

Novo Mini refrigerador Portátil II: Detalhamento e Projeto do Sistema de Compressão e Evaporação do Fluido

André Luís da Luz¹, Igor Hinke Jacob¹, Jucilei Geraldo Hübner Jr.¹, Muriel Ruckel¹, Geovane Bertoli Telma¹

¹Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE),
CEP 89.288-385 - São Bento do Sul, SC - Brasil.

andreluzz86@gmail.com, igorhkjacob@gmail.com, juniorsbsgames@gmail.com,
murielrucklruckl@gmail.com, geovanebtelma@gmail.com

Resumo. *Refrigeração supre certas necessidades básicas que temos hoje em dia, e sua evolução ao longo dos anos garante isso. Este trabalho descreve uma das etapas de construção de um inovador mini refrigerador portátil. Como toda a parte de construção do projeto total é algo complexo, foram divididas as tarefas de construção em etapas. Neste artigo serão demonstradas as etapas do sistema de compressão e evaporação do fluido refrigerante. O refrigerador construído neste trabalho possui escala reduzida, para obtenção do aprimoramento dos conhecimentos propostos pela disciplina de refrigeração e condicionamento de ar, a qual será detalhada a forma construtiva do sistema de compressão. Ao final do projeto deverá ter a capacidade de refrigerar até a temperatura de 0 °C.*

Palavras Chave: Mini refrigerador portátil, Refrigeração, Compressor, Evaporador.

Introdução

Refrigeração é todo processo de redução de temperatura de uma substância dentro de um espaço fechado. É preciso entender também que a refrigeração está ligada à remoção do calor de um corpo, transferindo-o para outro. Nesse processo, o calor sempre flui do objeto ou substância com temperatura mais alta para aquele que tem temperatura mais baixa. Entre os diferentes componentes de um refrigerador, o compressor tem o maior efeito no consumo de energia do sistema (PORKHIAL *et al*, 2002).

O compressor atua como o coração do sistema de refrigeração, criando o fluxo do refrigerante ao longo dos componentes do sistema. No processo, recebe vapor refrigerante em baixas temperatura e pressão e eleva o vapor até uma pressão e temperatura maior. Junto com o capilar (ou outro dispositivo de expansão), o resultado é que no evaporador a pressão e temperatura do refrigerante são reduzidas, permitindo assim que ele absorva calor. Já no condensador elas são aumentadas, permitindo que ele ceda calor para o meio ambiente.

Em seus vários modelos existem vários estudos para otimizar o desempenho dos compressores. O desempenho de um compressor de pistão rotativo foi otimizado sob condições operacionais pré-definidas e restrições de projeto, empregando uma técnica de otimização restrita, de busca direta e multivariável. Um modelo matemático para o compressor foi formulado. O estudo teórico previu que uma redução de 50% na perda mecânica é possível e isso traz uma melhoria no coeficiente de desempenho do compressor de mais de 14% (OOI, 2005).

Além dos estudos envolvidos com o desempenho, outra constante preocupação é a dissipação de calor gerada pelo compressor. Uma das áreas críticas na camada externa de refrigeradores domésticos é o compressor compartimento, que tem temperaturas

relativamente altas, devido ao calor gerado. Sabe-se também que o condensador libera calor em altas temperaturas (primeira lei da termodinâmica), bem como o compressor. Este calor é rejeitado ao meio ambiente em quase todas as situações práticas, parcialmente por convecção de ar natural.

Neste estudo serão realizadas as etapas de idealização e construção de um sistema de compressão e evaporação para o ciclo de refrigeração de um mini refrigerador portátil, que deverá ser construído com baixo custo e alta eficiência de refrigeração.

Metodologia

No ciclo de refrigeração existem basicamente cinco componentes: Compressor, condensador, válvula de expansão, evaporador e fluido refrigerante (Figura 1).

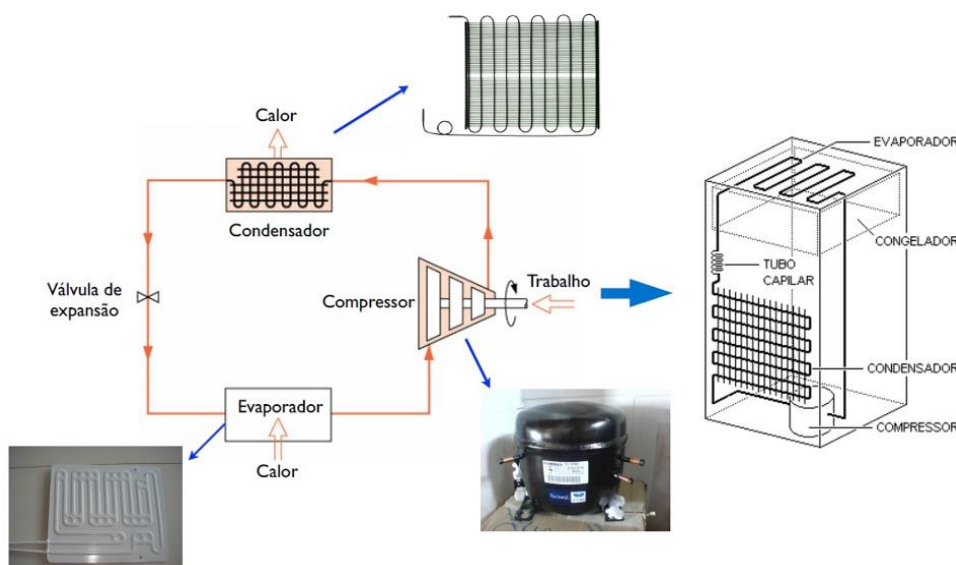


Figura 1. Ciclo de refrigeração (WEB, 2018).

Como pode-se observar na Figura 1, o fluido refrigerante na forma de líquido saturado passa pelo dispositivo de expansão, onde é submetido a uma queda de pressão brusca, onde passa a ter dois estados: predominantemente líquido e, em menor quantidade, gasoso. Logo, o fluido é conduzido para o evaporador, onde absorverá calor do ar do ambiente a ser climatizado, vaporizando-se. Na saída do evaporador, na forma de gás, é succionado pelo compressor, que eleva sua pressão (e temperatura) para que possa ser conduzido através do condensador, onde cederá calor ao ambiente externo, condensando o fluido e completando o ciclo. O ventilador força a circulação de ar, fazendo com que o ar a ser resfriado atravesse, de forma perpendicular, os tubos aletados da serpentina do evaporador.

Os sistemas de refrigeração por compressão são os mais utilizados, porém existem outros meios. Sistemas de resfriamento dessecante são alternativas ao resfriamento por compressão de vapor convencional sistemas. Devido ao aumento da capacidade de desumidificação e diminuição da necessidade temperatura de regeneração em sistemas de refrigeração dessecantes de dois estágios, eles são mais eficientes do que sistemas de um estágio (TAVAKOL E BEHBAHANINIA, 2018).

O funcionamento se baseia na mudança de estado do fluido através da variação de pressão e temperatura. O fluido entra no evaporador a baixa pressão e temperatura, assim absorve calor e passa para o estado de vapor, esse vapor é bombeado pelo compressor e comprimido, tornando vapor superaquecido, em seguida passa ao condensador que

dissipa o calor do fluido para o ambiente, diminuindo sua temperatura e o condensando, o fluido líquido sai do condensador e passa pela válvula de expansão onde tem a pressão reduzida antes de entrar no evaporador e iniciar um novo ciclo.

Etapas do Projeto

Em primeiro plano analisou-se a possibilidade da construção de um compressor por completo, porém isso precisaria de uma alta tecnologia de processamento e peças de alto custo, sendo assim, decidiu-se em utilizar um compressor usado de um refrigerador inativo. Este então foi proveniente de doação de um patrocinador da universidade. Após essas definições iniciais de como proceder com a construção do equipamento elaboramos o fluxograma a seguir disposto na figura 2, para uma visualização mais detalhada do projeto.

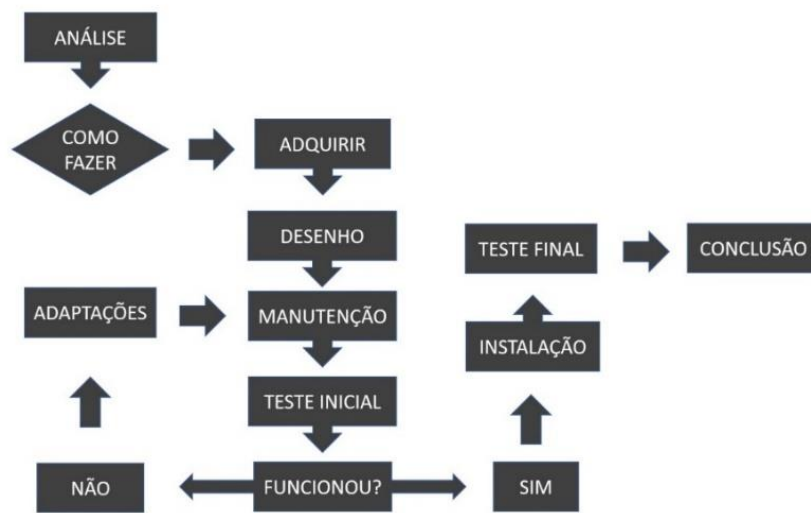


Figura 2. Fluxograma de construção. (Fonte Primária, 2019).

Fez-se uma manutenção inicial e testes iniciais no compressor, além de alguns ajustes elétricos e novos testes foram executados, constatou-se que o compressor inicial apresentou alguns defeitos o que se demonstrou inutilizável. Desta forma foi adquirido um segundo compressor também proveniente de patrocínio, o qual apresentou ótimo funcionamento na instalação e testes finais.

Após a análise inicial e com o compressor em mãos, desenvolveu-se o desenho em 3D utilizando o programa Solidworks, conforme a Figura 3.

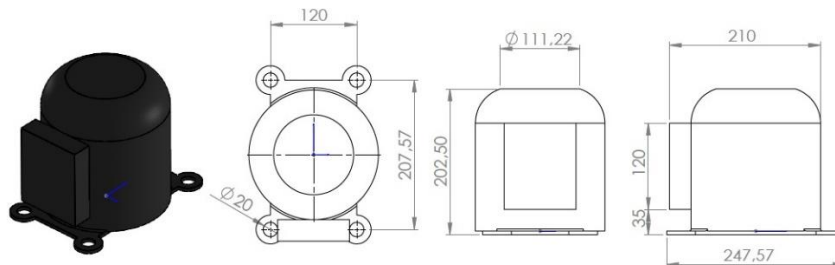


Figura 3. Principais medidas do compressor. (Fonte Primária, 2019).

A Figura 3 demonstra a representação das medidas do compressor doado.

Detalhamento do Refrigerador Completo em CAD

Os softwares CAD (*Computer Aided Design* – Projetos Auxiliados por Computador) auxiliam engenheiros e projetistas a ter uma visão qualitativa e detalhada de desenhos e projetos. O detalhamento em vista explodida do mini refrigerador portátil pode ser observado na Figura 4, suas dimensões principais são 724mm x 529mm x 334mm.

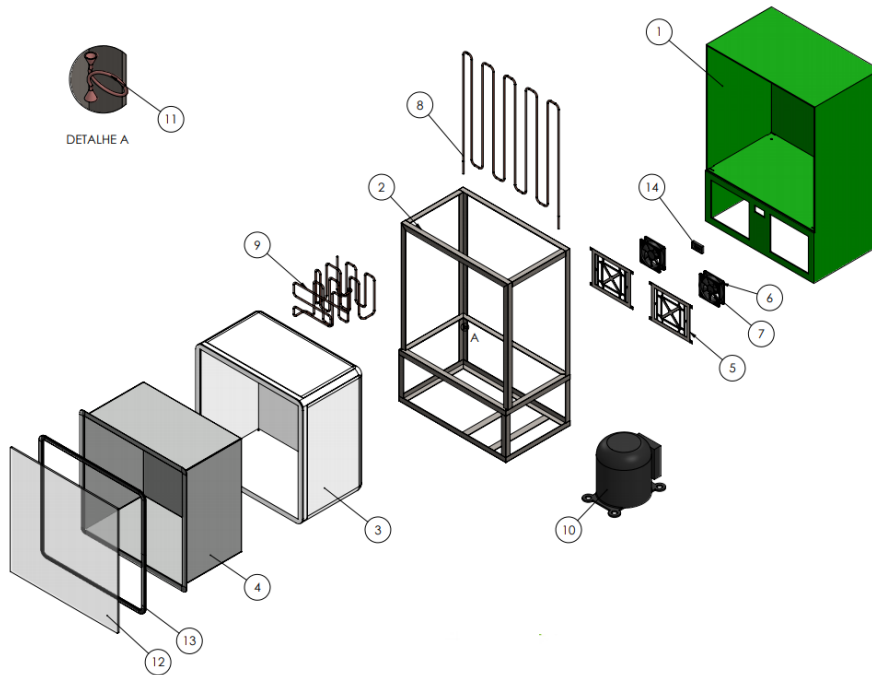


Figura 4. Vista explodida do projeto do mini refrigerador portátil. (Fonte Primária, 2019).

As peças numeradas na Figura 4 estão representadas na Tabela 1.

Tabela 1. Lista dos componentes do novo mini refrigerador portátil

Número	Descrição	Número	Descrição
1	Revestimento Externo	8	Evaporador
2	Estrutura Metálica	9	Condensador
3	Isolante Térmico	10	Compressor
4	Revestimento Interno	11	Tubo Capilar
5	Grade de proteção	12	Porta de vidro temperado
6	Suporte da Ventoinha	13	Borracha de vedação
7	Ventoinha	14	Visor de Temperatura

(Fonte Primária, 2019).

As partes peças e componentes da Tabela 1 que compõe a etapa do projeto deste trabalho são especificamente as numerações 8 e 10, ou seja, o evaporador e o compressor.

Compressor

A função do compressor é comprimir o fluido refrigerante, sempre no estado físico de vapor, elevando a pressão do fluido. O compressor utilizado neste estudo é demonstrado na Figura 5.

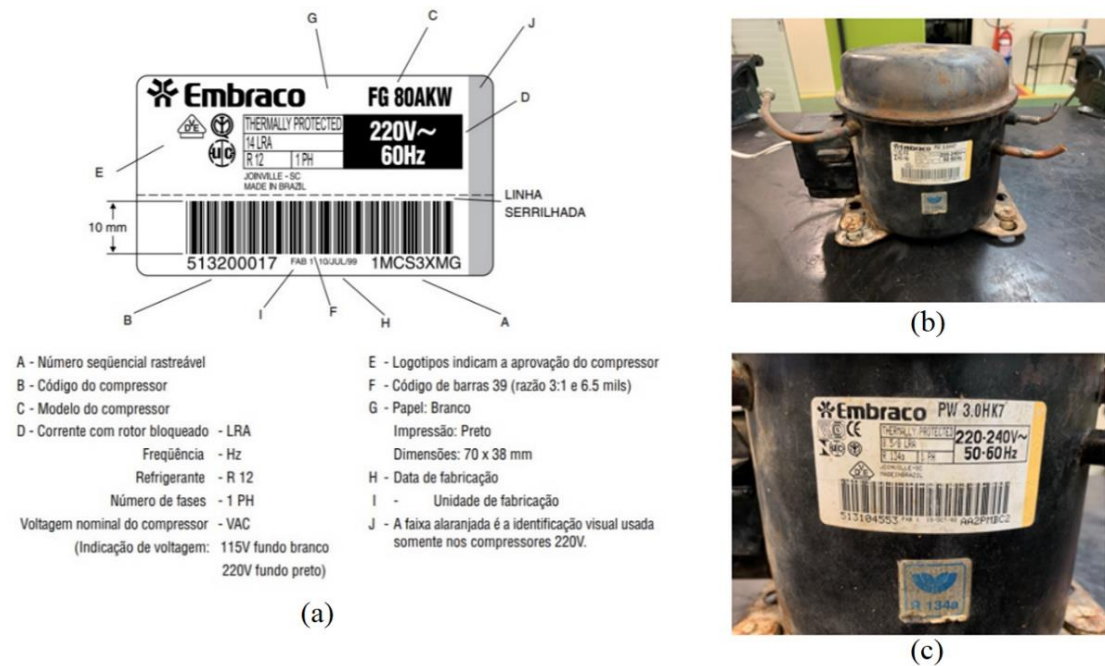


Figura 5. Compressor utilizado no projeto. a) Etiqueta de identificação do Compressor. (Fonte: Manual Embraco, 2019). b) compressor deste estudo (Fonte: Primária, 2019). b) especificações do compressor. (Fonte: Primária, 2019).

Para a definição de alguns parâmetros para a aplicação do compressor utilizou-se a descrição da etiqueta de identificação do compressor, Figura 5.a. O compressor utilizado tem 0,125 cv de potência, e é inicialmente projetado para trabalhar utilizando gás refrigerante R12.

Os compressores podem ser classificados quanto sua aplicação: HBP – *High Back Pressure* (alta pressão de retorno) alta temperatura de evaporação MBP – *Medium Back Pressure* (média pressão de retorno) média temperatura de evaporação LBP – *Low Back Pressure* (baixa pressão de retorno) baixa temperatura de evaporação.

Tabela 3. Classificação de Compressores.

Classificação	Temperatura d Evaporação	Exemplo de aplicação
LBP	-35°C até -10 °C	Freezers e Refrigeradores
L/MBP	-35°C até - °C	Balcões Comerciais e Bebedouros
HBP	-5°C até +15 °C	Desumidificadores, Refresqueiras e Bebedouros

(Fonte: Embraco, 2019).

Dependendo do modelo de compressor, sua aplicação pode se estender desde a classificação LBP até a HBP, conforme visto na Tabela 3.

Evaporador

Simultaneamente a etapa do sistema de compressão, incluiu-se o projeto do componente evaporador. Este é composto por um tubo em forma de serpentina acoplado ao congelador (Figura 6.a).

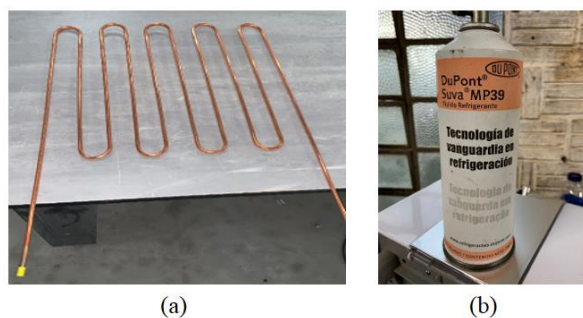


Figura 6. Evaporador. a) tubulação de cobre dobrada, b) Fluido refrigerante utilizado no projeto. (Fonte Primária, 2019).

Para passar ao estado gasoso, o fluido absorve energia na forma de calor do congelador e, ao abandonar o evaporador, chega ao compressor, recomeçando o ciclo, conforme visto na Figura 1.

A recomendação da Embraco para o compressor é que se utilize o gás R12 (Figura 5.c). Contudo, o gás que foi utilizado foi o MP39 (Figura 6.b), desenvolvido especificamente para substituir o R12. O Freon™ MP39 (antigo Suva™ MP39) apresenta uma capacidade de refrigeração ligeiramente mais alta e um coeficiente de desempenho equivalente em comparação com o CFC-12. A tabela 2 apresenta um resumo das características de desempenho teórico do MP39 sob determinadas condições do evaporador.

Tabela 2. Comparativo MP39 com CFC-12.

Propriedades	CFC-12	Freon™ MP39
Capacidade de Refrigeração	1	1,09
Coefficiente de Performance	1,72	1,58
Taxa de Compressão	10,19	13,03
Temperatura de Descarga, °C	130	149
Pressão de Descarga, kPa (abs)	1344	1662

(Fonte Primária, 2019).

Muitos equipamentos têm sido convertidos para Freon™ MP39 (antigo Suva™ MP39), proporcionando uma redução no consumo de energia e aumento na capacidade do equipamento.

Etapas de Construção

Em seguida, iniciaram-se as montagens ligando o compressor ao condensador, com o auxílio de ferramentas específicas (Figura 7.b,c e d) para o tipo de material manuseado, utilizou-se de cortadores e solda para a fixação das emendas, além disto instalou-se um bico de latão com a finalidade de acoplamento com o sistema abastecedor do fluido refrigerante.

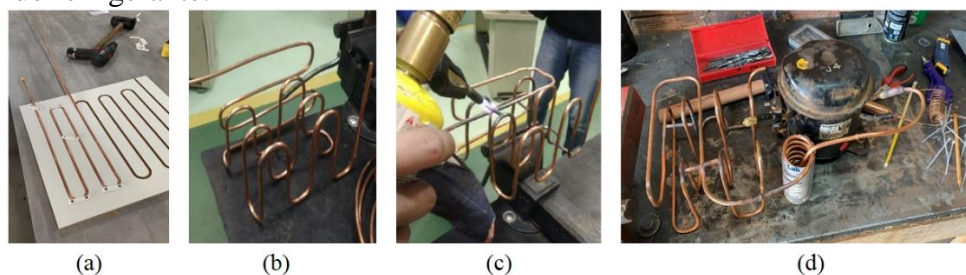


Figura 7. Etapa de Montagem. a) Conformação do Evaporador, b), c) e d) Montagem da tubulação ao compressor (Fonte: Primária, 2019).

Para a construção do evaporador utilizou-se de um molde usinado em madeira para conformar o tubo de cobre no formato definido, tal usinagem com profundidade suficiente para que o tubo se encaixasse perfeitamente e com auxílio de presilhas para que a conformação fosse possível conforme (Figura 7.a).

Alguns problemas levantados em campo podem ser avaliados, mas não quantificados, no que se refere ao consumo de energia. No entanto, é importante que sejam resolvidos, já que sua eliminação resulta em redução de perdas e aumento de eficiência do sistema. VENTURINI, OSWALDO JOSÉ *Et al* (2005)

O isolamento é o fator mais importante no consumo energético de uma instalação de conservação pelo frio, tanto pela sua influência em relação à entrada de calor no ambiente refrigerado como pela dificuldade que existe em modificá-lo após construído ou colocado

Equações referentes ao sistema de compressão e evaporação

Na sequência demonstra-se algumas equações relacionadas ao processo de refrigeração, a primeira sobre perda de calor e a segunda sobre o trabalho, com as descrições e significados de cada caracter.

$$Q_{1,2} = mc_p\Delta T \quad (1)$$

$$W_{1,2} = P\Delta V \quad (2)$$

Onde $Q_{1,2}$ é o Calor (J), $W_{1,2}$ é o Trabalho (J), m é a massa de fluido (kg), c_p é o Calor Específico ($J.kg^{-1}.K^{-1}$), ΔT é a diferença de temperatura (K), P é a Pressão (Pa) e ΔV é a variação de volume (m^3).

A transferência de calor para dentro da câmara depende da forma e do tamanho das câmaras, que determinam a superfície exterior por metro cúbico interior. Teoricamente, as perdas mínimas são obtidas para formas cúbicas. A absorção de calor pelo refrigerante vai depender da temperatura de evaporação.

Resultados e Discussões

Para o funcionamento eficiente do sistema de refrigeração deve se levar em consideração alguns itens como: vedação das portas e cortinas; existência de termostato; existência de forçador de ar; formação de gelo junto ao evaporador e nas tubulações; compressor ou central de refrigeração instalado em nível superior ao dos evaporadores; entre outros; garantindo assim a eficiência do sistema.(SILVA, 2005)

Após os devidos ajustes e instalações (Figura 7), e algumas considerações como as que o autor menciona anteriormente, foi executado a montagem total dos componentes evaporador e compressor em testes, com as instalações devidamente executadas e com o gás refrigerante em operação (Figura 8).

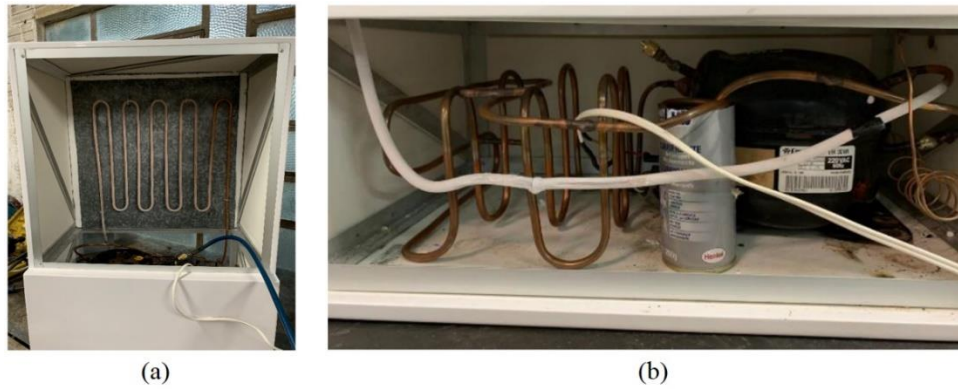


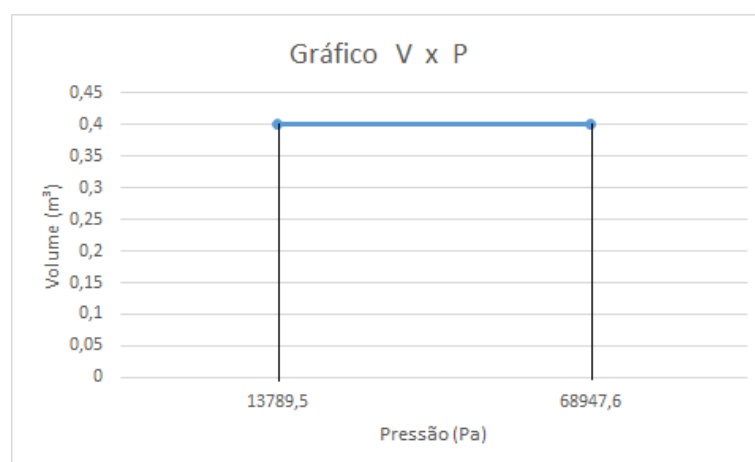
Figura 8. Estrutura montada em teste. a) com evaporador montado, b) com compressor montado. (Fonte: Primária, 2019).

Nota-se a condensação que se forma no evaporador (Figura 8.a), constatando que o funcionamento do ciclo de refrigeração. Ressalta-se que nesta etapa ainda se fazem necessários alguns ajustes e acabamentos. Os ajustes mencionados foram executados na própria estrutura, como os revestimentos faltantes de zinco e os fechamentos necessários como a porta de vidro prevista no projeto, o que não é o propósito deste trabalho em específico.

A uma determinada temperatura no evaporador corresponde uma determinada pressão. A densidade do gás é alta em temperaturas baixas e, portanto, somente uma pequena quantidade de calor poderá ser absorvida durante a evaporação. Se a evaporação ocorrer a uma temperatura mais alta, por exemplo, 0 °C, a pressão e a densidade aumentarão e a quantidade de calor absorvida será maior. Por esta razão, podemos concluir que o trabalho realizado pelo motor num compressor para alta temperatura de evaporação será maior que o realizado pelo mesmo compressor em baixa temperatura de evaporação. Consequentemente, motores para aplicação em sistemas de alta pressão de evaporação devem ter torque mais elevado de funcionamento.

Na sequência demonstra-se um gráfico $V \times P$ onde V é o volume de fluido refrigerante inserido no sistema refrigerador este está em metros cúbicos (m^3) e P é a pressão no sistema essa está em Pascal (Pa).

Figura 9. Gráfico Volume x Pressão na saída do compressor.



(Fonte Primária, 2019).

Nota-se que o volume é constante e a pressão é variável ela entra com 13789,5 Pa e sai o compressor com 68947,6 Pa. A seguir alguns cálculos relacionados ao processo aplicando as equações expostas anteriormente. Sabendo que $m = 0,100 \text{ kg}$, $c_p = 1430 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, $T_1 = 7 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_2 = 55 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta V = 0,4 \text{ m}^3$, $P_{sai da} = 68.947 \text{ Pa}$, $P_{entra da} = 13.789 \text{ Pa}$. Aplicando nas Equações 1 e 2 tem-se $Q_{1,2} = 6864 \text{ J}$ e $W_{1,2} = 27579,04 \text{ J}$.

Conclusões

Com este projeto colocamos em pratica a mescla de matérias de mecânica dos fluidos e de refrigeração, mais especificadamente na primeira lei da termodinâmica em sistemas fechados com foco no rendimento e eficiência de um compressor. Foram analisados o comportamento e a classificação dos fluidos refrigerantes utilizados no projeto, conseguindo compreender o qual é o mais eficiente para determinado tipo de compressor. Aprimorou-se os conhecimentos a respeito de ciclos de refrigeração e como eles funcionam, pois, a partir da montagem pratica possibilitou-se a real compreensão da importância de cada item dentro de um ciclo refrigerador, com ênfase no desempenho do evaporador e do compressor.

Fabricamos um aparelho de eficiência relativamente boa onde esperava-se 0°C conseguiu-se atingir até -3.2°C devido ao uso do compressor e do evaporador que foi projetado e executado no sistema. Houve poucos gastos, pois tivemos grande aproveitamento de peças já existentes de aparelhos usados, apenas adaptando para nosso equipamento e as que não podemos conseguir foram relativamente simples uma vez que foi entendido o conceito por trás dela, no projeto geral estimou-se um custo de aproximadamente R\$800,00. Futuramente podemos adaptar uma calha sob as serpentinas, para reaproveitar a água que condensa na sua superfície e melhorar o isolamento das paredes para evitar a troca de calor. Após as melhorias deseja calcular a eficiência do mini refrigerador em atividade real, com itens em seu interior.

Referências

Porkhial, S., Khastoo, B., & Modarres Razavi, M. (2002). Transient characteristic of reciprocating compressors in household refrigerators. *Applied Thermal Engineering*, 22(12), 1391–1402.

Afonso, C. F. (2013). Household refrigerators: Forced air ventilation in the compressor and its positive environmental impact. *International Journal of Refrigeration*, 36(3), 904–912.

Ooi, K. T. (2005). Design optimization of a rolling piston compressor for refrigerators. *Applied Thermal Engineering*, 25(5-6), 813–829.

Tavakol, P.; Behbahaninia, A. (2018). Presentation of two new two-stage desiccant cooling cycles based on heat recovery and evaluation of performance based on energy and exergy analysis. *Journal of Building Engineering*.

Virtuous Tecnologia da Informação, 2008-2019. Como funcionam os refrigeradores? em Só Física. Consultado em jul. 2019. Disponível na Internet em <<http://www.sofisica.com.br/conteudos/curiosidades/refrigeradores.php>>.

The Chemours Company (2019). Chemours™ and the Chemours Logo are trademarks or registered trademarks of The Chemours Company. Consultado em jul. 2019. Disponível na Internet em: <https://www.chemours.com/Refrigerants/pt_BR/products/freon/Freonmp39_br.html>. ©2019>.

Loureiro, Mário (2019). Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial e comercial.

Manual de aplicação de compressores (2005). Consultado em jul. 2019. Disponível em: <<http://www.embraco.com/DesktopModules/DownloadsAdmin/Arquivos/00004.pdf>>.

Venturini, Osvaldo José Venturini e Pirani, Marcelo José (2008). Refrigeração e ar condicionado (2005)., UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá e IEM – Instituto de Engenharia Mecânica.

Silva, Marcelino Nascimento da Silva (2005), Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial e comercial.