

NANCÍ APARECIDA DA SILVEIRA FUJIMORI

**DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ÁGUA
GELADA E VAPOR DA ÁREA DE UTILIDADES DE
UMA FÁBRICA DE SUCOS**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

2018

NANCÍ APARECIDA DA SILVEIRA FUJIMORI

**DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ÁGUA GELADA E VAPOR
DA ÁREA DE UTILIDADES DE UMA FÁBRICA DE SUCOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado na graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **BACHAREL EM ENGENHARIA MECÂNICA**.

Área de Concentração: Fenômenos de Transporte.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Heleno Pontes Antunes

UBERLÂNDIA - MG

2018

AGRADECIMENTOS

À Deus. À minha mãe por ser a rainha de todas as minhas vidas e meu pilar pra nunca desistir. Ao meu pai, que é meu melhor amigo, minha maior saudade, maior cúmplice e homem da minha vida, que sempre acreditou em mim mais do que eu mesma. Ao Vítor, por ser sempre uma das minhas rochas, e aos meus amigos que formaram comigo. Foi um prazer.

Por último, mas não menos importante, agradeço aos meus orientadores e Professor Orosimbo e Professor Arthur, que aceitaram me guiar nessa jornada e que é uma inspiração para que eu me torne uma profissional cada vez melhor.

Fujimori, N.A.S., **Dimensionamento do sistema de água gelada e vapor da área de utilidades de uma fábrica de sucos**. 2018. 70p. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

RESUMO

O objetivo do trabalho foi o dimensionamento de um sistema de água gelada e de um sistema de geração de vapor de uma fábrica de sucos. Além disso, foi escolhido o sistema de refrigeração e a caldeira necessários para atingir as demandas requeridas, e foi possível comparar os resultados encontrados com o que se tem na planta, validando o projeto aqui desenvolvido.

Palavras chave: Vapor, Água gelada, Dimensionamento, Fenômenos de Transporte.

Fujimori, N.A.S., **Sizing of Ice Water and Steam Systems of the Utilities of a Juice Factory.** 2018. 70p. Completion of Course Work, Federal University of Uberlândia, Uberlândia.

ABSTRACT

The objective of the present work is sizing of an ice water system and a steam generation system of a juice factory. In addition, the chiller and boiler required to reach demands were chosen, and it was possible to compare the results found with what is in the plant, validating the project developed.

Keywords: Steam; Ice Water; Sizing; Transport Phenomena.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	9
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	10
3.1.1. Principais Equipamentos do Processo	13
3.1.1.1. <i>Enchedora</i>	13
3.1.1.2. <i>Concentrador</i>	14
3.1.1.3. <i>Tanque Asséptico</i>	15
3.1.1.4. <i>Pasteurizadores</i>	17
3.1.1.5. <i>Central CIP</i>	18
3.2. CALDEIRAS	19
3.2.1. Tipos de Caldeiras	21
3.2.2. Principais Acessórios	23
3.2.3. Tubulações	30
3.3. CHILLERS	31
3.2.2. Principais Acessórios	33
3.2.3. Tubulações	35
3.2.4. Tabela com os Parâmetros dos Chillers Utilizados	35
4. METODOLOGIA	36
4.1. DIMENSIONAMENTO	36
4.1.1. Tabela com os Parâmetros dos Equipamentos	36
4.1.2. Sistema de Vapor	37
4.1.2.1. <i>Dimensionamento da Tubulação</i>	37
4.1.2.2. <i>Escolha da Caldeira</i>	50
4.1.2.3. <i>Layout da Distribuição da Tubulação</i>	51

4.1.3. Sistema de Água Gelada	52
<i>4.1.3.1. Dimensionamento da Tubulação</i>	52
<i>4.1.3.2. Dimensionamento do Chiller</i>	61
<i>4.1.3.4. Layout da Distribuição da Tubulação</i>	63
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	64
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1. INTRODUÇÃO

A área de utilidades é um dos pilares que mantém a produção industrial. Isso ocorre pois essa engloba a geração e distribuição de vapor, água gelada, ar comprimido e energia elétrica. Assim, independente do tamanho da planta e do que se esteja produzindo, pelo menos uma das ramificações desse setor é necessária para a produção.

Pode-se dizer que a utilidades é responsável por fazer a transferência de energia necessária em um determinado processo. Ou seja, retira e fornece energia de um local para outro ou a transforma em uma de suas inúmeras maneiras de aplicação [1].

O consumo de vapor e de água é diretamente proporcional entre si, pois quanto maior a quantidade de vapor que uma máquina consome, maior é quantidade de água de resfriamento necessária para a troca de calor [1].

De forma análoga, pode-se falar sobre o impacto do consumo da água gelada no processo. Uma das formas de utilização da água gelada é na remoção da energia adquirida pelo processo através do vapor, o que também relaciona de forma direta com o consumo de vapor no equipamento. Além disso, para garantir a qualidade final de um produto, as temperaturas de resfriamento que o mesmo deve atingir em cada fase do processo são parâmetros primordiais.

Portanto, pode-se afirmar que os sistemas citados acima possuem uma alta quantidade de capital envolvido, desde o investimento na implantação, quanto nas manutenções e no preço englobado no valor final do produto já acabado. Assim sendo, é de extrema importância o dimensionamento preciso desses sistemas, o que inclui as linhas de distribuição de suas respectivas energias.

A importância de um bom projeto encontra-se tanto na garantia de atender a demanda requerida, quanto no resguardo de um gasto excedente e desnecessário.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo fazer o levantamento das demandas energéticas de vapor e água gelada de uma fábrica de suco, e a partir de então, realizar o dimensionamento dos equipamentos necessários, assim como tubulações, dos sistemas de distribuição de vapor e de água gelada.

Após a parte de cálculos, será realizada uma comparação com o que se encontra in loco. O layout de distribuição das energias também será apresentado.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir, será realizada uma revisão bibliográfica sobre definições, especificações e esclarecimentos associados à esse projeto. Também serão apresentados os dados levantados dos equipamentos que serão a base do dimensionamento.

3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O processo de produção do suco inicia-se com o recebimento das frutas transportadas até a fábrica por meio de caminhões, os quais param na área da extração e os operadores as descarregam em esteiras. Essas esteiras encaminham os frutos para a primeira lavagem, feita através de uma estrutura que possui escovas superiores e inferiores. Posteriormente, os frutos passam por uma mesa de seleção manual, onde as frutas que não se adequam ao padrão visual estabelecido pelo setor da qualidade são descartadas.



Figura 1 – Primeiro conjunto ds escovas de lavagem do fruto e esteira de seleção, respectivamente.

Posteriormente, as frutas selecionadas passam por uma segunda esteira de lavagem com estrutura similar a primeira. Após a limpeza e seleção da fruta, a mesma se encaminha através de esteiras ao picador, que tem como função o corte da fruta para facilitar a extração da polpa. Assim sendo, os pedaços das frutas cortadas caem em um centrifugador, o qual utiliza a força centrífuga para separar a casca da polpa.



Figura 2 – Picador de frutos.

A partir de então, as cascas que não possuem mais uso são transportadas para os silos para futuro descarte. Caso dê para extrair polpa da casca, a chamada polpa branca, as cascas são destinadas a um processo de cozimento e extração dessa polpa e, posteriormente, essas cascas também se encaminham para os silos de descarte.



Figura 3 – Tanque de polpa branca e esteira de transporte para o silo, respectivamente.

Já a polpa extraída é transportada através de bombas positivas para a próxima etapa, que é o refino. No refino, a polpa tem suas características aprimoradas e começa o processo de asseamento da matéria prima. A polpa nesse estágio tem seu teor, ou seja, sua concentração ajustada para os padrões desejados, através do concentrador. Em seguida, a polpa passa pelos pasteurizadores, onde troca calor e reduz os microrganismos presentes no produto, aumentando seu tempo de conservação.



Figura 4 – Pasteurizador do refino e concentrador, respectivamente.

Após o resfriamento do produto, já com o teor acertado, o mesmo é entamborado e armazenado em baixas temperaturas na câmara fria, para posteriormente ser utilizado na formulação do suco.

Ao ser determinado pelo setor de produção o que será produzido em determinado período, as polpas correspondentes a demanda são retiradas da câmara fria e descongeladas. Após estarem aptas a retornarem ao processo de produção, a formulação se inicia. Nesse processo tem-se a mistura da polpa já refinada com os condimentos que compõe o produto final.



Figura 5 – Tanque de formulação.

Após a mistura se finalizar, a mesma é novamente pasteurizada e depois envasada em suas embalagens correspondentes. Já em seus recipientes completos, os mesmos são empacotados, e após aprovação do setor da qualidade, o suco está em sua forma de produto acabado pronto para ser comercializado.

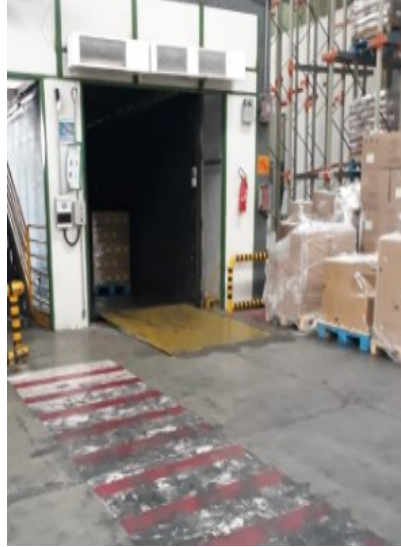


Figura 6 - Expedição.

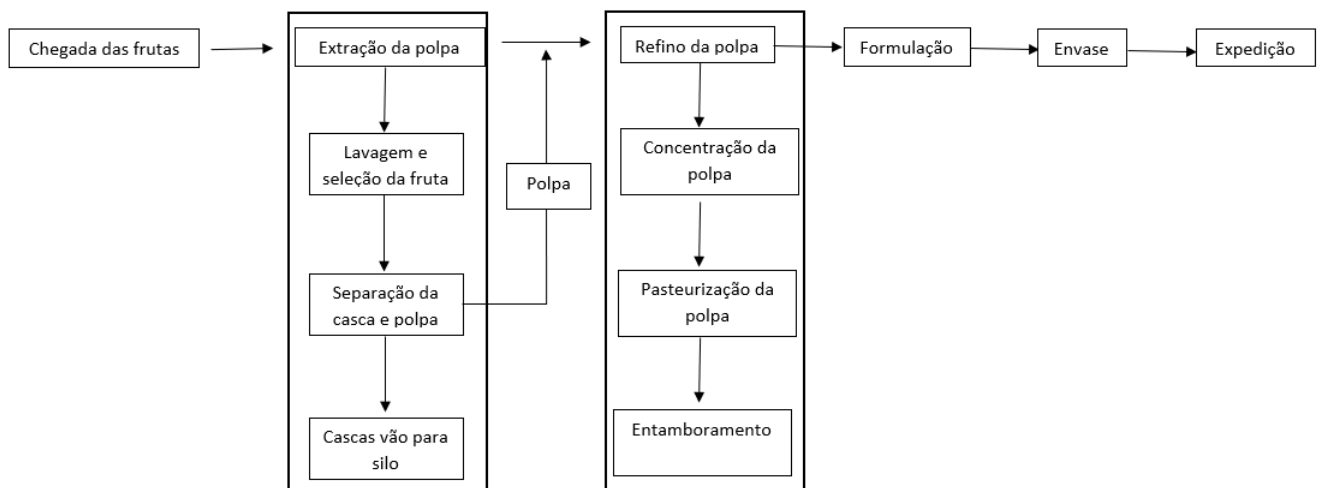


Figura 7 – Fluxograma simplificado do processo da produção do suco.

3.1.1. Principais Equipamentos do Processo

Existem centenas de equipamentos em uma linha de produção, aqui serão citados os principais para o trabalho, pois são eles que possuem o consumo considerável de vapor e água gelada.

3.1.1.1. Enchedora

Como o próprio nome diz, esse equipamento é o responsável por realizar o envase nas garrafas. A garrafa de plástico é lavada através de um enxague, posteriormente há um secamento através de um jato ar comprimido na mesma.

Posteriormente, a garrafa começa a ser preenchida com o suco. O envase ocorre de forma gradativa através de vários bicos de enchimento que a máquina possui. A cada bico que a garrafa passa, ela é envasada um pouco mais. Isso ocorre para melhorar a eficiência do envase, fazendo com que seja de forma suave, ou seja, evitando turbulências e reduzindo drasticamente a possibilidade de derramar e desperdiçar produto. Além disso, este processo também previne a formação de espuma e evita que fique ar aprisionado dentro da garrafa.

Esse equipamento é primordial no processo, e como está em contato direto com o produto acabado é necessário atender requisitos como: nível máximo de higiene em suas peças, bebida manuseada de forma suave, movimentação das garrafas de forma suave, mínimo consumo possível de energia e água, manutenção mínima e qualidade total [2].



Figura 8 – Enchedora de embalagens PET de suco.

3.1.1.2. Concentrador

O concentrador nada mais é do que um evaporador de vários estágios e que através do arranjo de temperaturas, proveniente do vapor, o produto tem sua água extraída, ou seja, é concentrado, até a especificação desejada [3]. O equipamento em si, se baseia em uma estrutura chamada de câmara, dentro da qual existe um trocador de calor de aquecimento indireto, o que possibilita a transferência de calor ao produto por meio de vapor [5].

Existem diversos tipos de evaporadores, todavia o mais utilizado nas indústrias alimentícias é o trocador de múltiplos efeitos. Isso se deve pois a concentração a ser alcançada com determinados produtos e polpas ser alto, precisando até mais de dois estágios, e por ter uma economia de vapor [5].

Nesse tipo de trocador de calor, o produto entra em ebulição e o vapor gerado desse primeiro estágio é reaproveitado no estágio seguinte, juntamente com uma nova quantidade de vapor que entra nessa nova etapa. Quanto mais estágios, maior a concentração e assim o suco passar a ter a concentração desejada. No final do processo, os vapores do sistema são extraídos e condensados.



Figura 9 – Concentrador de polpa de frutas.

3.1.1.3. *Tanque Asséptico*

Durante a produção há momentos que é necessário armazenar de forma intermediária o produto, seja para refrigeração ou para aguardar envase [6]. Para isso, é utilizado o tanque asséptico, o qual também tem função de homogenizar o suco. Para garantir que não haja contaminação do meio externo, tem-se uma sobrepressão dentro do tanque, o que funciona como barreira para que nada possa entrar.

A Figura 10 mostra outra função muito importante do tanque asséptico: a recuperação de produto descartado do processo de pasteurização, reduzindo drasticamente as perdas. Há no sistema um tanque pulmão, que tem como finalidade fornecer e “empurrar” um gás estéril, normalmente nitrogênio, ao circuito de retorno do pasteurizador. Assim sendo, o resíduo de produto que se encontra na tubulação é recuperado e enviado ao tanque asséptico [8].

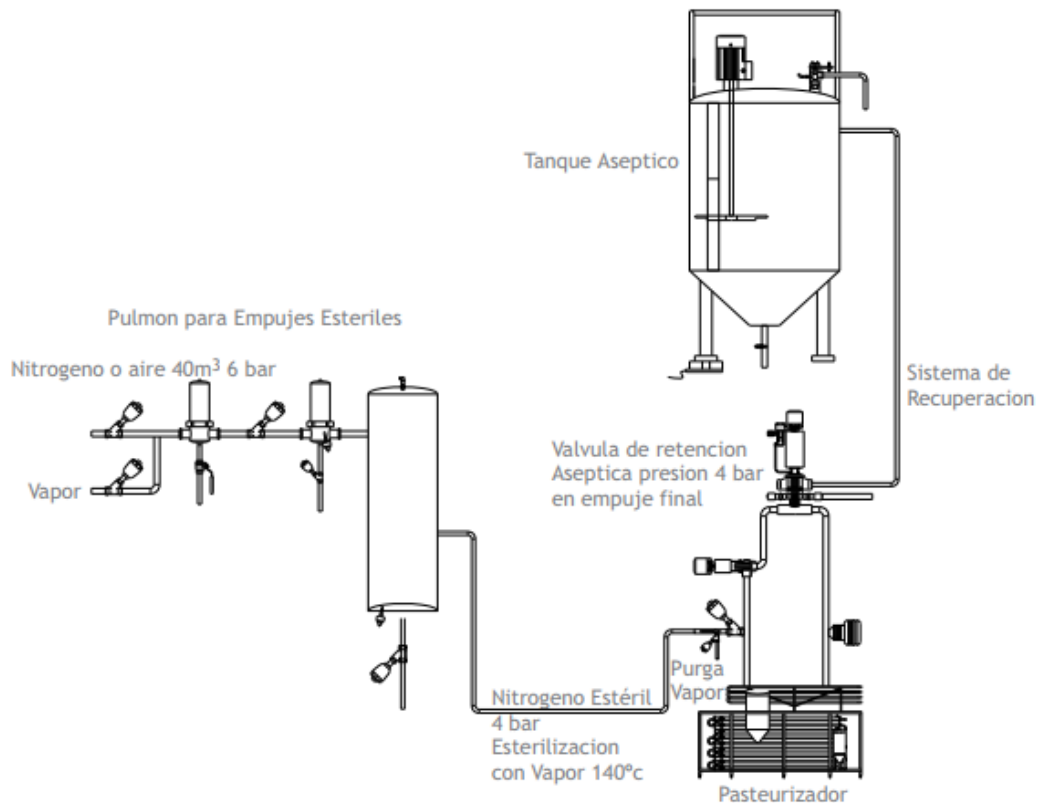


Figura 10 – Recuperação de produto utilizando o tanque asséptico [8].

Como o próprio nome diz, o tanque tem uma estrutura de aço inox e é asséptico, justamente por estar em contato direto com o produto. Para que ocorra a homogeneização, há em sua estrutura motoredutores que compõem os agitadores, os quais podem estar localizados tanto na parte superior quanto na inferior do tanque [7].

O tanque asséptico possui em sua estrutura um conjunto complexo de válvulas que impede alguma incrustação ou partícula queimada entre no suco, isso pode acontecer caso o tempo que o produto fique em processamento seja muito estendido. A limpeza desse tanque ocorre através do vapor, o que ajuda a esterilizá-lo antes do novo ciclo se iniciar além de possuir um mecanismo que evita paradas de produção para ocorrer a limpeza [7].

Para seu funcionamento, é necessário vapor e água gelada. O vapor é necessário para a esterilização em temperaturas que podem chegar até 150 °C. Após o tempo de assepsia é necessário que tenha o resfriamento da estrutura, pois o calor é propício a ploriferação de certos microorganismos maléficos. O resfriamento necessário ocorre por nitrogênio, em seu interior, e na camisa do tanque usa-se água gelada para realizar a troca de calor [8].



Figura 11 – Tanque asséptico da planta.

3.1.1.4. *Pasteurizadores*

A pasteurização é um dos principais processos durante a produção tanto do suco quanto de qualquer outra bebida. É através desse processo que microorganismos maléficos para a saúde humana são eliminados. Isso garante a qualidade do produto, não permitindo que bactérias se proliferem, aumentando tempo de vida do suco e garantindo que a saúde do consumidor não será afetada.

O pasteurizador nada mais é do que um trocador de calor, no qual o produto é aquecido até uma determinada temperatura, suficiente para que mate os microorganismos não desejados, e por tempo proporcional a quantidade de bactérias que se deseja remover [9].

Após o aquecimento, o produto a ser pasteurizado tem que ser resfriado para que não tenha alterações em suas propriedades físicas e nutricionais, como sabor, coloração e proteínas [9]. É importante ressaltar que a temperatura de resfriamento tenha que ser o suficiente para que não permita a proliferação de qualquer bactérias que possa ter restado.

Em indústrias alimentícias, o tipo de pasteurizador mais utilizado é o tubular. Nesses pasteurizadores, a tubulação por onde o suco escoar é concêntrica a uma tubulação por onde passa o fluido que irá realizar a troca térmica. Esse fluido de aquecimento/refrigeração em regime turbulento para aumentar a troca térmica, passa no sentido contrário do escoamento do produto, o qual tem regime laminar [10]. A Figura 12 [10] representa a explicação acima.

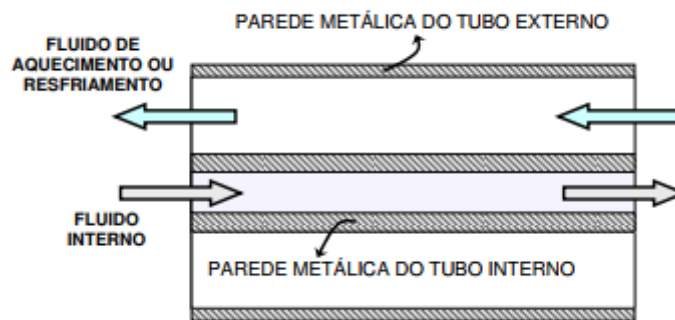


Figura 12 – Ilustração do funcionamento do pasteurizador [10].

É importante que cada processo de uma produção possua seu próprio pasteurizador, pois cada linha possui uma eficiência, além de poder produzirem produtos diferentes e de forma simultânea, não atrasando a produção. Os pasteurizadores tubulares garantem uma troca térmica mais igualitária do fluxo, possuem alto grau de automatização e rápido efeito. A Figura 13 mostra a estrutura real de um pasteurizador.



Figura 13 – Pasteurizadores utilizado no processo de produção do suco.

3.1.1.5. Central CIP

Em qualquer local a higienização é primordial, e quando se produz alimentos em escala e para consumo humano a importância é ainda maior, posto que as chances de contaminação cruzada é ainda maior. A sigla *CIP* significa *Clean in Place*, o que significa limpeza em locais onde o produto irá passar para ser envasado. Esses locais englobam tubulações, máquinas de envase, esteiras, tanques, entre outros [11].

Esse processo, além da importância relacionada a qualidade, também é relevante pois pode ocorrer a limpeza sem que ocorra a desmontagem dos equipamentos, economizando tempo e dinheiro [12].

O *CIP* ocorre obrigatoriamente de 48 em 48 horas, para garantir que a limpeza esteja sempre em dia, todavia há outros casos onde a limpeza é imprescindível: troca do produto a ser envasado e parada de linha por pico de energia são outros exemplos.

Antes de iniciar a produção seguinte, o equipamento é esterilizado durante 30 minutos para garantir estado asséptico [11]. O processo de limpeza ocorre nas seguintes etapas [11] e possui duração em média de 4 horas:

Tabela 1: Tipos de CIP's [11].

Fase	Objetivo
Pré-lavagem com água	Remover sujidades grosseiras
Limpeza com solução alcalina	Remover resto de resíduos (principalmente proteínas e gordura)
Lavagem ou enxague intermediária com água	Remover produtos químicos de limpeza e sólidos dissolvidos nestes.
Limpeza com solução ácida	Remover restos de resíduos (principalmente minerais)
Lavagem ou enxague	Remover produtos químicos de limpeza
Desinfecção/esterilização	Reduzir a carga microbiana a um nível seguro
Enxágue final	Remover desinfetantes

Assim sendo, como é um processo complexo de várias variáveis e equipamentos, é necessário e confortável possuir uma central *CIP* que é a partir de onde os produtos de limpeza serão distribuídos e os parâmetros controlados. Além disso, é uma concentração física dos equipamentos na planta da fábrica, melhorando o aproveitamento do espaço disponível.

3.2. CALDEIRAS

Caldeira é um vaso de pressão com finalidade de gerar vapor devido a troca térmica entre água e a combustão de um combustível [13]. Durante essa troca térmica, a água que

inicialmente se encontra em estado líquido passa para estado de vapor saturado ao receber calor dos gases provenientes da queima do combustível.

A partir de então, os gases de combustão são direcionados para seu descarte correto na atmosfera e o vapor vai ser distribuído em seus pontos de consumo na fábrica. O vapor gerado não tem como finalidade só em ser a energia para o funcionamento de um equipamento, mas também é utilizado na higienização [13].

Como já dito, o vapor utilizado nas indústrias, na maioria dos casos, é o vapor saturado. Isso se deve pois o mesmo se mantém com temperatura constante, na condensação, à pressão constante. A maioria dos equipamentos utiliza de vapor a temperaturas de no máximo 170 °C, que se refere a pressão de saturação de 10 kgf/cm². Maiores temperaturas são possíveis de se alcançarem aumentando a pressão de saturação, porém o custo do gerador de vapor vai aumentando consideravelmente, posto que os materiais e processo de fabricação se tornam mais críticos [14].

A utilização de vapor superaquecido não é tão vantajosa pois o controle da temperatura seria mais complicado, assim sendo as caldeiras nas indústrias podem ser divididas quanto à pressão de trabalho em [14]:

Baixa Pressão: até 10 kgf/cm²

Média Pressão: de 11 a 40 kgf/cm²

Alta Pressão: Acima de 40 kgf/cm²

Por ser uma máquina que trabalha com altas pressões e com produtos inflamáveis, é de extrema importância ter cuidados diários na mesma e em seus componentes, tanto na parte operacional quanto na parte técnica. E para garantir que a mesma esteja trabalhando em perfeitas condições, sem representar um perigo para quem está próximo à ela e à sua vizinhança, existem inspeções anuais com profissionais habilitados que qualificam sua funcionalidade.

O sistema de geração de vapor abrange, além da caldeira, seus componentes, válvulas e tubulações de distribuição. Todos esses conjuntos citados são muito relevantes para garantir uma distribuição de qualidade com maior eficiência do sistema, sem perda de dinheiro e, principalmente, assegurando segurança.

Portanto, a seguir serão tratados de forma mais abrangente os equipamentos citados acima.

3.2.1. Tipos de Caldeiras

As caldeiras podem ser classificadas em dois tipos:

- Flamotubulares;
- Aquatubulares.

As flamotubulares possuem como principal característica a presença da água ao redor da tubulação pela qual os gases da combustão passam. Portanto, como necessita de grande área para a troca de calor com a água disponível, há inúmeros passes de tubulações onde a partir deles que os gases de combustão farão a água em estado líquido se tornar vapor.



Figura 14 – Caldeira flamotubular encontrada na planta.

Esse tipo de caldeira é utilizado quando se deseja obter vapor saturado de baixa pressão e média baixa pressão, e sua eficiência máxima é em torno de 90%. Sua estrutura é cilíndrica horizontal e em cada extremidade da mesma há espelhos, nos quais estão a fornalha e as tubulações. Na saída da câmara de combustão, podem haver refratários ou paredes metálicas molhadas. A Figura 15 mostram um tipo de caldeira de parede molhada e um tipo com fundo refratário, respectivamente [14].

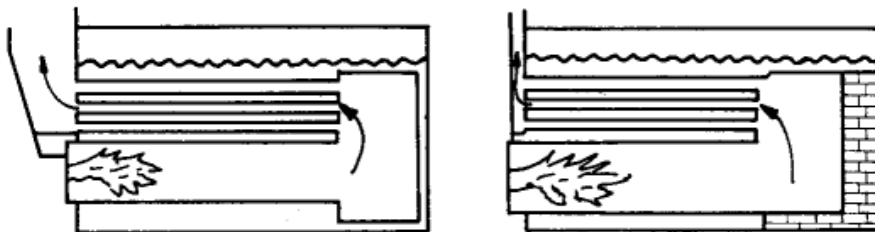


Figura 15 – Caldeira de parede molhada e caldeira com fundo refratário, respectivamente [14].

Um dos principais componentes de uma caldeira é a fornalha, que é onde a combustão ocorre nas caldeiras flamotubulares. É de muita importância que a combustão ocorra em sua totalidade dentro desse subconjunto da caldeira, caso contrário há a reversão de chama danificando os espelhos [14].

A característica mais evidente das caldeiras aquatubulares, com relação às flamotubulares, se deve o lugar onde a água se encontra para a troca de calor. Nesse caso, a água está dentro da tubulação e os gases da combustão ficam ao redor dos mesmos.



Figura 16 – Caldeira aquatubular [33].

Na Figura 16 pode-se observar que sua estrutura é muito mais robusta do que a estrutura das flamotubulares. Na parte inferior de sua estrutura a água encontra-se líquida, permitindo que os sólidos presentes nessa fase possam ser retirados. A medida que a água se desloca na tubulação, a mesma vai recebendo calor latente e mudando de fase. Portanto, ao chegar no tubulão superior, a água se encontra como vapor.

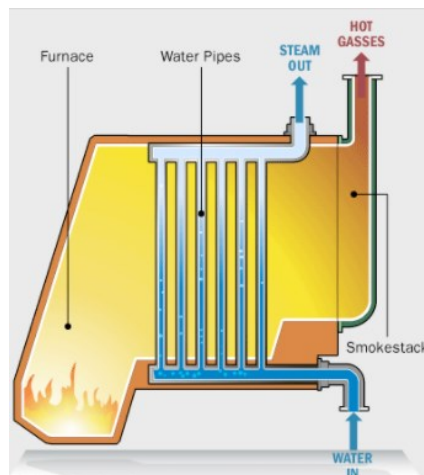


Figura 17 – Esquema de funcionamento das caldeiras aquatubulares [14].

A tubulação de água podem ser retas ou curvadas, mas vale ressaltar que as tubulações curvadas demandam um projeto mais detalhado e a dificuldade de fabricação é maior, o que faz com que seu custo seja mais elevado [14].

A Tabela 2 mostra as principais diferenças entre as caldeiras descritas acima [15]:

Tabela 2: Comparações entre caldeira flamotubular e aquatubular.

Característica	Caldeira Flamotubular	Caldeira Aquatubular
Maior Custo		X
Limitações nas pressões de trabalho	X	
Usam qualquer tipo de combustível	X	
Facilidade de manutenção	X	
Partida lenta	X	
Maior taxa de produção de vapor por unidade de área de troca de calor		X
Tratamento de água mais cuidadoso		X

3.2.2. Principais Acessórios

O sistema de distribuição de vapor, como já dito, é composto de vários outros acessórios além da caldeira. O dimensionamento e posicionamento corretos desses acessórios é de extrema importância, pois isso pode afetar diretamente a eficiência do sistema, aumento dos custos e qualidade do vapor.

Assim sendo, a seguir serão descritos os principais conjuntos e acessórios em um sistema de distribuição de vapor.

- *Válvula de segurança/alívio*: são válvulas que reduzem a pressão em um sistema quando a mesma atinge um valor considerado de risco. Diferente das válvulas de alívio, as válvulas de segurança atuam de forma imediata e são utilizadas para vapores e gases. A Figura 18 mostra uma válvula de segurança utilizada nas caldeiras [17].



Figura 18 – Válvula de segurança [17].

A principal diferença entre as válvulas de segurança e as de alívio, é que as válvulas de alívio são colocadas em sistemas em que o fluido se encontra no estado líquido

Nas caldeiras flamotubulares que possuem área de troca térmica maior que 46,5 m², por norma, é obrigatório a presença de duas válvulas segurança no tubulão superior. Já nas aquatubulares com superaquecedores, as válvulas de segurança tem que ser aptas para retirarem de 15 a 25% da capacidade total de vapor do gerador de vapor [16].

Caso tenha um superaquecedor, é obrigatório nele uma válvula de segurança, além das válvulas no balão superior que serão responsáveis pela quantidade que irá restar da vaporização do gerador de vapor. A válvula no superaquecedor é a primeira a abrir para que tenha um fluxo contínuo através da tubulação do superaquecedor, e isso faz com que o vapor saturado refrigere a tubulação [17].

Todas as válvulas de segurança são colocadas de forma que o aumento da pressão acima da pressão máxima de trabalho permissível não exceda 6%. As válvulas de segurança do corpo da caldeira são ajustadas para terem sobrepressão de 3%, ou seja, se forem expostas a uma pressão 3% maior do que a pressão que foram ajustadas, essas válvulas darão passagem plena ao vapor, posto que seu disco de vedação estará no final de seu curso [16].

Quando há a necessidade de possuir mais de uma válvula, a segunda da primeira possui uma diferente de pressão de ajuste e 3%. Isso ocorre para que caso a primeira não esteja defeituosa e não abra, a segunda garante a abertura e redução da pressão.

Essas válvulas, assim como a de alívio, são uma maneira de garantir a segurança dos patrimônios e das pessoas ao redor.

- *Purgadores*: são válvulas automáticas responsáveis por eliminar o vapor que se condensou na linha, fazendo com que só o vapor fique retido nos equipamentos de forma a não perder calor. Além disso, os purgadores fazem com que golpes de aríete e vibrações sejam evitados, além de minimizar a corrosão.

Existem três tipos de purgadores, o primeiro é o que atua devido à um delta de densidades, e são chamados de purgadores mecânicos. O segundo age pela diferença de temperatura, são os purgadores termostáticos. A última classificação são os purgadores especiais, que podem ser termodinâmicos ou por impulso [18].

Para a instalação dos purgadores há algumas recomendações extremamente relevantes, de forma que o sistema não perca energia e que os purgadores funcionem da maneira mais eficiente possível. Na Figura 19 [18] pode-se observar o posicionamento indicado dos purgadores em uma linha de vapor.

Pode-se observar que antes de um purgador sempre é colocado um filtro, caso o mesmo não tenha filtro já incluso em sua estrutura, de forma que partículas sólidas não entrem no mesmo danificando seu funcionamento. Quando há descarga livre, recomenda-se colocar válvula de bloqueio e uma de dreno. Se a descarga for fechada, deixar o purgador entre duas válvulas de bloqueio. Já a linha de condensado, é situada abaixo dos purgadores, para garantir que só vá líquido para a mesma, e é importante que seu comprimento não seja tão longo [18].

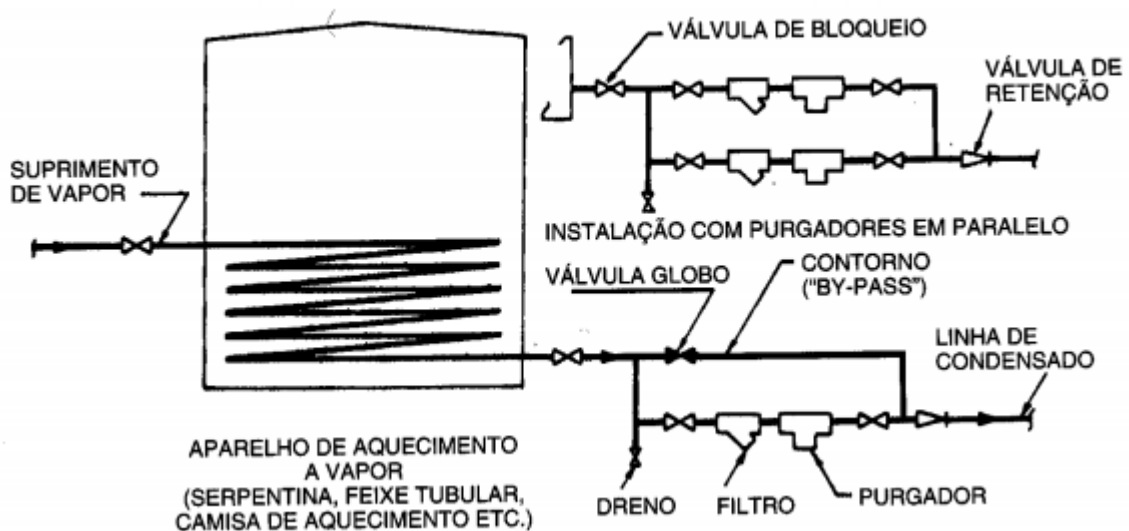
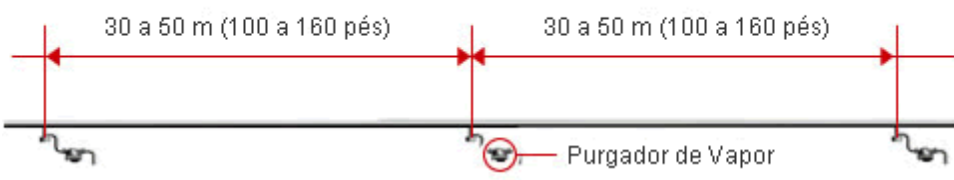


Figura 19 – Instalação correta de purgadores [18].

Na Tabela 3 [21] é listado boas práticas para instalação de purgadores de forma a aproveitar as melhorias que esse equipamento pode trazer para a linha de vapor.

Tabela 3: Boas práticas para instalação de purgadores [21].

Cada 30 a 50 metros (100 a 160 pés)	
Localização do purgador em linhas de vapor	 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Devem ser instalados a cada 30 - 50 metros da tubulação, ✓ Devem ser instalados nas partes inferiores de subidas e descidas da tubulação, de forma que facilite a retirada do condensado devido a gravidade.
Localização com relação à válvulas redutoras de pressão	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Antes de cada válvula de redução e/ou controle é necessário a presença de um purgador, de forma que o condensado não fique amontoado; ✓ Previne que ocorra a erosão do assento da válvula; ✓ Entre duas válvulas de redução, recomenda-se colocar um purgador para que recolher algum condensado que possa ter se formado durante o resfriamento da tubulação.
Localização com relação as válvulas manuais	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Quando válvulas manuais ficam fechadas por longo períodos, é recomendado a instalação de purgadores, eliminando o condensado formado devido a perda de calor da tubulação; ✓ Recomendado a instalação no final da tubulação principal, impedindo que fique condensado na linha facilitando a perda de calor e favorecendo a corrosão.

Como os purgadores podem estar situados em locais de difícil acesso, ou podem existir em grande quantidade fazendo com que os registros deixem passar alguns, pode acontecer de ocorrer falhas nos mesmos devido a falta de manutenção. Portanto, é importante que os mesmos estejam instalados em locais de acesso fácil para manutenção e inspeção.

Cerca de até 20% de redução da eficiência de energia é causada por purgadores danificados por sujeira, provocando vazamentos [19].

- *Filtros*: são elementos que selecionam o que continuará a passar no fluxo e o que será retido. Isso faz com que partículas sólidas que possam prejudicar o equipamento, ou comprometer o funcionamento de alguma válvula, não causem problema além de ajudar manter a linha limpa.

Os filtros são compostos de elementos filtrantes, os quais variam de acordo com o grau de pureza desejado. Em uma caldeira existem os filtros de óleo, os quais são compostos por uma grade metálica ou chapa perfurada, proporcionando uma filtragem grosseira do óleo, mas suficiente para reduzir as chances de algo sólido ir para as bombas de óleo ou para o pré aquecedor.

Entretanto, os filtros geram uma grande perda de carga na linha, quanto mais fino o elemento filtrante, maior essa perda. Assim sendo, é importante que seja escolhido o melhor modelo e posicioná-los somente nos lugares necessários.

Atualmente, existem filtros para a linha de vapor no modelo Y, os quais permitem que as impurezas sejam descartadas do filtro sem necessidade de parada da linha. Isso ocorre devido a presença de uma válvula de descarga no dreno, garantindo maior eficiência da linha.

- *Distribuidores*: É um barrilete para o qual o vapor gerado pela caldeira é direcionado, e a partir daí é distribuído para a fábrica para ser consumido. A utilização de um barrilete faz com que possíveis arrastes na caldeira sejam recebido pelo mesmo.

Entende-se por arraste, pequenas gotículas de água presentes no vapor, diminuindo seu título, e que prejudicam a qualidade do mesmo e que pode ser prejudicial para certos equipamentos [22].



Figura 20 – Barrilete primário da linha de distribuição de vapor.

A Figura 20 mostra um barrilete de uma caldeira, e como é possível observar há presenças de válvulas globo, que são responsáveis por controlar o fluxo de vapor que sai do gerador de vapor e que irá ser distribuído para as linhas. Isso faz com que o desperdício seja evitado, de forma que só vá vapor para onde tem realmente um consumo [22].

- *Sistema de retorno de condensado*: Pode-se definir condensado como a mudança do vapor ao ceder calor latente, o que faz com que o fluído passe para o estado líquido. Assim sendo, retorno de condensado, é o reaproveitamento da água quente, ou seja, reaproveitamento do calor que ainda está contido na mesma.

Assim sendo, o sistema de retorno de condensado significa economia de energia e de custos. Isso ocorre pois pode-se usar essa água de retorno para processos de limpeza, pré aquecimento, vapor e alimentação, como será citado a seguir [23].

A água do condensado tem suas impurezas eliminadas, de forma que não é necessário o uso de produtos químicos, podendo ser utilizada novamente nas caldeiras. Além disso, por possuírem alta temperatura, o calor latente necessário que o gerador de vapor tem que prover para a mudança de estado é menor, gerando uma economia de combustível. De acordo com [23] a cada 6 °C na temperatura do condensado, conseguimos reduzir 1% do combustível utilizado.

Com relação ao meio ambiente também tem as vantagens em reutilizar essa água, pois não se pode descartar água à altas temperaturas, então o reaproveitamento reduz a quantidade de efluente a ser tratado. Além disso, ao reduzir a quantidade de combustível a ser utilizado na caldeira, conseqüentemente é reduzido a emissão de poluentes na atmosfera. Outra vantagem a ser citada é a redução de descarga de fundo e maior preservação contra corrosão da tubulação [24].

Na Figura 21 [23] pode-se observar o retorno ideal de condensado, que é aquele que ocorre por gravidade. Dessa forma o sistema se torna mais simples, com menos acessórios e garante que nenhum condensado fique dentro de algum equipamento ou tubulação.

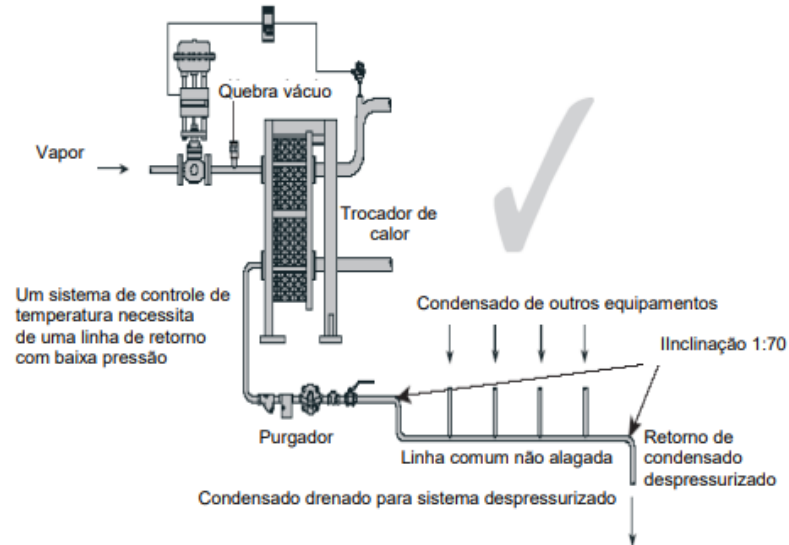
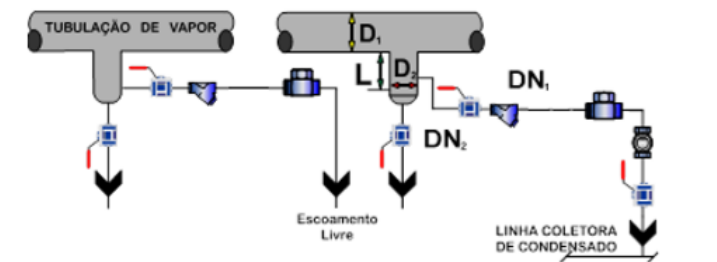


Figura 21 – Retorno de condensado ideal [23].

O bombeamento de condensado pode ser realizado por bombas centrífugas para temperaturas elevadas e que são eficientes para pequenas alturas de alimentação. Também podem ser utilizadas bombas de vapor, as quais permitem entrada de vapor e que precisam ter seu vapor interno aliviada para poderem aguentar nova carga [24].

Com relação a tubulação de condensado a escolha da mesma segue conforme a Figura 22 [37], onde pode-se perceber que através do diâmetro da linha do vapor que é escolhido o diâmetro da linha de condensado, assim como o da linha coletora.



DIÂMETROS CORRESPONDENTES

D₁	mm. 50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600
	pol. 2"	2.1/2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"
D₂	mm. 50	65	80	80	80	100	150	150	200	200	200	250	250	250
	pol. 2"	2.1/2"	3"	3"	3"	4"	6"	6"	8"	8"	8"	10"	10"	10"
DN₁	pol. para todas as medidas utilizar 1/2"													
DN₂	pol. 3/4"	1"	1"	1"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	2"	2"	2"	2"	2"	2"
L	mm. para todas as medidas utilizar como mínimo 250													

Figura 22 – Escolha da tubulação de condensado [37].

3.2.3. Tubulações

As tubulações são um parâmetro fundamental em um sistema de distribuição de vapor, pois é a partir delas que o vapor e o condensado serão transportados no sistema.

As tubulações de vapor precisam ser isoladas de forma que o título do mesmo não diminua, o que pode prejudicar a qualidade do vapor e pode danificar ou reduzir a eficiência das máquinas que o utilizam. Além disso, o isolamento da tubulação impede que acidentes por queimaduras aconteçam.

Os materiais de isolamento mais utilizados são a lã de rocha, hidrossilicato de cálcio e lã de vidro. A Figura 23 mostra o gráfico relação custo por tamanho da espessura e pode-se observar que há um ponto ótimo entre eficiência do isolamento com um preço acessível. [25].

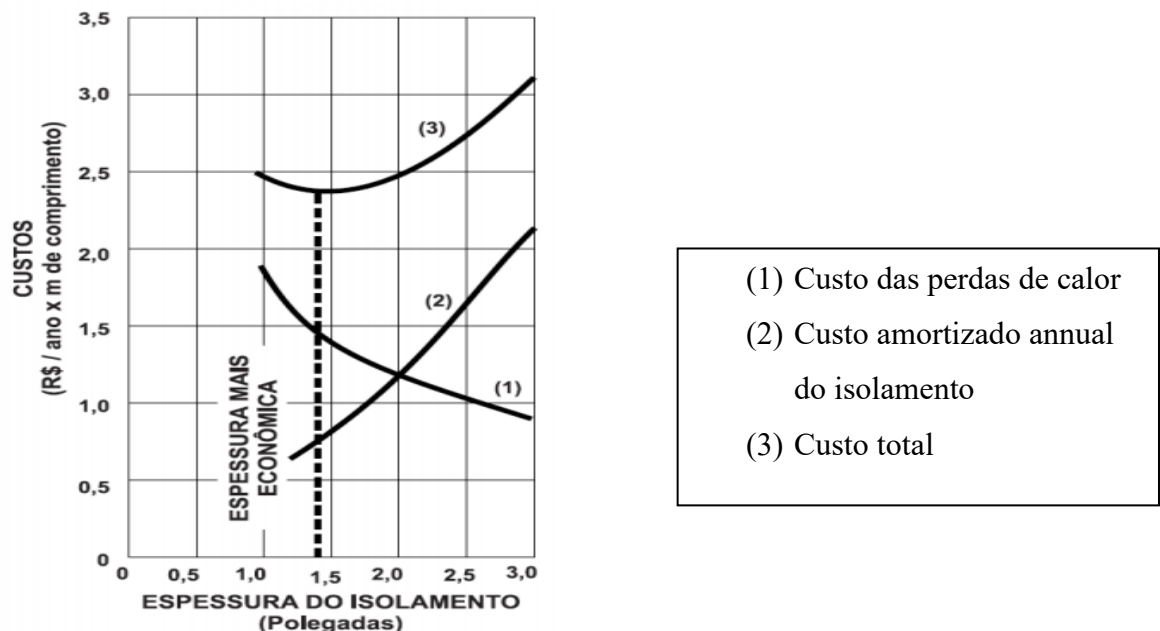


Figura 23 – Relação entre espessura de isolamento e custo benefício [25].

O material ideal para a fabricação da tubulação de transporte de vapor é o aço inox, porém devido ao seu custo elevado muitas empresas optam pelo aço carbono, mesmo tendo um tempo de vida consideravelmente menor. Isso ocorre pois as caldeiras que se queima óleo geram óxidos de enxofre, que por sua vez, ao entrarem em contato com umidade tornam-se ácido sulfúrico, havendo a corrosão das tubulações.

3.2.4. Tabela com os Parâmetros da Caldeira Utilizada

Tabela 4: Parametros da caldeira utilizada na fábrica.

Caldeira Alfa Laval – Caldeira 1 – 15 Ton	
Fabricante	ALFA LAVAL
Horas operação/ano	8640 h
Pressão Máxima	11,95 kg/cm ²
Pressão Operação	10 kg/cm ²
Vazão Máxima	15.000 kg/h
Vazão Operação	12.000 kg/h – Média
Medição de Vazão	Sim (OK)
Combustível	Óleo Mineral e BPF
Controle de Nível	Sim (Modulante)
Descarga de Fundo	Sim (Automáticas)
Descarga de Nível	Sim (Manual)
Válvula de segurança	Sim (OK)

3.3. CHILLERS

Chillers são equipamentos projetados para resfriarem fluidos, normalmente água, que serão utilizados na refrigeração de processos ou até mesmo arrefecer o ar [26]. São unidades de refrigeração compostas por compressor, condensador, evaporador, válvulas de expansão, separador de líquido, separadores de óleo, ou seja, possui em uma única unidade todas as máquinas de um ciclo de refrigeração de maior proporção. A Figura 24 mostra um chiller industrial.



Figura 24 – Chiller encontrado na planta.

O ciclo termodinâmico de um chiller segue o ciclo básico de refrigeração. O fluido refrigerante passa através de uma válvula de expansão no início do evaporador, fazendo com que a pressão do mesmo caia de forma brusca, perdendo temperatura e ganhando título. Assim, no evaporador esse fluido troca calor com a água de forma que a mesma seja resfriada e possa ser utilizada no processo.

Já o fluido refrigerante é direcionado ao compressor, onde entra como gás frio à baixa pressão e sai com alta pressão e temperatura. Para fechar o ciclo, o fluido refrigerante em estado gasoso necessita voltar para seu estado líquido, justificando a presença de um condensador na unidade de refrigeração. A água de condensação do condensador do chiller é resfriada através de torres de refrigeração, para que a mesma volte a retirar calor do fluido refrigerante.

Os chillers são capazes de atingir temperaturas muito baixas, possuem baixo consumo e alta durabilidade, além de serem flexíveis quanto a instalação. Como desvantagem, pode-se citar que possuem um tamanho considerável, dependendo da sua capacidade, o que demanda espaço e transporte adequado [27].

3.3.1. Tipos de Chillers

Os chillers podem ser subdivididos em chillers de compressão/elétrico e chillers por absorção.

Os chillers de compressão, ou também chamados de elétricos, possuem como princípio de funcionamento a utilização de compressores mecânicos, os quais são movidos por motores elétricos. Esse tipo de chiller permite que a pressão de trabalho seja aumentada durante o ciclo, porém isso impacta no maior consumo de energia elétrica [28].

A principal diferença entre os tipos de chillers é com relação ao princípio de funcionamento dos compressores. Enquanto os de compressão funcionam através do calor proveniente das reações químicas, os de absorção possuem como fonte motriz o calor. Assim sendo, os de absorção precisam da queima direta do combustível, ou vapor, ou água quente ou gases oriundos da combustão.

Esse tipo de chiller tem como vantagem a utilização de uma energia que seria descartada, gerando uma economia considerável, além de necessitarem de manutenções em períodos muito menores devido a ausência de componentes móveis. Como desvantagem, pode-se citar que os chillers por absorção possuem um rendimento de performance muito menor do que os chillers de compressão [28].

3.2.2. Principais Acessórios

Em um sistema de água gelada, além do chiller, possuem como equipamentos adicionais a torre de resfriamento e pode existir um tanque de água gelada. Isso ocorre devido o chillers serem unidades completas e compactas.

As torres de refrigeração são necessárias, como já citado, para gerar a troca térmica do fluido refrigerante. Elas podem ser classificadas de diversas maneiras: quanto ao fluxo entre a corrente de ar e água, distribuição da água dentro da torre e, a mais importante, com relação a movimentação do ar [29].

Quanto à movimentação do ar existem as torres que se caracterizam por seu funcionamento estarem diretamente ligados ao movimento do vento, essas são chamadas de torres atmosféricas. A Figura 25 [29] ilustra a direção tanto do fluxo de água como ar.

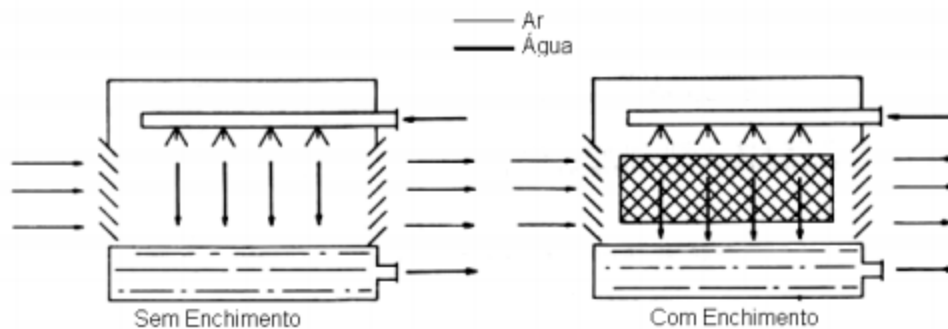


Figura 25 – Fluxos encontrados em torres de resfriamento [29].

Pode-se observar que a água troca calor com o ar de forma cruzada, ou seja, enquanto o fluxo da água cai no sentido vertical, o ar passa de forma horizontal na torre. É exatamente por isso que essas torres são muito altas por estarem dependentes dos ventos, de forma que exista uma troca de calor eficiente com a água.

Já as torres que possuem o fluxo de ar forçado através de ventiladores são chamadas de torres de tiragem mecânica forçada. Esses ventiladores permitem o controle total do fluxo de ar, de forma que a altura dessas torres são menores e a falta de movimentação natural do ar não influencia na eficiência da troca térmica.

Os ventiladores podem estar instalados tanto na parte inferior da torre, provocando insuflamento do ar, ou na parte superior, o que causa uma pressão negativa na torre de forma a succionar o ar de fora para dentro. A Figura 26 [29] ilustra o fluxo da corrente de ar dessas

torres e a Figura 27 mostra uma torre de resfriamento de fluxo de ar forçado instalada na planta da fábrica.

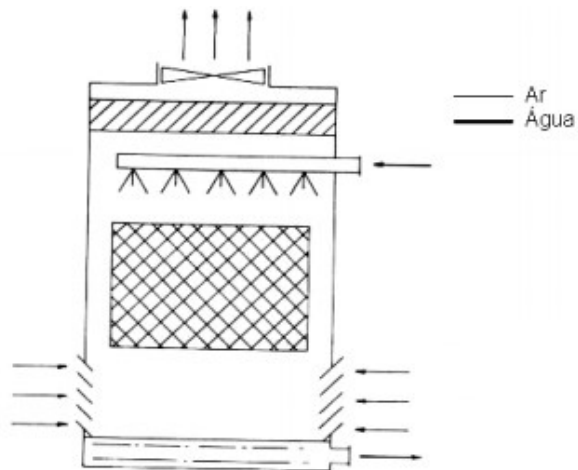


Figura 26 – Fluxo de corrente de ar nas torres de resfriamento [29].



Figura 27 – Torre de resfriamento da fábrica do chiller de maior capacidade.

Outro equipamento que pode ser ou não instalado em um sistema de água gelada é o tanque de água gelada, o qual funciona como um reservatório pulmão intermediário.

3.2.3. Tubulações

As tubulações de um sistema de água gelada seguem o princípio da tubulação do sistema de vapor. Da mesma forma que o vapor pode perder calor o mínimo possível, a água gelada também deve ganhar o menos possível em seu transporte.

Isso é necessário devido a temperatura que certos equipamentos precisam para funcionar de adequadamente e tratar o produto preservando sua qualidade. O isolamento é utilizado somente na tubulação de ida da água gelada, posto que na volta a água já ganhou calor do processo. Como o custo do isolamento é elevado, é de extrema importância economizar onde o mesmo não é necessário.

Entre os tipos de isolamentos mais utilizados, a espuma elastomérica se destaca como opção de escolha para as tubulações de água gelada. Pode-se encontrar a mesma em fomas de mantas e tubos, sendo eficaz em temperaturas de até -50°C [30].

3.2.4. Tabela com os Parâmetros dos Chillers Utilizados

Na planta possui dois chillers, um PAC 108 S e um PAC 108 E, pois suprir a demanda é necessário o funcionamento simultaneo dos equipamentos. Quando a demanda é consideravelmente pequena, somente um trabalha. Na Tabela 5 encontram-se os parâmetros do equipamento.

Tabela 5: Parametros dos chillers utilizados na fábrica.

Water: inlet 12°C, outlet 7°C								
Type	Capacity kW	E-motor kW	R717 charge kg	Dry weight kg	Unit dimensions in mm			Sound level dB(A)
					L	W	H	
PAC 104 S-A	271	78	48	3100	3300	1850	2300	77
PAC 104 L-A	345	78	49	3250	3300	1850	2300	77
PAC 104 E-A *	351	91	51	3400	3300	1850	2300	78
PAC 106 S-A	406	91	51	3500	3300	1850	2300	78
PAC 106 L-A	517	113	54	3550	3300	1850	2300	79
PAC 106 E-A *	527	136	57	3700	3550	1850	2300	79
PAC 108 S-A	542	136	54	3700	3300	1850	2300	79
PAC 108 L-A	690	162	58	3900	3550	1850	2300	80
PAC 108 E-A *	702	162	74	4300	3850	1850	2450	80
PAC 112 S-A	812	200	73	4650	4130	1850	2450	80
PAC 112 L-A	1035	245	78	5000	4130	1850	2450	81
PAC 112 E-A *	1053	245	84	5300	4550	1850	2450	81
PAC 116 S-A	1083	245	79	5350	4130	1850	2450	81
PAC 116 L-A	1393	303	98	5650	4900	1850	2450	82
PAC 116 E-A *	1404	308	137	6300	5750	2000	2600	82

4. METODOLOGIA

4.1. DIMENSIONAMENTO

4.1.1. Tabela com os Parâmetros dos Equipamentos

A seguir, nas Tabelas 6 e 7, encontram-se o consumo de vapor e de água gelada dos principais equipamentos da fábrica. Os dados foram retirados de seus respectivos manuais. A partir desses dados que o dimensionamento será realizado, para que seja possível atender a demanda requerida.

Tabela 6: Consumo de vapor dos principais equipamentos.

EQUIPAMENTO	CONSUMO DE VAPOR (kg/h)
Concentrador	4.173
Pasteurizador Refino	3.000
Pasteurizador SIG 01	2.000
Pasteurizador PET	1.450
Pasteurizador SIG 200	500
Enchedora	500
Tanque Estéril	500
Central CIP	900
TOTAL	13.023

Tabela 7: Consumo de água gelada dos principais equipamentos.

EQUIPAMENTO	CONSUMO DE ÁGUA GELADA (l/h)
Pasteurizador Refino	3.000
Pasteurizador SIG 01	18.000
Pasteurizador PET	61.000
Pasteurizador SIG 200	32.000
Tanque Asséptico	5.000
TOTAL	119.000

A menor temperatura de entrada de água gelada dos equipamentos é de 10°C e a maior temperatura de retorno é a 20 °C. Vale ressaltar que há um tanque de água gelada que funciona como um pulmão reservatório, e é partir dele que a água é distribuída nas linhas. Com relação ao vapor, todo o vapor utilizado é saturado e a menor temperatura requerida é de 140 °C.

4.1.2. Sistema de Vapor

A seguir serão dimensionados os principais componentes de um sistema de distribuição de vapor.

4.1.2.1. Dimensionamento da Tubulação

Primeiramente, devemos determinar um diâmetro para as tubulações de vapor através da fórmula (1), onde vazão é igual ao produto da velocidade e área:

$$(1) \quad Q = V \cdot A$$

Substituindo em (1) a área pela fórmula da área de uma tubulação circular, temos:

$$(2) \quad Q = V \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

A vazão também pode ser dada pela fórmula (3), produto entre a descarga de fluido pelo volume específico:

$$(3) \quad Q = G \cdot v$$

Substituindo (3) em (2) e isolando d , temos a fórmula (4) para se descobrir o diâmetro de uma tubulação:

$$(4) \quad d = \sqrt{\frac{4 \cdot G \cdot v}{\pi \cdot V}}$$

Onde, G é o fluxo mássico dado em kg/s, v é o volume específico em m³/kg e V é a velocidade dada em m/s, fazendo com que o diâmetro da tubulação (d) dê o resultado em metros.

O dimensionamento será dividido em duas etapas: a primeira é o dimensionamento da tubulação principal de vapor, a qual sai da caldeira e é direcionada ao distribuidor de vapor. A mesma é responsável por transportar a vazão total de vapor requerida em toda fábrica. A segunda, será o dimensionamento da tubulação de cada um dos equipamentos, pois cada um possui uma vazão de vapor.

Assim sendo, considerando os 240 metros de tubulação principal que se distribui para os equipamentos aqui já citados, e também considerando consumo pleno de vapor por parte dos principais equipamentos, o que gera uma demanda de 13.023 kg/h.

Com a caldeira trabalhando em regime pleno de 15.000 kg/h de vapor saturado em uma pressão de trabalho de 10 bar, temos a Tabela 8 [32] que indica a velocidade recomendada para cada estado do fluido do sistema de geração de vapor.

Tabela 8: Velocidades do fluido em função do estado do fluido [32].

Fluido	Velocidade Recomendada (m/s)
Vapor Saturado	20 - 40
Vapor de Flash (Baixa Pressão)	15 - 25
Vapor Superaquecido - G até 20 t/h	35
Vapor Superaquecido - 20t/h < G < 80 t/h	40 - 50
Vapor Superaquecido - G > 80 t/h	50 - 65
Água de Alimentação	0,5 - 1
Água de Alimentação Pressurizada	1,5 - 3,5
Água de Condensação	0,7 - 1,5
Água de Condensação Pressurizada	1 - 5,5

Como o fluido de trabalho é vapor saturado, será adotado uma velocidade intermediária da faixa recomendada, sendo esse valor 30 m/s. Para calcular o diâmetro inicial da tubulação principal de vapor do dimensionamento, ainda é necessário o volume específico, o qual pode ser encontrado através das propriedades termodinâmicas:

$$\begin{array}{l}
 \text{Pressão} = 1.000 \text{ kPa} \\
 \text{Temperatura} = 180^\circ \text{ C}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{Pressão} \\ \text{Temperatura} \end{array}} \right\}
 \begin{array}{l}
 v = 0,1944 \text{ m}^3/\text{kg} \\
 \rho = 5,144 \text{ kg/m}^3 \\
 \mu = 0,00001502 \text{ kg/m.s}
 \end{array}$$

Substituindo os dados em (4), tem-se:

$$(5) \quad d = \sqrt{\frac{4 \cdot \frac{15.000}{3.600} \cdot 0,1944}{\pi \cdot 30}} = 0,1854 \text{ m} = 7,3''$$

Na Tabela 9 [32] mostra os diâmetros comerciais de tubulações para vapor, onde a partir do diâmetro encontrado será escolhido o diâmetro com o valor mais próximo acima do calculado, de forma que o sistema não fique subdimensionado.

Tabela 9: Características de tubulações de acordo com seu diâmetro nominal [32].

TUBO DE AÇO INDUSTRIAL SCHEDULE					
NOMINAL	DENOMINAÇÃO		ESP. PAREDE MM	SCH Nº	PESO KG/M
	Ø EXTERNO MM	Ø INTERNO MM			
3/8"	17,15	12,53	2,31	40	0,85
		10,75	3,20	80	1,10
1/2"	21,34	15,80	2,77	40	1,26
		14,16	3,73	80	1,62
3/4"	26,67	20,93	2,67	40	1,68
		18,85	3,91	80	2,19
1"	33,40	26,64	3,38	40	2,50
		24,30	4,55	80	3,23
1 1/4"	42,16	35,04	3,56	40	3,38
		32,46	4,85	80	4,46
1 1/2"	48,26	40,90	3,68	40	4,05
		38,10	5,08	80	5,40
2"	60,32	52,50	3,91	40	5,43
		49,24	5,54	80	7,47
2 1/2"	73,03	62,71	5,16	40	8,62
		59,01	7,01	80	11,40
3"	86,90	77,92	5,49	40	11,28
		73,66	7,62	80	15,25
3 1/2"	101,60	90,12	5,74	40	13,56
		85,44	8,08	80	18,60
4"	114,30	102,26	6,02	40	16,06
		97,18	8,56	80	22,29
5"	141,30	128,30	6,55	40	21,75
		122,20	9,52	80	30,92
6"	168,30	154,00	7,11	40	28,33
		148,30	10,97	80	42,51
8"	219,00	202,70	8,16	40	42,48
		193,60	12,70	80	64,56
10"	273,00	254,50	9,27	40	60,23
		242,80	15,00	80	95,87
12"	323,80	306,20	10,30	40	79,64
		288,90	17,40	80	131,86
14"	355,60	334,30	11,30	40	94,40
		317,50	19,00	80	151,92
16"	406,40	381,00	12,70	40	123,16
		363,50	24,44	80	203,28
18"	457,20	428,60	14,27	40	155,65
		409,50	23,66	80	254,35
20"	508,00	477,80	15,09	40	183,19
		455,60	26,19	80	310,80
22"	558,80	527,00	15,88	40	212,31
		501,60	28,47	80	373,21
24"	609,60	574,60	17,48	40	254,86
		547,60	30,96	80	441,31

O próximo valor na tabela acima do diâmetro inicial encontrado de 7,3" é o de 8", o qual possui os parâmetros da Tabela 10.

Tabela 10: Características da tubulação escolhida.

Diâmetro Externo (mm)	219
Diâmetro Interno (mm)	202,70
Espessura da Parede (mm)	8,18
Schedule N°	40
Peso (kg/m)	42,48

Corrigindo a velocidade temos:

$$(6) \quad V = \frac{Q}{S} \quad (\text{m/s})$$

Onde,

$$Q = \frac{15.000 \times 0,1944}{3.600} = 0,81 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S = \pi \cdot (R_{int})^2 = \pi \cdot 0,1014^2 = 0,0322 \text{ m}^2$$

Portanto,

$$V = \frac{0,81}{0,0322} = 25,1 \text{ m/s}$$

Nota-se que a velocidade corrigida está dentro do recomendado pela Tabela 8.

Agora precisamos calcular a perda de carga no sistema para ver se a tubulação dimensionada atende aos requisitos de projeto.

Assim sendo, podemos calcular a perda de carga através da fórmula (6):

$$(7) \quad \Delta P = \frac{f \cdot \rho \cdot V^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D}$$

Onde, ΔP é a perda de carga (kg/m^2), f é o fator de atrito, ρ é a densidade do fluido (kg/m^3), V é a velocidade do fluido (m/s), L comprimento equivalente (m), g é gravidade (m/s^2) e D diâmetro do tubo (m).

Como já citado, primeiramente considerando a tubulação principal de vapor, o comprimento linear e tubulação de vapor é de 240 metros. As cotas podem ser visualizadas no layout de distribuição.

Com o comprimento linear equivalente pode-se calcular o fator de atrito utilizando o *Ábaco de Moody*, o qual se encontra o fator de atrito através do Número de Reynolds (7) e o Grau de Rugosidade (8).

$$(8) \quad Re = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

$$(9) \quad \text{Grau de Rugosidade} = \frac{\text{Rugosidade Média}}{\text{Diâmetro}}$$

Substituindo os valores em (7) temos:

$$Re = \frac{25,1 \cdot 0,20270 \cdot 5,144}{0,00001502} = 1,7 \times 10^6$$

A Tabela 11 mostra a rugosidade média de materiais característicos usualmente usados para tubulações.

Tabela 11: Rugosidade média de acordo com a superfície do material [32].

Material	Rugosidade média (mm)
Aço laminado novo	0,0015
Aço laminado usado	0,046
Aço galvanizado	0,15
Aço soldado liso	0,1
Alvenaria de pedra fina	1 - 2,5
Alvenaria de pedra grosseira	8 - 15
Alvenaria de tijolo	5
Cobre	0,0015
Concreto alisado	0,3 - 0,8
Concreto centrifugado	0,07

Considerando que o material utilizado para a tubução será aço laminado usado, tem-se uma rugosidade média de 0,046 mm. Sendo assim, substituindo em (8):

$$\text{Grau de Rugosidade} = \frac{0,046}{202,70} = 2,27 \times 10^{-4}$$

Com o valor de Reynolds e com o Grau de Rugosidade, conseguimos encontrar f através do diagrama abaixo:

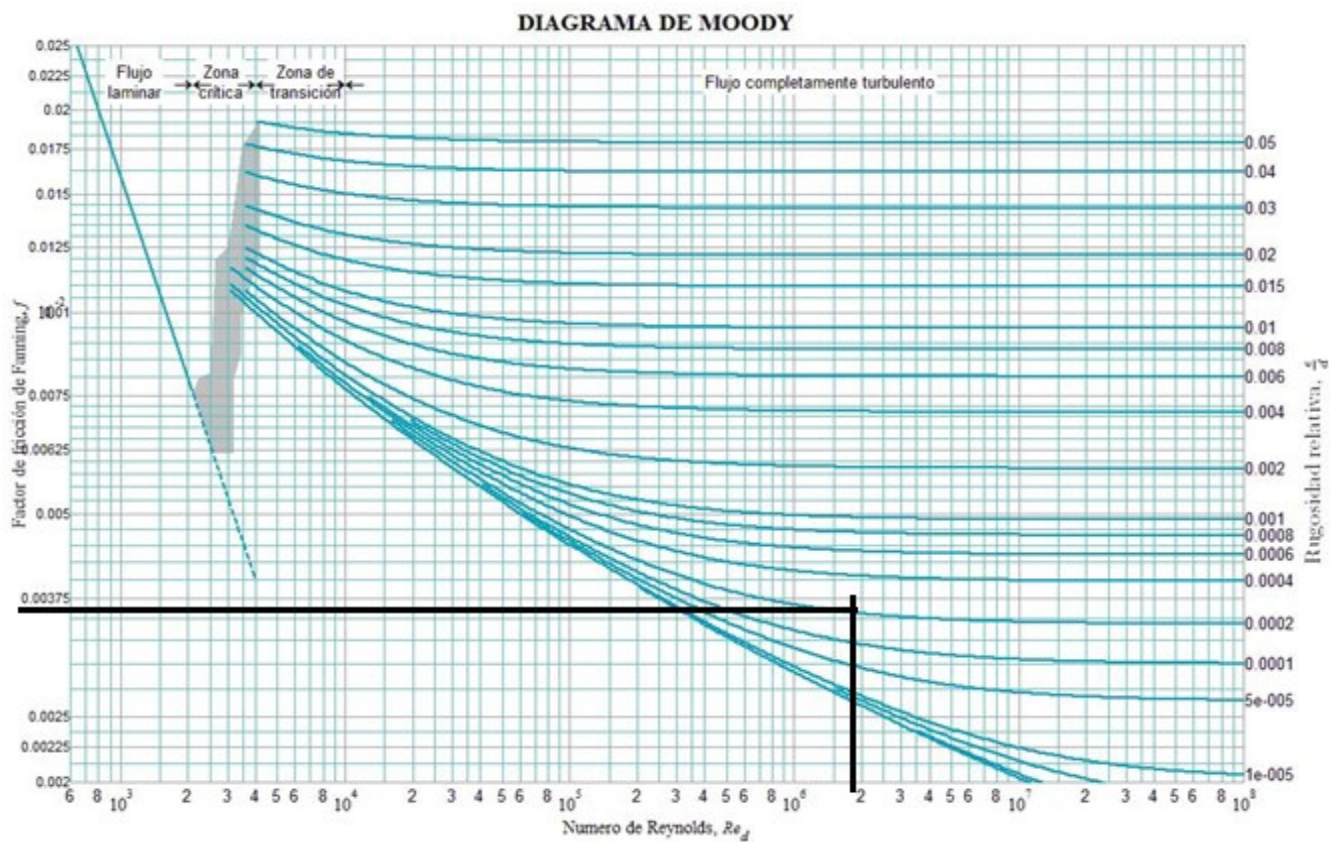


Figura 28 – Diagrama de Moody [32].

Tem-se, então, um valor de f de aproximadamente 0,0035. Substituindo os valores encontrados em (6):

$$\Delta P = \frac{0,0035 \cdot 5,144 \cdot 25,1^2 \cdot 240}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,2027}$$

$$\Delta P = 684,5 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} = 6,71 \text{ kPa}$$

Agora será calculada a perda de carga referente as curvas, singularidades, da tubulação de vapor principal até o distribuidor de vapor. São 4 curvas de 90° e a perda de carga nas mesmas pode ser dada por (9):

$$(10) \quad \Delta P_{curvas} = \frac{K \cdot \rho \cdot V^2 \cdot n}{2} \text{ (Pa)}$$

Onde K é o fator de perda de carga singular (90°=0,9 ou 45°=0,45, e assim por diante) e n é o número de curvas. Substituindo os dados em (9), encontramos:

$$\Delta P_{curvas} (90^\circ) = \frac{0,9 \cdot 5,144 \cdot 25,1^2 \cdot 4}{2}$$

$$\Delta P_{curvas} (90^\circ) = 5,83 \text{ kPa}$$

Portanto, a perda de carga total da primeira parte da tubulação, a tubulação principal de vapor é de:

$$\Delta P_{tubulação\ principal\ de\ vapor} = 6,71 + 5,83 = 12,54 \text{ kPa}$$

Para os cálculos de perda de carga das tubulações situadas após o barrilete de vapor, se faz necessário o cálculo do novo diametro da tubulação, pois as vazões de cada equipamento se diferem entre si. De forma análoga ao dimensionamento da tubulação principal de vapor, será utilizada a Fórmula 4 para cada equipamento. Suas respectivas vazões podem ser encontradas na Tabela 2.

Os valores de v e V permanecerão o mesmo, pois as propriedades do vapor são as mesmas, o que muda é vazão requerida de cada máquina.

Como os pasteurizadores da SIG 01, SIG 200 e PET se localizam no mesmo lugar, os mesmos e suas demandas serão agrupado para os fins matemáticos e serão chamados de “demais pasteurizadores”. Assim sendo, os valores encontrados para os diâmetros em polegadas são:

$$d_{concentrador} = 3,81''$$

$$d_{pasteurizador\ refino} = 3,27''$$

$$d_{\text{demais pasteurizadores}} = 3,74''$$

$$d_{\text{enchedora}} = 1,34''$$

$$d_{\text{tanque asséptico}} = 1,34''$$

$$d_{\text{central cip}} = 1,77''$$

A partir da Tabela 9 [32], a mesma usada para tubulação principal de vapor, será encontrado o diâmetro de cada linha para que o sistema não fique subdimensionado.

Percebe-se que o diâmetro das tubulações do concentrador e dos demais pasteurizadores serão iguais, pois o valor posterior ao diâmetro ideal encontrado para esses casos é o mesmo, 4". O mesmo ocorre para a tubulação da enchedora e tanque asséptico, que é a tubulação de 1.1/2".

Para a tubulação do pasteurizador do refino, a tubulação encontrada é de 3.1/2" e para a central cip é de 2". Características das tubulações encontradas encontram-se a seguir nas Tabelas 12, 13, 14 e 15.

Tabela 12: Características da tubulação do concentrador e demais pasteurizadores - 4".

Diâmetro Externo (mm)	114,30
Diâmetro Interno (mm)	102,26
Espessura da Parede (mm)	6,02
Schedule N°	40
Peso (kg/m)	16,06

Tabela 13: Características da tubulação da enchedora e tanque asséptico - 1.1/2".

Diâmetro Externo (mm)	48,26
Diâmetro Interno (mm)	40,90
Espessura da Parede (mm)	3,68
Schedule N°	40
Peso (kg/m)	4,05

Tabela 14: Características da tubulação do pasteurizador do refino - 3.1/2".

Diâmetro Externo (mm)	101,60
Diâmetro Interno (mm)	90,12

Espessura da Parede (mm)	5,74
Schedule N°	40
Peso (kg/m)	13,56

Tabela 15: Características da tubulação da central cip - 2”.

Diâmetro Externo (mm)	60,32
Diâmetro Interno (mm)	52,50
Espessura da Parede (mm)	3,91
Schedule N°	40
Peso (kg/m)	5,43

Corrigindo a velocidade para cada uma das tubulações temos, fórmula (5) :

$$V_{concentrador} = \frac{0,23}{0,00821} = 28 \text{ m/s}$$

$$V_{pasteurizador \text{ do refino}} = \frac{0,16}{0,00638} = 25,1 \text{ m/s}$$

$$V_{demais \text{ pasteurizadores}} = \frac{0,21}{0,00821} = 25,58 \text{ m/s}$$

$$V_{enchedora \text{ e tanque asséptico}} = \frac{0,027}{0,00131} = 20,55 \text{ m/s}$$

$$V_{central \text{ cip}} = \frac{0,049}{0,00216} = 22,64 \text{ m/s}$$

Nota-se que todas as velocidades corrigidas estão dentro do recomendado pela Tabela 8.

Calculando a perda de carga no sistema para ver se as tubulações dimensionadas atendem aos requisitos de projeto:

$$Re_{concentrador} = 9,8 \times 10^5$$

$$Re_{pasteurizador \text{ do refino}} = 7,7 \times 10^5$$

$$Re_{demais \text{ pasteurizadores}} = 9,0 \times 10^5$$

$$Re_{enchedora \text{ e tanque asséptico}} = 2,9 \times 10^5$$

$$Re_{central \text{ cip}} = 4,1 \times 10^5$$

Considerando que o material utilizado para as tubuções será aço laminado usado, tem-se uma rugosidade média de 0,046 mm, valor encontrado na Tabela 11 que mostra a rugosidade média de acordo com a superfície do material. Sendo assim, substituindo em (9):

$$\text{Grau de rugosidade}_{\text{concentrador e demais pasteurizadores}} = 4,5 \times 10^{-4}$$

$$\text{Grau de rugosidade}_{\text{pasteurizador do refino}} = 5,1 \times 10^{-4}$$

$$\text{Grau de rugosidade}_{\text{enchedora e tanque asséptico}} = 1,1 \times 10^{-3}$$

$$\text{Grau de rugosidade}_{\text{central cip}} = 8,75 \times 10^{-4}$$

Com o valor de Reynolds e com o Grau de Rugosidade, conseguimos encontrar f através do diagrama de Moody [32], resultando nos seguintes fatores de atrito:

$$f_{\text{concentrador}} = 0,004$$

$$f_{\text{pasteurizador refino}} = 0,0042$$

$$f_{\text{demais pasteurizadores}} = 0,0041$$













$$f_{\text{enchedora e tanque asséptico}} = 0,0051$$

$$f_{\text{central CIP}} = 0,005$$

Substituindo os valores encontrados em (6), que é a fórmula da perda de carga, temos os resultados abaixo. O comprimento equivalente de cada equipamento pode ser encontrado através das cotas no layout de distribuição de vapor.

Além desse comprimento equivalente, também devemos considerar o comprimento referente aos acessórios das linhas. Através da Tabela 16 [34] pode-se encontrar esses valores.

Tabela 16: Comprimentos equivalentes de acessórios e conexões [34].

Tabela de perdas de cargas localizadas em conexões, considerando-se os comprimentos equivalentes em metros de canalização										
CONEXÃO	MATERIAL	Diâmetro nominal X Equivalência em metros de canalização								
		3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"
Curva 90° 	PVC	0,5	0,6	0,7	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,9
	Metal	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,3	1,6	2,1
Curva 45° 	PVC	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
	Metal	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
Joelho 90° 	PVC	1,2	1,5	2,0	3,2	3,4	3,7	3,9	4,3	4,9
	Metal	0,7	0,8	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	3,4	4,2
Joelho 45° 	PVC	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	2,5
	Metal	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,9
Tê de passagem direta 	PVC	0,8	0,9	1,5	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,3
	Metal	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7
Tê de saída lateral 	PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0
	Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4
Tê de saída bilateral 	PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0
	Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4
União 	PVC	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2	0,25
	Metal	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
Saída de canalização 	PVC	0,9	1,3	1,4	3,2	3,3	3,5	3,7	3,9	4,9
	Metal	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0
Luva de redução (*) 	PVC	0,3	0,2	0,15	0,4	0,7	0,8	0,85	0,95	1,2
	Aço	0,29	0,16	0,12	0,38	0,64	0,71	0,78	0,9	1,07
Registro de gaveta ou esfera aberto 	PVC	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1
	Metal	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9
Registro de globo aberto 	Metal	6,7	8,2	11,3	13,4	17,4	21,0	26,0	34,0	43,0

Assim sendo, em cada tubulação das linhas de cada equipamento existe uma válvula globo saída do distribuidor de vapor. A válvula globo no distribuidor faz com que só seja distribuído vapor para aquela linha se a mesma estiver em operação, evitando perda de carga desnecessária, problemas nas juntas e consumo de combustível em vão.

Portanto, o comprimento equivalente que irá ser acrescentado em cada uma das linhas devido aos acessórios pode ser encontrado na Tabela 17.

Tabela 17: Perda de carga dos equipamentos devido à válvulas.

Equipamento	Perda de Carga (m)
Concentrador e demais pasteurizadores	34
Enchedora e tanque asséptico	13,4
Pasteurizador do refino	34
Central cip	17,4

Assim sendo, o comprimento equivalente de cada linha da tubulação por equipamento será a soma dos comprimentos lineares encontrados nas cotas do layout de distribuição de vapor com os valores da Tabela 17.

$$L_{concentrador} = 325 + 34 = 359 \text{ m}$$

$$L_{pasteurizador \textit{ refino}} = 310 + 34 = 344 \text{ m}$$

$$L_{demais \textit{ pasteurizadores}} = 320 + 34 = 354 \text{ m}$$

$$L_{enchedora} = 260 + 13,4 = 273,4 \text{ m}$$

$$L_{tanque \textit{ asséptico}} = 270 + 13,4 = 283,40 \text{ m}$$

$$L_{central \textit{ cip}} = 348 + 17,4 = 365,4 \text{ m}$$

Com todos os valores, pode-se calcular as perdas de carga:

$$\Delta P_{concentrador} = 28,86 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{pasteurizador \textit{ refino}} = 26,48 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{demais \textit{ pasteurizadores}} = 24,35 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{enchedora} = 37,75 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{tanque \textit{ asséptico}} = 39,13 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{central \textit{ cip}} = 46,77 \text{ kPa}$$

Agora será calculado a perda de carga referente as curvas de cada uma das linhas de tubulação que se distribuem para os equipamentos, Fórmula (10).

$$\Delta P_{curvas \textit{ concentrador}} (90^\circ) = 7,3 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{curvas \textit{ pasteurizador refino}} (90^\circ) = 4,4 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{curvas \textit{ demais pasteurizadores}} (90^\circ) = 4,5 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{curvas \textit{ enchedora}} (90^\circ) = 2,0 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{curvas \textit{ tanque asséptico}} (90^\circ) = 2,0 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{curvas \textit{ central cip}} (90^\circ) = 4,8 \text{ kPa}$$

Portanto, a perda de carga total da segunda parte das tubulações de vapor é de:

$$\Delta P_{tubulações \textit{ após barrilete de vapor}} = 228,34 \text{ kPa}$$

Assim sendo,

$$\Delta P_{total \textit{ da tubulação de vapor}} = \Delta P_{tubulação \textit{ principal de vapor}} + \Delta P_{tubulações \textit{ após barrilete de vapor}}$$

$$\Delta P_{total \textit{ da tubulação de vapor}} = 12,54 \text{ kPa} + 228,34 \text{ kPa} = 240,88 \text{ kPa}$$

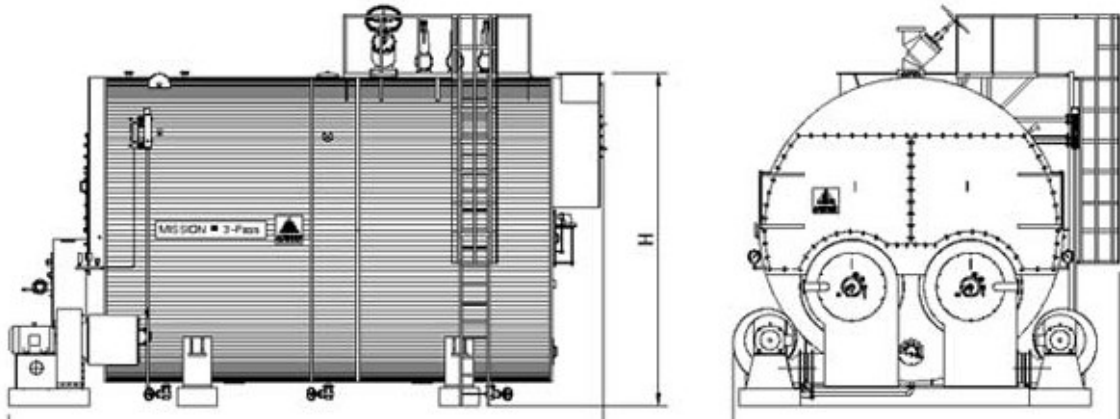
Para conferir se a linha está dimensionada, basta conferir a diferença de temperatura que essa perda de pressão causa.

Pressão inicial (kPa): 1.000, o que equivale à 179,9 °C

Pressão final (kPa): $1.000 - 240,88 = 759,12$ kPa, o que equivale à 168,3 °C

Portanto, a variação de temperatura é de 11,6 °C, que é menor que 10% e mostra que a linha está dimensionada e atende a temperatura mínima requerida nas máquinas de 140°C.

4.1.2.2. Escolha da Caldeira



Caldeira Alfa Laval – Caldeira 1 – 15 Ton	
Fabricante	ALFA LAVAL
Horas operação/ano	8640 h
Pressão Máxima	11,95 kg/cm ²
Pressão Operação	10 kg/cm ²
Vazão Máxima	15.000 kg/h
Vazão Operação	12.000 kg/h – Média
Medição de Vazão	Sim (OK)
Combustível	Óleo Mineral e BPF
Controle de Nível	Sim (Modulante)
Descarga de Fundo	Sim (Automáticas)
Descarga de Nível	Sim (Manual)
Válvula de segurança	Sim (OK)

Figura 29 – Parametros da caldeira escolhida.

Pode-se perceber que a caldeira escolhida é a mesma caldeira encontrada na planta, pois a capacidade em ambos os casos é a mesma, assim como a marca da caldeira.

A marca escolhida é Alfa Laval pois é pioneira no mercado de caldeiras a óleo, tanto nacional quanto mundial. Além disso, peças sobressalentes, peças emergenciais e assistência técnica são mais fáceis de encontrar.

Portanto, prezando pela qualidade do produto, segurança e facilidade em qualquer situação de emergencia, e vazão requerida disponível no mercado, foi coincidente as escolhas das caldeiras.

4.1.2.3.. Layout da Distribuição da Tubulação

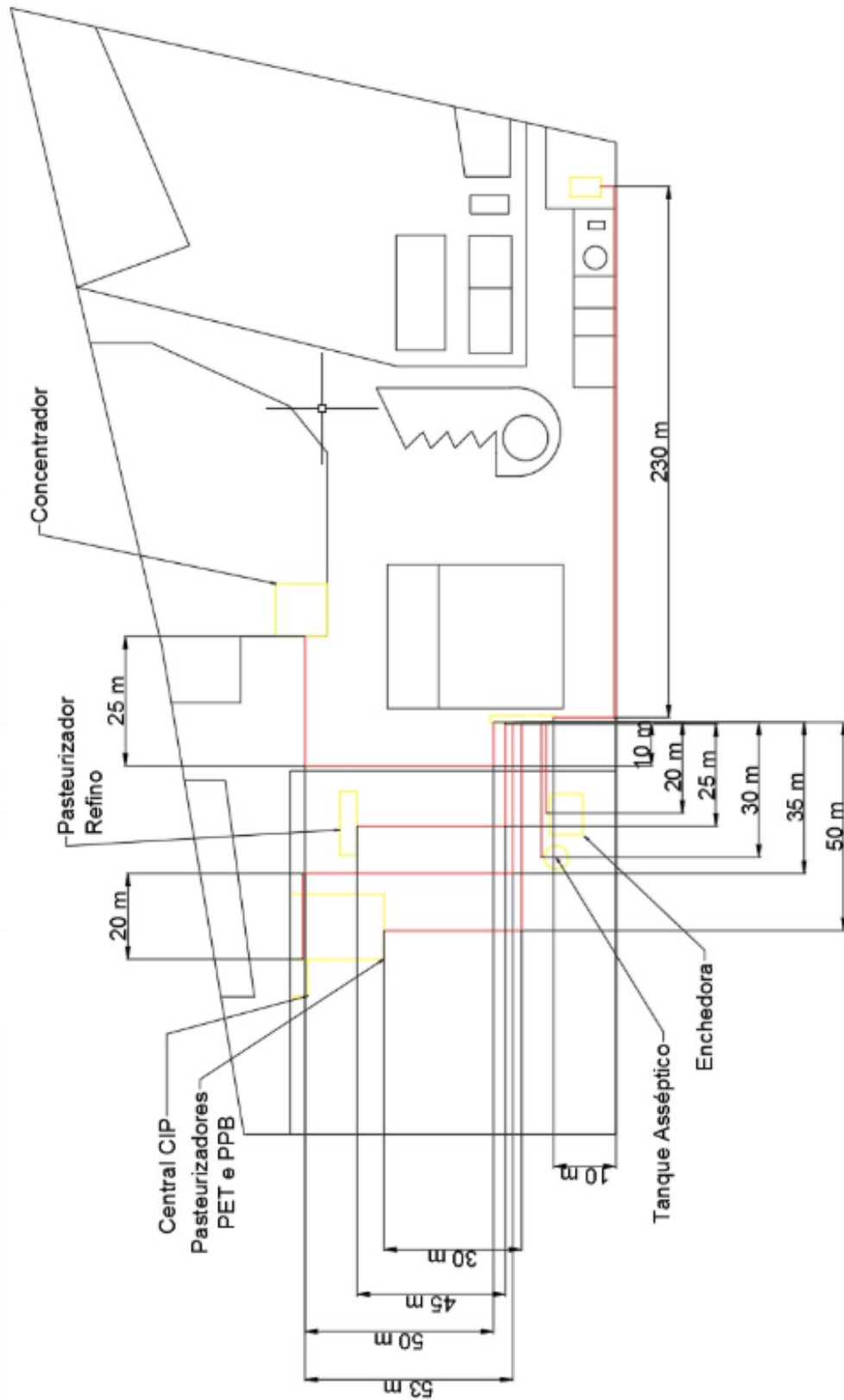


Figura 30 – Layout da distribuição da tubulação de vapor e suas cotas em metros.

4.1.3. Sistema de Água Gelada

A seguir serão dimensionados os principais componentes de um sistema de distribuição de água gelada.

4.1.3.1. Dimensionamento da Tubulação

De forma análoga à tubulação de vapor, tem-se a fórmula (11), a partir da qual pode-se encontrar o diâmetro estimado da tubulação.

$$(11) \quad d = \sqrt{\frac{4.G.v}{\pi.V}}$$

As unidades das variáveis continuam as mesmas, G é dado em kg/s, v em m³/kg e V é dado em m/s, fazendo com que o diâmetro da tubulação (d) dê o resultado em metros.

Com relação a velocidade a ser considerada para o dimensionamento, tem-se a Tabela 18 [31], que indica a velocidade recomendada do fluido em suas variadas aplicações.

Tabela 18: Velocidade recomendada do fluido em suas variadas aplicações [31].

Fluido	Velocidade (m/s)
Água - redes em cidades	1 a 3
- redes industriais	2 a 4
- alimentação de caldeiras	4 a 8
- sucção de bombas	0,75 a 1,8
Água salgada	1,5 a 2,5
Ar comprimido	15 a 20
Vapor - até 2 kgf/cm ² saturado	20 a 40
- de 2 a 10 kgf/cm ²	40 a 80
- mais de 10 kgf/cm ²	80 a 200
Hidrocarbonetos líquidos em instalações industriais	
- linhas de sucção	1 a 2
- linhas de recalque	1,5 a 2,5
Hidrocarbonetos gasosos em instalações industriais	25 a 30
Acetileno	20 a 25
Amônia - líquida	2
- gás	25 a 35
Hidrogênio	20 a 35
Cloro - líquido	1,5 a 2,0
- gás	15 a 30
Soda cáustica - 0 a 30%	2
- 30 a 50%	1,5
- 50 a 75%	1,2
Cloreto de sódio	1,5 a 2,0
Cloreto de Cálcio	1,5
Tetra-Cloreto de carbono	2,0
Ácido sulfúrico	1,0 a 1,2

Assim sendo, pode-se observar que a velocidade indicada da água para o pré-cálculo do diâmetro da tubulação, considerando a utilização em redes industriais, é de 2 a 4 m/s, e portanto, será utilizada a velocidade intermediária de 3 m/s.

Com relação ao volume específico, considerando uma temperatura de 10 °C e pressão atmosférica, temos o valor de 0,01 m³/kg, e a descarga de fluido (*G*) temos o valor de 119.000 l/h, ou 33,1 kg/s. Outras propriedades da água nessa temperatura e pressão são:

Pressão = 101 kPa	}	$v = 0,01 \text{ m}^3/\text{kg}$ $\rho = 999,7 \text{ kg/m}^3$ $\mu = 0,001308 \text{ kg/m.s}$
Temperatura = 10° C		

Substituindo os dados citados em (4), tem-se:

$$d = 14,6''$$

Através da Tabela 9 [32], a mesma utilizada no dimensionamento da tubulação de vapor e que mostra os diâmetros comerciais de tubulações, tem-se que o próximo valor na tabela acima do diâmetro inicial encontrado é o de 16''.

Todavia, o diâmetro de 14,6'' é muito mais próximo de 14'' do que de 16'', então será escolhido o diâmetro menor e testado se o mesmo está dimensionado para a vazão requerida. Caso não esteja, o diâmetro escolhido será o 16''.

Tabela 19: Características da tubulação de 14''.

Diâmetro Externo (mm)	355
Diâmetro Interno (mm)	334,30
Espessura da Parede (mm)	11,30
Schedule N°	40
Peso (kg/m)	94,40

Corrigindo a velocidade temos:

$$V = \frac{0,33}{0,088} = 3,8 \text{ m/s}$$

Como a velocidade corrigida está dentro do recomendado pela Tabela 18, isso mostra que o diâmetro de 14” está dimensionado, podendo ser utilizado.

A tubulação que sai do chiller e vai para o tanque de água gelada tem um diâmetro, e cada equipamento que utiliza água gelada terá sua tubulação. Como a tubulação de ida da água gelada percorre o mesmo percurso da tubulação de retorno da água, basta calcular uma dessas duas linhas. Será calculado com os comprimentos da tubulação de ida, posto que essa é alguns metros maiores, o que garante que a tubulação de retorno estará dimensionada.

A partir do layout de distribuição de água gelada pode-se observar que de comprimento retilíneo do chiller até o distribuidor de água gelada é de 5,5 metros. Vale ressaltar que para efeitos de dimensionamento, será considerado que todos os equipamentos que usam água gelada estarão usando simultaneamente, que é o caso mais crítico.

Encontrando o fator de atrito em função do número de Reynold e do Grau de Rugosidade, temos:

$$\left. \begin{array}{l} Re = 7,2 \times 10^5 \\ \text{Grau de Rugosidade} = 0,14 \end{array} \right\} \boxed{f = 0,01875}$$

A rugosidade absoluta do material da tubulação pode ser encontrado na Tabela 11, a mesma utilizada no dimensionamento da tubulação de vapor.

Assim sendo, conseguimos calcular a perda de carga:

$$\Delta P = \frac{0,01875 \cdot 999,7 \cdot 2,8^2 \cdot 5,5}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,3343} = 1,2 \text{ kPa}$$

Calculando agora a perda de carga referente as curvas (9), onde K é o fator de perda de carga singular ($90^\circ=0,9$ ou $45^\circ=0,45$, e assim por diante) e n é o número de curvas.

$$\Delta P_{curvas} (90^\circ) = \frac{0,9 \cdot 999,7 \cdot 2,8^2 \cdot 1}{2}$$

$$\Delta P_{curvas} (90^\circ) = 3,5 \text{ kPa}$$

Assim sendo,

$$\Delta P_{tubulação\ principal\ de\ água\ gelada} = 1,2 + 3,5 = 4,7 \text{ kPa}$$

Para os cálculos de perda de carga das tubulações de distribuição de água gelada após o pulmão distribuidor de água gelada, se faz necessário o cálculo do novo diâmetro da tubulação, pois as vazões de cada equipamento se diferem entre si. De forma análoga ao dimensionamento das tubulações de vapor, será utilizada a Fórmula 4 para cada equipamento. Suas respectivas vazões podem ser encontradas na Tabela 3.

Os valores de v e V permanecerão o mesmo, pois as propriedades do vapor são as mesmas, o que muda é vazão requerida de cada máquina.

Como os pasteurizadores da SIG 01, SIG 200 e PET se localizam no mesmo lugar, os mesmos e suas demandas serão agrupado para os fins matemáticos e serão chamados de “demais pasteurizadores”.

$$d_{\text{pasteurizador refino}} = 2,4'' \quad d_{\text{demais pasteurizadores}} = 13,8'' \quad d_{\text{tanque asséptico}} = 3,15''$$

A partir da Tabela 9 [32] será encontrado o diâmetro de cada linha para que o sistema não fique subdimensionado. O diâmetro das tubulações do pasteurizador do refino será de 2.1/2”, dos demais pasteurizadores será de 14” e do tanque asséptico de 3.1/2”.

Características das tubulações encontradas encontram-se a seguir nas Tabelas 20, 21 e 22.

Tabela 20: Características da tubulação do pasteurizador do refino – 2.1/2”.

Diâmetro Externo (mm)	73,03
Diâmetro Interno (mm)	62,71
Espessura da Parede (mm)	5,16
Schedule N°	40
Peso (kg/m)	6,62

Tabela 21: Características da tubulação dos demais pasteurizadores - 14”.

Diâmetro Externo (mm)	355,00
Diâmetro Interno (mm)	334,30
Espessura da Parede (mm)	11,30
Schedule N°	40
Peso (kg/m)	94,40

Tabela 22: Características da tubulação do tanque asséptico - 3.1/2”.

Diâmetro Externo (mm)	101,60
Diâmetro Interno (mm)	90,12
Espessura da Parede (mm)	5,74
Schedule N°	40
Peso (kg/m)	13,56

Corrigindo a velocidade temos, fórmula (5) :

$$V_{\text{pasteurizador refino}} = 2,7 \text{ m/s} \quad V_{\text{demais pasteurizador}} = 3,5 \text{ m/s} \quad V_{\text{tanque asséptico}} = 2,17 \text{ m/s}$$

Nota-se que todas as velocidades corrigidas estão dentro do recomendado pela Tabela 18.

Calculando a perda de carga no sistema para ver se as tubulações dimensionadas atendem aos requisitos de projeto:

$$Re_{\text{pasteurizador do refino}} = 1,1 \times 10^6$$

$$Re_{\text{demais pasteurizadores}} = 8,9 \times 10^5$$

$$Re_{\text{tanque asséptico}} = 1,5 \times 10^5$$

Considerando que o material utilizado para as tubulações também será aço laminado usado:

$$\text{Grau de rugosidade}_{\text{pasteurizador do refino}} = 7,3 \times 10^{-4}$$

$$\text{Grau de rugosidade}_{\text{demais pasteurizadores}} = 1,4 \times 10^{-4}$$

$$\text{Grau de rugosidade}_{\text{tanque asséptico}} = 1,1 \times 10^{-3}$$

Com o valor de Reynolds e com o Grau de Rugosidade, temos os seguintes fatores de atrito:

$$f_{\text{pasteurizador refino}} = 0,0045$$

$$f_{\text{demais pasteurizadores}} = 0,0035$$

$$f_{\text{tanque asséptico}} = 0,0055$$

Além do comprimento equivalente, que pode ser encontrado através do layout de distribuição, também devemos considerar o comprimento referente aos acessórios das linhas. Através da Tabela 16 [34] pode-se encontrar esses valores, os quais estão representados na Tabela 23.

Tabela 23: Perda de carga dos equipamentos devido à presença de válvulas.

Equipamento	Perda de Carga (m)
Pasteurizador do refino	21
Demais pasteurizadores	121
Tanque asséptico	34

Esses valores referem-se a presença de uma válvula globo na saída da bomba de distribuição de água de cada linha. Isso faz com que só seja distribuído água gelada para aquela linha se a mesma estiver em operação, evitando perda de carga desnecessária e potência dos chillers desnecessárias.

Como na Tabela 16 não possui perda de carga para tubulação de 14'', a mesma foi determinada através de uma linearização dos valores de perda de carga e diâmetro da tubulação. Para o tanque asséptico será considerada a perda de carga para uma tubulação de 4'', para não ficar subdimensionado.

Assim sendo, o comprimento equivalente de cada linha da tubulação por equipamento será a soma dos comprimentos lineares encontrados nas cotas do layout de distribuição de água gelada com os valores da Tabela 23.

Com todos os valores, pode-se calcular as perdas de carga:

$$\Delta P_{\text{pasteurizador refino}} = 91,16 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{\text{demais pasteurizadores}} = 45,39 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{\text{tanque asséptico}} = 43,05 \text{ kPa}$$

Agora será calculado a perda de carga referente as curvas de cada uma das linhas de tubulação que se distribuem para os equipamentos:

$$\Delta P_{\text{curvas pasteurizador refino}} (90^\circ) = 19,7 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{\text{curvas demais pasteurizadores}} (90^\circ) = 33,1 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{\text{curvas tanque asséptico}} (90^\circ) = 10,6 \text{ kPa}$$

Portanto, a perda de carga total da segunda parte das tubulações de água gelada será a subtração da pressão de trabalho da bomba, posto que é responsável por vencer a perda de carga para bombeamento do fluido, pela pressão da perda de carga calculada acima.

A seguir serão dimensionadas as motobombas pra cada uma das linhas através da utilização da Equação de Bernoulli (12), a qual relaciona a energia de pressão, a energia cinética, a energia potencial gravitacional em um escoamento e a perda de carga da tubulação [37]. Através dessa equação é possível encontrar a potência requerida da motobomba e com esse dado mais a vazão requerida, é possível encontrar pelo catálogo do fabricante a motobomba ideal.

$$(12) \quad \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 + h_f$$

Onde, V é a velocidade do fluido na seção considerada, g é a gravidade, P pressão ao longo da linha de corrente, ΔZ é a diferença de altura do nível da água até seu ponto de descarga, ρ é a massa específica do fluido e h_f é a perda de carga resultante da soma das perdas de cargas dos trechos retos e das perdas localizadas. As perdas de carga normais já foram calculadas anteriormente.

Como considerações temos que a velocidade V_1 , correspondente a velocidade na superfície do reservatório de água, é zero, assim como o ΔP , posto que a pressão tanto no reservatório quanto na boca de descarga é atmosférica. Como a tubulação que vai para o equipamento está 2 metros acima da mesma, temos esse como valor de ΔZ . Adequando as unidades das variáveis para sair em potência, ficamos então com a equação de Bernoulli simplificada (13) [37]:

$$(13) \quad \dot{W}_b = \dot{m} \cdot \left[\frac{V_2^2}{2} + g \cdot \Delta Z + h_f \right] \text{ (W)}$$

Substituindo, temos:

$$\dot{W}_b \text{ do past refino} = \dot{m} \cdot \left[\frac{V_2^2}{2} + g \cdot \Delta Z + h_f \right]$$

$$Wb \text{ do } p\grave{a}st \text{ refino} = 0,83 \cdot \left[\frac{2,7^2}{2} + 9,81 \cdot 2 + (91,16 + 19,7) \right] = 111,32 \text{ W} = 1 \text{ HP}$$

$$Wb \text{ dos demais } p\grave{a}st\text{eurizadores} = 30,83 \cdot \left[\frac{3,5^2}{2} + 9,81 \cdot 2 + (45,39 + 33,1) \right]$$

$$Wb \text{ dos demais } p\grave{a}st\text{eurizadores} = 3,2 \text{ kW} = 4,3 \text{ HP}$$

$$Wb \text{ do tanque ass\acute{e}ptico} = 1,39 \cdot \left[\frac{2,17^2}{2} + 9,81 \cdot 2 + (43,05 + 10,6) \right]$$

$$Wb \text{ do tanque ass\acute{e}ptico} = 105,12 \text{ W} = 1 \text{ HP}$$

Nas Tabelas 24, 25 e 26 [36] podemos encontrar as características técnicas das bombas pra cada uma das linhas dimensionadas. Para a linha de distribuição do pasteurizador do refino e do tanque asséptico a bomba pode ser a mesma. O que irá mudar será seu modelo, de forma a ajustar o flange de recalque da bomba com a tubulação dimensionada, sem a necessidade de uma redução.

De acordo com o catálogo do fabricante a bomba dimensionada para os demais pasteurizadores possui diâmetro de recalque de 8”, então a tubulação que sai da bomba é de 8” e posteriormente é interligada na tubulação dimensionada de 14”.

Todas as bombas são da marca KSB devido sua predominância nesse mercado além da facilidade de encontrar peças sobressalentes.

Tabela 24: Características técnicas da bomba para linha do refino.

Parâmetro	Valor
Vazão	Até 50 l/s
Pressão de serviço	40 bar
Potência	5 CV
Modelo	WK 80

Tabela 25: Características técnicas da bomba para linha dos demais pasteurizadores.

Parâmetro	Valor
Vazão	Até 460 m ³ /h
Pressão de serviço	Até 16 bar
Potência	12,5 CV
Modelo	Megabloc 125-100-200

Tabela 26: Características técnicas da bomba para linha do tanque asséptico.

Parâmetro	Valor
Vazão	Até 50 l/s
Pressão de serviço	40 bar
Potência	5 CV
Modelo	WK 125

Assim sendo, temos o seguinte cálculo para perda de carga.

$$\Delta P_{\text{tubulações após tanque de água gelada-REFINO}} \text{ (kPa)} = 4.000 > (91,16 + 19,7)$$

$$\Delta P_{\text{tubulações após tanque de água gelada-DEMAIS PASTEURIZADORES}} \text{ (kPa)} = 1.600 > (45,39 + 33,1)$$

$$\Delta P_{\text{tubulações após tanque de água gelada-TANQUE ASSÉPTICO}} \text{ (kPa)} = 4.000 > (43,05 + 10,6)$$

Assim sendo, como a perda de carga é inferior a pressão das bombas, significa que as mesmas são capazes de vencer a perda de carga, tornando o sistema dimensionado.

4.1.3.2. Dimensionamento do Chiller

Ao invés de escolher dois chillers com capacidades menores, iguais aos encontrados na planta, foi escolhido um com capacidade de refrigeração maior que a capacidade demandada pelos manuais dos equipamentos. Mesmo que a soma da capacidade dos chillers menores seja maior que a capacidade do chiller aqui escolhido, a demanda do PAC 112 ainda supre a demanda.

Caso a demanda da fábrica não seja muita, pode-se usar somente um dos menores. Outro fator positivo é a possibilidade de parar os dois menores para manutenções e a fábrica será suprida pelo chiller de maior capacidade, ou seja, haverá sempre um equipamento reserva.

Os chillers são escolhidos de acordo com a capacidade requerida por cada equipamento, informações contidas nos manuais, e temperatura de saída da água. Os dados da Tabela 27 foram retirados do catálogo técnico de chillers da Johnson Controls.

Tabela 27: Características do chiller escolhido.

Modelo	Capacidade (kW)	Potência do motor (kW)	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
PAC 112 L-A	1.035	245	4.130	1.850	2.450

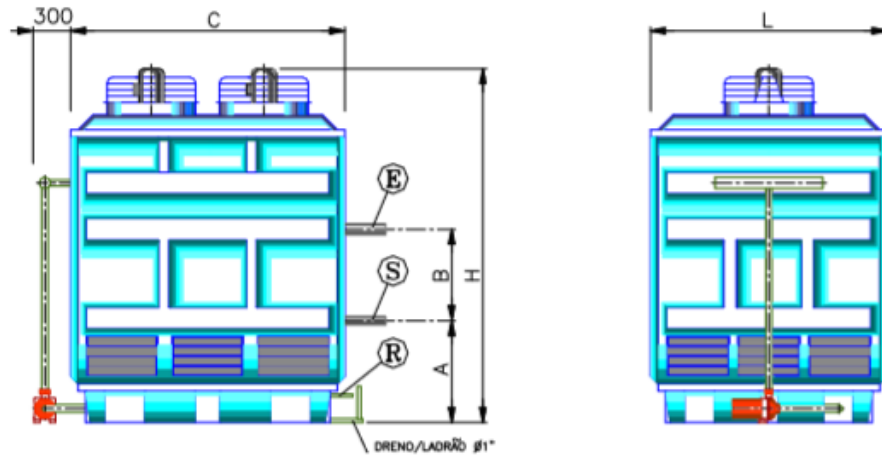
4.1.3.3. Escolha da Torre de Resfriamento

A torre de resfriamento foi escolhida de acordo com a capacidade total do chiller de resfriamento mais a soma do consumo do compressor, pois essa é a potência que a torre tem que ser capaz de atender.

Assim sendo, como a capacidade total do chiller escolhida é de 1.035 kW e do compressor é de 245 kW, a torre escolhida deve ter no mínimo uma capacidade de 1.280 kW, ou 1.100 kcal/h. Portanto, a torre escolhida é o modelo CE-1200F com capacidade de resfriamento de 1.200 Mcal/h.

Tabela 28: Características do chiller escolhido.

CONDENSADOR EVAPORATIVO CARÇAÇA DE FIBRA DE VIDRO



Modelo	Capacidade (Mcal/h)		Dimensões (mm)					Conexões (polegadas)			Ventiladores axiais			Bomba d'água		Pesos (Kg)	
	NH ₃	R-22	C	L	H	A	B	E	S	R	QT	Ø	HP	QT	HP	vazio	oper.
CE-30F	30	27	1.090	890	2.860	850	400	1¼"	1"	¾"	1	500	1/2	1	3/4	340	600
CE-50F	50	45					700	1½"	1¼"							570	830
CE-60F	60	54					852	1½"	1¼"							620	880
CE-75F	75	67	1.590	1.090	2.920	850	700	2"	1½"	¾"	1	700	3	1	1,5	690	1.200
CE-100F	100	90					700									950	1.420
CE-120F	120	108					852									1.100	1.580
CE-150F	150	135	1.590	1.590	2.920	850	700	2x2"	2x1½"	¾"	1	700	3	1	2	1.260	1.930
CE-180F	180	162					852									1.490	2.200
CE-200F	200	180					2.190									1.590	3.020
CE-250F	250	225	2.190	1.890	3.020	920	700	2x2½"	2x2"	¾"	2	700	3	1	3	2.030	3.080
CE-300F	300	270	2.190	2.190	3.020	920	700	3x2"	3x1½"	¾"	2	700	3	1	3	2.700	3.900
CE-360F	360	324					852									2.820	4.020
CE-400F	400	360					700									3.100	4.800
CE-480F	480	432	2.190	3.060	3.020	920	700	4x2"	4x1½"	1"	3	700	3	2	2	3.100	4.800
CE-500F	500	450	2.190	3.670	3.020	920	700	4x2½"	4x2"	1"	4	700	3	2	3	3.870	5.850
CE-600F	600	540	2.190	4.300	3.020	920	700	6x2"	6x1½"	1"	4	700	3	2	3	5.150	7.500
CE-720F	720	648					852									6.000	8.300
CE-800F	800	720					700									6.750	10.200
CE-960F	960	864	2.190	5.760	3.020	920	700	8x2"	8x1½"	1"	6	700	3	2	5	7.880	11.330
CE-1000F	1.000	900	2.190	7.050	3.020	920	700	8x2½"	8x2"	2x1"	8	700	3	2	7,5	8.050	12.300
CE-1200F	1.200	1.080					852									8.730	13.100
CE-1440F	1.440	1.296					2.190									8.530	3.020
CE-1680F	1.680	1.512	2.190	8.530	3.470	920	998	12x2"	12x1½"	2x1"	8	800	4	2	10	15.600	22.800
CE-1960F	1.960	1.764	2.190	9.730	3.470	920	998	14x2"	14x1½"	2x1"	8	800	4	2	10	17.830	26.100

As ilustrações e as especificações sujeitas às alterações sem prévio aviso.

Vale ressaltar que a torre também foi escolhida de acordo com o fluido de utilização do chiller que é amônia. Esse fluido foi escolhido devido ao custo benefício e facilidade de manutenção, além de padronizar com o fluido utilizado nos outros dois PAC's.

4.1.3.4. Layout da Distribuição da Tubulação

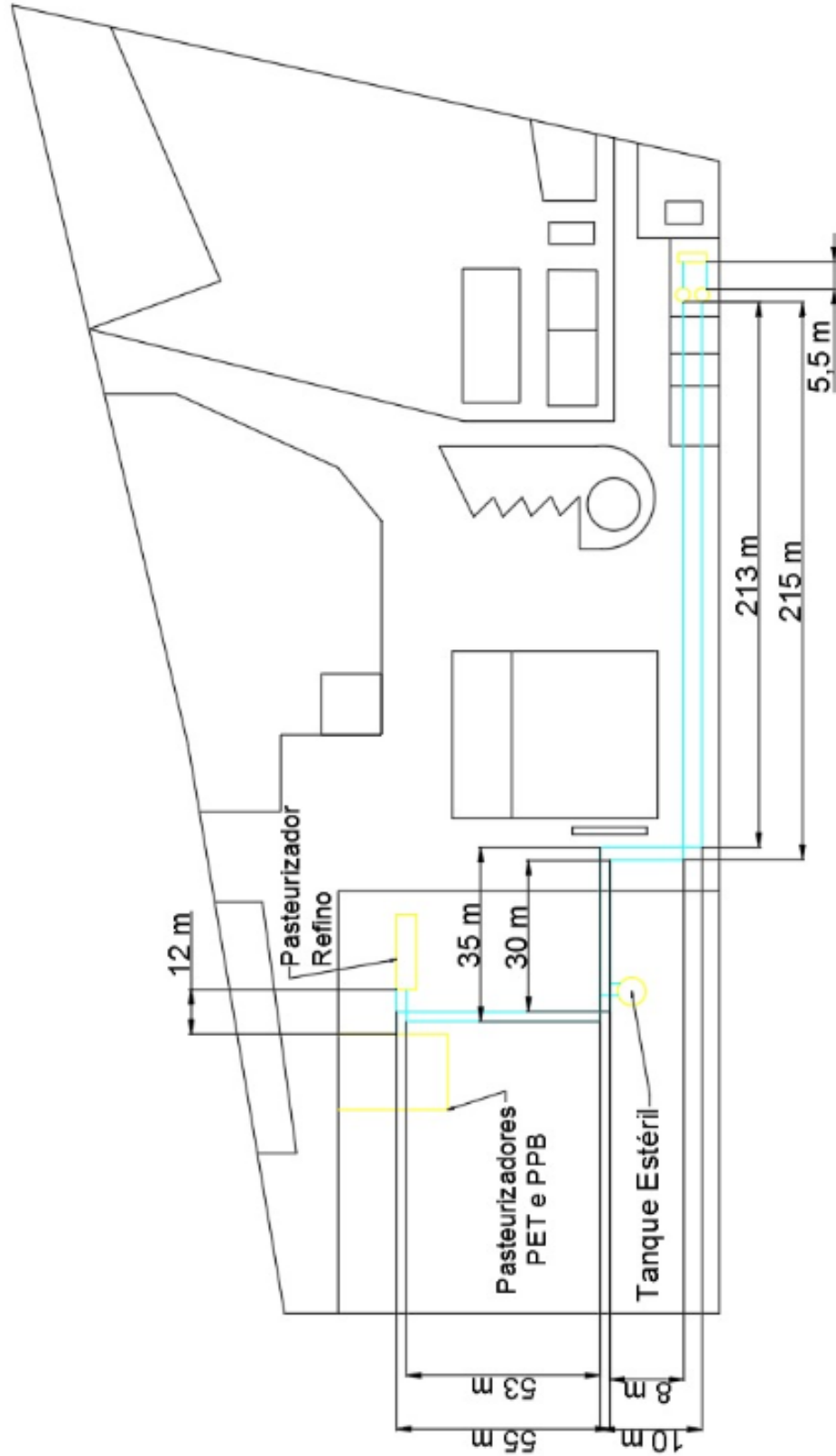


Figura 31 - Layout com cotas da distribuição de água gelada.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A tubulação de vapor in loco tem o diâmetro de 8”, que também é o diâmetro encontrado no dimensionamento desse projeto, validando os cálculos realizados. A caldeira escolhida nesse projeto foi a mesma encontrada na planta devido a predominância de qualidade e referência da marca Allborg nesse mercado.

Com relação ao layout de distribuição do vapor o mesmo é similar ao encontrado na unidade, pois devido ao espaço físico disponível e a dificuldade de realocar outras áreas, como a estação de tratamento de efluentes, o melhor lugar para instalação das caldeiras é onde ela se encontra. Além disso, dessa forma são respeitados as normas da NR 13.

In loco a área de refrigeração fica próximo ao interior da fábrica e a áreas como o desentamboramento e expedição, além de ficar no caminho de uma das saídas do interior da fábrica. Assim sendo, essa área nesse projeto foi realocada para próximo a área das caldeiras pois caso tenha algum vazamento de amônia, o número de colaboradores que podem ser afetados é menor, a saída do interior da fábrica não precisará ser obstruída e a possibilidade da amônia se infiltrar para dentro da produção do suco é consideravelmente menor.

Hoje na unidade há somente uma linha de distribuição de água gelada, de forma que toda vazão requerida na fábrica passa por essa tubulação e a partir dela saem as ramificações para os equipamentos. Assim sendo, o layout sugerido no projeto otimiza a distribuição de água de forma que só seja gasto o necessário tanto de água quanto de energia do chiller. Além disso, caso uma bomba dê problema e não tenha reserva, somente uma linha será parada.

Outro ponto positivo é que o deslocamento dos operadores de utilidades seria muito menor, economizando tempo de deslocamento. Esses colaboradores também poderiam atender com mais agilidade os problemas dessa área pois economizariam tempo de deslocamento. Essa economia poderia ser refletida no aumento de planos de inspeção o que impactaria nos indicadores e no melhor aproveitamento da mão de obra disponível.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através desse projeto foi possível validar a linha de vapor e água gelada encontradas na planta da fábrica. Além disso, melhorias foram propostas de forma a melhor aproveitar o espaço limitado da unidade e mão de obra disponível.

O dimensionamento incorreto terá como consequência o maior gasto com combustível e água para compensar a perda do sistema. A velocidade excessiva de fluido faz com que ocorra maior corrosão na tubulação, além do ruído em excesso. Assim sendo, o diâmetro da tubulação tem influência na velocidade do fluido, o que faz seu dimensionamento ser de extrema importância.

No momento desse trabalho não foram aplicados na planta as sugestões e projeto aqui desenvolvidos devido ao elevado custo das modificações, e pelo fato da instalação encontrada na unidade estar atendendo a necessidade atual.

O custo de implantação encontra-se na casa dos milhões, porém não foi apresentado nesse projeto um valor estimado devido a complexidade e custos para gerar a cotação.

Outro ponto a ser destacado é o conhecimento adquirido durante o desenvolvimento do projeto. Atualmente há empresas renomadas e especializadas na área que cobram valores consideráveis para realizar esses dimensionamentos, e o fato dos resultados aqui obtidos se assemelharem ao encontrados in loco mostra a capacitação dos envolvidos nesse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] STAB. **Utilidades**. 2004. Disponível em: <https://www.procknor.com.br/br/artigos/utilidades>>. Acesso em: 14 jan. 2018.
- [2] Sidel. **Enchimento preciso e seguro de garrafas PET para todas as bebidas**. Disponível em: <http://www.sidel.pt/equipamento/enchimento>>. Acesso em: 14 jan. 2018.
- [3] MUNHOZ, José Renato; MORABITO, Reinaldo. **Otimização no Planejamento Agregado de Produção em Indústrias de Processamento de Suco Concentrado Congelado de Laranja**. 2017. 30 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, Catanduva, 2017. Disponível em: http://www.dep.ufscar.br/docentes/morabito/joser Renato_gp09.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2018.
- [4] BIHRE, Eduardo; CIROLINI, Julio; RUTSATZ, Marcus. **Concentração**. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/alimentus1/feira/prfruta/slc/Processo/concentracao.htm>>. Acesso em: 14 jan. 2018.
- [5] ELY, Daniela; LAKUS, Filipe; BRINQUES, Graziela. **Evaporação**. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/alimentus1/feira/opconser/evaporac.htm>>. Acesso em: 15 jan. 2018.
- [6] KRONES. **Tanque asséptico / de bebidas / de armazenamento / de processo**. Disponível em: <http://www.directindustry.com/pt/prod/krones/product-7266-1790609.html>>. Acesso em: 15 jan. 2018.
- [7] TETRA PAK. **TANQUES PULMÃO QUE MANTÊM O PRODUTO E AS PESSOAS SEGURAS**. Disponível em: <https://www.tetrapak.com/br/processing/buffering/tetra-alsafe>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

[8] RENATA BRANCO. **COMO FUNCIONA UM PASTEURIZADOR**. Disponível em: <<http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/4912-como-funciona-um-pasteurizador/>>. Acesso em: 16 jan. 2018.

[9] DINIZ, Gabriel N.; GUTIERREZ, Carola G. C. C.; GUT, Jorge A. W.. **MODELAGEM E SIMULAÇÃO DINÂMICA DE PASTEURIZADOR A PLACAS**. In: NANCÍ APARECIDA DA SILVEIRA FUJIMORI, 8., 2009, Uberlândia. **Anais...** . Uberlândia: Ufu, 2009. p. 1 - 1. Disponível em: <<http://www.cobeqic2009.feq.ufu.br/uploads/media/83821671.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2018.

[10] CRIVELLARI, Gabriel Pereira. **Modelagem e Simulação Dinâmica de Pasteurizador Tubular para Processamento Contínuo de Fluido Não-Newtoniano**. 2010. 164 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade de São Paulo Escola Politécnica, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://sites.poli.usp.br/p/augusto.neiva/TCC/arquivos/1289474817.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2018.

[11] CLEAN IN PLACE (CIP) – Limpeza em circuito fechado em equipamentos de esterelização e envase de produtos UHT. Disponível em: <[http://pt-br.uht.com/CLEAN_IN_PLACE_\(CIP\)_-Limpeza_em_circuito_fechado_em Equipamentos_de_esterelizacao_e_envase_de_produtos_UHT](http://pt-br.uht.com/CLEAN_IN_PLACE_(CIP)_-Limpeza_em_circuito_fechado_em Equipamentos_de_esterelizacao_e_envase_de_produtos_UHT)>. Acesso em: 16 jan. 2018.

[12] GRUNDFOS. **CIP**. Disponível em: <http://br.grundfos.com/industrias_aplicacoes/applications/cip.html>. Acesso em: 17 jan. 2018.

[13] LEITE, Nilson Ribeiro; MILITÃO, Renato de Abreu. **TIPOS E APLICAÇÕES DE CALDEIRAS**. São Paulo: Escola Politécnica - Usp, 2008. 112 p. Disponível em: <https://lesimeifiles.wordpress.com/2012/09/caldeiras_prominp.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2018.

- [14] BIZZO, Waldir A.. **Geradores de Vapor**. Campinas: Unicamp, [2018]. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~em672/GERVAP4.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2018.
- [15] FERRAZ, Fabio. **Caldeiras**. Bahia: Senai Petrobras, 2008. 14 slides, color. Disponível em: <<https://fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/08/2caldeiras.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2018.
- [16] MATHIAS, Autor Cardozo. **Válvulas de Segurança para Caldeiras e Processos Industriais**. [s. L.]: Pipe System, [2016]. Disponível em: <http://www.pipesystem.com.br/Artigos_Tecnicos/Valvula_de_Seguranca_1.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2018.
- [17] MATHIAS, Artur Cardozo. **Válvulas de Segurança**. Serra: Fluid Controls do Brasil, [201-]. Disponível em: <http://fluidcontrols.com.br/site/upload/pdf/Apostila_Valvulas_de_Seguranca_e_Alivio.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2018.
- [18] PAULO, João. **Purgadores de Vapor**. São Mateus: Instituto Federal, [201-]. Color. Disponível em: <ftp://ftp.sm.ifes.edu.br/professores/JoaoPaulo/Tubula%E7%E3o%20Industrial/aula_07_-_Purgadores_e_filtro.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2018.
- [19] VAPORTEC. **O que é purgador de vapor termodinâmico?** [s. I.]: Vaportec, 2016. Disponível em: <<http://www.vaportec.com.br/ind/2016/02/02/o-que-e-purgador-de-vapor-termodinamico/>>. Acesso em: 22 jan. 2018.
- [20] SPIRAX SARCO. **Filtros Industriais**. [s. I.]: Spirax Sarco, [201-]. Disponível em: <[http://www.spiraxsarco.com/global/br/Products/Documents/Filtros Industriais Para utilização em vapor, líquidos e gases.pdf](http://www.spiraxsarco.com/global/br/Products/Documents/Filtros%20Industriais%20Para%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20em%20vapor,%20l%C3%ADquidos%20e%20gases.pdf)>. Acesso em: 23 jan. 2018.
- [21] TLV. **Melhores Práticas para Remoção do Condensado nas Linhas de Vapor**. [s. I.]: Tlv, [201-]. Disponível em: <<https://www.tlv.com/global/BR/steam-theory/steam-lines-best-practices.html>>. Acesso em: 23 jan. 2018.

[22] BIZZO, Waldir A.. **Distribuidores de Vapor.** Disponível em: <http://www.hdenergiaverde.com/hd/sites/default/files/upload/Apostila_Eficiencia_Energetica_em_Sistemas_de_Vapor.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2018.

[23] HD E ENERGIA VERDE. **Retorno de Condensado.** [s. I.]: Hd e Energia Verde, [201-]. Disponível em: <http://www.hdenergiaverde.com/hd/sites/default/files/upload/Apostila_Eficiencia_Energetica_em_Sistemas_de_Vapor.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2018.

[24] TLV. **Introdução sobre Recuperação do Condensado.** [s. I.]: Tlv, [201-]. Disponível em: <<https://www.tlv.com/global/BR/steam-theory/introduction-to-condensate-recovery.html>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

[25] HD E ENERGIA VERDE. **Isolamento Térmico.** [s. I.]: Hd e Energia Verde, [201-]. Disponível em: <http://www.hdenergiaverde.com/hd/sites/default/files/upload/Apostila_Eficiencia_Energetica_em_Sistemas_de_Vapor.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2018.

[26] ALESSANDRO JÚNIOR,. **Como é o funcionamento de um Chiller?** Disponível em: <http://www.brastek.com.br/post_blog/como-e-o-funcionamento-de-um-chiller/>. Acesso em: 31 jan. 2018.

[27] PORTAL WEBARCONDICIONADO. **Conheça o Chiller, o equipamento dos grandes projetos de climatização.** 2014. Disponível em: <<http://www.webarcondicionado.com.br/conheca-o-chiller-o-equipamento-dos-grandes-projetos-de-climatizacao>>. Acesso em: 31 jan. 2018.

[28] LAUREIRO, Mario. **Chillers de Absorção.** [s. I.]: Ceeta, [201-]. Disponível em: <<http://www.marioloureiro.net/tecnica/energProdu/TecAproveitamentoCalor.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2018.

[29] SP. **Torres de Resfriamento.** Desenvolvida pelo área de engenharia elétrica da USP. Disponível em:

<<https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5817712/LOQ4086/torres.de.resfriamento2.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2018.

[30] NIP SERVIÇOS. **Isolamento de tubulação de água gelada**. Suzano: Nip Serviços, 2018. Disponível em: <<http://www.nipservicos.com.br/isolamento-de-tubulacao-de-agua-gelada>>. Acesso em: 06 fev. 2018.

[31] ESCOLA DA VIDA. **ALVENIUS EQUIPAMENTOS TUBULARES S/A: Dimensionamento da Tubulação**. [201-]. Disponível em: <[http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/dimensionamento da tubulação.pdf](http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/dimensionamento_da_tubulacao.pdf)>. Acesso em: 11 fev. 2018.

[32] REGO, Orosimbo Andrade de Almeida. **Distribuição do Vapor**. Uberlândia: Femec-ufu, 2017. 66 slides, color.

[33] ALFA LAVAL. **Caldeiras Aquatubulares**. Disponível em: <<http://www.aalborg-industries.com.br/general.php?ix=145>>. Acesso em: 17 maio 2018.

[34] SCHNEIDER MOTOBOMBAS. **PERDA DE CARGA EM ACESSÓRIOS**. Disponível em: <http://www.escoladavida.eng.br/mecflubasica/perdas_de_carga_em_acessorios.pdf>. Acesso em: 28 maio 2018.

[35] MONTEBELLO, Luiz Coimbra; CESARIN, Enio Sebastião. **Manual de purgadores**. Disponível em: <<http://www.petroblog.com.br/>>. Acesso em: 28 maio 2018.

[36] KSB. **Bomba Padronizada Monobloco Megabloc**. São Paulo: Ksb, [201-]. Disponível em: <http://www.ksb.com.br/ksb-br-pt/tipos.php?codtipo=1&codgrupo=5&codaplicacao=23&_pag=3>. Acesso em: 11 jun. 2018.

[37] ESDRAS DE CASTRO. **Relatório Técnico - Engenharia de Aplicação: VAPOR & CONDENSADO**. Uberlândia: Sarco, 2018.