

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANDRÉ LUIS FEDALTO

DIMENSIONAMENTO DE UM TERMOACUMULADOR DE ÁGUA GELADA PARA
UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO VISANDO A DIMINUIÇÃO DOS GASTOS COM
ENERGIA ELÉTRICA

Monografia apresentada ao Departamento de
Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
como parte dos requisitos para obtenção do
diploma de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Otto Beyer

Porto Alegre
2010



Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Escola de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

DIMENSIONAMENTO DE UM TERMOACUMULADOR DE ÁGUA GELADA PARA UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO VISANDO A DIMINUIÇÃO DOS GASTOS COM ENERGIA ELÉTRICA

ANDRÉ LUIS FEDALTO

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE ENGENHEIRO MECÂNICO APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**Prof. Paulo Otto Beyer
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica**

BANCA EXAMINADORA:

**Prof. Dr. Paulo Smith Schneider
UFRGS / DEMEC**

**Prof. Dr. Pedro Barbosa Mello
UFRGS / DEMEC**

**Prof. Dr. Sérgio Luiz Frey
UFRGS / DEMEC**

**Porto Alegre
2010**

FEDALTO, A. L. **Dimensionamento de um termo acumulador de água gelada para um sistema de refrigeração visando a diminuição dos gastos com energia elétrica** 2010. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

RESUMO

Este trabalho trata em dimensionar um termo acumulador de água gelada para o sistema de refrigeração da fábrica Pirelli – Gravataí. O sistema de refrigeração da empresa é responsável por manter os equipamentos da fábrica e o ambiente interno da mesma numa determinada temperatura para que não haja danos nos equipamentos ou no processo de produção. O objetivo é dimensionar um reservatório que durante o horário fora de ponta acumularia água gelada gerada pelos *chillers* e durante o horário de ponta, os *chillers* possam ser desligados, utilizando a água gelada acumulada para resfriar equipamentos e ambientes. Com o trabalho proposto a empresa economizaria na média de 24% do valor gasto com energia durante o ano e a redução de custos seria de 27% nos meses mais quentes.

Palavras chaves: Refrigeração, água gelada, reservatório, horário de ponta, *chillers*, energia elétrica.

FEDALTO, A. L. **Dimensionamento de um termo acumulador de água gelada para um sistema de refrigeração visando à diminuição dos gastos com energia elétrica** 2010. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ABSTRACT

This work is sizing a cold water thermo accumulator for the cooling system of the Pirelli Gravataí factory. The cooling system of the company is responsible for maintaining the plant equipment and internal environment in a given temperature, so there is no damage to the equipment or production process. The goal is to scale a tank which during off peak hours it will accumulate cold water, generated by chillers, and during peak hours, the chillers can be turned off using the accumulated cold water to cool equipment and environments. With the proposed work the company would save on average 24% of the amount spent during the year with energy and cost reduction would be 27% in the warmer months.

Key-words: Refrigeration, Cold water, tank, peak hours, chillers, electricity energy.

SUMÁRIO

RESUMO	III
ABSTRACT	IV
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	1
2.1 TIPOS DE ARMAZENAMENTO.....	1
2.2 MODELOS DE TANQUES DE ARMAZENAGEM.....	2
2.3 TROCAS TÉRMICAS.....	2
3. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	2
3.1 ANÁLISE TARIFÁRIA.....	3
3.2 SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO	3
3.3 DISTRIBUIÇÃO ANUAL DE DEMANDA.....	4
3.3.1 DEMANDA MÉDIA DE REFRIGERAÇÃO	4
3.3.2 DEMANDA MÁXIMA DE REFRIGERAÇÃO	4
3.4 CONTROLES	6
4. PROBLEMAS EXPERIMENTAIS.....	6
5. SISTEMA PROPOSTO	7
5.1 FUNCIONAMENTO NO HORÁRIO DE PONTA	8
5.2 FUNCIONAMENTO NO HORÁRIO FORA PONTA.....	8
6. DIMENSIONAMENTO.....	8
6.1 VOLUME DO TANQUE SEM PERDAS	8
6.2 VOLUME DO TANQUE CONSIDERANDO AS TROCAS TÉRMICAS	8
6.2.1 PAREDES SIMPLES.....	8
6.2.2 PAREDES COM ISOLAMENTO TÉRMICO	9
6.3 ESTRUTURA DO TANQUE.....	10
6.4 RAZÕES DE VAZÃO.....	10

7. SOLUÇÕES ENCONTRADAS PARA O FUNCIONAMENTO DOS CHILLERS	10
7.1 DIÂMETROS DE TUBULAÇÕES	12
7.2 DIMENSIONAMENTO DOS DIFUSORES.....	12
7.3 MATERIAIS NECESSÁRIOS	13
8. CÁLCULO DO RETORNO DE INVESTIMENTO.....	14
8.1 ANÁLISE DOS GASTOS ENERGÉTICOS.....	14
8.2 ANÁLISE DOS INVESTIMENTOS	15
8.3 ANÁLISE DE RETORNO.....	15
9. RESULTADOS E ANÁLISES.....	15
10. CONCLUSÕES	16
11. REFERÊNCIAS.....	17
12. BIBLIOGRAFIA.....	17
13. APÊNDICE.....	18
14. ANEXO.....	18

1. INTRODUÇÃO

Os altos gastos com energia elétrica vêm fazendo com que as indústrias repensem maneiras mais inteligentes de usufruir desse insumo.

Os gastos com energia elétrica da empresa Pirelli – Gravataí são causados, principalmente, pelo sistema de refrigeração que é responsável por manter os equipamentos da fábrica e o ambiente interno da mesma numa determinada temperatura para que não haja danos nos equipamentos ou no processo de produção.

É possível identificar um aumento nos gastos da fábrica por causa da refrigeração nos meses quentes de verão devido à troca térmica que ocorre entre as máquinas e o ambiente ou entre o ambiente climatizado e o externo.

Este trabalho tem o objetivo de dimensionar um reservatório que durante o horário fora de ponta acumularia água gelada gerada pelos *chillers*. Durante o horário de ponta, das 18 às 21 horas, em que o preço da energia elétrica é mais cara, os *chillers* possam ser desligados, utilizando a água gelada acumulada para resfriar equipamentos e ambientes. Isso ocasionaria uma diminuição nos gastos com energia elétrica para a empresa, pois atualmente ela paga 60% a mais no consumo da energia elétrica e 500% a mais na demanda no horário de ponta.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para consolidar este trabalho será preciso desenvolver alguns conceitos relacionados a armazenamento de energia térmica, desde os tipos de armazenamento existentes no mercado, os modelos de tanques para acumulação, os controles existentes e o treinamento para os operadores.

2.1 TIPOS DE ARMAZENAMENTO

Existem várias maneiras de se armazenar energia térmica, porém as maneiras mais utilizadas são produzindo gelo ou água gelada e armazenado em tanques. As duas maneiras apresentam vantagens e desvantagens, de forma que é necessária uma avaliação técnica para a implantação de cada caso.

A termo acumulação na forma de gelo trabalha sobre o calor latente do mesmo, pois a água possui um alto valor latente para a fusão, em torno de 334 kJ/kg numa temperatura de 0°C, de acordo com ASHRAE (2003). Para se produzir gelo é necessário um equipamento próprio para esse fim, que trabalhe com o gás refrigerante a uma temperatura de evaporação de -10°C.

A termo acumulação de água gelada utiliza o calor sensível do fluido, 4,18 kJ/kg.K no caso da água, de acordo com o ASHRAE (2003). No caso de haver uma diferença de temperatura de envio e retorno da água de 7°C é necessário armazenar quase 12 vezes mais água do que gelo.

Normalmente, os custos para a aquisição de máquinas de refrigeração capazes de produzir gelo são maiores que os custos para a aquisição de uma máquina que produz água gelada, porém, por possuir uma capacidade menor de armazenar energia na forma sensível (considerando uma diferença de 7°C), os tanques de armazenamento de água gelada são muito maiores. Analisando esses itens, conclui-se que o custo final de instalação acaba sendo menor se utilizar gelo como forma de acumular frio ao invés de água gelada, segundo ANDREPONT (2004).

A manutenção é um aspecto importante que deve ser levado em conta. Em alguns locais onde esses acumuladores são implantados não há equipe de manutenção especializada a disposição. Nesses casos, quando há uma manutenção a ser feita, é acionada uma empresa terceirizada para fazer o serviço. Isso pode acarretar custos ou um problema maior se o defeito ocorrido for crítico. É por esse motivo que em alguns locais está se optando pela água gelada, pois a manutenção é muito menor porque não existem dilatações anômalas capazes de romper tubos como no gelo.

2.2 MODELOS DE TANQUES DE ARMAZENAGEM

Existem vários modelos de tanque de armazenamento de fluidos, que podem ser subterrâneos, parcialmente enterrados ou totalmente dispostos ao ambiente. Outro aspecto é o material com que eles são projetados - podem ser de concreto, de aço carbono ou de fibra.

Os tanques projetados para ficarem completamente ou parcialmente enterrados têm por objetivo a redução de custos com o isolamento térmico e com material para estrutura do tanque, pois o subsolo funciona como um isolante térmico natural e também atua como um absorvedor de tensões axiais. Os tanques que ficam totalmente expostos ao ambiente são preferidos quando não é possível escavar no terreno ou quando se quer ter um controle visual maior de infiltrações.

Os tanques feitos de concreto são bastante usados na indústria pela facilidade de construção, pelo baixo preço dos materiais e pelo concreto ser um baixo condutor de energia térmica. Outro modo bastante usado para armazenar água gelada são os tanques industriais de aço carbono, sua praticidade e baixa manutenção são pontos positivos na escolha desse tipo de tanque, porém o custo de aquisição e a necessidade de isolá-lo com um material isolante térmico são pontos que muitas vezes são levados em consideração no projeto.

Os tanques de fibra também são uma boa escolha, possuem uma boa rigidez estrutural uma ótima resistência ao desgaste e um bom preço de venda, porém eles são feitos em tamanho pré-determinados, o que dificulta quando se trata de um tanque com dimensões maiores. Uma característica desse tanque é a possibilidade de se instalar totalmente abaixo da terra sem que haja manutenções futuras por causa de seu baixo potencial corrosivo.

O modelo de tanque mais aconselhável para a termo acumulação são os verticais, pois quanto maior a altura e menor a largura, menor será o contato entre a água fria e a água quente dentro do tanque e a troca térmica entre elas. Sendo vertical também dificulta a troca térmica ocorrida pela agitação do fluido do tanque, pois agitação fica restrita na área superior e na área inferior do tanque, longe da interface água fria com água quente.

2.3 TROCAS TÉRMICAS

A transferência de calor devido a um gradiente de temperatura, pode ocorrer por condução, convecção ou radiação.

A transmissão de calor por condução ocorre no meio material, sempre de um ponto de maior potencial energético (maior temperatura) para um de menor potencial (menor temperatura), sendo que a quantidade de calor que flui através de um elemento se dá em função do tipo material que o constitui, da espessura do elemento e do gradiente de temperatura.

A transmissão de calor por convecção ocorre entre um corpo sólido e um fluido, podendo o corpo fluido ser líquido ou gasoso. A quantidade de calor que flui neste processo é diretamente proporcional ao gradiente de temperatura entre o material sólido e a região do fluido não “perturbado” pelo deslocamento do fluido e depende também da natureza do fluido e da velocidade do mesmo.

A transmissão de calor por radiação ocorre em todos os corpos e pode ser abordado por meio da teoria da temperatura sol-ar que corresponde a uma temperatura fictícia para o ar vizinho a superfície, maior que a temperatura real do ar, que considera a radiação solar incidente, as condições de absorção de radiação solar pela superfície e as condições de convecção externa.

3. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Os gastos com energia elétrica da fábrica Pirelli Gravataí se deve principalmente pelo sistema de refrigeração da fábrica e pelo preço pago pela energia elétrica para manter essa refrigeração no horário de ponta, que possui um preço mais elevado que durante do resto do dia.

Para compreender melhor os gastos com energia elétrica será necessário um estudo da demanda de refrigeração diária e anual da fábrica.

3.1 ANÁLISE TARIFÁRIA

A fábrica Pirelli – Gravataí possui um contrato com a concessionária de energia elétrica no qual constam valores diferenciados em horários cujo consumo da população é maior. Esse valor diferenciado é aplicado durante 3 horas do dia, das 18 às 21 horas e é conhecido como horário de ponta.

No horário de ponta existe um acréscimo de 60% no valor do consumo de energia. Atualmente, o contrato prevê que o preço do kW.h é de R\$ 0.222183 no horário fora de ponta e de R\$ 0.361137 no horário de ponta.

Além do consumo, a empresa paga o valor da demanda previamente estipulado pela empresa, que é a potência momentânea utilizada pela fábrica. Se a empresa ultrapassar o limite máximo de 5% de potência estipulada no contrato máximo de demanda será cobrada multa. Atualmente, o valor estipulado para a demanda é de R\$ 5,659885 por kW no horário fora de ponta e de R\$ 29,003652 no horário de ponta, 500% a mais.

3.2 SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

Atualmente, a fábrica opera com dois sistemas de refrigeração isolados, um deles é dedicado apenas para duas *trafilas* (maquinas que fazem a banda de rodagem do pneu) e é composto por dois *chillers Mayekawa* de 97 TR (tonelada de refrigeração = 3517 W) cada e um *Sabroe* de 97 TR, que resultam numa potência máxima de refrigeração de 291 TR.

O sistema principal da fábrica é responsável por refrigerar uma *trafila*, duas cortadeiras 16 *fan-coils* e 6 *bamburys* (maquinas que manufaturam a borracha). Ele é composto por 4 *chillers* 30 GX da Carrier de 313 TR cada, contabilizando um total de 1252 TR, porém um dos *chillers* de 313 TR é considerado como reserva e se encontra sempre parado, entrando em operação somente no caso de manutenção em um dos *chillers*, como mostra a figura 02.

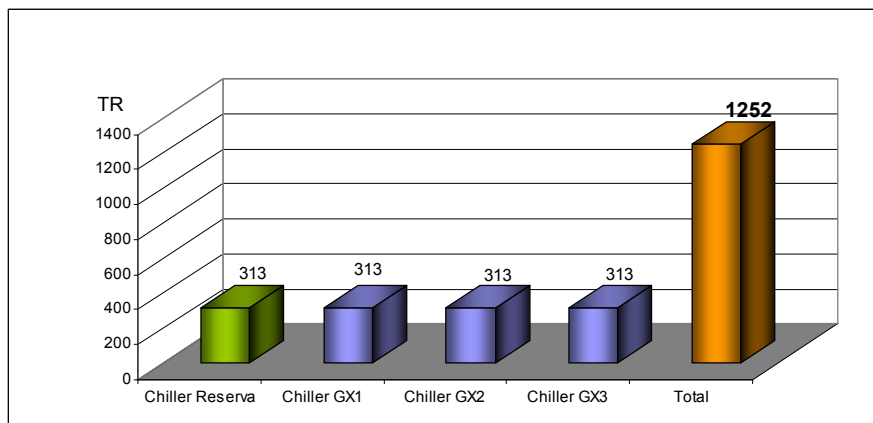


Figura 02: Capacidade do sistema principal de refrigeração

O sistema opera com temperaturas de saída de água dos *chillers* a 7°C e a de entrada é 12°C. No sistema principal a vazão é controlada por um sistema supervisorío que monitora as temperaturas de chegada da água nos *chillers* e de saída, enviando informações para os *chillers* aumentarem ou diminuírem suas capacidades de refrigeração, dependendo da demanda da fábrica. No sistema principal duas bombas, conhecidas como bombas secundarias, com capacidade de 360 m³/h e com inversores de frequência controlam a vazão da água enviada para a fábrica e mais quatro

bombas, conhecidas como bombas primária, de 180 m³/h sem inversor de frequência garantem a pressão nas linhas, como mostra a figura 03.

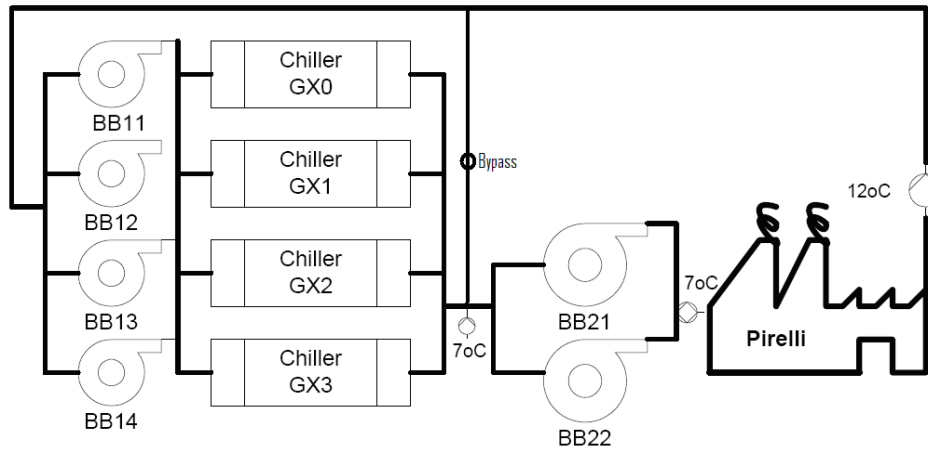


Figura 03: Sistema atual de refrigeração

3.3 DISTRIBUIÇÃO ANUAL DE DEMANDA

Mesmo com a fábrica produzindo uma quantidade constante de borracha durante o ano a demanda por refrigeração possui uma variação ligada diretamente à variação de temperatura ambiente.

Analisando o sistema principal, a variação da demanda por refrigeração se dá pela refrigeração de um ambiente fabril e pelas máquinas responsáveis em manufacturar a borracha.

Na área climatizada a troca térmica pelas paredes do ambiente são inevitáveis e aumentam muito nos dias em que a temperatura ambiente está mais alta. Existe também uma variação na demanda por parte da refrigeração das máquinas de processo, que de acordo com a temperatura ambiente as máquinas, por não estarem numa área climatizada, aquecem mais nos dias em que a temperatura ambiente é mais alta, como mostra a figura 04.

3.3.1 DEMANDA MÉDIA DE REFRIGERAÇÃO

Fazendo um somatório da demanda anual anotada pelos operadores de *chillers* da fábrica e dividindo pelo período de realização das leituras, é possível retirar-se a demanda média da fábrica que é de aproximadamente 576 TR (figura 04) com uma vazão de água em torno de 350 m³/h.

Esse valor será importante no momento em que serão realizados os cálculos de consumo anual e o ganho com a instalação de um termo acumulador.

3.3.2 DEMANDA MÁXIMA DE REFRIGERAÇÃO

Durante o período de elaboração deste trabalho as temperaturas na cidade de Gravataí chegaram a valores muito altos, na ordem de 36 °C à 38 °C, nesse período, janeiro e fevereiro, foi realizado medições na demanda de refrigeração utilizando as potências momentâneas mostradas no painel de cada máquina e constatou-se um acréscimo total de 31 % na demanda média de refrigeração. No sistema principal, os 3 *chillers* consumiram 51 % a mais de suas potências médias, passando de 576 TR para 870 TR no horário mais crítico (16 h). Mesmo considerando a pior situação, a demanda máxima representa 69 % da potência total disponível pelos 4 *chillers*, o que resulta numa sobra de 382 TR.

A vazão está diretamente ligada à potência dissipada pelos *chillers*, pois quando o sistema operacional aponta uma diferença de temperatura maior que 5 °C entre a água que está chegando nos *chillers* e a que está saindo, há aumento da vazão de água de envio para a fábrica e com esse aumento, as máquinas tendem a aumentar suas potências para continuar resfriando a água em 5 °C. Nos dias onde a demanda por refrigeração foi máxima a vazão de água chegou aos 530 m³/h, 51 % a mais que na demanda média.

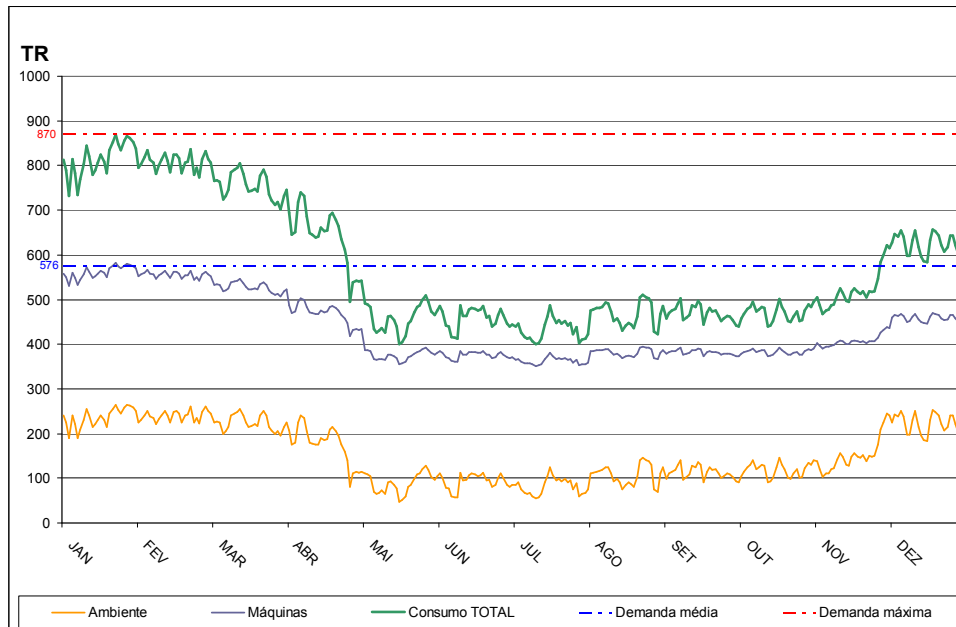


Figura 04: Distribuição anual da demanda de refrigeração

Na situação em que a demanda de refrigeração era máxima, foi feito um cálculo estimado visando à potência de cada equipamento refrigerado na fábrica e a sua capacidade de produção, correlacionando com a demanda por refrigeração.

Pode-se afirmar do sistema principal que 288 TR vão para os 16 *fan-coils* de 20TR cada que operam com 90 % a uma vazão de 175 m³/h de sua capacidade, sendo que o restante foi estimado em 117 TR para as cortadeiras TLV1 e TLV2 com uma vazão de 71 m³/h e os outros 400 TR para refrigerar os 6 *bamburys* que possuíam uma vazão de 243 m³/h, como mostra a figura 05.

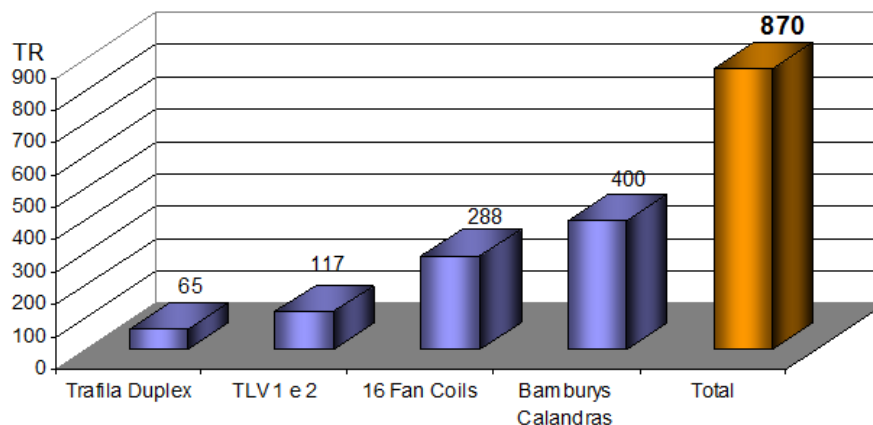


Figura 05: Distribuição demanda máxima

3.4 CONTROLES

Existem várias maneiras de se controlar a capacidade de operação dos *chillers*. Atualmente a fábrica Pirelli - Gravataí utiliza um sistema *Supervisório Carrier Controls* (2010) desenvolvido pela CCN. Este sistema consegue fazer a leitura do diferencial de pressão da água de envia para a fábrica e de retorno da mesma. O *software* do supervisório converte a diferença de pressão em temperatura e a partir dessas leituras ela modula as bombas de envio para a fábrica e modula a capacidade de refrigeração dos *chillers*. Porém esse sistema não armazena dados, impossibilitando fazer uma leitura diária da demanda.

O sistema proposto será controlado por esse mesmo supervisório porém fazendo algumas modificações. Por causa da diferença entre as densidades da água enviada dos *chillers*, que estará a 5 °C, e da água enviada da fábrica a 7 °C ocorrerá no tanque o fenômeno da estratificação dessas águas. A água a 7 °C, por possuir uma densidade menor, ficará na parte superior do tanque e a água a 5 °C ficará na inferior (Figura 01). Por isso será necessário a instalação de dois termopares localizados em diferentes alturas, o inferior funcionará como um sistema de segurança, ele deve estar sempre marcando 5°C, temperatura da água enviada pelos *chillers*, caso a temperatura marcada por ele comece a subir, significa que o nível de água gelada está muito baixo e que os *chillers* deverão entrar com suas capacidades a 75%, como mostra a figura 01.

O termopar superior será o mais importante, ele funcionará como o controlador da potência dos *chillers*. Enquanto ele estiver marcando 12 °C, temperatura da água que retorna da fábrica, o termopar mandará um sinal para os *chillers* operarem com 75% de suas capacidade, quando ele marcar 5,5°C ele vai mandar um sinal para eles operarem modulando junto com a demanda da fábrica, da mesma maneira em que eles trabalham atualmente.

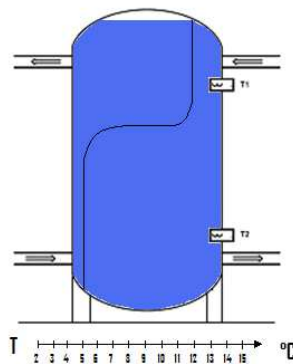


Figura 01: Posicionamento dos termopares com relação à distribuição de temperaturas do fluido

4. PROBLEMAS EXPERIMENTAIS

Para dimensionar o reservatório que acumulará a água foi medida a variação de demanda durante um dos dias mais quentes do ano em Gravataí. Pode-se notar que a demanda variou junto com a temperatura ambiente, isso porque as máquinas que são refrigeradas e o ambiente climatizado pelo sistema têm a tendência de fazer uma maior troca térmica em temperaturas ambientes altas.

Com distribuição diária de demanda é possível identificar a demanda no horário de ponta podendo dimensionar o tanque neste horário sem causar sobrecarga nos equipamentos.

Para se obter essa distribuição de demanda máxima total foram realizadas leituras de hora em hora num dia quente, num período de 24 horas da potência momentânea em cada máquina e após somadas gerando a distribuição diária de demanda vista na Figura 06. Essa potência momentânea é

retirada do próprio painel de comando do *chiller*, sendo que foi debitado do total a porcentagem da água que é resfriada pelo *chiller* que passa pelo *bypass* retornando para o mesmo sem possuir uma temperatura acrescida. Essa quantidade de água que retorna sem passar pela fábrica é controlada pelo sistema supervisorio que modula as bombas secundarias variando suas vazões de acordo com a demanda da fábrica.

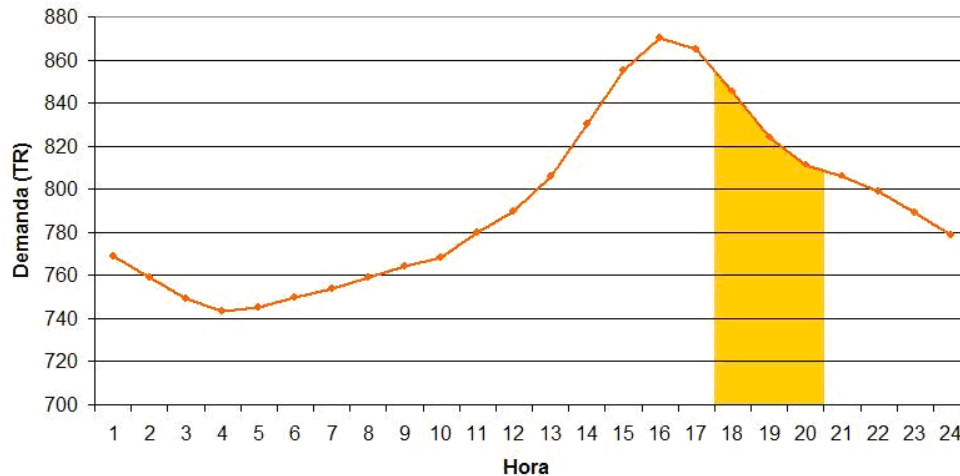


Figura 06: Distribuição diária da demanda máxima por refrigeração

Esse experimento foi realizado durante vários dias de semanas diferentes para comprovar que não haviam mudanças consideráveis correlacionadas a mudança de produto fabricado, apenas leves mudanças na acentuação das curvas devido a mudanças de temperatura ambiente, mas que não comprometeram o resultado do experimento.

5. SISTEMA PROPOSTO

O modelo estudado propõe a implantação de um reservatório de água gelada entre os *chillers* do sistema principal e a fábrica. Este reservatório estaria sempre cheio de água com um nível constante, pois é um sistema fechado, variando as vazões da água de envio para os *chillers* e a de envio para a fábrica, dependendo da demanda por refrigeração, o sistema ficaria como mostra a figura 07.

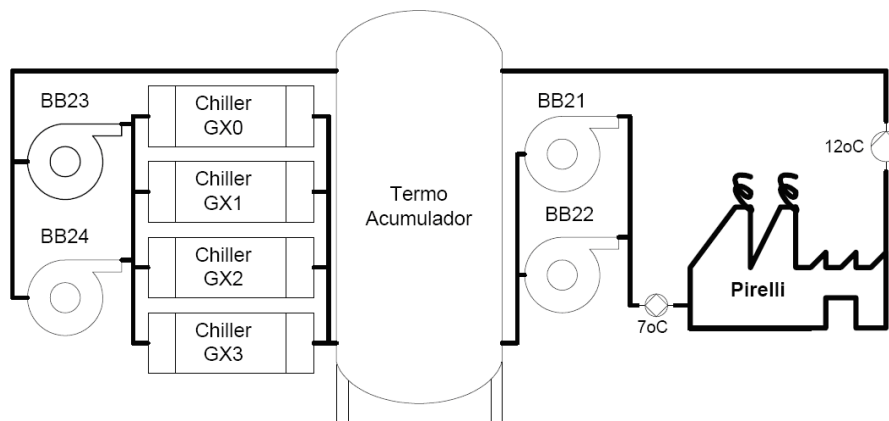


Figura 07: Sistema proposto

5.1 FUNCIONAMENTO NO HORÁRIO DE PONTA

Das 18hs às 21hs os *chillers* do sistema de refrigeração serão desligados, utilizando apenas a água gelada acumulada no horário de fora de ponta, para refrigerar a fábrica. O tanque deve possuir a quantidade de água gelada necessária para suprir a fábrica durante o intervalo dessas 3 horas, horário em que a energia elétrica tem o preço da tarifa mais elevado.

5.2 FUNCIONAMENTO NO HORÁRIO FORA PONTA

Entre as 21hs e 18hs do dia seguinte, em que o preço da energia é menor, a água gelada enviada pelos *chillers* entraria nesse reservatório por uma tubulação na parte inferior do reservatório numa vazão maior que a vazão de alimentação da fábrica, ao mesmo tempo a água de retorno da fábrica, mais quente que a de envio, retornaria ao reservatório por uma tubulação localizada na parte superior numa vazão menor que a de retorno para os *chillers*. As vazões de envio e retorno da fábrica, necessariamente, precisam possuir o mesmo valor por se tratar de um sistema fechado, da mesma forma para as vazões de retorno para os *chillers* e de envio aos *chillers*. O sistema dessa forma produziria mais água gelada do que ele consegue consumir, acumulando essa água gelada no tanque.

6. DIMENSIONAMENTO

6.1 VOLUME DO TANQUE SEM PERDAS

O volume do tanque de acumulação de água gelada deve ser capaz de manter o sistema de refrigeração da fábrica em funcionamento durante todo o horário de ponta. Para o dimensionamento foi levado em consideração a curva de demanda máxima (figura 06), e calculado um consumo de 2480 TR.h nessas 3 horas. Esse valor apresenta um consumo de 1500 m³ de água no modelo atual de 5° C de diferença de temperatura, porém esse volume cairia para 1071 m³ caso o sistema de refrigeração trabalhasse com uma diferença de temperatura de 7 °C.

Foram consultados profissionais da área da qualidade da Pirelli e concluiu-se que não haveria problemas em diminuir a temperatura de entrada da água de 7 °C para 5 °C, porém uma temperatura máxima de retorno de 12 °C é imprescindível para não afetar o processo de fabricação da borracha.

Portanto, por causa da grande diferença de volume, o sistema com uma diferença de temperatura de 7 °C será adotado como modelo de cálculo com uma temperatura de água na entrada do tanque de acumulação de 5 °C e com um volume necessário de aproximadamente 1071 m³.

6.2 VOLUME DO TANQUE CONSIDERANDO AS TROCAS TÉRMICAS

Para calcular o volume do tanque será necessário considerar as trocas térmicas que ocorrerão durante o dia entre o fluido e o meio externo utilizando algumas configurações diferentes de paredes no tanque.

6.2.1 PAREDES SIMPLES

Considerando que o tanque de acumulação possui um volume interno muito grande e por ser um material mais economicamente viável, ele será construído com concreto armado exposto ao ambiente, ou seja, sua base será no nível do terreno.

Após uma pesquisa com profissionais da área foi decidido produzir as colunas do tanque com dimensões de 0,3 m, as vigas da horizontal devem ser produzidas em 0,3 m x 0,3 m e a parede ao redor com uma espessura de 0,15 m na parte superior e de 0,25 m na parte inferior do tanque. Para

a vedação da água o concreto receberá uma vedação emborrachada na parte interna que terá contato com a água.

Essa especificação utilizada apresenta um coeficiente de condução na parede de $1,75 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, um coeficiente de convecção entre a parede externa e o ambiente a 25°C (temperatura média no dia mais quente do ano) de $8,1 \text{ W/m}^2.\circ\text{C}$ e um coeficiente de convecção entre a água a $8,5^\circ \text{C}$ (temperatura média da água) e a parede interna de $1000 \text{ W/m}^2.\circ\text{C}$, INCROPERA (2003).

Com essa configuração, ocorreria uma troca térmica do ambiente com o tanque equivalente à 33203 W se tivesse o fundo redondo e de 37597 W se tivesse o fundo quadrado. Isso resulta num acréscimo de volume no tanque redondo de 98 m^3 no tanque redondo e de 111 m^3 no tanque quadrado.

Portanto, o volume final do tanque considerando as trocas térmicas seria de 1169 m^3 para o redondo e 1182 m^3 para o quadrado.

Como não houve uma grande diferença no volume final entre os dois tanques, o mais aconselhável por resistir melhor as tensões, por possuir um valor de aquisição viável e pela facilidade de construção é o de fundo redondo.

6.2.2 PAREDES COM ISOLAMENTO TÉRMICO

Uma forma de reduzir a troca térmica é adicionar uma camada de poliestireno expandido na parte externa das paredes dos tanques, por ser um material de baixo valor e apresentar alta capacidade de isolamento térmico. Foi encontrado no mercado placas de poliestireno expandido de 1 m^2 com espessuras de $0,1 \text{ m}$ e $0,2 \text{ m}$.

Com a instalação de uma camada de poliestireno expandido de $0,1 \text{ m}$ de espessura (tamanho encontrado no mercado) ao redor do tanque quadrado, a troca térmica diminuiria de 37597 W para 2560 W o que geraria um acréscimo de $7,5 \text{ m}^3$ para o volume final do tanque resultando um volume final do tanque de 1079 m^3 .

Com um isolamento térmico externo de poliestireno expandido mais espesso com $0,2 \text{ m}$ a troca de calor diminuiria a troca térmica em 1332 W com relação ao revestimento térmico com espessura de $0,1 \text{ m}$, o que acarretaria diferença no volume final do tanque de apenas $3,6 \text{ m}^3$.

Em função do exposto, conclui-se que a melhor decisão entre os dois revestimentos é o de espessura de $0,1 \text{ m}$ por apresentar uma enorme diminuição no acréscimo de volume no tanque final e por essa diferença não ser tão significativa com relação ao revestimento de $0,2 \text{ m}$ de espessura como mostra a tabela 01.

Tabela 01: Volume dos tanques

	Volume do Tanque com 7°C de diferença de temperatura (m^3)			
	Sem Trocas Térmicas	Paredes simples	paredes c/ Isolamento térmico de 10 cm	Paredes com isolamento térmico de 20 cm
Redondo	1072	1169	1079	1076
Quadrado	1072	1182	1080	1076

A melhor solução para o dimensionamento do tanque seria o redondo, por agüentar melhor os esforços e tensões axiais com um diâmetro de 9 m e com uma altura de 17 m , porém a captação de água não será pela parte inferior do tanque e por melhor que seja dimensionado os difusores de água sempre haverá mistura da água de envio com a água de retorno, portanto o tanque será construído com 2 m de altura a mais do calculado, ou seja, com 19 m de altura.

6.3 ESTRUTURA DO TANQUE

Para construir o tanque de concreto será necessário a construção de colunas e vigas de concreto armado. De acordo com técnicos da área (MERLOTTI (2010) e SANTOS (2010)), para um tanque de 9 m de diâmetro conseguir suportar uma pressão de 19 m de coluna d'água será necessário construir 12 colunas verticais de 0,30 m x 0,30 m e 7 vigas circulares horizontais de 0,3 m x 0,3 m espaçadas 3,1 m entre elas. As paredes seriam também de concreto armada com 0,25 m de espessura até uma altura de 9,5 m, contanto a partir da base do tanque, e com uma espessura de 0,15 m acima disso, como mostra a figura 08.

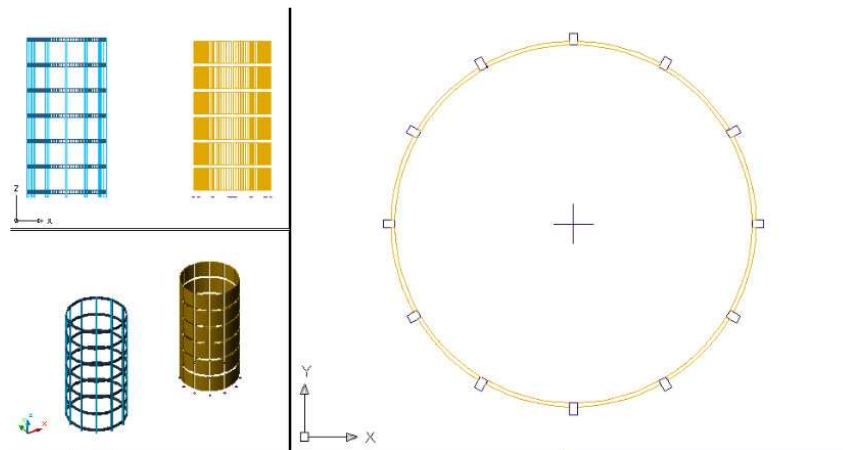


Figura 08: Peças do tanque

6.4 RAZÕES DE VAZÃO

Para o sistema de refrigeração continuar funcionando bem após a instalação do termo acumulador, é necessário ter muito bem definida a razão entre as vazões de entrada e saída do tanque de acumulação.

Haverá 4 tubulações conectadas ao tanque, duas na parte superior e duas na parte inferior. Na parte superior, ficarão as tubulações que passam o fluido com a temperatura mais elevada, sendo a de retorno da fábrica e a de envio para os *chillers*. Na parte inferior, ficarão as tubulações do fluido a frio, sendo as de retorno dos *chillers* e a de envio para a fábrica.

A vazão máxima do sistema será quando os *chillers* estiverem enchendo o tanque com água gelada, nesse momento os *chillers* estarão com 75 % de suas capacidades e com uma vazão de entrada de água gelada de 408 m³/h. Ao passar o dia essa vazão irá variar de acordo com a tabela abaixo.

7. SOLUÇÕES ENCONTRADAS PARA O FUNCIONAMENTO DOS CHILLERS

Para o dimensionamento do tanque deve ser usada a distribuição de demanda por refrigeração da fábrica num dia em que a temperatura ambiente alcance elevadas e a demanda seja máxima.

Para acumular essa quantidade de água os *chillers* devem produzir durante o horário fora ponta uma quantidade maior de água gelada. O ideal seria que os *chillers*, por serem refrigerados a ar, operassem com uma carga elevada no período do dia em que as temperaturas são mais baixas, isso faz com que sua eficiência aumente. Para que isso ocorra, eles serão programados de forma que logo após o término do horário de ponta eles trabalhem com uma potência elevada e continuem com essa potência durante a madrugada, período em que as temperaturas ambientes são mais baixas. Na medida em que o tanque for enchendo de água gelada os termopares localizados em diferentes

alturas da parede do tanque diminuiriam a potência dos *chillers* até atingir um nível de água gelada estipulado, após atingir esse nível os *chillers* trabalharão da mesma forma que trabalham hoje, modulando de acordo com a demanda da fábrica, o desligamento dos *chillers* se dará pelo supervisor dos *chillers*, também será responsável por ligar os *chillers* após o horário de ponta, como mostra a Figura 09.

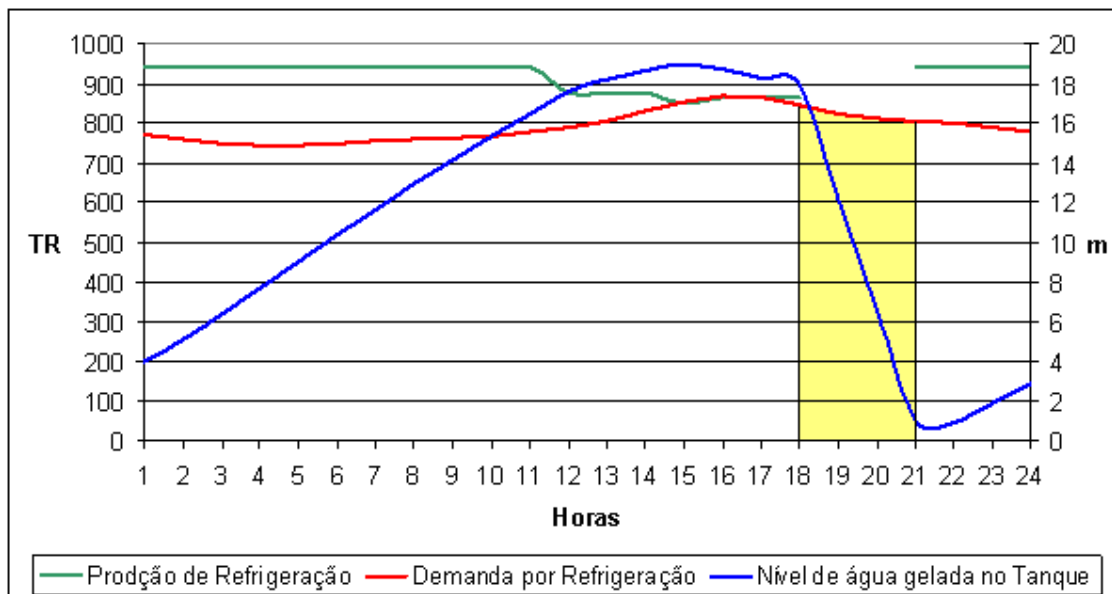


Figura 09: Sistema de funcionamento num dia de demanda máxima de refrigeração

Foi estudado um caso em que a demanda era máxima, imaginando em que os tanques estivessem cheios de água a 12 °C às 21 horas e os *chillers* entrariam em operação a uma capacidade de operação de 75 % e ficariam operando a esta maneira até atingir um nível do tanque de água gelada de 18 m, ao atingir essa altura os *chillers* diminuiriam suas capacidades e operarão modulando igualmente a demanda da fábrica. Nesse caso o tanque ultrapassaria a quantidade de água gelada necessária para manter o sistema funcionando durante o horário de ponta antes do meio dia, funcionando daí por diante como operam atualmente, como mostra a Tabela A9.

Durante um dia de temperaturas mais amenas o sistema funcionaria de mesma maneira, porém quando fossem 21 horas o tanque estaria com um nível mais elevado de água gelada, portanto seu nível máximo de água gelada voltaria ao nível ideal para manter o sistema de refrigeração no horário de ponta, mais rapidamente (aproximadamente as 2 horas da madrugada). Durante o resto do dia ele ficaria modulando junto com a demanda da fábrica, da mesma forma que ele opera atualmente, como mostra a Figura 10.

Se optou em utilizar 75 % da capacidades dos *chillers* para gerar água gelada no armazenamento pois nos dias de demanda máxima esse é o valor mínimo capaz de refrigerar a fábrica e armazenar a quantidade necessária, portanto o sistema se tornou super dimensionado para dias em que a demanda não é tão grande, como mostra na pagina seguinte a Tabela A10. O ideal para a economia de energia elétrica seria distribuir a potência utilizada para armazenar água gelada durante as horas fora ponta, porem utilizando um sistema de controles por termopares essa foi a única maneira encontrada.

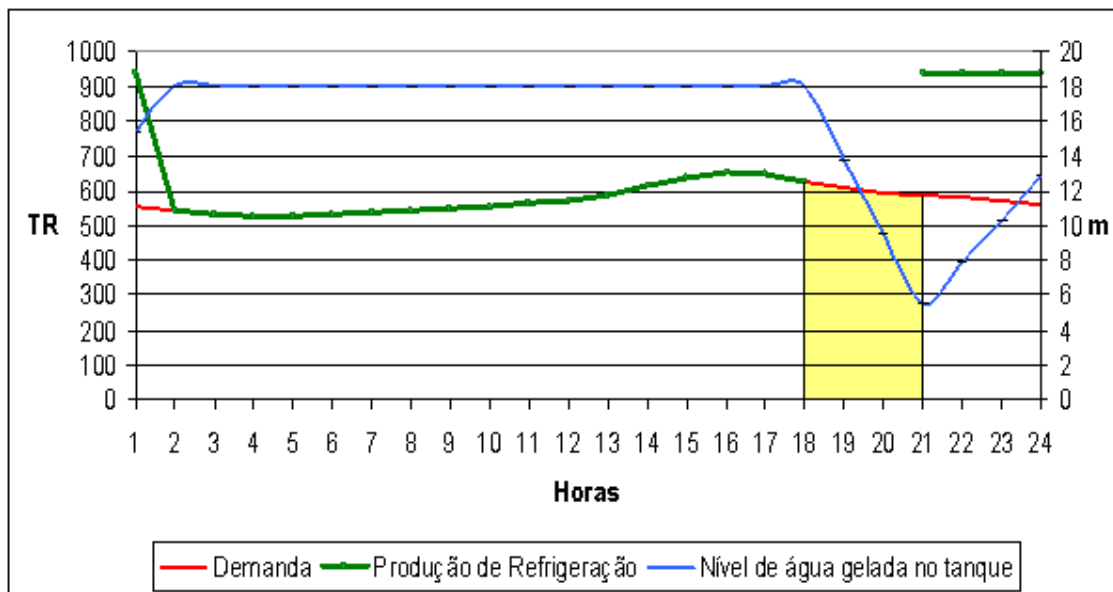


Figura 10: Sistema de funcionamento num dia de demanda média de refrigeração

7.1 DIÂMETROS DE TUBULAÇÕES

Para se dimensionar o diâmetro das tubulações deve ser levar em conta uma baixa velocidade de escoamento do fluido, pois com uma baixa velocidade de entrada do fluido diminui a agitação do fluido no interior do tubo. Isto é importante para não prejudicar a estratificação da água quente e água fria.

Sendo que a vazão máxima será de 408 m³/h se optou por um tubo de 12" de diâmetro interno. Isso significa que a velocidade do fluido na entrada do tanque será de aproximadamente 0,4 m/s. Porém ao entrar na tubulação em se dará a dissipação da água no tanque, a água se dividirá por três tubos de mesmo diâmetro, 12", e sua velocidade ao se misturar com a água em repouso no tanque será de 0,13 m/s. O tubo recomendado segundo TELLES (9 edição) para esse diâmetro e pressão para transporte de fluidos não corrosivos a uma pressão média de acordo com a NBR 5590 Schedule 40 com costura.

7.2 DIMENSIONAMENTO DOS DIFUSORES

Um dos aspectos mais importantes desse trabalho é o dimensionamento dos difusores de água. Serão dois difusores, um na base com a passagem de água gelada e um na parte superior com a passagem da água de retorno da fábrica.

De acordo com o ASHRAE (2003), os difusores mais eficientes são os compostos por tubos num formato octogonal com furos na parte inferior dos tubos para a água gelada e na parte de cima para a água quente. De acordo com o capítulo *Thermal Storage* desse mesmo livro o número de Froude deve ser menor que um e ele é gerado a partir da seguinte forma.

$$Fr = \frac{Q}{\sqrt{gh^3(\Delta\rho/\rho)}}$$

(01)

Onde

Q = vazão volumétrica por unidade de comprimento do difusor, $m^3/m.s$

g = aceleração da gravidade, m/s^2

h = altura da abertura de entrada, m

ρ = densidade da água de entrada, kg/m^3

$\Delta\rho$ = diferença de densidade entre a água armazenada e recebida ou efluente de água, kg/m^3 pode ser obtido da Tabela A9.

Um difusor bem dimensionado deve introduzir ou retirar água do tanque sem causar agitação na água contida nele, para este dimensionamento foi usado o volume de vazão máxima que é $408 m^3/h$. O perímetro do difusor vai ser de $18 m$ no anel gerando Q igual a $0,00629629 m^3/m.s$. A altura estipulada da tubulação de entrada em relação a base do tanque será de $0,5 m$ e as densidades da água de entrada e de retorno foram estipuladas a partir da tabela 04.

Utilizando um hexágono de 18 metros de perímetro o número de Froude se é $0,262$ bem abaixo do número máximo recomendado pelo ASHRAE (2003) que é um, portanto o difusor será como mostra a figura 11.

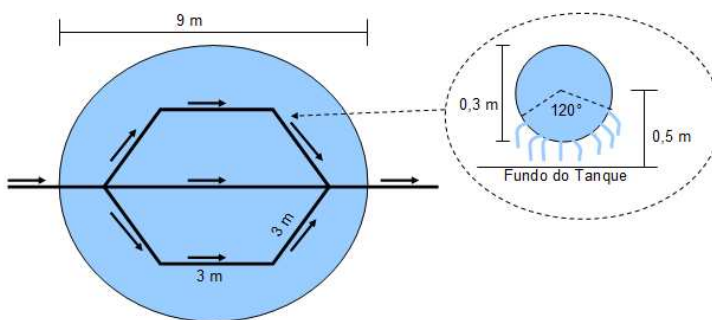


Figura 11: Difusor de água

7.3 MATERIAIS NECESSÁRIOS

Para o sistema funcionar será necessário dois sistemas de bombas, o primário e o secundário, o primário servirá para succionar a água quente do tanque e enviá-la para os chillers com uma vazão máxima de $408 m^3/h$ e com uma pressão mínima de $0,2 MPa$ e funcionará com duas bombas KSB MegaNorm 125/400 de $360 m^3/h$ com uma pressão de $0,5 MPa$ (Figura A1) cada com inversores de frequência. O sistema secundário de bombas tem a função de enviar a água gelada para a fábrica com pressão suficiente para vencer todas as quedas de pressão e chegar ao tanque com uma pressão mínima para vencer os $19 m$ de altura da entrada do tanque.

As bombas serão acopladas a motores elétricos de $100 cv$ da WEG com rotação de $1750 rpm$ com inversor de frequência MicroMastes 440 PX (2010) da Siemens.

Dois termopares serão necessários para o funcionamento do sistema de controle operacional, eles servirão para analisar nível de água gelada que se encontra no tanque e fornecerão o sinal para o sistema supervisorio da *Carrier Controls* (2010).

Um conjunto de válvulas para a manipulação do sistema será necessário e servirá para o caso de futuras manutenções.

8. CÁLCULO DO RETORNO DE INVESTIMENTO

Para o cálculo do retorno de investimento é preciso levar em consideração a demanda média da refrigeração e a distribuição da mesma durante um dia de temperatura amena. Foram efetuadas leituras horárias em dias em que a temperatura ambiente média era de aproximadamente 25 °C, e se conseguiu uma demanda que está relacionada diretamente com as diferentes temperaturas ambientes ocorridas durante o dia.

8.1 ANÁLISE DOS GASTOS ENERGÉTICOS

Na prospecção dos custos se estudou os *chillers* trabalhando de duas maneiras, a de maneira em que a demanda era média e em que a demanda fosse a máxima. Para essa análise foi levado em consideração o coeficiente de performance das máquinas atuais instaladas, ou seja, a produção de frio gerado pelo consumo de energia elétrica do *chillers* 30 GX – Carrier com sua capacidade em 100%, 75% , 50% e 25% (Tabela 03) resultando no Figura 12 a seguir.

Tabela 03: Coeficiente de performance dos *chillers* 30 GX Carrier

Capacidade	kW Consumido	kW Gerado	TR	COP
100%	390	1099	312	2,82
75%	273	895	254	3,27
50%	171	655	186	3,83
25%	81	342	97	4,22

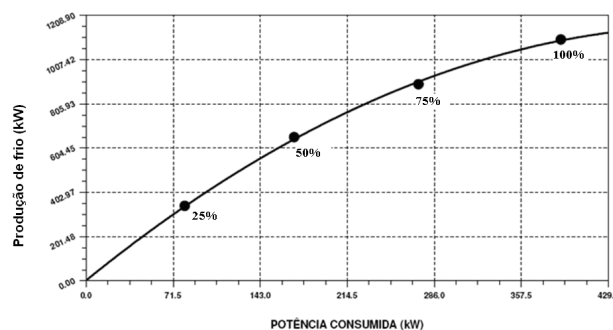


Figura 12: Coeficiente de performance do *chiller* 30 GX Carrier

Foi observado que a maneira mais eficiente e de menor consumo de eletricidade é quando ele opera com 25 % de sua capacidade, pois dessa maneira o *chiller* está com um dos seus quatro compressores a 100 % de sua capacidade e que acima disso teria que ser ligado outro compressor o que diminuiria sua eficiência e também porque o trocador de calor do *chiller* trabalha melhor quando as potências das máquinas estão baixas.

Utilizando o valor atual da tarifa de energia estabelecido pela concessionária pelo consumo e pela demanda, os *chillers* na condição de demanda média são responsáveis pelo gasto mensal de quase 95 mil reais no consumo e mais 18 mil na demanda, gerando uma despesa mensal de aproximadamente R\$ 112.500,00. (Anexo – tabelas A12 e A13)

No modelo proposto em que os *chillers* o consumo mensal seria de aproximadamente R\$ 97.200,00 utilizando três máquinas e deixando uma parada para um possível caso de manutenção, ou um consumo mensal de R\$ 85.500,00 utilizando as quatro máquinas para gelar a água. Considerando que o modelo proposto não vai utilizar uma potência no horário de ponta, o valor de demanda nesse horário pode ser eliminado gerando uma economia mensal para a fábrica na fatura de energia elétrica de, aproximadamente, R\$ 28.800,00 mensais, pois é necessário comprar a demanda pensando na demanda máxima utilizada pela fábrica durante o ano. (Anexo – tabelas A14 e A15)

Nos meses em que a temperatura ambiente é mais alta, as trocas térmicas aumentam conseqüentemente a demanda por refrigeração e os gastos com ela. Analisando a demanda no dia mais quente do ano os gastos com refrigeração ficariam aproximadamente em R\$ 149.000,00 pelo consumo mensal e 28 mil pela demanda, gerando um gasto total de aproximadamente R\$ 177.000,00 mensal. (Anexo – tabelas A18 e A19)

Utilizando o modelo proposto nos meses quentes a economia pode chegar a R\$ 49.800,00 utilizando as 4 máquinas. No caso em que uma das máquinas estivesse em manutenção processo de refrigeração utilizando o tanque de acumulação continuaria em funcionamento, porém os chillers iriam precisar trabalhar em demanda máxima o tempo todo gastando R\$ 158.000,00 reais mensais e ainda economizariam R\$19.000,00. (Anexo – tabela A22 e A23)

8.2 ANÁLISE DOS INVESTIMENTOS

Para esse projeto ser executado na empresa Pirelli Gravataí será necessário um investimento inicial. No momento o sistema de refrigeração da fábrica já possui várias peças fundamentais para a construção desse projeto o que diminuirá o investimento inicial.

Na fábrica já possui a quantidade certa de chillers, um sistema supervisorio adequado o sistemas secundário de bombas d'água com inversores de frequência.

Para a aplicação do projeto a fábrica precisará investir na aquisição de duas novas bombas d'água com motores elétricos e inversores de frequência. Um conjunto de válvulas será necessário para realizar manobras de manutenção, tubulações para fazer a ligação dos chillers com o tanque e o tanque para a fábrica, também construção dos difusores será necessária. A construção do tanque de concreto será o maior investimento feito pela empresa além de ocupar um espaço considerável na planta de fábrica.

Como pode ser visto na tabela A24 uma lista de investimentos pela empresa para a realização desse projeto totalizando em torno de R\$ 420.000,00.

8.3 ANÁLISE DE RETORNO

Para uma análise mais completa de retorno de investimento deve se levar em conta aspectos como manutenção e vida útil dos equipamentos e edificações, porém, no caso da empresa da Pirelli Gravataí a manutenção, tanto de máquinas como equipamentos, não entrará nos cálculos de custo pois ela já está inclusa no modelo atual e não apresentará um acréscimo no modelo proposto. Para o calculo da vida útil do modelo proposto deve levar em conta apenas o tanque de acumulação, em torno de 50 anos, pois as bombas e as máquinas já são existentes no modelo atual,

Para a execução desse projeto a empresa deverá desembolsar uma quantia de aproximadamente 420 mil reais, porém ao instalar o tanque de acumulação os cálculos indicam que a economia em energia elétrica ficará em torno dos 30 mil reais mensais a um juro mensal de 0,5 % ao mês gera um retorno do investimento de 1,25 anos, como mostra a tabela 05.

Tabela 05: Cálculo de investimento e retorno

Mês	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Investimento	Economia														
VF	-420000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000
VP	-420000	29850	29700,75	29552,25	29404,49	29257,46	29111,18	28965,62	28820,79	28676,69	28533,3	28390,64	28248,68	28107,44	27966,9	27827,07
Retorno	-420000	-390150	-360449	-330897	-301493	-272235	-243124	-214158	-185337	-156661	-128127	-99736,8	-71488,2	-43380,7	-15413,8	12413,26

9. RESULTADOS E ANÁLISES

Depois de várias hipóteses e modelos levantados nesse trabalho o melhor resultado será a instalação de um tanque redondo de 9 m de diâmetro com uma altura de 19 m. O tanque será de concreto com paredes de 0,25 m de espessura até 9,5 m de altura e de 0,15 m acima disso, será instalado um isolamento térmico de poliestireno expandido na parte externa do tanque com espessura de 0,10 m.

Serão instalados 2 termopares que ligados ao sistema supervisorio atual controlarão os *chillers*, o inferior servirá de como um sistema de segurança ficará a 1,0 metro da base do tanque,

caso a temperatura do termopar ultrapasse os $5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ o sistema envia um sinal para os *chillers* mandando eles entrarem com 75% de suas capacidades. O segundo termopar ficará a uma altura de 18 metros da base do tanque e fará a seguinte leitura, caso a temperatura diminua de $5,5^{\circ}\text{C}$ o termopar enviará um sinal ao sistema supervisor que mandará as máquinas a trabalharem como elas trabalham hoje, modulando junto com a demanda da fábrica, como mostra a figura 13.

Com o tanque construído dessa forma e utilizando 4 *chillers* 30 GX da Carrier para fazer a refrigeração da fábrica o sistema irá economizar em média 24% dos gastos em energia elétrica, ou seja, ao invés da fábrica gastar R\$ 112.500,00 ela irá gastar R\$ 85.500,00. Durante os meses de verão essa economia pode ser ainda maior ultrapassando os 27%, ou seja, ao invés da fábrica gastar R\$ 177.000,00 em refrigeração ela irá gastar apenas R\$ 129.000,00.

Contando que a fábrica já possui os itens mais caros para a execução do projeto que são os 4 *chillers*, apenas com investimentos na construção do tanque de água gelada, com a aquisição de um par de bombas com inversores de frequência para o sistema primário e com os gastos para a instalação e modificações no sistema atual o projeto se pagaria em 15 meses.

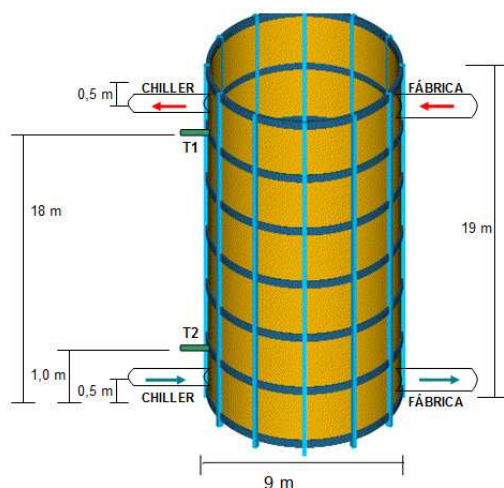


Figura 13: Detalhes do tanque de água gelada

Um aspecto a ser levado em conta é a manutenção das máquinas e a continuidade do sistema sem interferências. No caso de demanda máxima em que o sistema estivesse operando com as quatro máquinas durante o horário de fora ponta e ocorresse uma quebra de um dos *chillers*, seria possível a continuidade do processo sem interferências. Para isso, bastaria a potência de cada máquina de passar de 75 % para 97 % de sua capacidade. Isso acarretaria uma queda na economia, porém o sistema funcionaria sem maiores problemas, como pode ser visto nas tabelas do anexo A16, A17 para a demanda média e tabelas A22 e A23 para a demanda máxima

10. CONCLUSÕES

O sistema de termo acumulação de água gelada apresentado possui um maior consumo diário de energia elétrica, porém por essa energia ser consumida no momento em que a tarifa é mais baixa, no final do mês existirá um benefício financeiro para a fábrica. Por esse motivo conclui-se que, utilizando como base as especificações modeladas nesse trabalho, é válida a instalação de um tanque termo acumulador no sistema de refrigeração da fábrica Pirelli de Gravataí.

A implantação do sistema proposto tem o benefício de não requerer grandes modificações no sistema de refrigeração atual, por esse motivo os investimentos não são muito altos e a economia com os gastos em energia elétrica pagariam esses investimentos em pouco tempo.

Seria interessante avaliar o consumo dos demais elementos que compõem o sistema, como por exemplo, das bombas primárias e secundárias ou também, elaborar uma análise econômica detalhada, que contempla se a remuneração do capital investido, a vida útil das instalações e seus custos de manutenção, por exemplo.

Um dos maiores problemas encontrados para a construção desse tanque seria o grande espaço que ele iria ocupar na planta da fábrica que pode se tornar um empecilho para a execução desse projeto.

11. REFERÊNCIAS

SPRINGER CARRIER – Manual de instalação, operação e manutenção do Chiller 30GX e sistema de controle, 2010. <http://www.springer.com.br>, acesso janeiro 2010.

ANDREPONT J. S., Termo acumulação, artigo publicado na revista Climatização. São Paulo, Abril de 2004.

MERLOTTI D., - Comunicação pessoal – 2010

SANTOS E., – Comunicação pessoal 2010

MICROMASTER 440 PX – Manual de funcionamento do inversor de frequência da Siemens , 2010. <http://www.watson-marlow.com/pdfs-global/mm440parameterlist.pdf>, acesso janeiro de 2010.

INCROPERA F. P., Fundamentos de transferência de calor e de massa, 2003

TELLES P. C. S., “Tubulações industriais”. 9º EDIÇÃO

ASHRAE, “ Thermal Storage” , Application Handbook - HVAC, 2003.

12. BIBLIOGRAFIA

ASHRAE, “ Thermal Storage” , Application Handbook - HVAC, 2003.

TELLES P. C. S., “Tubulações industriais”. 9º EDIÇÃO

INCROPERA F. P., Fundamentos de transferência de calor e de massa, 2003

13. APÊNDICE

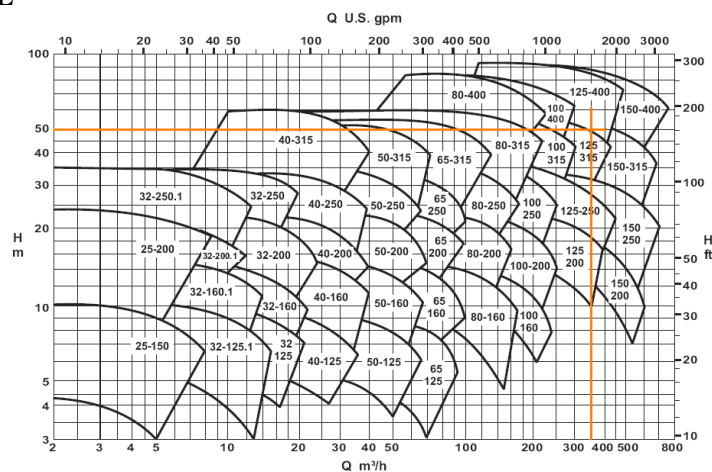


Figura A1: Escolha da Bomba

14. ANEXO

Tabela A1: Cálculo do volume do tanque sem trocas térmicas utilizando a demanda máxima no período do horário de ponta

Energia		Calor específico	Variação Temperatura	Massa		Volume
TR.h	J	C água J/g°C	°C	g	kg	m³
2480	31398000000	4,186	5	1500143335	1500143	1500
2480	31398000000	4,186	7	1071530954	1071531	1072

Tabela A2: Possíveis dimensões dos tanques

REDONDO				QUADRADO			
Diâmetro	m	Volume	Área Superficial	Largura	m	Volume	Área Superficial
Altura	9	M³	m²	Altura	8	m³	m²
	17	1081	480		17	1088	544

Tabela A3: Parâmetros para calcular o volume de acréscimo devido às trocas térmicas pelas paredes simples na demanda máxima

	Resistência	Coefficiente Global de transferência de calor	Área	Temp. externa	Temp Interna
	m²°C/W	W/m²°C	m²	°C	°C
REDONDO	0,56445679	1,7716148	480	25	8,5
QUADRADO	0,56445679	1,7716148	544	25	8,5

Tabela A4: Volume de acréscimo devido às trocas térmicas pelas paredes simples na demanda máxima

	Energia Transferida	Energ Transf. Dia	Massa Acréscimo		Volume
	W	Joules	g	Litros	m³
REDONDO	33203	2868725675	97902043	97902	97,9
QUADRADO	37597	3248380099	110858648	110859	110,9

Tabela A5: Parâmetros para o cálculo do volume de acréscimo devido às trocas térmicas pelas paredes do tanque com um isolamento de 0,1 m de isopor no dia de demanda máxima.

	Resistência	Coefficiente Global de transferência de calor	Área	Temp. externa	Temp Interna
	m ² C/W	W/m ² °C	m ²	°C	°C
REDONDO	3,095885362	0,292261	480	25	8,5
QUADRADO	3,095885362	0,292261	544	25	8,5

Tabela A6: Volume de acréscimo devido às trocas térmicas pelas paredes do tanque com um isolamento de 0,1 m de isopor no dia de demanda máxima.

	Energia Transferida	Energ Transf. Dia	Massa Acréscimo	Volume
	W	Joules	g	Litros
REDONDO	2560	221224843	7549821	7550
QUADRADO	2899	250502299	8548983	8549

Tabela A7: Parâmetros para o cálculo do volume de acréscimo devido às trocas térmicas pelas paredes do tanque com um isolamento de 0,2 m de isopor no dia de demanda máxima.

	Resistência	Coefficiente Global de transferência de calor	Área	Temp. externa	Temp Interna
	m ² C/W	W/m ² °C	m ²	°C	°C
REDONDO	5,953028219	0,1592676	480	25	8,5
QUADRADO	5,953028219	0,1592676	544	25	8,5

Tabela A8: Volume de acréscimo devido às trocas térmicas pelas paredes do tanque com um isolamento de 0,2 m de isopor no dia de demanda máxima.

	Energia Transferida	Energ Transf. Dia	Massa Acréscimo	Volume
	W	Joules	g	Litros
REDONDO	1332	115048464	3926301	3926
QUADRADO	1508	130274269	4445917	4446

Tabela A9: Densidade da água em diferentes temperaturas

°C	kg/m ³	°C	kg/m ³	°C	kg/m ³
0	999.87	7	999.93	14	999.27
1	999.93	8	999.88	15	999.13
2	999.97	9	999.81	16	998.97
3	999.99	10	999.73	17	998.80
4	1000.00	11	999.63	18	998.62
5	999.99	12	999.52	19	998.43
6	999.97	13	999.40	20	998.23

Tabela A10: Funcionamento em demanda máxima

Horas	TR max	TR Produzido		Volume gerado m³/h	Volume Consumido m³/h	Volume de água 5°C m³	Nível de água 5°C m
		%	TR				
1	769	75	939	408,3	334	327	5,15
2	759	75	939	408,3	330	406	6,38
3	749	75	939	408,3	326	488	7,68
4	743	75	939	408,3	323	573	9,02
5	745	75	939	408,3	324	658	10,34
6	750	75	939	408,3	326	740	11,63
7	754	75	939	408,3	328	820	12,90
8	759	75	939	408,3	330	898	14,13
9	764	75	939	408,3	332	975	15,33
10	769	75	939	408,3	334	1049	16,49
11	780	75	939	408,3	339	1118	17,58
12	790	70	876	381,0	343	1155	18,17
13	806	64	806	350,5	350	1155	18,17
14	830	66	830	360,9	361	1155	18,17
15	855	68	855	371,7	372	1155	18,17
16	870	69	870	378,3	378	1155	18,17
17	865	69	865	376,1	376	1155	18,17
18	845	-	-	0,0	367	788	12,39
19	824	-	-	0,0	358	430	6,76
20	811	-	-	0,0	353	77	1,21
21	806	75	939	408,3	350	58	0,91
22	799	75	939	408,3	347	119	1,87
23	789	75	939	408,3	343	184	2,89
24	779	75	939	408,3	339	253	3,99

Tabela A11: Funcionamento em demanda média

Horas	TR med	TR Produzido		Volume gerado m³/h	Volume Consumido m³/h	Volume de água 5° m³	Nível da água 5°C m
		%	TR				
1	553	75	939	408,3	240	1149	18,07
2	543	43	543	236,1	236	1149	18,07
3	533	43	533	231,7	232	1149	18,07
4	527	42	527	229,3	229	1149	18,07
5	529	42	529	230,0	230	1149	18,07
6	534	43	534	232,2	232	1149	18,07
7	538	43	538	233,9	234	1149	18,07
8	543	43	543	236,1	236	1149	18,07
9	548	44	548	238,3	238	1149	18,07
10	553	44	553	240,2	240	1149	18,07
11	564	45	564	245,2	245	1149	18,07
12	574	46	574	249,6	250	1149	18,07
13	590	47	590	256,5	257	1149	18,07
14	614	49	614	267,0	267	1149	18,07
15	639	51	639	277,8	278	1149	18,07
16	654	52	654	284,3	284	1149	18,07
17	649	52	649	282,2	282	1149	18,07
18	629	-	-	0,0	273	875	13,77
19	608	-	-	0,0	264	611	9,61
20	595	-	-	0,0	259	352	5,54
21	590	75	939	408,3	257	504	7,92
22	583	75	939	408,3	253	658	10,36
23	573	75	939	408,3	249	818	12,86
24	563	75	939	408,3	245	981	15,43

Tabela A12: Análise dos gastos energéticos - Demanda Média

Horas	TR med	kW Gerado	kW Ger Maq	kW Cons Maq	COP
1	553	1945	648	172,4	3,76
2	543	1910	637	168,4	3,78
3	533	1874	625	164,5	3,80
4	527	1855	618	162,4	3,81
5	529	1860	620	163,0	3,81
6	534	1878	626	164,9	3,80
7	538	1892	631	166,5	3,79
8	543	1910	637	168,4	3,78
9	548	1927	642	170,4	3,77
10	553	1943	648	172,2	3,76
11	564	1984	661	176,8	3,74
12	574	2019	673	180,9	3,72
13	590	2075	692	187,5	3,69
14	614	2159	720	197,7	3,64
15	639	2247	749	208,6	3,59
16	654	2300	767	215,3	3,56
17	649	2282	761	213,1	3,57
18	629	2212	737	204,2	3,61
19	608	2138	713	195,1	3,65
20	595	2093	698	189,6	3,68
21	590	2075	692	187,5	3,69
22	583	2050	683	184,6	3,70
23	573	2015	672	180,5	3,72
24	563	1980	660	176,4	3,74

Tabela A13: Resumo dos gastos energéticos - Demanda Média

kWh Consumido por Máquina			4371
kWh Consumido Total			13113
Consumo	Dia	R\$	3158,99
Consumo	Mês	R\$	94769,73
Demanda		R\$	17765,13
	Total	R\$	112534,86

Tabela A14: Energia consumida pelo sistema proposto – Demanda média
(4 máquinas em operação)

Demanda	Kw Gerado	kW Ger 4M	kW Cons 4M	COP
939	3302	826	239	3,45
543	1910	477	118	4,04
533	1874	469	116	4,05
527	1855	464	114	4,06
529	1860	465	115	4,06
534	1878	470	116	4,05
538	1892	473	117	4,04
543	1910	477	118	4,04
548	1927	482	120	4,03
553	1943	486	121	4,02
564	1984	496	124	4,00
574	2019	505	126	3,99
590	2075	519	131	3,97
614	2159	540	137	3,93
639	2247	562	144	3,90
654	2300	575	148	3,88
649	2282	571	147	3,88
	0	0		
	0	0		
	0	0		
939	3302	826	239	3,45
939	3302	826	239	3,45
939	3302	826	239	3,45
939	3302	826	239	3,45

Tabela A15: Resumo de energia consumida pelo sistema proposto – Demanda média
(4 máquinas em operação)

kWh Consumido por Máquina			3207
kWh Consumido Total			12829
Consumo	2850,36	R\$	2793,32
Consumo	85510,84	R\$	83799,56
Economia R\$			-27024,02

Tabela A16: Energia consumida pelo sistema proposto- Demanda média
(3 máquinas em operação)

Horas	Demanda	kW Gerado	kW Ger 3M	kW Cons 3M	COP
1	939	3302	1101	397	2,77
2	543	1910	637	168	3,78
3	533	1874	625	165	3,80
4	527	1855	618	162	3,81
5	529	1860	620	163	3,81
6	534	1878	626	165	3,80
7	538	1892	631	166	3,79
8	543	1910	637	168	3,78
9	548	1927	642	170	3,77
10	553	1943	648	172	3,76
11	564	1984	661	177	3,74
12	574	2019	673	181	3,72
13	590	2075	692	188	3,69
14	614	2159	720	198	3,64
15	639	2247	749	209	3,59
16	654	2300	767	215	3,56
17	649	2282	761	213	3,57
18		0	0		
19		0	0		
20		0	0		
21	939	3302	1101	397	2,77
22	939	3302	1101	397	2,77
23	939	3302	1101	397	2,77
24	939	3302	1101	397	2,77

Tabela A17: Resumo da energia consumida pelo sistema proposto- Demanda média
(3 máquinas em operação)

kWh Consumido por Máquina		4865
kWh Consumido Total		14596
Consumo	Dia	R\$ 3242,8783
Consumo	Mês	R\$ 97286,348
Economia		R\$ -15248,52

Tabela A18: Análise dos gastos energéticos - Dia de Demanda Máxima

Horas	Demanda Max TR	kW Gerado	kW Ger Maq	kW Cons Maq	COP
1	769	2704	901	272,7	3,31
2	759	2669	890	267,2	3,33
3	749	2634	878	261,8	3,35
4	743	2615	872	258,9	3,37
5	745	2620	873	259,7	3,36
6	750	2638	879	262,4	3,35
7	754	2652	884	264,5	3,34
8	759	2669	890	267,2	3,33
9	764	2687	896	269,9	3,32
10	769	2703	901	272,4	3,31
11	780	2743	914	278,9	3,28
12	790	2778	926	284,6	3,25
13	806	2835	945	294,1	3,21
14	830	2919	973	309,1	3,15
15	855	3007	1002	325,9	3,08
16	870	3060	1020	336,6	3,03
17	865	3042	1014	333,0	3,05
18	845	2972	991	319,0	3,11
19	824	2898	966	305,3	3,16
20	811	2852	951	297,2	3,20
21	806	2835	945	294,1	3,21
22	799	2810	937	289,9	3,23
23	789	2775	925	284,0	3,26
24	779	2740	913	278,3	3,28

Tabela A19: Resumo da análise dos gastos energéticos - Dia de Demanda Máxima

kWh Consumido por Máquina			6887
kWh Consumido Total			20661
Consumo	Dia	R\$	4974,61
Consumo	Mês	R\$	149238,30
Demanda		R\$	27757,36
	Total	R\$	176995,66

Tabela A20: Energia consumida pelo sistema proposto – Demanda máxima
(4 máquinas em operação)

Horas	Demanda TR	kW Gerado	kW Ger 4M	kW Com 4M	COP
1	939	3302	826	239	3,45
2	939	3302	826	239	3,45
3	939	3302	826	239	3,45
4	939	3302	826	239	3,45
5	939	3302	826	239	3,45
6	939	3302	826	239	3,45
7	939	3302	826	239	3,45
8	939	3302	826	239	3,45
9	939	3302	826	239	3,45
10	939	3302	826	239	3,45
11	939	3302	826	239	3,45
12	876	3082	771	217	3,55
13	806	2835	709	194	3,66
14	830	2919	730	201	3,62
15	855	3007	752	210	3,59
16	870	3060	765	215	3,56
17	865	3042	761	213	3,57
18		0	0		
19		0	0		
20		0	0		
21	939	3302	826	239	3,45
22	939	3302	826	239	3,45
23	939	3302	826	239	3,45
24	939	3302	826	239	3,45

Tabela A21: Resumo da energia consumida pelo sistema proposto – Demanda máxima
(4 máquinas em operação)

Consumo	Dia	kWh	4834
Consumo	Mês	kWh	19336
Consumo	Dia	R\$	4296,04
Consumo	Mês	R\$	128881,17
Economia R\$			-48114,50

Tabela A22: Energia consumida pelo sistema proposto – Demanda máxima
(3máquinas em operação)

Horas	TR OPÇ2	kW Gerado	kW Ger 3M	kW Com 3M	COP
1	939	3302	1101	397	2,77
2	939	3302	1101	397	2,77
3	939	3302	1101	397	2,77
4	939	3302	1101	397	2,77
5	939	3302	1101	397	2,77
6	939	3302	1101	397	2,77
7	939	3302	1101	397	2,77
8	939	3302	1101	397	2,77
9	939	3302	1101	397	2,77
10	939	3302	1101	397	2,77
11	939	3302	1101	397	2,77
12	876	3082	1027	341	3,01
13	806	2835	945	294	3,21
14	830	2919	973	309	3,15
15	855	3007	1002	326	3,08
16	870	3060	1020	337	3,03
17	865	3042	1014	333	3,05
18		0	0		
19		0	0		
20		0	0		
21	939	3302	1101	397	2,77
22	939	3302	1101	397	2,77
23	939	3302	1101	397	2,77
24	939	3302	1101	397	2,77

Tabela A23: Resumo da energia consumida pelo sistema proposto – Demanda máxima
(3máquinas em operação)

Consumo	Dia	kWh	7894
Consumo	Mês	kWh	23681
Consumo	Dia	R\$	5261,52
Consumo	Mês	R\$	157845,64
Economia R\$			-19150,00

Tabela 24: Investimentos para a execução do projeto

Tanque	12 Colunas		20,5	M³	
	7 vigas		17,8	M³	
	Paredes 0,25 m		67,1	M³	
	Paredes 0,15 m		40,3	M³	
	Base 0,5 m		31,8	M³	
Água	Tratamento	R\$ 5,00	1080	M³	R\$ 5.400,00
Tanque	Concreto armado	R\$ 1.100,00	177,5	M³	R\$ 195.250,00
	Tubulação	R\$ 400,00	180	M	R\$ 72.000,00
	Termopares	R\$ 300,00	3	Uni	R\$ 900,00
	Impermeabilização	R\$ 33,00	537	M²	R\$ 17.721,00
Bombas	Bomba	R\$ 8.000,00	2	Uni	R\$ 16.000,00
	Motor elétrico	R\$ 18.000,00	2	Uni	R\$ 36.000,00
	Inversor de frequência	R\$ 30.000,00	2	Uni	R\$ 60.000,00
	Conjunto de Válvulas	R\$ 9.000,00	2	Uni	R\$ 18.000,00
Controles	Adequação do supervisorio	R\$ 4.000,00	1	Uni	R\$ 4.000,00
TOTAL					R\$ 419.871,00

