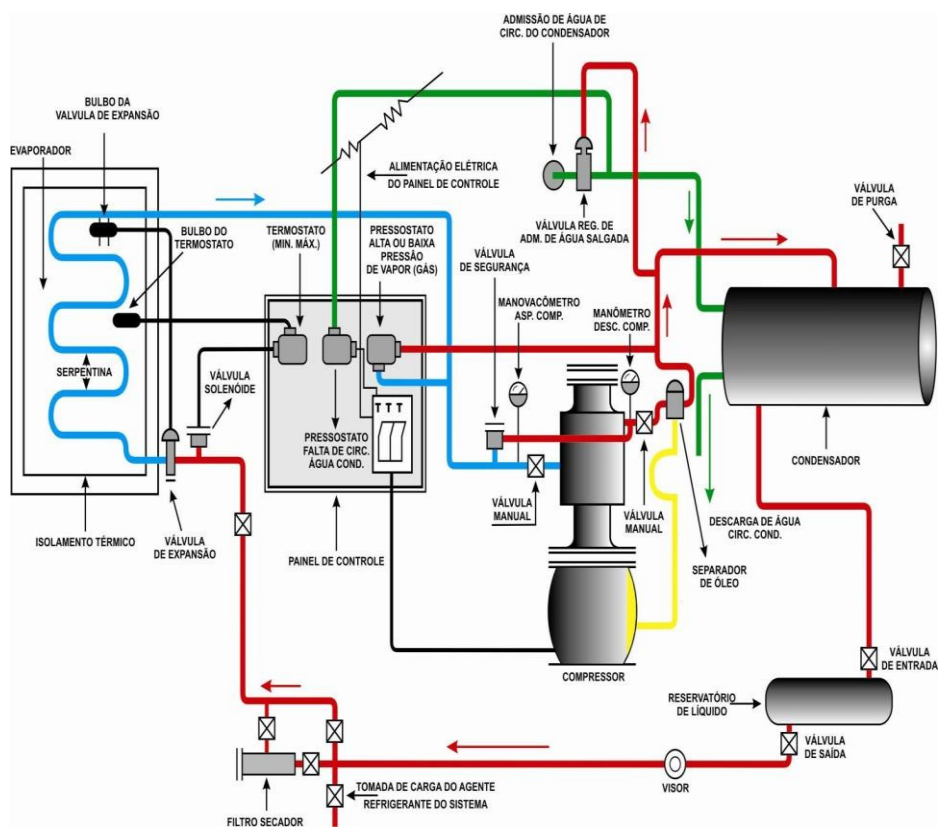
Figura 10: Secador.



Fonte: Google imagens.

Abaixo uma ilustração de uma planta completa.

Figura 11: Planta de refrigeração com todos os componentes em conjunto.



Fonte: EAD Modulo de Refrigeração.

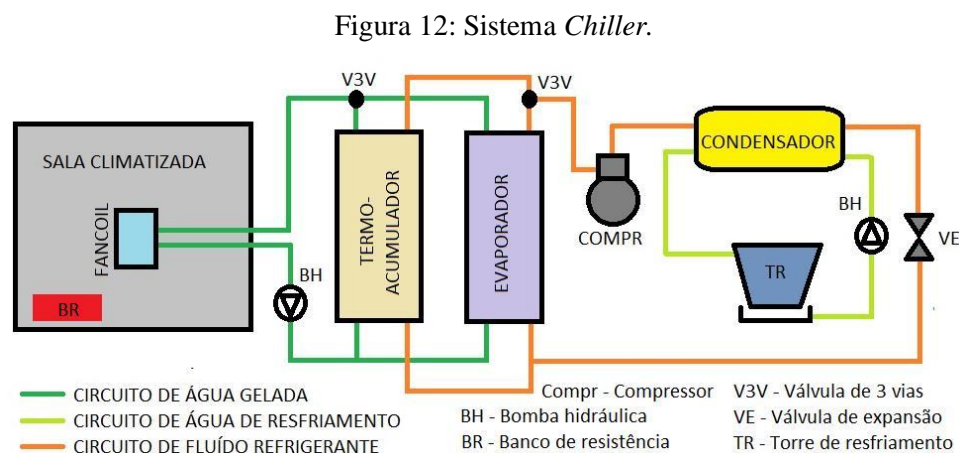
4.4 Sistema indireto de refrigeração: *Chiller*

No sistema indireto utiliza-se um refrigerante secundário para retirar o calor do local desejado. As aplicações mais comuns desse sistema são a Refrigeração por Salmoura e o Sistema *Chiller*. Daremos ênfase ao sistema mais usado atualmente: *Chiller*

O Sistema *Chiller* utiliza a água doce como um refrigerante secundário que é refrigerado pelo evaporador e então este troca calor com o ambiente. *Chiller* é normalmente utilizado para sistemas de ar condicionado de navios, shoppings ou outras grandes construções. Diferente do sistema por compressão de vapor, este efetua a retirada do calor do ambiente através de calor sensível, ou seja, o fluido que troca calor não é vaporizado, ele apenas tem sua temperatura elevada pela influência do ambiente. A bordo ele funciona da seguinte forma: a água troca calor com as serpentinas de gás refrigerante e após isso é bombeada para as serpentinas de refrigeração que irão climatizar os diversos compartimentos da embarcação (FERRAZ, 2008).

Uma grande vantagem do sistema *Chiller* é a carga reduzida de gás refrigerante, apresentando um custo menor.

Abaixo uma simples ilustração de um Sistema *Chiller*.



Fonte:

<http://docplayer.com.br/45268075-Estudo-exploratorio-sobre-conservacao-de-agua-em-sistemas-de-ar-condicionado-que-empregam-chiller-de-agua-gelada-e-termoacumulacao.html>

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância da refrigeração a bordo, ar condicionado é tamanha que para tanto, existe uma lei de regulamentação PMOC (Plano de Manutenção Operação e Controle), que determina essas circunstâncias de refrigeração em um ambiente de trabalho. Quando bem planejado, o sistema de refrigeração e climatização dos ambientes é um recurso que ajuda a garantir o bem-estar com custos reduzidos de operação e manutenção, prevendo opções mais eficiente, reduzindo interferências com outros sistemas, escolhendo equipamentos que garantem a melhor relação custo/benefício. Além de estar relacionada à necessidade fisiológica, conforto para os tripulantes, a temperatura a bordo também é questão de mantimento de aparelhos eletroeletrônicos.

Sua manutenção e operação deve ser bem planejada afim de redução de custos e fator importante que não podemos nos esquecer, a segurança do operador. Além do fator patrimonial, a vida humana é sem dúvidas questão primordial. O Oficial de Máquinas a realizar qualquer tipo de intervenção deve estar atento aos riscos oferecidos por esse sistema.

REFERÊNCIAS

- ABRUNHOSA, M. D. E. **Refrigeração e Climatização e Bordo das Embarcações Offshore**. Rio de Janeiro, 2015.
- CHEMOURS. **Classificação de fluidos refrigerantes auxilia na segurança. 2013**. Disponível em:
<https://www.chemours.com/Refrigerants/pt_BR/news_events/boletins/2013/boletim_julho2013.html>. Acessado em: 09/06/2019.
- CORREA, J. E. **Refrigeração & climatização**. 2004. Apostila de Curso de Refrigeração Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2004.
- FERRAZ, F. **Apostila de refrigeração**. 2008.
- SHAN, K.; WANK, S. K. **Handbook of air conditioning and refrigeration**. 1993.
- GOMIDE, R. **Manual de Operações Unitárias**. Edição 2; Editora Reynaldo Gomide; 1991.
- JÚNIOR, S. **Ciclo Refrigeração por Compressão de Vapor**. UNESP, 2010. Disponível em:
<<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAFgYAAA/ciclo-refrigeracao-por-compressao-vapor?part=2>>. Acessado em: 10/06/2019.
- MAGALHÃES, A. M. **Conceitos básicos de Refrigeração**. 2016. Disponível em:
<<http://www.resfriando.com.br/conceitos-basicos-de-refrigeracao/>>. Acessado em: 10/06/2019.
- PEREIRA, Y. B. **Climatização de Bordo e Frigoríficas**. Rio de Janeiro, 2016.
- REFRIMAQ. **História da Refrigeração**. 2015. Disponível em:
<<https://refrimaq.org/historia-da-refrigeracao/>>. Acessado em: 11/06/2019.
- ROY, J. D. **Princípios De Refrigeração**. Editora Hemus, 2004 ISBN 8528901599.
- SOARES, R. C. **Refrigeração**. 2016. Disponível em:
<<https://docplayer.com.br/8912562-Capitulo-1-introducao.html>>. Acessado em: 11/06/2019.
- STOECKER, W.F. **Refrigeração industrial**. Ed. Edgard Blücher, 2002.
- STOECKER, W. F.; JONES, J. W. **Refrigeração e Ar-Condicionado**. McGraw-Hill, São Paulo, 2005.