

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DO CURSO DE TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

ANDREO KEVEN FERREIRA

TORRE DE RESFRIAMENTO DIDÁTICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2012

ANDREO KEVEN FERREIRA

TORRE DE RESFRIAMENTO DIDÁTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Manutenção Industrial, do Curso Superior em Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dirceu de Melo.

MEDIANEIRA

2012

Ministério da Educação



Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Câmpus Medianeira



Diretoria de Graduação e Educação Profissional do Curso
Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial

TERMO DE APROVAÇÃO

TORRE DE RESFRIAMENTO DIDÁTICA

Por:

Andreo Keven Ferreira

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 20:30 h do dia 12 de Dezembro de 2012 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo no Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus* Medianeira. O acadêmico foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Me. Dirceu de Melo

UTFPR – *Câmpus* Medianeira

(Orientador)

Prof. Me. Paulo C. Tonin

UTFPR – *Câmpus* Medianeira

(Convidado)

Prof. Me. Yuri Ferruzzi

UTFPR – *Câmpus* Medianeira

(Convidado)

Prof. Yuri Ferruzzi

UTFPR – *Câmpus* Medianeira

(Responsável pelas atividades de TCC)

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na coordenação do Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por estar vivo, a minha família, pelo apoio, e ao professor Dirceu de Melo, pela ajuda e orientação no trabalho.

RESUMO

Ferreira, Andreo Keven. Torre de Resfriamento Didática. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso – Tecnologia em Manutenção Industrial – Câmpus Medianeira/Pr 2012

Este trabalho apresenta o protótipo de uma torre de resfriamento em tamanho reduzido, para posteriormente ser usada de forma didática, nas disciplinas do Curso de Manutenção que estejam envolvidas com a termodinâmica. A torre foi construída com base em esboços de projetos de torres em tamanho real, reduzida para um tamanho que fique de fácil manuseio em sala de aula. Esse equipamento simula o processo industrial, aquecendo a água e resfriando, captando alguns dados para posterior análise de eficiência. O resultado obtido foi um equipamento didático que tem uma grande semelhança com as máquinas industriais.

Palavras-chave: Torre de Resfriamento. Didática. Termodinâmica.

ABSTRACT

Ferreira, Andreo Keven. Cooling Tower Didactics. 2012. Completion of Course Work - Industrial Maintenance Technology - Campus Medianeira / Pr 2012

This paper presents the prototype of a cooling tower at a reduced size to be used later in a didactic way, in the disciplines of Maintenance Course are involved in thermodynamics. The tower was built based on sketches of projects full-size towers, reduced to a size that it is easy to use in the classroom. This equipment simulates the industrial process water heating and cooling, capturing some data for subsequent analysis of effectiveness. The result was a didactic device that has a great resemblance to the industrial machinery.

Keywords: Cooling Tower. Didactic. Thermodynamics.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – TORRE DE RESFRIAMENTO, COMPONENTES PRINCIPAIS.....	15
FIGURA 2 – ESTRUTURA PRINCIPAL DA TORRE	22
FIGURA 3 – FECHAMENTO LATERAL E VENEZIANA.....	22
FIGURA 4 – COIFA SUPERIOR DA TORRE.	23
FIGURA 5 – SUPORTE PARA CAIXA DE ÁGUA	24
FIGURA 6 – EXAUSTOR SUPERIOR.....	25
FIGURA 7 – BOMBA D'ÁGUA.....	25
FIGURA 8 – DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	26
FIGURA 9 – ENCHIMENTO.....	26
FIGURA 10 – RESISTENCIA.....	22
FIGURA 11 – PAINEL ELETRICO	28
FIGURA 12 – TORRE DE RESFRIAMENTO	28
FIGURA 13– DIAGRAMA DE FORÇA	30
FIGURA 14– DIAGRAMA DE COMANDO	31
FIGURA 15– TEMPERATURA DE ENTRADA.....	33
FIGURA 16– TEMPERATURA AMBIENTE.....	33

LISTA DE GRAFICOS

GRAFICO 1 – TORRE DE RESFRIAMENTO, COMPONENTES PRINCIPAIS	34
GRAFICO 2 – ESTRUTURA PRINCIPAL DA TORRE	35

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – MATERIAIS UTILIZADOS NO PROJETO.	19
QUADRO 2 – TESTES REALIZADOS NO EQUIPAMENTO.	332

LISTA DE ABREVIATURAS

Mm: Milímetro

Cv: Cavalo

W: Watts

V: volts

°C: graus Celsius

PVC: Poli Cloreto de Vinila

PU: poliuretano

ml: mililitro

m: metro

A: ampere

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVO	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	13
3 REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 TORRE DE RESFRIAMENTO	14
3.1.1 Noções Gerais.....	14
3.2 TORRE DE RESFRIAMENTO – COMPONENTES PRINCIPAIS	15
3.3 PRINCIPAIS INDÚSTRIAS QUE UTILIZAM TORRES	17
4 MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1 CONFECÇÃO DO PROTÓTIPO	19
4.2 MATERIAIS UTILIZADOS	19
4.3 ETAPAS DE MONTAGEM	21
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
5.1 FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO	29
5.2 RESULTADOS OBTIDOS	31
6 CONCLUSÃO	36
7 REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

O trabalho relata a construção de uma torre de resfriamento em tamanho reduzido, com auxílio de um esboço de um projeto de uma torre em tamanho real, simulando o processo industrial em que a água sai da linha de produção com temperatura elevada e passa pela torre, para ser resfriada e poder voltar ao processo novamente.

Uma torre de resfriamento tem grande importância no processo industrial, sendo um equipamento que algumas vezes é indispensável para que o processo ocorra corretamente.

Existem vários segmentos da indústria que utilizam esse sistema para o resfriamento de fluidos, e atualmente várias empresas estão especializadas no ramo.

Neste trabalho foram realizados testes no equipamento, e realizados cálculos de eficiência do mesmo.

Com o propósito de ser usada posteriormente de forma didática, a torre foi fabricada para facilitar as aulas das disciplinas que envolvam termodinâmica, no curso de tecnologia em Manutenção Industrial, sendo cedida para a instituição.

Com um equipamento construído para facilitar as aulas e disciplinas, o aluno consegue assimilar melhor os conhecimentos passados pelos professores.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é construir uma torre de resfriamento didática, com base em um esboço de um projeto de uma torre em tamanho real. Obter dados do equipamento, com auxílio de sensores, manômetros e termômetros. Com esses dados, obtidos em testes que serão realizados em laboratório, calcular a eficiência da torre para posterior análise.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Construir um equipamento didático o mais parecido possível com um utilizado na indústria;
- b) Fazer um estudo sobre o funcionamento e a utilidade de uma torre de resfriamento na industrial;
- c) Instalar aparelhos que possam captar a temperatura de funcionamento da torre de resfriamento;
- d) Efetuar testes de temperatura em laboratório do equipamento didático construído;
- e) Calcular a eficiência do equipamento.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 TORRE DE RESFRIAMENTO

As torres de resfriamento são equipamentos utilizados para o resfriamento de água industrial, como aquela proveniente de condensadores de usinas de geração de potência, ou de instalações de refrigeração, trocadores de calor, etc. A água aquecida é gotejada na parte superior da torre e desce lentamente através de “enchimentos” de diferentes tipos, em contracorrente com uma corrente de ar frio (normalmente à temperatura ambiente). No contato direto das correntes de água e ar ocorre a evaporação da água, principal fenômeno que produz seu resfriamento.

Segundo MORAN (2002), uma torre de resfriamento é essencialmente uma coluna de transferência de massa e calor, projetada de forma a permitir uma grande área de contato entre as duas correntes. Isto é obtido mediante a aspensão da água líquida na parte superior e do “enchimento” da torre, isto é, bandejas perfuradas, colmeias de materiais plástico ou metálico, etc, que aumenta o tempo de permanência da água no seu interior e a superfície de contato água - ar.

3.1.1 Noções Gerais

É essencial termos em mente as limitações de uma torre. A mínima temperatura de água resfriada que podemos conseguir com o equipamento é função direta das condições climáticas / ambientes. A mais importante variável é a temperatura do bulbo úmido, pois esta influi diretamente no tamanho da torre a ser selecionada. A temperatura do bulbo úmido nos dá grosso modo, uma ideia de quanto calor o ar pode retirar de uma certa massa de água a ele exposta. Imaginemos um termômetro convencional de mercúrio com seu bulbo envolto por algodão embebido em água. Se fizermos o ar passar através desse bulbo, notaremos um abaixamento da temperatura marcada, pois há uma perda de energia no bulbo, equivalente ao calor latente de evaporação de uma parcela da água que envolve o bulbo do termômetro.

Se a umidade relativa ambiente é de 100%, a temperatura do bulbo úmido é igual à temperatura do bulbo seco (ambiente), pois neste caso não há evaporação de água.

Para umidades relativas mais baixas têm-se conseqüentemente bulbos úmidos mais baixos. Por esse motivo é que consegue-se águas resfriadas abaixo das temperaturas ambientes. O limite teórico de temperatura de água fria é a temperatura do bulbo úmido, porém na prática, recomenda-se uma folga de 3°C, ou seja, se uma determinada região à temperatura de bulbo úmido é de 23°C, a mínima temperatura de água fria deverá situar-se em torno de 26°C.

Segundo SILVA (2003), torres de resfriamento são classificadas de acordo com o método de circulação de ar no seu interior, como corrente natural e ar, corrente de ar forçada e corrente de ar induzida. A torre de arrefecimento por corrente de ar natural é projetada para resfriar água por meio do ar que circula naturalmente pela torre. A água quente é pulverizada sobre a camada de ar e cai por gravidade para a bacia coletora. Este sistema necessita de um espaço totalmente aberto para a corrente de ar natural.

As torres com corrente de ar induzida têm como característica a presença de um ventilador no topo, que leva o ar atmosférico a subir pela torre à medida que a água quente cai.

Para STOECKER (2002), outra possibilidade de classificação de torre de arrefecimento seria a de corrente de ar cruzada, onde ocorre a indução lateral do ar que resfria o fluido.

3.2 TORRE DE RESFRIAMENTO – COMPONENTES PRINCIPAIS

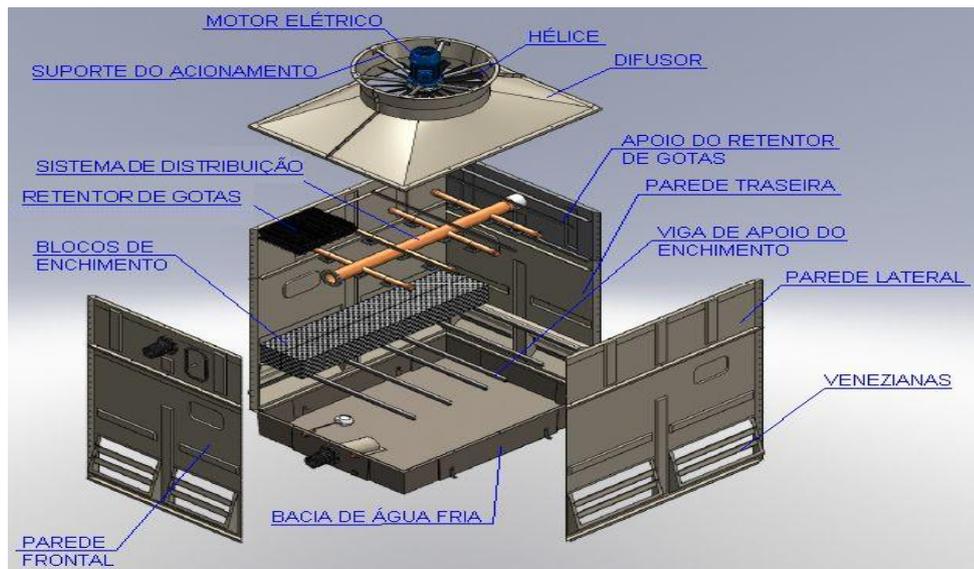


Figura 1 – Torre de resfriamento, componentes principais.

Fonte: Alfaterm (2011)

Segundo INMAR (2011), o projeto de Torre de Resfriamento de Água exige o conhecimento de vários princípios básicos do equipamento. Requer inclusive a aplicação prática destes princípios, utilizando os melhores materiais e técnicas existentes, a fim de obter os resultados desejados. Para isto, os componentes básicos consistindo de estrutura, enchimento, sistema de distribuição de água, venezianas, eliminadores de gotas, fechamento, plataformas e cilindro (ou difusor) do ventilador, precisam ser projetados para formarem uma unidade integral. O material estrutural, aplicado com as respectivas conexões, deve ser capaz de resistir á severas condições de operação. Na maioria dos casos, os componentes acima mencionados são pré-fabricados para simplificar os serviços de montagem.

Segundo INMAR (2011) segue abaixo a descrição dos componentes básicos de uma torre de resfriamento:

- **ESTRUTURA:** A estrutura da Torre de Resfriamento de Água deve ser capaz de suportar, não somente o peso dos componentes básicos, como equipamento mecânico, enchimento, venezianas e fechamento, como também o peso de água de circulação, cargas de vento e eventualmente cargas sísmicas. Além destas características, deverá ser projetada para longa vida útil em uma atmosfera

operacional bastante severa. A configuração da torre deverá atender as necessidades do fluxo de água e de ar. É particularmente importante restringir-se ao máximo os obstáculos à corrente de ar. O projeto também deverá ser compatível com a fabricação de peças pré-fabricadas, permitindo uma montagem simples e de baixo custo.

- ENCHIMENTO: A função do enchimento de uma torre de resfriamento de água é acelerar a dissipação de calor na torre, aumentando o tempo de contato entre a água e o ar. Esta função se realiza devido o aumento da área molhada á exposição contínua da superfície da água ao ar e à formação de gotas e filmes na torre.

- CILINDRO DO VENTILADOR: A função básica do cilindro do ventilador é formar um fechamento em volta deste, o que efetivamente melhorará sua performance. O cilindro também age como proteção do ventilador, servindo inclusive para conduzir o ar de descarga para longe da torre. O cilindro deve ser construído em material apropriado para resistir à atmosfera corrosiva onde está instalado, devendo ser suficientemente robusto para resistir às vibrações induzidas pela pulsação do fluxo de ar.

- VENEZIANAS: As venezianas de entrada do ar são projetadas para evitar perda de água através das superfícies de entrada do ar e para uma eficiente admissão deste ar na torre. O ar deve ser uniformemente distribuído com uma perda mínima de pressão. Para prevenir perda de água, as venezianas devem ser projetadas com inclinação, largura e espaçamento apropriado. As venezianas podem também ser projetadas especialmente para eliminar os problemas de congelamento no inverno. O projeto da veneziana varia com o tipo de torre e de fabricante, mas em todos os casos deve ser suficientemente resistente à atmosfera corrosiva em que são instaladas e em alguns casos, suficientemente fortes para suportar as cargas de gelo. A distribuição da água e sua retenção são diretamente relacionadas com a inclinação, a largura e o espaçamento das venezianas.

- FECHAMENTO: A principal função do fechamento é manter a água dentro dos limites da unidade e evitar que o ar passe por outros caminhos que os previstos. O fechamento contribui inclusive, enormemente, para a aparência da torre. Em geral, o fechamento não é considerado no projeto, com função estrutural em torres industriais. Ao contrário, em torres compactas, geralmente o fechamento faz parte do projeto estrutural. Como material de fechamento usa-se chapas de fibra cimento, plástico reforçado com fibra de vidro, chapas de aço galvanizado e outros.

- **ELIMINADOR DE GOTAS:** A função do eliminador de gotas é reter a água carregada pelo ar aspirado pelo ventilador. O funcionamento do eliminador baseia-se em uma mudança da direção do fluxo de ar. A força centrífuga resultante, separa as gotículas de água do ar, depositando-as na superfície do eliminador. Esta água acumulada escorre de volta à bacia de coleta de água fria. Uma função secundária do eliminador é a uniformização do fluxo de ar através do enchimento da torre. A resistência que o eliminador produz à passagem do ar ocasiona uma pressão uniforme no espaço entre o eliminador e o ventilador. Esta uniformização da pressão produz um fluxo de ar igualmente uniforme através do enchimento da torre.
- **VENTILADOR:** Os ventiladores das torres de resfriamento necessitam movimentar grandes volumes de ar, de modo econômico; seu funcionamento deve ser isento de vibrações e pulsações, as quais podem danificar os demais componentes mecânicos e toda a estrutura da torre. Em torres usam-se dois tipos de ventiladores: o **axial** e o **centrifugo**.

3.3 PRINCIPAIS INDÚSTRIAS QUE UTILIZAM TORRES

Na grande maioria dos processos industriais há a necessidade de resfriamento de equipamentos e maquinaria em geral que geram uma certa quantidade de calor durante sua operação.

O fluido geralmente utilizado para dissipar esse calor gerado é a água, devido às suas características físicas (alto calor específico, baixa viscosidade, alta condutibilidade térmica e alta densidade), além da facilidade de obtenção e a sua atoxidade. Após sua utilização pode-se eliminar a água do sistema, ou então, resfriá-la e reaproveitá-la no sistema novamente.

Há tempos atrás era usual optar-se pela primeira alternativa, porém com a dificuldade crescente em obter-se água a custos reduzidos, e com maiores rigores nas leis que regem a poluição de mananciais, chegou-se à conclusão de que o uso de circuitos semifechados de resfriamento seria a melhor solução. Desta forma, dentre os vários processos de resfriamento de água existente, surgiu a **TORRE DE RESFRIAMENTO DE ÁGUA**.

Atualmente as torres de resfriamento estão envolvidas em vários setores da indústria, como por exemplo, alimentícia, celulose, automobilística, usinas de álcool, siderúrgicas, petroquímicas e termoelétricas.

Para DOSSAT (1994), as aplicações típicas das torres de resfriamento são em fabricas de gelo, grandes instalações de empacotamento do gênero alimentício (carne, peixe aves, alimentos congelados), cervejarias, fábricas de laticínios e instalações industriais como refinarias de óleos, fabricas de produtos químicos, fabricas de borrachas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CONFECÇÃO DO PROTÓTIPO

A construção do protótipo foi realizada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus de Medianeira, sendo usados equipamentos da Universidade e alugados para efetuar processos como soldagem, montagem de estrutura, furações, cortes e dobras de materiais.

Os testes no equipamento também foram realizados no mesmo local, já que o mesmo oferece os requisitos necessários para que isso fosse realizado, como por exemplo, rede hidráulica, eletricidade, ferramentas para ajuste do equipamento, espaço adequado para o manejo do protótipo.

4.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a construção do equipamento, foram necessários materiais específicos da área de refrigeração, assim como materiais que são utilizados na indústria atual.

O Quadro 1 apresenta uma relação dos materiais utilizados para a execução do trabalho, apresentando seus custos e quantidade necessária.

Quadro 1 – Materiais utilizados no projeto.

Materiais			
Item	Descrição	Qtde	Vlr.Unit.
1	Chapa preta 1000 mm x 2000 mm x 1,0 mm	2	R\$100,00
2	Bomba d'água maquina de lavar ¼ cv	2	R\$30,00
3	Tubo quadrado 20mm x 30mm chapa 1,2 mm	2	R\$30,00
4	Exaustor ¼ cv 220 v	1	R\$30,00
5	Tubo pvc 20 mm	1	R\$10,00
6	Conexões em PVC	25	R\$1,00
7	Resistência submersível 1200 w 220 v	1	R\$100,00
8	Fita veda rosca 18 mm x 25 m	1	R\$2,50
9	Chuveiro a frio ½"	4	10,00
10	Enchimento em PVC 0,5 m x 0,5 m	1	R\$80,00
11	Rodízio giratório 50 mm	4	R\$5,00
12	Eletrodo 6013 – 2,50 mm	10	R\$0,50
13	Chapa de acrílico 500 mm x 600 mm x 4 mm	1	R\$45,00
14	Termômetro Digital	1	R\$60,00
15	Barra de rosca, parafusos, porcas	10	R\$1,00
16	Painel elétrico completo	1	R\$450,00
17	Cabo PP 2 x 2,5 mm	12	R\$4,00
18	Terminal para fio elétrico 2,5 mm	20	R\$0,50
19	Ferro chato 1" X 1/8"	1	R\$ 20,00
20	Mangueira cristal 1.1/4"	1	R\$ 10,00

Continua

21	Abraçadeira de metal	8	R\$ 1,00
22	Adesivo plástico para tubos	1	R\$ 7,50
23	Rebite de alumínio repuxo 4,0 mm x 12 mm	20	R\$ 0,20
24	Selante poliuretano 310 ml	1	R\$ 15,00
25	Silicone alta temperatura cinza 50 gramas	1	R\$ 5,00
26	Esmalte sintético verde martelado 900 ml	1	R\$ 20,00
27	Thinner fraco 900 ml	1	R\$ 7,00
28	Chapa galvanizada nº 24 500 mm x 500 mm	1	R\$ 40,00
29	Lixa d'água grão 220	1	R\$ 1,00
30	Serra copo aço rápido 32 mm	1	R\$ 30,00
31	Suporte para serra copo com broca de centro	1	R\$ 25,00
32	Broca aço rápido 6,5 mm	1	R\$ 6,00
33	Broca aço rápido 4,0 mm	2	R\$ 5,00
34	Broca aço rápido 2,5 mm	1	R\$ 4,00
35	Disco de corte 115 mm x 1,0 mm x 22 mm	2	R\$ 5,00
36	Disco de desbaste 115 mm x 5,0 mm x 22 mm	1	R\$ 7,00
37	Fita isolante 19 mm x 5m	1	R\$ 2,50
38	Aluguel aparelho de solda 250 A	1	R\$ 100,00
39	Aluguel esmerilhadeira 115 mm 750 W	1	R\$ 60,00
TOTAL			R\$ 1.552,50

4.3 ETAPAS DE MONTAGEM

Primeiramente, utilizando solda a arco elétrico e eletrodos tipo 6013 espessura 2,5 mm, foram soldados os tubos de 20 mm por 30 mm, formando a base de toda a torre de resfriamento (Figura 2), ou seja, a estrutura que vai suportar todo o sistema de resfriamento. Suas dimensões são de 1400 mm de altura, 500 mm de comprimento e 500 mm de largura.



Figura 2 – Estrutura principal da Torre

Esta estrutura foi fechada lateralmente (Figura 3) e em sua base com chapas de ferro de aproximadamente 1,0 mm de espessura. O fechamento foi seguido da vedação interna das chapas, com selante PU (poliuretano), visando o armazenamento da água.



Figura 3 – Fechamento lateral e veneziana

Uma pequena coifa foi construída com as medidas da estrutura (500 mm de largura por 500 mm de comprimento) e afunilada a uma medida de 300 mm de largura por 300 mm de comprimento, para abrigar o exaustor que mede aproximadamente 230 mm de diâmetro. Depois de fabricada, foi fixa na parte superior da estrutura, com auxílio de rebites de alumínio com a bitola de 4 mm de diâmetro por 12 mm de comprimento, conforme Figura 4.



Figura 4 – Coifa superior da Torre

Esta estrutura foi devidamente limpa e pintada com esmalte sintético da cor verde martelado, pois geralmente este tipo de equipamento possui esta cor.

Na parte superior, lado esquerdo, foi colocado uma pequena caixa d'água em pvc, de aproximadamente 100 litros de capacidade. Esta caixa foi fixada paralelamente a estrutura da torre de resfriamento (Figura 5).



Figura 5 – Suporte para caixa de d’agua

Posteriormente, um pequeno exaustor de aproximadamente 40 watts de potência foi instalado na parte superior do protótipo, como mostra a Figura 6, fixado na estrutura com uma barra de rosca de 4 mm de espessura, e 100 mm de comprimento, atravessando a carcaça do motor. Para evitar vibrações e correntes elétricas indesejadas, foi colocada uma borracha entre a carcaça do motor e a estrutura do equipamento. Este exaustor possui uma hélice de aproximadamente 230 mm de diâmetro, e anteriormente era usado em um refrigerador.



Figura 6 – Exaustor Superior

Logo abaixo desta caixa d'água, foi fixada uma bomba para pressurizar a água da caixa para a torre (Figura 7). Outra bomba d'água também foi instalada na parte inferior do equipamento, para bombear o fluido da torre para o reservatório de água novamente. Essas bombas têm uma potencia aproximada de 30 watts cada uma, e uma vazão de aproximadamente 15 litros por minuto.



Figura 7 – Bomba d'água.

Abaixo do exaustor, uma tubulação que vem da caixa de água foi colocada, e nela, fixada bicos de distribuição de água (Figura 8).



Figura 8 – Distribuição de água.

Quase no meio do protótipo, um enchimento em pvc foi fixado (Figura 9), sendo utilizado barras de rosca de 4,8 mm de espessura e 520 mm de comprimento para servirem de suporte para o enchimento. Foram usados dois tipos de enchimento, o de filme e o tipo tela.



Figura 9 – Enchimento.

Foram abertas lateralmente venezianas, e uma chapa em acrílico transparente foi colocada na frente do equipamento. Outra tubulação foi instalada para que a água, pressurizada pela bomba da parte inferior, retorna-se a caixa d'água. Nessas tubulações de entrada e saída de água, foram instalados termômetros.

Uma resistência industrial de 1200 watts com controle de potencia foi colocada na caixa de água (Figura 10).



Figura 10 – Resistencia.

Um painel elétrico foi instalado, conforme Figura 11, para acionar os componentes elétricos, tais como bombas, resistência, exaustor. Também tem a função de realizar um controle da temperatura de entrada da água, e mante-la constante para que se possa realizar testes com o equipamento.



Figura 11 – Painel elétrico.

Para facilitar o deslocamento do equipamento, foi construída uma plataforma de madeira, que por sua vez possui rodízios que auxiliam a locomoção.

E por fim, com a finalização da montagem do equipamento (Figura 12), começam os testes, visando reparar vazamentos, verificar acionamentos elétricos, e pequenos ajustes na estrutura metálica do protótipo.



Figura 12 – Torre de resfriamento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO

O processo de trabalho da torre começa com o aquecimento da água que fica na caixa, por uma resistência industrial submersível de 1200 watts de potência e com tensão de trabalho 220 volts. A água é aquecida até 45 °C, e mantida a esta temperatura por um controlador, que possui um sensor que fica na caixa d'água, quando a temperatura diminui, ele aciona a resistência, mantendo a água a 45 °C.

Depois de aquecido, o fluido é pressurizado por uma bomba, que manda o mesmo para o sistema de distribuição de água interna da torre. Esse fluido cai, e escorre pelo enchimento, trocando calor e depositando-se no coletor de água. As venezianas laterais fazem com que o ar frio entre no equipamento, e empurre o ar quente para fora, auxiliado pelo exaustor superior do equipamento.

A água do coletor, já arrefecida é enviada para a caixa d'água por uma bomba, para recomençar todo o processo.

Para o acionamento das bombas, resistência e exaustor, o painel elétrico possui botões, que ligam os equipamentos individualmente, todos com partida direta, o mesmo também possui disjuntores de 10 amperes para proteção contra sobrecargas, conforme figura 13 e 14.

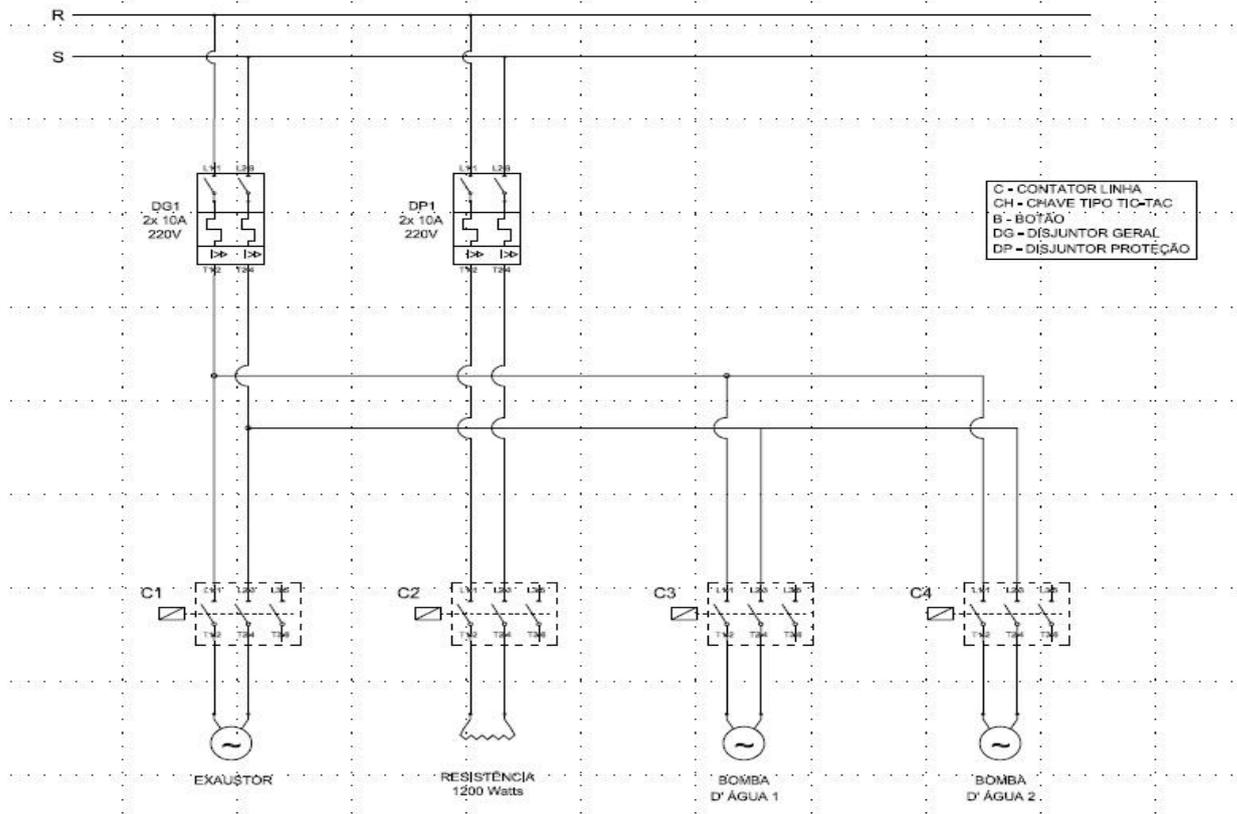


Figura 13 – Diagrama de força.

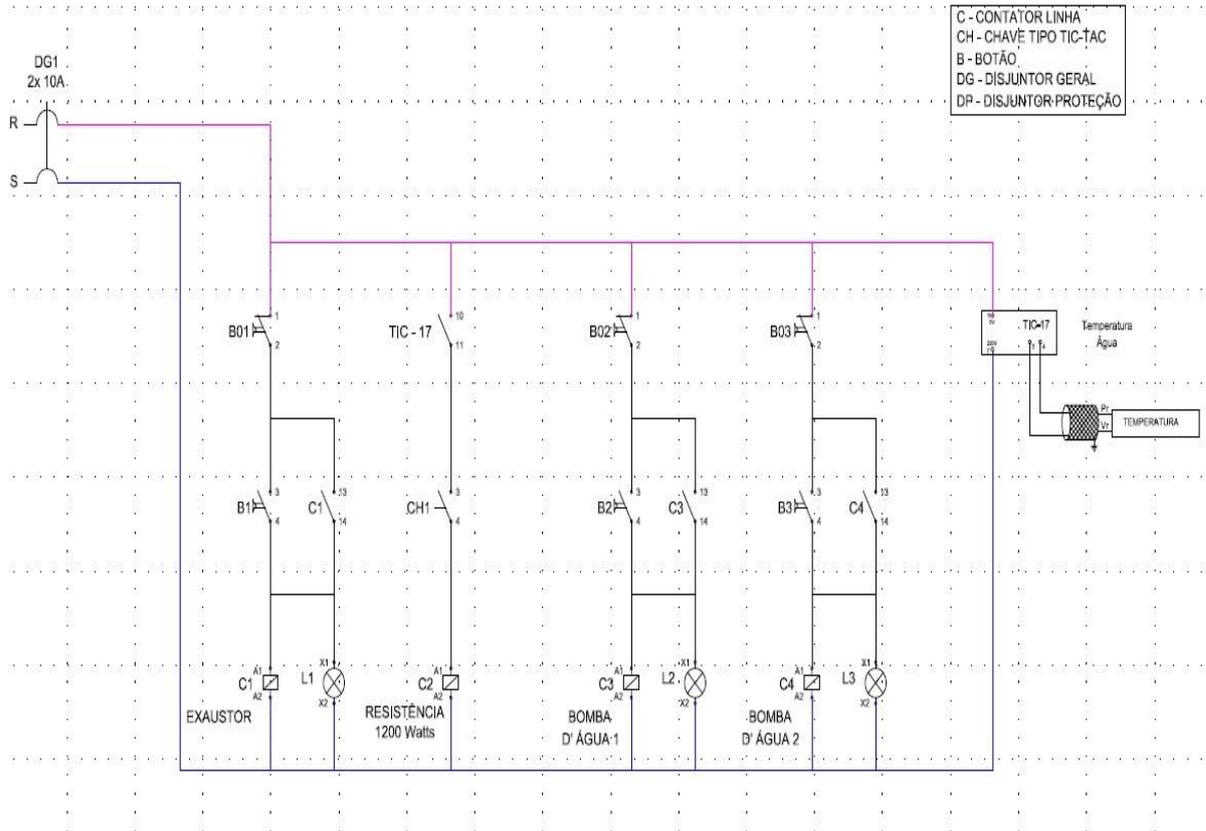


Figura 14 – Diagrama de comando.

5.2 RESULTADOS OBTIDOS

Segundo SILVA (2003), a capacidade de resfriamento de uma torre de arrefecimento \dot{P}_{torre} , é dada pela equação 1:

$$\dot{P}_{torre} = \rho_{ág} \cdot Q_{ág} \cdot c_{ág} \cdot (T_e - T_s) \text{-----}[1]$$

Onde:

- $\rho_{ág}$ é a densidade da água;
- $Q_{ág}$ é a vazão da água circulada pela torre;
- $c_{ág}$ é o calor específico da água;
- T_e é a temperatura de entrada da água na torre;
- T_s é a temperatura de saída água.

Foram realizados onze testes no equipamento, para assim termos uma média de temperatura de entrada e saída do equipamento. A água arrefecida na caixa pela resistência é liberada e escoada pelo equipamento. A temperatura da água de entrada (T_e) é determinada pelo termômetro que existe no controlador de temperatura. Essa temperatura aparece em um display digital que está fixo no painel elétrico. A temperatura de saída (T_s) é indicada por um outro termômetro individual.

O Quadro 2 indica as temperaturas encontradas nos testes realizados.

TESTE	TEMP. ENTRADA (°C)	TEMP. SAÍDA (°C)	CALCULO EFICIÊNCIA (Kcal/h)
TESTE 1	35	34	238,10
TESTE 2	36	35	238,10
TESTE 3	37	35	476,21
TESTE 4	38	36	476,21
TESTE 5	39	36	714,31
TESTE 6	40	35	1119,52
TESTE 7	41	36	1119,42
TESTE 8	42	37	1119,52
TESTE 9	43	38	1119,52
TESTE 10	44	39	1119,52
TESTE 11	45	40	1119,52
MÉDIA	40	36,45	805,45

Quadro 2 – Testes realizados no equipamento

Com auxílio de um balde graduado, mediu-se a vazão do equipamento, captando a água que retorna da bomba inferior para a caixa, abrindo o registro de drenagem do protótipo. Essa vazão era de aproximadamente 4 litros por minuto.

O processo de teste começou com o aquecimento de aproximadamente 60 litros de água, que levou aproximadamente 30 minutos para alcançar os 35 °C necessários para efetuar a simulação.

Aos 35 °C, o controlador de temperatura estabilizou. Esta temperatura foi coletada dentro da caixa de água, onde o fluido é aquecido pela resistência. Então abrindo o registro abaixo do reservatório, o fluido começa a descer e ser distribuído

no equipamento, e então, sendo coletado a temperatura no fim do processo, nesse caso, 34 °C.

Vários testes foram feitos, sempre elevando a temperatura de entrada do fluido, e coletando a temperatura de saída. Com a maior temperatura de entrada (45°), conforme a figura 15 consegue-se a temperatura de saída 40°C de acordo com o quadro 1



Figura 15 – Temperatura de entrada.

Pode-se levar em consideração a temperatura ambiente no ato do teste do equipamento (Figura 16), já que a temperatura que se consegue arrefecer a água tem ligação direta com a do ambiente onde está instalado o equipamento. Esta temperatura era de 27 °C.



Figura 16 – Temperatura ambiente.

A temperatura alcançada com o resfriamento do fluido foi em media 36,45 °C, após os onze testes realizados, de forma intercalada, com aproximadamente cinco minutos de intervalo entre os mesmos.

Então com a fórmula anterior obterá o seguinte cálculo:

$$\dot{P}_{torre} = \rho_{ag} \cdot Q_{ag} \cdot c_{ág} \cdot (T_e - T_s)$$

$$\dot{P}_{torre} = 0,009922 \text{ kg/cm}^3 \cdot 66,66 \text{ cm}^3/\text{s} \cdot 1 \text{ kcal kg graus} \cdot (40 \text{ }^\circ\text{C} - 36,45 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$\dot{P}_{torre} = 805,45 \text{ kcal/h}$$

Com base neste cálculo pode-se afirmar que a capacidade térmica do protótipo é de 805,45 kcal/h.

Com auxílio do mesmo. Pode-se observar (gráfico 1) que a temperatura de entrada 41°C tem-se uma temperatura de saída de 36°C, conseqüentemente a melhor temperatura de resfriamento obtida, pois o fluido perdeu 5°C. Segue gráfico abaixo.

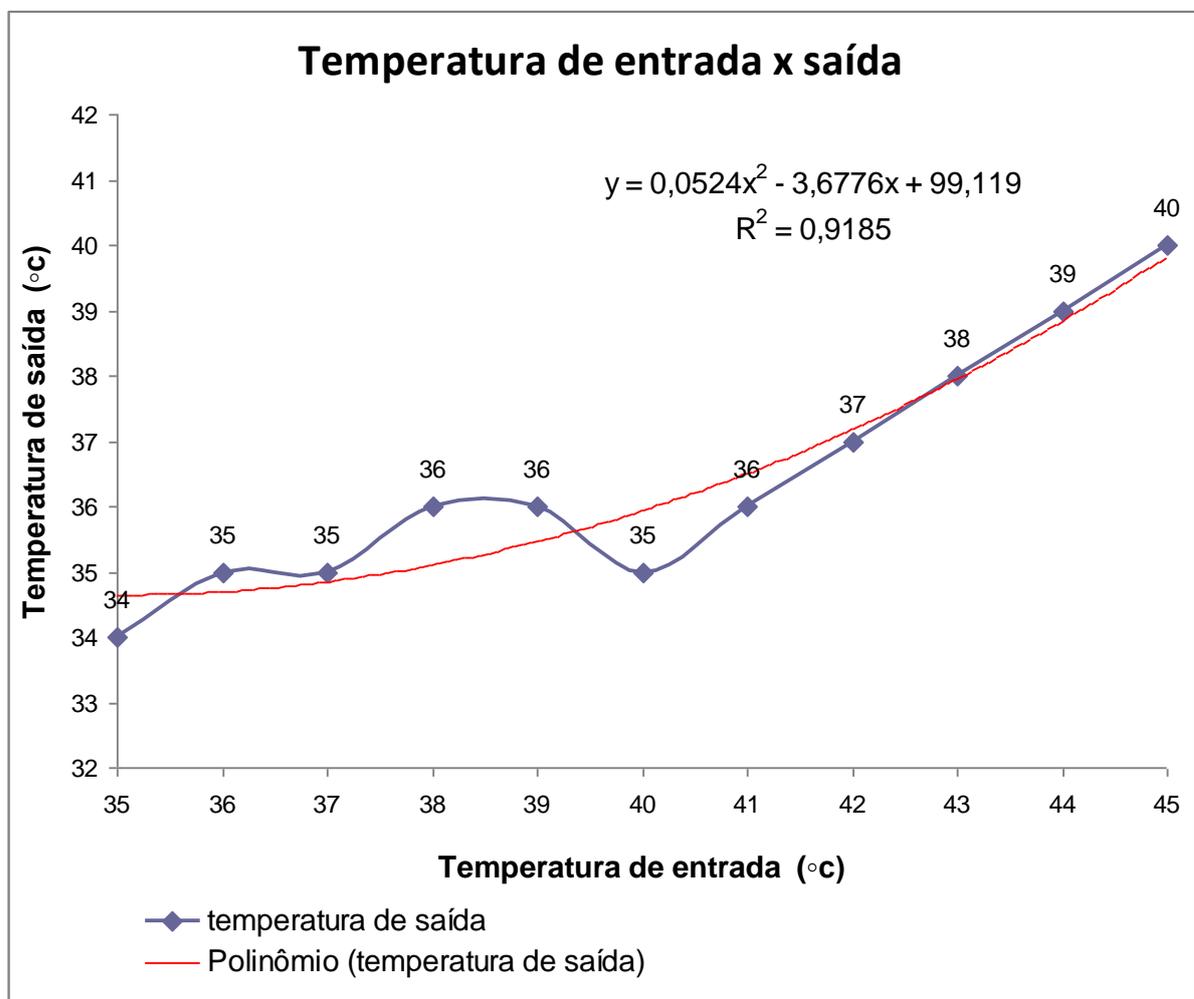


Gráfico 1 – Temp. entrada X Temp. saída.

Com auxílio do Quadro 2, pode-se elaborar também um gráfico para comparação e análise das eficiências obtidas em cada teste (Gráfico 2).

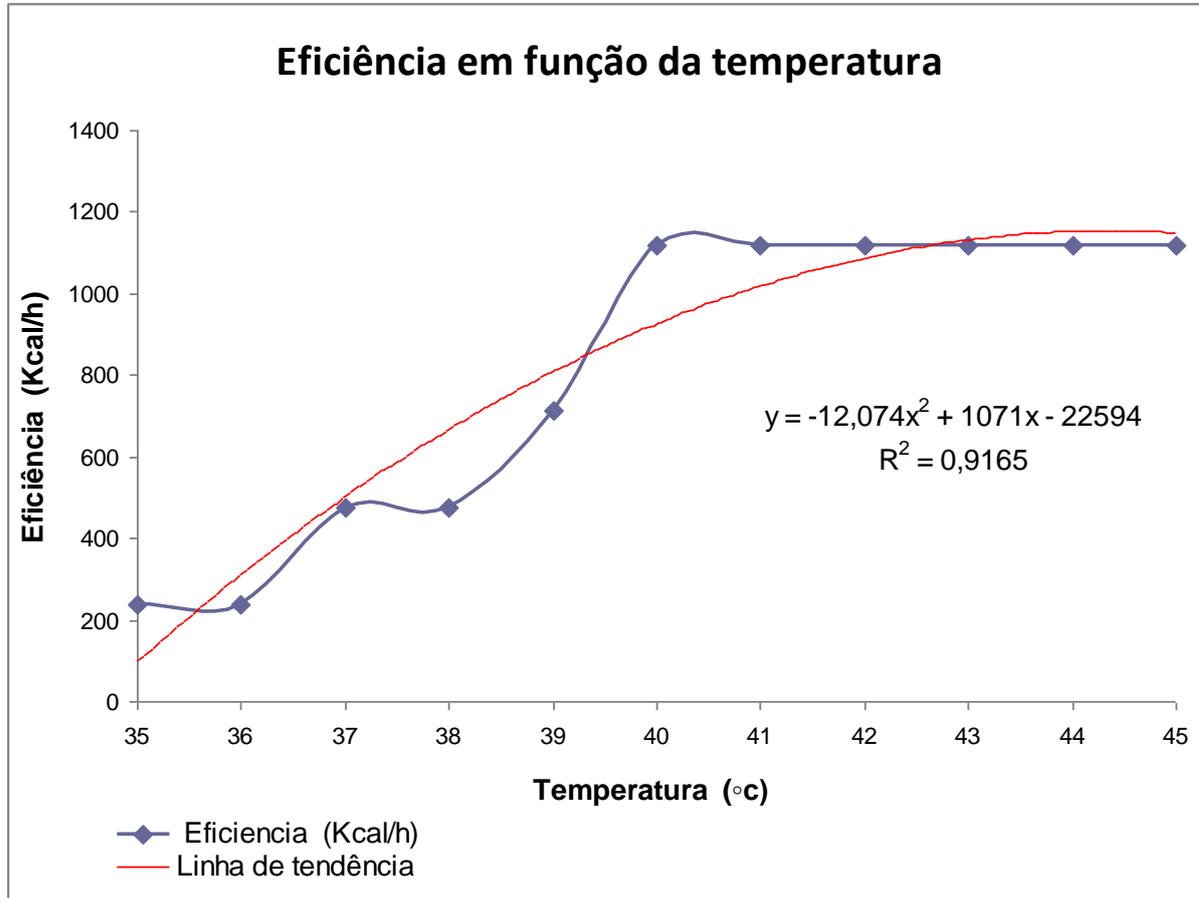


Gráfico 2 – Testes X Calculo de Eficiência

Observando os gráficos 1 e 2 nota-se que com temperaturas mais elevadas de entrada, tem-se uma melhor eficiência, ou seja, uma temperatura de saída menor levando em consideração temperaturas de entrada menores.

As linhas dos testes realizados no protótipo (em azul) ficam mais parecidas com as de tendência (em vermelho), o que serve como prova real para a afirmação de que o equipamento tem um melhor funcionamento a partir da temperatura de entrada 41°C.

6 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o projeto executado e devidamente testado atende os requisitos propostos nos objetivos. Observando o equipamento e toda a estrutura que o envolve, nota-se que existe uma grande semelhança com os equipamentos industriais que atualmente são usados, pois foi construído com base nos mesmos. Outro detalhe importante que pode ser ressaltado é o funcionamento do protótipo, pois com o estudo feito em torres de resfriamento, conseguiu-se um funcionamento também muito semelhante com as máquinas industriais.

Já na questão do desempenho ou eficiência no arrefecimento, que foi conseguido com os testes realizados no equipamento, não é possível opinar, pois não foi feita uma comparação de eficiência com um equipamento real, que esteja em pleno funcionamento no chão de fábrica, então não se pode afirmar se o equipamento é eficiente ou não. Contudo, isso fica em segundo plano, pois a idéia principal é auxiliar os professores nas disciplinas que envolva termodinâmica, e assim, fazer com que os alunos que não tem experiência ou nunca viram como uma torre de resfriamento trabalha e os seus princípios de funcionamento, aprendam em sala de aula, vendo e analisado o protótipo construído, que no ponto de vista de muitos, ajuda muito no aprendizado, levando em conta que a maioria das aulas são ministradas com vídeos, fotos ou livros.

Outro ponto importante é que muitos materiais que estão instalados no equipamento são de uso na indústria atual, como por exemplo, resistência, contatoras, disjuntores, botões de acionamento, conexões hidráulicas, controlador de temperatura, isso acaba familiarizando o aluno com o meio industrial, que é o seu provável futuro no mercado de trabalho

Para finalizar, fica como sugestão para futuros trabalhos acadêmicos, a automatização do equipamento, ou seja, fazer com que o ciclo de trabalho do mesmo aconteça de forma programada. Também pode ser realizada uma comparação de dados e eficiência, isto é, comparar os dados de eficiência, vazão, consumo de energia, dimensões, entre outros, com um equipamento que está sendo usado atualmente na indústria.

7 REFERÊNCIAS

DOSSAT, Roy J. **Princípios de Refrigeração** / Roy J. Dossat; tradução Engº Raul Peragallo Torreira – SP: Ed. Hemus Limitada, 1994.

MORAN, Michel J. **Princípios de Termodinâmica para Engenharia** / Michel J. Moran ; tradução Francesco Scofano Neto – RJ: Ed. LTC livros técnicos e científicos S.A., 2002.

SILVA, Jesué Graciliano da Silva. **Introdução à Tecnologia da Refrigeração e da Climatização** / Jesué Graciliano da Silva – SP: Ed. Artliber, 2003.

SILVA, José de Castro. **Refrigeração e Climatização para Técnicos e Engenheiros** / José de Castro e Silva e Ana Cristina G. Castro – RJ: Ed. Ciência Moderna Ltda, 2007.

STOECKER, Wilbert F. **Refrigeração e ar condicionado** / W. F. Stoecker, J. W. Jones; tradução José M. Saiz Jabardo – SP: Ed. McGraw-Hill do Brasil, 1985.

STOECKER, Wilbert F. **Refrigeração Industrial** / W.F. Stoecker e J. M. Saiz Jabardo – SP: Ed. Blucher, 2ª edição, 2002.

Torre de resfriamento, **Catálogo**. Disponível em : <http://www.alfaterm.com.br/novosite/catalogo.asp>. Acesso em 12 de setembro de 2011.

Torre de resfriamento, **Manual Torres**. Disponível em: <http://www.tratorres.com.br/flash/default.aspx>. Acesso em 15 de agosto de 2011.

Torres de Resfriamento Caravelas, **Produtos**. Disponível em: http://www.torre-caravela.com.br/m_st.html. Acesso em 27 de agosto de 2011.

Torres de Resfriamento Inmar, **Manual Equipamentos**. Disponível em: <http://www.inmar.com.br> Acesso em 08 de agosto de 2011.

Torres de resfriamento Korper, **Catálogos**. Disponível em : http://www.korper.com.br/imgs/catalogos/pdfs/Torres_de_Resfriamento.pdf. Acesso em 21 de setembro de 2011.