

# **LEVANTAMENTO DO COMPORTAMENTO ENERGÉTICO DE UMA VÁLVULA BORBOLETA E DE UMA VÁLVULA ESFERA, AMBAS DE DIÂMETRO 500 mm, INSTALADAS NA ELEVATÓRIA SÃO LUCAS SUL, COPASA, BELO HORIZONTE-MG**

## **(1) JOÃO ANDRADE DO NASCIMENTO**

Engenheiro mecânico; Pós-graduado em Engenharia de Manutenção: Chefe do DPMT da COPASA.

## **(2) YVONE DE FARIA LEMOS DE LUCCA**

Engenheira do CTH-DAEE; Professora Dra da FEFAAP; Pós doutora em Engenharia.

## **(3) CÉSAR AUGUSTO SANDERS**

Engenheiro de manutenção eletromecânica da COPASA; Pós-graduado em Engenharia de Manutenção.

## **(1) ENDEREÇO**

Br 356 – Km 4 – Bairro Belvedere – Minas Gerais – CEP 30390-085- Brasil – Tel: +55 (31) 3250-2074 – Fax: +55 (31) 3250-2455 – e-mail: dpmt@copasa.com.br

## **RESUMO**

O presente artigo refere-se ao estudo de comparação do comportamento energético de uma válvula borboleta bi-excêntrica (BORMAX flangeada) e de uma válvula esfera (BALLMAX AWWA C507), ambas de 500 milímetros de diâmetro e de fabricação da “**Glass Indústria e Comércio de Bombas Centrifugas e Equipamentos Ltda**”, instaladas na Estação Elevatória São Lucas Sul, COPASA, em Belo Horizonte, MG. A Estação Elevatória São Lucas Sul consta de 6 conjuntos moto bomba e essa pesquisa refere-se ao conjunto moto bomba nº 2.( **Bomba Worthington 20 LN 28, 880 rpm** ). O objetivo principal desse trabalho foi a comparação do consumo de energia elétrica através do bombeamento na Elevatória com as duas válvulas mencionadas instaladas separadamente, além da determinação dos parâmetros hidráulicos característicos de cada válvula.

**Palavras- chave:** eficiência de energia elétrica, válvula esfera, válvula borboleta.

## 1- INTRODUÇÃO

A COPASA é uma empresa preocupada com o uso racional da energia elétrica buscando sempre a redução de custos e o aumento da produção de água. Uma das providências tomadas para otimizar o sistema de captação e distribuição de água foi fazer a avaliação da troca de uma válvula borboleta por uma válvula esfera, ambas de 500 milímetros de diâmetro, na Estação Elevatória São Lucas Sul, Belo Horizonte, M.G. Durante essa avaliação, foram medidos vários parâmetros que possibilitaram comparar a economia gerada em um ano no custo da energia elétrica somente em um conjunto moto bomba em funcionamento.

Esta pesquisa foi dividida em duas etapas:

1ª - Ensaios com a válvula borboleta.

2ª - Ensaios com a válvula esfera.

Para cada etapa, inicialmente foram instalados manômetros diferenciais, transdutores de pressão a montante e a jusante das válvulas e um manômetro diferencial em duas tomadas de pressão localizadas uma no raio interno e outra no raio externo de uma curva de 90° de DN 500 mm já existente que serviu como medidor de vazão para o levantamento do consumo de energia elétrica e dos parâmetros hidráulicos de cada válvula. As medições foram executadas durante vários dias consecutivos ininterruptamente onde foram coletados os sinais dos instrumentos instalados. Terminados os ensaios da válvula borboleta ela foi retirada e em seguida instalada a válvula esfera no mesmo local da borboleta, e utilizando-se a mesma instrumentação.

## 2- EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

### 2.1 MEDIÇÃO DE VAZÃO

Em virtude da falta de comprimentos suficientemente longos e retilíneos no local da Elevatória, optou-se pela escolha de um medidor de vazão tipo cotovelo de 90°, existente a jusante do conjunto moto bomba. Sabe-se que curvas, registros e outras singularidades podem ser aproveitados para a medição de vazão nas tubulações. Nas curvas, por exemplo, verificam-se diferenças de pressão que podem servir para a medição da vazão cuja equação representativa é:

$$Q = K.S.\sqrt{2.g.(h_2 - h_1)} \quad (1)$$

Os valores de K são dados em função de R/D, e nesse caso o valor de R/D=1,524, K=0,86;

R=raio axial do cotovelo e D=diâmetro da tubulação;

S=área da seção transversal da tubulação (m<sup>2</sup>);

(h<sub>2</sub>-h<sub>1</sub>)= diferença de carga de pressão entre as tomadas interna e externa da curva, medida através de um transdutor de pressão diferencial da marca SMAR. Os pontos 1 e 2 de tomadas de pressão são medidos na bissetriz do ângulo da curva de 90 °. Aplicando-se os valores na equação (1), chega-se a equação (2) abaixo, equação essa que está configurada no software para o cálculo da vazão.

$$Q = 0,795 \cdot \sqrt{(h_2 - h_1)} \quad (2)$$

A equação (2) já leva também em consideração um ajuste da constante do medidor de vazão cotovelo de 90 ° em função do conhecimento de uma vazão fornecida pela COPASA quando somente uma bomba estava em operação.



**FIG 1- Vista do medidor de vazão tipo cotovelo de 90 °.**

## **2.2 MEDIÇÃO DA PERDA DE CARGA ATRAVÉS DAS VÁLVULAS**

A perda de carga tanto na válvula borboleta como na válvula esfera foi medida através de dois transdutores de pressão, sendo um a montante e outro a jusante das válvulas. As características dos transdutores de pressão seguem abaixo:

Marca:Wika do Brasil

Range : 0 a 6 bar

A perda de carga nas válvulas foi calculada conforme equação (3) abaixo especificada. Em virtude da pequena distância entre a tomada de pressão a montante e a jusante das válvulas, não foi considerada a perda de carga distribuída na tubulação.

$$\Delta H = (H1 - H2) \quad (3)$$

$H1$  =carga de pressão a montante da válvula borboleta ou válvula esfera .

$H2$  =carga de pressão a jusante da válvula borboleta ou válvula esfera .

Foi determinado, para cada válvula, o coeficiente (  $K$  ) da perda de carga localizada, através da equação abaixo:

$$\Delta H = k \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (4)$$

O coeficiente de perda de carga localizado ( $k$ ) foi representado no gráfico 4 em função do número de Reynolds ( $Re$ ).



**FIG 2- Vista da válvula esfera e tomadas de pressão (P1 e P2).**

### **2.3 MEDIÇÃO DAS GRANDEZAS ELÉTRICAS**

Para aquisição das grandezas elétricas (tensão, corrente e fator de potência) foi instalado no painel da bomba um conjunto de transformadores de corrente e de potência. Os sinais de tensão e de corrente foram enviados para os transdutores que convertem os sinais elétricos em sinais de 4 a 20 mA e que, convertidos, são também enviados para o equipamento de aquisição de dados.

O fator de potência foi medido com equipamento específico e os sinais enviados para o equipamento de aquisição de dados. Tanto o medidor do fator de potência bem como o voltímetro e o amperímetro foram acondicionados em um painel de comando. As equações que serviram para o cálculo da potência ativa e o consumo de energia constam abaixo:

$$P_{ativa} = \sqrt{3}.V.I.\cos(\varphi) \quad (\text{W}) \quad (5)$$

$$\text{Consumo de energia} = P_{ativa}.24 h \quad (\text{Wh}) \quad (6)$$



**FIG 3- Transformador de corrente e de tensão**

## **2.4 PLACA DE AQUISIÇÃO DE DADOS**

Utilizou-se uma placa de aquisição de dados marca Lynx- AqDados7. Conforme instrução do fabricante da placa, a frequência de aquisição foi da ordem de 2 vezes a frequência do sinal a ser monitorado. Durante os ensaios, foi adotada a frequência de aquisição de dados de 120 Hz, tendo em vista que a frequência dos sinais elétricos é 60 Hz.

## **2.5 ANÁLISE DOS SINAIS**

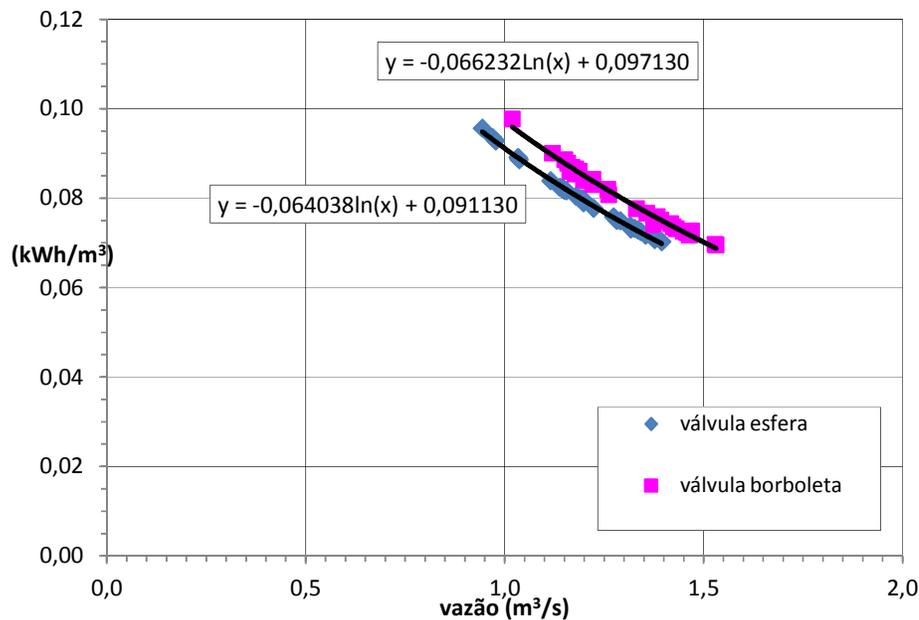
Utilizou-se o software da Lynx-AqDAnalysis. Através do software de análise de dados foram calculados os valores da vazão, da potência ativa e da perda de carga cujas equações estão acima descritas. Todos os valores apresentados nos gráficos e nas tabelas representam o valor médio.

### 3- RESULTADOS

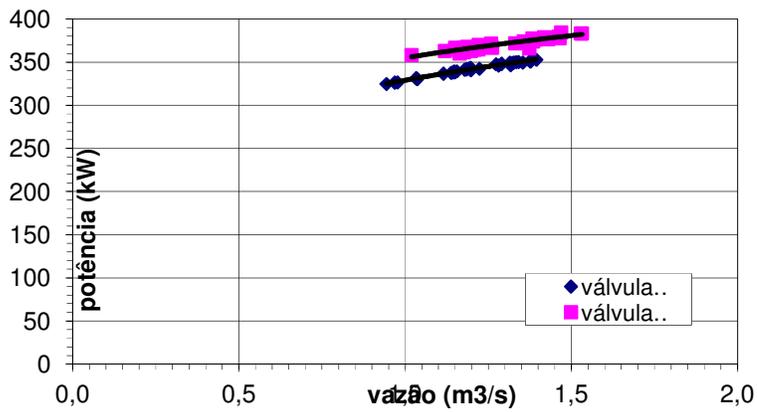
Para cada dia de medição foram construídos arquivos de uma hora cada, e calculados estatisticamente os valores máximos, mínimos, médios, desvio padrão, e RMS (root mean square) da potência ativa (kW), da vazão que fluiu através das válvulas, do diferencial de pressão através do cotovelo de 90 ° e das pressões a montante (P1) e a jusante (P2) das válvulas. Cada arquivo de uma hora contém 436.368 amostras de pontos. Todos esses resultados médios foram utilizados na elaboração dos gráficos comparativos das válvulas borboleta e esfera, tais como:

- ✓ Consumo horário / volume em função da vazão (Figura 4);
- ✓ Potência ativa em função da vazão (Figura 5);
- ✓ Perda de carga na válvula em função da vazão (Figura 6);
- ✓ Coeficiente de perda de carga localizada  $K$  versus  $Re$  (Figura 7);

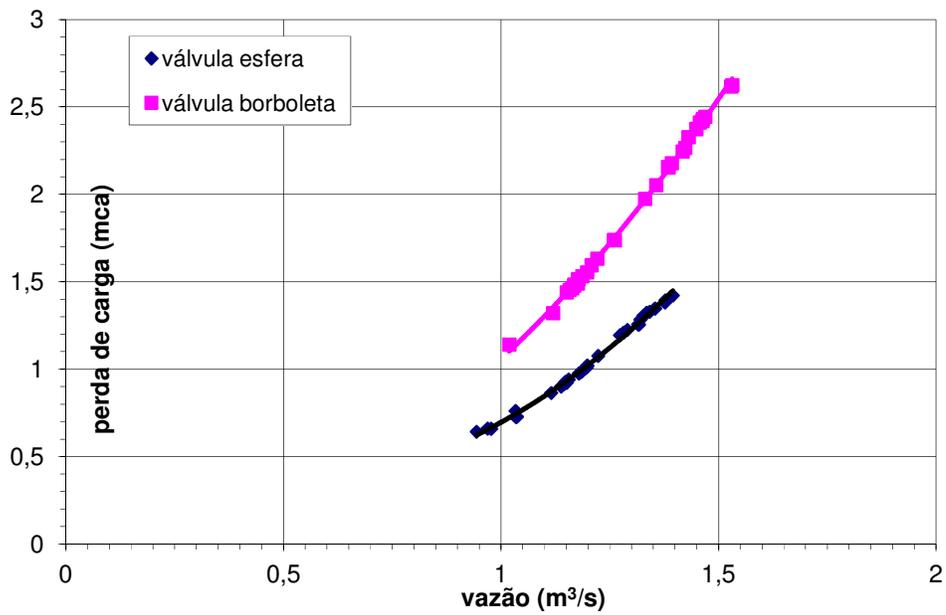
Os gráficos a seguir, sintetizam os resultados encontrados:



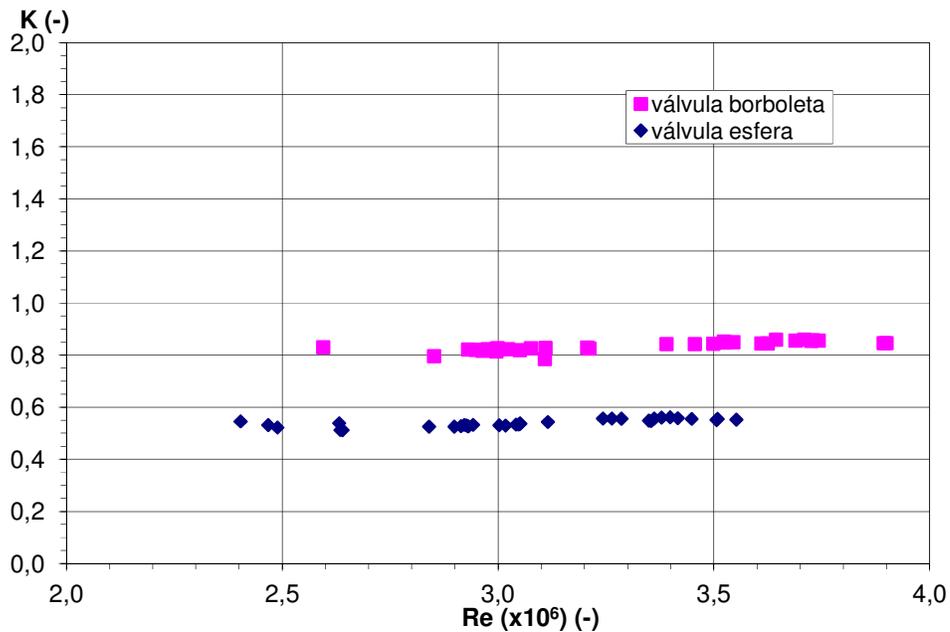
**FIG 4- Gráfico do Consumo horário /volume (kWh/m³) versus vazão (m³/s)**



**FIG 5- Gráfico da Potência ativa em função da vazão**



**FIG 6-Gráfico da perda de carga localizada em função da vazão**



**FIG 7- Gráfico do Coeficiente de perda de carga localizada em função do número de Reynolds**

#### 4. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Optou-se por um período de medição de vários dias para se obter uma faixa de vazão de maior variação, trabalhando portanto numa faixa maior do número de Reynolds. A fim de representar a economia de custo da energia elétrica gasto na escolha da instalação com uma válvula esfera ou uma válvula borboleta, optou-se por usar os valores do custo da energia elétrica / kWh nos horários de ponta e fora de ponta. Considerando o custo do kWh conforme a tabela de preços da CEMIG e os valores de contrato de fornecimento de energia para a COPASA os valores empregados foram os seguintes:

- ✓ Horário fora de ponta: R\$ 0,1716/kWh;
- ✓ Horário de ponta: R\$ 0,2683/kWh.

Esses valores foram extraídos de uma fatura mensal de energia elétrica referente a julho de 2010. Nessa fatura os custos de energia em horário de ponta foram calculados dividindo-se o valor do consumo faturado pelo consumo faturado (kWh), ou seja:

Custo da energia no horário fora de ponta= R\$ 79.882,35 / 465.500=R\$ 0,1716/kWh.

Custo da energia no horário de ponta= R\$ 7888,47 / 29.400=R\$ 0,2683/kWh.

Para uma melhor visualização do comportamento das válvulas na instalação, no gráfico da Figura 4 referente ao **consumo horário / volume em função da vazão**, foram ajustadas as equações das curvas do **consumo horário / volume em função da vazão** cujas equações encontram-se abaixo:

Para válvula borboleta a equação é:

$$CH = -0,066232 \ln(Q) + 0,097130 \quad (7)$$

Para válvula esfera a equação é:

$$CH = -0,064038 \ln(Q) + 0,091130 \quad (8)$$

onde :

CH é o consumo horário em (kWh/m<sup>3</sup>)

Q é a vazão em m<sup>3</sup>/s.

A partir dessas equações e utilizando-se os resultados referentes a dez dias de aquisição, cujo valor da vazão média é igual a 1,294 m<sup>3</sup>/s que corresponde a uma vazão de 4.659,9 m<sup>3</sup>/h, substituiu-se essa vazão média de 4.659,9 m<sup>3</sup>/h nas equações (7) para a válvula borboleta e equação (8) para a válvula esfera resultando portanto o consumo horário para cada tipo de válvula, tabela 1- :

**Tabela 1- Consumo horário para cada tipo de válvula**

<b>Tipo de Válvula</b>	<b>Consumo horário (kWh/m<sup>3</sup>)</b>
BORBOLETA	0,080
ESFERA	0,0746

Os custos da energia elétrica foi adotado conforme tabela 2 abaixo:

**Tabela 2- Custo do kWh**

Horário de ponta	R\$ 0,2683
Horário fora de ponta	R\$ 0,1716

## ESTIMATIVA DO CUSTO MENSAL::

**Tabela 3- Quantidade de horas no mês**

<u>Horas no mês</u>	<u>De ponta</u>	<u>Fora de ponta</u>
<u>8 dias fins de semana</u>		<u>192</u>
<u>22 dias</u>	<u>66</u>	<u>462</u>
<u>Total (h)</u>	<u>66</u>	<u>654</u>

**Tabela 4- Custo total mensal da energia elétrica para cada tipo de válvula**

Valor em R\$	De ponta	Fora de ponta	Total
Borboleta	6.604,49	41.857,13	48.461,62
Esfera	6.151,10	39.015,42	45.171,52

Através da tabela 4 podemos concluir que o custo mensal da energia elétrica na instalação com uma válvula borboleta é igual a R\$ 48.461,62 e o custo mensal da instalação com uma válvula esfera é igual a R\$ 45.171,52 representando uma diferença de 6,8%. Se a instalação funcionar um mês com a válvula esfera ao invés da válvula borboleta haverá uma economia no custo da energia elétrica de R\$ 3.290,10 e representando essa economia ao longo do período de um ano, o custo da energia elétrica é de R\$ 39.481,08. Na Estação Elevatória São Lucas Sul existem 6 conjuntos moto bombas. Essa economia no custo da energia elétrica refere-se a somente um conjunto moto bomba, o denominado conjunto nº 2, e comparando-se essas duas válvulas com as características hidráulicas obtidas no gráfico 4, ou seja, para as válvulas totalmente abertas, os valores dos coeficientes de perda de carga localizadas médios são iguais a:

**K médio da válvula borboleta = 0,8453**

**K médio da válvula esfera = 0,5409**

No gráfico da Figura 6 representado pela curva da perda de carga em função da vazão, observa-se uma perda de carga maior na válvula borboleta, do que na válvula esfera.

No gráfico da Figura 7 representado pelo coeficiente de perda de carga localizado (K) em função do número de Reynolds, conclui-se, que para essas válvulas borboleta e esfera totalmente abertas os valores médios dos coeficientes são iguais a 0,8453 e 0,5409 respectivamente. Há de se levar em conta que, de acordo com as Leis de

Semelhança todas as válvulas geometricamente semelhantes terão esse mesmo coeficiente.

## 5 RECOMENDAÇÕES

Com a utilização de válvulas de esferas em substituição às válvulas borboletas no recalque de conjuntos moto bombas, principalmente em diâmetros acima de 500 mm, tem-se a perspectiva de se obter ganhos mais significativos, obtendo-se um melhor rendimento energético da instalação. Porém, antes de se tomar a decisão da instalação de válvulas de esfera em substituição às válvulas borboletas em unidades de bombeamento existentes deve-se fazer uma análise prévia, considerando:

- ✓ O tempo de funcionamento da unidade de bombeamento.
- ✓ A avaliação da curva característica da bomba, se a diferença entre a perda de carga da válvula borboleta e da válvula de esfera resultará em algum impacto positivo no aumento de vazão e no consumo de energia elétrica, pois dependendo do ponto em que estiver operando, esta diferença de perda de carga poderá deslocar o ponto de operação da bomba para um de menor rendimento.
- ✓ A avaliação do espaço físico existente da unidade de bombeamento para se substituir a válvula borboleta pela válvula de esfera, pois no caso do teste realizado (diâmetro 500 mm) o face a face da válvula de esfera foi 3,15 vezes maior que o face a face da válvula borboleta.

Porém quando se tratar de uma unidade de bombeamento nova, na fase de projeto já se deve considerar a utilização de válvulas de esfera, com isto poderá se prever espaço físico suficiente para a instalação da válvula de esfera, e, especificar um conjunto moto bomba que melhor atenderá ao ponto de operação.

## 6 BIBLIOGRAFIA

AZEVEDO NETO, J. M. **Manual de hidráulica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1997. 669 p

**FUNDAÇÃO DE ESTUDOS E PESQUISAS AQUÁTICAS- FUNDESPA-**: Levantamento do comportamento energético de uma válvula borboleta e de uma válvula esfera, ambas de diâmetro de 50 mm, instaladas na Elevatória S.Lucas Sul, em Belo Horizonte- MG: FUNDESPA, setembro de 2011. 96p. Relatório final, revisão 1.

LUCCA, Y.F.L **A escolha de válvula de retenção para instalações de recalque de baixa altura manométrica.** Tese apresentada a EPUSP, para a obtenção do título de Doutor em Engenharia. São Paulo, 1998. 164p.

LEMOS, YVONE DE FARIA. **Válvula para dissipação de energia e controle: aplicação em instalações hidráulicas.** Dissertação apresentada a EPUSP, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia. São Paulo, 1986, 128p.

MILLER, W.R. **Flow measurement engineering handbook.** 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1996. 1168 p.