



UNICESUMAR - UNIVERSIDADE DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**DIMENSIONAMENTO DE REDE HIDRÁULICA PARA ALIMENTAÇÃO DE
CALDEIRA FLAMOTUBULAR**

ARTHUR BARONI RAZENTE

MARINGÁ – PR
2022

ARTHUR BARONI RAZENTE

**DIMENSIONAMENTO DE REDE HIDRÁULICA PARA ALIMENTAÇÃO DE
CALDEIRA FLAMOTUBULAR**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da UNICESUMAR – Universidade de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Me. Fernando Rodrigo Moro.

MARINGÁ – PR

2022

ARTHUR BARONI RAZENTE

**DIMENSIONAMENTO DE REDE HIDRÁULICA PARA ALIMENTAÇÃO DE
CALDEIRA FLAMOTUBULAR**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da UNICESUMAR –
Universidade de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Me Fernando Rodrigo Moro.

Aprovado em: 01 de NOV. de 22.

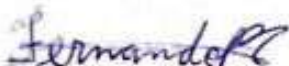
BANCA EXAMINADORA



Me. Fernando Rodrigo Moro – (Me. Unicesumar)



Me. Camila Maria Galo Silva – (Me. Unicesumar)



Me. Fernando Pereira Calderaro – (Me. Unicesumar)

DIMENSIONAMENTO DE REDE HIDRÁULICA PARA ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRA FLAMOTUBULAR

Arthur Baroni Razente

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo o dimensionamento de toda a rede hidráulica do abastecimento de água de uma caldeira flamotubular, com foco em evitar o processo de cavitação em bombas centrífugas utilizadas no processo de alimentação de água. Para isso, foi realizado o dimensionamento de toda a rede hidráulica da caldeira com a finalidade de avaliar a carga positiva de sucção, NPSH (Net Positive Suction Head), disponível pela tubulação. Foram realizadas análises de NPSH em duas condições de instalação da bomba centrífuga, sendo a primeira acima do nível superior do reservatório de água e outra com a instalação abaixo desse nível superior. Dessa forma, o NPSH encontrado dentro dos limites de projeto para funcionamento adequado da bomba foi a posição de instalação abaixo do nível superior do reservatório.

Palavras-chave: Cavitação, bomba centrífuga e Caldeira.

HYDRAULIC NETWORK SIZING FOR FIRE TUBE BOILER FEED

ABSTRACT

This work seeking to design the entire hydraulic network of the water supply of a fire tube boiler, with a focus on avoiding the cavitation process in centrifugal pumps used in the water supply process. For this, the sizing of the entire hydraulic network of the boiler was carried out in order to evaluate the positive suction load, NPSH (Net Positive Suction Head), available through the pipe. NPSH analyzes were carried out in two installation conditions of the centrifugal pump, the first being above the upper level of the water reservoir and the second was installed below this upper level. Thus, the NPSH resulting within the design limits for proper pump operation was the installation position below the upper level of the reservoir.

Keywords: Cavitation; Centrifugal pump; Boiler

1 INTRODUÇÃO

Caldeiras são amplamente aplicadas nas indústrias de transformação em geral. Transformam a água em vapor, que é utilizado em várias fases de um processo produtivo, como o aquecimento em um reator químico, geração de energia elétrica, em secadores de grãos, trocadores de calor entre outras aplicações. Para que as caldeiras atendam a demanda de vapor do processo, tudo o que a compõe deve ser dimensionado corretamente, desde toda a rede hidráulica de alimentação de água até a rede elétrica utilizada para controlar automaticamente a caldeira.

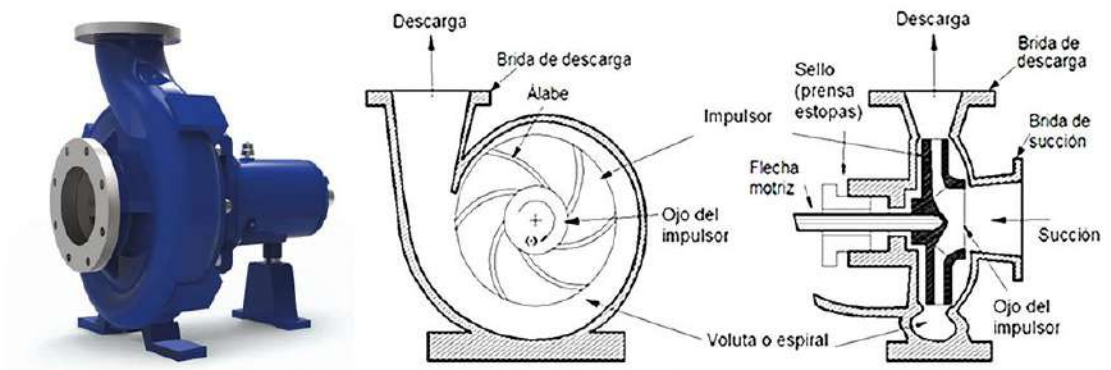
O dimensionamento da rede hidráulica de alimentação da caldeira deve atender alguns requisitos básicos para um bom funcionamento como: superar a pressão de operação da caldeira, atender a vazão necessária para o processo e não sofrer a cavitação, a qual reduz a pressão de trabalho da bomba de alimentação, causando problemas em todo o sistema. (Teles, 2001).

Sistemas de bombeamento são muito utilizados em indústria de todos os setores para o transporte de fluidos e podem estar acoplados a motores ou a turbinas, transformando a energia mecânica gerada pelo trabalho em movimento em energia cinética. (Teles, 2001).

Uma substância no estado líquido ou gasoso é denominada fluido, a qual na presença de uma tensão de cisalhamento de qualquer intensidade deforma-se continuamente onde a tensão é proporcional à taxa de deformação. Logo, ao aplicar uma força de cisalhamento constante em um fluido, ele não para de se deformar e a taxa de deformação tende a um certo valor. (Çengel e Cimbala 2007).

Fox, McDonald e Pritchard (2006), em seu livro *Introdução à Mecânica dos Fluidos*, diz que bombas e compressores consistem em um elemento rotativo (chamado de impulsor ou rotor dependendo do tipo de máquina) acionado por uma fonte de energia externa (por exemplo, um motor ou outra máquina de fluxo) para aumentar a energia cinética do escoamento. Na sequência, um elemento desacelera o fluxo aumentando, assim, sua pressão. Um exemplo de uma bomba e seus componentes pode ser visto na Figura 1.

Figura 01: Esboço de componentes de uma bomba centrífuga.



Fonte: Brasil Bombas (2022).

Como exemplo de máquinas de fluxo, temos as bombas centrífugas que são as mais comuns de serem encontradas, presentes em diversas aplicações nas indústrias e em nosso dia a dia. Porém, o mal dimensionamento deste tipo de bomba e da tubulação pode gerar problemas no equipamento como a presença do efeito da cavitação. De acordo com Micelli Camargo (2018), o escoamento sai de uma pressão muito baixa para uma pressão muito alta em um trecho muito curto, de forma que todas as bolhas de vapor contidas no escoamento implodem gerando micro vibrações e perturbações capazes de remover materiais dos componentes mecânicos próximos.

Este trabalho tem como objetivo geral a realização do dimensionamento de uma rede hidráulica para a alimentação de uma caldeira flamotubular com o intuito de solucionar o problema de cavitação na bomba da caldeira encontrado em uma empresa do ramo de óleos.

O qual apresenta objetivos específicos de:

- Dimensionar a tubulação de entrada da bomba com o intuito de evitar que ocorra o fenômeno da cavitação no sistema de alimentação de água para a caldeira;
- Selecionar a bomba e o diâmetro da tubulação ideal para o sistema;
- Desenvolver o diagrama da tubulação e acessórios de toda a rede hidráulica, desde a captação de água do reservatório até a entrada de água da caldeira.

1.1 PROBLEMÁTICA

Este trabalho de conclusão de curso busca solucionar o problema de cavitação de uma rede hidráulica de alimentação de uma caldeira flamotubular, dimensionando a rede para cessar o problema que gera danos severos no sistema de bombeamento.

Quadro 02: Dados coletados em campo.

VARIÁVEIS	VALORES
\dot{Q}	3,5 m ³ /h
P _{trab}	7 kgf/cm ²
γ água (40°C)	992,18 kgf/m ³
ρ água (40°C)	992,2 kg/m ³
μ água (40°C)	0,0006531 Pa.s
P atmosférica	10370,5 kgf/m ²
P _{vap} água (40°C)	1339,25 kgf/m ²
Tubos galv. $\frac{\epsilon}{d}$	0,0015
V sucção	1 m/s

Fonte: O autor (2022).

Para o sistema de sucção da motobomba de água para alimentação da caldeira temos que iniciar pelo cálculo do diâmetro da tubulação, utilizando a equação 3, que nos dá o resultado de qual deve ser o diâmetro de referência da tubulação a ser utilizado.

Com o valor do diâmetro definido e utilizando uma tubulação de ferro fundido galvanizado schedule 40 temos, pelo quadro proposto pela norma ABNT NBR 5590 10/2015, os valores de diâmetro inicial e diâmetro interno a serem utilizados nos cálculos iniciais do dimensionamento.

Quadro 03: Diâmetros para tubos Schedule 40.

Schedule 40 - Norma NBR 5590			
Diâmetro		Espessura mm	Peso teórico kg/m
pol.	mm		
1/2"	21,3	2,77	1,26
3/4"	26,7	2,87	1,68
1"	33,4	3,38	2,5
1.1/4"	42,2	3,56	3,38
1.1/2"	48,3	3,68	4,05

2"	60,3	3,91	5,43
2.1/2"	73	5,16	8,62
3"	88,9	5,49	11,28
3.1/2"	101,6	5,74	13,56
4"	114,3	6,02	16,06
5"	141,3	6,55	21,75
6"	168,3	7,11	28,23
8"	219,1	8,18	42,48
10"	273,05	9,27	60,23
12"	323,84	10,31	79,64

Fonte: ABNT NBR 5590 (10/2015).

O comprimento total equivalente da tubulação do nosso sistema é composto pela soma das perdas de carga equivalente dos componentes do sistema, juntamente com o comprimento linear de toda a tubulação. Os valores da perda de carga equivalente unitária para os diferentes componentes da tubulação se encontram no Anexo A.

Para o cálculo do comprimento total, devemos somar o comprimento equivalente das perdas de carga gerado pelos acessórios da rede com o comprimento linear da tubulação, de acordo com a equação a seguir:

$$L_{total} = L_{eq} + L_{linear} \quad (11)$$

Após o cálculo do comprimento total da tubulação, é definido o tipo de escoamento do fluido, por meio da equação 4, de Reynolds.

Com o resultado para o número de Reynolds, utilizando os dados da tabela 01, tendo o valor obtido, determina-se o tipo de escoamento para o fluido. Com isso, deve-se definir por qual equação será calculado o fator de atrito. Caso seja laminar, utilizar a equação 5 e se for do tipo turbulento, utilizar a equação 6.

Após obtido o valor do fator de atrito, calcula-se as perdas de cargas totais do sistema de sucção utilizando a equação 7, desenvolvida por Darcy- Weisback.

Para descobrir se a bomba irá cavitatar, devemos utilizar a equação de bernoulli, contendo a variável NPSHr, equação de número 10.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para definir a posição de instalação do conjunto motobomba centrífuga, visando a não ocorrência do fenômeno da cavitação, foi realizado dois dimensionamentos para a linha de sucção: um se encontra acima do nível do reservatório e o outro dimensionamento a bomba se encontra abaixo do nível do reservatório.

Para a bomba acima do nível do reservatório, temos os seguintes resultados:

Para iniciar o desenvolvimento do dimensionamento, devemos utilizar a equação 3 para determinar o diâmetro interno da tubulação, onde ao calcular, temos que $d = 0,0352 \text{ m} = 35,2 \text{ mm}$.

Com isso, foi verificado pelo quadro 03, retirado da NBR 5590 para tubos sch 40, que o diâmetro inicial é de 1.1/4" e com diâmetro interno de 35,08 mm.

Ao descobrir o diâmetro inicial da tubulação, por meio do Anexo A, podemos definir a perda de carga gerada por cada acessório presente na linha de sucção. O quadro 04, mostra os acessórios e seus respectivos valores:

Quadro 04: Cálculo das perdas de carga localizadas no sistema de sucção.

2 curvas 90° x 1.1/4"	2 x 0,6 = 1,2 m
1 válvula de retenção horizontal 1.1/4"	1 x 2,7 = 2,7 m
1 válvula globo totalmente aberta 1.1/4"	1 x 11,3 = 11,3 m
SOMA DAS PERDAS DE CARGA	15,2 metros

Fonte: O autor (2022).

Após obter os valores da perda de carga equivalente, é somado o valor do comprimento linear da tubulação, por meio da equação 11, o qual foi obtido um resultado de comprimento total de 62 metros. Este valor será essencial para calcular o fator de atrito utilizando a equação de Darcy- Weisback.

Com isso, é necessário encontrar o tipo de escoamento do fluido. Por meio da equação 4, obteve-se o resultado de que $Re = 53.269,63$ o qual se caracteriza de acordo com a tabela 01 em um escoamento do tipo turbulento.

Para sistemas onde o escoamento é turbulento, o fator de atrito é obtido pela equação 6, denominada de equação de Colebrook. O resultado encontrado para o fator de atrito é $f=0,0217$.

A determinação das perdas de cargas totais é encontrada pela equação 7, que relaciona todos os fatores considerados, geradores de perda de carga. Ao fim do desenvolvimento dessa equação, o resultado encontrado é que $H_t = 1,96$ metros.

A comparação da perda de carga de Darcy- Weisback com a perda de carga por Bernoulli, indica se a bomba irá sofrer cavitação, segundo o método apresentado por Silva Teles (1999). Tendo como base a equação 10, o valor da perda de carga por Bernoulli é $J=0,88$ metros.

Ao finalizar os cálculos para o dimensionamento da tubulação de sucção com a bomba centrífuga acima do nível superior e ao comparar com a figura 02, a qual mostra a curva de NPSH requerido pela bomba, temos que a bomba sofrerá com o fenômeno da cavitação, uma vez que, o valor da perda de carga por Bernoulli é menor que a perda de carga por Darcy- Weisback.

Como exemplo dos danos causados pelo fenômeno da cavitação, temos a figura 05, 06, 07 e 08 que mostram os componentes internos de uma bomba centrífuga, danificado pelas microbolhas e vibrações proveniente deste fenômeno.

Figura 05: Rotor de bomba centrífuga após sofrer cavitação.



Fonte: O autor (2022).

Figura 06: Divisão de estágios de bomba centrífuga após sofrer cavitação.



Fonte: O autor (2022).

Figura 07: Separador de rotor de bomba centrífuga após sofrer cavitação.



Fonte: O autor (2022).

Figura 08: Eixo de bomba centrífuga após sofrer vibrações geradas pela cavitação.



Fonte: O autor (2022).

Tendo em vista o resultado anterior, devemos recalculer o dimensionamento da linha de sucção, mas alterando a posição da bomba no sistema. Assim, inserindo-a abaixo do nível superior, onde trabalharemos com ela no estado “afogado”. Para isso, temos $d = 0,0352 \text{ m} = 35,2 \text{ mm}$.

Com isso, foi verificado pelo quadro 03, retirado da NBR 5590 para tubos sch 40, que o diâmetro inicial é de 1.1/4” e com diâmetro interno de 35,08 mm.

Por meio do Anexo A, é definido a perda de carga gerada por cada acessório presente na linha de sucção. O quadro 04, mostra os acessórios e seus respectivos valores:

Quadro 04: Cálculo das perdas de carga localizadas no sistema de sucção.

2 curvas 90° x 1.1/4”	2 x 0,6 = 1,2 m
1 válvula de retenção horizontal 1.1/4”	1 x 2,7 = 2,7 m
1 válvula globo totalmente aberta 1.1/4”	1 x 11,3 = 11,3 m
SOMA DAS PERDAS DE CARGA	15,2 metros

Fonte: O autor (2022).

Após obter os valores da perda de carga equivalente, é somado o valor do comprimento linear da tubulação, por meio da equação 11, o qual foi obtido um resultado de comprimento total de 33,8 metros. Este valor será essencial para calcular o fator de atrito utilizando a equação de Darcy- Weisbacl.

Com isso, é necessário encontrar o tipo de escoamento do fluido. Por meio da equação 4, obteve-se o resultado de que $Re = 53.269,63$ o qual se caracteriza de acordo com a tabela 01 em um escoamento do tipo turbulento.

Para sistemas onde o escoamento é turbulento, o fator de atrito é obtido pela equação 6, denominada de equação de Colebrook. O resultado encontrado para o fator de atrito é $f=0,0217$.

A determinação das perdas de cargas totais é encontrada pela equação 7, que relaciona todas os fatores considerados geradores de perda de carga. Ao fim do desenvolvimento dessa equação, o resultado encontrado é que $H_t = 1,06$ metros.

A comparação da perda de carga de Darcy- Weisback com a perda de carga por Bernoulli, indica se a bomba irá sofrer cavitação, segundo o método apresentado por Silva Teles (1999). Tendo como base a equação 10, o valor da perda de carga por Bernoulli é $J=8,88$ metros.

Por fins econômicos, devido ao elevado valor da perda de carga, podemos repetir os cálculos reduzindo o diâmetro da tubulação. Para isto, utilizaremos um tubo de 1" sch40, mostrando os resultados obtidos abaixo.

Iniciando pelo diâmetro interno e de acordo com a tabela da NBR 5590, temos que $d=26,64$ mm

Com base na equação 11 e no quadro 04, o comprimento total da tubulação somado com os acessórios é de 33,8 metros.

Utilizando a equação 04, o resultado obtido para o número de Reynolds é $Re = 40.471,9$.

Para sistemas onde o escoamento é turbulento, o fator de atrito é obtido pela equação 6, denominada de equação de Colebrook. O resultado encontrado para o fator de atrito é $f=0,026$.

A determinação das perdas de cargas totais é encontrada pela equação 7, que relaciona todas os fatores considerados geradores de perda de carga. Ao fim do desenvolvimento dessa equação, o resultado encontrado é que $H_t = 1,67$ metros.

A comparação da perda de carga de Darcy- Weisback com a perda de carga por Bernoulli, indica se a bomba irá sofrer cavitação, segundo o método apresentado por Silva Teles (1999). Tendo como base a equação 10, o valor da perda de carga por Bernoulli é $J=8,88$ metros.

Assim, avalia-se que para essa situação é desejável utilizar o tubo de 1", uma vez que a bomba não irá cavitare e o custo total da linha de sucção será menor quando comparado com a tubulação inicial de 1.1/4".

Para a linha de recalque da bomba, utilizaremos o mesmo diâmetro de tubulação da linha de sucção, tendo em vista a padronização do sistema, economia e facilidade na hora de executar a manutenção. Assim, o sistema atingirá sua máxima eficiência e segurança operacional.

Para fins de comparação, temos os quadros 05, 06 e 07, onde mostram os valores atingidos nas etapas de dimensionamento da tubulação, onde o quadro 05 mostra os resultados para o dimensionamento acima do nível do reservatório e os quadros 06 e 07 mostram os resultados para o dimensionamento abaixo do nível do reservatório.

Quadro 05: Cálculo para bomba acima do nível do reservatório:

d	35,2 mm
dinicial	1.1/4"
Dinterno	35,08 mm
Lequiv.	15,2 m
Ltotal	62 m
Re	53.269,63
f	0,0217
Ht	1,96 m
J	0,88 m

Fonte: O autor (2022).

Quadro 06: Cálculo para bomba abaixo do nível do reservatório:

d	35,2 mm
dinicial	1.1/4"
Dinterno	35,08 mm
Lequiv.	15,2 m
Ltotal	33,8 m
Re	53.269,63
f	0,0217
Ht	1,06 m
J	8,88 m

Fonte: O autor (2022).

Quadro 07: Recalculando para diâmetro menor para bomba abaixo do nível do reservatório:

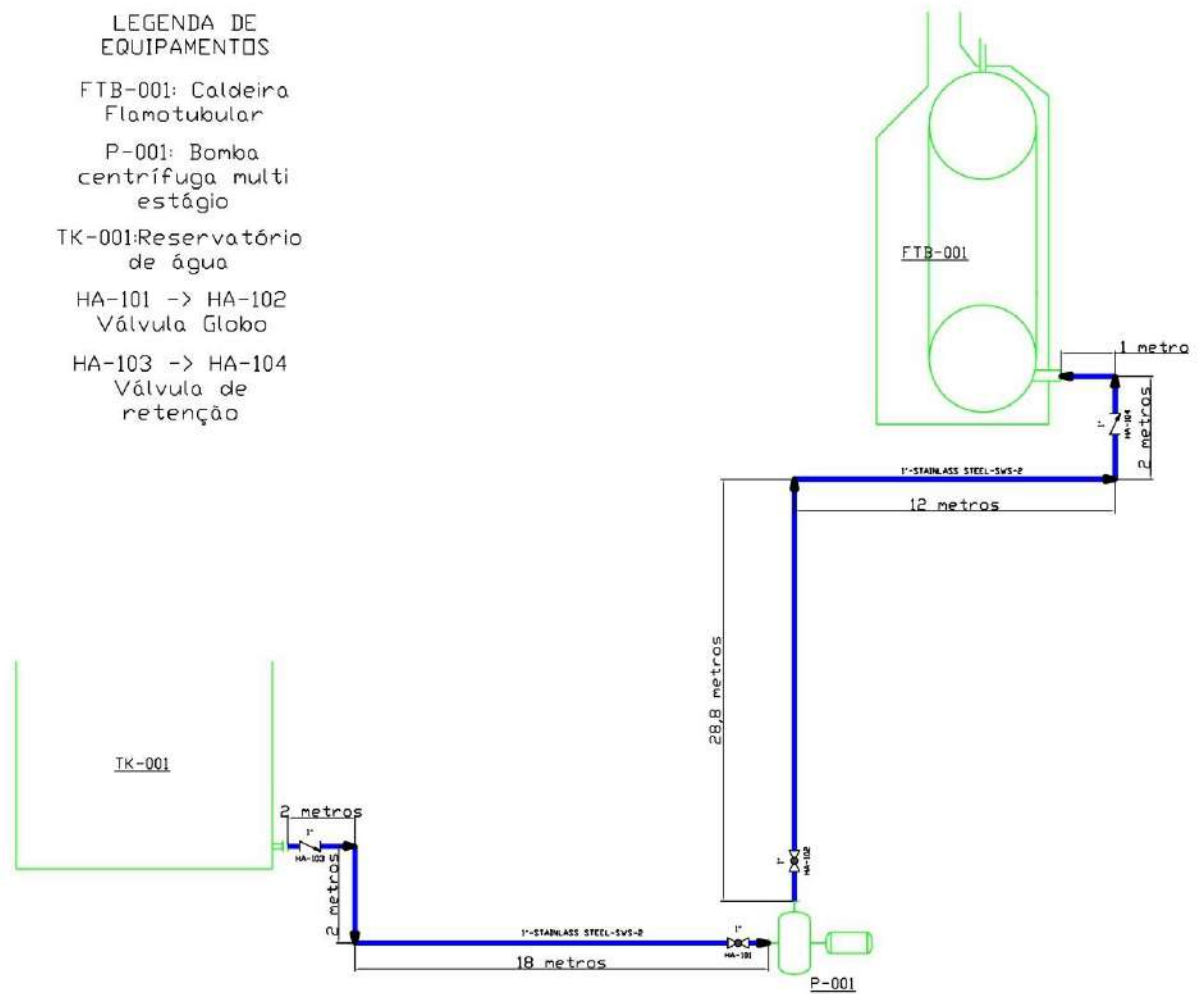
d	33,40 mm
dinicial	1"
Dinterno	26,64 mm
Lequiv.	15,2 m

Ltotal	33,8 m
Re	40.471,90
f	0,026
Ht	1,67 m
J	8,88 m

Fonte: O autor (2022).

O projeto final após o dimensionamento é dado pela figura 05, onde compõe todos os materiais utilizados no processo, bem como as dimensões entre o reservatório e a caldeira.

Figura 06: Projeto da rede hidráulica de alimentação da caldeira.



Fonte: O autor (2022)

5 CONCLUSÃO

Como proposto no objetivo geral, este estudo de caso abordou o dimensionamento de uma bomba centrífuga e sua respectiva tubulação para uma rede hidráulica de alimentação de uma caldeira flamotubular, com o propósito de solucionar o problema da cavitação sofrido neste setor em uma determinada empresa.

Inicialmente, foi realizado o dimensionamento do sistema onde a bomba se localizava acima do nível superior do reservatório de água, onde a pressão na entrada da bomba foi inferior a pressão requerida para o bom funcionamento do equipamento. Com esta análise, o resultado do cálculo foi de que a bomba apresentaria cavitação.

Para melhorar o processo e o tornar mais seguro, o conjunto foi realocado de maneira que ele ficasse abaixo do nível superior do tanque de armazenamento de água, aumentando a pressão exercida pelo fluido na entrada do conjunto.

Desta forma, foi iniciado, novamente, o dimensionamento do sistema, verificando que o rearranjo do conjunto solucionou o problema e que por meio do dimensionamento pode-se estabelecer que a tubulação de 1" é a de melhor custo benefício e a que mais atende a empresa, pois o sistema não fica superdimensionado e com um custo reduzido quando se comparado com a tubulação de 1.1/4".

Após solucionado o problema na parte de sucção da bomba, foi analisado que na linha de recalque pode ser utilizado o mesmo diâmetro da linha de sucção, a qual reduzirá custo de instalação e facilitará no momento da manutenção, uma vez que, será padronizado um diâmetro para toda a rede hidráulica de alimentação da caldeira.

Para finalizar, concluo que o posicionamento do conjunto motobomba em relação aos níveis do fluido que será transferido é de suma importância para o bom funcionamento do mesmo, e que aliado a um bom dimensionamento evita a ocorrência de problemas que muitas vezes danificam o conjunto, inviabilizando a manutenção, além de causar perdas de processo, como a redução dos níveis de pressão na saída do conjunto, com isso, não atendendo a demanda vazão e pressão de água que a caldeira necessita para um bom funcionamento e boa qualidade de vapor gerado.

Como sugestão de trabalhos futuros, temos:

- Dimensionamento da espessura da parede da tubulação;
- Dimensionamento da distância entre os suportes da tubulação suspensa.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5590**: Tubos de aço-carbono com ou sem solda longitudinal, pretos ou galvanizados. Rio de Janeiro, 2015.
- BAPTISTA, Márcio B.; COELHO, Márcia M. L. P. Fundamentos de Engenharia Hidráulica. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 473 p.
- BRASIL BOMBAS. Bomba centrífuga em inox. Disponível em: <<https://www.brasilbombas.com.br/bomba-centrifuga-em-inox>>. Acesso em: 31 de outubro de 2022 as 06:38.
- CAMARGO, Micelli. **O que é cavitação?** 2018. Artigo. Disponível em: <<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2018/08/07/o-que-e-cavitacao/>>. Acesso em: 27 de agosto de 2022 as 15:09.
- ÇENGEL, Y.A; CIMBALA, J.M. Mecânica dos Fluidos, Fundamentos e Aplicações.1. ed. 2007.
- FOX, R. W.; MCDONALD, A. T. Mecânica dos Fluidos. Escola de Engenharia Mecânica da Universidade de Purdue - EUA, 2001.
- FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. Introdução à Mecânica dos Fluidos, 6 Ed. LTC, Rio de Janeiro, 2006.
- SCHNEIDER MOTOBOMBAS. Tabelas de seleção. Disponível em: <https://schneidermotobombas.blob.core.windows.net/media/309005/schneider_tabela_selecao_2022_09_web.pdf> pagina 63>. Acesso em: 12 de outubro de 2022 as 14:36
- SCHNEIDER MOTOBOMBAS. Curvas de seleção. Página 01. Disponível em: <<https://schneidermotobombas.blob.core.windows.net/media/255545/curvas-me-1.pdf>>. Acesso em: 12 de outubro de 2022 as 14:38.
- TELES, Pedro C S. Tubulações industriais. Cálculo, 9 Ed. LTC, Rio de Janeiro, 1999.
- TELES, Pedro C S. Tubulações industriais. Materiais, projeto, montagem, 10 Ed. LTC, Rio de Janeiro, 2001.

ANEXO A – PERDAS DE CARGAS UNITÁRIAS.

Anexos

Perdas de Carga em Produtos de PVC para Irrigação (Valores em %)

Vazão m³/h	DN 50 – PN 80			DN 75 – PN 80			DN 100 – PN 80			DN 100 – PN 90					
	U/s	v (m/s)	Pe (%)	U/s	v (m/s)	Pe (%)	U/s	v (m/s)	Pe (%)	U/s	v (m/s)	Pe (%)			
0,68	0,19	0,11	0,051	5,04	1,40	0,36	0,48	3,60	1,00	0,16	0,033	33,12	9,20	1,31	1,902
0,72	0,2	0,12	0,056	5,40	1,50	0,39	0,41	3,95	1,10	0,16	0,039	33,84	9,40	1,34	1,981
0,79	0,22	0,13	0,066	5,76	1,60	0,41	0,36	4,32	1,20	0,17	0,045	34,56	9,60	1,37	2,061
0,85	0,24	0,14	0,077	6,12	1,70	0,44	0,33	4,68	1,30	0,19	0,052	35,28	9,80	1,4	2,143
0,94	0,26	0,15	0,088	6,48	1,80	0,46	0,32	5,04	1,40	0,2	0,060	36,00	10,00	1,43	2,227
1,01	0,28	0,16	0,101	6,84	1,90	0,49	0,32	5,40	1,50	0,21	0,067	37,80	10,50	1,5	2,444
1,08	0,3	0,17	0,114	7,20	2,00	0,51	0,29	5,76	1,60	0,23	0,076	39,60	11,00	1,57	2,657
1,15	0,32	0,19	0,128	7,56	2,10	0,54	0,29	6,12	1,70	0,24	0,084	41,40	11,50	1,64	2,906
1,22	0,34	0,2	0,142	7,92	2,20	0,57	0,26	6,48	1,80	0,26	0,094	43,20	12,00	1,71	3,151
1,30	0,36	0,21	0,157	8,28	2,30	0,59	0,24	6,84	1,90	0,27	0,103	45,00	12,50	1,79	3,407
1,37	0,38	0,22	0,173	8,64	2,40	0,62	0,22	7,20	2,00	0,29	0,113	46,80	13,00	1,86	3,672
1,44	0,4	0,23	0,19	9,00	2,50	0,64	0,21	7,56	2,10	0,3	0,124	48,60	13,50	1,93	3,947
1,62	0,45	0,26	0,234	9,36	2,60	0,67	0,17	7,92	2,20	0,31	0,134	50,40	14,00	2,00	4,232
1,80	0,5	0,29	0,283	9,72	2,70	0,69	0,16	8,28	2,30	0,33	0,146	52,20	14,50	2,07	4,527
1,98	0,55	0,32	0,335	10,08	2,80	0,72	0,14	8,64	2,40	0,34	0,157	54,00	15,00	2,14	4,831
2,16	0,6	0,35	0,392	10,44	2,90	0,75	0,13	9,00	2,50	0,36	0,169	55,80	15,50	2,21	5,145
2,34	0,65	0,38	0,454	10,80	3,00	0,77	0,12	9,36	2,60	0,37	0,182	57,60	16,00	2,29	5,469
2,52	0,7	0,41	0,518	11,16	3,10	0,82	0,11	9,72	2,70	0,39	0,195	59,40	16,50	2,36	5,803
2,70	0,75	0,44	0,588	11,52	3,20	0,87	0,1	10,08	2,80	0,4	0,209	61,20	17,00	2,43	6,147
2,88	0,8	0,47	0,661	11,88	3,30	0,92	0,09	10,44	2,90	0,41	0,222	63,00	17,50	2,5	6,5
3,06	0,85	0,49	0,739	12,24	3,40	0,98	0,08	10,80	3,00	0,43	0,236	64,80	18,00	2,57	6,863
3,24	0,9	0,52	0,82	12,60	3,50	1,03	0,08	11,16	3,10	0,46	0,266	66,60	18,50	2,64	7,235
3,42	0,95	0,55	0,906	13,00	3,60	1,08	0,08	11,52	3,20	0,49	0,297				
3,60	1	0,58	0,995	13,44	3,70	1,13	0,08	11,88	3,30	0,51	0,330				
3,96	1,1	0,64	1,186	14,16	3,80	1,18	0,08	12,24	3,40	0,54	0,365				
4,32	1,2	0,7	1,393	14,88	3,90	1,23	0,08	12,60	3,50	0,57	0,401				
4,68	1,3	0,76	1,615	15,60	4,00	1,28	0,08	13,00	3,60	0,6	0,439				
5,04	1,4	0,81	1,854	16,32	4,10	1,34	0,08	13,44	3,70	0,63	0,478				
5,40	1,5	0,87	2,108	17,04	4,20	1,39	0,08	13,80	3,80	0,66	0,519				
5,76	1,6	0,93	2,378	17,76	4,30	1,44	0,08	14,16	3,90	0,69	0,562				
6,12	1,7	0,99	2,663	18,48	4,40	1,49	0,08	14,52	4,00	0,71	0,606				
6,48	1,8	1,05	2,964	19,20	4,50	1,54	0,08	14,88	4,10	0,74	0,652				
6,84	1,9	1,1	3,281	19,92	4,60	1,6	0,08	15,24	4,20	0,77	0,699				
7,20	2	1,16	3,613	20,64	4,70	1,64	0,08	15,60	4,30	0,8	0,748				
7,56	2,1	1,22	3,961	21,36	4,80	1,7	0,08	16,00	4,40	0,83	0,799				
7,92	2,2	1,28	4,324	22,08	4,90	1,75	0,08	16,40	4,50	0,86	0,851				
8,28	2,3	1,34	4,703	22,80	5,00	1,8	0,08	16,80	4,60	0,89	0,905				
8,64	2,4	1,4	5,097	23,52	5,10	1,85	0,08	17,20	4,70	0,91	0,960				
9,00	2,5	1,45	5,507	24,24	5,20	1,9	0,08	17,60	4,80	0,94	1,017				
9,36	2,6	1,51	5,933	24,96	5,30	1,95	0,08	18,00	4,90	0,97	1,076				
9,72	2,7	1,57	6,374	25,68	5,40	2	0,08	18,48	5,00	1	1,136				
10,08	2,8	1,63	6,83	26,40	5,50	2,06	0,08	18,96	5,10	1,03	1,197				
10,44	2,9	1,69	7,302	27,12	5,60	2,11	0,08	19,44	5,20	1,06	1,261				
10,80	3	1,74	7,789	27,84	5,70	2,16	0,08	19,92	5,30	1,09	1,326				
11,16	3,1	1,8	8,293	28,56	5,80	2,21	0,08	20,40	5,40	1,11	1,392				
11,52	3,2	1,86	8,811	29,28	5,90	2,26	0,08	20,88	5,50	1,14	1,460				
11,88	3,3	1,9	9,344	30,00	6,00	2,31	0,08	21,36	5,60	1,17	1,530				
12,24	3,4	1,98	9,891	30,72	6,10	2,36	0,08	21,84	5,70	1,2	1,601				
12,60	3,5	2,01	10,453	31,44	6,20	2,41	0,08	22,32	5,80	1,23	1,674				
13,00	3,6	2,04	11,031	32,16	6,30	2,46	0,08	22,80	5,90	1,26	1,749				
13,44	3,7	2,08	11,624	32,88	6,40	2,51	0,08	23,28	6,00	1,29	1,826				
13,80	3,8	2,11	12,231	33,60	6,50	2,56	0,08	23,76	6,10	1,32	1,905				
14,16	3,9	2,14	12,853	34,32	6,60	2,61	0,08	24,24	6,20	1,35	1,986				
14,52	4	2,17	13,491	35,04	6,70	2,66	0,08	24,72	6,30	1,38	2,069				
14,88	4,1	2,2	14,144	35,76	6,80	2,71	0,08	25,20	6,40	1,41	2,154				
15,24	4,2	2,24	14,811	36,48	6,90	2,76	0,08	25,68	6,50	1,44	2,241				
15,60	4,3	2,26	15,493	37,20	7,00	2,81	0,08	26,16	6,60	1,47	2,330				
15,96	4,4	2,28	16,191	37,92	7,10	2,86	0,08	26,64	6,70	1,5	2,421				

Comprimentos Equivalentes em Conexões

Tabela de comprimentos equivalentes em metros de canalização, para cálculo das perdas de carga localizadas.

Diâmetro nominal X Equivalência em metros de canalização

CONEXÃO	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	0,8	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
Ta 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
Ta 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
Ta 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	0,1	0,1	0,2
	Metal 0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
Solda 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
Linha 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 estaca aberta	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
Registro de ângulo aberto	Metal 3,6	4,6	5,6	6,7	8,5	10,0	13,0	17,0	21,0
Válvula de pé com corno	PVC 9,5	13,3	15,3	18,3	23,7	25,0	26,8	28,8	37,4
	Metal 5,6	7,3	10,0	11,6	14,0	17,0	22,0	23,0	30,0
Horizontal	Metal 1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,2	6,3	6,4	10,4
Vertical	Metal 2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,1	9,7	12,9	16,1

Observação:
 1. Os valores acima estão de acordo com a ABEN 5042 e Tabela de Perdas de Cargas para PVC rígido e metal, e NBR 10205 e Tabela de Perdas de Cargas para PVC flexível e metal.
 2. Os valores acima estão de acordo com a ABEN 5042 e Tabela de Perdas de Cargas para PVC rígido e metal, e NBR 10205 e Tabela de Perdas de Cargas para PVC flexível e metal.
 3. Os valores acima estão de acordo com a ABEN 5042 e Tabela de Perdas de Cargas para PVC rígido e metal, e NBR 10205 e Tabela de Perdas de Cargas para PVC flexível e metal.
 4. Os valores acima estão de acordo com a ABEN 5042 e Tabela de Perdas de Cargas para PVC rígido e metal, e NBR 10205 e Tabela de Perdas de Cargas para PVC flexível e metal.
 5. Os valores acima estão de acordo com a ABEN 5042 e Tabela de Perdas de Cargas para PVC rígido e metal, e NBR 10205 e Tabela de Perdas de Cargas para PVC flexível e metal.

Sugestão de Diâmetro de Tubulação por Vazão

Vazão (m³/h)	Surto					Recalque				
	0 a 1,5	1,5 a 3,5	3,5 a 6,5	6,5 a 8,5	8,5 a 16	16 a 25	25 a 35	35 a 50	50 a 100	100 a 200
Diâmetro Poligonal	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"
Diâmetro Milímetros	25	31	40	50	60	75	85	110	140	180

ANEXO B – DIAGRAMA DE MOODY.

λ

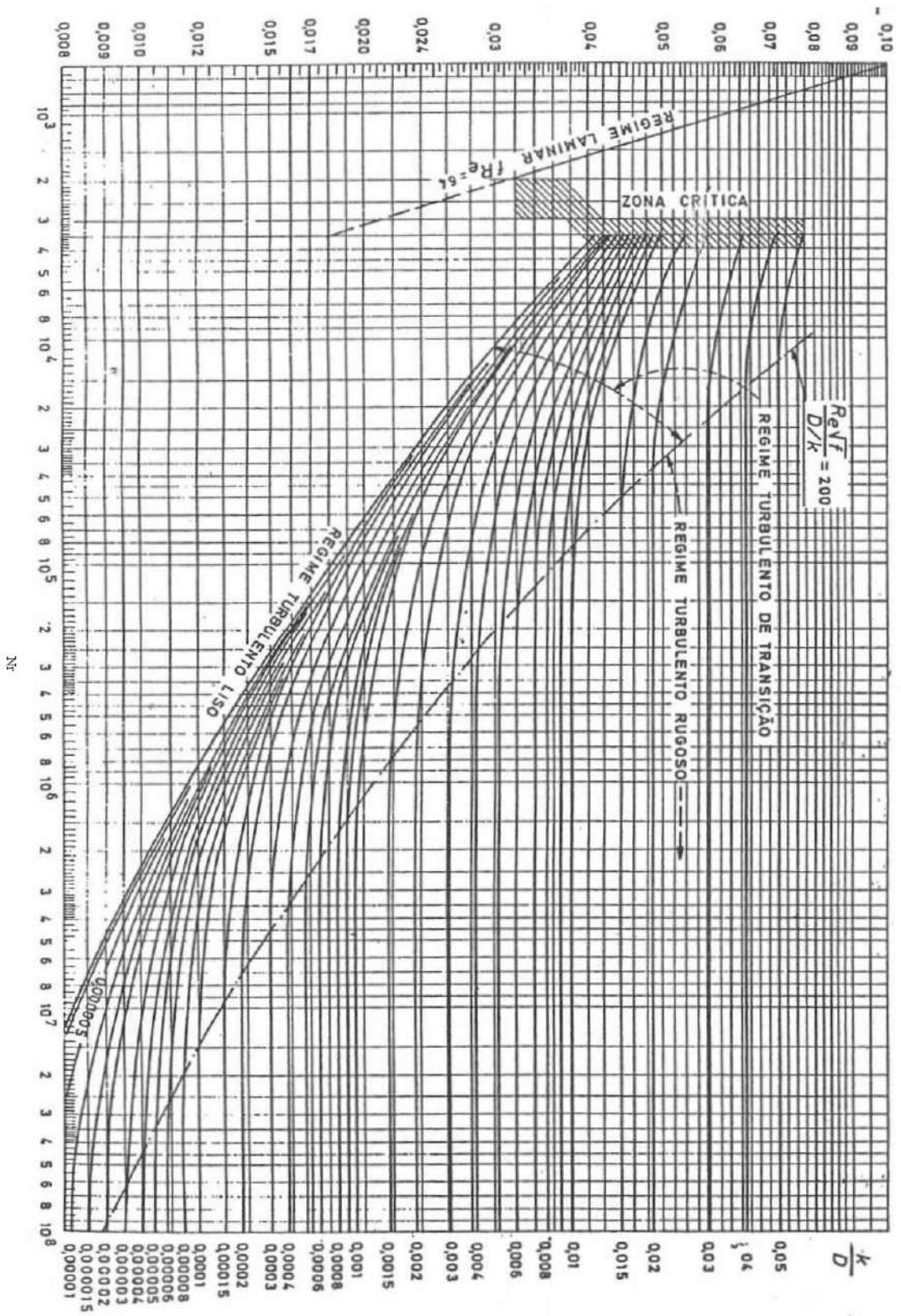


Diagrama de Moody

Re