UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
Curso de Engenharia Mecânica

GABRIEL AGUIAR LIMA

Análise de um Sistema de Refrigeração de Expansão Indireta

SÃO LUÍS/MA
2017

GABRIEL AGUIAR LIMA

Análise de um Sistema de Refrigeração de Expansão Indireta

Monografia de graduação apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Me. Valdirson Pereira Mendes

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA MONOGRAFIA DEFENDIDA PELO ALUNO GABRIEL AGUIAR LIMA, E ORIENTADA PELO PROF. MSC. VALDIRSON PEREIRA MENDES

.....

ASSINATURA DO ORIENTADOR

SÃO LUÍS/MA

2017

FICHA CATALOGRAFICA ELABORADA PELA

BIBLIOTECA CENTRAL – UEMA

Lima, Gabriel Aguiar.

Análise de um sistema de refrigeração de expansão indireta / Gabriel Aguiar Lima. – São Luís, 2017.

94 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2017.

Orientador: Prof. Me. Valdirson Pereira Mendes.

1. Psicrometria. 2. Sistema de refrigeração. 3. Vazão de água. 4. Capacidade. I. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Análise de um Sistema de Refrigeração de Expansão Indireta

Autor: Gabriel Aguiar Lima
Orientador: Prof. Me. Valdirson Pereira Mendes

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Monografia:

Prof. Me. Valdirson Pereira Mendes, Presidente
Instituição: UEMA – Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Me. Núbia Célia Bergê Cutrim
Instituição: UEMA – Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Esp. Lorenni Evren Matias Barros
Instituição: UEMA – Universidade Estadual do Maranhão

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

São Luís/MA, 04 de dezembro de 2017.

Dedico este projeto primeiramente a Deus, ao meu pai João Alves de Lima que sempre me incentivou a lutar pelos meus ideais e que me ajudou a chegar onde estou hoje, mas que infelizmente não pode estar ao meu lado nesse momento em que tanto esperamos, à minha mãe Maria Hildete de Andrade Aguiar por todo o suporte e apoio emocional em horas difíceis e às minhas tias Francisca Queiroz e Luiza Queiroz sempre estiveram comigo durante minha caminhada de vida.

Agradecimentos

Para a realização deste trabalho foi preciso o envolvimento e a ajuda de muitas pessoas, as quais eu presto minha sincera homenagem:

Primeiramente a Deus, pois ele me propiciou o dom da vida e uma boa saúde.

Aos meus pais por terem me dado todo o suporte necessário e uma boa criação.

Ao meu orientador, Prof. Me. Valdirson Pereira Mendes por me orientar devidamente durante uma etapa tão importante na minha graduação, e ao enriquecer meu conhecimento não apenas acadêmico mas para a vida.

À minha família, em especial às minhas tias Luiza e Francisca que sempre me orientaram e ajudaram até hoje, às minhas irmãs: Monique, Mickaele e Mariana que sempre estiveram ao meu lado, e ao meu padastro Luiz Alberto que sempre foi uma pessoa integra e me auxiliou durante algumas etapas da minha vida.

À minha namorada, amiga e companheira Ana Paula por estar ao meu lado me dando paz e conforto durante os momentos difíceis e por ser uma pessoa compreensiva.

Aos meus amigos que me deram todo o apoio necessário e suporte para o meu projeto: Wanderson Cintra, Emmerson Xavier, Kássio Felipe, Érika Vanessa, Luiz Fernando e demais colegas de sala.

"Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo"

Martin Luther King

Resumo

O presente trabalho apresenta uma análise em um sistema de refrigeração industrial do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão. Para a realização deste projeto foi-se necessário uma restauração deste sistema já que o mesmo encontrava-se sucateado. Para poder entender como funciona o sistema de refrigeração em questão foi-se necessário realizar uma abordagem histórica sobre a refrigeração, transferência de calor, os ciclos de refrigeração, psicrometria, os sistemas de refrigeração e os componentes do sistema de refrigeração da máquina. A coleta de dados foi realizada por meio dos acessórios do sistema e também por meio de equipamentos eletrônicos pertencentes ao laboratório de refrigeração. Para a sua realização foi necessário seguir certos procedimentos: como vácuo no sistema e carga de fluido refrigerante. Durante a operação de vácuo no sistema podemos perceber duas coisas, uma que este sistema possui um vazamento crônico, ou seja um vazamento que mesmo que seja sanado acabará por se iniciar da mesma forma com o tempo, e a outra que: a válvula que abre o registro do compressor encontrava-se escareada, desta forma não podendo utilizar a linha de baixa pressão do sistema. Com isso todos os procedimentos foram realizados pela linha de alta pressão do sistema. A coleta de dados funcionou sendo para cada vazão de água, houve três vazões de ar, para assim fazer uma análise de sua capacidade. Tendo realizado devidamente a coleta de dados e a análise dos resultados pode-se perceber que o sistema tem uma baixa capacidade, mas durante a sétima vazão de água ele teve um aumento em sua capacidade.

Palavras chave: Psicrometria, Sistema de Refrigeração, Vazão de água, Capacidade.

Abstract

This work presents an analysis in an industrial refrigeration system of the mechanical engineering course of Maranhão State University. A restoration of this system was necessary for the achievement of this project, as it was found in the same way. In order to understand how the cooling system operates in question, a historical approach on cooling, heat transfer, cooling cycles, psychrometrics, refrigeration systems and components of the system are needed to be carried out. Refrigeration of the machine. The data collection was carried out through the system accessories and also through electronic equipment belonging to the refrigeration laboratory. For its realization it was necessary to follow certain procedures: such as vacuum in the system and coolant load. During the vacuum operation in the system we can perceive two things, one that this system has a chronic leakage, i.e. a leak that even if it is remedied will eventually start in the same way with time, and the other that: the valve that opens the compressor's registry was In this way, you cannot use the low-pressure system. With this all the procedures were performed by the high-pressure system. The data collection worked for each water flow, there were three air flows, so to make an analysis of its capacity. Having duly accomplished data collection and analysis of the results can be realized that the system has a low capacity, but during the seventh water flow it had an increase in its capacity.

Key words: *psychrometrics, cooling system, water flow, capacity.*

Lista de Ilustrações

Figura 2.1 - Energia só é reconhecida como transferência de calor se atravessar a fronteira do sistema..... 18
Figura 2.1.2 – Trocas Térmicas num ambiente com ar condicionado.....19
Figura 2.2.1.1 – Representação esquemática e diagrama T-s do ciclo ideal de refrigeração por compressão a vapor.....21
Figura 2.2.3.1 – Diagrama esquemático e T-s do ciclo real de refrigeração por compressão de vapor.....23
Figura 2.4.3.1 – Saturador adiabático.....26
Figura2.4.10.1 – O resfriamento a pressão constante do ar úmido e a temperatura de orvalho no diagrama T-s água.....30
Figura 2.4.12.1- Representação dos Pontos de um Diagrama Psicrométrico.....32
Figura 2.6.3.1- Evaporador Shell and Coil.....33
Figura 2.7.1.1 – Fixação do separador de óleo.....38
Figura 2.7.2.1- Dois modelos de Reservatório de Líquido.....38
Figura 2.7.3.1 - Filtro secador.....39
Figura 2.7.4.1 – Acumulador de sucção.....40
Figura 2.7.5.1- Visor de Líquido.....41
Figura 2.7.6.1- Válvula de serviço.....42
Figura 2.7.7.1- Registro.....42
Figura 3.1 – Interface do programa Psycrometrics Diagram Viewer.....46
Figura 3.1.1- Manifold.....47
Figura 3.1.2 – Bomba de Vácuo.....47
Figura 3.1.3- Chave Catraca de Refrigeração.....48
Figura 3.1.4- Anemômetro.....48
Figura 3.1.5- Psicrômetro 49
Figura 4.1 – Vista dos pontos na 1ª vazão de água.....50
Figura 4.2 – Vista dos pontos na 2ª vazão de água.....51
Figura 4.3 – Vista dos pontos na 3ª vazão de água.....52
Figura 4.4 – Vista dos pontos na 4ª vazão de água.....53
Figura 4.5 – Vista dos pontos na 5ª vazão de água.....54
Figura 4.6 – Vista dos pontos na 6ª vazão de água.....55
Figura 4.7 – Vista dos pontos na 7ª vazão de água.....56
Figura 4.8 – Vista dos pontos na 8ª vazão de água.....57
Figura 4.9 – Capacidade pela vazão de ar na 1ª Vazão de Água.....58
Figura 4.10 – Capacidade pela vazão de ar na 2ª Vazão de Água.....59
Figura 4.11 – Capacidade pela vazão de ar na 3ª Vazão de Água.....59
Figura 4.12 – Capacidade pela vazão de ar na 4ª Vazão de Água.....60
Figura 4.13 – Capacidade pela vazão de ar na 5ª Vazão de Água.....60
Figura 4.14 – Capacidade pela vazão de ar na 6ª Vazão de Água.....61
Figura 4.15 – Capacidade pela vazão de ar na 7ª Vazão de Água.....61
Figura 4.16 – Capacidade pela vazão de ar na 8ª Vazão de Água.....62
Figura 4.17 – Capacidade média pela vazão de água.....62
Figura 4.18 - Capacidade das vazões de ar em função das vazões de água.....63

Lista de Tabelas

Tabela 4.1 – Dados Obtidos para a vazão de água 1.....50
Tabela 4.2 – Dados Obtidos para a vazão de água 2.....51
Tabela 4.3 – Dados Obtidos para a vazão de água 3.....52
Tabela 4.4 – Dados Obtidos para a vazão de água 4.....52
Tabela 4.5 – Dados Obtidos para a vazão de água 5.....53
Tabela 4.6 – Dados Obtidos para a vazão de água 6.....54
Tabela 4.7 – Dados Obtidos para a vazão de água 7.....55
Tabela 4.8 – Dados Obtidos para a vazão de água 8.....56
Tabela 4.9 – Capacidades obtidas para as vazões.....57

Lista de Abreviaturas e Siglas

A/C	Antes de Cristo
q_e	Calor que entra
q_s	Calor que sai
w_e	Trabalho que entra
w_s	Trabalho que sai
h_s	Entalpia na saída
h_e	Entalpia na entrada
COP_R	Coeficiente de performance dos refrigeradores
COP_{BC}	Coeficiente de performance das bombas de calor
°C	Graus Celsius
Kj	Quilo-joule
Kg	Quilo-grama
K	Kelvin
W	watts
%	Percentual
P_{at}	Pressão atmosférica
P_a	Pressão parcial do ar seco
P_v	Pressão parcial do vapor de água
P_s	Pressão de Saturação de água pura
TBS	Temperatura de Bulbo Seco
TSA	Temperatura de Saturação Adiabática
TBU	Temperatura de Bulbo Úmido
A	Constante, com valores a depender do tipo de psicrômetro e a TBS e TBU
ρ	Densidade
m_e	Massa Específica
m_v	Massa de vapor de água
V	Volume
m³	metro cúbico

T-S	Temperatura Entropia
c_p	Calor específico à pressão constante
UR	Umidade Relativa
UA	Umidade Absoluta
EU	Unidade Especifica
m_a	Massa de ar
GS	Grau de Saturação
g	Conteúdo de Umidade
g_s	Conteúdo de Umidade do ar Saturado
TPO	Temperatura de Ponto de Orvalho
in	Polegadas
Hg	Mercúrio
Psi	Pounds per square inch absolute – libras por polegada quadrada absoluta
TC	Temperatura de Condensação
TE	Temperatura de Evaporação
VET	Válvula de Expansão Termostática

Sumário

1 INTRODUÇÃO 16
2 REVISÃO DA LITERATURA 18
2.1 Transferência de Calor 18
2.2 Sistema de Refrigeração a Vapor 20
2.2.1 Ciclo Ideal de Refrigeração por Compressão a Vapor 20
2.2.3 Ciclo Real de Refrigeração por Compressão a Vapor 22
2.3 Ar seco e Ar Atmosférico 23
2.4 Psicrometria 24
2.4.1 Lei de Dalton 24
2.4.2 Temperatura de Bulbo Seco 24
2.4.3 Saturação Adiabática 25
2.4.4 Temperatura de Bulbo Úmido 26
2.4.5 Pressão Parcial do Vapor na mistura 27
2.4.6 Massa Específica de Vapor na Mistura 27
2.4.7 Umidade Relativa 28
2.4.8 Umidade Absoluta 28
2.4.9 Grau de Saturação 29
2.4.10 Ponto de Orvalho 29
2.4.11 Volume Específico 30
2.4.12 Diagrama Psicrométrico 30
2.5 Conforto Humano e Condicionamento de Ar 32
2.6 Sistemas de Ar Condicionado 33
2.6.1 Sistema de Expansão Direta 34
2.6.2 Sistema de Expansão Indireta 34
2.6.3 Evaporador 35
2.6.4 Serpentinas de Resfriamento 36
2.7 Acessórios do Ciclo de Refrigeração 37
2.7.1 Separador de Óleo 37
2.7.2 Reservatório de líquido 38
2.7.3 Filtro Secador 38
2.7.4 Acumulador de Sucção 39
2.7.5 Visor de Líquido 40
2.7.6 Válvula de Serviço 41

2.7.7 Registros 42
3 MATERIAIS E MÉTODOS 43
3.1 Equipamentos 46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 50
5 CONLUSÃO E SUGESTÃO PARA PRÓXIMOS TRABALHOS 64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 65
APÊNDICE A – Central de Água Gelada e Central de Ar Condicionado e equipamentos utilizados para as coletas de temperatura 67
APÊNDICE B – Tabelas com Dados da 1ª à 8ª Vazão de Água na Central de Ar Condicionado e na Central de Água Gelada respectivamente 74
APÊNDICE C – Programa Criado no MATLAB para calcular as Capacidades 90
APÊNDICE D – Memorial de Cálculo das Capacidades [KW] 91

1 INTRODUÇÃO

A utilização da refrigeração foi um dos avanços mais importantes da nossa civilização, pois esta possibilitou poder trabalhar em ambientes com um melhor conforto térmico, a viabilidade de conservar e distribuir alimentos, remédios, tendo isso em vista, podemos dizer que a mesma possibilitou uma melhor qualidade de vida para o ser humano.

Um poeta chinês do século XI A/C. Descreve a coleta e armazenagem de gelo natural. O resfriamento por meio de gelo e neve é frequentemente mencionado no decorrer da História (MATOS, sem data disponível).

Segundo (MATOS, sem data disponível) na Europa, durante a Idade Média, durante o período do inverno vários nobres mandavam encher buracos de neves para que os mesmos pudessem tomar bebidas frias e preparar sobremesas. Neste tempo, foram descritos muitos dispositivos que usavam a evaporação da água para esfriar o ar.

De acordo com (MATOS, sem data disponível), o principal responsável por tornar o princípio de refrigeração por compressão mecânica em um equipamento real foi James Harrison (escocês, nascido em 1815 ou 1816).

Após uma exibição deste equipamento de Harrison em Londres por torno de 1862, começou a desenvolver-se os mais variados sistemas de produção de frio artificial e vários tipos de fluídos refrigerantes.

Com o surgimento dos fluidos refrigerantes com flúor, em 1928 desenvolvidos por Thomas Midgely, onde mostrou-se que esta substância a qual desenvolvera não era tóxica, a indústria de refrigeração começou a desenvolver-se a todo vapor, e atualmente abrange os mais variados setores da nossa civilização.

Uma das grandes áreas de aplicação da termodinâmica é a refrigeração, que é a transferência de calor de uma região de temperatura mais baixa para outra mais alta (ÇENGEL e BOLES, 2007).

O presente trabalho trata de uma instalação de um sistema de refrigeração de expansão indireta de uma máquina que se encontra no laboratório de refrigeração da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA – Campus Paulo VI.

Os sistemas de refrigeração mais usuais podem ser classificados em dois tipos: expansão direta e expansão indireta.

Em uma instalação de ar condicionado de expansão direta, o fluido refrigerante a baixa temperatura contido no evaporador, entra em contato direto com o ar do ambiente a ser

refrigerado. Um ventilador força a passagem do ar por entre as serpentinas do evaporador, resfriando o ambiente.

Entretanto, quando a instalação é do tipo expansão indireta, como no presente trabalho, o ar do ambiente a ser refrigerado cede calor para a água fria, através de uma serpentina e um ventilador (Fancoil) e posteriormente é resfriada pelo ciclo fechado de gás refrigerante (Chiller). A água a baixa temperatura é armazenada em uma caixa térmica para utilização no ciclo.

O presente estudo tem como principal objetivo a reforma da máquina para que a mesma seja utilizada didaticamente por professores e alunos, pois é de grande importância para graduandos em engenharia mecânica ter um conhecimento prático de como realizar testes de capacidade em sistemas de refrigeração. O projeto também está voltado a conhecer o desempenho do sistema, calculando a capacidade de refrigeração utilizando a carta psicrométrica e gráficos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Transferência de Calor

Um princípio básico e fundamental para a compreensão do funcionamento de um sistema de ar condicionado, seja de que tipo for, é o de transferência de calor (MARAN, MARCOS, 2005, P.32).

Segundo (MORAN, HOWARD, *et al.*, 2013) Com base em provas experimentais, sabemos que a transferência de energia por calor é induzida apenas como resultado de uma diferença de temperatura entre o sistema e sua vizinhança, e ocorre somente no sentido decrescente de temperatura.

Conforme (ÇENGEL e BOLES, 2007) o calor é a energia em transito, ele só será reconhecido quando cruza a fronteira de um sistema, ou seja quando houver a transferência de calor.

Um exemplo, é dado por (ÇENGEL e BOLES, 2007, Pg.49), a batata contém energia, mas essa energia é transferência de calor apenas quando ela passa através da casca da batata (a fronteira do sistema) para alcançar o ar, como mostra a figura 4.1.

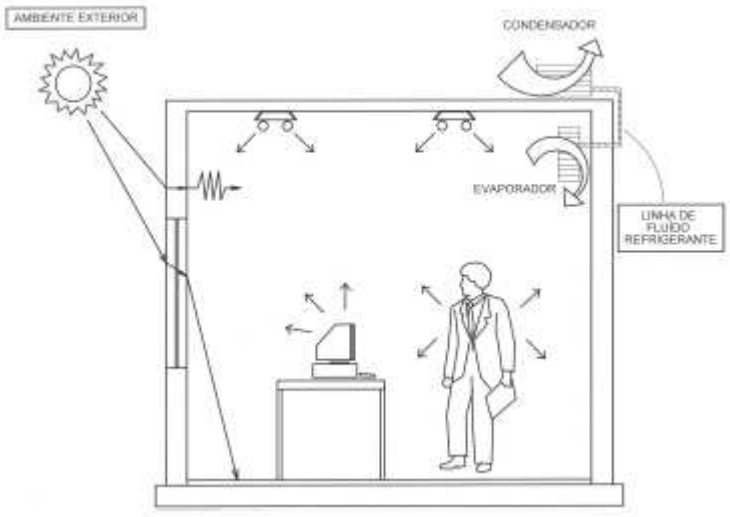
Com isso em vista, logo após estar na vizinhança, o calor transferido irá se tornar parte da energia interna dessa vizinhança (ÇENGEL e BOLES, 2007).

Figura 2.1 - Energia só é reconhecida como transferência de calor se atravessar a fronteira do sistema.

Fonte: (ÇENGEL e BOLES, 2007, Pg.49)

Com este conceito podemos agora ter uma explicação detalhada sobre um sistema de produção de frio, mostrando como estes conceitos de transferência de calor se dão em um ambiente com ar condicionado, conforme ilustrado na figura 2.1.2.

Figura 2.1.2 – Trocas Térmicas num ambiente com ar condicionado



Fonte: (MARAN, 2005, Pg.33).

Na figura 2.1.2, podemos destacar dois componentes, o evaporador e o condensador, os quais tem a função de resfriar o ambiente interno (a sala) e a função de rejeitar este calor interno para a área externa (MARAN, 2005).

Este processo dá-se da seguinte forma, o ar do ambiente, ao passar pelo evaporador, vai ceder calor para o fluido refrigerante presente no sistema, desta forma o ar se resfria e é distribuído para o ambiente interno, assim ele mantém o ambiente refrigerado. E então o calor é retirado do ambiente interno (a sala) pelo evaporador (MARAN, 2005).

O ar do ambiente externo, ao passar pelas aletas do condensador, ele retira calor do fluído refrigerante, podemos assim dizer que o calor foi rejeitado para a atmosfera (MARAN, 2005).

Este é um processo que se repete o tempo todo enquanto o sistema de ar condicionado estiver funcionando.

2.2 Sistema de Refrigeração a Vapor

Os sistemas de refrigeração a vapor é uma tecnologia que vem sendo muito utilizada na prática. Nos ciclos de refrigeração a vapor o refrigerante é vaporizado e condensado e também é comprimido na forma de vapor (ÇENGEL e BOLES, 2007).

De acordo com (MORAN, HOWARD, *et al.*, 2013) um sistema de refrigeração tem por objetivo manter uma região fria em uma certa temperatura, na qual é abaixo da temperatura da vizinhança, para tal feito utiliza-se sistemas de refrigeração a vapor.

2.2.1 Ciclo Ideal de Refrigeração por Compressão a Vapor

O ciclo de refrigeração por compressão a vapor é o mais usado para refrigeradores, sistemas de condicionamento de bombas de ar e bombas de calor (ÇENGEL e BOLES, 2007, Pg.494).

Para se obter um ciclo de refrigeração a vapor é necessário satisfazer as seguintes condições: não existir queda de pressão por atrito e o fluido refrigerante deve escoar a uma pressão constante ao logo dos dois trocadores de calor, e a compressão deve ocorrer sem irreversibilidade, e a transferência de calor perdida também for ignorada (MORAN, HOWARD, *et al.*, 2013).

O ciclo Ideal de Refrigeração por compressão a vapor é mostrado na figura 2.2.1.1, em forma esquemática de um diagrama T-s.

Segundo (ÇENGEL e BOLES, 2007, Pg.494) este ciclo contém 4 processos:

1 – 2 Compressão isentrópica em um compressor

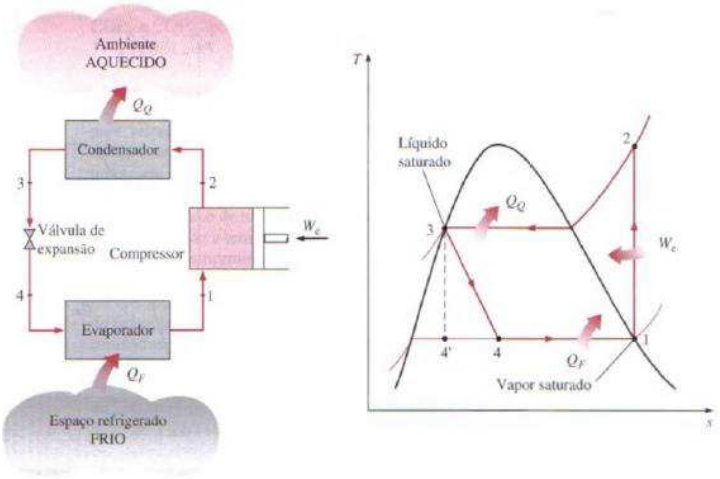
2 – 3 Rejeição de calor a pressão constante em um condensador

3 – 4 Estrangulamento em um dispositivo de expansão

4 – 1 Absorção de calor a pressão constante em um evaporador

Para (MORAN, HOWARD, *et al.*, 2013) todos os processos deste ciclo são internamente reversíveis, com exceção do estrangulamento.

Figura 2.2.1.1 – Representação esquemática e diagrama T-s do ciclo ideal de refrigeração por compressão a vapor



Fonte: (ÇENGEL e BOLES, 2007, Pg.494)

De acordo com (ÇENGEL e BOLES, 2007) este ciclo é realizado da seguinte forma, o fluído refrigerante entra no compressor no 1º estágio na forma de vapor saturado e este irá comprimir o fluído refrigerante de forma isentrópica até a pressão do condensador, em seguida o fluido refrigerante entra no condensador no 2º estágio como vapor superaquecido, onde haverá troca de calor deste fluído refrigerante durante sua passagem pelo condensador, desta forma ele sai como líquido saturado. No 3º estágio ele é estrangulado por uma válvula de pressão até a pressão do evaporador, ficando assim em uma mistura de líquido-vapor, no 4º estágio o fluído refrigerante entra no evaporador começa a trocar calor com ele, desta forma o espaço e refrigerado. Logo após o fluído refrigerante sai do evaporador como vapor saturado e entra novamente no compressor completando o ciclo.

Todos os quatro componentes associados do ciclo de refrigeração por compressão são dispositivos com escoamento em regime permanente (ÇENGEL e BOLES, 2007, Pg.495).

A energia cinética e a energia potencial do refrigerante possuem variações tão pequenas que podem ser desprezadas, então com base nisso a equação de energia do escoamento em regime permanente em unidade de massa fica da seguinte forma:

$$(q_e - q_s) + (w_e - w_s) = h_s - h_e \qquad (2.2.1.1)$$

O condensador e o evaporador não envolvem trabalho e o compressor pode ser aproximado como adiabático. Em seguida, o COPs dos refrigeradores e das bombas de calor neste que operam no ciclo de compressão a vapor podem ser expressas por: (ÇENGEL e BOLES, 2007, Pg.495).

$$COP_R = \frac{q_F}{w_{liq.e}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (2.2.1.2)$$

$$COP_{BC} = \frac{q_C}{w_{liq.e}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad (2.2.1.3)$$

Onde $h_1 = h_v$ e $h_3 = h_1$ para o caso ideal.

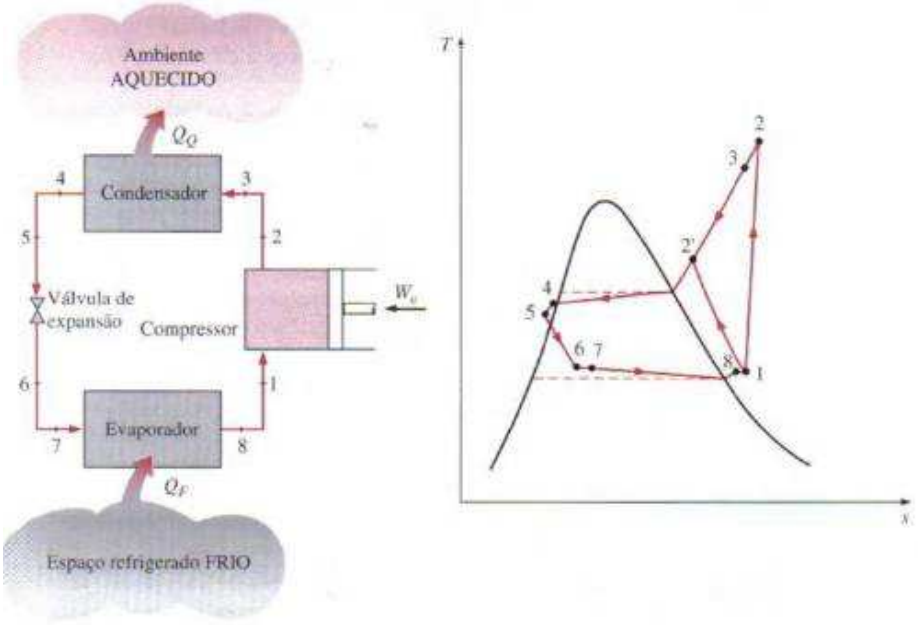
2.2.3 Ciclo Real de Refrigeração por Compressão a Vapor

O ciclo real difere do ideal de várias maneiras, principalmente por causa da irreversibilidade que ocorrem nos componentes (ÇENGEL e BOLES, 2007).

Conforme (MORAN, HOWARD, *et al.*, 2013) as transferências de calor entre o refrigerante e as regiões quente e fria não são realizadas de forma que estas sejam reversíveis, a temperatura do refrigerante no evaporador é mais baixa que a temperatura da região fria e a temperatura do fluido refrigerante no condensador é mais alta que a temperatura da região quente. Essas transferências de calor irreversíveis acabam por apresentar um efeito significativo no rendimento, percebe-se que o coeficiente de desempenho cai conforme a temperatura média do refrigerante no evaporador diminui e a temperatura no condensador aumenta, figura 2.2.3.1.

Duas fontes comuns de irreversibilidade são o atrito do fluído (que causa quedas de pressão) e a transferência de calor de ou para a vizinhança. O diagrama T-s de um ciclo real de refrigeração por compressão de vapor é mostrado na figura 2.2.3.1 (ÇENGEL e BOLES, 2007, Pg.497).

Figura 2.2.3.1 – Diagrama esquemático e T-s do ciclo real de refrigeração por compressão de vapor



Fonte: (ÇENGEL e BOLES, 2007, Pg.497)

2.3 Ar seco e Ar Atmosférico

Na atmosfera o ar normalmente contém de vapor d'água e é chamado de ar atmosférico e que o ar que não contém vapor d'água é chamado de ar seco (ÇENGEL e BOLES, 2007).

De acordo com em algumas aplicações de condicionamento de ar a temperatura do ar varia de -10°C a 50°C e nesse intervalo o ar seco pode ser tratado como um gás ideal com um valor de c_p constante igual a $1{,}005\ \frac{Kj}{Kg \times K}$.

O ar atmosférico pode ser considerado uma mistura de ar seco, vapor de água e impurezas (Mendes, Valdirson P., Pg.3).

Isso é confirmado quando (ÇENGEL e BOLES, 2007, Pg.586) fala que com frequência é conveniente tratar o ar como uma mistura de vapor d'água e ar seco, uma vez que a composição do ar seco permanece relativamente constante.

2.4 Psicrometria

A Psicrometria é a parte da termodinâmica que tem por objetivo o estudo das propriedades do ar úmido (MENDES,1996, Pg.4).

A Psicrometria possui várias áreas de aplicação, como por exemplo: refrigeração, indústrias alimentícias, meteorologia entre outras.

2.4.1 Lei de Dalton

A pressão total de uma mistura de gases é igual a soma das pressões parciais de cada componente na mesma temperatura da mistura (MENDES,1996, Pg.4).

Define-se a pressão parcial de cada componente como a pressão que ele exerceria se ocupasse sozinho o volume da mistura, na temperatura da mistura (MENDES,1996, Pg.4).

Para o ar úmido tem-se a seguinte expressão:

$$P_{at} = P_a + P_v \qquad (2.4.1.1)$$

Onde: P_{at} = Pressão atmosférica; P_a= Pressão parcial do ar seco; P_v= Pressão parcial do vapor de água.

2.4.2 Temperatura de Bulbo Seco

Também conhecida como temperatura da mistura, a temperatura de Bulbo Seco (TBS) nada mais é que a temperatura de uma mistura indicada no termômetro.

2.4.3 Saturação Adiabática

Levando em consideração o saturador adiabático presente na figura 2.4.3.1, nele o ar é forçado a entrar em contato com um borrifo de água numa câmara isolada termicamente, na saída do equipamento, o ar está na condição de saturação e em equilíbrio termodinâmico com a água. A quantidade de agua que evapora é uma resposta para a temperatura da agua do reservatório. Este processo está ocorrendo em um regime permanente, ou seja não há mudança e nem variação das propriedades com o tempo, e à pressão constante (MENDES, 1996).

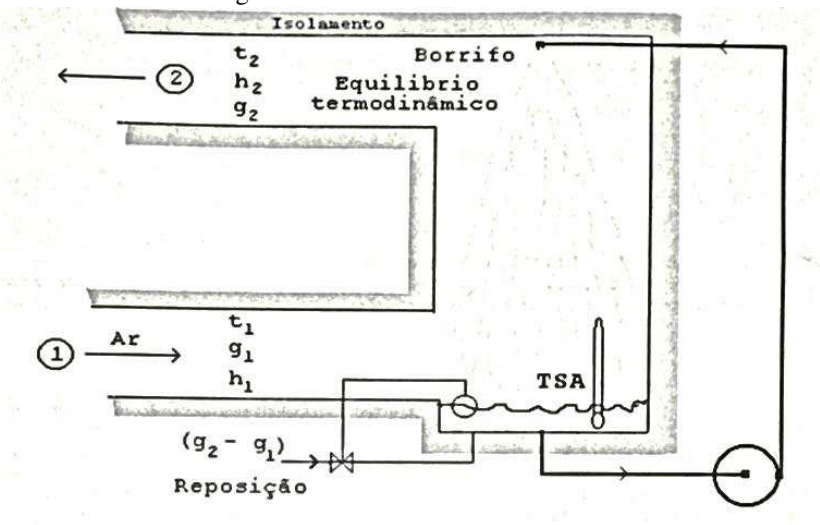
Com base nisso, um balanço de energia para a corrente de ar entre a entrada e a a saída do saturador é:

$$h_1 = h_2 - (g_2 - g_1) \times h_L \qquad (2.4.3.1)$$

Onde temos que, h_Lé a entalpia do líquido saturado à temperatura do reservatório (T). Sendo mantida a pressão constante as propriedades g_2, h_2 e h_1 estão em função da temperatura T. Então analisando a equação 2.4.3.1 chegamos à conclusão de que a temperatura T é uma função de h_1 e g_1. Desta forma a temperatura T passa a ser uma propriedade termodinâmica do ar úmido que entra no saturador, conhecida como temperatura de bulbo úmido, e é normalmente utilizada para aplicações em condicionamento de ar. A saturação do ar nesse sistema ocorre em uma câmara adiabática, onde apenas a corrente do ar e a água trocam calor entre si e com isto o T passa a ser a temperatura de saturação adiabática (TSA) (MENDES, 1996).

Levando em consideração, em termos práticos a TSA e a TBU são bastante próximas à mistura ar seco e vapor d'água em condição ambiente (MENDES, 1996).

Figura 2.4.3.1 – Saturador adiabático



Fonte: (MENDES, 1996, Pg.6)

2.4.4 Temperatura de Bulbo Úmido

Um termômetro, cujo bulbo esteja envolto em uma mecha de algodão, ou outro material similar, embebido em água destilada constitui-se em um termômetro de bulbo úmido (MENDES, 1996, Pg. 6).

> Quando esse arranjo é colocado em contato com uma corrente de ar úmido, um processo simultâneo de transferência de calor e massa ocorrerá. Inicialmente, em virtude do ar não estar saturado, parte da água da mecha começará a se vaporizar, reduzindo a temperatura do bulbo do termômetro. Em se estabelecendo esse diferencial de temperatura, entre a mecha de algodão e a corrente de ar, calor será cedido do ar para a mecha de algodão e a corrente de ar, calor será cedido do ar para a mecha. Assim, estabelece uma espécie de equilíbrio dinâmico, através do qual todo calor cedido pelo ar será utilizado para evaporar a água da mecha. Para essa condição, o termômetro registrará um valor conhecido por temperatura do bulbo úmido (TBU) (MENDES, 1996, Pg.6).

2.4.5 Pressão Parcial do Vapor na mistura

A pressão parcial do vapor P_v, por sua vez pode ser determinada experimentalmente por meio do psicrômetro, o qual se baseia no fenômeno pelo qual a evaporação de água em presença do ar é tanto mais intensa quanto mais afastado da pressão de saturação se encontra o vapor de água contido no mesmo (MENDES, 1996, Pg. 7).

De acordo com (MENDES,1996) o psicrômetro é um aparelho que possui dois termômetros idênticos, sendo estes um de bulbo úmido e outro de bulbo seco. E por meio deles podemos encontrar a pressão parcial de vapor d'água por meio de uma equação empírica Eq. 2.4.5.1.

$$P_v = P_s - P_{at} \times A \times (TBS - TBU) \qquad (2.4.5.1)$$

Onde: P_s= pressão de vapor saturado na TBU do ar considerado

A = uma constante que tem os seguintes valores:

Psicrômetro	TBU ≥ 0℃	TBU < 0℃
Tela	$7{,}99 \times 10^{-4}\ ℃^{-1}$	$7{,}20 \times 10^{-4}\ ℃^{-1}$
Giratório	$6{,}66 \times 10^{-4}\ ℃^{-1}$	$5{,}94 \times 10^{-4}\ ℃^{-1}$

2.4.6 Massa Específica de Vapor na Mistura

Massa específica de vapor na mistura é a quantidade de vapor presente no ar úmido eq. 2.4.6.1. A umidade absoluta é expressa em Kg de vapor de agua por m³ de ar (MENDES, 1996, Pg.7).

$$m_e = \frac{m_v}{V} \quad {Kg}/{m^3} \tag{2.4.6.1}$$

2.4.7 Umidade Relativa

Isto é definido como a razão entre a pressão parcial de vapor de água numa dada temperatura t e a pressão parcial que o vapor de água teria se o ar úmido estivesse saturado na mesma temperatura t (MENDES, 1996, Pg. 8). Conforme a eq. 2.4.7.1.

$$UR = \frac{Pressão\ parcial\ do\ vapor\ de\ água}{Pressão\ de\ saturação\ de\ água\ pura} = \frac{P_v}{P_s} \tag{2.4.7.1}$$

A umidade presente no ar, tem um grande efeito sobre o conforto que sentimos em um ambiente, porém, o nível de conforto vai depender da mais da quantidade de umidade presente no ar, com relação à quantidade máxima de umidade que o ar pode conter à mesma temperatura (ÇENGEL e BOLES, 2007).

A umidade relativa tem uma variação de 0 (para ar seco) até 1 (para ar saturado). A quantidade de umidade que o ar pode conter vai depender de sua temperatura, ou seja a umidade relativa do ar muda com a temperatura mesmo quando a umidade especifica se mantém constante (ÇENGEL e BOLES, 2007).

2.4.8 Umidade Absoluta

É a massa de vapor de água em Kg que está associada com 1Kg de ar seco em uma mistura de vapor de água – ar, também conhecida por unidade específica (EU), razão de umidade e conteúdo de umidades (g) (MENDES, 1996). Eq. 2.4.8.1.

$$UA = \frac{m_v}{m_a} \tag{2.4.8.1}$$

Segundo (MENDES, 1996) também podemos determinar UA usando a lei de Dalton e aplicando a lei Geral dos Gases a cada um dos dois componentes. Assim obtemos a seguinte equação 2.4.8.2

$$UA = 0{,}622 \times \frac{P_v}{(P_{at} - P_v)} \tag{2.4.8.2}$$

2.4.9 Grau de Saturação

É a razão entre conteúdo de umidade do ar úmido (g) em dada temperatura, e o conteúdo de umidade do ar saturado (g_s) na mesma temperatura (MENDES,1996, Pg.10). Conforme a equação 2.4.9.1.

$$GS = \frac{g}{g_s} \tag{2.4.9.1}$$

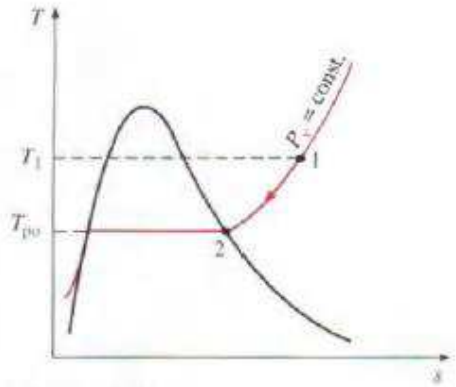
De acordo com (MENDES, 1996) o GS e o UR não são a mesma coisa, entretanto às vezes eles são confundidos, pois para o ar saturado e para o ar seco as duas são idênticas dentro da faixa de estados usados para condicionamento de conforto elas são virtualmente indistinguíveis.

2.4.10 Ponto de Orvalho

Ponto de orvalho (TPO) é a temperatura abaixo da qual inicia-se a condensação, à pressão constante, do vapor de água contido no ar (MENDES, 1996, Pg.11).

Segundo (ÇENGEL e BOLES, 2007) é a temperatura na qual a condensação começa quando o ar é resfriado a pressão constante. E pode ser ilustrado na Fig. 2.4.10.1.

Figura2.4.10.1 – O resfriamento a pressão constante do ar úmido e a temperatura de orvalho no diagrama T-s água.



Fonte: (ÇENGEL e BOLES, 2007, Pg. 589)

2.4.11 Volume Específico

É o volume em m³ de 1Kg de ar seco e a massa de vapor de água associada. Na mistura o vapor ocupa o mesmo volume do ar seco mas cada um possui sua própria pressão parcial (MENDES, 1996, Pg. 11).

Pela Lei de Dalton, a soma destas duas pressões parciais é a pressão da mistura. Assim, aplicando a Lei dos Gases pode-se determinar o volume úmido de três modos (MENDES, 1996, Pg. 11):

1- Fazendo uso da massa e da pressão parcial do ar seco

2- Fazendo uso da massa e da pressão parcial do vapor de água

3- Fazendo uso da massa e da pressão total da mistura

2.4.12 Diagrama Psicrométrico

De acordo com o conhecimento do desempenho das misturas ar/ água são importantes ao engenheiro, pois permite que o mesmo possa fazer um selecionamento correto de superfícies

de serpentinas e vazões de ar, além de facilitar realizar análises de desempenho, e o estabelecimento das exigências de controle de umidade em alguns problemas especiais. Para realizar tais análises é imprescindível a utilização de uma ferramenta, a Carta Psicrométrica (STOECKER e JABARDO, 2002).

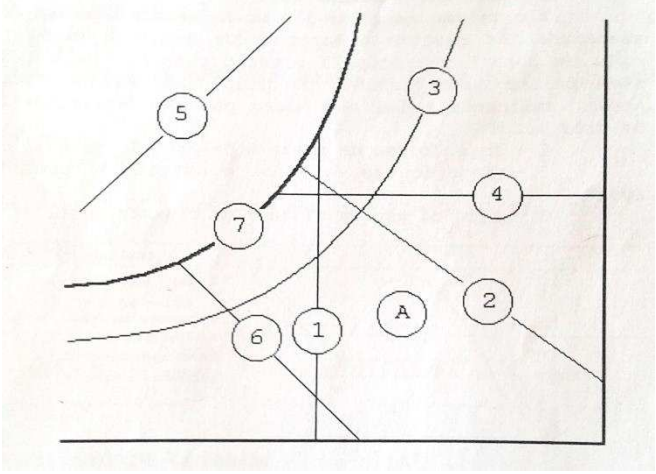
> O estado do ar atmosférico a uma pressão especifica é completamente determinado por dias propriedades intensivas independentes. O restante das propriedades pode ser calculado facilmente com as relações anteriores. O dimensionamento de um sistema de condicionamento de ar normal envolve inúmeros cálculos deixando nervosos até mesmo os engenheiros mais pacientes. Portanto, existe uma motivação clara para realizar esses cálculos em computador ou para realizá-los uma vez e apresentar os dados na forma de diagramas de leitura fácil. Esses diagramas são chamados de diagramas psicrométricos e são muito usados nas aplicações de condicionamento de ar (ÇENGEL e BOLES, 2007, Pg.593).

Conforme (MENDES,1996, Pg.12) é um ábaco que permite representar graficamente as evoluções do ar úmido.

Cada ponto dele representa uma combinação de ar seco e vapor de água Fig. 2.4.12.1. E possui os seguintes elementos (MENDES, 1996):

1- Linha de TBS
2- Linha de TBU
3- Linha de UR
4- Linha de UA
5- Escala de Entalpia
6- Linha de Volume Específico
7- Escala da TPO
A- Ponto de Alinhamento

Figura 2.4.12.1- Representação dos Pontos de um Diagrama Psicrométrico



Fonte: (MENDES,1996, Pg.12)

2.5 Conforto Humano e Condicionamento de Ar

Com o intuito de satisfazer as necessidades e aumentar a produtividade do ser humano, muitos estudos tem sido realizados neste campo de conforto térmico, a fim de identificar os vários fatores que ajudam e/ou atrapalham a sensação de conforto do ser humano.

> O corpo humano pode ser visto como uma máquina de calor cuja entrada de energia é o alimento. Assim como qualquer outra máquina térmica, o corpo humano libera calor que deve ser rejeitado para o ambiente para que o corpo continue operando. A taxa de geração de calor depende do nível da atividade. Para um homem adulto, esse nível é de cerca de 87W quando ele está dormindo, 115W quando está em repouso ou trabalhando no escritório, 230W quando está jogando boliche e 440W quando está realizando trabalho físico pesado. Os números correspondentes para uma mulher adulta são cerca de 15% menores. (Essa diferença deve-se ao tamanho do corpo, e não à temperatura do corpo. A temperatura corporal profunda de uma pessoa saudável é mantida a cerca de 37ºC). Um corpo se sentirá confortável em ambientes nos quais ele possa dissipar sua rejeição de calor de forma confortável (ÇENGEL e BOLES, 2007, Pg.594).

Segundo (ÇENGEL e BOLES, 2007) o corpo humano depende principalmente de três fatores: a temperatura de bulbo seco, a umidade relativa e o movimento do ar. No qual a temperatura do ambiente é o índice mais importante do conforto.

Segundo (FROTA e SCHIFFER, 2001) os índices de conforto térmico foram desenvolvidos tendo como base os mais variados aspectos de conforto térmico, e estes podem ser classificados da seguinte forma:

- Índices biofísicos: estes são baseados em uma trocar de calor entre o corpo e o ambiente, ele faz uma correlação entre os elementos do conforto e as trocas de calor que dão origem a tais elementos.
- Índices fisiológicos: estes são originados por condições de temperatura seca do ar, a temperatura radiante média a velocidade do ar e também a umidade, ou seja são reações fisiológicas originadas pelos fatores citados.
- Índices subjetivos: estas se baseiam nas sensações de conforto experimentadas em condições onde os elementos de conforto térmico irão variar.

A escolha de um ou outro tipo de índice de conforto deve estar relacionada com as condições ambientais com a atividade desenvolvida pelo indivíduo, pela maior ou menor importância de um ou de outro aspecto do conforto (FROTA e SCHIFFER, 2001).

A manutenção de uma residência ou de instalações industriais à temperatura e umidade desejadas, exigem processos chamados de processos de condicionamento de ar, e eles incluem o aquecimento simples, umidificação e desumidificação. E as vezes são necessários dois ou mais destes processos para deixar a temperatura e a umidade da maneira desejada (ÇENGEL e BOLES, 2007).

2.6 Sistemas de Ar Condicionado

De acordo com (MARAN, 2005) os sistemas de ar condicionados se dividem em dois tipos: Expansão Direta e Expansão Indireta.

No sistema de expansão direta o fluido refrigerante tem um contato direto com o ambiente a climatizar e no sistema de expansão indireta o fluido refrigerante troca calor com mais de um meio antes de chegar a transferir o calor contido para o ambiente a climatizar (DIAMONT TECNOLOGIA E CLIMATIZAÇÃO LTDA, 2016).

2.6.1 Sistema de Expansão Direta

São sistemas de refrigeração em que o fluído refrigerante (fonte fria) expande-se em contato com o fluxo de ar do ambiente à climatizar (fonte quente) (DIAMONT TECNOLOGIA E CLIMATIZAÇÃO LTDA, 2016).

Essa expansão se refere a quando o refrigerante sofre o processo de evaporação dentro das serpentinas do evaporador, no qual absorve ele absorve ar quente do ambiente, dessa forma promovendo o frio. Ou seja a massa de ar quente é forçada pelos ventiladores da unidade evaporadora a passar pelas serpentinas, neste momento ele é forçado a trocar calor com refrigerante contido na serpentina. Desta forma o ocorreu uma expansão direta entre o fluido refrigerante e o meio ao qual se deseja climatizar. (DIAMONT TECNOLOGIA E CLIMATIZAÇÃO LTDA, 2016).

2.6.2 Sistema de Expansão Indireta

Segundo (DIAMONT TECNOLOGIA E CLIMATIZAÇÃO LTDA, 2016) são sistemas de refrigeração em que há a transferência de calor em mais de um meio antes de chegar a transferir o calor contido no meio que deseja-se resfriar, no caso o ar do ambiente.

Ao utilizarmos esse sistema, faz-se o uso de equipamentos chamados Chillers, eles são os responsáveis pelo resfriamento da água que passa por dentro das instalações que alimentam as unidades de tratamento do ambiente (DIAMONT TECNOLOGIA E CLIMATIZAÇÃO LTDA, 2016).

De acordo com (DIAMONT TECNOLOGIA E CLIMATIZAÇÃO LTDA, 2016) também possui FanCoils, os quais são responsáveis por promover o arrefecimento dos ambientes, através da transferência de calor contido no ar do ambiente para a água que circula no interior da serpentina (trocador de calor) do equipamento.

Desta forma o calor que foi absorvido pela água, ele é transferido para o fluído refrigerante que circula no Chiller, após isso ele passa por outro processo de transferência de calor, ou seja rejeita o calor retirado do ambiente, somando às perdas do processo, ao ar externo. Desta forma ele é chamado de sistema de expansão indireta (DIAMONT TECNOLOGIA E CLIMATIZAÇÃO LTDA, 2016).

De acordo com (PORTAL WEB AR CONDICIONADOS, 2012), FanCoils são equipamentos que utilizam água gelada em seu sistema e dispensam o uso direto de fluidos refrigerantes.

2.6.3 Evaporador

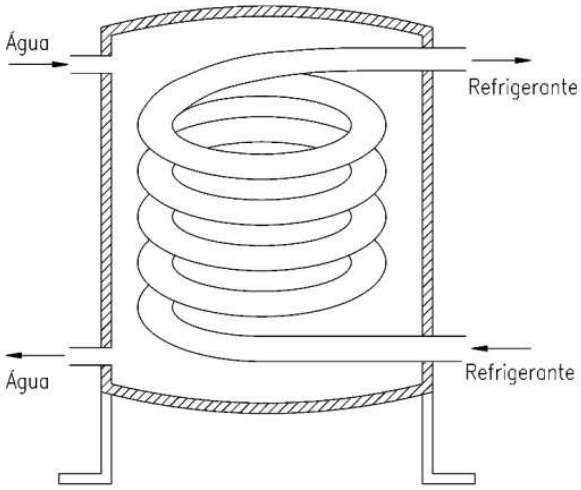
De acordo com (MATOS, sem data disponível, Pg.98) um evaporador é qualquer superfície de transferência de calor na qual o líquido volátil e vaporizado com o objetivo de remover calor de um espaço ou produto refrigerado.

Segundo (FERRAZ, 2011) o evaporador algumas vezes também é chamado de serpentina de resfriamento, resfriador da unidade, unidade evaporadora, serpentina de congelamento entre outros.

Em um evaporador de expansão indireta contém um fluído intermediário entre o fluído refrigerante do sistema e o meio que se quer resfriar, ou seja ou fluido refrigerante do sistema irá resfriar um fluido intermediário e será este fluido que irá retirar calor do ambiente a ser refrigerado (SOBRAL, 2008).

O evaporador utilizado é o Carcaça e serpentina (Shell and coil), nesse tipo de evaporador o fluído refrigerante escoa por dentro de um tubo, que é dobrado em forma de serpentina, e o líquido circula por fora deste, conforme figura 2.6.3.1 (FERRAZ, 2011).

Figura 2.6.3.1- Evaporador Shell and Coil



Fonte: (FERRAZ, 2008, Pg. 21)

2.6.4 Serpentinas de Resfriamento

As serpentinas de resfriamento de fluído, fazem parte de um grupo que são voltados para as atividades que necessitam resfriar líquidos que fazem parte do processo industrial. Essas serpentinas funcionam por meio de do transporte de fluídos dentro delas, fazendo com que o fluído perca o excesso de calor e saem com uma temperatura menor. Essas serpentinas são em formato espiral para facilitar este processo de resfriamento e o seu comprimento é o que vai determinar a quantidade de troca de calor e a temperatura final do fluído (MAZE TROCADORES DE CALOR, Sem data disponível).

Uma das grandes vantagens de utilizar as serpentinas para resfriamento de fluidos com relação a outros processos é o baixo custo devido a sua grande simplicidade (MAZE TROCADORES DE CALOR, Sem data disponível).

A manutenção destas serpentinas é um fator crítico, pois a partir de certo tempo de uso, as serpentinas vão ficando sujas e desgastada o que acaba por reduzir a circulação do fluído e consequentemente fica mais difícil atingir a temperatura desejada, e outro fator é a corrosão pois esta pode gerar vazamentos na serpentina (MANUTENÇÃO & SUPRIMENTOS, 2011).

2.7 Acessórios do Ciclo de Refrigeração

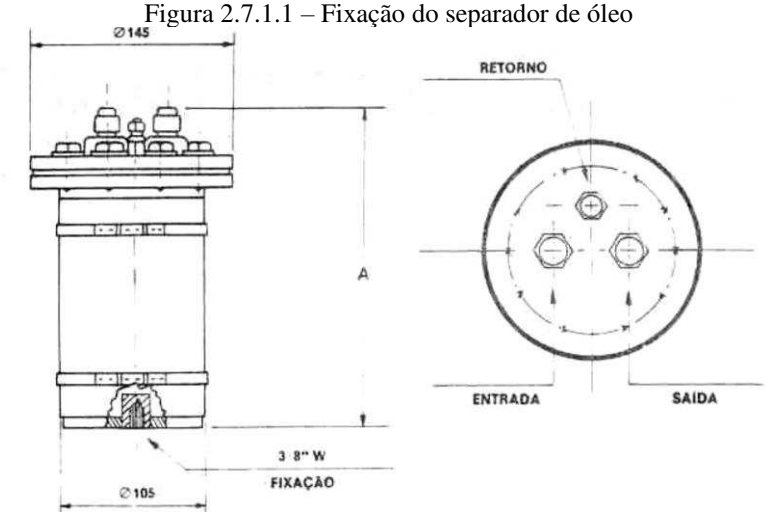
Segundo (MATOS, sem data disponível), são itens que aumentam a utilidade ou efetividade de um sistema de refrigeração, entretanto eles não são essenciais para o seu funcionamento.

2.7.1 Separador de Óleo

Tem por finalidade separar o óleo lubrificante misturado ao vapor refrigerante, fazendo-o retornar ao cárter do compressor sendo utilizado principalmente em sistemas com altas temperaturas de descarga e baixas temperaturas de evaporação (MATOS, sem data disponível, Pg. 127).

De acordo com (MATOS, sem data disponível) a sua instalação é realizada na saída do compressor, podemos perceber isso na figura 2.7.1.1.

Figura 2.7.1.1 – Fixação do separador de óleo

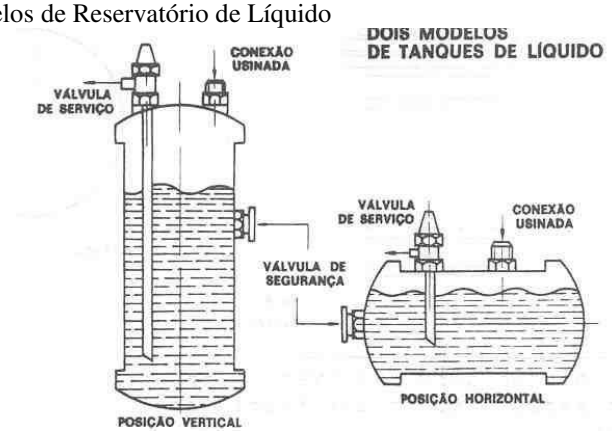


Fonte: (MATOS, sem data disponível, Pg.127)

2.7.2 Reservatório de líquido

Usado para armazenar temporariamente o fluido refrigerante liquefeito no condensador e para recolher o refrigerante quando houver necessidade de reparos no sistema. São instalados depois do condensador e antes da válvula de expansão (MATOS, sem data disponível, Pg. 128). Podemos observar na figura 2.7.2.1.

Figura 2.7.2.1- Dois modelos de Reservatório de Líquido



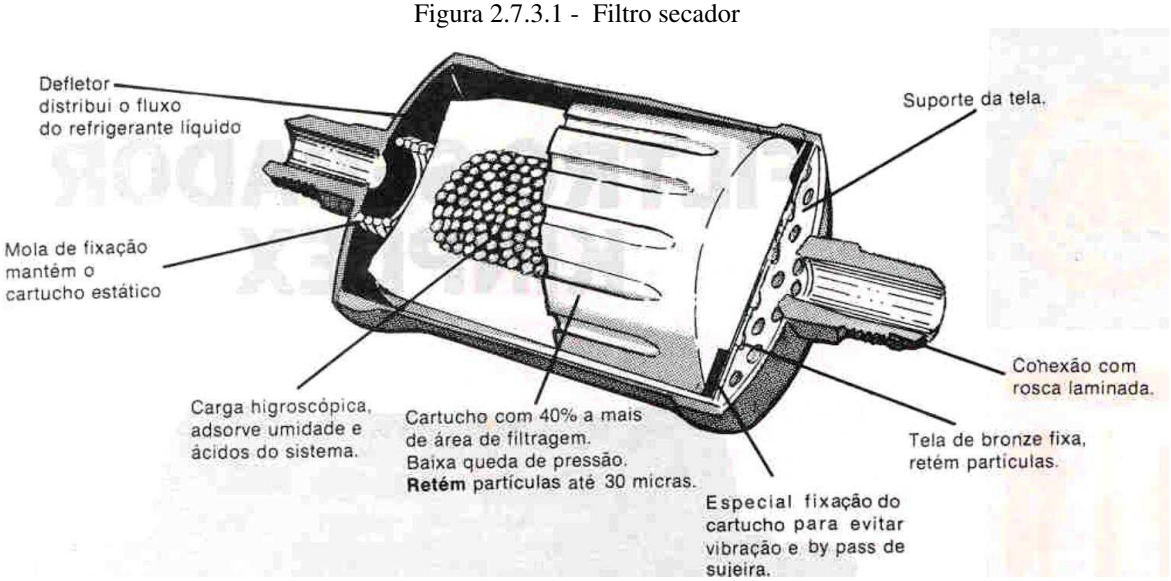
Fonte: (MATOS, sem data disponível, Pg. 128)

2.7.3 Filtro Secador

O filtro secador (figura 2.7.3.1) é utilizado para secar o fluido refrigerante, normalmente ele é instalado na linha de líquido, mas também pode ser montado na linha de sucção (MATOS, sem data disponível).

É utilizado na linha de sucção quando ocorre queima do motor do compressor, para eliminar os compostos ácidos decorrentes da decomposição parcial do refrigerante com óleo sua instalação deve ser o mais próximo possível da sucção do compressor (MATOS, sem data disponível, Pg. 129).

Figura 2.7.3.1 - Filtro secador



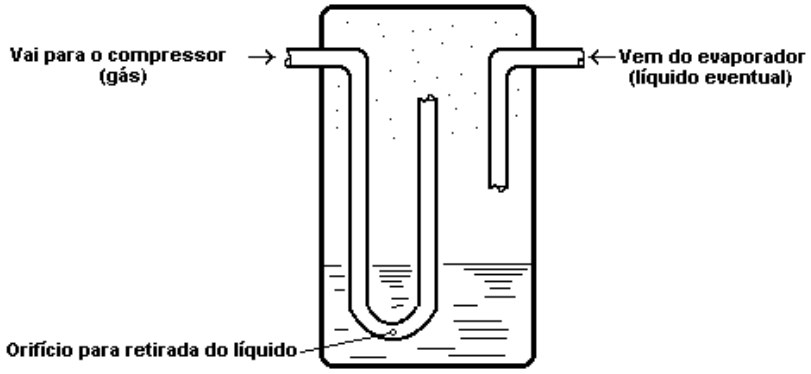
Fonte: (MATOS, sem data disponível, Pg.129)

2.7.4 Acumulador de Sucção

Ele é montado na entrada do compressor para evitar que este aspire o fluido refrigerante líquido, ele é utilizado normalmente quando há grandes distâncias entre o evaporador e o compressor (MATOS, sem data disponível). Fig. 2.7.4.1.

> O tubo curto vem do evaporador trazendo o refrigerante em forma de vapor. O vapor por ser mais leve permanece por cima do líquido, o vapor entra pelo tubo curto e o gás é succionado pelo tubo curvo indo para o compressor. No tubo curvo na sua parte mais baixa existe um furo que serve para o compressor fazer sucção de líquido em porcentagem mínima para o compressor misturado ao vapor de refrigerante, dessa forma o líquido consegue ser dosado evitando de ser prejudicial ao compressor (MATOS, sem data disponível, Pg. 130).

Figura 2.7.4.1 – Acumulador de sucção



Fonte: (MATOS, sem data disponível, Pg. 130).

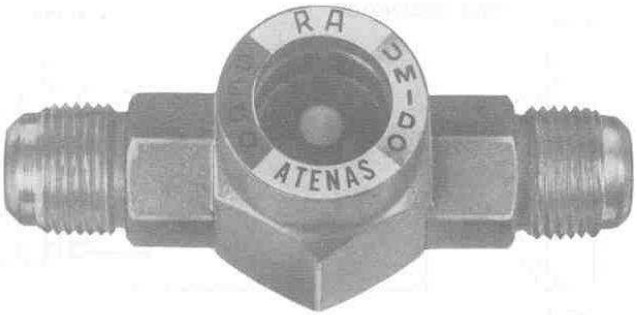
2.7.5 Visor de Líquido

Ele é o responsável por indicar se possui bolhas no fluido refrigerante e também mostra a presença de umidade (MATOS, sem data disponível). Figura 2.7.5.1.

Segundo (MATOS, sem data disponível, Pg.132):

> O refrigerante é transparente e incolor, quando o refrigerante indica vapor junto com o líquido, é sinal que há problemas no sistema tais como:
> - falta de refrigerante;
> - filtro secador inoperante (entupido);
> - má condensação;
> - umidade, etc.
>
> Alguns visores possuem no centro do mesmo uma pastilha colorida que nos indica se há umidade no sistema.
> Cores:
> - verde (sem umidade);
> - verde-amarelado (pouca umidade);
> - amarelo (muita umidade).

Figura 2.7.5.1- Visor de Líquido

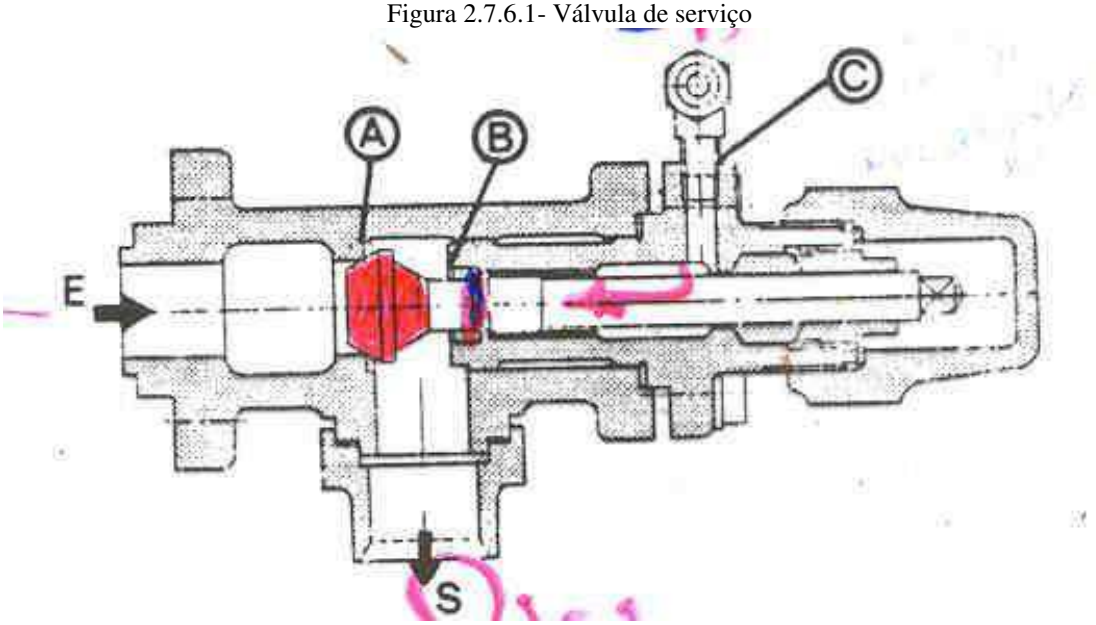


Fonte: (MATOS, sem data disponível, Pg.132)

2.7.6 Válvula de Serviço

Tem a função de fechar determinada parte do sistema para a realização de serviços de manutenção como recolhimento do fluido refrigerante, conexão de manômetros, vácuo no sistema e etc (MATOS, sem data disponível). Figura 2.7.6.1.

Figura 2.7.6.1- Válvula de serviço

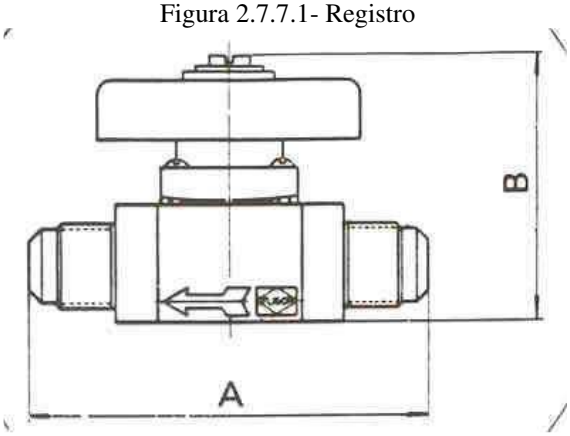


Fonte: (MATOS, sem data disponível, Pg. 134)

2.7.7 Registros

Os registros figura 2.7.7.1 são utilizados em instalações frigoríficas que trabalham com refrigerante fluorados, podendo ser também usados, em circuitos pneumáticos, reservatórios de pressão, etc (MATOS, sem data disponível, Pg. 135).

Figura 2.7.7.1- Registro



Fonte: (MATOS, sem data disponível, Pg. 135)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para que fosse possível a realização deste trabalho acadêmico foi primordial a utilização de um apanhado de dados bibliográficos que foram obtidos através de livros de engenharia, manuais técnicos, apostilas técnicas e sites todos relacionados a refrigeração. A presente análise foi feita na oficina de refrigeração da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA.

Para a realização da coleta de dados foram necessários certos procedimentos na máquina. O primeiro procedimento realizado foi o de vácuo no sistema, ele pode ser visto no (APÊNDICE A – Central de Água Gelada e Central de Ar Condicionado e equipamentos utilizados para as coletas de temperatura). Este procedimento foi necessário para poder ser feita a retirada de ar do sistema. Podemos confirmar isso quando (LUMERTZ, 2015) diz que o vácuo, como o próprio nome indica, é o processo de retirada de todo o ar das tubulações. Esse processo deve ser realizado antes da instalação dos gases refrigerantes, para evitar que o vapor de água e outros resíduos que possam se acumular nas tubulações permaneçam lá após o gás ser inserido.

Este processo também evita com que haja ataques químicos nas tubulações, obstrução nas tubulações, ineficiência do sistema. Para a realização do mesmo é necessário que a máquina esteja desligada, em seguida utilizar um manifold e uma bomba de vácuo, durante este processo percebeu-se que a válvula de serviço da pressão de baixa não estava podendo ser aberta, por conta do parafuso estar escareado, então para realizar este processo foi necessário dar o vácuo apenas pela linha de alta pressão, seguindo os seguintes passos:

- Colocamos a mangueira de serviço do manifold na bomba de vácuo (ainda desligada);
- Colocamos as outras mangueiras nas válvulas de serviço de alta e de baixa no compressor;
- Abre-se as válvulas de serviço;
- Com os registros do manifold fechados, ligamos a bomba de vácuo, para a mesma realizar inicialmente o vácuo na mangueira de serviço;
- Após alguns segundos abrimos os registros do manifold de alta e de baixa, para a realização do vácuo no sistema por cerca de 30 minutos.
- Tendo se passado os 30 minutos de vácuo no sistema, fechamos os registros do manifold e desligamos a bomba de vácuo.

- Tendo realizado o vácuo, deixamos o sistema sobre observação através do manifold por mais 20 minutos para saber se o sistema está mantendo o vácuo.

Com a realização do processo de vácuo, o próximo é fazer a recarga de fluído refrigerante no sistema, o qual foi realizado pela linha de alta devido ao problema apresentado ao abrir a linha de alta do sistema, para tal foi-se necessário uma garrafa de gás 134a e um manifold, seguindo os seguintes procedimentos:

- Abrimos ligeiramente o registro da garrafa de gás 134a para liberar possíveis presença de ar;
- Conecta-se a mangueira de serviço do manifold no cilindro de gás;
- Vira-se o cilindro de gás de cabeça para baixo, para o gás adentrar no sistema de forma líquida;
- Como as outras mangueiras ainda estão conectadas no sistema, entretanto fechadas no registro do mesmo, abrir-se-á o registro do cilindro e o registro do manifold de alta pressão;
- O gás é adicionado no sistema até alcançar uma pressão de 65 Psi, com a máquina desligada;
- Após perceber que a pressão não ultrapassou os 65 Psi, fechamos os registro do manifold e o registro do cilindro;
- Espera-se cerca de 20 minutos, para que o fluido refrigerante que entrou na forma líquida passe para a forma de gás e percorra todo o sistema;
- Tendo se passado os 20 minutos, liga-se a máquina para ver se esta precisará que mais fluido refrigerante seja adicionado no sistema;
- Após ligar a máquina, percebeu-se que o sistema estava com uma boa carga de gás, então não foi necessário acrescentar mais gás no sistema.

Com a recarga do fluído refrigerante feita, o próximo procedimento foi-se utilizado dois Termômetros Penta, um para medir as temperaturas ao longo do sistema de refrigeração e o outro para medir a temperatura da água e do ambiente, os sensores de temperatura na unidade de água gelada (sistema de refrigereação) foram fixados na descarga do compressor, na entrada do condensador, na válvula de expansão termostática, na saída da serpentina evaporadora, e na sucção do compressor. No segundo Penta foi fixado um sensor no final do reservatório de água para colher a temperatura da água que vai entrar no sistema de ar condicionado, um na saída da água que vem do sistema de ar condicionado e outro fixado na bancada para coletar a temperatura ambiente.

Tendo realizado a fixação dos sensores, deixou-se a água contida no reservatório, resfriar até chegar à temperatura de -0,01ºC, após isto liga-se a bomba d'água para que a água que será resfriada na câmara de resfriamento por meio de serpentinas de resfriamento passe através das tubulações ("bombeada" pela bomba d'água) e vá para o evaporador da unidade de ar condicionado, para que este seja o responsável de climatizar o ambiente através de um eletro-ventilador acoplado em um motor, forçando o ar trocar calor com a água presente no evaporador.

Com estes procedimentos realizados, deu-se início à coleta de dados, que se deu da seguinte forma: será realizado a medição em cerca de 8 vazões de água e para cada vazão de água, teremos 3 vazões de ar, para com isso poder determinar a capacidade da máquina, gerar diagrama psicrométrico e gráficos. Foi realizado a coleta tanto na central de água gelada e seu sistema como também na central de ar condicionado.

Para a Central de Água Gelada teve-se como variáveis:

T_D= Temperatura de Descarga do compressor

T_C= Temperatura do Condensador

T_{VET}= Temperatura da Válvula de Expansão Termostática

T_S= Temperatura da Saída da Serpentina Evaporadora

T_{SUC}= Temperatura de Sucção do compressor

T_{AE}= Temperatura da Água de Entrada

T_{AS}= Temperatura da Água de Saída

T_{AMB}= Temperatura Ambiente

Para a Central de Ar Condicionado teremos como variáveis:

V= Velocidade do ar

Na entrada

TBS= Temperatura de Bulbo Seco

TBU= Temperatura de Bulbo Úmido

UR= Umidade Relativa

Na saída

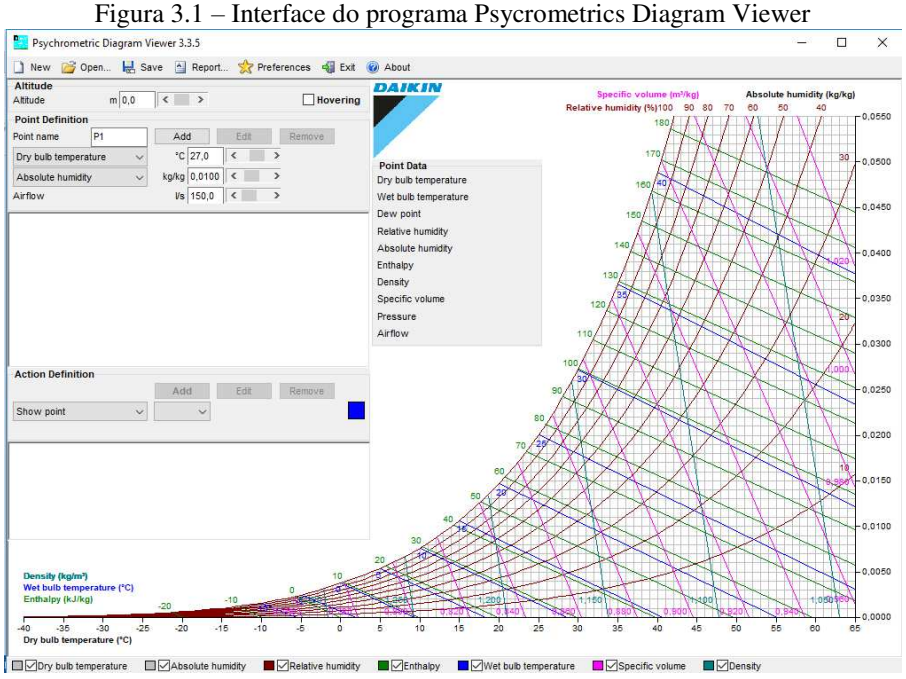
TBS= Temperatura de Bulbo Seco

TBU= Temperatura de Bulbo Úmido

UR= Umidade Relativa

Todos os dados colhidos foram colocados em tabelas (APÊNDICE B - Tabelas com Dados da 1ª à 8ª Vazão de Água na Central de Ar Condicionado e na Central de Água Gelada respectivamente) para facilitar a compreensão e ajudar na análise dos mesmos, logo após os dados foram colocados em uma carta psicrométrica através do programa Psycrometrics Diagram Viewer, o qual podemos ver a interface na figura 3.1, para podermos obter os dados necessários para calcular as capacidades e realizar as suas análises.

Figura 3.1 – Interface do programa Psycrometrics Diagram Viewer



Fonte: (Autor, 2017)

3.1 Equipamentos

Para a realização desta análise foi necessário a utilização de certos equipamentos, com finalidades especificas, os quais serão abordados ligeiramente neste tópico.

Manifold: são dois manômetros, um de alta pressão e outro de baixa pressão para a realização de manutenção em sistemas de ar condicionado, sendo este responsável por medir a pressão do sistema, e ajudar na operação de vácuo no sistema e também realizar a carga de fluido refrigerante, figura 3.1.1.

Figura 3.1.1- Manifold

Fonte: (Autor, 2017)

Bomba de vácuo: ela realiza o vácuo no sistema, retirando toda a umidade presente no mesmo, figura 3.1.2.

Figura 3.1.2 – Bomba de Vácuo

Fonte: (Autor, 2017)

Chave Catraca de Refrigeração: é uma chave de catraca utilizada na manutenção de sistemas de refrigeração, figura 3.1.3.

Figura 3.1.3- Chave Catraca de Refrigeração

Fonte: (POLIPARTES, sem data disponivel)

Termômetro Penta: é um termômetro digital com cinco ou mais sensores que podem funcionar em diferentes situações (APÊNDICE A – Central de Água Gelada e Central de Ar Condicionado e equipamentos utilizados para as coletas de temperatura).

Anemômetro: é um medidor de velocidade, figura 3.1.4.

Figura 3.1.4- Anemômetro

Fonte: (Autor, 2017)

Psicrômetro: medidor de temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido e também de umidade relativa, figura 3.1.5.

Figura 3.1.5- Psicrômetro

Fonte: (Autor, 2017)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo coletado os dados, para a realização da análise, os dados foram inseridos no programa Pyschrometrics Program, para encontrar os valores das entalpias, densidade, ponto de orvalho entre outros, para assim poder calcular as capacidades do sistema.

Para a 1ª Vazão de água, podemos observar os dados obtidos na tabela 4.1.

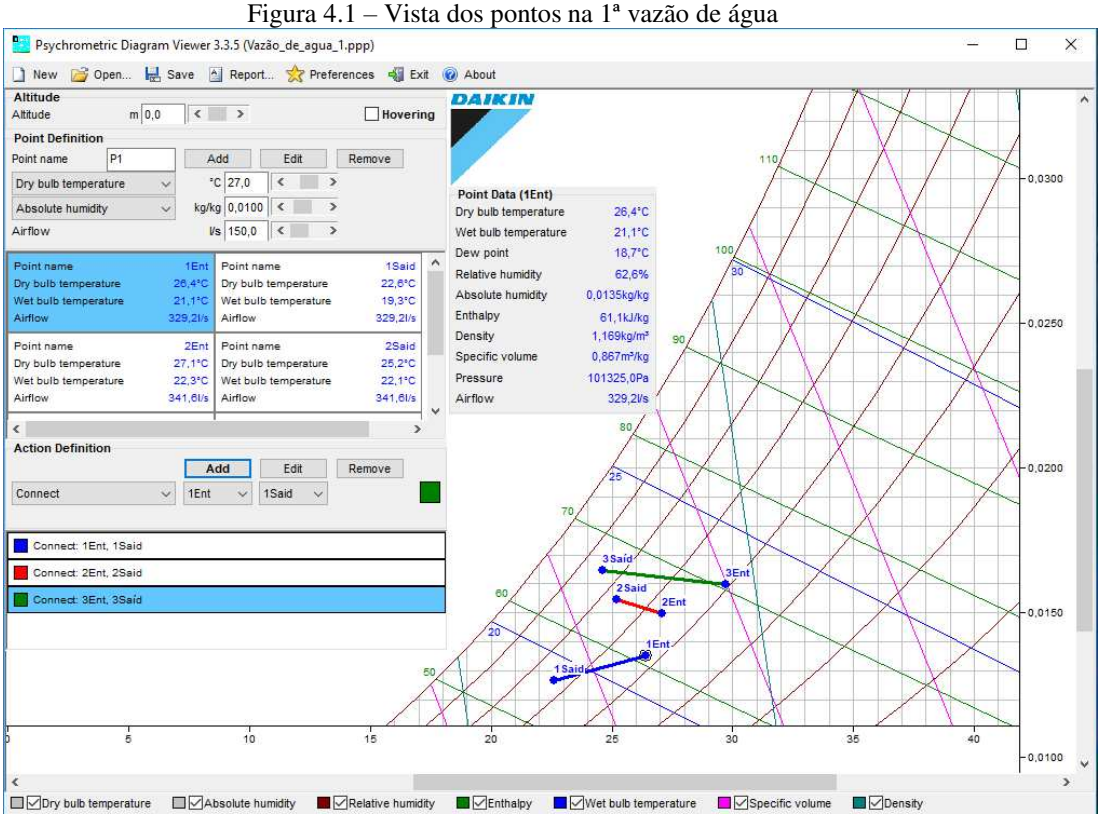
Tabela 4.1 – Dados Obtidos para a vazão de água 1

	1º Vazão de ar	2ª Vazão de ar	3ª Vazão de ar
h_e	61,5 KJ/Kg	65,6 KJ/Kg	70,7 KJ/Kg
h_s	55 KJ/Kg	64,8 KJ/Kg	66,7 KJ/Kg
ρ	1,185 Kg/ m³	1,172 Kg/m³	1,174 Kg/m³

Fonte: (Autor, 2017)

Uma ideia de como os pontos ficaram no diagrama do programa podem ser vistos nas figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8.

Figura 4.1 – Vista dos pontos na 1ª vazão de água



Fonte: (Autor, 2017)

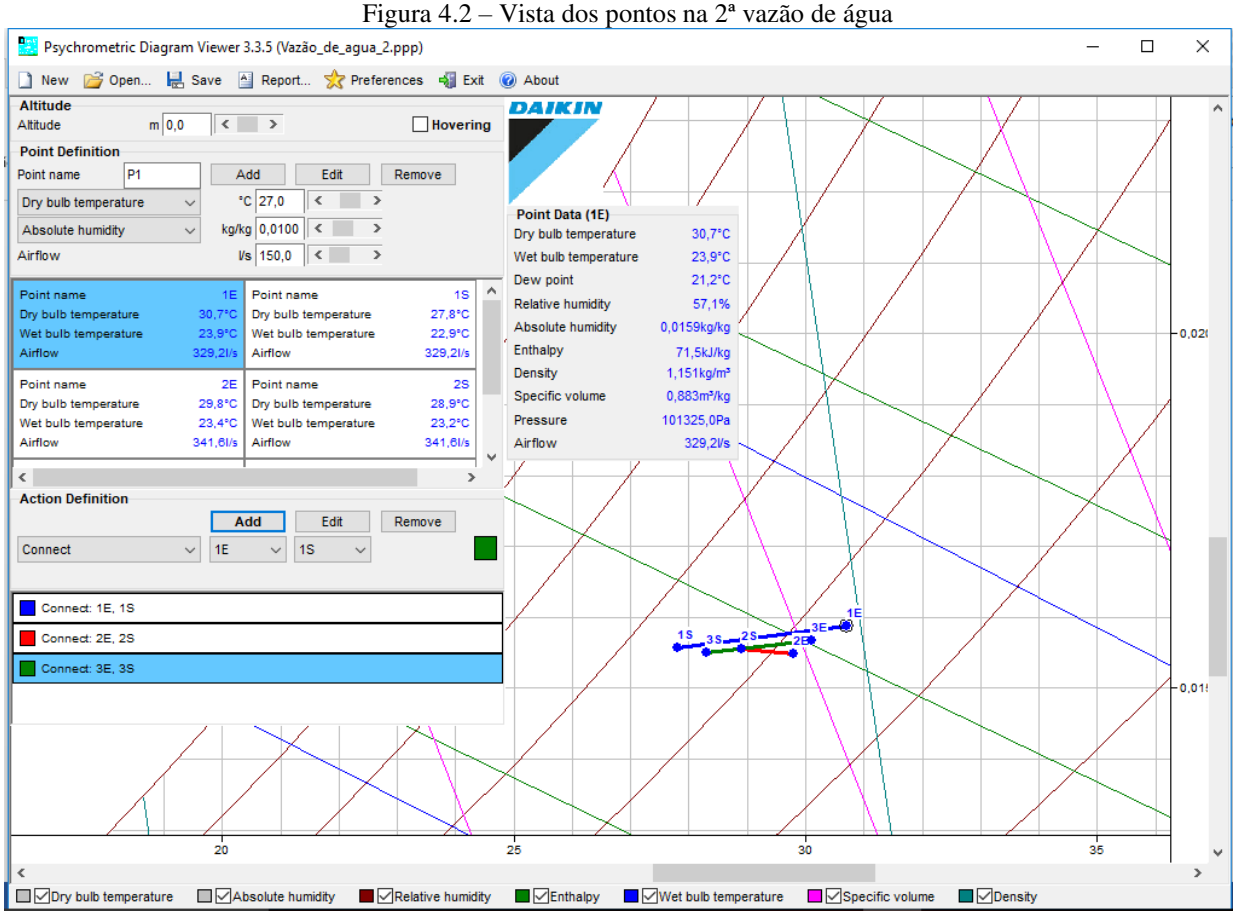
Para a 2ª Vazão de água, podemos observar os dados obtidos na tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Dados Obtidos para a vazão de água 2

	1º Vazão de ar	2ª Vazão de ar	3ª Vazão de ar
h_e	71,5 KJ/Kg	69,5 KJ/Kg	70,3 KJ/Kg
h_s	67,7 KJ/Kg	68,8 KJ/Kg	68 KJ/Kg
ρ	1,162 Kg/m³	1,158 Kg/m³	1,160 Kg/m³

Fonte: (Autor, 2017)

Figura 4.2 – Vista dos pontos na 2ª vazão de água



Fonte: (Autor, 2017)

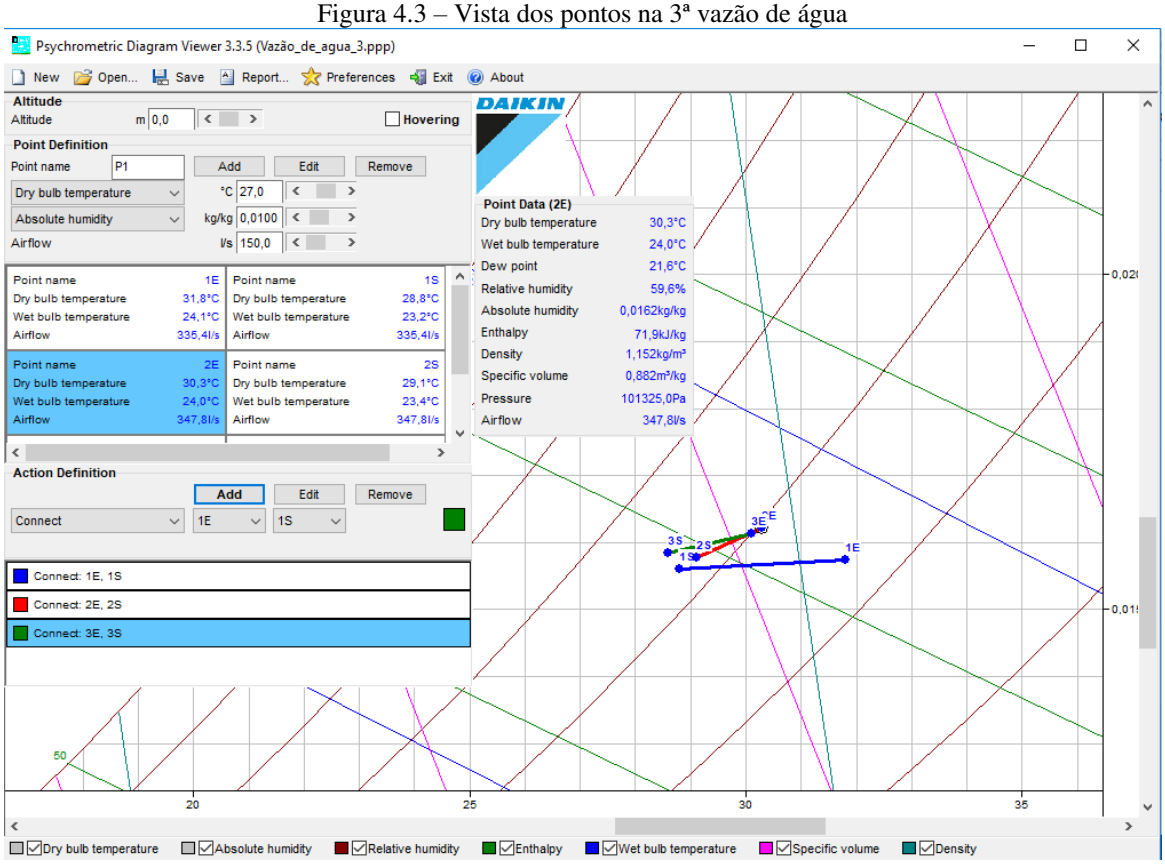
Para a 3ª Vazão de água, podemos observar os dados obtidos na tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Dados Obtidos para a vazão de água 3

	1º Vazão de ar	2ª Vazão de ar	3ª Vazão de ar
h_e	72,3 KJ/Kg	71,9 KJ/Kg	71,5 KJ/Kg
h_s	68,8 KJ/Kg	69,6 KJ/Kg	69,2 KJ/Kg
ρ	1,158 Kg/ m³	1,157 Kg/m³	1,159 Kg/m³

Fonte: (Autor, 2017)

Figura 4.3 – Vista dos pontos na 3ª vazão de água



Fonte: (Autor, 2017)

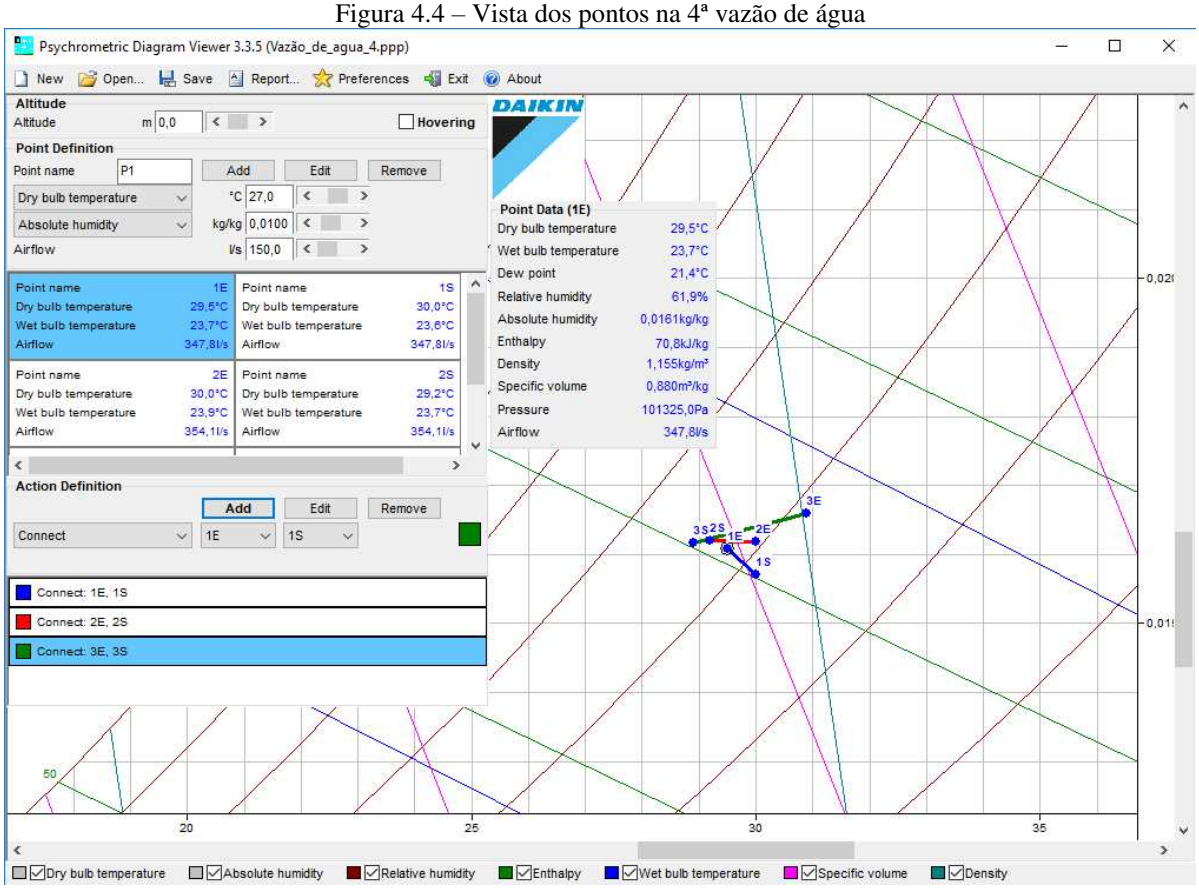
Para a 4ª Vazão de água, podemos observar os dados obtidos na tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Dados Obtidos para a vazão de água 4

	1º Vazão de ar	2ª Vazão de ar	3ª Vazão de ar
h_e	70,8 KJ/Kg	71,5 KJ/Kg	73,5 KJ/Kg
h_s	70,3 KJ/Kg	70,8 KJ/Kg	70,4 KJ/Kg
ρ	1,154 Kg/ m³	1,156 Kg/m³	1,157 Kg/m³

Fonte: (Autor, 2017)

Figura 4.4 – Vista dos pontos na 4ª vazão de água



Fonte: (Autor, 2017)

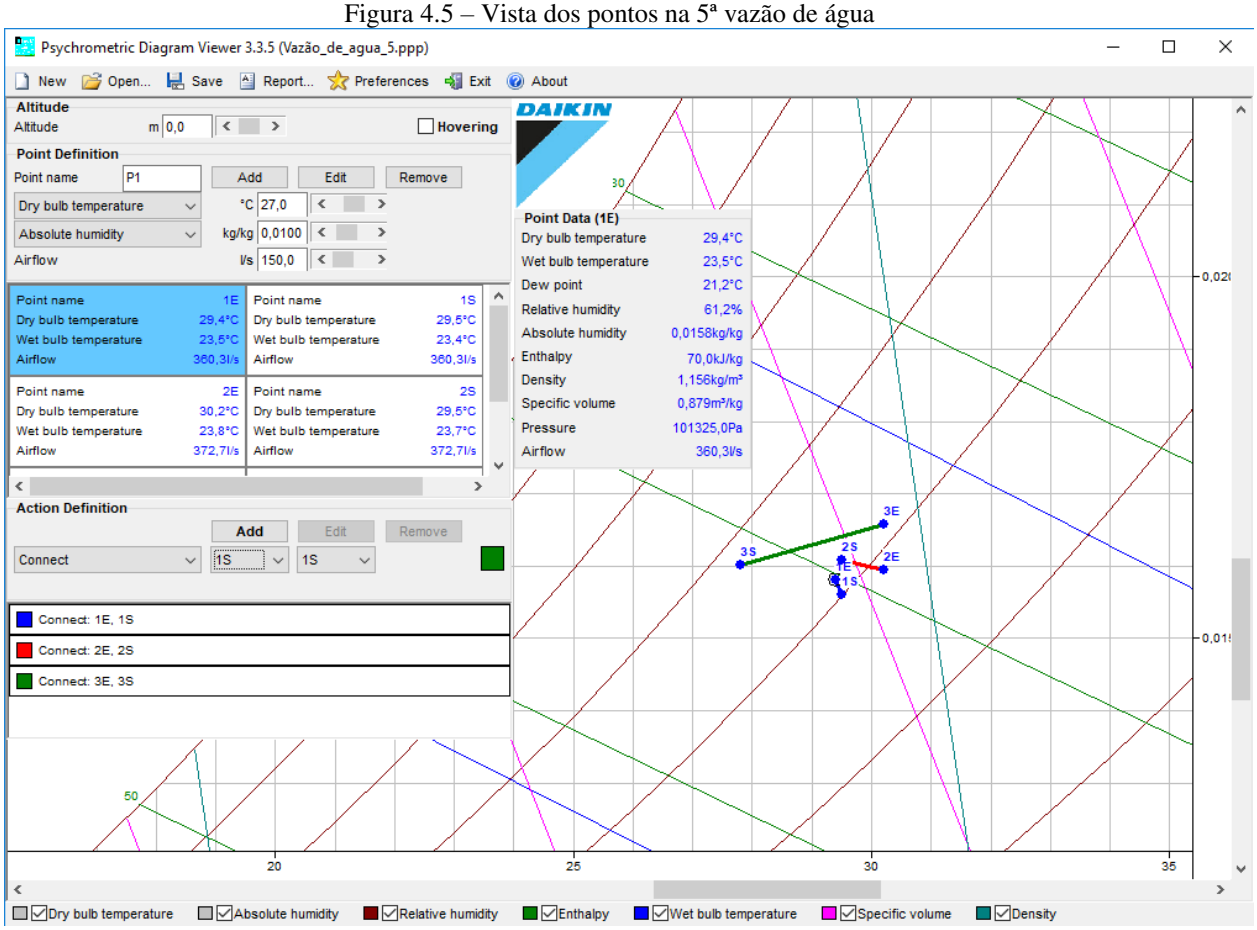
Para a 5ª Vazão de água, podemos observar os dados obtidos na tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Dados Obtidos para a vazão de água 5

	1º Vazão de ar	**2ª Vazão de ar**	**3ª Vazão de ar**
h_e	70 KJ/Kg	71,1 KJ/Kg	72,7 KJ/Kg
h_s	69,6 KJ/Kg	70,8 KJ/Kg	68,9 KJ/Kg
ρ	1,155 Kg/ m³	1,155 Kg/m³	1,162 Kg/m³

Fonte: (Autor, 2017)

Figura 4.5 – Vista dos pontos na 5ª vazão de água



Fonte: (Autor, 2017)

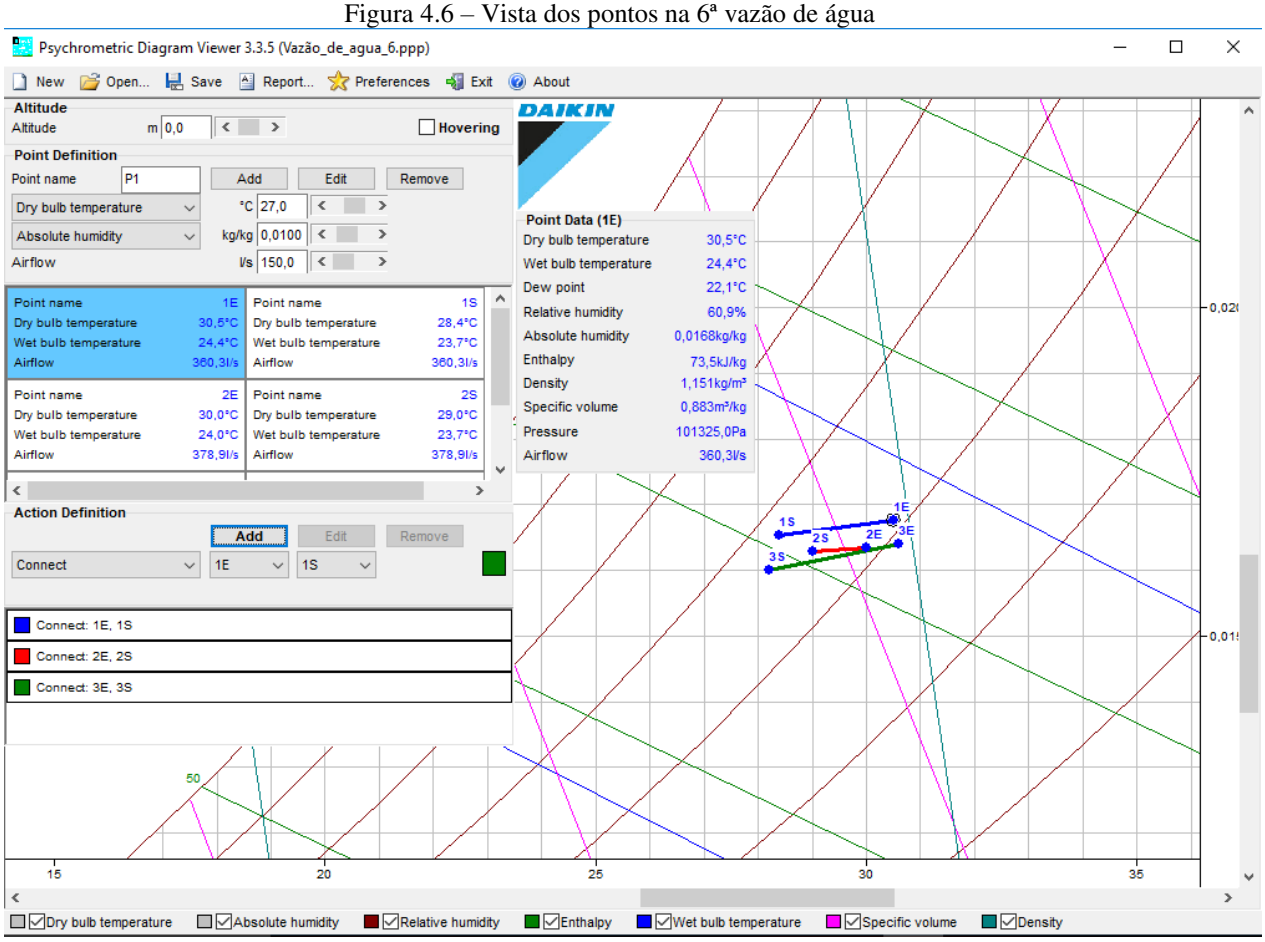
Para a 6ª Vazão de água, podemos observar os dados obtidos na tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Dados Obtidos para a vazão de água 6

	1º Vazão de ar	2ª Vazão de ar	3ª Vazão de ar
h_e	73,5 KJ/Kg	71,9 KJ/Kg	72,7 KJ/Kg
h_s	70,8 KJ/Kg	70,8 KJ/Kg	69,2 KJ/Kg
ρ	1,159 Kg/ m³	1,157 Kg/m³	1,160 Kg/m³

Fonte: (Autor, 2017)

Figura 4.6 – Vista dos pontos na 6ª vazão de água



Fonte: (Autor, 2017)

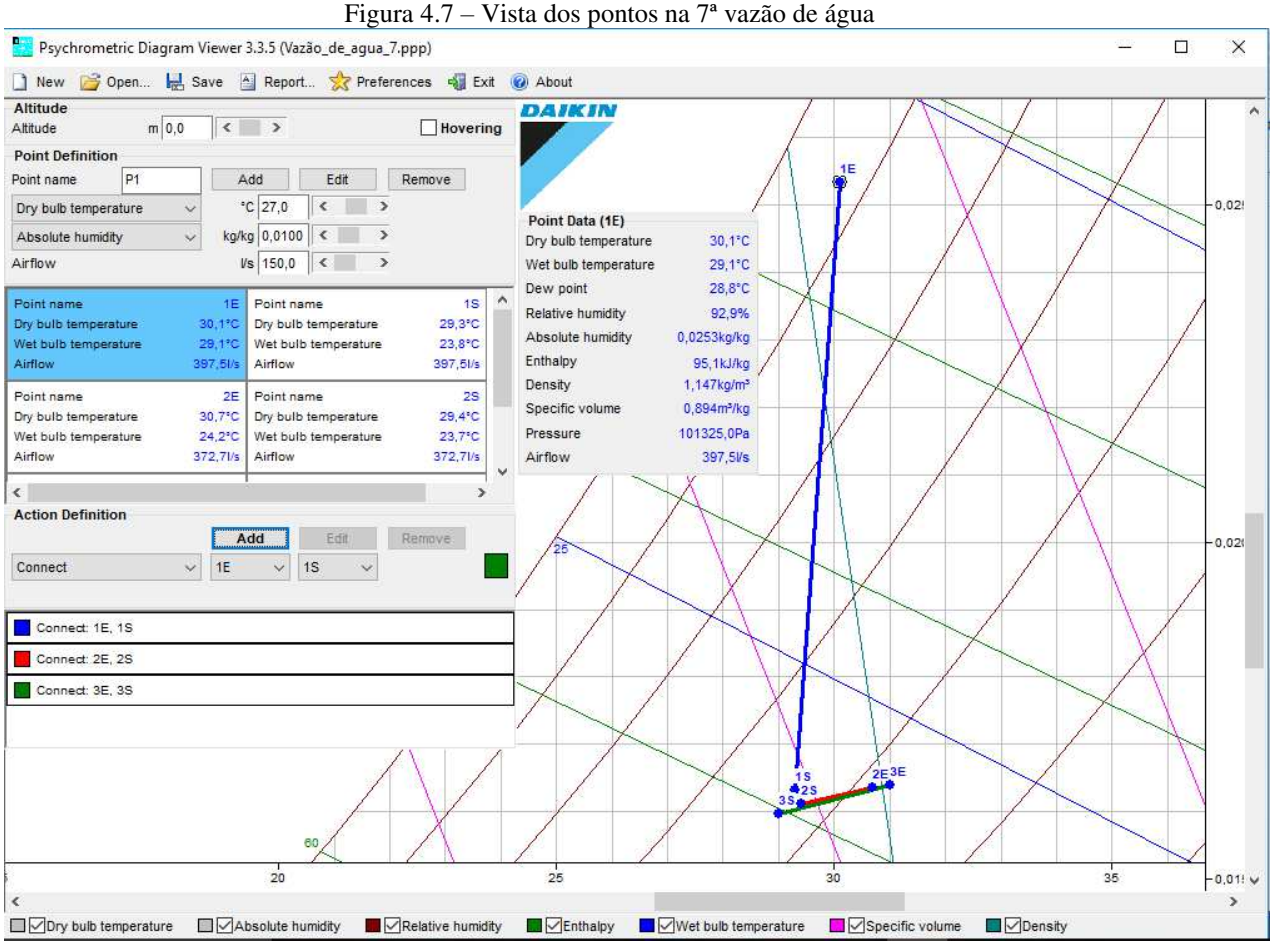
Para a 7ª Vazão de água, podemos observar os dados obtidos na tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Dados Obtidos para a vazão de água 7

	1º Vazão de ar	**2ª Vazão de ar**	**3ª Vazão de ar**
h_e	95,1 KJ/Kg	72,7 KJ/Kg	73,1 KJ/Kg
h_s	71,2 KJ/Kg	70,8 KJ/Kg	70 KJ/Kg
ρ	1,156 Kg/ m³	1,156 Kg/m³	1,157 Kg/m³

Fonte: (Autor, 2017)

Figura 4.7 – Vista dos pontos na 7ª vazão de água



Fonte: (Autor, 2017)

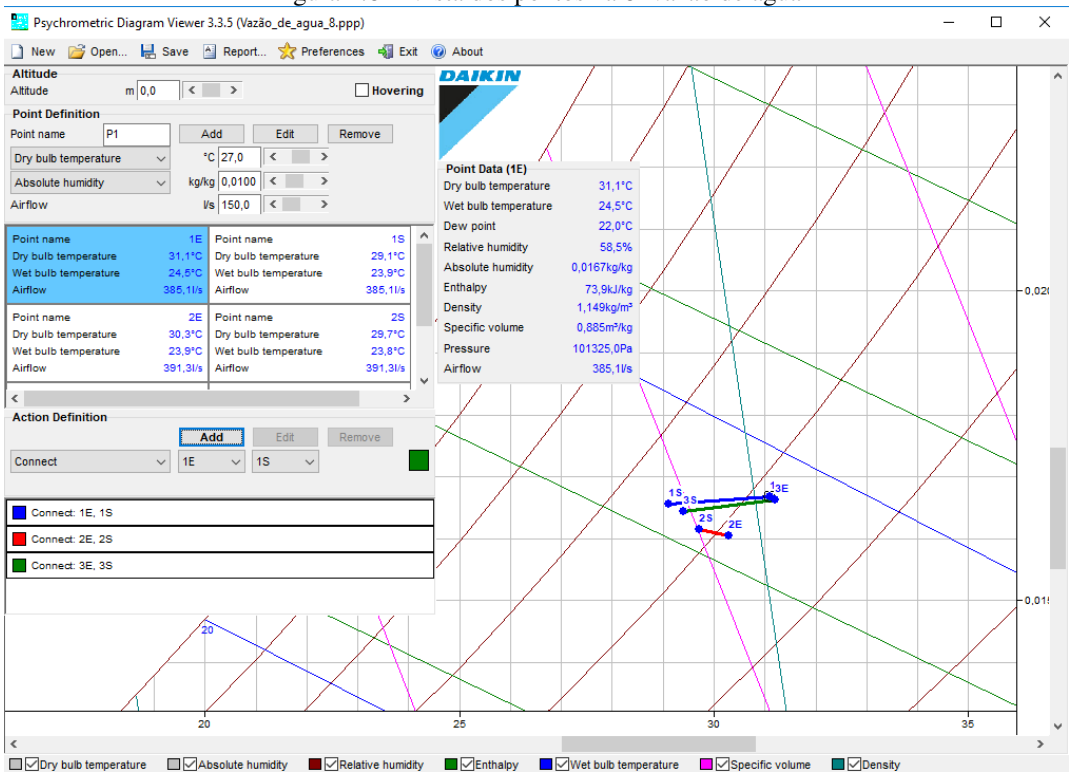
Para a 8ª Vazão de água, podemos observar os dados obtidos na tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Dados Obtidos para a vazão de água 8

	1º Vazão de ar	2ª Vazão de ar	3ª Vazão de ar
h_e	73,9 KJ/Kg	71,5 KJ/Kg	73,9 KJ/Kg
h_s	71,6 KJ/Kg	71,2 KJ/Kg	71,6 KJ/Kg
ρ	1,156 Kg/ m³	1,154 Kg/m³	1,155 Kg/m³

Fonte: (Autor, 2017)

Figura 4.8 – Vista dos pontos na 8ª vazão de água



Fonte: (Autor. 2017)

Após coletar estes valores deu-se início ao cálculo das capacidades, e para tal foi criado um programa que pode ser vista no (APÊNDICE C – Programa Criado no MATLAB para calcular as Capacidades) no programa MATLAB para facilitar e dar mais precisão aos resultados, pode-se acompanhar o memorial de cálculo no (APÊNDICE D – Memorial de Cálculo das Capacidades [KW]).

Os resultados encontram-se na tabela 4.9.

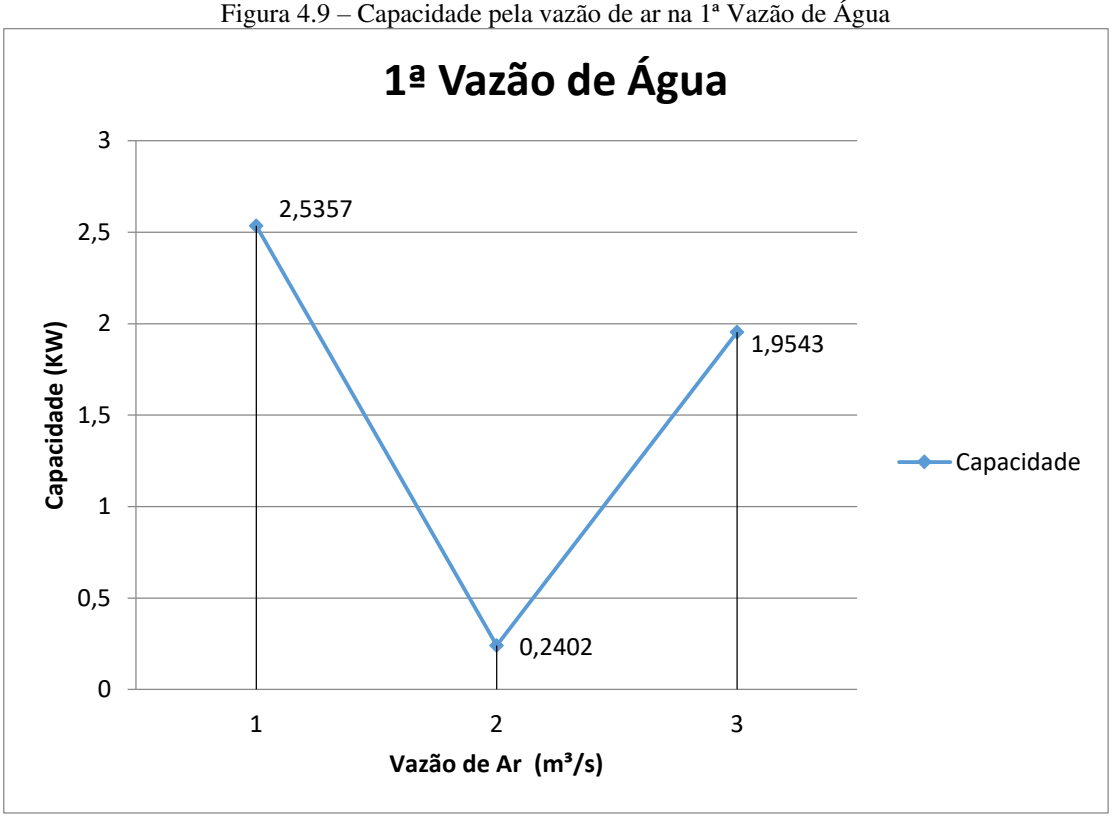
Tabela 4.9 – Capacidades obtidas para as vazões

Vazões de Água	Capacidade para a 1º Vazão de Ar	Capacidade para a 2º Vazão de Ar	Capacidade para a 3º Vazão de Ar
1ª	2,5357 KW	0,2402 KW	1,9543 KW
2ª	1,4537 KW	0,2769 KW	0,9778 KW
3ª	1.3595 KW	0,9256 KW	1,3246 KW
4ª	0,2007 KW	0,2865 KW	1,7155 KW
5ª	0,1664 KW	0,1291 KW	2,1393 KW
6ª	1,1274 KW	0,4822 KW	2,2445 KW
7ª	10,9833 KW	0,8186 KW	1,9160 KW
8ª	1,0239 KW	0,1355 KW	1,3201 KW

Fonte: (Autor, 2017)

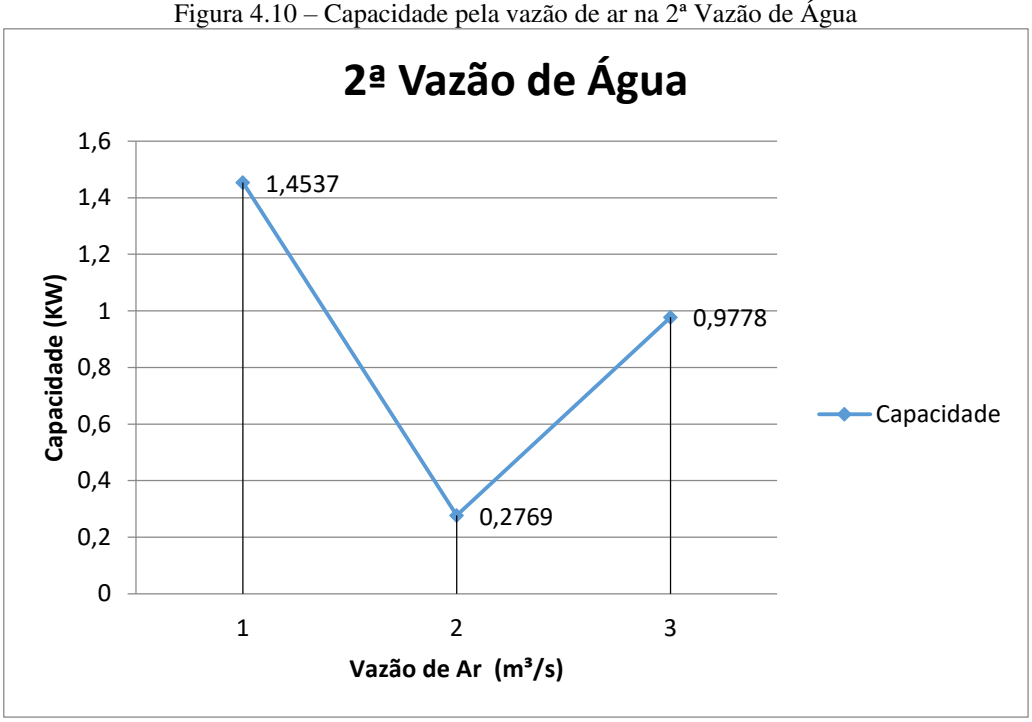
Com as capacidades já calculadas, foi criado gráficos no Excel para poder analisar a capacidade em função das vazões de ar. Os gráficos podem ser observados nas figuras 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 e 4.16 abaixo.

Figura 4.9 – Capacidade pela vazão de ar na 1ª Vazão de Água



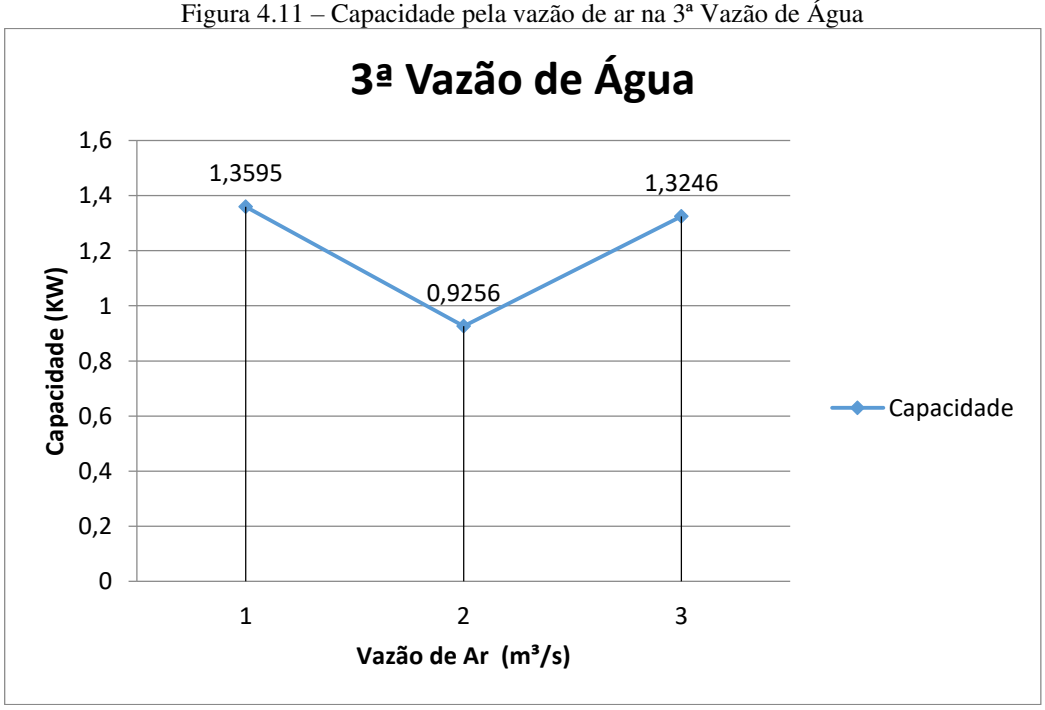
Fonte: (Autor, 2017)

Figura 4.10 – Capacidade pela vazão de ar na 2ª Vazão de Água



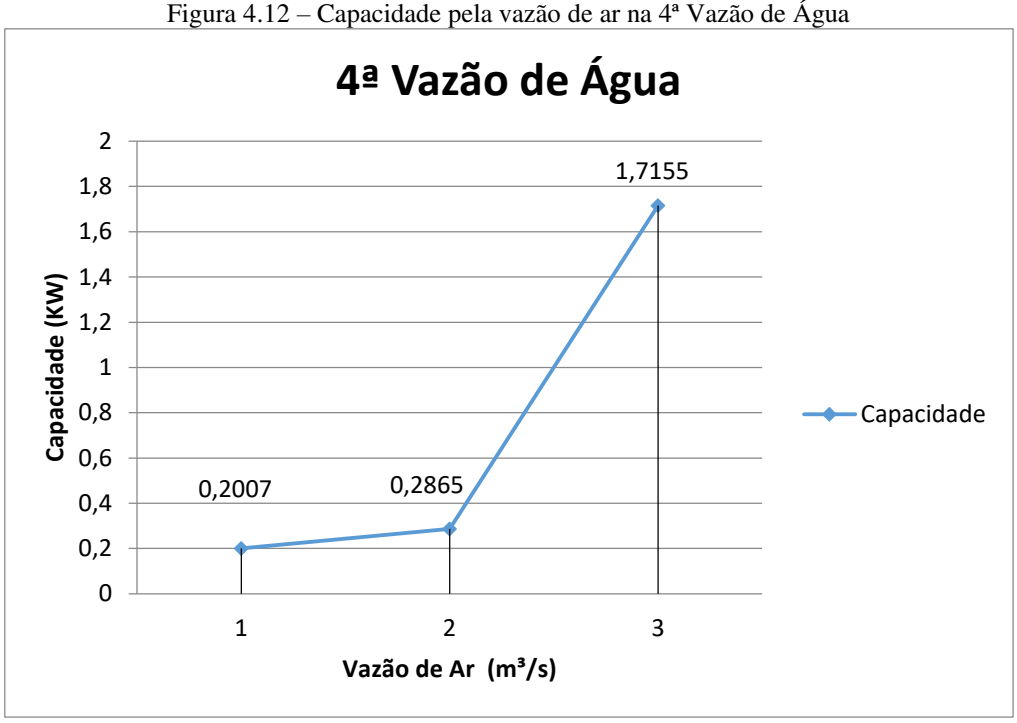
Fonte: (Autor, 2017)

Figura 4.11 – Capacidade pela vazão de ar na 3ª Vazão de Água



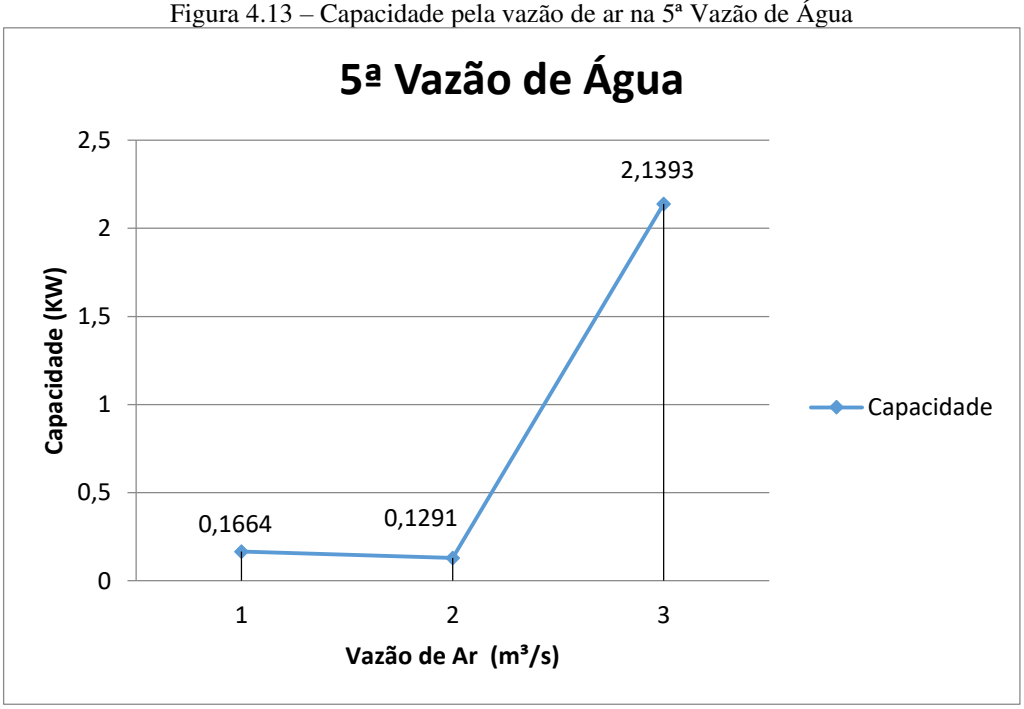
Fonte: (Autor, 2017)

Figura 4.12 – Capacidade pela vazão de ar na 4ª Vazão de Água



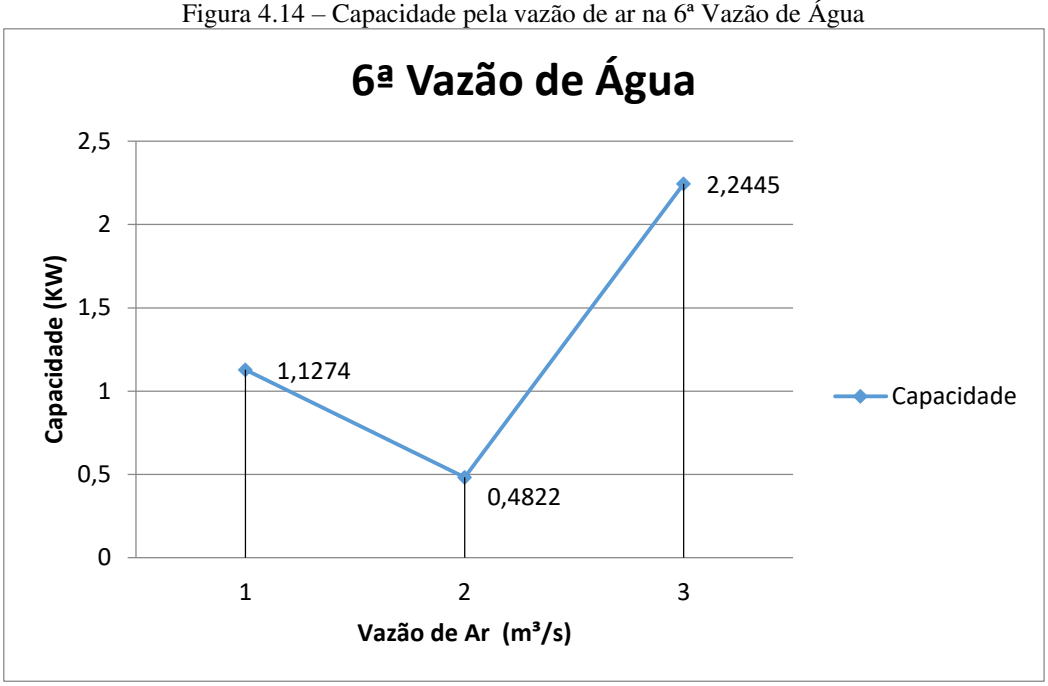
Fonte: (Autor, 2017)

Figura 4.13 – Capacidade pela vazão de ar na 5ª Vazão de Água



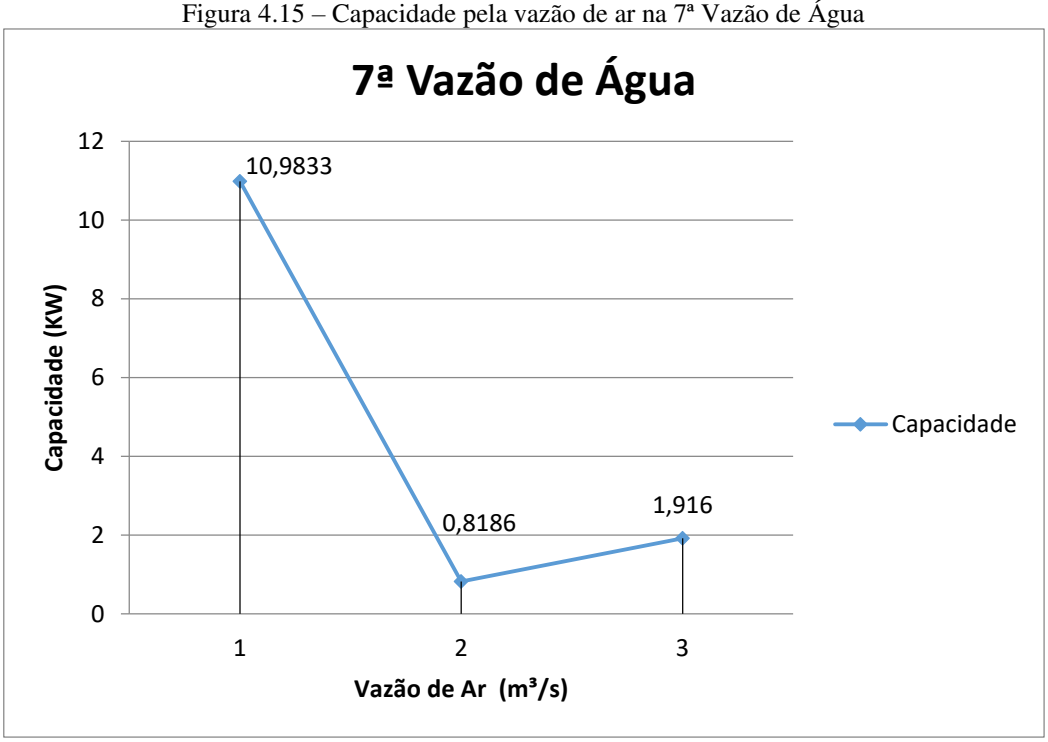
Fonte: (Autor, 2017)

Figura 4.14 – Capacidade pela vazão de ar na 6ª Vazão de Água



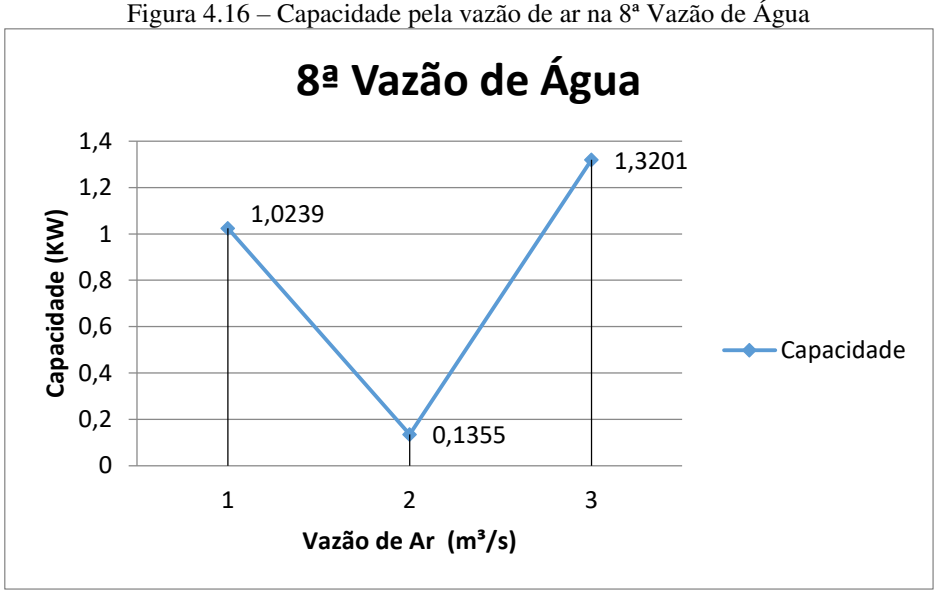
Fonte: (Autor, 2017)

Figura 4.15 – Capacidade pela vazão de ar na 7ª Vazão de Água



Fonte: (Autor, 2017)

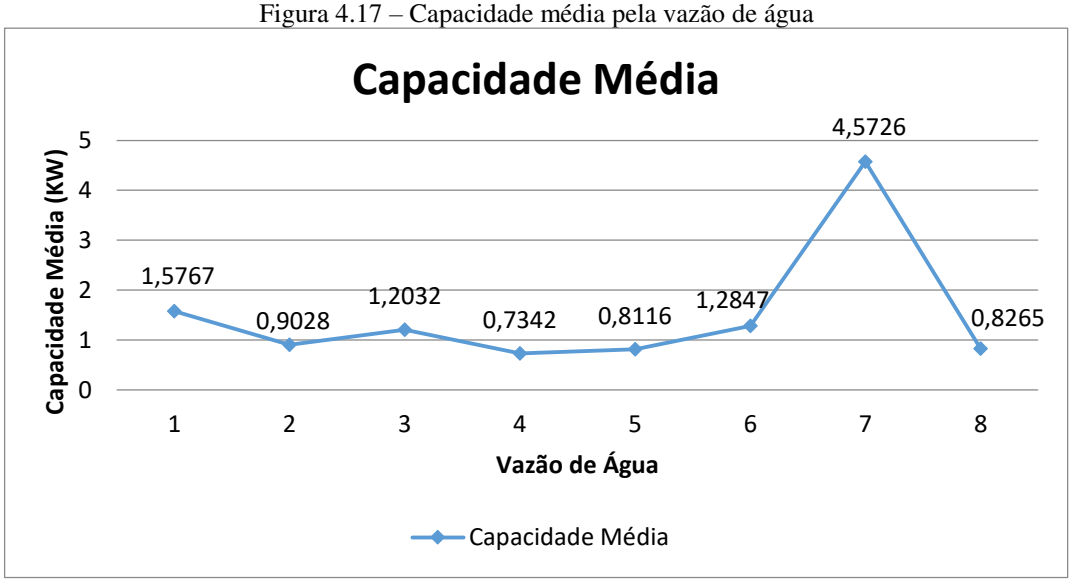
Figura 4.16 – Capacidade pela vazão de ar na 8ª Vazão de Água



Fonte: (Autor, 2017)

Com isso podemos perceber que a vazão de água afeta na capacidade de refrigeração da máquina, e que a mesma está com uma capacidade muito baixa, e que de acordo com as tabelas presentes nos APÊNDICE B – Tabelas com Dados da 1ª à 8ª Vazão de Água na Central de Ar Condicionado e na Central de Água Gelada respectivamente a temperatura da água que passa pelo sistema começou a aumentar, mostrando assim uma ineficiência, percebe-se isso quando a temperatura na saída da serpentina está começando a se elevar, percebeu-se também que durante a terceira vazão de água o sistema trabalhou de forma mais suave sem ter muita diferença entre suas capacidades, e teve um aumento de capacidade na sétima vazão de água, podemos perceber isso analisando o gráfico da figura 4.17, com isso percebemos que o sistema trabalhou quase sempre com a mesma capacidade.

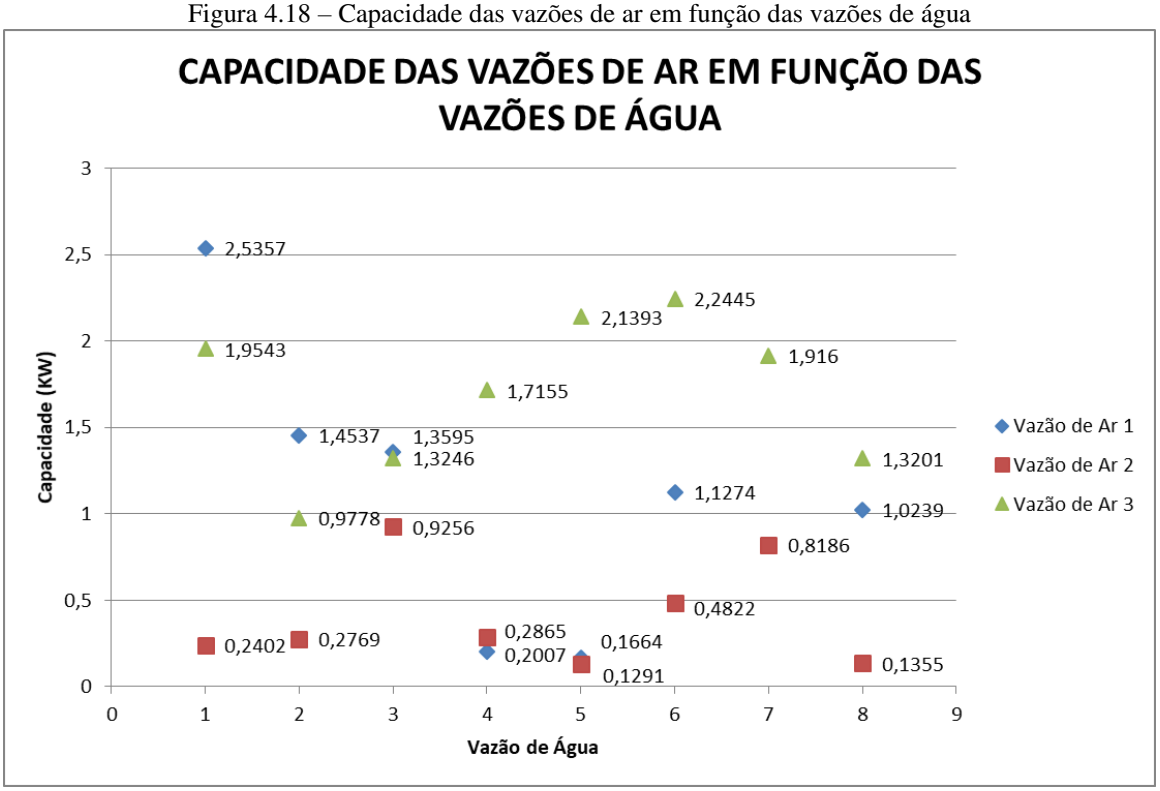
Figura 4.17 – Capacidade média pela vazão de água



Fonte: (Autor, 2017)

Podemos fazer um comparativo entre os gráficos presentes nas figuras 4.17 e 4.18, onde na figura 4.18 temos todas as capacidades reais, com elas podemos perceber que a máquina vem trabalhando com uma baixa capacidade e que ela apresentou um melhor desempenho continuo na 3ª vazão de ar, ou seja sem muitas variações se comparado às outras vazões. Com isso teremos que esta será a terceira vazão de água será a que o sistema trabalha da melhor forma, sem sofrer grandes aumentos nem perder eficiência como é o caso das capacidades nas vazões de ar 1 e 2.

Figura 4.18 – Capacidade das vazões de ar em função das vazões de água



Fonte: (Autor)

5 CONLUSÃO E SUGESTÃO PARA PRÓXIMOS TRABALHOS

No presente trabalho, pode-se realizar uma análise da capacidade do sistema, assim percebendo que devido a ser uma máquina muito antiga a capacidade do seu sistema está abaixo do que ela poderia realmente oferecer em boas condições, mas isso já era esperado devido a ela estar parada a muito tempo sem nenhuma manutenção. Podemos concluir que o objetivo principal foi atingido, pois este equipamento foi restaurado e agora pode ser utilizado para complementar o conhecimento prático dos alunos de Engenharia Mecânica.

Durante a análise da capacidade podemos perceber que este sistema trabalhou sempre numa faixa que tinha pouca variação em sua capacidade, mas durante a sétima vazão de água ele saiu totalmente da capacidade a que vinha funcionando, tendo um pico na capacidade ao qual vinha até então. Também pode-se analisar que a máquina trabalha da melhor forma possível para a terceira vazão de ar, pois ela sempre se mantém em uma mesma curva com poucas variações, sempre se mantendo em medidas próximas.

A restauração deste equipamento demandou de muito tempo para ser concluída, com isso sugere-se como trabalhos futuros, realizar uma análise da perda de carga do gás 134a na serpentina da Central de Água Gelada, Simulação de Defeitos, Análise do Fator de Passagem, restaurar a ligação dos seus resistores e realizar uma análise do seu sistema de aquecimento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. 5ª. ed. São Paulo: Mc Graw-Hill, 2007. 740 p.

DIAMONT TECNOLOGIA E CLIMATIZAÇÃO LTDA. Expansão Direta vs Expansão Indireta. **Diamont tecnologia e climatização Ltda**, 2016. Disponivel em: <http://diamont.com.br/sistemas-de-refrigeracao-expansao-direta-vs-expansao-indireta>. Acesso em: 23 setembro 2017.

FERRAZ, F. **Apostila de Refrigeração - Componentes de um Sistema de Refrigeração**. Santo Amaro: IFMA, 2011. 38 p.

FROTA, B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 243 p.

LUMERTZ, R. Vácuo: Afinal, qual é a sua importância. **Climatização Lumertz**, 2015. Disponivel em: <https://climatizacaolumertz.com.br/2015/06/24/vacuo/>. Acesso em: 16 nov. 2017.

MANUTENÇÃO & SUPRIMENTOS. Para que serve uma serpentina de refrigeração. **Manutenção & Suprimentos**, 2011. Disponivel em: <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/4693-para-que-serve-uma-serpentina-de-refrigeracao/>. Acesso em: 07 novembro 2017.

MARAN, M. **Modernização de Sistemas de Ar Condicionado**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 106. 2005.

MATOS, R. S. **Apostila de Refrigeração**. Paraná: Universidade Federal do Paraná, sem data disponível. 247 p.

MAZE TROCADORES DE CALOR. Serpentinas para resfriamento de fluidos. **MAZE - Trocadores de Calor**, Sem data disponível. Disponivel em: <http://www.maze.ind.br/serpentinas-resfriamento-fluidos>. Acesso em: 07 Novembro 2017.

MENDES, V. P. **Apostila de Ar Condicionado**. São Luís: UEMA, v. I, 1996. 84 p.

MORAN, M. J. et al. **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**. 7ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 840 p.

POLIPARTES. Chave Catraca 1/4 3/8 3/16 5/16. **Polipartes**, sem data disponivel. Disponivel em: <http://www.polipartes.com.br/chave-catraca-1-4-a-5-16-sra010/p>. Acesso em: 21 Novembro 2017.

PORTAL WEB AR CONDICIONADOS. Ar condicionado fan coil. **Portal Web ar condicioandos**, 2012. Disponivel em: <http://www.webarcondicionado.com.br/ar-condicionado-fan-coil>. Acesso em: 23 Setembro 2017.

SOBRAL, M. Qual a diferença entre evaporador do tipo expansão direta e indireta? **Sistemas de Ar Condicionado**, 2008. Disponivel em:

<http://www.sistemasdearcondicionado.com.br/2008/10/qual-diferena-entre-evaporador-do-tipo.html>. Acesso em: 08 novembro 2017.

STOECKER, W. F.; JABARDO, J. M. S. **Refrigeração Industrial**. 2ª. ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 2002. 371 p.

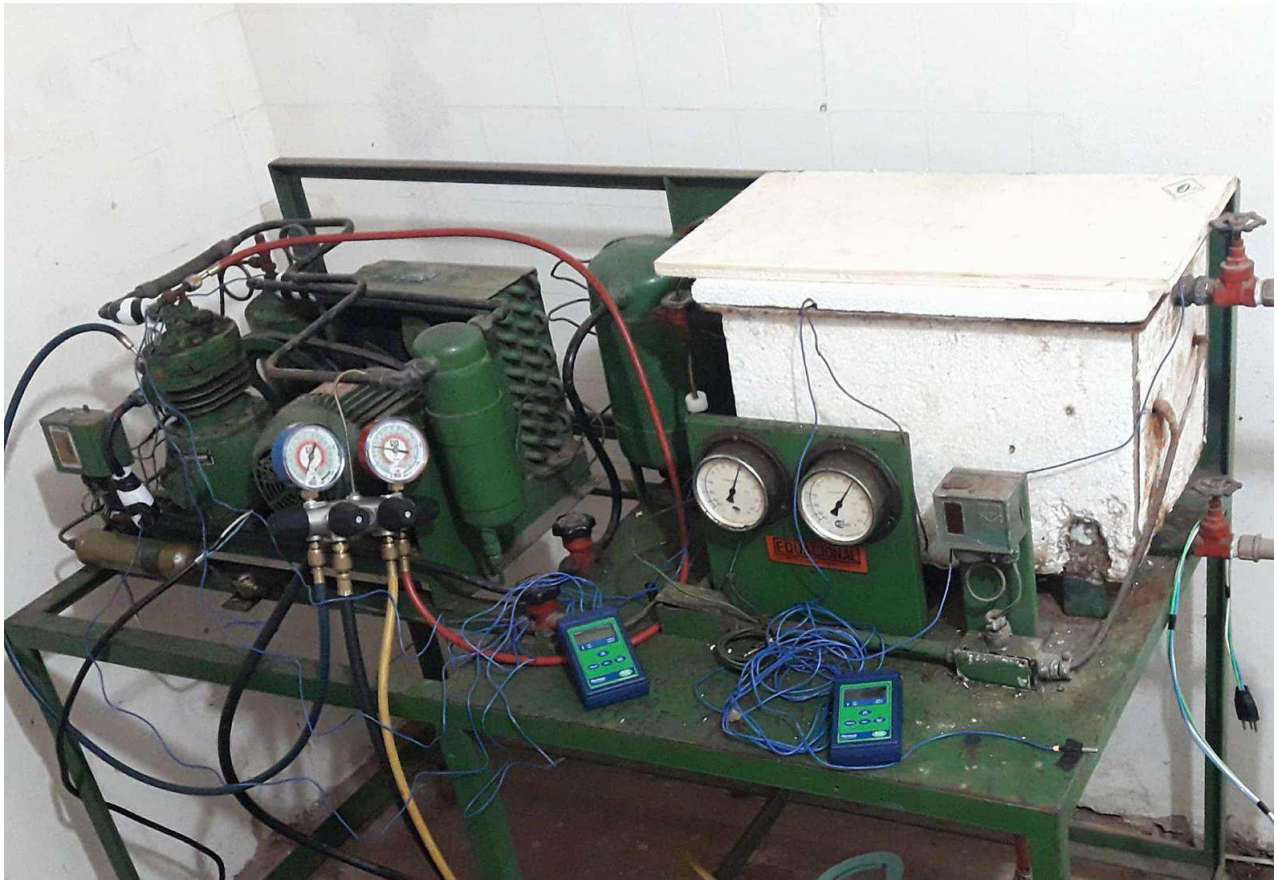
APÊNDICE A – Central de Água Gelada e Central de Ar Condicionado e equipamentos utilizados para as coletas de temperatura

Fonte: (Autor, 2017)

Fonte: (Autor, 2017)

Fonte: (Autor, 2017)

Fonte: (Autor, 2017)



Fonte: (Autor, 2017)

Fonte: (Autor, 2017)

Fonte: (Autor, 2017)

APÊNDICE B – Tabelas com Dados da 1ª à 8ª Vazão de Água na Central de Ar Condicionado e na Central de Água Gelada respectivamente

Vazão de Água	Vazão de Ar	Entrada	Entrada	Saída	Saída	Velocidade do Ar na Saída do Duto de Instalação (m/s)	Área em m² do Duto de Insuflação
		TBS (ºC)	TBU (ºC)	TBS (ºC)	TBU (ºC)	(m/s)	
	1ª	26,4	21,1	22,6	19,3	5,3	0,062115
1	2ª	27,1	22,3	25,2	22,1	5,5	0,062115
	3ª	29,7	23,7	24,6	22,6	6,7	0,062115

Fonte: (Autor, 2017

Vazões de Ar	Temperatura da Água na Entrada do Reservatório (ºC)	Temperatura da Água na Saída do Reservatório (ºC)	Temperatura Ambiente (ºC)	Temperatura do Fluído Refrigerante (ºC)		Temperatura do Fluído Refrigerante (ºC)		Temperatura na Sucção do Compressor (ºC)	Temperatura na Descarga do Compressor (ºC)
				Na Saída da Serpentina	Na Entrada da VET	Na Entrada do Condensador			
1ª	11,3	14,1	28,3	2,6	48,1	56,3		8,6	67
2ª	19,8	20,6	27,9	19,9	53,9	62		20	69,2
3ª	22,1	22,5	28,7	23,4	55,7	65,5		23	72,7

Fonte: (Autor, 2017)

Vazão de Água	Vazão de Ar	Entrada	Entrada	Saída	Saída	Velocidade do Ar na Saída do Duto de Instalação (m/s)	Área em m² do Duto de Insuflação
		TBS (ºC)	TBU (ºC)	TBS (ºC)	TBU (ºC)	(m/s)	
2	1ª	30,7	23,9	27,8	22,9	5,3	0,062115
	2ª	29,8	23,4	28,9	23,2	5,5	0,062115
	3ª	30,1	23,6	28,3	23	5,9	0,062115

Fonte: (Autor, 2017)

Vazões de Ar	Temperatura da Água na Entrada do Reservatório (ºC)	Temperatura da Água na Saída do Reservatório (ºC)	Temperatura Ambiente (ºC)	Temperatura do Fluído Refrigerante (ºC)	Temperatura do Fluído Refrigerante (ºC)	Temperatura do Fluído Refrigerante (ºC)	Temperatura na Sucção do Compressor (ºC)	Temperatura na Descarga do Compressor (ºC)
				Na Saída da Serpentina	Na Entrada da VET	Na Entrada do Condensador		
1ª	24,8	25,5	28,9	25,4	57,4	68	24,9	74,9
2ª	26,4	27,1	29,2	27	59,5	70,3	26,8	76,5
3ª	27	27,5	29,9	27,7	60,2	71,4	27,6	77,4

Fonte: (Autor, 2017)

Vazão de Água	Vazão de Ar	Entrada	Entrada	Saída	Saída	Velocidade do Ar na Saída do Duto de Instalação (m/s)	Área em m² do Duto de Insuflação
		TBS (ºC)	TBU (ºC)	TBS (ºC)	TBU (ºC)	(m/s)	
3	1ª	31,8	24,1	28,8	23,25	5,4	0,062115
	2ª	30,3	24,4	29,1	23,4	5,6	0,062115
	3ª	30,1	23,9	28,6	23,3	7,8	0,062115

Fonte: (Autor, 2017)

Vazões de Ar	Temperatura da Água na Entrada do Reservatório (ºC)	Temperatura da Água na Saída do Reservatório (ºC)	Temperatura Ambiente (ºC)	Temperatura do Fluído Refrigerante (ºC)	Temperatura do Fluído Refrigerante (ºC)	Temperatura do Fluído Refrigerante (ºC)	Temperatura na Sucção do Compressor (ºC)	Temperatura na Descarga do Compressor (ºC)
				Na Saída da Serpentina	Na Entrada da VET	Na Entrada do Condensador		
1ª	27,1	27,5	29,6	27,9	60,5	72	28	78,1
2ª	27,4	27,8	29,6	28	60,6	72,3	28,2	78,3
3ª	27,1	27,6	30,6	28,3	61,7	73,3	28,9	79

Fonte: (Autor, 2017

Vazão de Água	Vazão de Ar	Entrada	Entrada	Saída	Saída	Velocidade do Ar na Saída do Duto de Instalação (m/s)	Área em m² do Duto de Insuflação
		TBS (ºC)	TBU (ºC)	TBS (ºC)	TBU (ºC)	(m/s)	
4	1ª	29,5	23,7	29,5	23,6	5,6	0,062115
	2ª	30	23,9	29,2	23,7	5,7	0,062115
	3ª	30,9	24,4	28,9	23,6	7,7	0,062115

Fonte: (Autor, 2017)

Vazões de Ar	Temperatura da Água na Entrada do Reservatório (°C)	Temperatura da Água na Saída do Reservatório (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura do Fluído Refrigerante (°C)	Temperatura do Fluído Refrigerante (°C)	Temperatura do Fluído Refrigerante (°C)	Temperatura na Sucção do Compressor (°C)	Temperatura na Descarga do Compressor (°C)
				Na Saída da Serpentina	Na Entrada da VET	Na Entrada do Condensador		
1ª	27,1	27,7	30,4	28,3	61,7	73,7	28,9	79,5
2ª	27,4	28	29,9	28,3	61,3	73,4	28,3	79,3
3ª	27,5	28	30,7	28,6	61,7	74	29,3	79,9

Fonte: (Autor, 2017)

Vazão de Água	Vazão de Ar	Entrada	Entrada	Saída	Saída	Velocidade do Ar na Saída do Duto de Instalação (m/s)	Área em m² do Duto de Insuflação
		TBS (ºC)	TBU (ºC)	TBS (ºC)	TBU (ºC)	(m/s)	
	1ª	29,4	23,5	29,5	23,4	5,8	0,062115
5	2ª	30,2	23,8	29,5	23,7	6	0,062115
	3ª	30,2	24,3	27,8	23,2	7,8	0,062115

Fonte: (Autor, 2017)

Vazões de Ar	Temperatura da Água na Entrada do Reservatório (ºC)	Temperatura da Água na Saída do Reservatório (ºC)	Temperatura Ambiente (ºC)	Temperatura do Fluído Refrigerante (ºC)	Temperatura do Fluído Refrigerante (ºC)	Temperatura do Fluído Refrigerante (ºC)	Temperatura na Sucção do Compressor (ºC)	Temperatura na Descarga do Compressor (ºC)
				Na Saída da Serpentina	Na Entrada da VET	Na Entrada do Condensador		
1ª	27,4	27,9	30,6	28,6	62	74,3	29,5	80,2
2ª	27,6	28,1	30,3	28,5	61,8	74,3	29,3	79,9
3ª	24,4	25,2	31,2	27,7	61,8	74,3	28,9	80,2

Fonte: (Autor, 2017)

Vazão de Água	Vazão de Ar	Entrada	Entrada	Saída	Saída	Velocidade do Ar na Saída do Duto de Instalação (m/s)	Área em m² do Duto de Insuflação
		TBS (ºC)	TBU (ºC)	TBS (ºC)	TBU (ºC)	(m/s)	
	1ª	30,5	24,4	28,4	23,7	5,8	0,062115
6	2ª	30	24	29	23,7	6,1	0,062115
	3ª	30,6	24,2	28,2	23,3	8,9	0,062115

Fonte: (Autor, 2017)

Vazões de Ar	Temperatura da Água na Entrada do Reservatório (°C)	Temperatura da Água na Saída do Reservatório (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura do Fluído Refrigerante (°C)	Temperatura do Fluído Refrigerante (°C)	Temperatura do Fluído Refrigerante (°C)	Temperatura na Sucção do Compressor (°C)	Temperatura na Descarga do Compressor (°C)
				Na Saída da Serpentina	Na Entrada da VET	Na Entrada do Condensador		
1ª	25,4	26,1	30,9	27,1	62,3	74,6	28,3	80
2ª	26,1	27	30,4	27,3	62,1	74,3	28,3	79,9
3ª	26,8	27,1	30,7	27,9	63,3	74,4	28,9	79,7

Fonte: (Autor, 2017)

Vazão de Água	Vazão de Ar	Entrada	Entrada	Saída	Saída	Velocidade do Ar na Saída do Duto de Instalação (m/s)	Área em m² do Duto de Insuflação
		TBS (ºC)	TBU (ºC)	TBS (ºC)	TBU (ºC)	(m/s)	
	1ª	20,08	24,1	29,3	23,8	6,4	0,062115
7	2ª	30,7	24,2	29,4	23,7	6,5	0,062115
	3ª	31	24,3	29	23,5	8,6	0,062115

Fonte: (Autor, 2017)

Vazões de Ar	Temperatura da Água na Entrada do Reservatório (ºC)	Temperatura da Água na Saída do Reservatório (ºC)	Temperatura Ambiente (ºC)	Temperatura do Fluído Refrigerante (ºC)	Temperatura do Fluído Refrigerante (ºC)	Temperatura do Fluído Refrigerante (ºC)	Temperatura na Sucção do Compressor (ºC)	Temperatura na Descarga do Compressor (ºC)
				Na Saída da Serpentina	Na Entrada da VET	Na Entrada do Condensador		
1ª	26,4	27,5	30,9	28	63,7	74,9	29,2	80,2
2ª	27	28,1	30,4	28,3	62,6	74,6	29,2	80,2
3ª	27,4	28,3	30,5	28,6	63,1	74,6	29,5	80

Fonte: (Autor, 2017)

Vazão de Água	Vazão de Ar	Entrada	Entrada	Saída	Saída	Velocidade do Ar na Saída do Duto de Instalação (m/s)	Área em m² do Duto de Insuflação
		TBS (ºC)	TBU (ºC)	TBS (ºC)	TBU (ºC)	(m/s)	
	1ª	31,1	24,5	29,1	23,9	6,2	0,062115
8	2ª	30,3	23,9	29,7	23,8	6,3	0,062115
	3ª	31,2	24,5	29,4	23,9	8	0,062115

Fonte: (Autor, 2017)

Vazões de Ar	Temperatura da Água na Entrada do Reservatório (°C)	Temperatura da Água na Saída do Reservatório (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura do Fluído Refrigerante (°C)	Temperatura do Fluído Refrigerante (°C)	Temperatura do Fluído Refrigerante (°C)	Temperatura na Sucção do Compressor (°C)	Temperatura na Descarga do Compressor (°C)
				Na Saída da Serpentina	Na Entrada da VET	Na Entrada do Condensador		
1ª	27,4	28,5	30,3	28,7	62,9	74,6	29,6	80,2
2ª	27,6	28,8	30,5	29	62,7	74,9	29,8	80,3
3ª	27,8	28,8	30,7	29,3	62,7	74,9	29,9	80,4

Fonte: (Autor, 2017)

APÊNDICE C – Programa Criado no MATLAB para calcular as Capacidades

```
% Cálculo da Capacidade

clear,clc
RC = [];
% Simulações da vazão de água (8 vazões de água)
%VW = 8;
VW = input('Digite quantidade de vazões de água = ');
%R = []; % Vetor para vazão de ar
% Simulações por vazão de água --> VA
VA = 3;
% Área
A = 0.062115;
for l = 1:VW
for k = 1:VA
% Velocidade
V = input('Digite a velocidade do ar = ');

% Cálculo da Vazão
Q = V*A;
fprintf('Q = %6.4f m^3/s\n',Q)

% Cálculo da Massa de ar
ro = input('Digite a densidade do ar = ');
m = ro*Q;
fprintf('m = %4.2f kg\n',m)

% Cálculo da Capacidade
he = input('Digite a entalpia de entrada = ');
hs = input('Digite a entalpia de saída = ');
C = m*(he - hs);

%fprintf('C = %6.4f Kw\n',C)
RC(k) = C;
%R(k) = k;
end
%figure
%plot(R,RC)
%title('Vazão de ar em função da capacidade')
%xlabel('Vazão de Ar')
%ylabel('Capacidade')
end
disp(RC)
```

APÊNDICE D – Memorial de Cálculo das Capacidades [KW]

1ªVazão de Água

Digite quantidade de vazões de água = 1
Digite a velocidade do ar = 5.3
Q = 0.3292 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.185
m = 0.39 kg
Digite a entalpia de entrada = 61.5
Digite a entalpia de saída = 55
Digite a velocidade do ar = 5.5
Q = 0.3416 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.172
m = 0.40 kg
Digite a entalpia de entrada = 65.4
Digite a entalpia de saída = 64.8
Digite a velocidade do ar = 6.7
Q = 0.4162 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.174
m = 0.49 kg
Digite a entalpia de entrada = 70.7
Digite a entalpia de saída = 66.7
2.5357 0.2402 1.9543

2ª Vazão de Água

Digite quantidade de vazões de água = 1
Digite a velocidade do ar = 5.3
Q = 0.3292 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.162
m = 0.38 kg
Digite a entalpia de entrada = 71.5
Digite a entalpia de saída = 67.7
Digite a velocidade do ar = 5.5
Q = 0.3416 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.158
m = 0.40 kg
Digite a entalpia de entrada = 69.5
Digite a entalpia de saída = 68.8
Digite a velocidade do ar = 5.9
Q = 0.3665 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.160
m = 0.43 kg
Digite a entalpia de entrada = 70.3
Digite a entalpia de saída = 68
1.4537 0.2769 0.9778

3ª Vazão de Água

Digite quantidade de vazões de água = 1
Digite a velocidade do ar = 5.4
Q = 0.3354 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.158
m = 0.39 kg
Digite a entalpia de entrada = 72.3
Digite a entalpia de saída = 68.8
Digite a velocidade do ar = 5.6
Q = 0.3478 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.157
m = 0.40 kg
Digite a entalpia de entrada = 71.9
Digite a entalpia de saída = 69.6
Digite a velocidade do ar = 8
Q = 0.4969 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.159
m = 0.58 kg
Digite a entalpia de entrada = 71.5
Digite a entalpia de saída = 69.2
1.3595 0.9256 1.3246

4ª Vazão de Água

Digite quantidade de vazões de água = 1
Digite a velocidade do ar = 5.6
Q = 0.3478 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.154
m = 0.40 kg
Digite a entalpia de entrada = 70.8
Digite a entalpia de saída = 70.3
Digite a velocidade do ar = 5.7
Q = 0.3541 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.156
m = 0.41 kg
Digite a entalpia de entrada = 71.5
Digite a entalpia de saída = 70.8
Digite a velocidade do ar = 7.7
Q = 0.4783 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.157
m = 0.55 kg
Digite a entalpia de entrada = 73.5
Digite a entalpia de saída = 70.4
0.2007 0.2865 1.7155

5ª Vazão de Água

Digite quantidade de vazões de água = 1
Digite a velocidade do ar = 5.8
Q = 0.3603 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.155

m = 0.42 kg
Digite a entalpia de entrada = 70
Digite a entalpia de saída = 69.6
Digite a velocidade do ar = 6
Q = 0.3727 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.155
m = 0.43 kg
Digite a entalpia de entrada = 71.1
Digite a entalpia de saída = 70.8
Digite a velocidade do ar = 7.8
Q = 0.4845 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.162
m = 0.56 kg
Digite a entalpia de entrada = 72.7
Digite a entalpia de saída = 68.9
0.1664 0.1291 2.1393

6ª Vazão de Água

Digite quantidade de vazões de água = 1
Digite a velocidade do ar = 5.8
Q = 0.3603 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.159
m = 0.42 kg
Digite a entalpia de entrada = 73.5
Digite a entalpia de saída = 70.8
Digite a velocidade do ar = 6.1
Q = 0.3789 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.157
m = 0.44 kg
Digite a entalpia de entrada = 71.9
Digite a entalpia de saída = 70.8
Digite a velocidade do ar = 8.9
Q = 0.5528 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.160
m = 0.64 kg
Digite a entalpia de entrada = 72.7
Digite a entalpia de saída = 69.2
1.1274 0.4822 2.2445

7ª Vazão de Água

Digite quantidade de vazões de água = 1
Digite a velocidade do ar = 6.4
Q = 0.3975 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.156
m = 0.46 kg
Digite a entalpia de entrada = 95.1
Digite a entalpia de saída = 71.2
Digite a velocidade do ar = 6
Q = 0.3727 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.156

m = 0.43 kg
Digite a entalpia de entrada = 72.7
Digite a entalpia de saída = 70.8
Digite a velocidade do ar = 8.6
Q = 0.5342 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.157
m = 0.62 kg
Digite a entalpia de entrada = 73.1
Digite a entalpia de saída = 70
  10.9833 0.8186 1.9160

8ª Vazão de Água

Digite quantidade de vazões de água = 1
Digite a velocidade do ar = 6.2
Q = 0.3851 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.156
m = 0.45 kg
Digite a entalpia de entrada = 73.9
Digite a entalpia de saída = 71.6
Digite a velocidade do ar = 6.3
Q = 0.3913 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.154
m = 0.45 kg
Digite a entalpia de entrada = 71.5
Digite a entalpia de saída = 71.2
Digite a velocidade do ar = 8
Q = 0.4969 m^3/s
Digite a densidade do ar = 1.155
m = 0.57 kg
Digite a entalpia de entrada = 73.9
Digite a entalpia de saída = 71.6
  1.0239 0.1355 1.3201