

Capacidade Frigorífica do Fluido Refrigerante R717 (AMÔNIA): Seu Desempenho em um Sistema de Refrigeração

Nathália Oliveira Lima (UCAM) nathaliaolima78@gmail.com

Resumo

A Amônia foi um dos primeiros fluidos refrigerantes a ser utilizado na área de refrigeração, utilizado inicialmente em ciclos de absorção e logo em seguida, também nos ciclos de compressão a vapor. Com a chegada dos fluidos halogenados (fluidos refrigerantes classificados como A1 por não apresentarem nível de toxicidade e inflamabilidade), reduziu-se a utilização da Amônia na área comercial, mas na área industrial o uso da amônia continuou se desenvolvendo. Em quase 150 anos de sua utilização, houve grandes avanços na tecnologia desenvolvida, com ênfase nos aspectos de segurança e eficiência energética.

Palavras chave: Cadeia do frio, Ciclo de refrigeração, Refrigeração industrial.

Refrigerating Capacity of Refrigerant R717 (AMMONIA): Its Performance in a Refrigeration System

Abstract:

Ammonia was one of the first refrigerant fluids to be used in the refrigeration area, used initially in absorption cycles and soon thereafter, also in the steam compression cycles. With the arrival of halogenated fluids, the use of ammonia in the commercial area was reduced, but in the industrial area the use of ammonia continued to develop. In almost 150 years of its use, there have been great advances in the technology developed, with emphasis on the aspects of security and energy efficiency.

Key-words: Cold chain, Cooling cycle, Industrial refrigeration.

1. Introdução

A refrigeração pode ser definida como “qualquer processo de remoção de calor. Mais especificamente, a refrigeração é definida como o ramo da ciência que trata dos processos de redução e conservação da temperatura de um espaço ou material, abaixo da temperatura do ambiente circundante. Para se conseguir isto, o calor deve ser removido do corpo que está sendo refrigerado e transferido para outro corpo, cuja temperatura esteja acima daquela do corpo refrigerado. Uma vez que o calor removido do corpo refrigerado é transferido para outro corpo, é evidente que a refrigeração e o aquecimento, são na verdade, extremidades opostas do mesmo processo. Muitas vezes, somente o resultado desejado distingue um do outro”. (DOSSAT, 1980).

O setor de refrigeração abrange os grandes sistemas e normalmente se refere às aplicações na indústria alimentícia e na indústria de bebida, onde o principal fluido utilizado é a amônia. Aqui são ainda incluídas as aplicações na indústria química e petroquímica, que utilizam os fluidos halogenados, e as indústrias farmacêuticas, automotivas e têxteis, que utilizam principalmente o HFC (Hidrofluorcarboneto). (CLETO, 2008).

A amônia, que tem excelentes características para o uso em sistemas de refrigeração, sofre muitas restrições de sua aplicação por se tratar de um fluido refrigerante com maior índice de toxicidade que a maioria dos HFCs. Em vários países, inclusive no Brasil, há legislações que necessitam de uma série de cuidados a usar a amônia, desde o projeto até a operação de um sistema de refrigeração que, dependendo da carga de refrigeração no sistema e do local onde o mesmo será instalado, podem até inviabilizar a sua aplicação. (CLETO, 2008).

Dentre os fluidos refrigerantes usados comercialmente predomina em instalações de média e alta capacidade a amônia (R717), e a sua atratividade aumentou em decorrência de suas boas características térmicas, seu baixo custo comparado a outros fluidos refrigerantes e o seu comportamento ambiental, particularmente medido quanto a sua influência na camada de ozônio conhecido pela sigla ODP (Ozone Destruction Potencial) e a potencialidade de produção do efeito estufa conhecido pela sigla GWE (Global Warming Effect) (PRATTS, 1997).

No entanto, desde o Protocolo de Montreal, com os programas de eliminação dos CFCs (Clorofluorcarboneto), e dos HFCs, e posteriormente o Protocolo de Kyoto, com possíveis restrições futuras quanto a utilização dos HFCs, surgiram novas oportunidades para o uso da amônia.

2. O Ciclo de Refrigeração e sua definição

2.1. Histórico

A refrigeração é um meio que vem sendo usado pelos humanos desde as mais antigas civilizações. Os primeiros a usarem essa técnica, foram os árticos, que perceberam que seus alimentos duravam mais quando eram enterrados no gelo.

Tem-se ainda a civilização chinesa, que muitos séculos antes de Cristo, usavam o gelo natural como fonte refrigerante com o intuito de conservar o chá que consumiam. As civilizações gregas e romanas também aproveitavam o gelo colhido no alto das montanhas, a custo do trabalho escravo, para o preparo de bebidas e alimentos gelados (SOUZA, 2007).

Desde então, a população vem conhecendo os benefícios da refrigeração e a preservação e prolongamento da vida dos seus alimentos.

A refrigeração por absorção teve seu desenvolvimento iniciado a partir dos trabalhos de Ferdinand E. Carré, que inventou, de fato, a máquina de absorção em 1820, fabricada em grande número na Alemanha, França e Inglaterra (STEPHAN, 1983). Em 1824, Faraday sugeriu a criação de uma unidade de refrigeração na qual uma reação entre os vapores de amônia e sais de prata fosse usada para obter a vaporização da amônia líquida. A partir daí, outros pares de substâncias foram testados, a fim de obter uma maior eficiência térmica (PRATTS, 1997).

2.1.1. As leis termodinâmicas

A **refrigeração** é processo termodinâmico em que o calor é retirado de um sistema isolado para o ambiente, através de um fluido denominado refrigerante. É importante lembrar que existem três tipos de sistemas termodinâmicos sendo estes isolados, abertos e fechados.

A primeira lei da termodinâmica, nada mais é que o princípio de conservação de energia, onde a energia não pode ser criada nem destruída durante um processo; ela pode apenas mudar de forma (ÇENGEL, BOLES, 2013).

Um sistema Termodinâmico pode receber, armazenar e fornecer energia, se o sistema for aberto ele poderá trocar energia com o meio na forma de calor, trabalho ou através da massa que passa pela sua fronteira. Sabe-se que a massa de uma substância pode apresentar três formas de energia: cinética, potencial e interna (IENO, NEGRO, 2009).

A segunda lei da termodinâmica, cujo enunciado diz que processos ocorrem em determinada direção e possui quantidade, entretanto ao dizer que a energia cinética (por exemplo) pode ser integralmente transformada em energia térmica (calor), mas não ao contrário isto indica uma qualidade para a energia e para que um processo ocorra, é preciso que ele satisfaça tanto a primeira lei que nos remete a ideia da conservação da energia, como a segunda lei fundamentada nos enunciados de Kelvin-Planck e Clausius. (ÇENGEL, BOLES, 2013)

O enunciado de kelvin-Planck diz que “é impossível qualquer dispositivo que opera em um ciclo receber calor em um único reservatório e produzir uma quantidade líquida de trabalho”. Existe a troca de calor com um reservatório a baixa temperatura e também com uma fonte a alta temperatura para se manter em operação.

O enunciado de Clausius está mais relacionado a refrigeradores e as bombas de calor e deduz que “é impossível construir um dispositivo que funcione em um ciclo e não produza qualquer outro efeito que não seja a transferência de calor de um corpo com temperatura mais baixa para um corpo com temperatura mais alta”. Dessa forma Clausius não sugere que é impossível construir um dispositivo cíclico que transfira calor de um meio frio para outro mais quente, pois na verdade é exatamente isso que faz um refrigerador doméstico convencional, o enunciado apenas estabelece que esse refrigerador não possa funcionar, a menos que o compressor seja acionado por uma fonte externa de energia, como, por exemplo, um motor elétrico (ÇENGEL, BOLES 2013).

O ciclo de Carnot é aquele cuja eficiência não pode ser superada entre os demais ciclos térmicos. Esse ciclo é conhecido na Termodinâmica como motor térmico. O motor térmico de Carnot recebe energia a temperatura alta, converte parte da energia em trabalho e cede o restante a um reservatório térmico a baixa temperatura. (STOECKER, JONES, 1985).

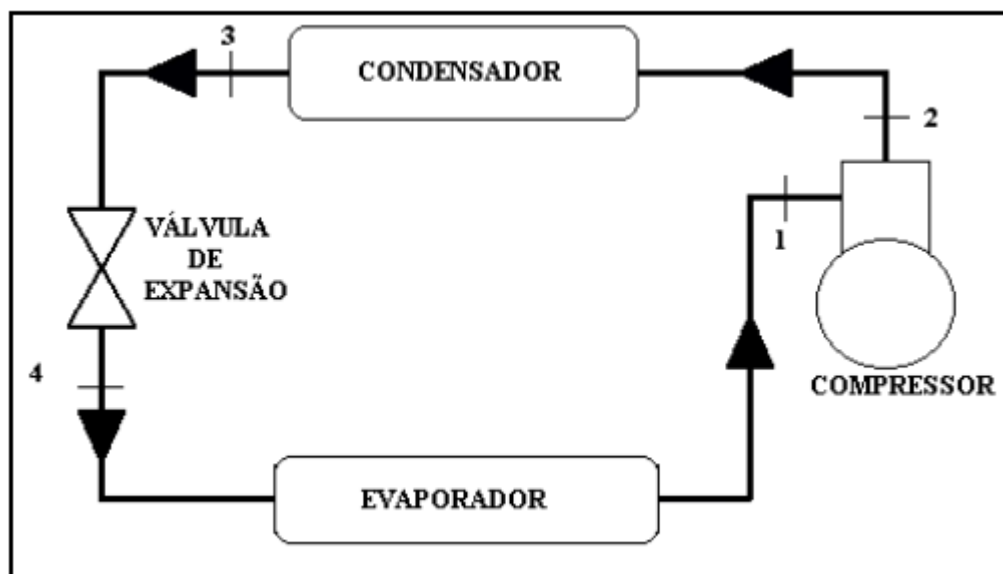
2.2. Sistema frigorífico e seus processos

O ciclo de refrigeração é um ciclo termodinâmico que constitui o funcionamento das máquinas frigoríficas e das bombas de calor. O processo consiste em remover calor de um ambiente e liberá-lo em outro.

A refrigeração por compressão mecânica de vapor é o processo de refrigeração mais adotado atualmente, tanto na refrigeração industrial como no de conforto térmico. O processo em que se baseia essa tecnologia é o da vaporização de um líquido puro. Para realizar essa mudança de fase, o líquido absorve energia do ambiente que se deseja refrigerar.

Um ciclo básico é composto por quatro equipamentos: compressor, condensador, evaporador e válvula de expansão.

Figura 1: Ciclo de refrigeração



Fonte: STOECKER (1989)

O ciclo é formado pelos seguintes processos:

- Passo 1: O compressor comprime o vapor superaquecido proveniente do evaporador, aumentando a sua pressão e, consequentemente a sua temperatura.
- Passo 2: O vapor é direcionado para o condensador, onde irá liberar calor para o ambiente. Neste processo, o fluido é condensado e descarregado no estado líquido. É importante que o líquido seja sub-resfriado, para evitar que entre uma parcela de fluido no estado gasoso na válvula de expansão.
- Passo 3: O líquido sub-resfriado flui através da válvula de expansão e é descarregado na forma de uma mistura de líquido e vapor. Este componente funciona como uma restrição na tubulação, que causa uma queda na pressão do fluido.
- Passo 4: Esta mistura entra no evaporador, onde irá receber o calor proveniente da câmara frigorífica. Ao receber este calor, o restante do fluido no estado líquido evapora até o estado de vapor. É importante que este vapor seja superaquecido para evitar o risco de entrar líquido no compressor. Isso causaria o efeito “golpe de líquido”, o que iria danificá-lo.
- E assim retornando para o “passo 1”, criando um ciclo.

A análise do ciclo termodinâmico efetuado pelo sistema tem início no compressor. A compressão é hipoteticamente isentrópica, na qual o vapor saturado passa da pressão P_0 para pressão P_C e da entalpia h_1 para h_2 , consumindo trabalho mecânico, representado pela passagem do ponto 1 para o ponto 2 da Figura (VARGAS, 2010).

3. Refrigeração industrial

Segundo Stoecker e Jabardo (2002), A refrigeração industrial pode ser caracterizada pela faixa de temperatura de operação. No limite inferior, as temperaturas podem atingir valores entre -60 a -70°C e 15°C no limite superior. Aplicações em que se verifiquem temperaturas menores que o limite inferior pertencem a indústria da criogenia, a qual se especializa na produção e utilização de gás natural liquefeito, oxigênio e nitrogênio líquido. Outra forma de caracterizar a refrigeração industrial seria através das aplicações. Assim, a refrigeração industrial poderia ser descrita como sendo o processo utilizado nas indústrias químicas, de alimentos e de processos, envolvendo dois terços das aplicações e indústria

manufatureira e laboratório. Algumas aplicações de bombas de calor poderiam ser associadas à refrigeração industrial, muito embora a rejeição de calor se faça a temperaturas relativamente elevadas em relação à temperatura ambiente.

3.1. Capacidade Frigorífica no Compressor com R-404^a comparados ao R717 Amônia.

Abaixo será realizado um comparativo entre fluidos refrigerantes comuns mais utilizados e aplicados a sistemas de refrigeração de pequeno / médio porte na conservação de congelados que podem variar a temperatura interna entre -7 a -15 graus Celsius, tendo como objetivo apresentar o impacto no rendimento / potência frigorífica que cada tipo fluido irá exercer sobre o compressor.

Como premissa, após a definição da carga térmica do ambiente e produtos que serão refrigerados e quanto a sua aplicação e peculiaridades de cada produto e sistema são necessários alguns dados de entrada para a definição e seleção do sistema de refrigeração que poderá ser iniciado com a seleção dos evaporadores e em seguida os demais componentes ou a seleção poderá ser iniciada com a escolha do compressor e posteriormente demais itens, usualmente segue-se estas etapas.

Iniciando a escolha do sistema pelo compressor, de forma geral são 4 os parâmetros que norteiam tal seleção sendo eles;

Temperatura de evaporação o (DT) no evaporador ou seja a diferença da temperatura interna da câmara e a temperatura de evaporação do fluido refrigerante.

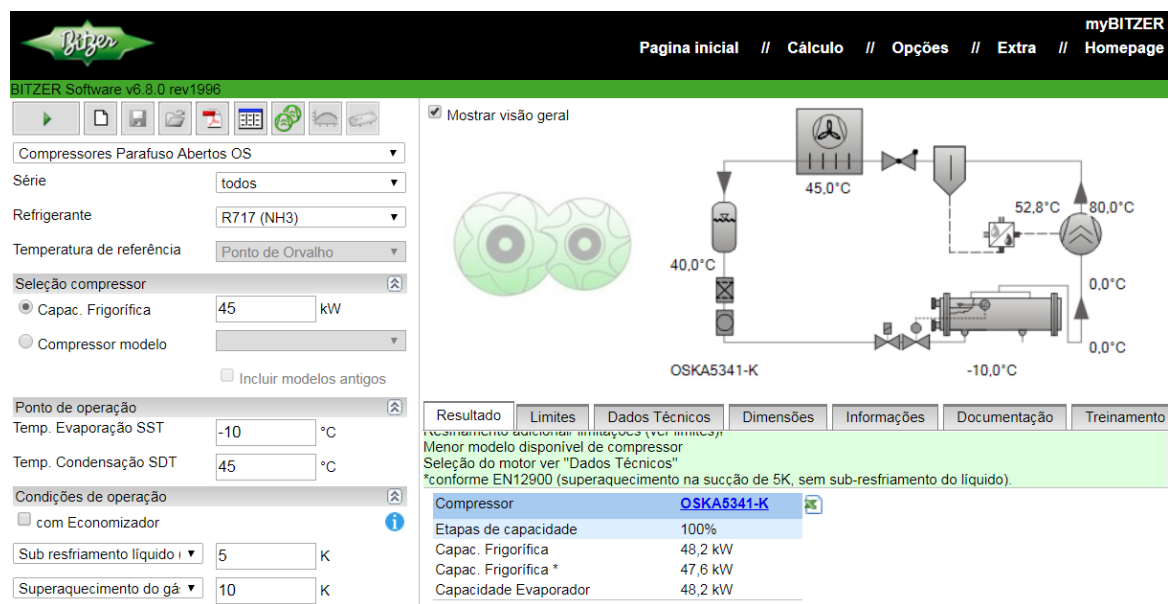
Superaquecimento que se dá pela diferença de temperatura do fluido na entrada do compressor e a temperatura de saturação correspondente a pressão de sucção na entrada do compressor, este procedimento é realizado para que evite a entrada de refrigerante líquido no compressor.

Sub-resfriamento se dá pela diferença da temperatura de condensação correspondente a pressão de descarga do compressor pela temperatura da linha de líquido esta medida por termômetro, este procedimento é realizado para que evitar que a válvula de expansão opere com fluido refrigerante no estado gasoso.

Temperatura de condensação o (DT) no condensador que é a diferença da temperatura ambiente externo e a temperatura do fluido no condensador.

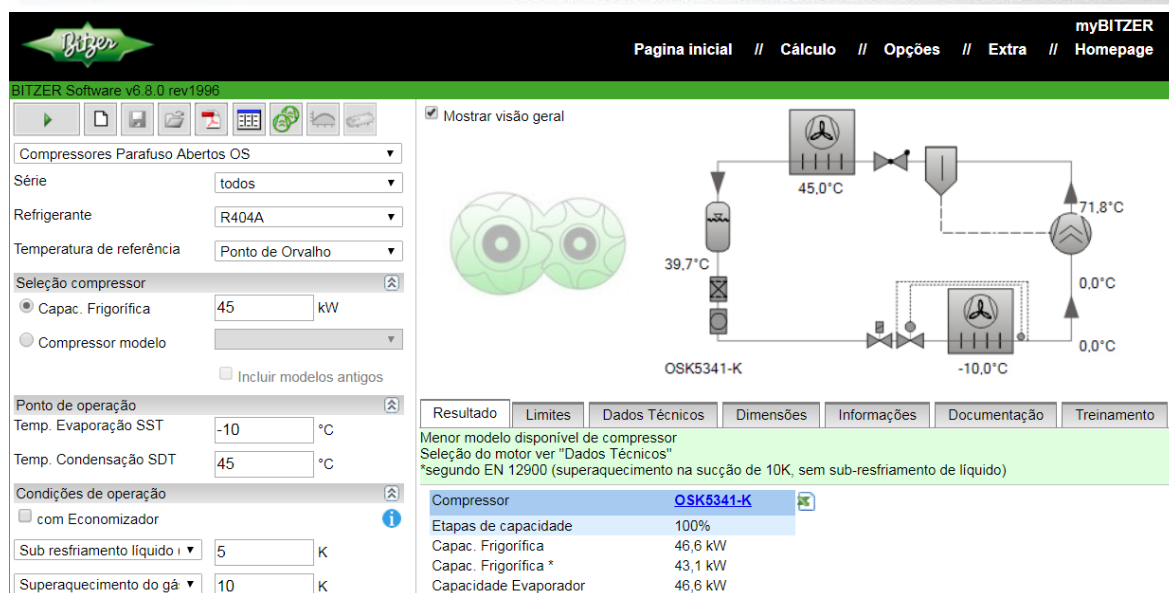
Será utilizado o software da empresa Bitzer fabricante de compressores líder de segmento no mercado de refrigeração comercial e industrial a nível mundial. Estimulando uma carga térmica para estabelecimento de médio porte aproximadamente uma carga térmica de 38600 Kcal/h $\sim$ 45 kW.

Figura 2: Resultado da capacidade frigorífica do fluido R717 (Amônia)



Fonte: Bitzer

Figura 3: Resultado da capacidade frigorífica do fluido R404A



Fonte: Bitzer

Valores obtidos após simulação na tabela 1, podem ser vistos abaixo, o rendimento ou seja a capacidade frigorífica do compressor utilizando R717(NH₃) foi de 47,6 kW ao simular as mesmas condições no software para o mesmo compressor o rendimento obtido foi de 43,1 kW

4. Discussões e Resultados

De forma mais objetiva algumas leituras e interpretações podem ser realizadas tais como os valores obtidos das capacidades frigoríficas de cada compressor com os fluidos refrigerantes destinados para o estudo e uma possível escolha do fluido para o sistema baseado apenas no seu desempenho energético.

Foi possível observar que após aplicação dos fluidos refrigerantes sob os mesmos parâmetros de sistema o rendimento do compressor, ou seja, a capacidade frigorífica do mesmo teve uma perda percentual de aproximadamente de 1.1% comparando os valores obtidos de 47,6 kW da amônia R717 (NH₃) contra 43,1 kW do 404A conforme mostrado abaixo na tabela 1 ;

Tabela 1: Comparação entre o R717 e o R404A.

Fluido Refrigerante	Carga Térmica / Potencia Frigorífica (kW)	Modelo do Compressor	Capacidade Frigorífica (kW)	Capacidade Frigorífica (Kcal)
R717 (NH3)	45	OSK-5341k	47,6	40928
R404A	45	OSK-5341k	43,1	37059

Fonte: Próprio autor

Pelo ponto de vista de projeto seria possível utilizar o compressor modelo OSK-5341K se aplicado como fluido refrigerante R717(NH3), pois com esse fluido o compressor além de atender a demanda térmica solicitada em 100% ultrapassa com uma pequena margem a carga térmica requisitada de 45 kW fornecendo 47,6 kW em operação plena, aproximadamente 2,6 kW de potência frigorífica algo em torno de 1% maior.

Considerando os mesmos critérios de projeto e carga térmica requerida de 45kW, ao observar o desempenho do mesmo compressor com aplicação do 404A o rendimento do mesmo ficou abaixo do necessário para a possível instalação apresentando o valor de 43,1 kW algo em torno de 1,04% abaixo da condição que o mesmo teria que atender.

5. Conclusão

Após as aplicações solicitadas pode-se fazer algumas leituras e interpretações comparando o desempenho do compressor conforme o fluido refrigerante selecionado para o sistema, ao passo que foi possível interpretar alguns dados energéticos para o sistema.

Em relação ao estudo apresentado e as discussões dos resultados há de se entender que se o operador de uma instalação por diversos motivos chegue a uma conclusão e escolha de trabalhar com um sistema que utilize o fluido R404A, novas simulações teriam de ser realizadas para seleção dos componentes do sistema que atenda a carga térmica inicial de 45kW do um sistema, há de convir nesse caso que essa escolha poderia onerar consideravelmente o valor da instalação.

É bem verdade que existe diversos tipos fluidos e cada um com sua particularidade no que tange quesitos ambientais ODP, GWP, desempenho energético, vida útil e retrofit, custo de aquisição e transporte e classificação a que esse fluido está submetido.

Do ponto de vista operacional há de serem considerados os processos e normas as quais estes sistemas tem que ser submetidos para que uma instalação entre e permaneça em operação, pontos estes que tratam da segurança operacional da instalação levando em conta fatores e cuidados como rotinas de inspeção, manutenção, certificações necessárias de operadores e máquinas, a saber normas como ANSI/II AR 02-1999 Equipment, Design and Installation of Ammonia Mechanical Refrigeration Systems, ANSI/ASHRAE 15/2013 Safety for refrigeration Systems e a mais recente norma brasileira NBR 16069:2018

A soma de todos os quesitos abordados acima incide sobre o custo operacional, porém após análise realizada considerando como objeto de estudo a amônia R717 e um fluido muito comum e utilizado o R404A, tendo como “focal point” o compressor que é um dos itens principais de um sistema de refrigeração e que sobre ele incide basicamente 65% a 80% do custo de energia elétrica disponível para rodar o sistema, pode ser um indicativo e justificação por grande parte das instalações de médio e grande porte utilizar a amônia como fluido para definirem um sistema.

Portanto para o presente objeto de estudo sobre o olhar estratégico e desempenho em particular a amônia se mostra mais apropriada sobre o R404A e até outros halogenados que se comportam de forma parecida com o mesmo.

6. Bibliografia

BITZER. Disponível em:

< <https://www.bitzer.de/websoftware/Calculate.aspx?cid=1527961478591&mod=OS> >
Acesso em 01 de junho de 2018.

CLETO, L. T. Aplicações de amônia como fluido refrigerante no setor de ar condicionado e refrigeração industrial. **The Use Of Natural Refrigerants**, São Paulo, 1ª edição, set. 2008.

DOSSAT, R. J. **Princípios da Refrigeração**, São Paulo, Editora Hemus, 1980.

IENO, Gilberto; NEGRO, Luiz. Tradução Roger Trimer, Patrícia Carla Rodrigues, Regina Barbosa. **Termodinâmica**, São Paulo, 1ª edição, p.227, 2009.

PRATTS, L R. Melhoramentos de um sistema de resfriamento por absorção por água amônia, para fabricação de gelo. Campinas, 1997. **Dissertação de mestrado**, Universidade Estadual de Campinas.

SONNTAG, R e; BORGNAKKE, C; WYLEN, Van G J. Termodinâmica Amistosa para Engenheiros. **Fundamentos da Termodinâmica**, Edgard Blucher, 3ª edição. 2002.

SOUZA, W. L. Análise exergoeconômica dos ciclos de refrigeração por absorção de única pressão. João Pessoa, 2007. **Tese de doutorado**, Universidade Federal da Paraíba.

STEPHAN, K.; History of absorption heat pumps and working pair developments in europe. **International Journal of Refrigeration**.v.3, n.3 p.160, 1983.

STOECKER, W.F. Design of Thermal Systems-Third Edition. Singapore: **McGraw-Hill Book Company**. 1989.

STOECKER, W.F.; JONES, J.W. **Refrigeração e Ar Condicionado**. Tradução José M. Saiz Jabardo, Euryale Zerbine, Silvio de Oliveira Júnior, Saburo Ikeda, 1ª edição. São Paulo: Itaim-Bibi, 1985, 478p.

STOECKER, W F; JABARDO, J M Saiz. **Refrigeração Industrial**, São Paulo, 2ª edição, 2002.

VARGAS, L. C. P.; Análise teórico-experimental do coeficiente de performance (COP) de um sistema de refrigeração por jato-compressão. Natal, 2010. **Dissertação de mestrado**, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.