



Estudo de cavitação, diagnóstico de causas e medidas de correção em bombas de alta pressão para alimentação de caldeiras.

Alexandre Alvarenga Palmeira^{1, 2} 0000-0002-9271-8858
Maria Vitória da Silva de Araújo²; 0009-0006-9141-9916
Paulo Vitor Nunes da Silva²; 0000-0002-4998-6451
Shimeni Batista Ribeiro ²;0000-0002-5671-3742

1 – UERJ, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Tecnologia, Resende, RJ

2 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.

alex.a.palmeira@gmail.com

201910718@unifoa.edu.br

201910620@unifoa.edu.br

Shimeni@gmail.com

Resumo: A presente pesquisa tem como objetivo a análise técnica de uma bomba centrífuga que trabalha “afogada” utilizada em um sistema de bombeamento para caldeira, que apresenta cavitação. Inicialmente o sistema trabalhou a 90°C, durante o seu funcionamento essa temperatura foi para 120°C, o que gerou a cavitação do sistema. Utilizou-se a fórmula da vazão total para obtenção da velocidade 2,015 m/s. Em seguida, a fórmula de Reynolds permitiu determinar o tipo de escoamento, que mais tarde foi utilizado na descoberta dos valores de fator de atrito, juntamente com o resultado $7,086 \times 10^{-4}$, obtido com a aplicação da fórmula da rugosidade relativa. Aplicou-se, então, as fórmulas para perda de carga, cujos resultados 0,7705 mca e 0,7632 mca foram aplicados para obtenção das alturas manométricas -5,0225m e -5,0298m. Ao final, os resultados 12,97m e -058 m foram obtidos através da fórmula do NPSHdisp. Nesse sentido, após a resolução de todos os cálculos é possível visualizar para se obter um melhor resultado e pôr fim ao fenômeno da cavitação existe três possíveis alternativas, sendo a mais viável o aumento da pressão no reservatório pois a pressão máxima do reservatório suporta esse aumento sem ultrapassar seu limite máximo. Conclui-se, que será necessário aumentar a pressão do reservatório de 0,5 Kgf/cm² para 0,932 Kgf/cm².

Palavras-chave: Bombas. Bombas centrífugas. Cavitação. Caldeira.



INTRODUÇÃO

No âmbito industrial, a utilização de bombas em sistemas de alta pressão apresenta um papel relevante, sobretudo quando há necessidade de desempenho energético elevado, como é o caso da alimentação de caldeiras. As aplicações desse tipo de bomba incluem, desde o transporte de água e produtos químicos, até o bombeamento de petróleo e gás em plataformas offshore. (Coelho, 2006).

As bombas de alta pressão para alimentação de caldeiras são projetadas para fornecer estabilidade e constância no fornecimento de água. Entretanto, a ocorrência de um fenômeno indesejado, denominado cavitação, pode afetar o sistema de forma a oferecer intercorrências no funcionamento dessas bombas. O fenômeno da cavitação é um processo complexo que se caracteriza pela vaporização e consequente formação de bolhas do líquido transportado devido à pressão reinante ser igual ou inferior a pressão de vaporização do líquido na temperatura de transporte. Em sistemas de alta pressão, o colapso violento dessas bolhas, quando transportadas, causam danos significativos nas partes mais internas das bombas. Além de afetar, obviamente, no desempenho energético do sistema, causar vibrações e ruídos anormais. (Coelho, 2006).

Reduzindo os riscos da ocorrência de cavitação, é possível obter melhoria do desempenho e da confiabilidade das bombas de alta pressão, garantindo eficiência energética do sistema, além da redução de custos operacionais e de manutenção nas indústrias dependentes desses equipamentos em sua produção. (NETTO, 2015)

MÉTODOS

Para o desenvolvimento do projeto foi feita uma revisão bibliográfica utilizando materiais teóricos disponíveis na literatura técnica, tais como livros e artigos técnicos sobre o tema. Após a conclusão do estudo teórico realizou-se um estudo de caso de um sistema de alta pressão para alimentação de água para caldeiras cujas bombas apresentavam cavitação. Os dados originais desse sistema, retirados do catálogo de especificações da bomba, são mostrados nos tabelas 1 e 2.



Tabela 1 - Dados do processo.

Dados do processo		
Líquido Bombeado	Água	Unidade de medida
Peso Específico	0,950	Kgf/dm ³
Temperatura	105,000	°C
Viscosidade	1,000	cSt
NPSH Disponível	10,000	mca
Pressão Sucção	0,000	Kgf/cm ²
Pressão Máxima do Reservatório	1,306	Kgf/cm ²

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 2 - Dados operacionais da bomba.

Dados da bomba.		
Vazão Nominal	23,000	m ³ /h
Pressão Diferencial	27,670	Kgf/cm ²
NPSH Requerido	2,700	mca
Rotação Nominal	3500,000	Rpm
Potência Consumida	38,600	HP
Vazão Mínima Contínua	6,500	m ³ /h
AMT	290,000	mca
Pressão Descarga	27,700	Kgf/cm ²
AMT Shutoff	313,200	Mca
Rendimento	61,000	%
Peso da bomba	144,00	Kg
GD ²	0,044	Kg.m ²

Fonte: Autor, 2023.



Além disso, cabe ressaltar que a temperatura do líquido bombeado foi elevada para 120 °C em relação ao valor previsto no projeto inicial e a partir dessa alteração as bombas começaram a cavitatar. A partir dos dados apresentados será feita uma análise dos impactos da elevação da temperatura de bombeamento sobre o NPSHdisp bem como estabelecer proposições para correção do problema de cavitação decorrentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados coletados inicia-se os cálculos para a análise da causa da cavitação nessa bomba. O diâmetro da tubulação é de $\varnothing = 2 \frac{1}{2} = 63,5 \text{ mm} = 0,0635 \text{ m}$.

Para encontrar a velocidade foi usada a fórmula da vazão, sendo $Q = Av =$

2,015 m/s. Após achar a velocidade, será usada a fórmula de Reynolds para o cálculo a 90°C e 120°C, onde:

- A 90° C $\rightarrow Re = \frac{dv}{\nu} = 406198,4$
- A 120° C $\rightarrow Re = \frac{dv}{\nu} = 551519,4$

A partir disso será calculada a rugosidade relativa através da seguinte forma: $\frac{\epsilon}{d} = 7,086 \times 10^{-4}$.

Com isso, será possível calcular a perda de carga baseando-se na relação das perdas de carga da tubulação e dos acessórios componentes do sistema, como juntas, válvulas e tê, conforme o quadro 3. Dessa forma, a soma das perdas em cada componente totaliza 12,1 metros.

Quadro 1 – Relação de perdas de carga por componente do sistema.

	Unidade	Quantidade	Leq	Leq
T reto	M	6,6	1	6,6
V esfera 2 ½"	Pç	2	0,4	0,8
V esfera 2"	Pç	1	0,4	0,4
Tê 2 ½"	Pç	1	4,3	4,3

Total = 12,1 m





Para a obtenção da perda de carga, inicialmente calcula-se o fator de atrito, que, a 90°C, resultará em $f = 0,0055 \left[1 + \left((20000 \times \frac{\epsilon}{d} + \frac{v^2}{2g})^{\frac{1}{3}} \right) \right] = 0,01954$. Logo a perda de carga será de $J = f \times \frac{L_{eq}}{d} \times \frac{v^2}{2g} = 0,7705 \text{ mca}$.

Da mesma forma, para 120°C, em que o fator de atrito resultará em $f = 0,01936$ e a perda de carga em $J = 0,7632 \text{ mca}$.

Para a definição da altura manométrica de sucção – AMT, a relação entre a altura estática de sucção h_s com a perda de carga anteriormente calculada resultará em:

Para 90°C:

$$H_s = \pm h_s + J_s + (v^2/2g) = -5,0225m$$

Para 120°C:

$$H_s = \pm h_s + J_s + (v^2/2g) = -5,0298m$$

Logo, a 90°C, foi possível a obtenção de um $NPSH_{disp} = P_o - (H_s + P_v) = 12,97m$ e um $NPSH_{disp} = P_o - (H_s + P_v) = -058 \text{ m}$ a 120°C.

Dessa forma, e de acordo com a tabela abaixo contendo todos os cálculos e os resultados necessários, propõe-se a análise do gráfico que relaciona os valores de NPSH disponíveis em decorrência do aumento de temperatura.

Tabela de Resultados														
T (°C)	γ (m ² /s)	v (m/s)	D (mm)	Reynolds	ξ	ξ/D	Leq (m)	Fator de Atrito (f)	J (mca)	hs (m)	Hs (m)	Po (mca)	Pv (mca)	NPSH disp
90	0,000000315	2,02	63,5	406198,41	0,045	0,000709	12,1	0,01954	0,7705	-6	-5,0225	15,33	7,39	12,97
95	0,000000297			430816,5				0,01950	0,7690		-5,0241		8,91	11,45
100	0,000000282			453732,27				0,01947	0,7676		-5,0254		10,68	9,68
105	0,000000269			476545,62				0,01944	0,7665		-5,0266		12,89	7,47
110	0,000000255			501774,51				0,01941	0,7653		-5,0278		15,09	5,26
115	0,000000244			525472,28				0,01938	0,7643		-5,0288		18,02	2,34
120	0,000000232			551519,4				0,01936	0,7632		-5,0298		20,94	-0,58
125	0,000000223			575067,42				0,01933	0,7624		-5,0307		25,04	-4,68
130	0,000000213			600715,96				0,01931	0,7615		-5,0315		29,14	-8,78
135	0,000000205			624158,54				0,01929	0,7608		-5,0322		33,24	-12,88
140	0,000000197			649505,08				0,01928	0,7601		-5,0330		37,34	-16,98

Tabela 3 – Resultados dos cálculos para obtenção dos valores de NPSH disponível.

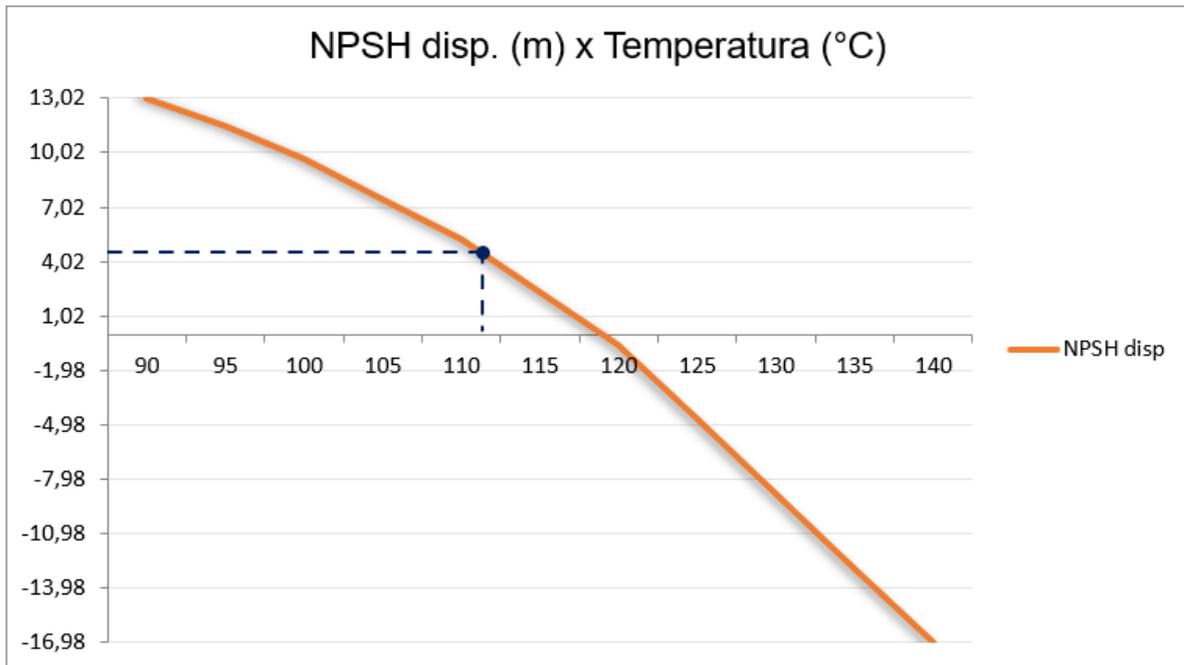


Figura 1 – Gráfico que relaciona os valores de NPSH disponível com temperatura equivalente.

Ao passo que ocorre o aumento da temperatura do sistema, o valor de NPSH disponível tende a diminuir. A equação de segundo grau $y = -0,1771x^2 - 0,8977x + 14,013$ permite a definição do valor da temperatura máxima admitida para o menor NPSH disponível, obtido da seguinte forma: $NPSH\ disp = 1,5NPSH\ req = 4,05$.

Nessas condições, o valor máximo de temperatura para submeter o sistema é de 112,1°C, ponto de encontro entre as duas retas traçadas no gráfico.

CONCLUSÕES

Após a comprovação de cavitação por meio dos cálculos apresentados, foi possível chegar à 3 possíveis alternativas. A primeira seria submeter o sistema à uma menor temperatura para trabalho na casa dos 112,1°C, não sendo viável devido à necessidade de fornecimento de calor para funcionamento das caldeiras. A segunda opção seria o aumento da pressão interna do reservatório de forma que influenciasse diretamente no valor de NPSH disponível o reservatório passaria a ter uma pressão de 0,932 Kgf/cm², que seria viável pois a pressão máxima definida pelo projeto do



reservatório é de 1,306 Kgf/cm². Além disso, uma terceira opção para resolução desse problema seria a troca da bomba por uma que tenha o valor de NPSH superior a 4,05 mca à temperatura de 120°C. Neste cenário, a segunda alternativa seria a mais adequada, evitando que tenha que ser feito uma alteração no projeto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao UniFOA pelo apoio no desenvolvimento técnico-científico através dos pelos mecanismos de desenvolvimento disponibilizados e pelo incentivo discente através do programa fomento à pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 12214 Projeto de estação de bombeamento ou de estação elevatória de água — Requisitos. RJ, 2020.

COELHO, Welington Ricardo. UNESP. Análise do Fenômeno de Cavitação em Bombas Centrifugas, SP, JAN/2006.

FONSECA, Victor Ferreira da M. L. OPERAÇÕES UNITÁRIAS I. Bombeamento de fluido, SP, 2019.

MACINTYRE, A. J. Bombas e Instalações de Bombeamento, 2ª. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

NETTO, José Martiniano de A.; FERNÁNDEZ, Miguel Fernández Y. Manual de hidráulica.; Editora Blucher, 2015. E-book. ISBN.

NORMA REGULAMENTADORA. NR 13: CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO, TUBULAÇÕES E TANQUES METÁLICOS DE ARMAZENAMENTO. Rio de Janeiro, 1978.

SCHIAVELLO, B; VISSER, F. C. Pump Cavitation: various NPSHR criteria, NPSHA margins, impeller life expectancy. In: Proceedings of the 25th international pump user's symposium. Texas A&M University. Turbomachinery Laboratories, 2009.

