



**André Cristiano Pederiva
Rafael Mattioni**

**ESTUDO PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA DE UMA TUBULAÇÃO
DE VAPOR PARA UMA FÁBRICA DE RAÇÃO ANIMAL**

Horizontina

2013

**André Cristiano Pederiva
Rafael Mattioni**

**ESTUDO PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA DE UMA TUBULAÇÃO
DE VAPOR PARA UMA FÁBRICA DE RAÇÃO ANIMAL**

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

ORIENTADOR: Ademar Michels, Doutor.

Horizontina

2013

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Estudo para melhoria da eficiência de uma tubulação e vapor para
uma fábrica de ração animal”**

Elaborada por:

**André Cristiano Pederiva
Rafael Mattioni**

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

**Aprovado em: 04/12/2013
Pela Comissão Examinadora**

**Doutor. Ademar Michels
Presidente da Comissão Examinadora – Orientador
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Mestre. Anderson Dal Molin
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Doutor. Fabiano Cassol
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina
2013**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família que me deu todo o suporte e confiança para enfrentar as dificuldades encontradas pelo caminho da graduação. E a todos os amigos e colegas que perdemos durante esta jornada.

André C. Pederiva

AGRADECIMENTO

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais Mauro e Leonice, que propiciaram esse momento na minha vida, me dando todo o apoio e sempre me aconselhando da melhor forma possível para estar trilhando o melhor caminho para a minha vida. A minha mulher Luciana, que apesar de todas as dificuldades e distâncias esteve sempre ao meu lado me apoiando nas minhas escolhas, e sendo compreensiva nos momentos difíceis. Aos meus avós que já não estão entre nós Amantino e Cenira, e aos meus avós que poderão compartilhar este momento de alegria comigo Breni e Neusa e a minha tia Jusara. Aos familiares acima citados gostaria de expressar o meu profundo obrigado, que sem vocês esta conquista não seria possível e também não teria sentido algum, amo todos vocês!

Agradeço a empresa Puro Trato Nutrição Animal, e ao Dr. João Teixeira, que abriu as portas de sua indústria para a realização deste estudo de caso, bem como a todos os funcionários da empresa que nos ajudaram no levantamento das informações necessárias para alcançarmos o êxito obtido com a finalização deste trabalho.

E a Fahor – Faculdade Horizontina que por meio de seus professores me propiciaram a qualificação técnica necessária para a realização deste trabalho, principalmente ao Professor Dr. Ademar Michels, que nos orientou neste trabalho com todo o seu conhecimento e experiência, sempre com bom humor e buscando a melhor solução para os problemas encontrados, obrigado professor Michels.

André C. Pederiva

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a memória de todos os amigos que não estão mais entre nós: Vô Romano, Vô Dorival, Fabinho Andolhe, Cristiano Carpes, Tiara, Gi, Quirela, Leon, Martinho. Em especial, a eterna amiga Lucci Limah e ao professor e amigo Ricardo Ferreira Severo.

Rafael Mattioni

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente aos meus pais Dilmar e Margarete por terem me dado a vida e por tudo me proporcionaram ao longo desses anos todos. A minha irmã Raquel pelos anos de convivência e pelos conselhos. Meu cunhado Vinicius por fazer parte da minha vida por muitos anos. A sobrinha Valentina que me trouxe muita felicidade. As avós Gaudina e Élia por todo amor e carinho. Tios Marcio, Viviane, Débora, Bilo, por tudo que fizeram por mim. Aos primos Lorenzo e Isabelle.

A todos os professores que passaram seus conhecimentos desde o maternal até a conclusão da faculdade. Em especial ao professor Julimar que sempre buscou a melhor maneira de ensinar e ao professor e orientador Ademar Michels por sempre acreditar na minha capacidade e sempre me apoiar no decorrer do curso.

Ao pessoal que fez parte da Invernada Juvenil do CTG Pompílio Silva nos anos que estive lá. Toda a galera que fez parte da Escolinha de Futebol do Cabo João por todas as vitórias e derrotas, mas sempre felizes.

Aos grandes amigos que serviram ao Exército comigo em Santiago-RS, Maurer, Bruno, Diniz, Marcio, Morais, Pedroso, Lutz, Rolim, Mário Lúcio, Selau, Navarro, Gonçalves, Roger, Cantele e todos os outros.

Rafael Simon por ter aberto as portas da sua empresa para a realização do meu estágio e também a todos os funcionários da empresa Simon Inspeção Veicular Ltda pela amizade e pela paciência no decorrer do estágio. Max e Bruno pelas conversas e conhecimentos passados sobre engenharia em várias madrugadas. Agradeço também a empresa Puro Trato Nutrição Animal, e ao Dr. João Teixeira, que abriu as portas de sua indústria para a realização deste estudo de caso.

Aos amigos e irmãos: Jéssica, Luana, Zinho, Júnior, Gian, Larissa, Bob, Mene, Farcel, Wilian, Will, Charles, DJ, Régis, Japo, Alex, Preto, Pri, Patrick, Elisa, Minhoca, Plipe, Gaba, Guuga, Curumim, Marlon, Jordana, Naná, Dedé, Paulinha, Anatalia, Maroso, Adri, Dailon, Bin, Pithan, Bruna, Lu, Daia, Bibiana, Gibran, Rafinha, Dorilda, Karina Sperotto, Bruna Perini, Dani, Caio, Spohr, Fábio, Tolotti, Diélis, Tonel, Andrio, Matheus, Véio, Thiago, Rhoden, Ronan, Vamp, Parlow, Berga, Perin, Freisleben, Luft, Chupim, Diogo, Luan, Squinzani, Biro, Pederiva, Luciana, Motta, Pigatto, Giordano, Kássio, Prevedello, Alvaro, Fincão, Gringo, Ivan, Raul e todos aqueles com quem tenho amizade em todos esses anos.

Rafael Mattioni

“Se você quer praticar o mal, a ciência pode lhe prover as mais poderosas armas; mas igualmente, se você deseja fazer o bem, a ciência também lhe põe nas mãos as mais poderosas ferramentas.”

Richard Dawkins

RESUMO

Este estudo apresenta uma análise de uma tubulação de vapor assim como sua perda de carga e conseqüentemente do vapor necessário para a utilização em uma indústria de ração animal. Atualmente, a empresa conta com uma caldeira com capacidade de 10 kgf/cm², porém, as necessidades exigem apenas 6,5 kgf/cm². A tubulação existente para fazer o transporte deste vapor da caldeira até o local de sua utilização não foi dimensionado corretamente e apresenta uma perda de carga de 5,01 kgf/cm² o que representa uma eficiência de 23%. Este trabalho focou a análise da perda de carga atual bem como o redimensionamento da tubulação a fim de reduzir a perda de pressão de vapor sendo que o correto dimensionamento proporciona uma economia de combustível e uma melhor eficiência do sistema, chegando a conclusão de que um dimensionamento incorreto interfere diretamente na qualidade do vapor necessário para suprir as necessidades da indústria. Para a realização dos cálculos, buscaram-se os dados da capacidade da caldeira no manual, foi realizada a medição da tubulação e em seguida foram feitos os cálculos a fim de analisar a situação atual da perda de carga. Em seguida, foi feito o redimensionamento com o diâmetro correto e pôde-se verificar a melhoria no transporte de vapor, o qual apresentou uma eficiência de 98%. Ainda, percebe-se que simples alterações na estrutura da tubulação podem resultar em menores perdas e conseqüentemente um melhor aproveitamento da caldeira e o vapor gerado.

Palavras-chave:

Vapor. Dimensionamento de tubulações. Perda de carga em tubulações.

ABSTRACT

This study presents an analysis of a steam pipe as well as their loss and consequently the steam required for the use on a pet food industry. Currently, the company has a boiler with a capacity of 10 kgf / cm^2 , however, needs only require 6.5 kgf / cm^2 . The existing transport this to the steam boiler to the location of its use pipe was not correctly sized and has a drop of 5.01 kgf / cm^2 which represents an efficiency of 23 %. This work focused on the analysis of loss of load current as well as resizing the pipe in order to reduce the loss of steam pressure and the correct sizing provides fuel economy and better efficiency of the system, reaching the conclusion that a scaling incorrect directly affects the quality of the steam needed to meet the needs of industry. For the calculations, sought the data capacity of the boiler in manual measurement of the pipe was held and then the calculations were made in order to analyze the current situation of loss. Then resizing was done with the correct diameter and it could be seen the improvement in steam carriage, which had an efficiency of 98 %. Still, you realize that simple changes in the structure of the pipe can result in lower losses and hence a better use of the boiler and the steam generated.

Keywords:

Steam. Sizing of pipes. Head loss in pipes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Caldeira Flamotubular.....	4
Figura 2: Caldeira Aquatubular.....	5
Figura 3: Exemplo de bota coletora.....	13
Figura 4: Especificação da caldeira.....	14
Figura 5: Vazão da caldeira.....	15
Figura 6: Layout da tubulação.....	17
Figura 7: Isolamento aplicado à tubulação.....	26
Figura 8: Coletor de condensado.....	27
Figura 9: Planta da tubulação com a localização dos coletores.....	28
Figura 10: Comparativo: Tubulação atual x tubulação dimensionada.....	31

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipos de combustíveis para caldeira.....	7
Quadro 2: Classificação quanto à aplicação dos tubos.....	8
Quadro 3: Espessura recomendada para isolamento térmico.....	11
Quadro 4: Escolha do tipo de isolamento térmico.....	18
Quadro 5: Condensado formado a cada 30m durante o aquecimento inicial (kg/h).....	19
Quadro 6: Condensado formado a cada 30m durante o processo (kg/h).....	19
Quadro 7: Valores da vazão de vapor em função da pressão.....	21
Quadro 8: Valores para interpolação da quantidade de condensado.....	28
Quadro 9: Gastos médios mensais com a caldeira.....	29
Quadro 10: Custo aproximado da nova tubulação.....	30
Quadro 11: Tempo aproximado para o retorno do investimento.....	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1 CALDEIRAS	3
2.1 CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM A POSIÇÃO DOS GASES	3
2.1.1.1 FLAMOTUBULARES	3
2.1.1.2 AQUATUBULARES.....	4
2.2 VAPOR	5
2.2.1 TIPOS DE VAPOR	5
2.2.2 ABASTECIMENTO DE ÁGUA	6
2.3 COMBUSTÍVEIS PARA CALDEIRA	6
2.3.1 LENHA.....	6
2.4 TUBULAÇÃO.....	7
2.4.1 DIMENSIONAMENTO DA TUBULAÇÃO	9
2.4.2 ISOLAMENTO TÉRMICO DA TUBULAÇÃO	10
2.4.3 VELOCIDADE DE ESCOAMENTO	12
2.4.4 FORMAÇÃO DE CONDENSADO.....	12
2.4.4.1 PURGADORES.....	13
3 METODOLOGIA	14
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	14
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	21
4.1 PERDA DE CARGA	21
4.2 ISOLAMENTO TÉRMICO	26
4.3 COLETORES DE CONDENSADO	27
4.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE DA NOVA TUBULAÇÃO	29
5 CONCLUSÕES	32
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
ANEXO A – ORÇAMENTO ISOLAMENTO TÉRMICO	36
ANEXO B – DIAGRAMA DE MOODY-ROUSE PARA O FATOR DE ATRITO	37
ANEXO C – QUADRO DE COEFICIENTE DE FORMA	38
ANEXO D – QUADRO DIÂMETRO TUBOS COMERCIAIS.....	39
ANEXO E – CURVAS DE CAPACIDADE PARA DIMENSIONAMENTO DOS PURGADORES IB.....	40

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente necessidade de melhor aproveitamento da energia em processos industriais, visando uma redução dos custos envolvidos na produção e uma diminuição do impacto ambiental causados pela geração da energia utilizada, vários são os fatores que podem ser atacados para que este desejo seja alcançado. Partindo desse pressuposto pode-se identificar uma oportunidade de melhoria em uma tubulação usada para transporte de vapor entre a caldeira e uma das plantas de uma indústria de ração animal.

A referida tubulação de transporte não foi dimensionada para a função que exerce, portanto, pode-se presumir que a tubulação não está executando a sua função da maneira mais eficiente possível.

O presente trabalho foca na análise e dimensionamento da tubulação responsável por transporte de vapor de uma caldeira até uma das plantas da indústria de rações que irá consumi-la nos processos produtivos.

Um dos principais fatores causadores de aumento de energia consumida pelas caldeiras, diminuição da produtividade, aumento de custos produtivos, baixa qualidade dos produtos e maior impacto ambiental, são as tubulações de transmissão de vapor dimensionadas incorretamente para atender aos requisitos dos processos produtivos que o utilizam. Em uma tubulação que não teve o seu correto dimensionamento podem ocorrer grandes perdas de cargas do fluido, ocasionando uma pressão de saída diferente da necessária pelos processos, sendo a tubulação não construída com o material adequado e com o respectivo isolamento térmico, haverá perdas de calor do fluido para o meio maior do que as esperadas.

Como objetivo geral deste trabalho, destaca-se a análise e dimensionamento da tubulação de vapor que faz a ligação entre a caldeira e indústria de rações. Entre os objetivos específicos, pode-se citar:

- Analisar a capacidade atual de geração de vapor da caldeira (kgf/cm^2);
- Mensurar a tubulação;
- Calcular as perdas de carga na tubulação;
- Dimensionar a tubulação com maior rendimento;
- Escolher o isolamento térmico aplicado à tubulação dimensionada;
- Identificar o tipo e pontos de instalação dos coletores de condensado;

- Analisar da viabilidade de instalação da nova tubulação;

Este estudo justifica-se pela necessidade de transportar o vapor da caldeira até a fábrica distante 191,6 metros. Para isto, foi construída uma tubulação que faz a ligação entre a caldeira e a fábrica onde o vapor é utilizado, porém essa tubulação não teve o seu correto dimensionamento levando em consideração as condições de trabalho, ambiente e características dos materiais empregados na sua construção.

Como a tubulação não foi dimensionada para o serviço que executa, podemos considerar que o sistema de distribuição possui um baixo rendimento apresentando inúmeras perdas. O estudo irá focar na análise e dimensionamento dessa tubulação que transmite o vapor da caldeira até a fábrica. Entende-se que o estudo e sua eventual aplicação poderão gerar ganhos em produtividade e qualidade do produto, na redução dos custos e emissões de poluentes gerados devido ao menor consumo de combustível pela caldeira.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CALDEIRAS

Como citam Leite e Militão (2008), as caldeiras são equipamentos destinados a transformar água em vapor. Através da queima de combustível se dá a energia, ou seja, o fornecimento de calor sensível à água até alcançar a temperatura de ebulição, mais o calor latente para vaporizar a água e ainda o calor de superaquecimento para transformá-la em vapor superaquecido.

Telles (1987) explica que uma das características das caldeiras é o fato de não serem produzidas em linha de fabricação, pois, cada empresa tem a sua necessidade específica. Destaca-se então, o estudo sobre caldeiras, afinal o projeto deverá ser feito individualmente para cada vaso em particular.

Através da energia térmica fornecida de uma fonte qualquer a caldeira gera vapor trabalhando com uma pressão superior à pressão atmosférica sendo assim, a caldeira é o mais importante gerador de calor. Em sua constituição existem vários equipamentos incorporados que permitem a obtenção do maior rendimento térmico possível. (NOGUEIRA, 2005)

2.1.1 CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM A POSIÇÃO DOS GASES

Para Pinheiro (2012) as caldeiras podem ser classificadas em de acordo com a posição dos gases e da água:

- Flamotubulares
- Aquatubulares

2.1.1.1 FLAMOTUBULARES

Também conhecidas como Piro tubulares, Fogotubulares ou, ainda, como Tubos de Fumaça, são aquelas nas quais os gases da combustão (fumos) atravessam a caldeira no interior de tubos que se encontram rodeados por água, cedendo calor à mesma. Por serem mais simples, são as mais utilizadas. Pelo fato de trabalhar sob menores pressões, apresenta uma maior segurança, porém tem uma aplicação mais restrita devido a quantidade de vapor que gera. (MARTINELLI, s.d.).

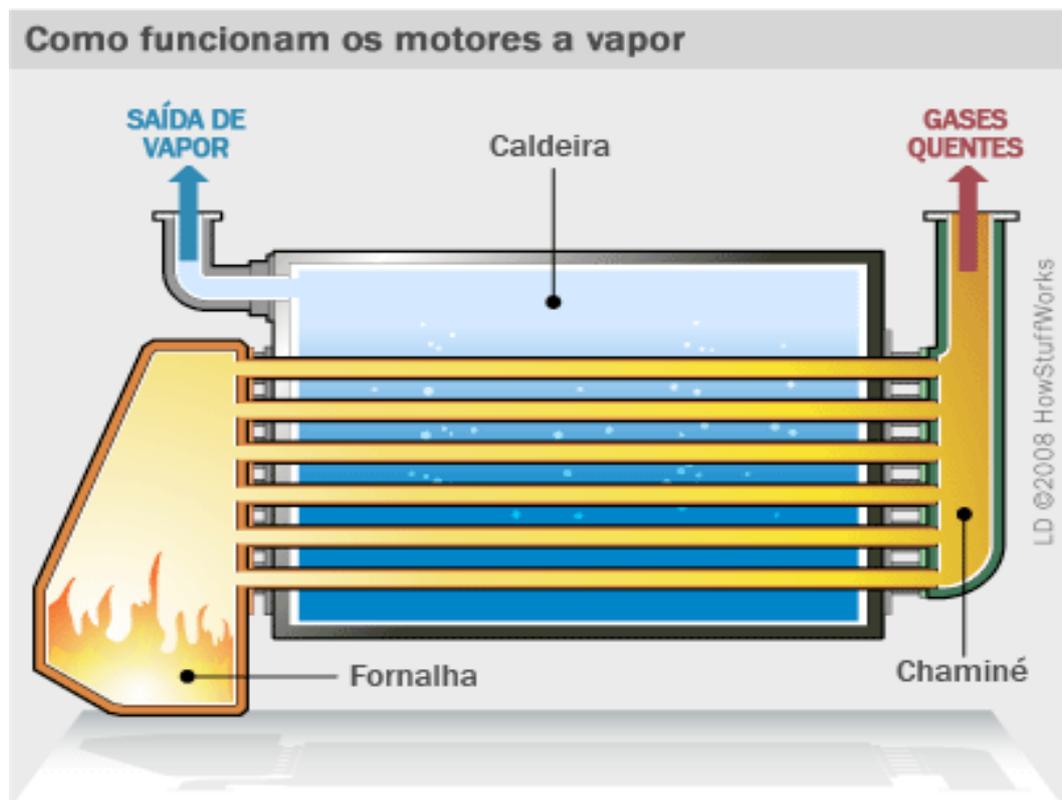
Bizzo (2003) afirma que as caldeiras flamotubulares representam a maioria das caldeiras, pois são utilizadas para pequenas capacidades de produção de vapor

(da ordem de até 10 ton/h) e baixas pressões (até 10 bar), chegando algumas vezes a 15 ou 20 bar.

Leite e Militão (2008) observam que neste modelo de caldeira, os gases quentes passam por dentro de tubos, ao redor dos quais a água sendo aquecida e conseqüentemente evaporando. A montagem dos tubos é feita com um ou mais passos dos gases quentes através do mesmo.

Segundo Nogueira (2005) as caldeiras flamotubulares foram as primeiras caldeiras a serem construídas. Por ter uma construção simples, mesmo com o surgimento de novos sistemas para a geração de vapor, ainda continuam em uso.

Figura 1 - Caldeira Flamotubular



Fonte: Brain, s.d. p. 1.

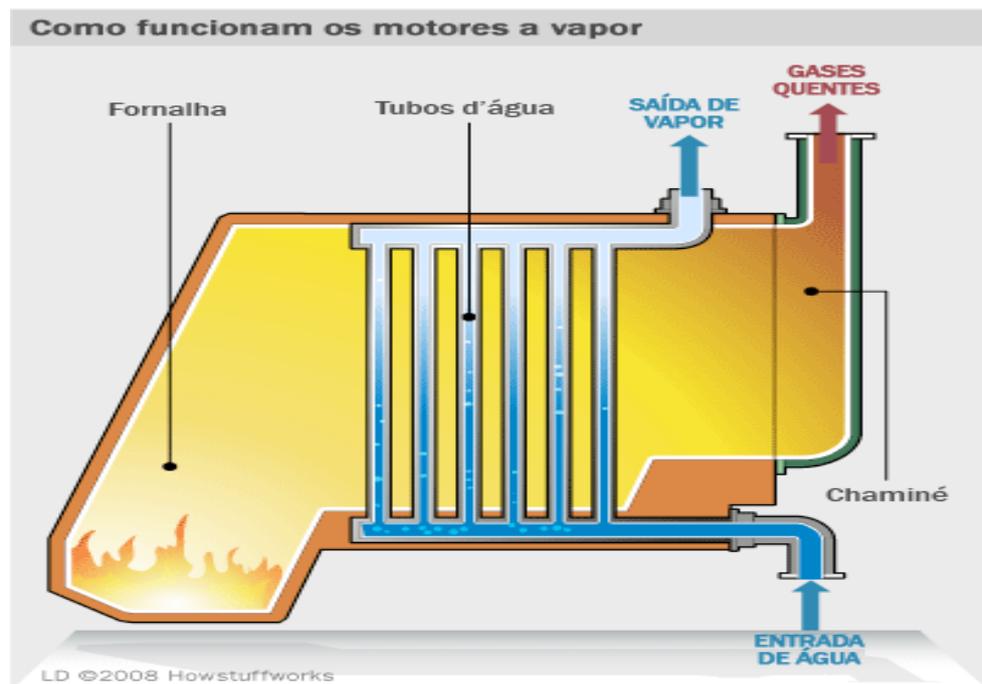
2.1.1.2 AQUATUBULARES

De acordo com Bizzo (2003) as caldeiras aquatubulares tem a produção de vapor dentro de tubos que interligam 2 ou mais reservatórios cilíndricos horizontais.

Diferenciam-se das pirotubulares no fato da água circular no interior dos tubos. São utilizadas quando se necessita obter pressões e rendimentos elevados,

pois os esforços desenvolvidos nos tubos pelas altas pressões são de tração ao invés de compressão, como ocorre nas piro-tubulares. Como os tubos se localizam fora do corpo da caldeira obtêm-se superfícies de aquecimento praticamente ilimitadas. (MARTINELLI, s.d.).

Figura 2 – Caldeira Aquatubular



Fonte: Brain, s.d. p. 1.

2.2 VAPOR

Conforme cita Sarco (2005), ao cedermos calor para a água, sua temperatura aumenta até atingir um determinado valor. Em certo momento, a água não tem mais como se manter em estado líquido. Esse valor corresponde ao ponto de ebulição, isto é, qualquer aumento de calor fará com que parte desta água ferva, se transformando em vapor. De modo simples, pode-se dizer que vapor nada mais é que a união do elemento químico água com o elemento físico energia ou calor.

2.2.1 TIPOS DE VAPOR

Existem basicamente dois tipos de vapor, vapor saturado e vapor superaquecido. O vapor saturado é um vapor considerado úmido, pois contém pequenas partículas de água, quando se condensa, cede calor latente. Normalmente, este tipo de vapor é utilizado para aquecimento direto ou indireto. Por

outro lado, o vapor superaquecido é obtido através do aquecimento do vapor saturado, resultando em um vapor seco. É aplicado para geração de trabalho mecânico ou para necessidades específicas, devido a sua alta temperatura. (CHIARANTANO E SANTANA, 2008).

2.2.2 ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Conforme o vapor sai da caldeira, a água utilizada deve ser injetada de modo equivalente com o objetivo de evitar que o nível de água no interior da caldeira comece a baixar. Para que não ocorra nenhum dano no equipamento, é necessário que as superfícies metálicas expostas ao contato dos gases quentes se mantenham banhadas pela água. Se ocorrer do nível de água ultrapassar o limite mínimo estabelecido, pode causar dano ao equipamento e à segurança da unidade pois criam-se condições de ruptura das paredes metálicas ou explosões devido ao superaquecimento das placas metálicas. A alimentação de água na caldeira ocorre com aparelhos de alimentação podendo ser feita em dois locais distintos: no tubo de lama ou no tubulão. Esta escolha deve ser feita de acordo com a temperatura da água no momento da alimentação. Se estiver fria, é indicado que seja abastecida pelo tubo de lama, caso contrário, a alimentação pode ser feita pelo tubulão de vapor. (NOGUEIRA, 2005)

2.3 COMBUSTÍVEIS PARA CALDEIRA

Novaes (1999) define combustível como sendo um material usado para produzir calor por combustão. Normalmente, os combustíveis utilizados na geração de vapor podem ser sólidos, líquidos ou gasosos. Como exemplo de combustível sólido, temos: lenha, carvão mineral, bagaço de cana e outros resíduos vegetais diversos.

2.3.1 LENHA

Bizzo (2003) explica que lenha é um combustível amplamente utilizado no Brasil, tanto em aplicações domésticas quanto em aplicações industriais para geração de vapor. Tem como característica baixo teor de cinzas, ausência total de enxofre e umidade variável, a qual depende do tempo e método de armazenagem.

A composição química da lenha deve oscilar em torno dos seguintes valores: Carbono: 49%; Hidrogênio: 6%; Oxigênio: 44%; Cinzas: 1%. Logicamente, os

cálculos devem considerar o teor de humidade que, em termos reais, varia entre 10% e 30%.(BAZZO, 1995).

Quadro 1 – Tipos de combustíveis para caldeiras

Origem	Combustível Básico	Derivado
FÓSSEIS	Petróleo	GLP Gasolina Óleo Diesel Óleo Combustível Óleos Residuais
	Gás Natural	
	Xisto Betuminoso Carvões Minerais	Gases manufacturados
VEGETAIS	Cana-de-açúcar	Bagaço de cana Alcool Etílico
	Lenha	Carvão Vegetal Gases manufacturados Metanol
	Resíduos Vegetais	Biogás

Fonte: Bizzo, 2003. p. 18.

2.4 TUBULAÇÃO

Tubo é um conduto fechado, oco, geralmente circular destinado ao transporte de fluidos. Por outro lado, tubulação é um conjunto de tubos, conexões, válvulas e acessórios formando uma linha para a condução de fluidos. O material mais comum utilizado para a tubulação é o aço-carbono. O aço-carbono apresenta baixo custo, ótimas qualidades mecânicas e facilidade na conformação. É um material de uso geral em relação a tubagem industrial, só não pode ser aplicado em algumas raras situações específicas que inviabilizem seu uso. Em relação as indústrias de processamento, mais de 80% dos tubos são de aço-carbono que pode ser utilizado para transporte de água doce, vapor, condensado, ar comprimido, óleo, gases e fluídos pouco corrosivos, em temperaturas desde -45°C, e a qualquer

pressão. Alguns tubos de aço-carbono recebem um revestimento de zinco interna e externamente para aumentar a resistência à corrosão. Com esta adição de zinco, os tubos passam a serem galvanizados. (ZATTONI, 2008)

Makarenko (1975) explica que os tubos de aço utilizados no transporte de vapor são fabricados em diâmetros nominais expressos em polegadas. Em tubos com 12" ou menores, o diâmetro nominal não coincide com nenhuma dimensão física, funcionando apenas para designar a série.

Quadro 2 – Classificação quanto à aplicação dos tubos

Tubos para condução	
Preto ou galvanizado	Tubos para condução de fluidos não corrosivos (água, gás, vapor e ar comprimido).
Aço ligado	Tubos para condução de fluidos corrosivos.
Aço inox	Tubos para condução de fluidos corrosivos ou sanitários.
Eletrodutos	
Tubos para proteção de fios e cabos elétricos.	
Tubos industriais	
Tubos de aço carbono para estruturas, andaimes, postes, cercas e escoras.	
Tubos mecânicos	
Tubos de seção circular, para aplicações industriais, tais como: fabricação de auto peças, equipamentos, móveis, etc., onde exatidão dimensional, qualidade de superfície e propriedades mecânicas são importantes. Tubos mecânicos de precisão, laminados ou trefilados para indústrias automobilísticas.	
Tubos para troca térmica	
Tubos para caldeiras, trocadores de calor e condensados, tubos de aço carbono com e sem requisitos especiais e tubos de aço carbono para alta performance.	

Fonte: Zattoni, 2008. p. 30.

Em tubos de aço-carbono, quanto maior for a quantidade de carbono no aço maior será a sua dureza e maiores serão os limites de resistência e de escoamento; por outro lado, a maior quantidade de carbono compromete a ductibilidade e a soldabilidade do aço. Por esse motivo, em aços para tubos limita-se a quantidade de carbono até 0,35%, sendo que até 0,30% de C a solda é bastante fácil, e até 0,25% de C os tubos podem ser facilmente dobrados a frio. Ainda existem os aços-carbono podem ser "acalmados" (killed-steel), com adição de até 0,1% de Si, para eliminar os gases, ou "efervescentes" (rimed-steel), que não contêm Si. Devido ao processo de fabricação, os aços-carbono acalmados têm estrutura metalúrgica mais fina e

uniforme, sendo de qualidade superior aos efervescentes. Recomenda-se o emprego de aços-carbono acalmados sempre que ocorrerem temperaturas acima de 400°C, ainda que por pouco tempo, ou para temperaturas inferiores a 0°C. (SEBASTIÃO, 1997)

2.4.1 DIMENSIONAMENTO DA TUBULAÇÃO

Conforme Daumichen (1975) a tubulação para transporte de vapor deve ser dimensionada com um diâmetro que esteja de acordo com certa vazão. Caso seja dimensionada com um diâmetro muito pequeno, isto fará com que a velocidade aumente e a velocidade excessiva ocasionará um maior desgaste. Por outro lado, caso seja dimensionada com um diâmetro muito além do necessário, terá um aumento no custo inicial da instalação, embora este fato não prejudique o funcionamento da tubulação. Existem 2 métodos básicos para dimensionamento de tubulações: Velocidade ou perda de carga. O problema do dimensionamento pela velocidade, é que este método não leva em consideração o comprimento da tubulação e, conseqüentemente, a perda de carga total poderá ser muito grande. Quanto mais longa a tubulação, menor será a pressão disponível no ponto de consumo. O intuito do dimensionamento da tubulação de vapor é obter, no final da linha, pressão de vapor mais próximas das iniciais possíveis para que o vapor seja utilizado nas condições desejadas.

Makarenko (1975) afirma que um sistema de distribuição de vapor saturado, sempre terá condensação, decorrente das perdas por radiação. Porém, mesmo a quantidade sendo baixa, esta condensação deve ser retirada da tubulação. Geralmente, as tubulações para vapor devem ser inclinadas no sentido do fluxo em pelo menos 0,5%. Fazendo-se a inclinação no sentido do fluxo, teremos ambos andando no mesmo sentido, o que irá facilitar a eliminação de condensado, evitando assim, que a qualidade do vapor seja prejudicada.

De acordo com Sebastião (1997) em todas as tubulações para vapor é muito importante a total drenagem do condensado formado. A instalação dos tubos com um pequeno ângulo de caimento na direção do fluxo, principalmente em linhas de vapor saturado, onde é maior a formação de condensado, praticamente elimina qualquer sobra de condensado na tubulação.

Pagy (1975) afirma que as tubulações sendo instaladas a frio, irão evidentemente expandir-se assim que aquecidas. Em instalações curtas e cheias de

curvas, as próprias curvas na tubulação já permitirão essa expansão. Já em instalações com maior diâmetro, mais extensas e com menos curvas, deve-se aplicar algum meio para absorver a expansão.

2.4.2 ISOLAMENTO TÉRMICO DA TUBULAÇÃO

Para Zatonni (2008) o isolamento térmico tem por principal finalidade a conservação da energia em tubulações que operam em baixa ou alta temperatura. Além disso, o isolamento térmico também tem por finalidade a proteção pessoal e a prevenção de superfícies sujeitas à condensação ou o congelamento do vapor d'água do ar uma vez que mantém a temperatura dentro da tubulação e evita que seja dissipado para a parte externa.

Quanto ao isolamento térmico, Pagy (1975) explica que todas as superfícies que possam perder calor devem ser isoladas. Este processo evita uma queima desnecessária de combustível além de que a falta de isolamento térmico ou isolamento deficiente irá ocasionar uma vasta perda de calor. Deste modo, as paredes internas serão recobertas por uma grande quantidade de condensado que certamente prejudicará a qualidade do vapor. Entre os principais elementos nocivos ao rendimento do vapor, podemos citar o condensado, o ar e os gases incondensáveis. O condensado está diretamente ligado ao isolamento térmico e pode ser considerado um dos piores inimigos da eficiência do sistema. O ar e os gases geralmente são ignorados, porém estão ligados a muitos problemas de transferência de calor, ineficiência no sistema de drenagem, temperaturas baixas de operação e corrosão de equipamentos.

De acordo com Telles (1987), a espessura do isolamento raramente é determinada por cálculos, devido a difícil obtenção de dados numéricos fidedignos, como também porque esses cálculos poucas vezes se justificam. Além disso, para a realização de cálculos, seriam necessárias inúmeras variáveis e certamente a espessura do isolamento térmico iria variar dezenas de vezes em poucos metros de tubulação. Os critérios para a recomendação da espessura do isolamento térmico levam em consideração o diâmetro da tubulação e a temperatura do vapor, não sendo observada a temperatura ambiente em que esta tubulação será aplicada.

Nogueira (2005), explica que os isolantes térmicos convencionais armazenam em sua estrutura grande quantidade de ar, que, praticamente, não transmite calor por convecção. Os melhores isolantes apresentam condutibilidade próxima de 0,03

Kcal/h.m.°C. Dentre os isolantes mais utilizados, encontramos os refletivos, fibrosos, granulares e celulares. Os refletivos geralmente são formados por folhas metálicas que apresentam grande poder refletor de ondas de calor, apresentando baixa absorção e emissividade destas mesmas frequências. Nos isolantes fibrosos, temos as lãs de rocha, de escória e de vidro, o asbesto, o feltro e a madeira. A utilização de fibras não deve proporcionar condução nem convecção naturais. A compactação excessiva aumenta o contato entre as fibras e aumenta a condução de calor, porém, com uma baixa compactação, aumentam-se os espaços ocupados pelo ar, o que facilita a convecção natural. Os isolantes granulares prendem o ar e dificultam sua movimentação fazendo, deste modo, com que a transferência de calor seja mínima. Dentre os materiais que mais se destacam estão o silicato de cálcio, magnésia, diatomita e a cortiça. Por fim os isolantes celulares são materiais constituídos por poros, porém impermeáveis. Devido a esta característica, a convecção é mínima. As espumas sólidas modernas são exemplos típicos. Neste tipo de isolante, pode-se facilmente preencher os poros com os mais diversos gases, aumentando ainda mais a capacidade de isolamento térmico. Os materiais usuais são as espumas de borracha, de vidro, plásticas (estireno, poliuretano) e o aerogel de sílica.

Quadro 3 – Espessura recomendada para isolamento térmico

DN		LÃ DE ROCHA – CONSERVAÇÃO DE ENERGIA									
		ESPESSURA DO ISOLAMENTO (mm)									
		TEMPERATURA (°C)									
POL	mm	ATÉ 99	100 a 149	150 a 199	200 a 249	250 a 299	300 a 349	350 a 399	400 a 449	500 a 549	550 a 600
1/2	15	25	25	25	40	50	65	-	-	-	-
3/4	20	25	25	25	40	50	65	-	-	-	-
1	25	25	25	25	40	50	65	-	-	-	-
1.1/4	32	25	25	25	40	50	65	-	-	-	-
1.1/2	40	25	25	25	40	50	75	-	-	-	-
2	50	25	25	40	50	50	75	-	-	-	-
2.1/2	65	25	25	40	50	50	75	-	-	-	-
3	80	25	25	40	50	50	75	-	-	-	-
4	100	25	40	50	50	65	75	-	-	-	-
5	125	40	40	65	65	65	75	-	-	-	-
6	150	40	40	75	65	75	75	-	-	-	-
8	200	40	40	75	75	75	75	-	-	-	-
10	250	40	50	75	75	90	90	-	-	-	-
12	300	40	50	75	75	90	90	-	-	-	-
14	350	40	65	75	75	90	90	-	-	-	-
16	400	40	65	75	75	90	90	-	-	-	-
18	450	40	65	75	75	90	90	-	-	-	-
20	500	40	65	75	75	90	90	-	-	-	-
22	550	40	65	75	75	90	90	-	-	-	-
24	600	40	65	75	75	90	90	-	-	-	-

2.4.3 VELOCIDADE DE ESCOAMENTO

Aviles e Miranda (2008) afirmam que a velocidade de escoamento tem influência direta em quatro aspectos fundamentais: a eficiência de troca térmica, a perda de carga, a erosão e o depósito de sujeira. Quanto se tem uma maior velocidade de escoamento, maior a intensidade de turbulência criada e melhor deve ser o coeficiente de transporte de energia. Conseqüentemente, a área do trocador necessária para uma dada carga térmica será menor. Nesse aspecto, é desejável que a velocidade de escoamento seja alta. Como um dos objetivos da tubulação de vapor é manter a temperatura interna o mais próximo possível, uma maior velocidade reduz as perdas de calor por convecção e radiação no sistema. Por outro lado, uma maior turbulência aumenta consideravelmente a perda de carga. Nesse aspecto, não é desejável uma velocidade de escoamento exagerada pois aumenta a perda de carga e também não é desejável uma velocidade tão baixa que aumente excessivamente a perda de calor do vapor. Então, há um meio termo entre manter a temperatura o mais próximo possível da temperatura de saída da caldeira sem acarretar uma perda de carga excessiva.

2.4.4 FORMAÇÃO DE CONDENSADO

O condensado nada mais é do que o vapor que perdeu calor e voltou ao estado líquido. Em tubulações de vapor superaquecido, o condensado surge em função das perdas de calor por irradiação ao longo da linha e normalmente nos primeiros momentos da utilização da caldeira em que toda a tubulação está a uma temperatura ambiente. É importante a retirada deste condensado da tubulação pois ele não tem ação motora e nem ação aquecedora, fatores esses que contribuem para a diminuição da eficiência da tubulação. Por fim, o condensado contribui diretamente para o resfriamento do vapor e diminui a seção transversal útil de escoamento de vapor, (SEBASTIÃO, 1997).

Sarco (2005) explica que a partir do momento em que o vapor cede seu calor latente para aquecimento de qualquer outro fluido ou superfície que deve ser aquecida, ele condensa e passa para fase líquida. O condensado gerado contém somente calor sensível, e deve ser retirado do sistema se a transferência de calor continuar. Ar e outros gases incondensáveis arrastados junto com o vapor formam uma barreira na transferência de calor entre o vapor e a superfície de aquecimento que acarretam em um obstáculo que favorece a perda de carga. Sendo assim,

devem ser descarregados para fora do sistema para melhorar a eficiência da tubulação.

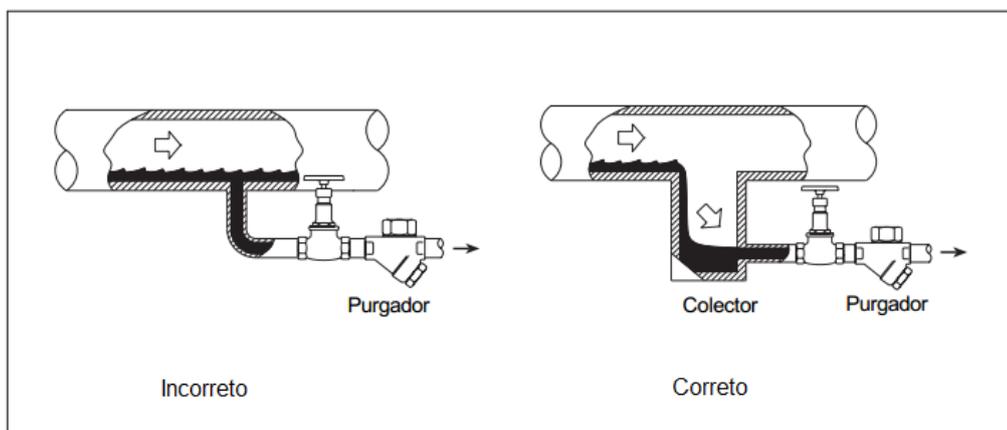
2.4.4.1 PURGADORES

Segundo Sarco (2005) a função dos purgadores é fazer a retirada do condensado da tubulação. Para ter uma eficiência máxima, a tubagem deve ser inclinada não menos de 40mm em 10m, no sentido do fluxo do vapor. É importante observar que, quando o vapor é fechado e não há fluxo, o condensado formado irá se depositar nos pontos mais baixos do sistema. É nestes pontos de acúmulo que os purgadores devem ser instalados. A formação de condensado será maior durante o arranque numa tubagem de grandes dimensões exigindo desta forma pontos de drenagem com intervalos de 30 a 50m. A escolha correta do tipo de purgador pode ser inútil se o condensado tiver dificuldade de chegar até o purgador.

Nogueira (2005) elenca os principais fatores que influem na escolha de um purgador:

- Natureza da instalação e finalidade do purgador;
- Pressão e temperatura do vapor na entrada do purgador;
- Pressão na descarga do purgador;
- Pressão e temperatura do condensado;
- Quantidade de condensado a ser eliminado, por hora ou por dia;
- Quantidade de ar e de outros gases presentes no vapor;
- Ação corrosiva ou erosiva do vapor ou do condensado;
- Facilidades necessárias de manutenção;

Figura 3 – Exemplo de bota coletora

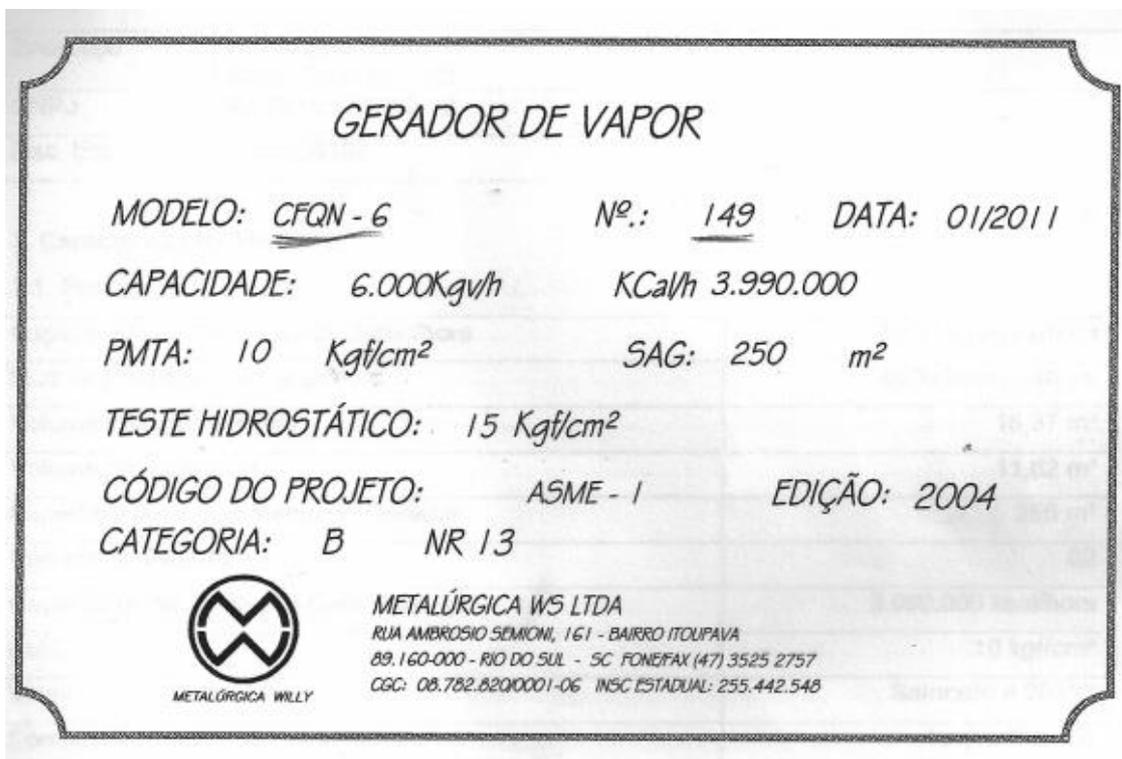


3. METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Primeiramente para realizarmos a análise das perdas de carga que podem estar ocorrendo na tubulação, se faz necessário conhecer o tipo de caldeira utilizado, suas singularidades e seu funcionamento. Os dados de vazão, pressão máxima e temperatura são fornecidos pelo manual da caldeira, observados na Figura 4:

Figura 4 – Especificações da caldeira



Fonte: Manual da caldeira.

Através da Figura 5 é possível observar que a vazão de vapor para uma pressão de 10 kgf/cm² é de 4425 kg/h de vapor, pois a saída da caldeira possui uma válvula de 2" de diâmetro interno.

Figura 5 – Vazão da caldeira

Válvulas Modelo VS-50 / VS-100

Pressão Manométrica (kgf/cm ²)	Vazão de Vapor (kg/h)					
	½"	¾"	1"	1¼"	1½"	2"
1,0	36	130	136	287	382	782
2,0	55	197	206	434	577	1.181
3,0	75	265	276	585	777	1.591
4,0	93	332	348	733	973	1.992
5,0	112	400	420	884	1.199	2.403
6,0	131	467	490	1.031	1.370	2.803
7,0	150	534	560	1.178	1.565	3.181
8,0	170	602	631	1.329	1.766	3.614
9,0	188	670	701	1.476	1.961	4.014
10,0	207	738	773	1.627	2.162	4.425
11,0	226	805	843	1.775	2.358	4.824
12,0	245	872	913	1.922	2.554	5.226

Fonte: Manual da caldeira.

Para a determinação das características dimensionais da tubulação, foram realizadas medições com o auxílio de uma trena capacidade de 25 metros, sendo que o comprimento considerado foi o da saída da caldeira até o ponto de utilização do vapor, na máquina peletizadora de ração localizado na fábrica, e para o diâmetro da tubulação um paquímetro foi utilizado na medição de sobras de tubos remanescentes da instalação da tubulação, estes que estavam armazenados na empresa. Com as dimensões e características da tubulação, como curvas e direções que ela adota, foi elaborado um layout da tubulação, com a auxílio da ferramenta de desenho AutoCad 2014. Na Figura 6, são apresentados os diâmetros internos dos tubos e o comprimento de cada seção da tubulação, após termos o layout da tubulação foi iniciada a etapa dos cálculos da perda de carga na tubulação.

Após a coleta de todas as informações necessárias, foi encontrada a velocidade que o vapor está assumindo na tubulação disposto na Equação 1, obtida a velocidade do vapor na tubulação, também necessitou-se do número de Reynolds obtido através da Equação 2.

$$Q = \rho \cdot A \cdot v \quad (\text{eq. 1})$$

ρ = Densidade do fluido (kg/m³)

A = Área interna do tubo (m)

v = Velocidade do fluido (m/s)

Com base na velocidade do vapor e no número de Reynolds foi realizado o cálculo da perda de carga que está ocorrendo na tubulação.

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (\text{eq. 2})$$

Re = Número de Reynolds

D = Diâmetro interno do tubo (m)

ν = Viscosidade cinemática do vapor (m²/s)

O cálculo teve de ser desenvolvido em duas etapas, as perdas de cargas distribuídas (h_f) Equação 3, que são as que ocorrem nos trechos retos da tubulação, e as perdas de carga singulares (h_s) Equação 4, que são perdas que ocorrem em singularidades como curvas, registros, válvulas, etc.

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2} \quad (\text{eq. 3})$$

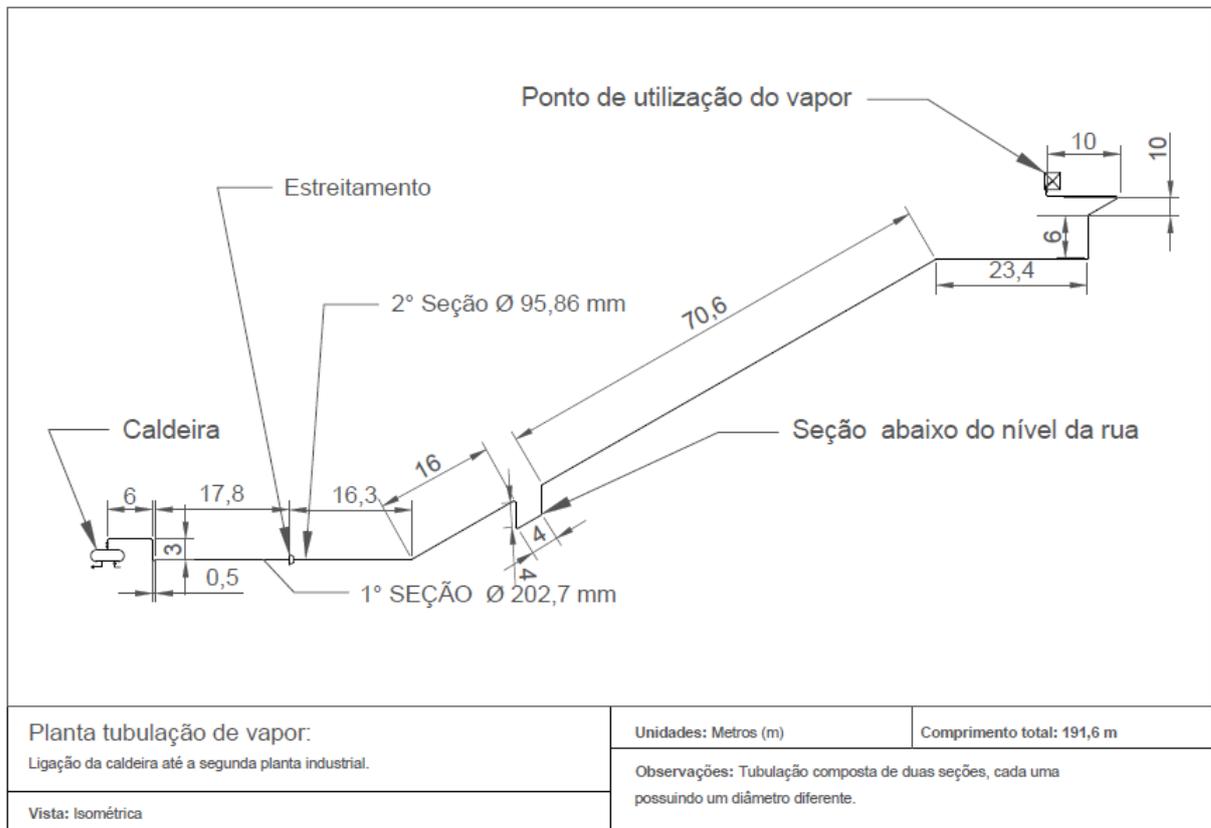
h_f = Perda de carga distribuída (Pa)

f = Fator de atrito

$\sum L$ = Somatório dos trechos retos da tubulação (m)

$$h_s = k_s \cdot \frac{\rho v^2}{2} \quad (\text{eq. 4})$$

Figura 6 – Layout da tubulação



Depois de calculada a perda de carga que está ocorrendo na tubulação, levando em conta as suas condições normais de operação, foi identificada uma perda de carga de $5,01 \text{ kgf/cm}^2$, devido a grande velocidade do vapor no interior da tubulação. Constada a causa das perdas, a solução foi recalculá-la a tubulação partindo da velocidade que o vapor deverá fluir pelos tubos, com a velocidade de escoamento do vapor definida, obteve-se o diâmetro que deverá ser adotado na tubulação. Definidas estas duas variáveis as perdas de carga distribuída (h_f) e singular (h_s), foram recalculadas e assim, podemos visualizar o grande ganho de rendimento que a tubulação redimensionada irá apresentar.

Como o isolamento térmico das tubulações usualmente não é calculado e sim tabelado, para a escolha do tipo de material foi utilizado o Quadro 4, que apresenta os tipos de isolantes térmicos e suas aplicações recomendadas, com base nisso o isolante adotado foi a lã de vidro.

Quadro 4 – Escolha do tipo de isolamento térmico.

	Equipamentos ou tubulações						
	Tanques		Tubulações		Torres, vasos e permutadores de calor e reatores de coque	Equipamentos rotativos e acessórios de tubulação	Caldeiras
	Teto	Costado	Aéreas	Enterradas			
Lã de vidro, lã de rocha e lã cerâmica em manta		X			X	X	X
Lã cerâmica em módulos	X	X			X		X
Silicato de cálcio, perlita expandida, peças de fibra cerâmica moldada a vacuo	X	X	X	X	X (ver Nota)	X	X
Lã de vidro em feltro de lamelas			X	X	X		
Espuma rígida de poliuretano	X	X	X	X			
Lã de vidro, lã de rocha e lã cerâmica em painel		X			X		X
Sílica diatomácea	X	X	X	X	X (ver Nota)	X	X
Lã de vidro, lã de rocha e lã cerâmica em tubo			X	X			
Lã de vidro, lã de rocha e lã cerâmica em flocos embalados em sacos térmicos ou não						X	
NOTA Não aplicável para reatores de coque.							

Fonte : Petrobras,2008,p.8.

O diâmetro foi definido pelo fabricante de isolamentos térmicos, **Isar Isolamentos Térmicos e Acústicos Ltda**, para o qual foi solicitado um orçamento que apresente o custo que o isolamento térmico aplicado em toda a tubulação terá para empresa, orçamento este que será utilizado para a análise de viabilidade de substituição da tubulação existente, por outra corretamente dimensionada, no anexo A está disponibilizado orçamento realizado.

Para a definição dos pontos de instalação dos coletores de condensado e purgadores Telles (1987), determina que os purgadores devam ser instalados em, todos os pontos baixos e todos os pontos de aumento de elevação, os purgadores devem ser instalados na elevação mais baixa. E ainda é recomendada a instalação

de purgadores à entrada de qualquer máquina a vapor, para evitar a penetração de condensado na máquina. Já para se estimar a quantidade de condensado produzido pelo sistema foi consultada o Quadro 5, que apresenta a quantidade de condensado formado a durante o aquecimento do sistema, quando a caldeira entra em funcionamento novamente após um período parada, e o Quadro 6 nos dá a formação de condensado durante o período de operação da caldeira, ou seja, em condições normais de funcionamento.

Quadro 5 – Condensado formado a cada 30m durante o aquecimento inicial (Kg/h)

Pressão kg/cm ²	Diâmetro												
	2"	2 1/2"	3"	4"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"
0.0	2.8	4.3	5.7	8.1	14.2	21.4	30.4	40	48	63	79	92	129
0.7	3.3	5.3	6.9	9.8	17.3	25.9	37.1	49	58	75	95	112	156
1.4	3.7	6.0	7.8	11.1	19.6	29.5	41.5	55	65	85	108	127	177
2.8	4.4	7.1	9.2	13.1	23.0	34.8	49.1	65	77	100	127	149	208
4.2	4.9	7.8	10.2	14.6	25.6	38.4	54.5	72	86	112	141	166	231
7.0	5.7	9.1	11.9	16.9	29.7	44.6	63.4	84	99	130	163	192	268
8.5	6.1	9.7	12.7	18.0	31.7	47.8	67.9	90	106	138	175	206	287
10.5	6.5	10.3	13.4	19.1	33.6	50.4	71.4	95	112	146	185	217	303
12.0	6.8	10.8	14.2	20.1	35.4	53.1	75.4	100	118	155	195	229	320
14.0	7.1	11.3	14.8	21.0	37.0	55.8	79.0	105	124	162	204	240	334
17.5	7.1	12.2	16.0	22.7	39.9	59.8	85.3	113	134	174	220	259	360
21.0	11.2	17.1	22.9	33.4	63.7	96.9	143.7	198	237	305	381	467	528

Fonte: Sarco,2005,p.32.

Quadro 6 – Condensado formado a cada 30m durante o processo (Kg/h)

Pressão kg/cm ²	Diâmetro												
	2"	2 1/2"	3"	4"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"
0.7	2.7	3.1	4.0	4.9	7.2	9	11	13	14	16	17	20	24
2.1	3.6	4.0	4.9	6.3	8.9	12	14	17	19	21	22	25	30
4.2	4.5	5.4	6.3	8.0	12.0	15	18	22	24	28	30	33	40
7.0	5.4	6.7	8.0	9.8	14.7	18	23	27	30	34	37	42	50
8.5	5.8	7.2	8.9	10.7	16.1	20	25	30	33	38	40	45	54
12.0	7.1	8.5	10.3	11.6	17.0	24	30	35	38	44	48	53	63
17.5	8.1	9.8	12.1	15.2	22.3	28	34	41	45	52	56	53	75
21.0	8.9	11.2	13.4	16.5	24.1	30	38	45	50	56	62	69	82

Fonte: Sarco,2005,p.33.

Por último foi realizado uma análise da viabilidade econômica da substituição da tubulação existente, pela tubulação com as características definidas através dos cálculos e análises realizadas nas etapas anteriores. Para a análise da viabilidade o primeiro passo realizado foi a contabilização dos custos mensais e anuais com combustíveis e tratamento de água da caldeira, informações obtidas junto ao setor financeiro da empresa, desse valor foi subtraído o percentual de perdas que a tubulação apresenta, assim obteve-se o custo da geração de vapor que está sendo produzido e não está sendo utilizado devido a perda de carga, esse valor foi confrontado com o custo de uma nova tubulação dimensionada para obter o melhor rendimento possível apresentando o mínimo de perdas possíveis, chegando no tempo em que a empresa terá o retorno do investimento aplicado na nova tubulação, o valor de instalação da tubulação contempla apenas o custo com materiais sem a mão de obra.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 PERDAS DE CARGA

A perda de carga calculada na tubulação envolve toda a sua extensão, desde a saída da caldeira até o ponto de utilização do vapor até a fábrica. Para descobrir a perda de carga existente o cálculo é realizado em duas etapas, pois a tubulação possui dois diâmetros ao longo de sua extensão. Na figura 6 pode-se analisar o comprimento de cada seção da tubulação bem como o número de singularidades que cada uma apresenta.

Para darmos início ao cálculo foi preciso descobrir a vazão de vapor que se obtém da caldeira a pressão de trabalho, para isso foi utilizado o Quadro 7 que contém os valores de vazão fornecidos pelo manual da caldeira, que apresenta a pressão e a sua respectiva vazão. Como a pressão de trabalho da caldeira na empresa é de 6,5 Kgf/cm², foi realizada uma interpolação linear para obter a vazão nessa condição de pressão.

Quadro 7 – Valores da vazão de vapor em função da pressão.

Pressão (Kgf/cm ²)	Vazão de vapor (Kg/h)
6,0	2803
6,5	Q (6,5)
7,0	3181

Q = Vazão (Kg/h).

$$Q(6,5) = \left(2992 \frac{Kg}{h}\right) / 60 \quad (\text{eq. 5})$$

Conversão para o (S.I) sistema internacional de unidades.

$$Q(6,5) = 0,831 \text{ Kg/s}$$

Para encontrarmos a velocidade do vapor dentro da tubulação utilizamos a Equação 1. Como a tubulação apresenta uma redução do seu diâmetro existem duas velocidades do fluido, uma para cada seção da tubulação.

Velocidade do vapor na 1ª seção da tubulação, a qual apresenta um diâmetro interno de 0,2027 m, foi de 52,5 m/s é apresentada na Equação 6.

$$0,831 \frac{Kg}{s} = 0,4902 \frac{Kg}{m^3} \cdot \frac{\pi \cdot 0,2027^2 m^2}{4} \cdot v \quad (eq. 6)$$

Para aplicar a fórmula da perda de carga distribuída, ainda devemos encontrar o número de Reynolds (Re), através dos valores utilizados na Equação 7, obtivemos um Reynolds de $3,42 \cdot 10^5$.

$$Re = \frac{52,2 \frac{m}{s} \cdot 0,2027 m}{31,1 \cdot 10^{-6} m^2/s} \quad (eq. 7)$$

Com base no número de Reynolds e sabendo o material da tubulação devemos encontrar o valor de *f* (fator de atrito equivalente), o *f* é encontrado através do diagrama de Moody – Rouse, disposto no anexo B.

$$hf = 0,0165 \cdot \frac{27,3 m}{0,2027 m} \frac{52,5^2 m/s}{2} \quad (eq. 8)$$

Obtida uma perda de carga distribuída na primeira seção de 1051 Pa, Equação 8, foi realizado o cálculo da perda de carga singular na primeira seção da tubulação, demonstrada na Equação 9, para determinação do *ks* (coeficiente de forma) foi utilizado o Anexo C, obtendo assim uma perda carga singular nos cotovelos de 90° de 2404,3 Pa, e no tê de passagem direta Equação 10, foi obtida uma perda de carga de 3040 Pa.

$$h_{s1} = 0,9 \cdot \frac{0,4902 \frac{Kg}{m^3} \cdot 52,5^2 m/s}{2} \cdot 4 \text{ cotovelos} \quad (eq. 9)$$

$$h_{s2} = 4,5 \cdot \frac{0,4902 \frac{Kg}{m^3} \cdot 52,5^2 m/s}{2} \quad (eq. 10)$$

Somando as perdas de cargas singulares (h_s) da primeira seção da tubulação temos um valor de 5444,3 Pa, como a perda de carga total na primeira seção se dá pelo somatório das h_f e h_s , a tubulação apresenta uma perda de carga total na sua primeira seção de 6495,3 Pa.

Para o 2° trecho da tubulação o procedimento de cálculos é o mesmo, apenas deve-se alterar o diâmetro utilizado para os cálculos, para o diâmetro da tubulação que é de 0,09585 mm. Como a vazão é a mesma deve-se encontrar primeiramente a velocidade do fluido, utilizando a Equação 5, obteve-se um escoamento de vapor com a velocidade de 234,9 m/s.

$$0,831 \frac{Kg}{s} = 0,4902 \frac{Kg}{m^3} \cdot \frac{\pi \cdot 0,09586 m^2}{4} \cdot v \quad (eq. 11)$$

O número de Reynolds encontrado na segunda seção da tubulação foi de $7,2 \cdot 10^5$, praticamente o dobro da primeira seção aonde a tubulação apresenta um diâmetro maior.

$$Re = \frac{234,9 \frac{m}{s} \cdot 0,09586 m}{31,1 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \quad (eq. 12)$$

Volta-se ao Anexo c para definirmos o fator de atrito equivalente (f), e aplicamos a Equação 7, descobrindo-se a perda de carga distribuída da 2° seção de 394056 Pa de acordo com a Equação 13.

$$h_f = 0,017 \cdot \frac{164,3 m}{0,09586} \cdot \frac{234,9^2}{2} \quad (eq. 13)$$

Já as singularidades da segunda seção apresentaram uma perda de carga 109545 Pa para os cotovelos de 90° Equação 14, e 10819 Pa para os cotovelos de 45° Equação 15, obteve-se assim uma perda de carga singular na 2° seção de 120364 Pa.

$$h_{s1} = 0,9 \cdot \frac{0,4902 \frac{Kg}{m^3} \cdot 234,9^2 m/s}{2} \cdot 9 \text{ cotovelos} \quad (eq. 14)$$

$$h_{s2} = 0,4 \cdot \frac{0,4902 \frac{Kg}{m^3} \cdot 234,9^2 m/s}{2} \cdot 2 \text{ cotovelos} \quad (eq. 15)$$

Então somando as perdas de carga distribuídas e singulares da 2° seção, encontrou-se um valor de 484420 Pa. A perda de carga em toda a tubulação é o somatório das perdas de cargas na 1° e 2° seções, assim as perdas encontradas ao longo de toda a tubulação foi de 491365,3 Pa.

Devido ao aumento da velocidade do fluido na segunda seção, ocasionado pela redução do diâmetro da tubulação obteve-se uma elevada perda de carga no sistema. Convertendo a perda de carga obtida de Pa para Kgf/cm², a tubulação apresenta uma perda de 5,01 Kgf/cm², conversão observada na Equação 16.

$$H_{pt} = 491365,3 Pa \cdot (1,02 \cdot 10^{-5}) \quad (eq. 16)$$

Como a pressão inicial da caldeira é de 6,5 Kgf/cm², até o vapor percorrer os 191,6 m da tubulação há uma perda de pressão de 5,01 Kgf/cm².

Devido à elevada perda de pressão encontrada através dos cálculos, sendo a velocidade de escoamento do fluido a principal responsável, optou-se por dimensionar a tubulação com um diâmetro único, o qual foi obtido a partir da velocidade ideal de escoamento que o vapor deve apresentar, que segundo Telles (1987) a velocidade recomendada para vapor superaquecido deve ser de 35 a 50 m/s. Como há a possibilidade de utilização de toda a capacidade da caldeira 10 Kgf/cm², a vazão utilizada para o dimensionamento foi a de 4425 Kg/h ou 1,23 Kg/s.

Para a obtenção do diâmetro ideal utilizou-se a Equação 17, aonde obteve-se um diâmetro de tubo de 0,253 m.

$$1,23 \frac{Kg}{s} = 0,4902 \frac{Kg}{m^3} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 50 \frac{m}{s} \quad (eq. 17)$$

Consultando o Anexo D, o tubo comercial com o diâmetro mais próximo do obtido através do cálculo é de 10" ou 0,263 m de diâmetro interno, o que irá mudar a velocidade de escoamento do fluido para 46,2 m/s, obtida através da Equação 18.

$$1,23 \frac{Kg}{s} = 0,4902 \frac{Kg}{m^3} \cdot \frac{\pi \cdot 0,263^2 m}{4} \cdot v \quad (eq. 18)$$

Com a velocidade de escoamento do fluido e o diâmetro da tubulação definidos, foi calculado o Re para a nova tubulação, que é $3,90 \cdot 10^5$ Equação 19.

$$Re = \frac{46,2 \frac{m}{s} \cdot 0,263 m}{31,1 \cdot 10^{-6} m^2/s} \quad (eq. 19)$$

A perda de carga distribuída para a tubulação dimensionada foi de 6098 Pa Equação 20, as perdas de carga singulares nos cotovelos de 45° apresentaram um valor de 418,5 Pa Equação 21, já nos cotovelos de 90° obteve-se uma perda de carga de 6120,9 Pa Equação 22.

$$hf = 0,016 \cdot \frac{191,6 m}{0,263} \cdot \frac{0,4902 \cdot 46,2^2}{2} \quad (eq. 20)$$

$$hs_{45^\circ} = 0,4 \cdot \frac{0,4902 \frac{Kg}{m^3} \cdot 46,2^2 m/s}{2} \cdot 2 \text{ cotovelos} \quad (eq. 21)$$

$$hs_{90^\circ} = 0,9 \cdot \frac{0,4902 \frac{Kg}{m^3} \cdot 46,2^2 m/s}{2} \cdot 13 \text{ cotovelos} \quad (eq. 22)$$

Somando as perdas de carga singulares chegou-se a um valor de 6539,4 Pa, a perda de carga total na tubulação dimensionada que é o somatório das perdas de carga distribuídas e singulares foi de 12219 Pa. Convertendo de Pa para Kgf/cm² chegou-se a um valor de 0,125 Kgf/cm² pela Equação 23.

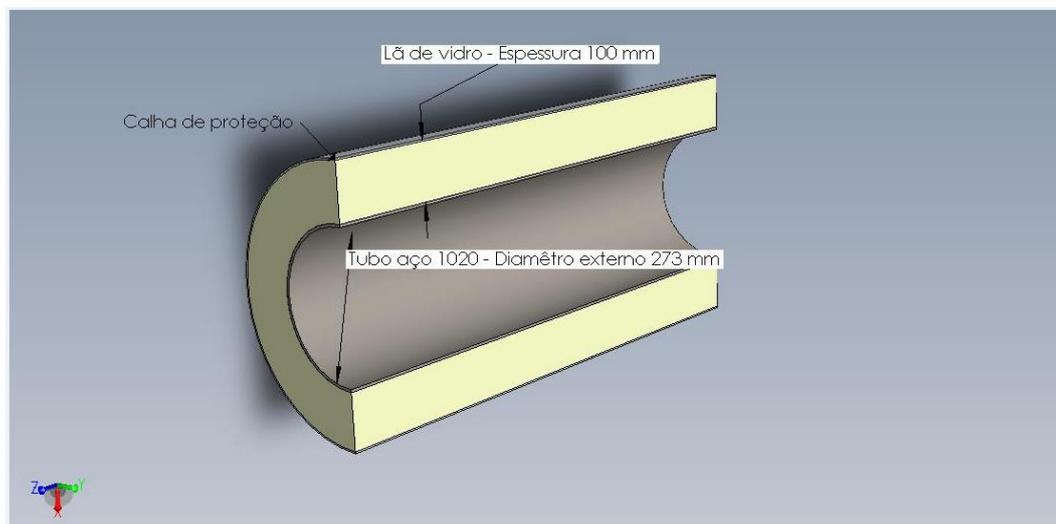
$$H_{pt} = 12219 \text{ Pa} \cdot (1,02 \cdot 10^{-5}) \quad (\text{eq. 23})$$

Com a nova tubulação com diâmetro de 0,263 m o rendimento da tubulação será de aproximadamente 98 %, pois na saída da caldeira teremos uma pressão de 10 Kgf/cm² e no final da tubulação o vapor irá chegar a uma pressão de 9,87Kgf/cm². Sarco (2005) recomenda uma perda de carga recomendável de 0,08 kgf/cm² a cada 100m de tubulação. Como neste caso a tubulação apresenta 191,6 metros, o dimensionamento ficou muito próximo do recomendável, sendo aceitável.

4.2 ISOLAMENTO TÉRMICO

Ao solicitar o orçamento do isolamento da tubulação, a empresa fornecedora definiu que a tubulação deverá ter um isolamento de lã de vidro com uma espessura de 100 mm, na Figura 7 é apresentado um esboço da tubulação seccionado na longitudinal, aonde é visualizado o tubo de aço 1020 envolvido por uma camada de lã de vidro, a lã de vidro é protegida por uma chapa de aço galvanizado.

Figura 7 – Isolamento aplicado à tubulação.



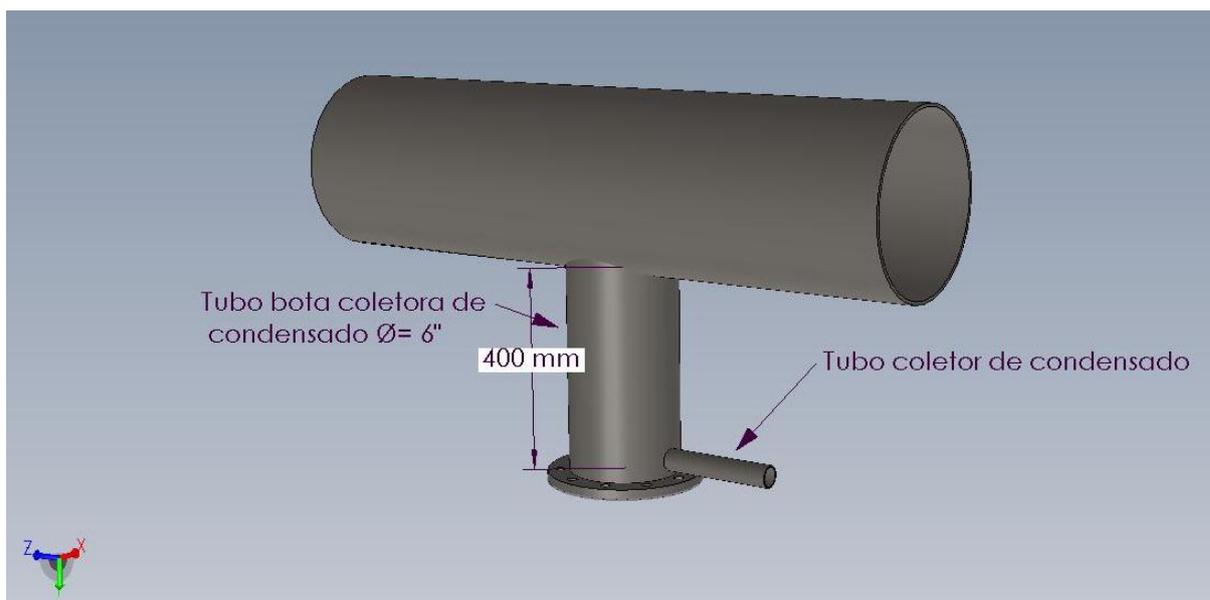
Assim a tubulação terá um isolamento térmico que proporcionará proteção pessoal, evitando riscos de queimaduras às pessoas que irão circular ao entorno da tubulação, e garantir que perda de calor do vapor seja as mínimas possíveis, levando-se em conta o fator econômico de instalação do isolamento.

4.3 COLETORES DE CONDENSADO

Os coletores de condensado foram dimensionados com um diâmetro de 6" (152,4 mm) e um comprimento de 400 mm, de acordo com o que recomenda Sarco (2005), que para um tubo de diâmetro igual a 10" a bota coletora deve ser de 6" e no mínimo 250 mm de comprimento. O tubo coletor do condensado possui 1/2" de diâmetro e a ele será conectado o purgador de vapor que será responsável pelo retorno do condensado. A Figura 8 apresenta o coletor de condensado, com o tubo que será ligado ao purgador.

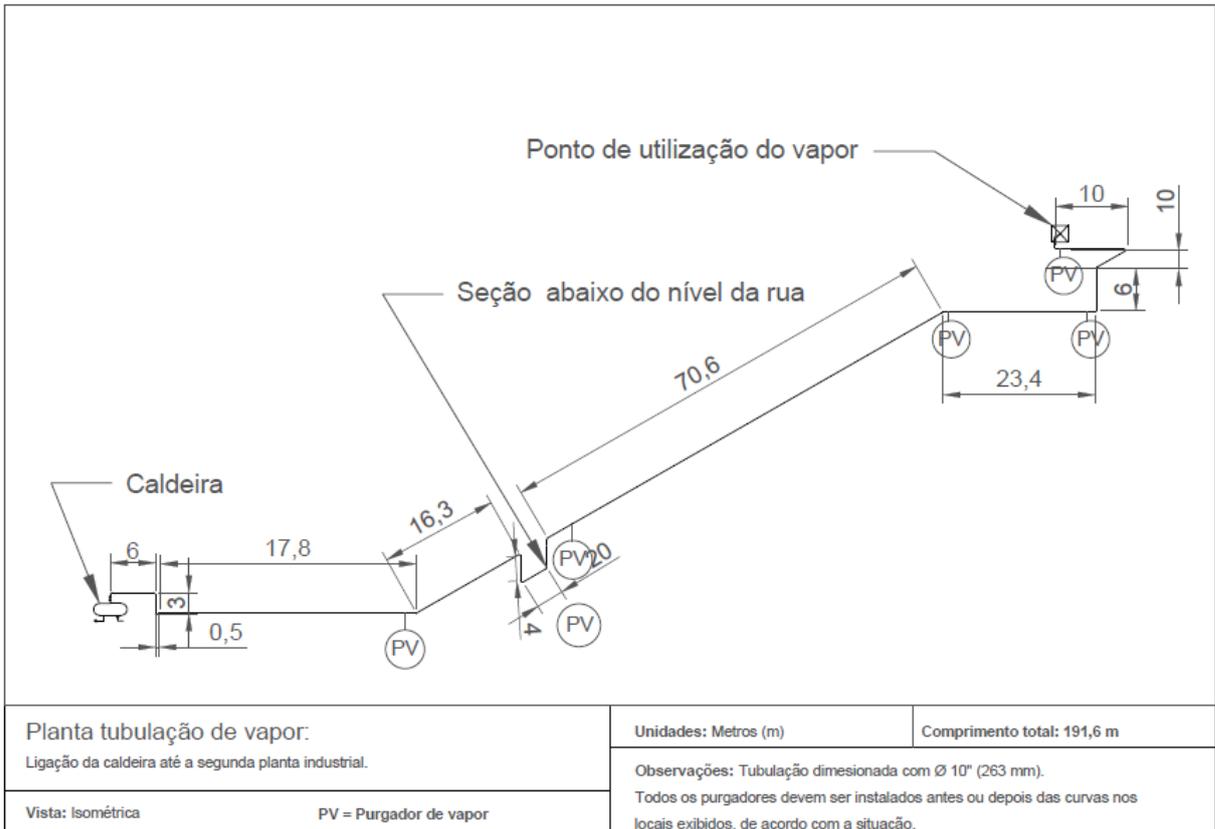
Os coletores de condensado estão localizados como mostrar a Figura 9, nos pontos aonde a tubulação apresenta mudanças bruscas de direção, pontos baixos do sistema, anteriores a elevações de cotas e imediatamente antes de máquinas que irão utilizar o vapor.

Figura 8 – Coletor de condensado.



Para a escolha do tipo de purgador a ser adotado na tubulação, foi utilizado o Quadro 5 para a formação de condensado formado no aquecimento inicial do sistema e Quadro 6 para o condensado formado durante o funcionamento normal do sistema caldeira - tubulação.

Figura 9 – Planta da tubulação com a localização dos coletores.



Como a maior formação de condensado será no aquecimento inicial da tubulação, esse foi valor de condensado utilizado para definição dos purgadores, como o Quadro 5 não considera a pressão de 10 Kgf/cm², foi necessário a utilização da interpolação linear dos valores para a obtenção da quantidade de condensado formada, obtendo uma quantidade de 70,5 Kg/h de condensado formado na nova tubulação.

Quadro 8 – Valores para interpolação da quantidade de condensado

X0 = 8,5 Kgf/cm ²	X = 10 Kgf/cm ²	X1 = 10,5 Kgf/cm ²
Y0 = 67,9 Kg/h	C = ?	Y1 = 71,4 Kg/h

Com a quantidade de condensado que será formado na tubulação definida em 70,5 Kg/h, foi escolhido o tipo de purgador com base no ANEXO E, sendo o modelo melhor UIBL 30/60 o que melhor atenderá as necessidades do sistema.

4.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE DA NOVA TUBULAÇÃO

A análise da viabilidade econômica de implantação de uma nova tubulação baseou-se nos gastos mensais médios e aproximados que a empresa tem com água, lenha e aditivos para a água da caldeira, estes foram confrontados com o rendimento que a tubulação apresenta atualmente, ou seja, a quantidade de recursos que estão sendo perdidas devido à falta de dimensionamento da tubulação. Estipulado valor das perdas em Reais, foi comparado com o custo de trocar a tubulação por uma corretamente dimensionada para a sua função, e em quanto tempo a empresa irá ter o retorno do investimento.

O Quadro 9, apresenta os gastos aproximados que a empresa tem atualmente com a geração de vapor, os valores são para os padrões de funcionamento atual, com a caldeira operando a uma pressão de 6,5 Kgf/cm² e vazão de vapor de 0,831 Kg/s.

Quadro 9 – Gastos médios mensais da caldeira

	Custo mensal (R\$)
Combustível (Lenha)	20.000,00
Água	1.700,00
Tratamento de água	4.500,00
Custo total	26.200,00

Como a tubulação apresenta um rendimento baixíssimo de apenas 23 %, a empresa está perdendo R\$ 20.174,00 mensais com a distribuição do vapor da caldeira até a fábrica. Os valores de instalação da nova tubulação dispostos no Quadro 10 levam em conta apenas os tubos e o isolamento térmico da tubulação, que são os componentes que compõem os maiores gastos, para o custo de outros eventuais acessórios e mão-de-obra de instalação foi estipulado uma taxa de 40 % do valor total dos tubos e isolamento térmico.

Quadro 10 – Custo aproximado da nova tubulação

	Custo mensal (R\$)
Tubos aço 1020	55.364,8
Isolamento térmico	27.538,77
Custo total	82.903,57
Taxa 40%	33.224,4
Custo total	116.127,9

O custo dos tubos foi calculado através da massa por metro de tubo, já que as tentativas de obtenção de um orçamento foram frustradas, no Anexo D temos que a massa linear do tubo utilizado é de 60,2 Kg/m e a tubulação terá 191,6 m, então será necessário 11.534,32 Kg de tubos de aço 1020, como o valor de mercado é de R\$ 4,80 por Kg, o custo dos tubos para toda a tubulação será de aproximadamente R\$ 55.364,8. Como a nova tubulação teoricamente possui um rendimento de aproximadamente 98%, teremos apenas 2% de perdas da pressão inicial de vapor até chegarmos à fábrica, assim, utilizando R\$ 26.200,00 em insumos na caldeira a empresa terá uma perda de apenas R\$ 524,00 mensais com a nova tubulação. O Quadro 11 apresenta o tempo necessário para a empresa ter o retorno do investimento com a nova tubulação.

Quadro 11 – Tempo aproximado para o retorno do investimento

Custo de operação atual	R\$ 26.200,00
Custo Tubulação nova	R\$ 116.127,9
Retorno do investimento	4,5 meses (aprox.)

Na Figura 10, pode-se melhor visualizar a diferença em termos de rendimento e conseqüentemente custos de operação que a tubulação que foi corretamente dimensionada apresentará em comparação com a tubulação existente na empresa.

Figura 10 – Comparativo: Tubulação atual x tubulação dimensionada



5. CONCLUSÕES

Ao término deste trabalho, foram dimensionados a tubulação de vapor e seus componentes, o que se comprovou através dos cálculos, os quais apresentam a diferença entre a eficiência atual da tubulação e a tubulação dimensionada corretamente. O dimensionamento correto mostrou uma eficiência acima de 98%, enquanto a tubulação atual opera com uma eficiência de apenas 22%. Analisando todos os métodos e etapas para o dimensionamento, tendo como objetivo verificar a situação atual da caldeira e propor melhorias evitando o desperdício de combustível e água.

Ao fazer uma análise da metodologia implementada, observou-se que a coleta de dados necessária para o dimensionamento foi determinante para que os objetivos fossem alcançados da melhor maneira possível. Todo o dimensionamento seguiu normas baseadas em literaturas e catálogos de empresas especializadas no ramo de tubulação de vapor.

Ao analisar os resultados obtidos, pode-se afirmar:

- A tubulação atualmente instalada, mesmo com a caldeira usando 65% de sua capacidade, apresenta uma perda de carga 5,01 Kgf/cm² o que tem influência direta na produtividade da empresa.

- O novo dimensionamento seguiu as recomendações de manuais específicos para este tipo de aplicação. Partindo do principal componente determinante para a redução na perda de carga que é a velocidade de escoamento do fluido, aplicou-se um diâmetro correspondente ao necessário para reduzir a perda de carga na tubulação.

- O isolamento térmico recomendado para este tipo de situação foi escolhido baseado em bibliografias e sua dimensão baseada em tabelas de fornecedores especializados. Mesmo a espessura de isolamento tabelada sendo menor do que a recomendada pela empresa Isar Isolamentos Térmicos e Acústicos Ltda, levou-se em consideração a necessidade de conservação de temperatura do vapor em temperaturas baixas e negativas como ocorrem em grande parte do ano no local da tubulação.

- Os coletores de condensado foram aplicados seguindo recomendação de autores em pontos estratégicos a fim de evitar a redução da qualidade do vapor, a queda da temperatura, a perda de carga e danos às paredes internas da tubulação.

- Como o retorno do investimento para a instalação da nova tubulação é de aproximadamente 5 meses, este se torna perfeitamente viável para a empresa, visando a redução dos custos de produção, menor consumo de lenha e água, o que acarretará em um menor impacto ambiental e principalmente garantirá a qualidade do vapor utilizado nos processos produtivos.

Por fim, este dimensionamento foi validado através de cálculos de perda de carga o que possibilitou a recomendação da tubulação adequada ao uso que exerce atualmente. A tubulação dimensionada seguindo as recomendações encontradas em bibliografias proporcionou a solução do problema uma vez que o diâmetro calculado para a tubulação reduz a perda de carga e proporciona uma eficiência de 98% no transporte de vapor. Esse aumento na eficiência possibilita a utilização do vapor em maior quantidade, podendo ser utilizado em outros processos dentro da empresa além de evitar o consumo desnecessário de combustível e matéria-prima.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN STANDARD/AMERICAN SOCIETY of MECHANICAL ENGINEERS. ANSI / ASME B36.10M: **WELDED AND SEAMLESS WROUGHT STEEL PIPE**. Estados Unidos da América, 1985.

ASSUNÇÃO, Kleber Monteiro; RIBEIRO, Márcia Mendes. **Inspeção de caldeiras**. São Paulo: Escola Politécnica – USP, 2008.

AVILES, Flávio Patrício; MIRANDA, Marcos Duarte. **Projeto Termohidráulico de Trocadores de Calor**. São Paulo: Escola Politécnica – USP, 2008.

BAZZO, Edson. **Geração de Vapor**. 2. ed. Florianópolis: UFSC, 1995.

BIZZO, Waldir A. **Geração, Distribuição e Utilização de Vapor**. Campinas: UNICAMP, 2003.

BRAIN, Marshall. **Como Funcionam os Motores a Vapor**. s.d. Disponível em < <http://ciencia.hsw.uol.com.br/motor-a-vapor2.htm> >. Acesso em 02 de abril de 2013.

Brunetti, Franco, **Mecânica dos Fluidos**. 2. ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2008.

CHIARANTANO, Cláudio; SANTANA, Fernanda de Fátima. **Economizadores e Superaquecedores de Caldeiras**. São Paulo: Escola Politécnica – USP, 2008

DAUMICHEN, Ricardo V. H. **Curso Sobre Distribuição de Vapor**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo, 1975.

FERREIRA, Paulo M. M. et. al. **Coletânea de Manuais Técnicos de Bombeiros : Emergências em Vasos Pressurizados**. 2006.

LEITE, Nilson Ribero; MILITÃO, Renato de Abreu. **Tipos e Aplicações de Caldeiras**. PROMINP, 2008.

MAKARENKO, Boris. **Curso Sobre Distribuição de Vapor**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo, 1975.

MARTINELLI, Luiz Carlos Jr. **Geradores de Vapor**. Panambi: Unijuí, s.d.

MELLO, Anderson X. de Paiva; SILVA, Andriago Demetrio da. **Normas Técnicas Aplicáveis a Caldeiras**. São Paulo: USP, 2008.

NOGUEIRA, Luis Augusto Horta. **Eficiência Energética no Uso de Vapor**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

NOVAES, Regina C. Roland. **Operação de Caldeiras**. São Paulo: SENAI-SP, 1999.

PAGY, Antonio. **Curso Sobre Distribuição de Vapor**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo, 1975.

PETROBRÁS. **Projeto de Isolamento Térmico a Alta Temperatura: N-550**. 2008

PINHEIRO, Paulo Cesar C. **Caldeiras**. Minas Gerais: UFMG, 2012. Disponível em < <http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/eng033b/Apresentacoes/7-Caldeira.pdf> >. Acesso em 02 de abril de 2013.

SARCO, Spirax. **Curso de Projetos de Sistema de Vapor**. 2005

SEBASTIÃO, Carlos Roberto. **Caldeiraria – Tubulação Industrial**. Programa de Certificação de Pessoal de Caldeira. SENAI, 1997.

SILVEIRA, Alexandre P. B. de; ROSEMBERG, Mauro S. **Normas Técnicas de Trocadores de Calor**. PRONIMP, 2008.

TELLES, P. **Tubulações Industriais: Materiais, projeto e desenho**. 7. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1987.

ZATTONI, Célio Carlos. **Materiais para Tubulação**. São Paulo: FATEC-SP, 2008.

ANEXO A – ORÇAMENTO ISOLAMENTO TÉRMICO



Orçamento - 5725

Pag: 1

ISAR ISOLAMENTOS TERMICOS E ACUSTICOS LTDA

25/10/2013 16:17:20

Cliente 8510 C. TEC. FREDERICO JORGE L
 INSTITUIÇÃO SINODAL DE ASSISTENCIA EDUCAÇÃO E CULT
 RUA BURICA, 725
 CENTRO HORIZONTINA 98920-000 RS
CNPJ 96.746.441/0016-92
Inscrição ISENT0
Telefone (55) 3537-7750

Contato (Email) RAFAEL MATTIONI (rm000740@fahor.com.br)

Cond. Pagamento 28 DDL **Desconto %** 0,00

Data de Emissão 25/10/2013 **Data de Entrega** 01/11/2013 **Desconto R\$** 0,00

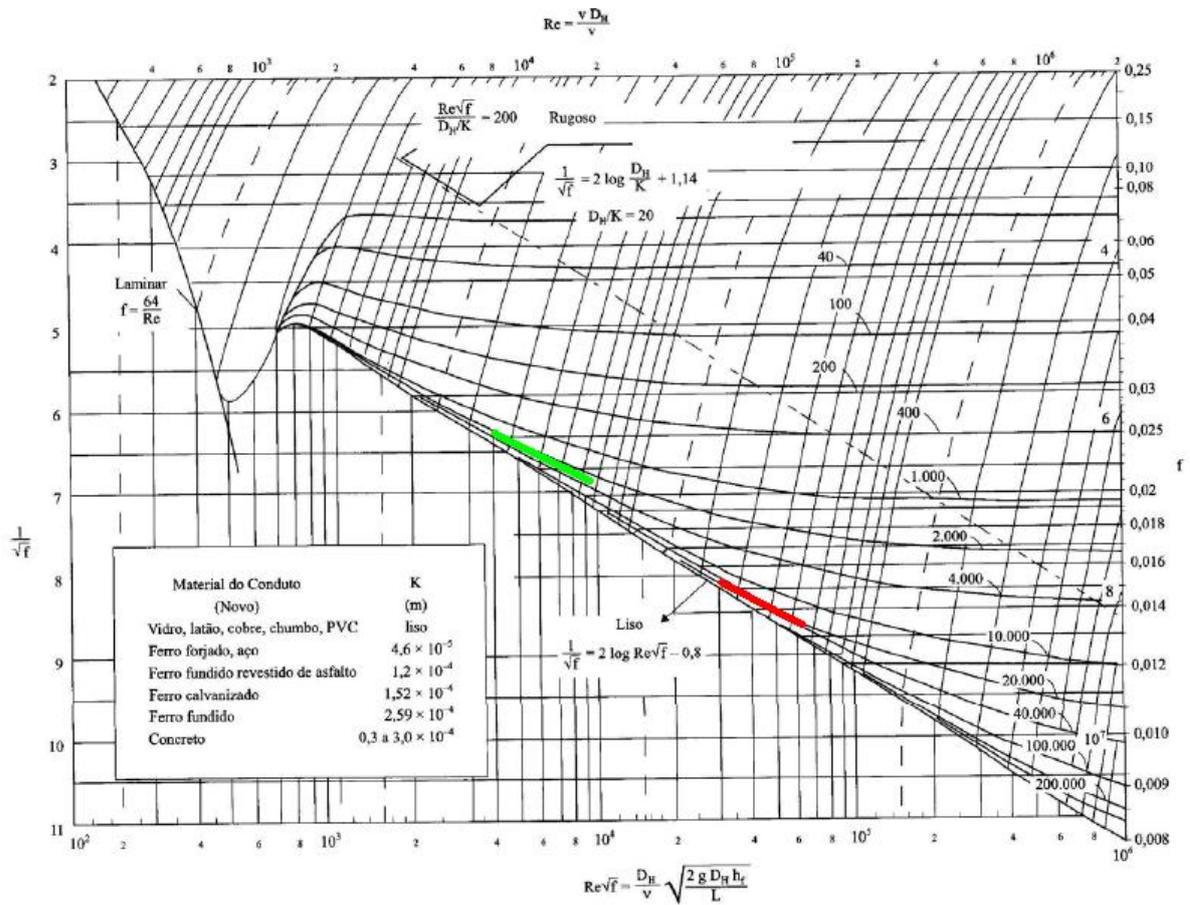
Transportadora CLIENTE RETIRA

Observação PARA TEMPERATURA INFORMADA, UTILIZAR ESPESSURA DE 100mm.
 PARA CURVA E JOELHO T, HÁ NECESSIDA DE 13M DE TUBULAÇÃO.

Material	Descrição	UN	CST	Quantidade	Preço	Total Icms	Ipi	Valor Ipi
00132	CALHA LA VIDRO DN 10 X 100MM	M	0.00	200,000	129,290	25.858,00	18	0,00
00132	CALHA LA VIDRO DN 10 X 100MM	M	0.00	13,000	129,290	1.680,77	18	0,00
Base de Calculo do ICMS				27.538,77	Valor do ISS			0,00
Valor do ICMS				4.956,98	Valor do ISS Retido			0,00
Base de Calculo do ICMS-ST				0,00	Valor do IR Retido			0,00
Valor do ICMS-ST				0,00	Valor do INSS			0,00
Base de Calculo do IPI				0,00	Valor da Lei 10.833			0,00
Valor do IPI				0,00	Total da Fatura			27.538,77
					Total da Nota Fiscal			27.538,77

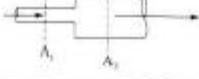
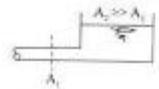
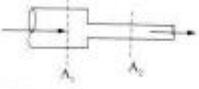
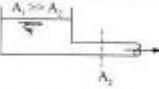
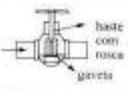
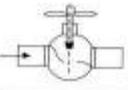
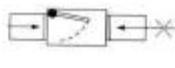
Fonte: Isar, 2013.

ANEXO B – DIAGRAMA DE MOODY – ROUSE PARA O FATOR DE ATRITO



Fonte: Brunetti, 2008, p.177.

ANEXO C – QUADRO COEFICIENTES DE FORMA

Singularidade	Esquema	k_s
Alargamento		$(1 - A_1/A_2)$ (no caso, $v = v_1$)
Caso limite		1
Estreitamento		$\phi (A_1/A_2)$
Caso limite		0,5
Cotovelo a 90°		0,9
Válvula de gaveta		Totalmente aberta 0,2
Válvula tipo globo		Totalmente aberta 10
Válvula de retenção		0,5

Fonte: Brunetti, 2008, p.185.

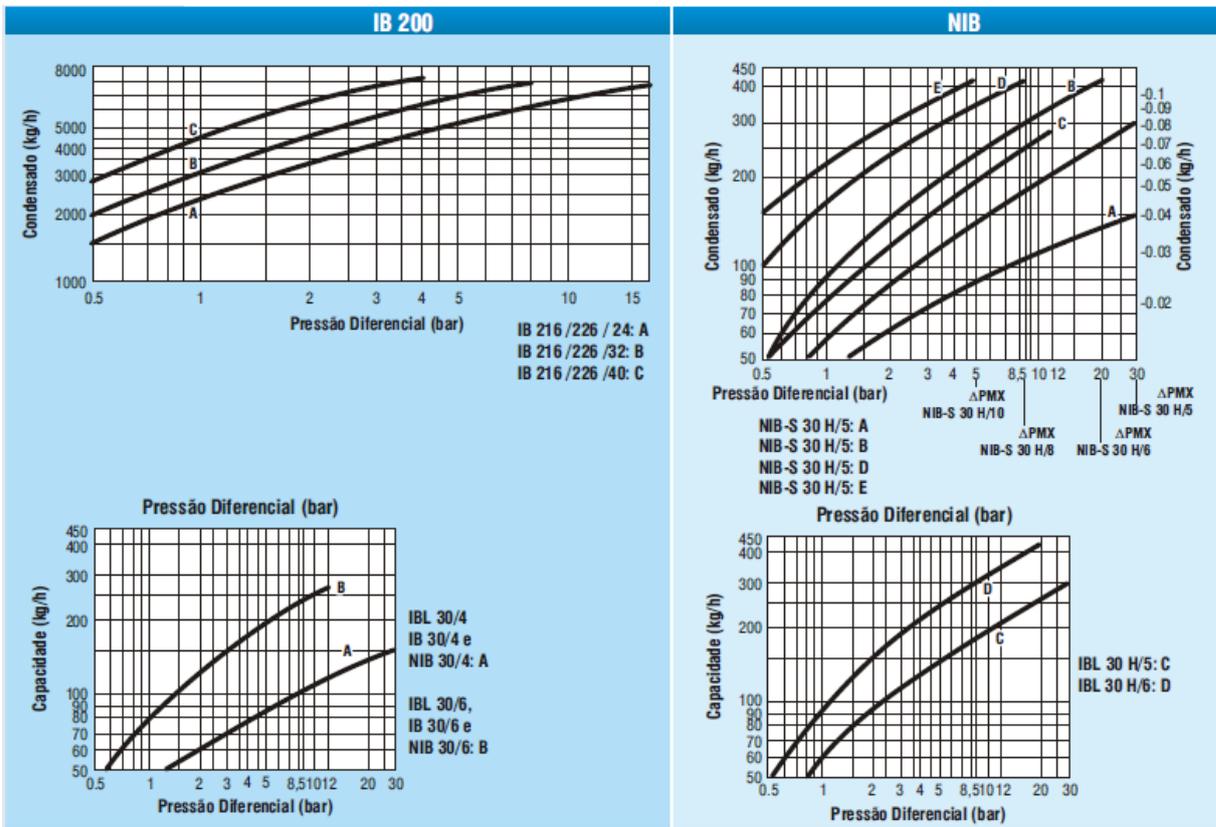
ANEXO D – QUADRO DIÂMETRO TUBOS COMERCIAIS.

ANSI B 36.10

Diâm. nominal D.N. pol. Nominal Pipe Size Inches	Diâmetro externo Outside Diameter		Espessura da parede Wall Thickness		Peso Weight		Identificação Identification		
	pol./Inch.	mm	pol./Inch.	mm	lbs/pé	kg/m	std.	std. x-s, xx-s	sched. n.º
10	10.750	273,0	0.188	4,8	21.15	31,5	5 L 5 LX		
			0.203	5,2	22.88	34,0	5 LX		
			0.219	5,6	24.60	36,6	5 L 5 LX		
			0.250	6,4	28.04	41,7	5 L 5 LX		20
			0.279	7,1	31.20	46,4	5 L 5 LX		
			0.307	7,8	34.24	51,0	5 L 5 LX		30
			0.344	8,7	38.20	56,8	5 L 5 LX		
			0.365	9,3	40.48	60,2	5 L 5 LX	Std.	40
			0.438	11,1	48.19	71,7	5 L 5 LX		
			0.500	12,7	54.74	81,5	5 L 5 LX	X-S	60
			0.594	15,1	64.40	95,8			80
			0.719	18,3	77.00	115			100
			0.844	21,4	89.27	133			120
			1.000	25,4	104.13	155		XX-S	140
1.125	28,6	115.66	172			160			
12	12.750	323,8	0.203	5,2	27.22	40,5	5 LX		
			0.219	5,6	29.28	43,6	5 L 5 LX		
			0.250	6,4	33.38	49,7	5 L 5 LX		20
			0.281	7,1	37.45	55,7	5 L 5 LX		
			0.312	7,9	41.51	61,8	5 L 5 LX		
			0.330	8,4	43.77	65,1	5 L 5 LX		30
			0.344	8,7	45.56	67,8	5 L 5 LX		
			0.375	9,5	49.56	73,8	5 L 5 LX	Std.	
			0.406	10,3	53.56	79,7	5 LX		40
			0.438	11,1	57.53	85,6	5 L 5 LX		
			0.500	12,7	65.42	97,4	5 L 5 LX	X-S	
			0.562	14,3	73.22	109			60
			0.688	17,5	88.57	132			80
			0.844	21,4	107.29	160			100
1.000	25,4	125.49	187		XX-S	120			
1.125	28,6	139.68	208			140			
1.312	33,3	160.33	239			160			
14	14.000	355,6	0.210	5,3	30.93	46,0	5 LX		
			0.219	5,6	32.20	47,9	5 LX		
			0.250	6,4	36.71	54,6	5 L 5 LX		
			0.281	7,1	41.21	61,3	5 L 5 LX		
			0.312	7,9	45.68	68,0	5 L 5 LX		
			0.344	8,7	50.14	74,6	5 L 5 LX		
			0.375	9,5	54.57	81,2	5 L 5 LX	Std.	30
			0.438	11,1	63.37	94,3	5 L 5 LX		40
			0.469	11,9	67.78	101	5 LX		
			0.500	12,7	72.09	107	5 L 5 LX	X-S	
			0.594	15,1	85.01	127			60
			0.750	19,0	106.13	158			80
			0.938	23,8	130.79	196			100
			1.094	27,8	150.76	224			120
			1.250	31,8	170.22	253			140
			1.406	35,7	189.15	281			160
2.000	50,8	256.32	381						
2.125	54,0	269.51	401						
2.200	55,9	277.26	413						
2.500	63,5	307.05	467						

Fonte: ANSI, 1985, p.3.

ANEXO E – CURVAS DE CAPACIDADE PARA DIMENSIONAMENTO DOS PURGADORES IB.



Fonte: Sarco, 2005, p.10.