



Matias Steffenello

**ANÁLISE SITUACIONAL, DIMENSIONAMENTO E
PROPOSTA ALTERNATIVA DE NOVO SISTEMA DE
REFRIGERAÇÃO**

Horizontina

2012

Matias Steffenello

**ANÁLISE SITUACIONAL, DIMENSIONAMENTO E PROPOSTA
ALTERNATIVA DE NOVO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Ademar Michels, Dr.

Horizontina

2012

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Análise situacional, dimensionamento e proposta alternativa de novo sistema
de refrigeração”.**

Elaborada por:

Matias Steffenello

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 11/12/2012
Pela Comissão Examinadora**

**Dr. Ademar Michels
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Me. Ricardo Ferreira Severo
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Paulo Hartmann
Engenheiro Mecânico**

**Horizontina
2012**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho às pessoas mais importantes da minha vida, meus pais Samuel e Maria, meus irmãos, a minha esposa, e a ao meu bebê, Sofia, maior de todas as minhas vitórias. Não conquistaria nada se não estivessem presentes ao meu lado.

AGRADECIMENTO

Hoje, vivo uma realidade que parece um sonho, agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, pelo seu amor infinito, sem ele nada sou.

Agradeço em especial meus irmãos, meus pais Samuel e Maria, os grandes exemplos de minha caminhada, obrigado por cada incentivo e orientação, pelas orações em meu favor, pela preocupação para que estivesse sempre andando pelo caminho correto, e a minha esposa Francine, por todo amor, carinho, paciência e compreensão que tem me dedicado.

Ao agradecer meu professor e orientador deste trabalho, Ademar Michels, pelo desprendimento ao aceitar me dar apoio, agradeço a instituição de Ensino FAHOR e todos os demais professores pelo embasamento científico e prático adquirido.

Difícil agradecer a todas as pessoas que de algum modo me ajudaram, fizeram ou fazem parte desta caminhada, por isso minha terna gratidão a todos aqueles que colaboraram para que esse sonho pudesse ser concretizado.

"A vida não dá e nem empresta, não se comove e nem se apieda. Tudo quanto ela faz é retribuir e transferir aquilo que nós lhe oferecemos." (Albert Einstein)

RESUMO

Nos setores de solda e estamparia, em empresa multinacional do setor agrícola, localizada no noroeste do Rio Grande do Sul, existem dezesseis unidades de refrigeração em operação, para remoção da carga térmica de equipamentos de solda a ponto e prensas de estampagem, que possuem unidade hidráulica instalada. Essas unidades de refrigeração, utilizam água como fluido refrigerante, por meio de equipamentos denominados de torre de resfriamento, que através da evaporação de pequena quantidade desta, transferem calor para ambiente tendo a temperatura do circuito baixada. Em razão da percepção da equipe de manutenção, pôs-se em dúvida a eficiência do atual sistema, se o calor que o mesmo libera para o ambiente de trabalho, o custo de tratamento químico envolvido, o alto consumo de água de reposição e a discrepância existente na demanda atendida. Não existindo dados e estudos de dimensionamento para essa aplicação em questão, o presente trabalho busca avaliar a eficiência do sistema de refrigeração instalado, com a finalidade de correto dimensionamento e proposta alternativa de um sistema de maior eficiência, reduzindo o dispêndio de recursos materiais e financeiros da empresa. Com o método de pesquisa aplicada com objetivo exploratório, a metodologia aplicada de estudo de caso, é baseada em dados do processo existente e equações matemáticas para cálculo da carga térmica e vazão de refrigeração, onde se avalia a capacidade do atual sistema em operação comparado à necessidade de remoção de carga térmica dos equipamentos analisados. Confirmado o problema de pesquisa e de posse dos dados técnicos para seleção e análise de equipamentos, esse trabalho recomenda a substituição das dezesseis torres de resfriamento instaladas, por duas unidades de água gelada condensador a ar, conhecidos comercialmente como chiller, como sendo viável técnica e economicamente.

Palavras-chaves:

Sistema de refrigeração - fontes geradoras de calor - dimensionamento.

ABSTRACT

In the welding and stamping sectors, at a multinational agriculture sector company located in the northwest of Rio Grande do Sul, there are sixteen cooling units in operation, to remove the heat load of welding spot machines and stamping press machines, that have hydraulic unit installed. These cooling units, use water as coolant fluid by equipments called cooling tower, that through the evaporation of small quantities transfer heat to the environment having the circuit temperature decreased. On the grounds of maintenance team perception, it was questioned the current system efficiency, the heat that is released to workplace, the chemical treatment cost involved, the high consumption of water replacement and the discrepancy existent on the demand met. There are data and sizing studies for this application in question, the current study aim to evaluate the installed cooling system efficiency, for the purpose of proper design and proposal of an alternative system more efficient by reducing the expenditure of material and financial resources of the company. With applied research method with exploratory objective, the case study methodology applied, is based on existing process data and mathematics equations to calculate heat load and cooling flow, where is evaluated the current capacity of current system in operation, comparing the need of heat load removal of the analyzed equipments. Confirmed the research problem and ownership of technical data to selection and equipment analysis, this study recommends substitution of the sixteen cooling towers installed, by two units of cold water air condenser, commercially known as chiller, as being technical and economically viable.

Keywords:

Cooling system - heat generating sources - sizing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evaporação de água em torre de resfriamento.	4
Figura 2: Aplicação de uma torre de resfriamento.....	5
Figura 3: Torres de tiragem mecânica forçada.	7
Figura 4: Modelo clássico da torre de tiragem induzida..	7
Figura 5: Sistema de refrigeração por compressão de vapor..	8
Figura 6: Máquina de solda ponto móvel..	11
Figura 7: Máquina de solda ponto fixa..	11
Figura 8: Processo de soldagem a ponto por resistência.....	12
Figura 9: Distribuição do calor no processo de soldagem a ponto.	13
Figura 10: Refrigeração do eletrodo.....	15
Figura 11: Sistema hidráulico.....	16
Figura 12: Modelo de chiller proposto.....	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Pressão x Temperatura de ebulição.....	3
Quadro 2: Características das unidades hidráulicas..	21
Quadro 3: Dados de cálculo das unidades hidráulicas.....	24
Quadro 4: Características dos equipamentos de solda ponto..	25
Quadro 5: Resultado dos equipamentos de solda ponto.....	29
Quadro 6: Torres de resfriamento..	30
Quadro 7: Capacidade frigorífica X Necessidade de remoção..	31
Quadro 8: Comparações entre os sistemas de refrigeração.	34
Quadro 9: Valor de equipamentos de acordo com propostas para melhoria.	36
Quadro 10: Análise de Payback - Valor do equipamento <i>versus</i> custo das torres.....	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1	SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO	3
2.1.1	SISTEMA ABERTO DE REFRIGERAÇÃO	4
2.1.2	SISTEMA SEMIABERTO DE REFRIGERAÇÃO	4
2.1.3	SISTEMA FECHADO DE REFRIGERAÇÃO	8
2.2	FONTES GERADORAS DE CALOR	10
2.2.1	SOLDAGEM PELO PROCESSO DE SOLDA A PONTO	10
2.2.2	UNIDADES HIDRÁULICAS	16
3	METODOLOGIA	19
3.1	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	19
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	21
4.1	ANÁLISE SISTEMA HIDRÁULICO	21
4.1.1	EQUIPAMENTOS DO SISTEMA HIDRÁULICO	21
4.1.2	PARÂMETROS DO SISTEMA HIDRÁULICO UTILIZADOS	21
4.1.3	CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA E VAZÃO NECESSÁRIA DAS Prensas Hidráulicas	22
4.2	ANÁLISE DO SISTEMA DE SOLDA A PONTO	24
4.2.1	EQUIPAMENTOS DE SOLDA PONTO	24
4.2.2	PARÂMETROS DE SOLDAGEM	25
4.2.3	CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA E REFRIGERAÇÃO DOS APARELHOS DE SOLDA A PONTO	26
4.3	ANÁLISE SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO ATUAL	30
4.3.1	CAPACIDADE INSTALADA <i>VERSUS</i> NECESSIDADE	31
4.3.2	CONSUMO DE ÁGUA DE REPOSIÇÃO DAS TORRES	32
4.3.3	CONSUMO DE ENERGIA DAS TORRES	33
4.3.4	CUSTO DE TRATAMENTO DAS TORRES	33
4.4	SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS	33
4.4.1	ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO MODELO	35
4.4.2	PROPOSTA COMERCIAL (ANÁLISE)	35
4.4.3	PROPOSTA DE MELHORIA	36
4.4.4	ANÁLISE DO INVESTIMENTO	36
4.4.5	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DO EQUIPAMENTO E COMPONENTES	37
5	CONCLUSÕES	40
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	42
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
	APÊNDICE A: LEIAUTE DO ATUAL SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	47
	APÊNDICE B: ANÁLISE DE PROPOSTAS ALTERNATIVAS PARA SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	48
	APÊNDICE C: LEIAUTE DE PROPOSTA ALTERNATIVA PARA SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	49
	ANEXO A: CAPACIDADE DE REFRIGERAÇÃO DOS MODELOS DE TORRE INSTALADAS	50

ANEXO B: COMPARAÇÃO CIRCUITOS SEMIABERTO E CIRCUITOS FECHADO	
CONDENSADOR À AR E ÁGUA.....	51

1 INTRODUÇÃO

Em processos onde se utilizam prensas de estampagem, contendo unidades hidráulicas, e equipamentos de solda a ponto por resistência como principal processo de união de chapas metálicas na indústria, há a necessidade de utilização de sistemas de refrigeração para remoção da carga térmica, pois os equipamentos utilizados geram certa quantidade de calor indesejável durante as operações, que deve ser convenientemente eliminado, para garantir segurança e o desempenho esperado, nos processos envolvidos.

Nos setores de solda e estamparia da empresa, existem atualmente dezesseis equipamentos de refrigeração denominados de torres de resfriamento em operação, cuja especificação foi posta em dúvida pela equipe de manutenção da empresa em questão. Dentre os fatos apontados, têm-se o calor que o sistema atual libera para o ambiente de trabalho, o custo de tratamento químico da água utilizada, o alto consumo de água de reposição e a discrepância existente na demanda atendida. Essa discrepância põe em suspeita, a real necessidade da existência de todos os equipamentos instalados, bem como, a possibilidade de dispêndio de recursos materiais e financeiros além do que seria tecnicamente necessário, uma vez que, devido ao crescimento e competitividade na economia mundial, as empresas cada dia buscam reduzir custos, agregar valor a seus produtos e também reduzir o consumo de recursos de produção. O desperdício de recursos, para uma empresa que busca ampliar a lucratividade e melhorar sua produtividade, é um oponente a ser combatido.

De acordo com Mustafa (1998), é recomendado que seja realizado um estudo sobre o potencial de economia de água, associado a sistemas que utilizam torres de resfriamento, sendo esse um dos objetivos desse trabalho.

A perda de vapor para a atmosfera ocorre principalmente por vazamentos através de flanges de tubulações, gaxetas e flanges de válvulas, controle de pressão de sistema de vapor e evaporação de água aquecida em torres de resfriamento. Este último item, que representa cerca de 90% do total dessas perdas, é inerente ao processo, pois quanto maior a carga processada nas unidades, maior será a carga térmica a ser removida e, conseqüentemente, maior será a água evaporada nas torres de resfriamento. Portanto, esse potencial de economia de água está associado a grandes alterações do balanço energético dos processos existentes. A perda de vapor para a atmosfera não faz parte do escopo desse estudo, porém, devido o seu peso significativo no Balanço Hídrico (cerca de 30%), recomenda-se que seja realizado um estudo futuro sobre a sua minimização (MUSTAFA, 1998).

A realização desse trabalho justifica-se, pois o mesmo está inserido a variantes de grande desafio que se procura reduzir nas empresas: a necessidade de tratamento químico, o consumo de água e energia, a carga térmica disseminada no ambiente de trabalho e ocorrências de falhas causados por situações opostas ao ideal funcionamento, uma vez que, geram situações adversas ao ideal funcionamento dos equipamentos, provocando perdas de eficiência e produtividade.

Com base nessas constatações, buscar-se-á na pesquisa a ser realizada, responder às seguintes questões:

- Os sistemas atualmente instalados, estão corretamente dimensionados e atendem às expectativas de desempenho técnico e econômico compatíveis com o estado da arte?

- Ao não atender às expectativas de desempenho técnico e econômico compatíveis com o estado da arte, existe um sistema viável que possa satisfazer os dois requisitos mencionados?

- Em existindo um sistema viável para solução do problema, que sistema é esse? Quais são as suas especificações?

Confirmando-se através da pesquisa, dispêndio de recursos materiais e financeiros, esse trabalho irá propor uma alternativa para melhoria da eficiência do sistema de refrigeração utilizado para remoção da carga térmica, em equipamentos de solda a ponto e unidades hidráulicas. Será apresentando o leiaute atual do sistema de refrigeração na planta industrial, quantificado quais as relações entre as variáveis tempo, volume de água, consumo de energia e necessidade de remoção de carga térmica versus capacidade frigorífica do sistema de refrigeração atual instalado, que servirão como base para o gestor de manutenção da empresa em questão, tomar a correta decisão sobre as possíveis medidas a serem aplicadas, para se obter um sistema de refrigeração de acordo com o desempenho e eficiência esperado.

O trabalho em questão tem importância significativa na área de Engenharia Mecânica, pois trata da análise técnica e econômica de um sistema de refrigeração, do dimensionamento do mesmo, além do estudo dos sistemas existentes. Disciplinas estudadas para o estudo: Mecânica dos Fluidos, Transferência de Calor, Custos, Meio Ambiente.

2 REVISÃO DA LITERATURA

O referencial teórico abrange as teorias que suportam o trabalho em desenvolvimento, pesquisando os principais autores e suas contribuições para o desenvolvimento do tema.

2.1 SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

Para Mecalor (2012), “o princípio básico da refrigeração é bem simples: quando se deseja resfriar um corpo, deve-se colocá-lo em contato com um outro corpo mais frio ou deixá-lo em um meio com temperatura mais baixa”.

Na grande parte de processos produtivos, o efeito de refrigeração é adquirido por meio da circulação de um fluido à baixa temperatura, como elemento para remoção do calor nos equipamentos, em particular a água, por ser um líquido que possui um alto calor específico, portanto possui excelente potencial na remoção de calor, além de outros fatores como custo e obtenção (MECALOR, 2012).

Esse trabalho adotará a definição de Menezes (2010), que trata refrigeração como sendo “a transferência de calor de um lugar onde não é desejado para um lugar onde não sofre objeções”, e refrigerante “um fluido que absorve calor, evaporando-se a baixa temperatura e pressão que cede calor condensando-se a uma alta temperatura e pressão” (MENEZES, 2010).

A ciência da refrigeração está baseada no fato de que um líquido pode vaporizar a qualquer temperatura que se almeje, alternando a pressão que sobre ele se exerce. O quadro 1 mostra um comparativo do ponto de ebulição da água a diferente pressão.

Pressão	Ponto Ebulição
200 kPa	120 °C
101,325 kPa	100 °C
7,3874 kPa	40 °C
0,872 kPa	5 °C

Quadro 1: Pressão x Temperatura de ebulição. Fonte: Adaptado de Menezes, 2010.

Os líquidos com baixo ponto de ebulição formam o círculo mais comumente utilizado para remover calor, pois são absorvidas grandes quantidades de calor durante a mudança de fase.

Nesse trabalho serão conceituados três diferentes tipos de sistemas de refrigeração: sistema aberto de refrigeração, sistema semiaberto de refrigeração e sistema fechado de refrigeração.

2.1.1 Sistema aberto de refrigeração

É empregado quando se dispõe de grandes volumes de água de boas características, em quantidade suficiente e temperatura adequada, sem problemas econômicos ou ecológicos, pois a água é usada numa única passagem e conseguem-se reduções sensíveis de temperatura. Atualmente, tais sistemas sofrem várias restrições ambientais, devido aos grandes volumes de água aquecida que são lançadas no ambiente, provocando problemas graves de poluição térmica. Pelas propriedades inerentes deste tipo de sistema, qualquer tratamento químico ficaria demasiadamente oneroso para se evitar problemas devido à qualidade da água (SAREV, 2012).

2.1.2 Sistema semiaberto de refrigeração

Segundo Sarev (2012), este tipo de sistema é comumente empregado quando há necessidade de grandes vazões e há pouca disponibilidade desta. O procedimento mais comum para este tipo de sistema é a utilização de uma torre de resfriamento onde exista necessidade de troca térmica. A água circula pela torre onde, através da evaporação de pequena quantidade desta, transmite calor para o ar e conseqüentemente tem a sua temperatura baixada, figura 1.

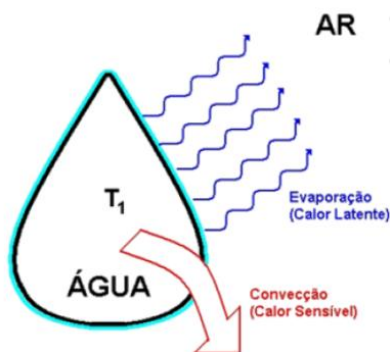


Figura 1: Evaporação de água em torre de resfriamento. Fonte: Trovati, 2004

No sistema semiaberto de refrigeração deve-se repor ao circuito a parte de água perdida por evaporação (equação 1), enquanto o restante da água pode ser utilizado novamente como refrigerante, ou seja, a água de processo que circula nos trocadores de calor e máquinas, é a mesma que entra em contato direto com ar no interior da torre de resfriamento (SAREV, 2012).

$$E_v = V * \rho \quad (1)$$

Onde:

E_v = Perda por evaporação [m^3/h].

V = Vazão total do circuito [m^3/h].

ρ = Reposição de água [%].

Devido a sua aplicação (figura 2), mesmo apresentando consideráveis investimentos iniciais, este é o sistema mais empregado, pois soluciona eventual carência de água e permite tratamento adequado mesmo necessitando criteriosos controles analíticos, que podem representar agressividade ao meio ambiente, devido à água de purga que além das impurezas, contém produtos químicos do tratamento (PIRANI,2012; KORPER, 2012).

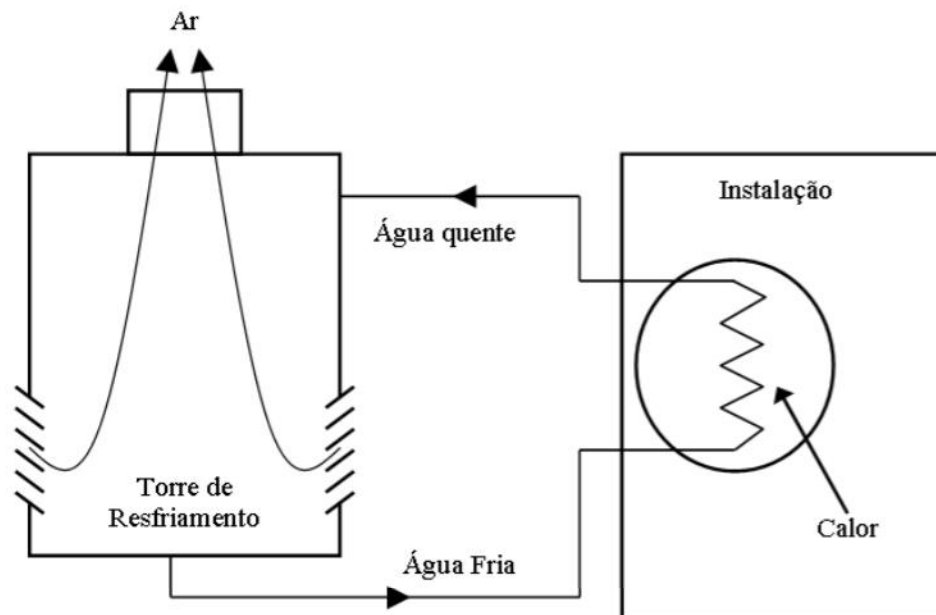


Figura 2: Aplicação de uma torre de resfriamento. Fonte: Pirani, 2012.

Korper (2012), apresenta algumas características deste sistema, destacando o fator de alta incrustação, principalmente em equipamentos que contém trocadores de calor. Isso ocorre devido ao alto teor de sais dissolvidos, a sujeira do ar, a presença de algas e proliferação de bactérias e fungos contaminantes presentes na água, em alta concentração, devido à evaporação da mesma. Em razão destes contaminantes presentes na água, os custos de manutenção e operacionais envolvidos no processo são altos, aproximadamente R\$ 410,00 / mês para o equipamento e R\$ 1.100,00 / mês para o tratamento químico, considerando torre de resfriamento com capacidade de 100 m³/h de vazão (KORPER, 2012).

Os modelos de torres de resfriamento são inúmeros, apresentando cada um seus benefícios específicos, que variam de acordo com a localização e aplicação dentro da planta industrial, mas sempre em acordo com os fatores determinantes para sua construção, o volume útil e rendimento requerido em cada caso. Segundo Pirani (2012), a classificação mais disseminada e de maior valor na avaliação de torres de resfriamento está baseado na forma de circulação do ar através da mesma. Esta classificação está assim dividida em torres atmosféricas, torres de tiragem natural, torres de tiragem natural auxiliada e torres de tiragem mecânica forçada ou induzida.

Pirani (2012), aponta as torres de tiragem mecânicas, que utilizam ventiladores para mover o ar através da torre, como sendo as que proporcionam um controle total da entrada de ar.

As suas principais características são:

- Compactas, necessitam de pouca superfície;
- Controle fino da temperatura da água fria;
- Menor altura de bombeamento;
- A orientação da torre não é determinada pelos ventos dominantes;
- Com um enchimento eficiente é possível atingir temperaturas de aproximação de 1 a 2°C, apesar de que é preferível manter-se entre 3 a 4°C.
- As falhas mecânicas reduzem bastante a confiabilidade;
- A potência de ventilação pode ser importante, aumentando os gastos de operação;
- A recirculação do ar usado deve ser evitada, pois a eficiência é afetada;
- Os custos de operação e manutenção são maiores que os das torres de tiragem natural;
- Os ruídos e vibrações produzidos pelos ventiladores podem constituir um problema, dependendo da localização (PIRANI, 2012).

Este trabalho abordará apenas torres de tiragem mecânicas, pois são as torres atualmente utilizadas no processo atual da empresa, e que apresentam melhor desempenho. Para Korper (2012), é o equipamento que possui melhor rendimento em projetos com temperaturas de 3°C a 6°C acima da temperatura de bulbo úmido local.

Nas torres de tiragem mecânica forçada, figura 3, os ventiladores são dispostos na entrada de ar, de tal forma que forcem o ar pelo meio do enchimento.

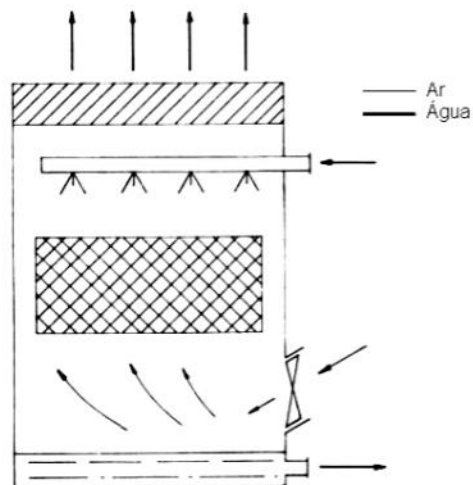


Figura 3: Torres de tiragem mecânica forçada. Fonte: Pirani, 2012.

As torres de tiragem mecânica induzida, figura 4, são torres nas quais os ventiladores são posicionados na saída de ar, geralmente na parte superior da torre.

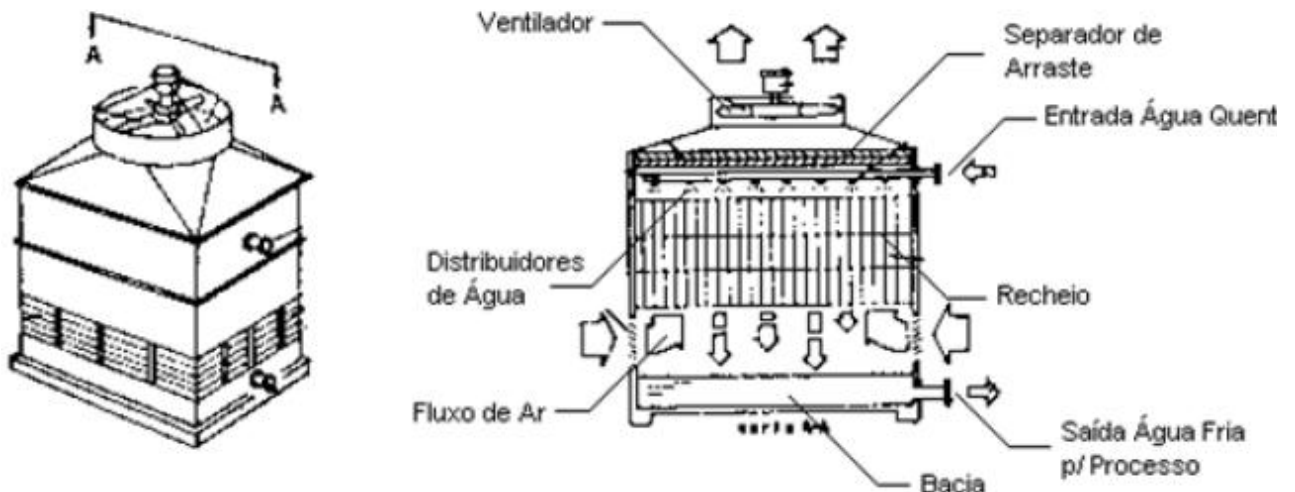


Figura 4: Modelo clássico da torre de tiragem induzida. Fonte: Trovati, 2004.

2.1.3 Sistema Fechado de Refrigeração

Os sistemas até agora apresentados, envolvem um contínuo consumo de refrigerante, no caso a água e utilização de tratamento químico rigoroso para o sistema semiaberto, razão pela qual são considerados não práticos em sua utilização. Esse problema pode ser evitado transformando o processo num ciclo, onde a reposição esporádica de água deve ocorrer somente para reparar eventuais vazamentos e o tratamento químico se resume apenas à água de reposição, desde que o sistema já esteja operando normalmente, uma vez que a água (ou outro meio) utilizada é resfriada através da troca térmica externa da serpentina com o ar ou água e não entra em contato com o fluido refrigerante. Por ser um sistema fechado, a água utilizada no circuito deve ser de boa qualidade, de baixa condutividade e isenta de sólidos em suspensão. (KORPER, 2012; PIRANI, 2012; TROVATI, 2004).

Essencialmente, um sistema fechado apresenta um ciclo de refrigeração composto por uma entrada de trabalho, uma saída e entrada de calor e um dispositivo de expansão, conforme figura 5. A entrada de trabalho é responsável pelo salto energético do ciclo (FERZOLA, 2010).

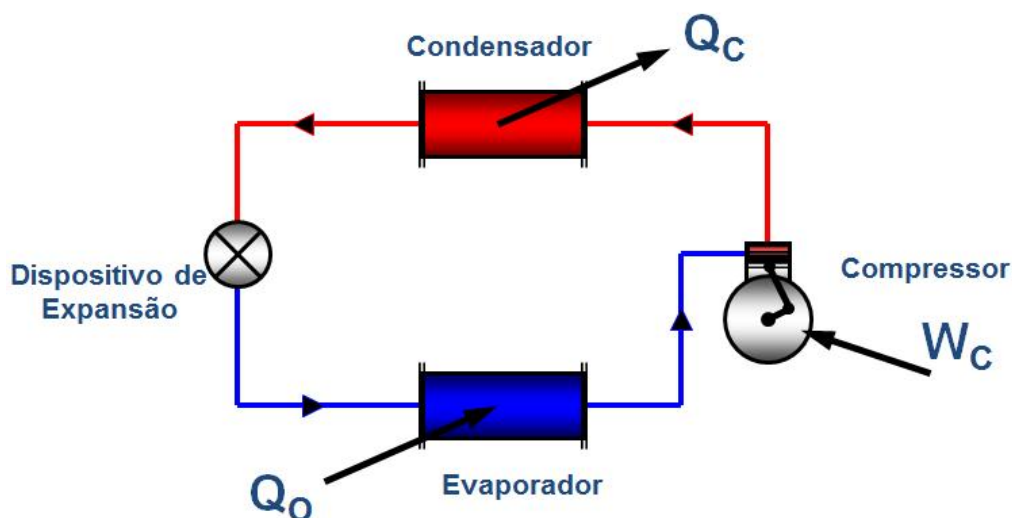


Figura 5: Sistema de refrigeração por compressão de vapor. Fonte: Pirani.2012.

Um dos componentes principais do sistema de refrigeração é o compressor. O mesmo é responsável pela entrada de trabalho ao fluido refrigerante, aumentando a pressão e gerando a circulação desse fluido no ciclo. É o componente mais controlável, sendo possível determinar a sua vazão volumétrica, as pressões

máximas e mínimas de trabalho e potência do motor utilizado. Os modelos mais utilizados de compressores são o centrífugo, alternativo, de palhetas, de parafusos e o Scroll. A seleção do tipo de compressor depende basicamente da capacidade da instalação em toneladas de refrigeração (TR), que pode ser decomposta em pequena capacidade (< 2,5 TR), em média capacidade (entre 2,5 e 75 TR) e em grande capacidade (> 75 TR), da temperatura de vaporização e do fluido frigorífico utilizado. O símbolo TR é termo usualmente empregado em refrigeração, correspondendo à energia necessária para liquefazer aproximadamente, uma tonelada de gelo em 24 horas (1,0 TR equivale a 3,53 kW ou 3.024 kcal/h) (FERZOLA, 2010; PIRANI, 2012).

O condensador é responsável pela retirada de calor para o ambiente. Todos os ganhos de calor em um sistema de refrigeração devem ser rejeitados no condensador.

Após o fluido refrigerante ser comprimido, e sua temperatura e pressão elevadas, tornando-se vapor, ele passa pelo condensador (trocador de calor adequado) onde passa da fase gasosa para a líquida, fornecendo calor para o ambiente na forma latente (COSTA, 1974; FERZOLA, 2010).

Os condensadores podem ser resfriados à água ou ar. Os condensadores a ar são normalmente utilizados como componente integrante de unidades produzidas em fábricas de pequena ou média capacidade. A faixa mais comum de capacidades destes condensadores, está na faixa de capacidades de 1 a 100 TR (3.530 kW a 353.000 kW), porém é usual a sua montagem em paralelo, alcançando capacidades bastante superiores. Seu rendimento depende das condições de entrada do ar e comparado com os condensadores à água, apresentam custo inicial menor incorporado a um custo de manutenção reduzido, pois não há evaporação ou circulação de água. Condensadores resfriados à água, desde que limpos e corretamente dimensionados, operam mais eficientemente que os condensadores resfriados a ar, especialmente em períodos de elevada temperatura ambiente, porém com alto consumo de água, se comparada ao condensador a ar, pois normalmente em aplicações industriais, estes condensadores utilizam água originária de uma torre de resfriamento, que comumente utiliza-se para a condição de concepção do sistema, 29,5°C para a temperatura da água refrigerante que deixa a torre. (KORPER, 2012; PIRANI, 2012).

A válvula de expansão tem a função de reduzir a pressão do fluido refrigerante desde a pressão de condensação até a pressão de vaporização, ou seja, ocorre a diminuição da pressão do fluido refrigerante com uma alteração de fase parcial de líquido para líquido mais gás. Com a diminuição da pressão, a troca de calor na forma de vaporização do fluido fica favorecida, além disso, a mais baixa temperatura também favorece a troca térmica. Este dispositivo, ao mesmo tempo deve regular a vazão de refrigerante que chega ao evaporador, de modo a atender a carga térmica aplicada ao mesmo (FERZOLA, 2010; PIRANI, 2010).

O evaporador é a parte onde ocorre a entrada de calor do ambiente no ciclo. Quanto maior for essa entrada de calor, maior será a geração de vapor e a vazão mássica do sistema (FERZOLA, 20120).

2.2 FONTES GERADORAS DE CALOR

As torres de resfriamento atualmente instaladas, visam remover a carga térmica de duas fontes encontradas na indústria, quais sejam: soldagem pelo processo de solda a ponto e unidades hidráulicas.

Na sequência, desenvolvem-se as características gerais dessas duas fontes.

2.2.1 Soldagem pelo processo de solda a ponto

Soldagem segundo Wainer, Brandi e Mello (2004), “é um processo de união entre duas partes metálicas, usando uma fonte de calor, com ou sem aplicação de pressão. A solda é o resultado desse processo”.

No processo de solda a ponto por resistência elétrica, são unidas chapas metálicas pela fusão de duas peças sobrepostas, envoltas por dois eletrodos, inferior e superior, produzindo calor pela resistência do material ao caminho percorrido pela corrente elétrica (Efeito Joule). O equipamento usado para realizar os pontos de solda é denominado de máquina de solda a ponto, e podem ser móveis (suspensos) ou fixos (estacionários), de acordo com a forma construtiva dos mesmos (figuras 6 e 7), mas o funcionamento é semelhante e segue os padrões de regulação (BRANCO, 2004; NASCIMENTO, 2008).

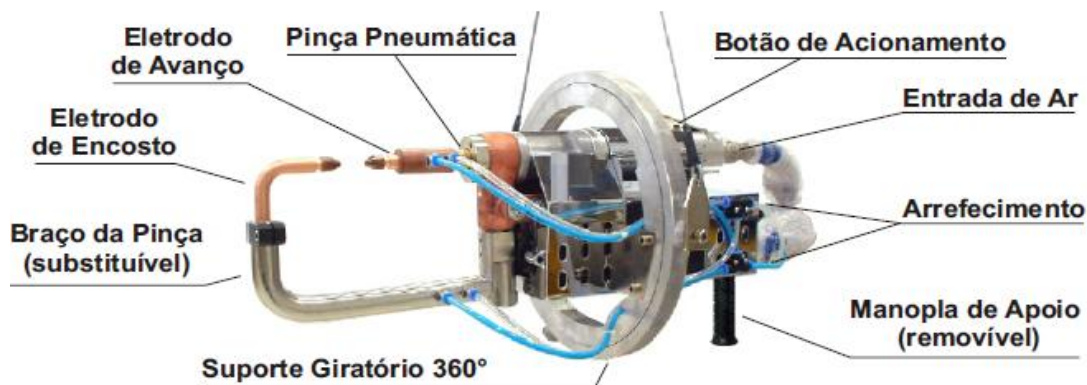


Figura 6: Máquina de solda ponto móvel. Fonte: Nascimento, 2008.

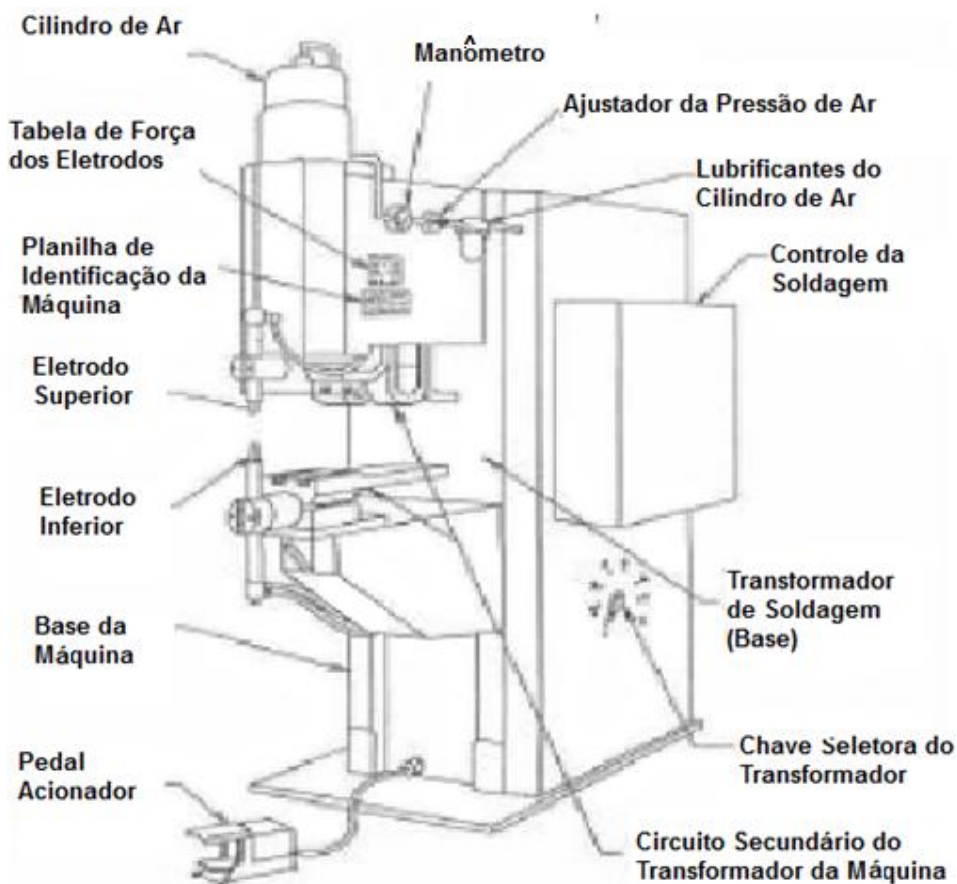


Figura 7: Máquina de solda ponto fixa. Fonte: Branco, 2004.

As peças a serem soldadas são pressionadas uma contra a outra por meio dos eletrodos, movimentados por forças mecânica, hidráulica, pneumática, ou uma mistura delas. Em seguida, um curto pulso de alta corrente e baixa tensão é liberado, passando pelos eletrodos fabricados de material base de baixa resistência elétrica, em sua maioria com ligas à base de cobre sendo que o tempo de corrente

no processo deve ser mantido o menor possível (1/4 s em média). O conjunto oferece resistência à passagem da corrente elétrica na interface entre as peças geralmente de 50 a 500 $\mu\Omega$ (NASCIMENTO, 2008).

A quantidade de calor total nas superfícies de contato das chapas é proporcional ao tempo e intensidade de corrente, suficiente para garantir que as chapas permaneçam na posição enquanto ocorre a solidificação, ou seja, esta região alcance o ponto de fusão do material formando-se uma área fundida que recebe o nome de lente de solda. O processo de soldagem a ponto é demonstrado conforme figura 8 (BRANCO, 2004; NASCIMENTO, 2008).

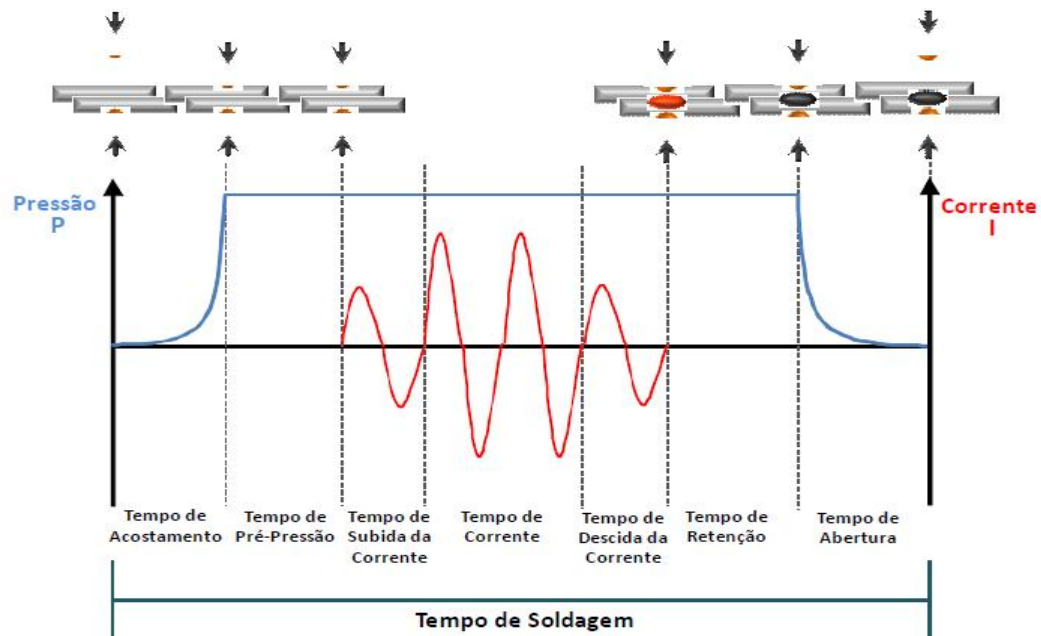


Figura 8: Processo de soldagem a ponto por resistência. Fonte: Nascimento, 2008.

O calor no processo de soldagem se dá por efeito Joule e a grande parte do mesmo é gerada na região da lente de solda. Portanto, é imprescindível que o calor seja dissipado pelo resfriamento do ponto para se materializar a solda. Como o ponto se forma no interior das chapas, este calor, como mostra a figura 9, tem que se dissipar pelas regiões menos quente das chapas e eletrodos (MACHADO, 1996; NASCIMENTO, 2008).

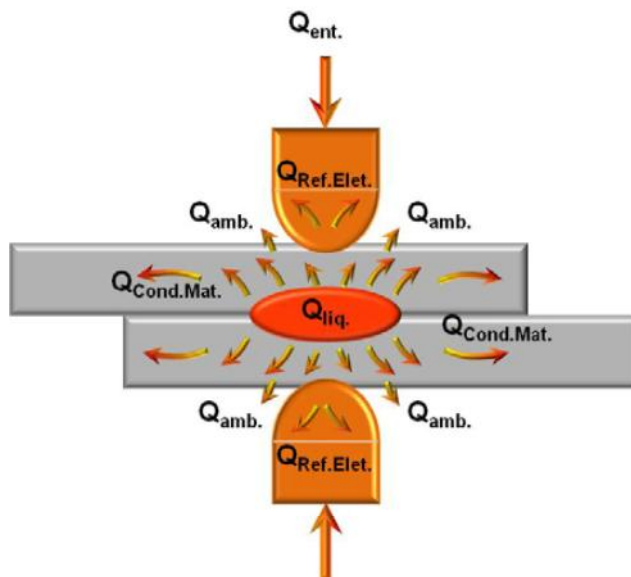


Figura 9: Distribuição do calor no processo de soldagem a ponto. Fonte: Nascimento, 2008.

A energia térmica total gerada pelo processo de soldagem é regida matematicamente pela Lei de Joule, demonstrada pela equação 2 (WAINER, BRANDI, MELLO. 2004):

$$Q = 1/J * \left(\int_0^t I^2 * R_t * dt \right) \quad (2)$$

Onde:

Q = Energia Térmica total [cal/min].

1/J = Fator de Conversão [1cal=4,185J].

I = Corrente elétrica de soldagem [A].

R_t = Resistência total no circuito [Ω].

dt = Intervalo de tempo de passagem da corrente elétrica por min. [min].

A corrente elétrica de soldagem pode ser determinada pela densidade de corrente na região na chapa. Os limites superior e inferior para a densidade de corrente dependem da sua intensidade e do diâmetro e forma da ponta do eletrodo. Como regra prática, para o processo ocorrer no menor tempo possível e produzir pontos com a mais alta resistência mecânica, deve-se determinar a densidade de corrente máxima (D), anterior àquela que provocaria expulsão do material. A

densidade de corrente pode ser estimada pela equação 3 deduzida empiricamente (MACHADO, 1996).

$$D=192 + 480 * e^{-t1} \quad (3)$$

Onde:

D = Densidade de corrente elétrica [A/mm²].

t1 = Espessura da chapa mais fina a ser soldada [mm].

Para se determinar a corrente elétrica útil do equipamento, a partir do cálculo da densidade de corrente, utiliza-se a equação 4 e 5.

$$A = \pi\phi^2 / 4 \quad (4)$$

Onde:

A = Área do Eletrodo [mm²].

ϕ = Diâmetro do eletrodo [mm].

$$I = D * A \quad (5)$$

Onde:

I = Corrente elétrica [A].

A = Área do Eletrodo [mm²].

D = Densidade de corrente [A/mm²].

Com o valor de corrente, pode-se calcular a potência útil do equipamento, através da equação 6:

$$P = I^2 * R \quad (6)$$

Onde:

P = Potência Útil do equipamento [W].

I = Corrente elétrica [A].

R = Resistência Elétrica [Ω].

Para que o eletrodo não aqueça além do permitido, devido à passagem de corrente elétrica por ele, uma característica extremamente importante, e comum aos equipamentos nas operações de soldagem por resistência é a refrigeração à água, conforme demonstrado na figura 10 (NASCIMENTO, 2008).

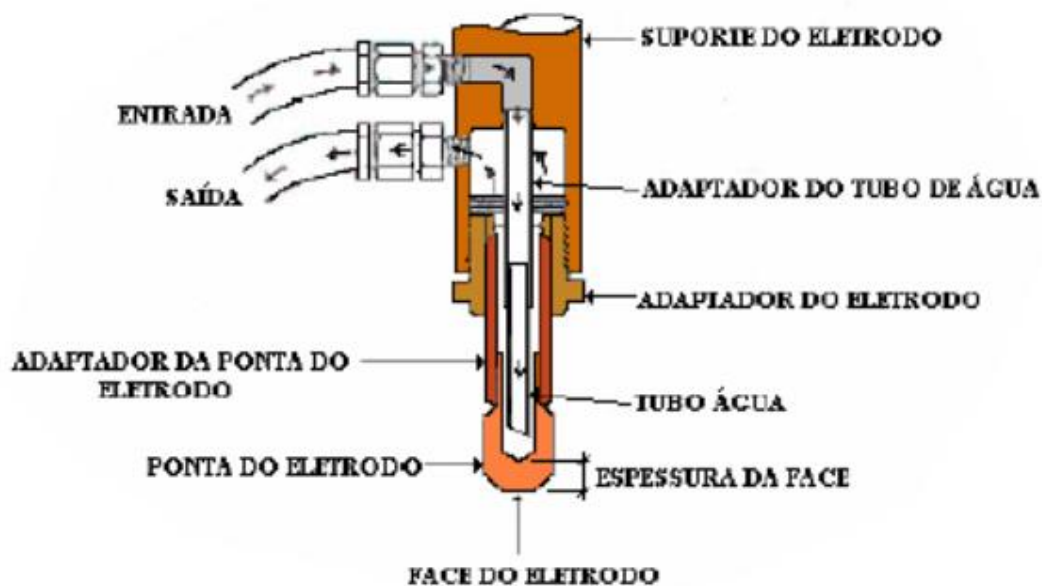


Figura 10: Refrigeração do eletrodo. Fonte: Intermachinery, 2002, apud, Nascimento, 2008.

Determinado o valor de energia térmica total do circuito, o cálculo da vazão necessária no equipamento de solda ponto é realizado, onde utiliza-se a equação 7.

$$Q = m * c * \Delta T \quad (7)$$

Onde:

Q = Quantidade de Calor [kcal/min].

m = massa [l/min].

c = Calor específico da água [1 cal/g.°C].

ΔT = Diferença temperatura quente e fria da água refrigerante [°C].

2.2.2 Unidades Hidráulicas

A hidráulica possui aplicação nos mais variados campos. Para Linsengen (2003), “um sistema hidráulico é um conjunto de elementos físicos convenientemente associados que, utilizando um fluido como meio de transferência de energia, permitem a transmissão e controle de forças e movimentos”.

Esse mesmo autor define sistema hidráulico, como compondo o “meio através do qual uma forma de energia de entrada é convertida e condicionada, de modo a se ter como saída energia mecânica útil” (LINSENGEN, 2003).

A fonte energia hidráulica ocorre naturalmente pela conversão de energia elétrica ou térmica em energia mecânica, através do emprego de motor elétrico ou motor de combustão interna no circuito (LINSENGEN, 2003).

Combinar corretamente os componentes físicos, cada um com suas propriedades funcionais específicas, possibilita descrever o sistema como um conjunto de componentes com desempenho bem determinado de direção, controle e limite de energia, conforme ilustrado na figura 11.

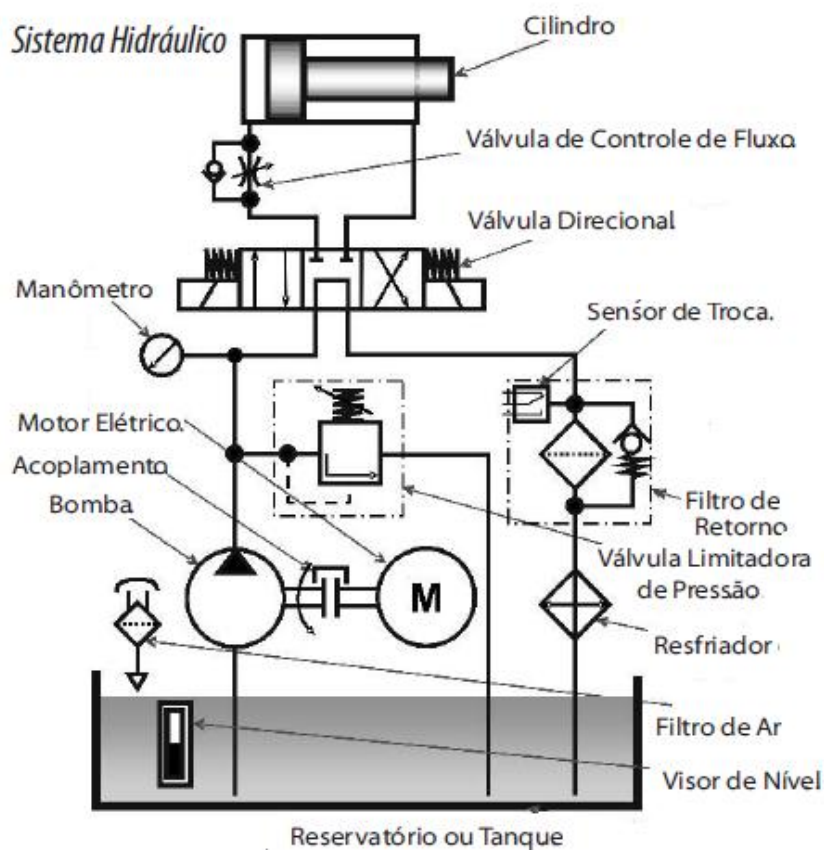


Figura 11: Sistema hidráulico. Fonte: Pedrosa, 2006.

Os sistemas hidráulicos possuem alta dependência da temperatura. O calor gerado é ocasionado pelo movimento do fluido, principalmente a mudanças de direção, viscosidade e atrito. Quanto maior a velocidade do fluido, maior o calor gerado. Mudanças na temperatura do fluido, devido às condições do ambiente e/ou dissipação de energia, geram alteração da viscosidade e, como resultado, alteram-se as condições operacionais, assim como as perdas por vazamentos (LINSENGEN, 2003; PARKER, 2001).

Para Pedrosa, num sistema hidráulico, o reservatório da máquina hidráulica contribui para a troca de calor, mas sua superfície não é ampla o suficiente para dissipar todo calor produzido. Para corrigir esses efeitos, devem ser instalados trocadores de calor ou sistemas de controle de temperatura. Esse mesmo autor considera a temperatura ideal de trabalho da máquina hidráulica de 45°C com uma tolerância de +/- 5 °C (PEDROSA, 2006).

Para Hatami (2012), a vazão de água refrigeradora em unidades hidráulicas compostas por trocador de calor ar-óleo, é calculada partindo-se do cálculo da perda de potência (P_v) do circuito, equação 8.

$$P_v = (dT * c * \varphi * V) / (t * 60) \quad (8)$$

Onde:

P_v = Perda de potência no sistema [kW].

dT = Incremento de temperatura do sistema em determinado tempo t [K].

φ = Densidade do fluido [kg/l].

c = Calor específico fluido [kJ/kg*K].

V = Volume do reservatório [l].

t = Tempo de medida do incremento de temperatura dT [min].

Conhecendo-se a perda de potência, pode-se calcular o calor gerado, através da equação 9 (HATAMI, 2012).

$$Q = 14 * P_v \quad (9)$$

Onde:

Q = Calor gerado no sistema [Kcal/min].

14 = Fator de conversão.

Pv = Perda de potência no sistema [kW].

Com o resultado do calor gerado e o diferencial de temperatura da água refrigeradora (ΔT), calcula-se a vazão de água refrigeradora da unidade hidráulica, conforme equação 7.

$$Q = m * c * \Delta T \quad (7)$$

Desta forma quantifica-se a vazão necessária para os equipamentos que utilizam unidades hidráulicas em sua concepção.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, o trabalho aborda os métodos e técnicas executados para se alcançar o objetivo.

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

O método de pesquisa quanto à natureza será do tipo aplicada, com objetivo de pesquisa exploratório e procedimento estudo de caso, realizado em Empresa Multinacional do Setor Agrícola.

De acordo com Barros e Lehfeld (1989), a pesquisa aplicada tem como motivação a necessidade de produzir conhecimento para aplicação de seus resultados, com o objetivo de “construir para fins práticos, visando a solução mais ou menos imediata do problema encontrado na realidade”. Appolinário (2004), salienta que pesquisas aplicadas têm o objetivo de “resolver problemas ou necessidades concretas e imediatas”. Nesse sentido, a busca dos sistemas de refrigeração presentes no mercado, o cálculo de carga térmica necessária para verificar quais as necessidades do trabalho, e, posteriormente, definir o tipo de refrigeração a ser sugerido para a solução do problema, caracterizam o método.

Um trabalho por método exploratório tem a finalidade básica de desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias para a formulação de abordagens posteriores. Dessa forma, este tipo de estudo visa proporcionar um maior conhecimento para o pesquisador acerca do assunto, a fim de que esse possa formular problemas mais precisos ou criar hipóteses que possam ser pesquisadas por estudos posteriores (GIL, 2002). As pesquisas exploratórias, segundo esse mesmo autor, visam proporcionar uma visão geral de um determinado fato, do tipo aproximativo. Assim, esse trabalho apresenta o método exploratório na fase de revisão de sistemas de refrigeração existentes e suas características específicas na busca de referenciais para o desenvolvimento do trabalho.

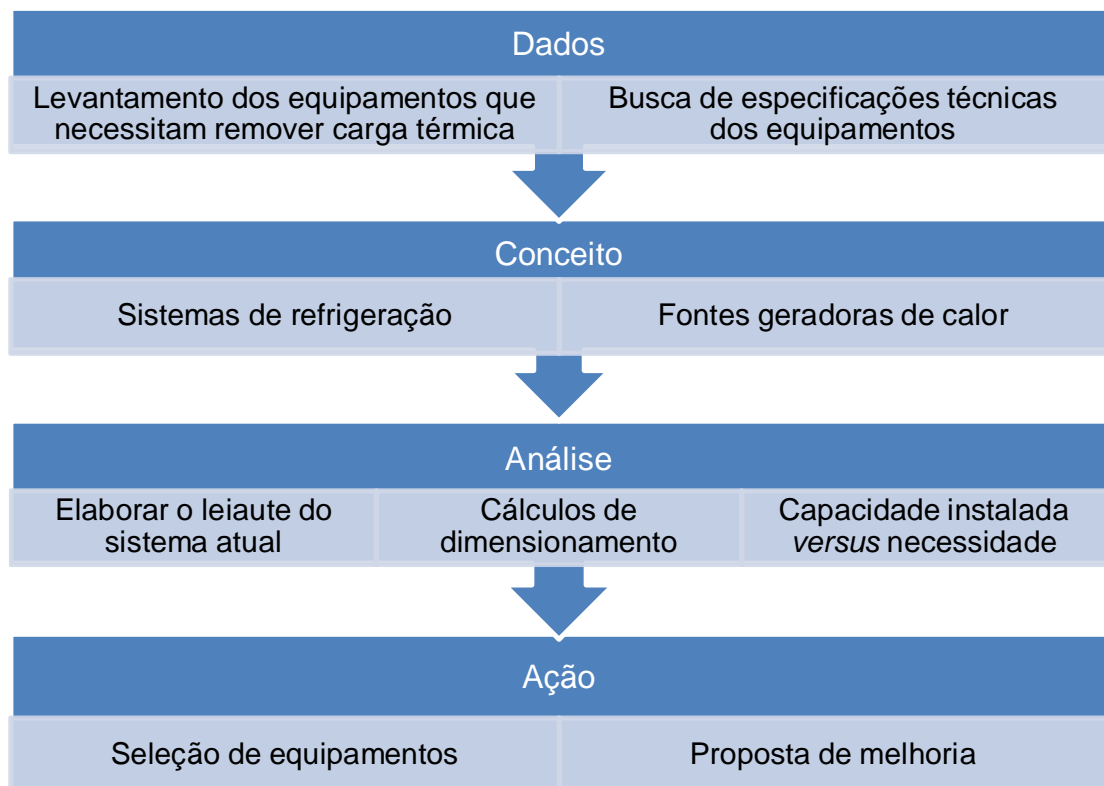
Pode-se definir um Estudo de Caso, segundo Gil (2002), como sendo um procedimento de pesquisa que investiga um fenômeno dentro do contexto local, real e especialmente quando os limites entre fenômeno e o contexto não estão claramente definidos.

De acordo com Gil *apud* Tauchen (2012), os propósitos do estudo de caso não são os de proporcionar o conhecimento preciso das características de uma

população, mas sim o de proporcionar uma visão global do problema ou de identificar possíveis fatores que o influenciam ou são por ele influenciados.

O estudo será realizado em empresa Multinacional do Noroeste do Rio Grande do Sul, sendo inicialmente desenvolvido a análise e levantamento dos equipamentos existentes, a distribuição destes no ambiente de fábrica e suas características técnicas de fabricação.

Finalizado a primeira parte do levantamento de dados, através do referencial teórico busca-se caracterizar e conceituar os equipamentos envolvidos, possibilitando seguir para análise técnica e econômica, para finalizar o trabalho conforme mostrado no fluxograma 1, apresentar prognóstico dos sistemas de refrigeração que atendam as necessidades e propor a melhor solução de sistema para remoção da carga térmica.



Fluxograma 1: Metodologia a ser aplicada no trabalho. Fonte: Autor.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados da aplicação da metodologia estabelecida no capítulo anterior, bem como a definição de proposta para melhoria de eficiência do sistema.

4.1 ANÁLISE SISTEMA HIDRÁULICO

Nesta fase, serão apresentados os parâmetros utilizados e resultados do cálculo de carga térmica e vazão necessária, para os equipamentos analisados que utilizam unidade hidráulica instalada.

4.1.1 Equipamentos do sistema hidráulico

A empresa possui quatro equipamentos utilizados para conformação de chapas que utilizam unidades hidráulicas, sendo as características apresentadas no quadro 2.

Equipamento	Capacidade reservatório [l]	Potência motor [CV]	Vazão óleo [l/min]	Incremento temperatura [K/h]
UH29	200	15	80	30
UH15	1200	80	192	20
UH18	1000	60	187	20
UH41	1200	60	260	20

Quadro 2: Características das unidades hidráulicas. Fonte: Autor.

4.1.2 Parâmetros do sistema hidráulico utilizados

Os parâmetros adotados para os sistemas hidráulicos foram definidos a partir do referencial teórico e atributos técnicos apresentados no quadro 3 de forma a atender aos requisitos mínimos para operação dos equipamentos. Segue valores dos parâmetros para cálculo da vazão total de refrigeração e carga térmica.

- Temperatura ideal para o reservatório hidráulico: 50°C;
- Volume do reservatório: de acordo com o equipamento, apresentado no quadro 2;
- ΔT água refrigerante: 6K (°C);
- dT incremento de temperatura do óleo em 1h: para reservatórios acima de 800 l, considerado 20 K (20 °C) de incremento por hora, e para o reservatório

de 200 l o incremento de temperatura foi de 30 K (30°C) a hora (a temperatura de ambos os equipamentos foi medida com o atual sistema de refrigeração desligado, utilizando-se termômetro infravermelho de mão Fluke série 60);

- Calor específico do óleo lubrificante: 2,09 kJ/kg*k;
- Massa específica do óleo lubrificante: 0,87 kg/l.

4.1.3 Cálculo da carga térmica e vazão necessária das prensas Hidráulicas

Os sistemas hidráulicos instalados possuem trocador de calor ar-óleo instalados, e conforme parâmetros apresentados no item 4.1.2, segue o cálculo de carga térmica e vazão necessária do equipamento UH29, utilizando-se as equações 3 e 4 apresentadas no referencial teórico.

Carga térmica unidade hidráulica. A equação 8 apresenta o cálculo da perda de potência de um circuito hidráulico. Substituindo os valores de incremento de temperatura (30 K), calor específico do óleo lubrificante (2,09 kJ/kg*K), massa específica do óleo lubrificante (0,87 kg/l), volume do reservatório (200 l) e tempo de tomada de incremento de temperatura (60 min.), têm-se:

$$P_v = (dT * c * \varphi * V) / (t * 60) \quad (8)$$

$$P_v = (20 * 2,09 * 0,87 * 200) / (60 * 60)$$

$$P_v = 3,048 \text{ kW}$$

Com o valor da perda de potência do circuito (3,048 kW), têm-se dados para calcular o calor gerado no sistema hidráulico através da equação 9.

$$Q = 14 * P_v \quad (9)$$

$$Q = 14 * 3,048$$

$$Q = 42,671 \text{ Kcal/min}$$

O sistema métrico, utiliza o valor de potência de remoção de carga térmica expresso em kcal/h, e o sistema internacional, o calor gerado é expresso em W.

$$Q = 42,671 \text{ [kcal/min]} * 60 \text{ [min/h]}$$

$$Q = 2.560,250 \text{ kcal/h}$$

$$Q = 2.560,250 \text{ kcal/h} / 0,85984$$

$$Q = 2.977,589 \text{ W}$$

Vazão de água refrigerante. Determinada a carga térmica, calcula-se a vazão de água refrigerante para os equipamentos que utilizam unidade hidráulica, necessária para atender à variação máxima de temperatura.

Para o cálculo da vazão de água refrigeradora, utiliza-se a equação 7, substituindo-se os valores de carga térmica (42,671 kcal/min), calor específico da água (1 cal/g.°C), e diferença de temperatura do fluido refrigerante (6 °C).

$$Q = m * c * (\Delta T) \tag{7}$$

$$42,671 = m * 1 * 6$$

$$m = 7,112 \text{ l/min}$$

A grandeza comercialmente utilizada para expressar a vazão necessária, é através da unidade m³/h.

$$m(\text{m}^3/\text{h}) = m(\text{l}/\text{min}) * ((60\text{min}/1\text{h}) / (1\text{m}^3/1000\text{l}))$$

$$m = 7,112 * (60/1000)$$

$$m = 0,427 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para os demais equipamentos, têm-se o quadro 3 com os resultados, utilizando-se como referência as equações conforme demonstrados para o equipamento UH29.

Equipamento	Pv [kW]	Q [W]	V [l/min]	V [m³/h]
UH29	3,048	2.977,590	7,112	0,427
UH15	12,192	11.910,360	28,447	1,707
UH18	10,16	9.925,300	23,706	1,422
UH41	12,192	11.910,360	28,447	1,707
TOTAL		36.723,600	87,712	5,263

Quadro 3: Dados de cálculo das unidades hidráulicas. Fonte: Autor.

Analisando os dados do quadro 3, obtém-se a necessidade de remoção de 36.723,600 W de carga térmica e uma necessidade de 5,263 m³/h de vazão, nos equipamentos que utilizam unidade hidráulica, para atender as condições mínimas de operação, passando a se utilizar estes valores para análise de dimensionamento do sistema de refrigeração.

4.2 ANÁLISE DO SISTEMA DE SOLDA A PONTO

Nesta fase, serão apresentados os equipamentos, parâmetros utilizados e resultados do cálculo de carga térmica e vazão necessária para os equipamentos de solda ponto.

4.2.1 Equipamentos de solda ponto

A empresa possui trinta e dois equipamentos de solda a ponto por resistência, sendo oito de solda ponto fixa, e vinte e seis de solda ponto móvel.

O quadro 4, apresenta os dados que caracterizam os equipamentos de solda a ponto, que servirão para calcular a carga térmica a ser removida, assim como a vazão necessária.

Equipamento	Descrição	Modelo	Potência [kVA]	Diâmetro do eletrodo[mm]
ES01	Solda ponto móvel	SP-6-M	6	8
ES02	Solda ponto móvel	PTS 100 AR	100	12
ES03	Solda ponto móvel	HHT 70 RS	70	12
ES04	Solda ponto móvel	PTS 75 AR	75	10
ES09	Solda ponto fixa	CN 75 AR	75	10
ES12	Solda ponto móvel	PTS-100-ARS	100	12
ES13	Solda ponto fixa	JS-2	100	12
ES14	Solda ponto móvel	PTS 150	150	12
ES15	Solda ponto móvel	PTS 100	100	12
ES17	Solda ponto fixa	JS-2	100	12
ES19	Solda ponto móvel	IS-1	150	12
ES21	Solda ponto fixa	ALO-21270433	150	12
ES22	Solda ponto fixa	PR 100	50	12
ES25	Solda ponto móvel	PTS H 150-ARS	150	12
ES26	Solda ponto móvel	PTS-H-100-ARS	100	12
ES27	Solda ponto móvel	PTS-H-100-ARS	100	12
ES28	Solda ponto fixa	PTS-H-150-ARS	150	12
ES29	Solda ponto móvel	PTS-H-150-ARS	150	12
ES30	Solda ponto móvel	PTS-H-150-ARS	150	12
ES31	Solda ponto móvel	PTS-H-150-ARS	150	12
ES32	Solda ponto móvel	PTS-H-150-ARS	150	12
ES33	Solda ponto fixa	IS2 150/600	150	12
ES34	Solda ponto móvel	ISP 150/S	150	12
ES35	Solda ponto móvel	ISP 150/S	150	12
ES37	Solda ponto móvel	3327	110	10
ES38	Solda ponto móvel	3323	110	10
ES39	Solda ponto móvel	3327	110	10
ES40	Solda ponto fixa	XP250/1440/110MF	110	8
ES41	Solda ponto móvel	XP250/1440/75MF	75	10
ES42	Solda ponto móvel	XP250/1060/75MF	75	10
ES43	Solda ponto móvel	XP250/1060/75MF	75	10
ES44	Solda ponto móvel	3024	100	10

Quadro 4: Características dos equipamentos de solda ponto. Fonte: Autor.

4.2.2 Parâmetros de Soldagem.

Os parâmetros de solda foram definidos de acordo com o referencial bibliográfico apresentado, as propriedades técnicas apresentadas no quadro 4, e dados de operação, considerados de forma a atender à máxima geração de calor por efeito Joule em cada equipamento. Foram definidos os seguintes parâmetros para se determinar quanto de calor está sendo dissipado por hora em cada equipamento:

- Tempo de soldagem: 25 ciclos (1 ciclo = 1/60s);

- Resistência entre chapas: 100 $\mu\Omega$;
- Velocidade de soldagem: 20 pontos de solda por minuto;
- ΔT água refrigerante: 6K ($^{\circ}\text{C}$);
- Espessura da chapa mais fina a ser soldada: 2,5 mm;
- Diâmetro do eletrodo: de acordo com quadro 4.

4.2.3 Cálculo da carga térmica e refrigeração dos aparelhos de Solda a Ponto

Seguindo os parâmetros de soldagem apresentados anteriormente, segue o cálculo de carga térmica e vazão de refrigeração, utilizando-se as equações apresentadas no referencial teórico.

Segue exemplo de cálculo para o equipamento ES01:

Carga térmica a ser resfriada no processo. A dissipação térmica em equipamento de solda a ponto é conhecida como efeito joule. Este efeito é a dissipação de calor em razão da passagem de corrente elétrica pelos eletrodos. A resistência que o material oferece a esta passagem elétrica se dissipa em forma de calor. Têm-se os seguintes dados para se realizar as equações, conforme apresentados no item 4.2.2.

$\phi = 8 \text{ mm}$;

$t_1 = 2,5 \text{ mm}$;

$R_t = 100 \mu\Omega$;

$dT = 25 \text{ ciclos}$;

Pontos/min = 20.

Para o cálculo da densidade de corrente, utiliza-se a equação 3, substituindo o valor de espessura de chapa mais fina a ser soldada (2,5 mm).

$$D = 192 + 480 * e^{-t_1} \quad (3)$$

$$D = 192 + 480 * e^{-2,5}$$

$$D = 231,4 \text{ A/mm}^2$$

A densidade de corrente foi considerada a situação mais crítica para solda ponto, portanto esta será a máxima densidade de corrente considerada para todos os equipamentos.

Para o cálculo da área do eletrodo, utiliza-se a equação 4, substituindo-se o valor do diâmetro do eletrodo (8 mm).

$$A = \pi \phi^2 / 4 \quad (4)$$

$$A = \frac{\pi 8^2}{4}$$

$$A = 50,27 \text{ mm}^2$$

Para o cálculo da corrente elétrica utilizada, utiliza-se a equação 5, utilizando os resultados anteriormente encontrados.

$$I = D * A \quad (5)$$

$$I = 231,4 * 50,27$$

$$I = 11.631 \text{ A}$$

Com o valor de corrente, pode-se calcular a potência útil do equipamento, através da equação 6:

$$P = I^2 * R \quad (6)$$

$$P = 11.631^2 * 100 * 10^{-6}$$

$$P = 13,53 \text{ kW}$$

Calculado o valor da potência útil ($I^2 * R$), utiliza-se a equação 2, para se determinar a quantidade de calor que cada equipamento produz a fim de se obter dados para dimensionamento do sistema de refrigeração a ser utilizado.

$$Q = 1/J * (\int_0^t I^2 * R_t * dt) \quad (2)$$

$$Q = \frac{1}{4,18} \int_0^t 13,53 * \frac{25}{60} * 20$$

$$Q = 26,95 \text{ Kcal/min}$$

O sistema métrico utiliza expressar o valor de potência de remoção de carga térmica em kcal/h, e o sistema internacional a unidade é expressa em W.

$$Q = 26,95 \text{ [kcal/min]} * 60 \text{ [min/h]}$$

$$Q = 1.616,70 \text{ kcal/h}$$

$$Q = 1616,70 \text{ kcal/h} / 0,85984$$

$$Q = 1.880,23 \text{ W}$$

Vazão de água refrigerante no processo. Determinada a carga térmica, calcula-se a vazão de água refrigerante do processo, necessária para atender à variação máxima de temperatura.

Para o cálculo da vazão necessária no equipamento, utiliza-se a equação 7, e substitui-se os valores de carga térmica do processo (26,95 kcal/min), calor específico da água (1 cal/g*°C) e diferença de temperatura do fluido (6 °C).

$$Q = m * c * \Delta T \tag{7}$$

$$26,95 = m * 1 * 6$$

$$m = 4,49 \text{ l/min}$$

A grandeza comercialmente utilizada para expressar a vazão necessária é através da unidade m³/h.

$$m = 4,491 * (60 / 1000)$$

$$m = 0,269 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para os demais equipamentos de solda ponto, têm-se o quadro 5 como referência de cálculo de área do eletrodo, corrente elétrica, potência útil, calor

gerado e vazão necessária que cada equipamento apresenta, utilizando-se as equações conforme demonstrado para o equipamento ES01.

Equipamento	Área eletrodo [mm ²]	I [A]	Potência útil [kW]	Calor gerado [W]	Vazão [m ³ /h]
ES01	50,265	11.631,473	13,529	1.880,239	0,269
ES02	113,097	26.170,814	68,491	9.518,712	1,364
ES03	113,097	26.170,814	68,491	9.518,712	1,364
ES04	78,540	18.174,176	33,030	4.590,428	0,658
ES09	78,540	18.174,176	33,030	4.590,428	0,658
ES12	113,097	26.170,814	68,491	9.518,712	1,364
ES13	113,097	26.170,814	68,491	9.518,712	1,364
ES14	113,097	26.170,814	68,491	9.518,712	1,364
ES15	113,097	26.170,814	68,491	9.518,712	1,364
ES17	113,097	26.170,814	68,491	9.518,712	1,364
ES19	113,097	26.170,814	68,491	9.518,712	1,364
ES21	113,097	26.170,814	68,491	9.518,712	1,364
ES22	113,097	26.170,814	68,491	9.518,712	1,364
ES25	113,097	26.170,814	68,491	9.518,712	1,364
ES26	113,097	26.170,814	68,491	9.518,712	1,364
ES27	113,097	26.170,814	68,491	9.518,712	1,364
ES28	113,097	26.170,814	68,491	9.518,712	1,364
ES29	113,097	26.170,814	68,491	9.518,712	1,364
ES30	113,097	26.170,814	68,491	9.518,712	1,364
ES31	113,097	26.170,814	68,491	9.518,712	1,364
ES32	113,097	26.170,814	68,491	9.518,712	1,364
ES33	113,097	26.170,814	68,491	9.518,712	1,364
ES34	113,097	26.170,814	68,491	9.518,712	1,364
ES35	113,097	26.170,814	68,491	9.518,712	1,364
ES37	78,540	18.174,176	33,030	4.590,428	0,658
ES38	78,540	18.174,176	33,030	4.590,428	0,658
ES39	78,540	18.174,176	33,030	4.590,428	0,658
ES40	50,265	11.631,473	13,529	1.880,239	0,269
ES41	78,540	18.174,176	33,030	4.590,428	0,658
ES42	78,540	18.174,176	33,030	4.590,428	0,658
ES43	78,540	18.174,176	33,030	4.590,428	0,658
ES44	78,540	18.174,176	33,030	4.590,428	0,658
TOTAL			TOTAL	244.968,154	35,105

Quadro 5: Resultado dos equipamentos de solda ponto. Fonte: Autor.

Analisando os dados do quadro 5, obtém-se a necessidade de remoção de 244.968,154 W de carga térmica dos equipamentos de solda ponto, e uma necessidade de 35,105 m³/h de vazão, para atender a exigências mínimas dos equipamentos instalados na indústria. Desta forma chega-se ao valor que passará a ser utilizado para análise e dimensionamento do sistema de refrigeração, relacionado a equipamentos de solda a ponto.

4.3 ANÁLISE SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO ATUAL

Para cálculo da eficiência do sistema atual de refrigeração instalado para remoção da carga térmica em equipamentos de solda ponto e unidades hidráulicas, as seguintes torres de resfriamento e as características técnicas de cada equipamento, conforme quadro 6, foram considerados.

Torre	Modelo	Equipamento instalado	Consumo torre [kW]	Capacidade torre [W]	Vazão torre [m ³ /h]
TR04	HA3/3 GT I	ES32	0,919	30.528,936	5,4
TR06	S-6/3 GT II	ES15	1,471	52.335,318	8
TR07	S-6/3 GT II	ES13;ES27;ES41;ES42	1,471	52.335,318	8
TR08	S-6/3 GT II	ES02; ES03; ES19	1,471	52.335,318	8
TR09	S-6/3 GT II	ES22; ES34	1,471	52.335,318	8
TR10	S-3/3	ES39; ES40	0,919	30.528,936	5,4
TR11	S-3/3	ES25; ES31	0,919	30.528,936	5,4
TR12	S-3/3	ES09; ES26; ES28	0,919	30.528,936	5,4
TR13	S-3/3	UH15; UH18; UH41	0,919	30.528,936	5,4
TR14	S-6/12	ES12;ES35;ES37;ES38	1,471	83.155,006	13
TR15	S-6/12	UH29	1,471	83.155,006	13
TR16	S-6/12	ES17; ES43	1,471	83.155,006	13
TR17	S-6/12	ES29; ES30	1,471	83.155,006	13
TR18	S-03/09	ES01; ES44	0,919	43.612,765	8
TR19	S-6/12	ES04; ES21	1,471	83.155,006	13
TR20	S-6/12	ES14; ES33	1,471	83.155,006	13
			20,226	904.528,750	145

Quadro 6: Torres de resfriamento. Fonte: Autor e Adaptado de Caravela (1998).

Com os dados de projeto do sistema atual instalado, priorizando a capacidade de remoção de carga térmica, a vazão dos mesmos, comparada às necessidades exigidas, de forma a se obter respostas ao problema de pesquisa, assim como o consumo de água, energia e manutenção das torres.

O quadro 6, anteriormente apresentado, mostra os principais dados do atual sistema instalado, com capacidade frigorífica de 904.528,750 W, vazão disponível de 145 m³/h, com potência instalada de 20,226 kW.

4.3.1 Capacidade Instalada *versus* necessidade

Este tópico trata das relações existentes entre a capacidade do atual sistema de refrigeração instalado, relacionado às necessidades a que os equipamentos necessitam, conforme cálculos anteriormente já demonstrados.

Para obter a vazão e a capacidade frigorífica dos equipamentos de refrigeração instalados, foi considerada a temperatura de bulbo úmido de 25,6°C, e baseou-se no anexo A (Caravela, 1998) desse trabalho.

A remoção de carga de cada torre e vazão solicitada pelos equipamentos, está baseada na soma da necessidade individual de cada equipamento de solda ponto ou unidade hidráulica instalada a respectiva torre de resfriamento, seguindo o leiaute atual, conforme apêndice A.

O quadro 7, traz a relação dos principais dados de projeto necessários para dimensionamento e instalação de um sistema de refrigeração, comparando a capacidade instalada *versus* necessidade dos equipamentos que necessitam de remoção de calor por efeito Joule.

Equipamento	Capacidade Frigorífica [W]	Necessidade Remoção [W]	Vazão Torre [m ³ /h]	Vazão Necessária [m ³ /h]
TR04	30.528,936	9.518,712	5,4	1,364
TR06	52.335,318	9.518,712	8,0	1,364
TR07	52.335,318	28.218,282	8,0	4,044
TR08	52.335,318	28.556,137	8,0	4,092
TR09	52.335,318	19.037,425	8,0	2,728
TR10	30.528,936	6.470,668	5,4	0,927
TR11	30.528,936	19.037,425	5,4	2,728
TR12	30.528,936	23.627,853	5,4	3,386
TR13	30.528,936	33.746,007	5,4	4,836
TR14	83.155,006	28.218,282	13,0	4,044
TR15	83.155,006	2.977,589	13,0	0,427
TR16	83.155,006	14.109,141	13,0	2,022
TR17	83.155,006	19.037,425	13,0	2,728
TR18	43.612,765	6.470,668	8,0	0,927
TR19	83.155,006	14.109,141	13,0	2,022
TR20	83.155,006	19.037,425	13,0	2,728
Total	904.528,750	281.690,890	145,0	40,368

Quadro 7: Capacidade frigorífica X Necessidade de remoção. Fonte: Autor.

Analisando os resultados do quadro 7, vê-se que há um erro de dimensionamento no atual sistema de refrigeração instalado, comprovando-se desta forma, o problema de pesquisa, que aponta para possível erro de dimensionamento.

A primeira observação a ser feita sobre os resultados, está relacionado à defasagem da capacidade frigorífica instalada (904.528,750 W), contra a necessidade de remoção de carga térmica dos equipamentos (281.690,890 W), obtendo-se um resultado aproximado de capacidade instalada de 3,2 vezes superior à demanda exigida (320%). Outro fator analisado refere-se à vazão nominal das torres de resfriamento, onde se comprova também que a capacidade instalada (145 m³/h) está aproximadamente 3,6 vezes superior à necessidade dos equipamentos (40,368 m³/h). Esses resultados comprovam dispêndio de recursos técnicos e econômicos, seja pela baixa eficiência e/ou tecnologia aplicada, não correspondendo portanto, ao desempenho compatível esperado.

Conclui-se desta forma, que o trabalho de dimensionamento e proposta de um novo sistema alternativo de refrigeração, apresentará ganhos de eficiência em relação à atual instalação de refrigeração, uma vez que o atual sistema de refrigeração apresenta valor três vezes superior à necessidade do processo, o que representa proporcionalmente para a empresa, aumento de despesas desnecessárias de recursos materiais e financeiros além do que seria tecnicamente necessário.

4.3.2 Consumo de água de reposição das torres

A evaporação é calculada conhecendo-se a variação de umidade absoluta do ar da entrada à saída da torre, sendo que na prática adota-se um valor máximo de 1% da vazão de água de projeto. Outra perda a ser considerada, refere-se à perda de água por arrastamento, na faixa de 0,2% da vazão total de água.

Para este trabalho, está sendo considerado 0,88% em perdas por evaporação e 0,1% de perda por arraste, o que representa a melhor situação possível em caso de torres de resfriamento.

Para o cálculo do consumo de água, utilizou-se a equação 1, substituindo-se os valores de vazão do sistema atual (145 m³/h), e percentual de reposição de água (0,89%)

$$E_v = V * \rho \quad (1)$$

$$E_v = 145 * 0,89/100$$

$$E_v = 1,290 \text{ m}^3/\text{h}$$

Total de consumo água (evaporação e arraste) = 1,290 m³/h

Considerando que os equipamentos operem em média 10h00minh diárias durante 22 dias por mês, o consumo é de aproximadamente 284 m³ / mês de água. O custo de água para a empresa é de R\$4,50/m³, totalizando R\$1.278,00/mês.

4.3.3 Consumo de energia das torres

Conforme referencial bibliográfico, as torres de tiragem mecânica forçada, atualmente instaladas na indústria para remoção da carga térmica, possuem bomba centrífuga para circulação forçada de água e ventilador axial para circulação forçada do ar no interior do equipamento.

Conforme apresentado no quadro 6, o valor total consumido pelos equipamentos de refrigeração instalados é de 20,226 kW de potência, somados de acordo com especificações de projeto, obtidas pelo catálogo do fabricante das torres.

4.3.4 Custo de tratamento das torres

O tratamento da água refrigerante das torres é realizado para se evitar a formação de incrustações, controlar o desenvolvimento microbiológico, e minimizar os processos corrosivos. Para obter esse resultado, utiliza-se o emprego de método químico, pela utilização de produtos químicos, e físico, através da purga manual do circuito, sempre levando-se em consideração os efeitos ambientais e respectiva legislação de controle.

Conforme apresentado no referencial bibliográfico, Korper (2012) estima em R\$ 1.100,00 / mês o custo para cada 100 m³ de vazão das torres de resfriamento. Nos cálculos apresentados, o sistema atual possui 145 m³ instalado, portanto um custo de R\$ 1.595,00 / mês de tratamento de água.

4.4 SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS

A partir da análise do sistema atual, e comprovado não atender as expectativas de desempenho, foi criado o quadro 8, atribuindo valores de 1, 2 e 3

para as características baixo, médio e alto, respectivamente, para se realizar a seleção de equipamentos para proposta alternativa, sendo que a menor pontuação ao final, será o modelo a ser proposto para melhoria da eficiência do sistema de refrigeração. Os elementos de análise apresentados, e os valores atribuídos, estão baseados no referencial bibliográfico apresentado e de acordo com o anexo B (KORPER, 2012) desse trabalho.

Elemento de análise	Sistema semiaberto	Chiller condensador à água	Chiller condensador a ar
Incrustações internas	Alto	Baixo	Baixo
Manutenção em trocadores de calor e máquinas em geral	Alto	Baixo	Baixo
Custos operacionais envolvidos	Alto	Baixo	Baixo
Consumo de energia	Médio	Alto	Alto
Consumo de água	Alto	Alto	Baixo
Agressividade ao meio ambiente	Alto	Médio	Baixo
Investimento inicial	Baixo	Alto	Alto
Custo operacional e manutenção do sistema de refrigeração	Alto	Médio	Baixo
Paradas de máquinas	Alto	Baixo	Médio
TOTAL	24	17	14

Quadro 8: Comparações entre os sistemas de refrigeração. Fonte: Adaptado de Korper, 2012.

Conforme exposto no quadro 8, para o presente trabalho, o equipamento que apresenta melhores condições entre os elementos analisados, é o que apresenta sistema de refrigeração fechado, condensador a ar. Considerado fechado, portanto não evaporativo, apresenta como proeminência entre os demais equipamentos analisados (incluindo-se o atual sistema instalado), o baixíssimo consumo de água de reposição, baixa agressividade ao meio ambiente (tratamento químico), além da possibilidade de instalação em ambiente externo, o que vem ao encontro dos objetivos deste trabalho. Portanto, a instalação de circuito fechado, condensador a ar, apresenta o melhor desempenho técnico econômico, se comparadas as variáveis até o momento apresentadas, somadas à tecnologia e controle que esse sistema apresenta, compatíveis com o estado de arte em refrigeração industrial no momento.

4.4.1 Especificações técnicas do modelo

Definido o modelo a ser aplicado nesse trabalho, listam-se nesse item, as especificações técnicas mínimas que o mesmo deve atender.

Para dimensionar a capacidade frigorífica do equipamento, utilizou-se a equação 1 e se observou o resultado no quadro 7, onde o valor da carga térmica encontrado foi de 281.690,890 W. Este trabalho adotará um coeficiente 20% superior à necessidade, de maneira a garantir que futuras instalações possam ser incluídas à planta industrial, sem a necessidade de aumento da capacidade de refrigeração. Portanto será de 338.029,068 W (290.650,914 kcal/h) o valor considerado de capacidade frigorífica total a ser instalado.

A mesma metodologia para dimensionar a vazão necessária, foi aplicada, através das equações apresentadas, e verificando o valor final no quadro 7 que foi de 40,368 m³/h. Adotando-se o mesmo coeficiente 20% superior à atual demanda necessária, o valor de vazão considerado passa a ser de 48,442 m³/h para proposta a ser construída.

Outro parâmetro de projeto considerado, está relacionado à temperatura da água fria do sistema, que conforme bibliografia apresentada, o equipamento deve ter capacidade de reduzir a temperatura de 35°C para 29°C ou inferior.

4.4.2 Proposta Comercial (Análise)

A partir das mínimas especificações técnicas apresentadas, fez-se então a busca de produtos existentes no mercado, que atendam às necessidades.

Como alternativa de melhoria de eficiência do sistema, foi criado quatro possíveis propostas conforme o apêndice B, divididas por proximidade dos equipamentos na planta industrial, para posterior ser solicitado propostas orçamentárias para aquisição de equipamentos que atendam às necessidades.

A empresa em questão, onde se desenvolveu o trabalho, adota como regra na aquisição de um novo item, ser necessária a escolha de, no mínimo, três fornecedores.

As propostas comerciais recebidas apresentam maior valor de R\$ 262.000,00 e menor valor de R\$ 173.000,00 para equipamentos com capacidade variando de 34.890,21 W (30.000 kcal/h) a 348.902,12 W (300.000 kcal/h), conforme quadro 9, sendo os valores dos equipamentos orçados com fabricantes baseados no

apêndice B, possibilitando atender a capacidade exigida com menor valor de mercado.

Fornecedor	Proposta 1	Proposta 2	Proposta 3	Proposta 4
Empresa A	R\$ 247.400,00	R\$ 231.900,00	R\$ 189.200,00	R\$ 183.000,00
Empresa B	R\$ 262.000,00	R\$ 247.000,00	R\$ 213.000,00	R\$ 189.500,00
Empresa C	R\$ 249.000,00	R\$ 232.000,00	R\$ 201.000,00	R\$ 173.000,00

Quadro 9: Valor de equipamentos de acordo com propostas para melhoria. Fonte: Autor.

4.4.3 Proposta de melhoria

Observando-se a distribuição dos equipamentos na planta através do apêndice A e os valores comerciais conforme quadro 9, foi adotado como a melhor alternativa a proposta 2, com a instalação de dois chiller com capacidade de 174.451 W (150.000 kcal/h).

Tal decisão foi tomada em razão das características técnicas que os sistemas de capacidade superior a 100.000 W de capacidade possuem, principalmente relacionados à duplo circuito de refrigeração (50% - 50%), o que proporcionará maior economia, confiabilidade e segurança nas operações presentes, pois o equipamento pode operar a 50% da capacidade instalada, reduzindo, desta forma a capacidade da unidade dentro do set-point desejado. Em consequência, o consumo, assim como no caso de falha que venha a ocorrer em um dos circuitos, não compromete toda operação da planta a que os sistemas estão instalados, somados à perda de carga em tubulação, que um único equipamento estaria sujeito. O novo leiaute, com a localização e distribuição dos equipamentos na planta industrial, é apresentado no apêndice C desse trabalho.

4.4.4 Análise do investimento

Este indicador permite a análise da viabilidade da proposta, possibilitando comparar o investimento a ser realizado com os custos do atual sistema em operação.

O quadro 10, traz um resumo da análise de investimentos utilizada, onde este trabalho adota o indicador de Payback para avaliar o retorno do investimento, comparando o valor do equipamento a ser adquirido *versus* as despesas relacionadas a consumo de água e tratamento químico do atual sistema instalado

(não foi levado em consideração dados de operação, manutenção e produtividade para cálculo).

Custo Tratamento químico Mensal [R\$]	Custo Reposição de Água Mensal [R\$]	Custo Aquisição do Equipamento [R\$]	Períodos para Payback [Meses]
1.595,00	1.278,00	189.200,00	65,85

Quadro 10: Análise de Payback - Valor do equipamento *versus* custo das torres. Fonte: Autor.

O valor do equipamento foi obtido através do levantamento de orçamento junto aos fornecedores, sendo o valor final exposto no quadro 9.

4.4.5 Características principais do equipamento e componentes

O chiller opera em um ciclo frigorífico, produz água gelada e todo o calor retirado da água no evaporador somado ao gerado pelo compressor precisa ser dissipado no condensador, onde a troca de calor com o ambiente e resfriamento do refrigerante que retorna ao evaporador, completa o ciclo.

De posse dos resultados citados anteriormente, descreve-se as principais características do sistema de refrigeração proposto para melhoria da eficiência.

Capacidade nominal de refrigeração: 174.451,060 W (150.000 kcal/h);

Fluido de trabalho: água;

Faixa de ajuste da temperatura do fluido de 5°C a 25°C;

Vazão nominal do fluido de 40 m³/h;

Pressão nominal do fluido de 30 m.c.a;

Potência elétrica instalada de 56,4 kW;

Compressores: podem ser considerados como os principais equipamentos que compõem sistemas de compressão de vapor. O modelo selecionada é composto por 2 compressores hermético rotativo tipo SCROOL, eficiência de 5 a 10 % maior que um compressor alternativo de igual capacidade com operação suave e silenciosa;

Condensador: com finalidade de liberar para o ambiente o calor absorvido pelo fluido refrigerante no evaporador, o processo de condensação a ar no modelo selecionado, dá-se ao longo do trocador de calor, do tipo colmeia, construída com aletado de alumínio naval de alta resistência, facilitando assim uma alta vazão de ar

por minuto pela ação de ventiladores de alto rendimento, proporcionando uma condensação adequada;

Fluido refrigerante: é o composto responsável por absorver calor em um ciclo térmico. O refrigerante utilizado no modelo proposto para a instalação, trata-se do refrigerante comercialmente conhecido como R22, com possibilidade de instalação de fluido ecológico;

Evaporador: tem a função de retirar calor do meio a ser resfriado, ou seja, na aplicação desse trabalho, extrair calor da água que está sendo utilizada para remoção da carga térmica dos equipamentos de solda ponto ou unidades hidráulicas. É também chamado de serpentina e o modelo proposto é composto por feixe de tubos em cobre, construídos em forma compacta;

Dispositivos de segurança, dotados de termostato e pressostato acoplados a central eletrônica de controle;

Sistema de inversão de trabalho dos 02 (dois) compressores, para que um não tenha mais desgaste do que o outro;

Redução de capacidade da unidade. Dentro do set-point somente trabalha 50% da máquina, fazendo ciclo entre os compressores, sendo que se a temperatura sair 2°C acima do set-point por 02 minutos entra em carga o segundo compressor;

Indicação de temperatura de entrada e saída;

Diagnóstico das principais falhas;

Sonoriza e indica falhas por alarme;

Registra histórico de falhas por hora, dia, mês e ano;

Monitora partidas excessivas do compressor;

Dimensões externas (A x L x P): 2.150mm x 1.180mm x 3.140mm.

Como resultado das características citadas, a figura 12 traz a concepção de um chiller, de acordo com a proposta alternativa apresentada.

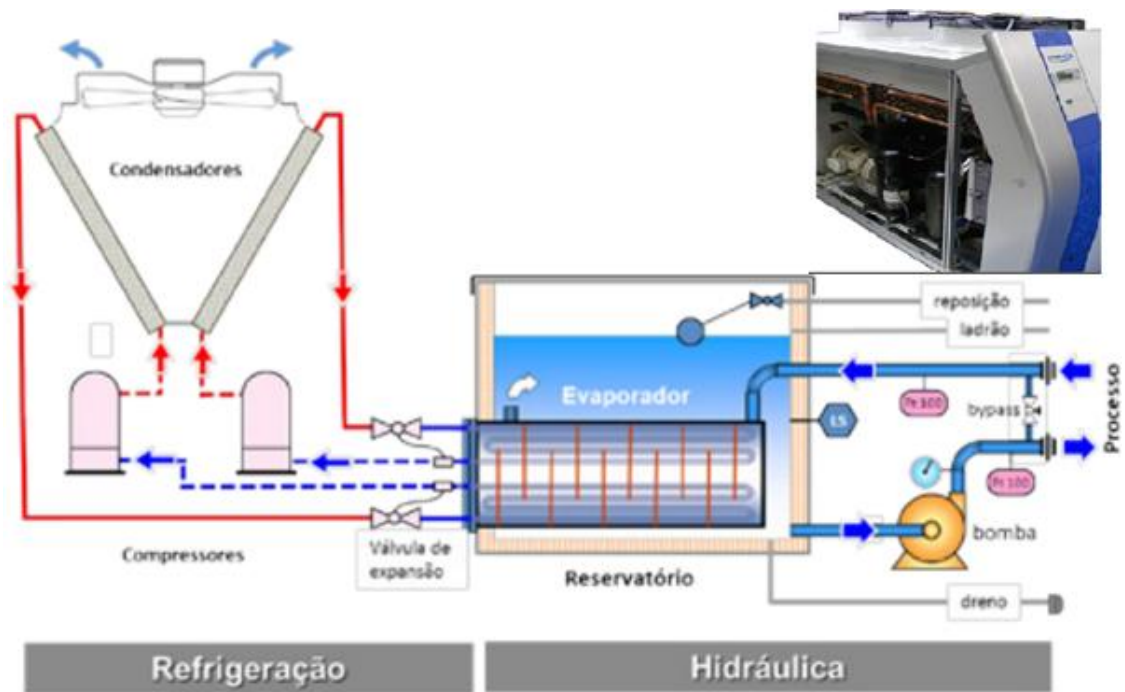


Figura 12: Modelo de chiller proposto. Fonte: Empresa A.

5 CONCLUSÕES

A proposta desse trabalho, foi a análise situacional de um sistema de refrigeração instalado para remoção da carga térmica de equipamentos de solda a ponto e unidades hidráulicas, onde se realizaram cálculos de carga térmica gerada, comparando-as à capacidade frigorífica do atual sistema instalado. Confirmando-se a discrepância técnica e econômica, partiu-se para proposta alternativa e demais resultados conforme objetivos propostos.

Através do referencial teórico, percebeu-se a grande diferença e evolução tecnológica dos sistemas de refrigeração, principalmente relacionados à utilização de água, tratamento químico e confiabilidade que os equipamentos de maior tecnologia e qualidade apresentam. Por meio da pesquisa bibliográfica, compreendeu-se o quanto é importante ter ciência do que está sendo analisado, pois quando diversas variáveis estão envolvidas no processo, qualquer decisão que não tenha embasamento teórico aliado à prática, pode representar uma grande variação no resultado final, em consequência, o descrédito do trabalho realizado.

Oteve-se assim, a partir do referencial teórico e dados de utilização dos equipamentos na planta industrial, toda informação necessária, para realizar de forma correta o dimensionamento de cada equipamento envolvido nesse trabalho.

O resultado da capacidade frigorífica instalada é superior a três vezes a necessidade, assim como a vazão do fluido refrigerante, comprovando-se erro de dimensionamento e dispêndio de recursos, respondendo ao objetivo inicial proposto. Passou-se, então, para a busca de proposta alternativa a ser utilizada entre as possibilidades apresentadas no referencial teórico.

Com essa temática, o referido trabalho determinou os requisitos mínimos que os equipamentos a serem incluídos em proposta alternativa devem possuir e apresentou como melhor proposta, a instalação de circuito de refrigeração fechado, condensação a ar, uma vez que possibilita:

- Instalação externa à fábrica, o que elimina o calor gerado no ambiente de fabricação;
- Consumo de água de reposição considerado baixíssimo (circuito fechado);
- Baixa agressividade ao meio ambiente, pois tratando-se de circuito fechado, não há necessidade de purga da água refrigerante e posterior tratamento químico;

- Tecnologia de acordo com o estado da arte, uma vez que permite controle da operação e *set point* com controle automático de acordo com a necessidade de carga.

A avaliação econômica foi realizada, comparando-se o valor de aquisição dos equipamentos propostos, com os custos que o atual sistema apresenta (reposição de água e tratamento químico). Com Payback de 66 meses para retorno do investimento, demonstrou-se a viabilidade da instalação.

Como resultado do trabalho, recomenda-se a substituição das dezesseis torres de resfriamento por dois chillers condensador a ar, representando melhoria da eficiência e conseqüente redução de despesas e recursos técnicos e econômicos.

Assim, o desenvolvimento desse trabalho proporcionou um grande aperfeiçoamento profissional, oportunizando aplicar parte da teoria assimilada durante a graduação, de uma forma prática, no estudo e dimensionamento de sistemas de refrigeração, alinhados à área de engenharia, onde as empresas buscam na excelência de projetos, se manterem competitivas no mercado, evitando custos desnecessários e possibilitando que ambas as partes desenvolvam-se e cresçam juntas.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, enfatizo a importância de se realizar de forma mais abrangente a questão de análise de viabilidade econômica, abrangendo todos os fatores possíveis relacionados a esta instalação, tais como: questão ambiental, custos específicos de manutenção de equipamentos, bem como dar andamento a este trabalho na questão técnica de dimensionamento da tubulação, de acordo com a necessidade de cada equipamento, fazendo com que a instalação seja dimensionada exatamente para a necessidade individual da fonte geradora de calor.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APPOLINÁRIO, Fabio. **Dicionário de metodologia científica. Um guia para a produção do conhecimento científico.** São Paulo: Editora Atlas, 2004.

BARROS, Aidil; LEHFELD, Nide. **Fundamentos de metodologia.** São Paulo: Editora McGraw-Hill, 1989.

BRANCO, Hideraldo Luiz Osorio. **Avaliação de capas de eletrodos utilizadas na soldagem por resistência de chapas galvanizadas automotivas.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Curitiba, 2004. Disponível em: <http://www.pgmecc.ufpr.br/dissertacoes/dissertacao_042.pdf>. Acesso em: 29 fev. 2012.

CARAVELA. **Torres de Resfriamento de Água. Índice catalogo 98.** Santana da Parnaíba – SP. 1998.

COSTA, Ennio Cruz da. **Física aplicada à construção; conforto térmico.** 3. Ed. São Paulo: Editora Blücher, 1974.

FERZOLA, João Farret. **Análise global de um sistema de refrigeração industrial.** 2010. Monografia (Conclusão de curso de Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/27739/000766480.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 05 mar. 2012.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de pesquisa.** 4. Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

HATAMI Houman. **Rexroth – Bosch Group. Coletânea de fórmulas – Hidráulica.** 2012. Disponível em: <http://www.boschrexroth.com/business_units/bri/de/downloads/hyd_formelsammlung.pdf>. Acesso em 14 ago. 2012.

KORPER. **A tecnologia em favor da natureza.** Disponível em: <<http://www.korper.com.br>>. Acesso em 15 jun. 2012.

LINSENGEN, Irlan Von. **Fundamentos de Sistemas Hidráulicos – 2 Ed. Revisada.** Editora da UFSC; Florianópolis, 2003. 399p – Serie Didática.

MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem e Técnicas Conexas: Processos.** Disponível em: <http://www.4shared.com/office/zxX8e9yp/Soldagem_e_Tcnicas_Conexas.html>. Porto Alegre: Editado pelo autor. 1996. Acesso em 05 mar. 2012

MECALOR, News. **Por que uma UMAG 30 kW consome apenas 8 kW?**. Disponível em: <<http://www.mecalor.com.br/esp/noticias/noticia.php?edicao=&materia=84>>. Acesso em: 12 jul. 2012

MENEZES, Milton Serpa. **Refrigeração e Ar Condicionado**. Faculdade de Engenharia e Arquitetura – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo - RS, 2010. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABi9IAD/apostila-refrigeracao-ar-condicionado-passo-fundo#>>. Acesso em: 29 fev. 2012.

MUSTAFA, George de Souza; **Reutilização de efluentes líquidos em indústria petroquímica**. 1998. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Química) – Universidade Federal da Bahia, Bahia, 1998. Disponível em: <http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/dissertacoes/dis_george_de_s_mustafa.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2012.

NASCIMENTO, Vinicius Castanheira do; **Seleção de parâmetros de soldagem a ponto por resistência, baseado na medição da resistência elétrica entre chapas**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia Uberlândia, 2008. Disponível em: <http://www.btd.ufu.br/tde_arquivos/1/TDE-2009-05-21T165125Z-1518/Publico/Vinicius.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2012.

PARKER - **Tecnologia Hidráulica Industrial - Apresentação M2001-2 BR**. 2000. 1 CD-ROM

PEDROSA, Lontever Domingues. **Hidráulica Manual de Consulta**. Manual técnico – sistema hidráulico. 2006. Fluipress Automação Ltda. 2006. Disponível em: <<http://www.fluipress.com.br/downloads/Manual-Hidraulica.pdf>>. Acesso em 29 fev. 2012.

PIRANI, Marcelo José. **ENG176 Refrigeração e ar condicionado**. Apostila. Universidade Federal da Bahia – Departamento de Engenharia Mecânica, Bahia, 2012. Disponível em: <http://www.daem.ufba.br/paginas/refrigeracao_ar_condicionado.htm>. Acesso em 29 fev. 2012.

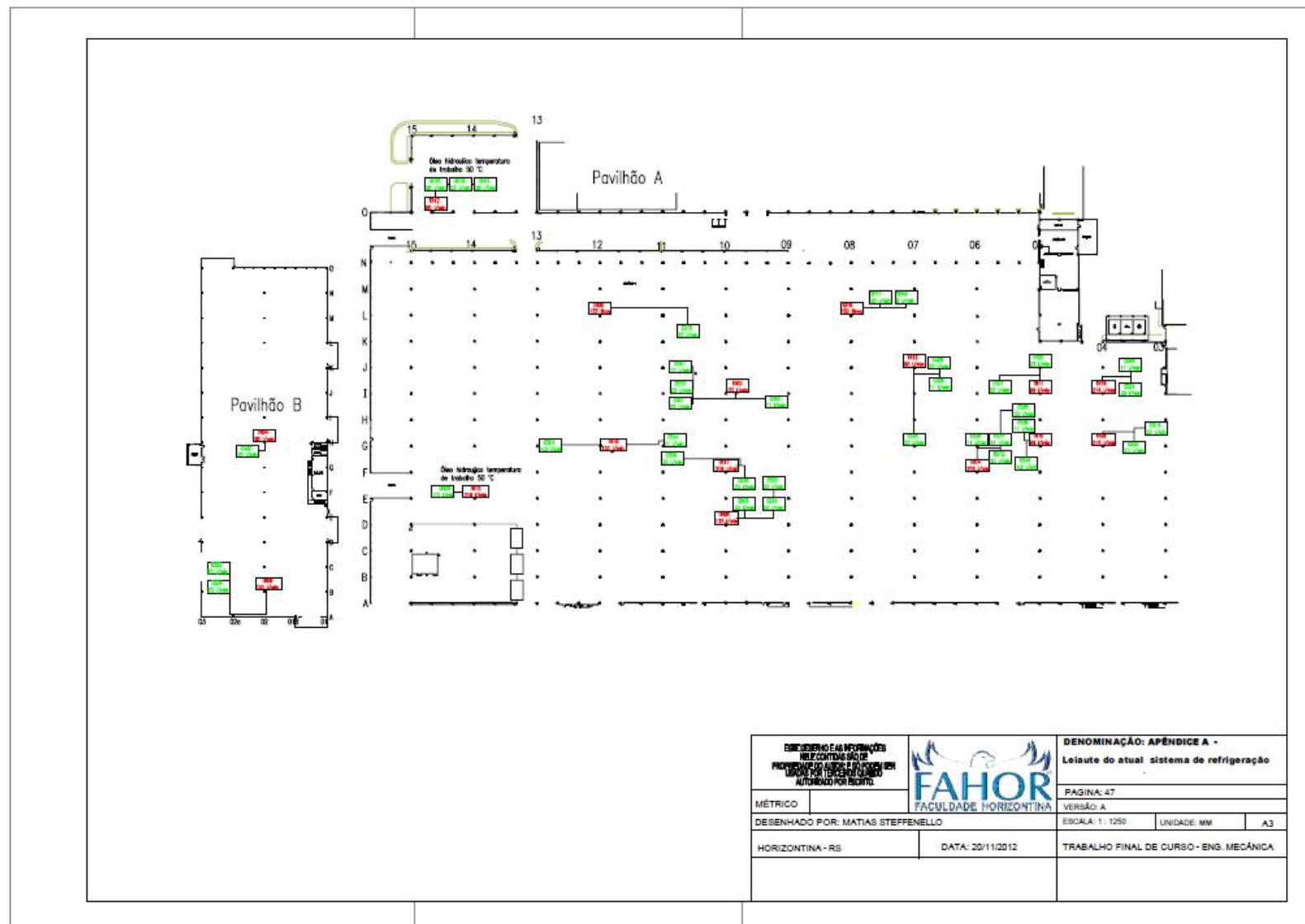
SAREV, Allan Sven; **Máquinas Térmicas I Características e tratamento da água para torres de resfriamento**. Apostila. Engenharia Mecânica – Unijuí, Panambi, RS 2012. Disponível em: <<http://www.mecanicageral.hd1.com.br/03.Categorias/M%C3%A1quinas%20T%C3%A9rmicas/Arquivos/04.Caracter%C3%ADsticas%20e%20Tratamento%20da%20%C3%81gua%20para%20Torres%20de%20resfriamento.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2012.

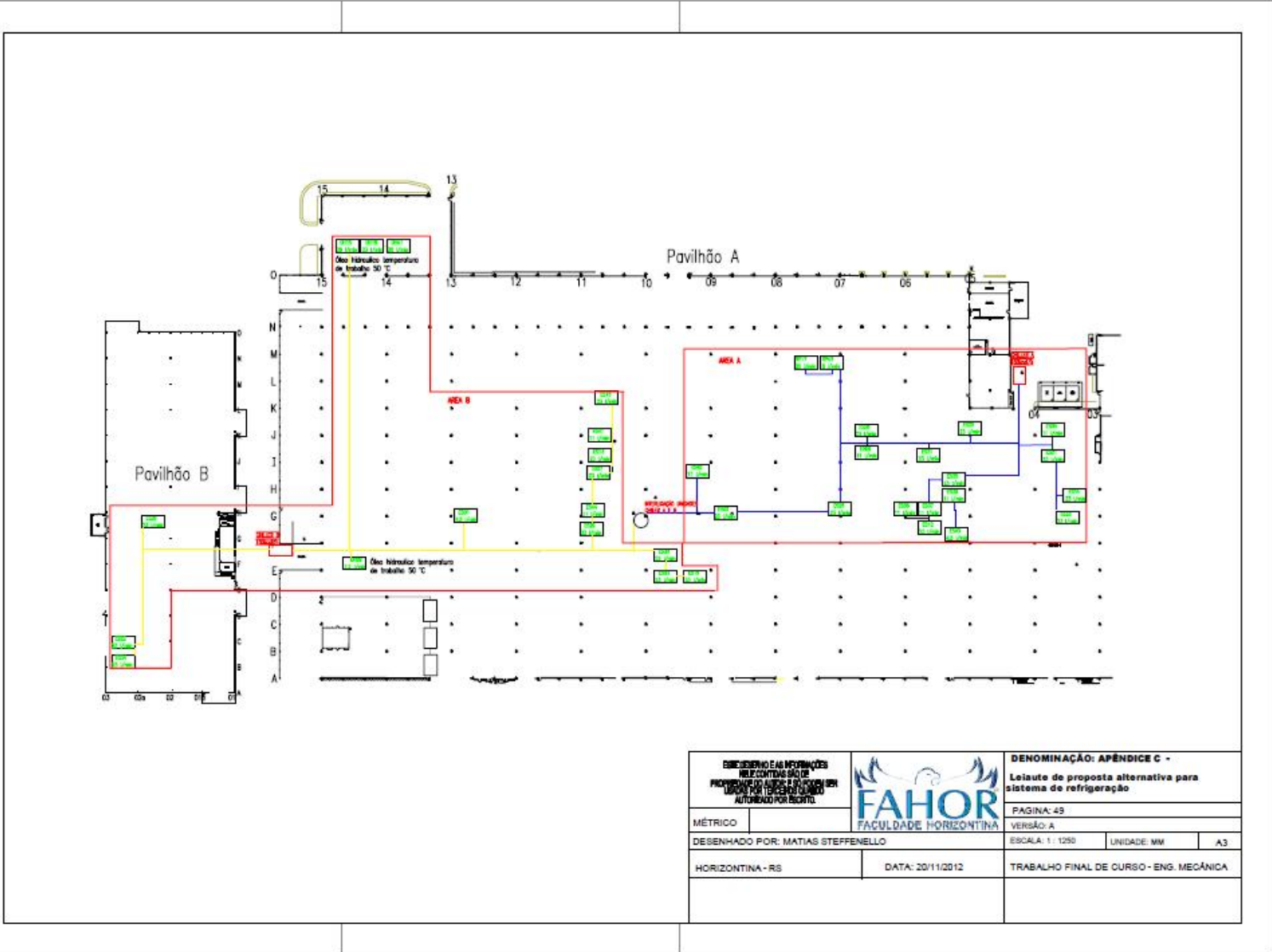
TAUCHEN, Joel. **Como classificar as pesquisas com base em seus objetivos**. Metodologia da Pesquisa. Disponível em: <http://www.joel.pro.br/aulas/metodologia/classificacao_pesquisas.htm> - Acesso em 21 mar. 2012.

TROVATI, Joubert. Tratamento de água - Sistemas de resfriamento. Araraquara, SP 2004. Disponível em: <www.ebookbrowse.com/torre-caldeira-tratamento-agua-pdf-d354829687>. Acesso em 12 jul. 2012.

WAINER, Emilio; BRANDI Sergio Duarte; MELLO, Fabio Décorte Homem de; **Soldagem processos e metalurgia**. Ed. Edgard Blücher LTDA. 2004. São Paulo.

APÊNDICES/ANEXOS





ANEXO A: Capacidade de refrigeração dos modelos de torre instaladas.

Tabela 1 em tonelada de refrigeração (TR)
(TR = 3.750 Kcal/h - valores válidos para resfriar água de 35°C para 29,5°C)

HA	Nível de ruído industrial - Torres com ventilador centrífugo - Silenciosas com abafador					Torres silenciosas - Ventilador com 2/3 da velocidade industrial					Supersilenciosas - Ventilador com 1/2 da velocidade industrial				
	MOTOR	24	25,5	26,7	27,8	MOTOR	24	25,5	26,7	27,8	MOTOR	24	25,5	26,7	27,8
3/3	0,5/4	8	7	5	4	0,5/6	6	4,5	3,3	2,7	0,5/8	4	4	3	2
6	0,5/4	10	9	7,5	6	0,5/6	7	6	5	4,0	0,5/8	5	5	4	3
9	0,5/4	11	10	8,5	7	0,5/6	8	7	5,7	4,7	0,5/8	7	5	5	4
6/3	1/4	13	12	9,5	7	0,5/6	9	8	6,5	4,7	0,5/8	7	6	5	4
6	1/4	18	15,4	13,5	11	0,5/6	12	10,3	9,0	7,4	0,5/8	9	8	7	6
9	1/4	20	17,5	15,0	13	0,5/6	13	11,7	10,0	8,7	0,5/8	10	9	8	7
12	1/4	21,5	18,7	16,4	14	0,5/6	14,3	12,5	11,0	9,0	0,5/8	11	10	9	8
15/3	1,5/6	30	26	20	17	1/8	20	17,3	13,4	11,4	1/*	15	13	10	9
6	1,5/6	40	35	30	24	1/8	27	23,3	20,0	16	1/*	20	18	15	12
9	2/6	44	39	34	28	1/8	30	26	22,5	19,0	1/*	22	20	17	14
12	2/6	48	42	37	31	1,5/8	32	28	24,7	21	1/*	24	22	19	16
25/3		63	54	46	37	3/8	42	36	30,6	25	2/*	32	27	23	20
6	3/6	69	61	53	43	3/8	46	40,5	35,3	29	2/*	35	31	27	22
9	4/6	75	66	58	48	3/8	50	44	38,7	32	2/*	40	33	30	24
12	4/6														
31/9	5/6	98	86	75	62	4/8	65	57	50,0	42	2/*	49	43	38	31
12	7,5/6	106	93	82	69	5/8	70	62	54,7	46	2/*	53	47	41	35

OBSERVAÇÕES: 1) Torre standard produz 85db (A) a 1m de distância
2) Torre silenciosa ou silenciosa com abafador 76/75db (A) a 1m
3) Torre supersilenciosa: 65 db (A) a 1m

ANEXO B: Comparação circuitos semiaberto e circuitos fechado condensador à ar e água.

ASSUNTO: COMPARAÇÕES CIRCUITO ABERTO / FECHADO (AR E ÁGUA)			
ELEMENTO DE ANÁLISE	CIRCUITO SEMIABERTO (TORRE)	CIRCUITO FECHADO	
		A ÁGUA (SÉRIE FC)	A AR (SÉRIE FCA)
Conceito básico	A água de processo que circula nos trocadores de calor e máquinas é a mesma que entra em contato direto com ar no interior da torre de resfriamento.	A água de processo no circuito fechado passa no interior da serpentina sem contato com o ar. O resfriamento é feito através do resfriamento externo da serpentina com o ar ou água.	
Incrustações internas	A incrustação é alta devido ao alto teor de sais dissolvidos. A sujeira do ar, presença de algas, proliferação de bactérias e fungos são contaminantes presentes na água e a concentração é alta devido à evaporação da água.	É baixa (praticamente nula) por não haver contaminação da água, não há concentração de sais.	
Manutenção em trocadores de calor e máquinas em geral	É alta, pois a renovação das impurezas e incrustações depende da desmontagem dos trocadores de calor ou limpeza química que em longo prazo trazem danos aos equipamentos. A limpeza tem que ser feita nos locais de produção provocando danos a pisos e ao ambiente devido à sujeira e componentes químicos. É necessário parar os equipamentos de produção para fazer a limpeza.	É muito baixa pois trocadores de calor trabalham sempre limpos. A manutenção dos resfriadores é feita fora das áreas de produção não causando assim qualquer interferência com as áreas produtivas.	
Custos operacionais envolvidos	Altos. - Custo de mão-de-obra para limpeza. - Custo de parada de máquinas. - Vida útil das máquinas é comprometida quando trabalham com temperaturas acima do normal. - Custo de tratamento de água. - Custo de água. - Custo para limpeza de tanques, bombas e tubulações. - Vida útil menor de todos os componentes do sistema de resfriamento.	Baixos pelos motivos opostos.	
Consumo de energia	Apesar da potência instalada ser menor, com trocadores sujos os ventiladores permanecem ligados por mais tempo. (é a menor potência instalada).	São bastante eficientes, pois utilizam água, mais eficiente que o ar (aproximadamente 40% a mais que Torre e 20% a menos que os resfriadores a ar).	Utilizam o ar como elemento de resfriamento auxiliado pela evaporação de água pulverizada junto à serpentina (80% mais que torre e 30% a mais que CF à água).
Consumo de água	Alta, devido à evaporação e purga para garantir a qualidade da água e evitar concentração de sais. Sendo evaporação 0,9 m³/h e purga 0,22 m³/h (depende da qualidade da água).	Alta, se comparada ao resfriador de CF a ar e menor do que a Torre convencional (20% a 30% menos que uma torre).	Muito baixa, a perda de água é apenas devido à pulverização da água que é acionada em alguns momentos (economia de 98,3% comparada à Torre e 97,8% comparada ao FC).
Agressividade ao meio ambiente	Alta, devido à água de purga que além das impurezas contém produtos químicos para tratamento (algecidas, fungicidas, anti-incrustantes, anti-corrosivos, etc).	Baixo, pois a água de recirculação admite trabalhar com altas taxas de concentração com pouco ou nenhum tratamento químico.	Não geram efluentes, é o melhor do ponto de vista de agressão ao meio ambiente.
Investimento inicial	Baixo, torres de resfriamento são equipamentos muito simples e baratos.	Alto, comparado a torres de resfriamento (3,5 a 5 vezes mais que uma Torre).	Alto, é o ao mais caros de todos (6 a 7 vezes o preço de uma torre) e 40% à 70% a mais de um resfriador CF à água.
Custo operacional e e manutenção do sistema de resfriamento	No equipamento é simples e barato, aproximadamente R\$ 410,00 / mês para um equipamento de 100 m³/h). O custo é alto para o tratamento químico (aproximadamente R\$ 1.100,00 / mês). Custo de água alto, aproximadamente R\$ 1.500,00 à R\$ 3.500,00 por mês dependendo do local e qualidade da água.	No equipamento é simples e barato (aproximadamente R\$ 460,00 / mês para 100 m³/h). Baixo para o tratamento químico (às vezes pode ser dispensado) média R\$ 100,00 / mês.	No equipamento é simples, porém delicado (aproximadamente R\$ 680,00 /mês para equipamento com 100 m³/h). Não há necessidade de tratamento químico. Custo de água muito baixo (aproximadamente R\$ 80,00 / mês).