

ESTUDO DE CASO COM FOCO NA REDUÇÃO DE PERDA DE CARGA, UTILIZANDO TÉCNICAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM GANHOS OPERACIONAIS PARA EMPRESAS DE SANEAMENTO

Victor Rezende dos Santos ⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Elétrica - Sistema de Potência pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e estagiário pela Companhia de Saneamento Municipal (CESAMA).

Endereço ⁽¹⁾: Rua José Loures Valle, 461 - Aeroporto - Juiz de Fora - MG - CEP: 36038-302 - Brasil - Tel: (32) 99125-7568- e-mail: victor.rezende@engenharia.ufjf.br ,

Sérgio Queiroz de Almeida ⁽²⁾

Mestre em Engenharia Elétrica – Instrumentação e Controle pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Pós graduado em Gestão de Projetos pela PUC/MG, Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e Gerente de Automação e Eficiência Energética da Companhia Municipal de Saneamento (CESAMA).

Endereço ⁽²⁾: Rua Olímpio Reis, 521/1100 - Santa Helena – Juiz de Fora/MG – CEP:36.015-170
98420-5465. e-mail: squeirozjf@gmail.com

Tel:(32)

RESUMO

O presente trabalho descreve um estudo de caso, feito internamente, que gerará uma grande economia de energia elétrica, além de outros benefícios, na unidade elevadora de água Cesário Alvim na Companhia de Saneamento Municipal CESAMA no município de Juiz de Fora – MG e tem como finalidade demonstrar os ganhos operacionais e energéticos, através de uma análise técnica das condições atuais de operação da unidade, calculando as perdas de carga e o ponto de operação, além de enfatizar o efeito do envelhecimento da tubulação que resulta em alterações na vazão e potência requerida da bomba.

Com isso, calculou-se o impacto de uma nova tubulação, bem como o dimensionamento do novo conjunto motobomba. Por fim, mostraram-se, de forma objetiva, os potenciais pontos de eficiência energética e melhoria operacional para o sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Economia de Energia, Eficiência Energética, Melhoria Operacional.

INTRODUÇÃO

Atualmente a energia elétrica representa, para a grande parte das companhias de saneamento, a segunda maior despesa, perdendo somente para a folha de pagamento de seus colaboradores. Dessa maneira, sistemas de captação, tratamento, elevatórias, boosters, demanda um consumo significativo de energia elétrica. Portanto, projetos propondo inovações ou, até mesmo, modificações nas operações das cargas elétricas são imperiosos e pertinentes dentro deste tema.

Dessa forma, a Companhia de Saneamento Municipal - Cesama vem buscando continuamente ganhos energéticos e operacional para o sistema. Muitas estações de tratamento de água brasileiras encontram-se ou trabalhando acima de sua capacidade ou produzindo água com qualidade insatisfatória. Procurando suprir a demanda sempre crescente de água, mantendo sua qualidade, defronta-se com a escassez de recursos.

A partir de tal constatação, faz-se necessário que se investiguem em laboratório novas tecnologias, que permitam estudar as inúmeras possibilidades de se obter água em quantidade mantendo a qualidade e custos baixos.

MATERIAIS E MÉTODOS

- Em um primeiro caso, é de extrema importância que um projeto de eficiência energética para saneamento básico deve sempre pautar a utilização de: motores e bombas de alto rendimento, menor perda de carga possível, excelente dimensionamento dos equipamentos, automação, telemetria e telecomando. Nessa esfera, foram retirados através do trecho da Figura 1 e Figura 2 os seguintes dados:
- Vazão solicitada: 90m³/h - 25L/s;
- Comprimento da tubulação: 700m;
- Tubo de recalque: 100 mm tipo ferro fundido;
- Cota Topográfica elevatória: 690m;
- Cota topográfica do reservatório mais altura da água ao topo: 764m;
- Motor instalado de 50 cv com eficiência de 93%;
- Bomba 3 DBE 103 operando com 3560 RPM e rotor de 9.10”;
- Pressão que chega à sucção para o pior caso 27 mca

Com essas informações, utilizou-se a fórmula de Hazen Williams para determinar a perda de carga e achar a altura manométrica necessária. Logo em seguida, utilizaremos a curva do sistema para dimensionar o ponto de operação da unidade. Na próxima etapa, demonstrar-se a curva da bomba e os dados plotados.

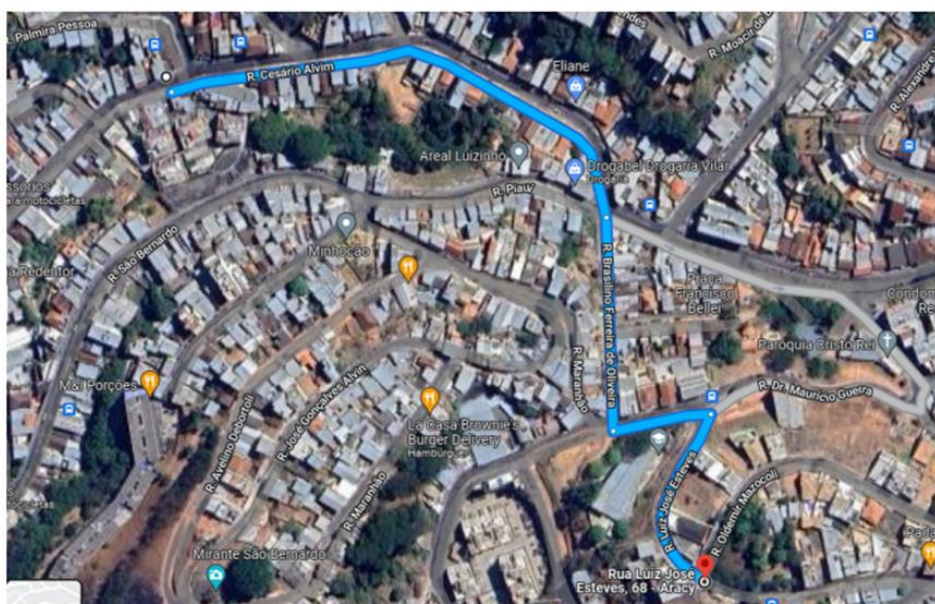


Figura 1: Localização da unidade em estudo.



Figura 2: Cota topográfica da unidade e cota topográfica do reservatório.

PRIMEIRA ETAPA: DETERMINAÇÃO DA AULTURA MANOMÉTRICA (H_m) E PERDA DE CARGA, CONSIDERANDO UMA NOVA TUBULAÇÃO COM MESMO DIÂMETRO E MATERIAL

Para que a bomba seja bem dimensionada precisamos calcular a altura manométrica do sistema, isso significa que a bomba precisa de tal energia para vencer o desnível topográfico mais a perda de carga. Com isso, utilizaremos a equação (1):

$$H_m = H_G + h_t = (H_s + h_{ts}) + (H_r + h_{tr}) \quad \text{equação (1)}$$

Entretanto, vale destacar que o termo referente a sucção (s) é medido através de manômetro e o menor valor medido foi de 27 mca. Por fim, precisamos, então, definir qual é o desnível entre os terrenos e qual é a perda de carga no recalque através da equação (2)

- Cálculo de h_{tr}

$$h = \frac{10.646 \cdot Q^{1,852} \cdot L}{C^{1,852} \cdot D^{4,87}} \quad \text{equação (2)}$$

- L = Comprimento (metros)
- D = Diâmetro (metros)
- C = Coeficiente C que depende da rugosidade e o tempo da tubulação
- Q = Vazão (m^3/s)

Dessa forma, a maioria dos dados da fórmula de Hazen Williams já temos, devido à coleta de dados da unidade. Contudo, o coeficiente C é determinado através de uma tabela (Figura 3).

Valor do coeficiente C para a fórmula de Hazen-Williams			
TUBOS	NOVOS	USADOS ± 10 ANOS	USADOS ± 20 ANOS
Aço corrugado (chapa ondulada)	60	-	-
Aço galvanizado rosado	125	100	-
Aço rebitado, novos	110	90	80
Aço soldado, comum (revestimento betuminoso)	125	110	90
Aço soldado com revestimento epóxico	140	130	115
Chumbo	130	120	120
Cimento-amianto	140	130	120
Cobre	140	135	130
Concreto, bom acabamento	130	-	-
Concreto acabamento comum	130	120	110
Ferro fundido, revestimento epóxico	140	130	120
Ferro fundido, revestimento de argamassa de cimento	130	120	105
Grés cerâmico, vidrado (manilhas)	110	110	110
Latão	130	130	130
Madeira, em aduelas	120	120	110
Tijolos, condutos bem executados	100	95	90
Vidro	140	-	-
Plástico (PVC)	140	135	130

Figura 3: Tabela de coeficiente C.

Como o material é de ferro fundido, podemos notar que o seu coeficiente C, pela figura 3, tem o valor de 140. Assim, com este último valor, podemos calcular a perda de carga no recalque e, finalmente, a altura manométrica (H_m), usufruindo das equações (3), (4) e (5).

$$h_{tr} = \frac{10.646 \cdot Q^{1,852} \cdot L}{C^{1,852} \cdot D^{4,87}} = \frac{10.646 \cdot 0,025^{1,852} \cdot 700}{140^{1,852} \cdot 0,1^{4,87}} = 63,17 \text{ m}$$

$$Desnível = 764 - 690 = 74m$$

equação (3)

equação (4)

$$Hm = -27 + 74 + 63 = 110m$$

equação (5)

Dessa forma, temos o ponto de projeto (PP) de:

- $Hm = 110m$;
- $Q = 25 \text{ L/s}$ ou $90 \text{ m}^3/\text{h}$

Neste contexto, precisamos definir qual vai ser a curva do sistema, bem como traçar esta curva no gráfico da bomba 3 DBE 103.

- Curva do sistema:

Para isso, vamos utilizar a fórmula de Hazen Williams, equação (6), para determinar a curva do sistema, onde essa curva consiste em encontrar a diferença entre a cota topográfica do terreno e somar com as contribuições das perdas de carga para cada vazão sugerida.

$$Hm = H_G + K' \cdot Q^{1,852}$$

equação (6)

1. Q em m^3/h
2. H em metros

Então, é preciso substituir o ponto de projeto nesta equação para determinar K' . Além disso, vale destacar que H_G será a diferença entre as cotas, subtraindo à pressão que chega na bomba dado pelas equações (7), (8) e (9)

$$H_G = 764 - 690 - 27 = 47m$$

equação (7)

Portanto:

$$110 = 47 + K' \cdot 90^{1,852}$$

equação (8)

$$K' = 0,015$$

equação (9)

E a equação do sistema, equação (10), torna-se:

$$Hm = 47 + 0,015 \cdot Q^{1,852}$$

equação (10)

Por fim, temos a Tabela 1 de Hm para cada vazão e a plotagem destes pontos na curva da bomba.

Tabela 1: Tabela para plotagem do gráfico da curva do sistema (tubulação nova de 100mm e $C=140$).

$Q(\text{m}^3/\text{h})$	0	25	50	75	100	125	150
$H_m \text{ (m)}$	47	52,82	68,01	91,53	122,87	161,701	207,77

- Ponto de operação (PO)

1. $H_m = 108\text{m}$;
2. $Q = 87,5 \text{ m}^3/\text{h}$;
3. Eficiência da bomba 68,5%

- Potência necessária do motor (P_m) através da equação (11) e a plotagem dos dados da Tabela 1 na Figura 4.

$$P_m = \frac{1000 \cdot Q \cdot H}{75 \cdot \eta_b} = \frac{1000 \cdot 87,5 \cdot 108}{3600 \cdot 75 \cdot 0,685} = 51,09 \text{ cv}$$

equação (11)

1. Q em m^3/s
2. H em metros
3. P_m em cv

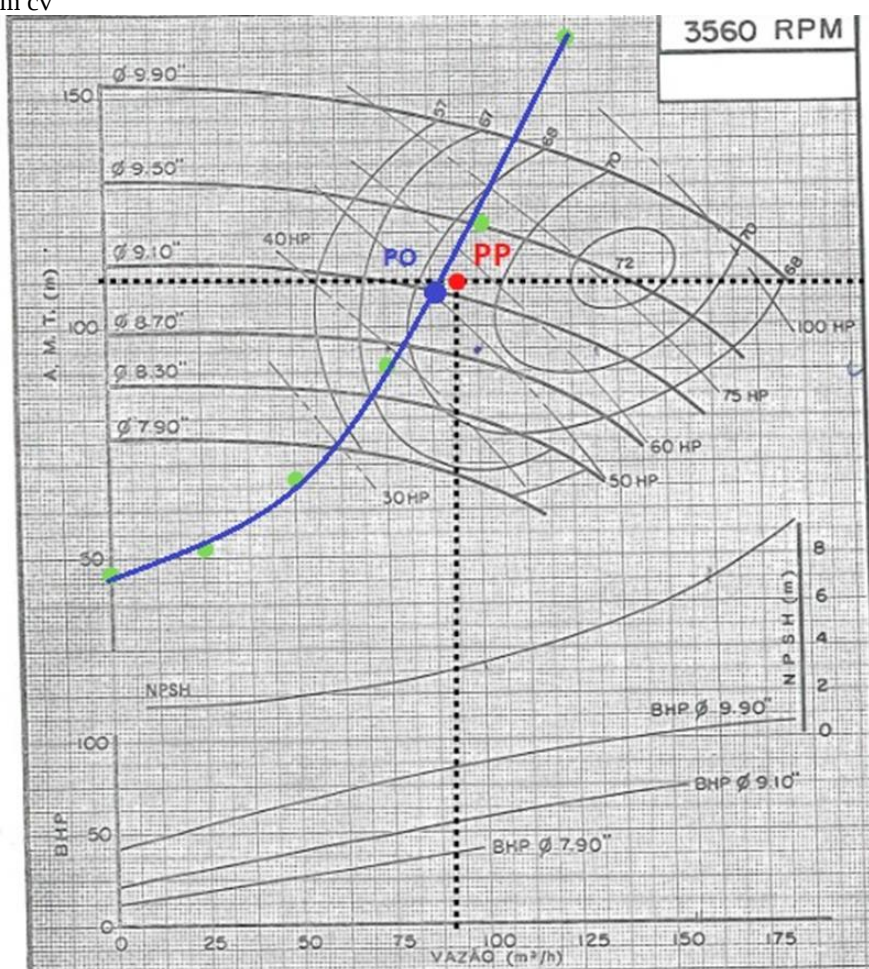


Figura 4: Curva do sistema para uma tubulação nova de 100mm e $C=140$.

SEGUNDA ETAPA: EFEITO DO ENVELHECIMENTO DA TUBULAÇÃO

Sabendo que nessa instalação tem mais de 15 anos, existe uma alteração nas suas características de funcionamento, como a mudança da altura manométrica para atender a mesma demanda de vazão, ou até mesmo, a diminuição da vazão. Dessa forma, o coeficiente C está diretamente ligado ao envelhecimento da adutora,

sofrendo alterações com o passar do tempo, vale lembrar que esta alteração depende do tipo do material entre outros fatores.

Portanto, com base na Figura 3, podemos considerar que a tubulação de ferro fundido tem o coeficiente $C = 120$. Com isso, vamos refazer todas as contas que foram feitas anteriormente para a tubulação nova e demonstrar os impactos.

- Ponto de projeto (Tubulação Atual)

Primeiramente, a vazão vai continuar a mesma comparada com a tubulação nova, com o valor de $90 \text{ m}^3/\text{h}$ e diâmetro ainda é 100 mm . Entretanto, a altura manométrica de 110 m não vai ser a mesma para a tubulação envelhecida, a seguir vamos calcular, com ajuda das equações (12), (13), (14), (15), (16), (17) e (18), qual é a nova altura manométrica.

- Perda de carga (Tubulação Atual)

$$h_{tr} = \frac{10,646 \cdot Q^{1,852} \cdot L}{C^{1,852} \cdot D^{4,87}} = \frac{10,646 \cdot 0,025^{1,852} \cdot 700}{120^{1,852} \cdot 0,1^{4,87}} = 84 \text{ m}$$

equação (12)

- Altura manométrica (Tubulação Atual)

$$Hm = -27 + 74 + 84 = 131 \text{ m}$$

equação (13)

- Ponto de projeto (PO)

1. $Q = 90 \text{ m}^3/\text{h}$
2. $Hm = 131 \text{ m}$

- Curva do sistema

$$Hm = Hg + K' \cdot Q^{1,852}$$

equação (14)

$$131 = 47 + K' \cdot 90^{1,852}$$

equação (15)

$$K' = 0,020$$

equação (16)

A equação do sistema torna-se:

$$Hm = 47 + 0,020 \cdot Q^{1,852}$$

equação (17)

Por fim, temos a Tabela 2 de Hm para cada vazão, bem como a plotagem desses pontos na curva da bomba da Figura 5.

Tabela 2: Tabela para plotagem do gráfico da curva do sistema (tubulação atual de 100 mm e $C=120$).

$Q(\text{m}^3/\text{h})$	0	25	50	75	100	125	150
$Hm \text{ (m)}$	47	54,76	75,02	106,38	148,16	199,93	261,36

1. PP1 = Ponto de projeto para tubulação nova (C = 140)
2. PO1 = Ponto de operação para tubulação nova (C = 140)
3. PP2 = Ponto de projeto para tubulação atual (C = 120)
4. PO2 = Ponto de operação para tubulação atual (C = 120)

- Ponto de operação atual

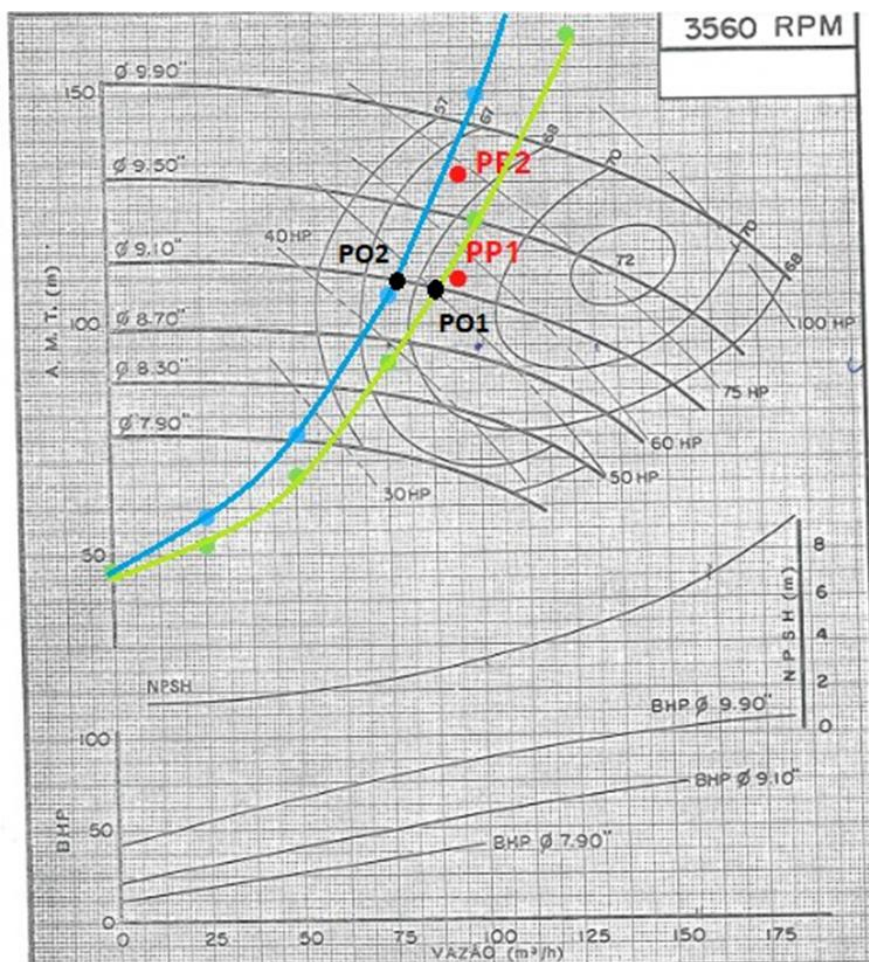


Figura 5: Curva do sistema com a tubulação nova de 100mm e C=140 e curva do sistema com tubulação atual de 100mm e C=120.

1. $H_m = 110\text{m}$
2. $Q = 78\text{m}^3/\text{h}$
3. Eficiência da bomba 67,5%

Podemos comparar esses valores, e há uma diferença na vazão a ser entregue para o reservatório de $87,5\text{ m}^3/\text{h}$ para $78\text{ m}^3/\text{h}$.

- Potência necessária do motor atual P_m , equação(18).

$$P_m = \frac{1000 \cdot Q \cdot H}{75 \cdot \eta_b} = \frac{1000 \cdot 78 \cdot 110}{3600 \cdot 75 \cdot 0,675} = 47,07 \text{ cv}$$

equação (18)

RESULTADOS DA PRIMEIRA E SEGUNDA ETAPA

Para calcular o consumo de energia elétrica e o custo desta energia, recorrendo das equações (19), (20) e (21), precisamos estabelecer qual é a potência que o conjunto motobomba demanda da concessionária de energia elétrica. Dessa maneira, a eficiência do motor é de 93%, o motor que temos instalado é de 50 cv.

$$P = \frac{\text{Potência Mecânica (cv)}}{\text{Eficiência do motor}} = \frac{36,7749}{0,93} = 39,54 \text{ kW}$$

equação (19)

Considerando que a unidade funcione 30 dias por mês e 24 horas por dia, conseguimos calcular qual é a energia gasta nesse intervalo de tempo.

$$E = P \cdot t = 39,54 \cdot 24 \cdot 30 = 28.468,8 \text{ kWh}$$

equação (20)

Sabendo que o preço médio do kWh desta unidade é de 83 centavos, temos:

$$\text{Custo de energia} = 28.468 \cdot 0,83 = \text{R\$ } 23.628$$

equação (21)

TERCEIRA ETAPA: PROJETO PARA UMA TUBULAÇÃO NOVA E CONJUNTO MOTOBOMBA

Visando ainda atender a demanda de vazão solicitada de 90 m³/h, porém fazendo um estudo sobre os impactos da troca da tubulação, demonstraremos tais resultados e as medidas que precisam ser feitas para alcançar a eficiência energética

Ademais, o estudo utilizará um novo diâmetro de 150 mm e a mudança do material de ferro fundido para outro, como o PVC (C = 140) ou PVC rígido, esta mudança de material afeta diretamente no coeficiente C, pois os novos materiais não variam tanto esse valor como o de ferro fundido. Para o cálculo final da altura manométrica vamos dispor das equações (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), e plotar os dados obtidos da Tabela 3 na Figura 6.

- Nova Altura manométrica para tubulação de 150mm

O Coeficiente C para o material solicitado de acordo com a figura 1 será de 140 com diâmetro de 150mm.

- Perda de carga

$$h_{tr} = \frac{10,646 \cdot Q^{1,852} \cdot L}{C^{1,852} \cdot D^{4,87}} = \frac{10,646 \cdot 0,025^{1,852} \cdot 700}{140^{1,852} \cdot 0,15^{4,87}} = 8,7 \text{ m}$$

equação (22)

- Altura manométrica

$$Hm = -27 + 74 + 8,7 = 56 \text{ m}$$

equação (23)

- Ponto de projeto (PP)

1. Q = 90 m³/h

2. $H_m = 56 \text{ m}$

- Curva do sistema

$$H_m = H_g + K' \cdot Q^{1,852}$$

equação (24)

$$56 = 47 + K' \cdot 90^{1,852}$$

equação (25)

$$K' = 0,0021$$

equação (26)

$$H_m = 47 + 0,0021 \cdot Q^{1,852}$$

equação (27)

Tabela 3: Tabela para plotagem do gráfico da curva do sistema (tubulação nova de 150mm e C=140).

Q(m³/h)	0	20	40	60	80	100	120
Hm (m)	47	47,53	48,94	51,12	54,02	57,62	61,88

Devido às características do ponto de projeto, a bomba da KSB megablock 50-160 de 3500 rpm, atendeu, de forma eficiente, estes pontos.

- Ponto de operação
 1. $Q = 87 \text{ m}^3/\text{h}$
 2. $H_m = 55 \text{ m}$
 3. Eficiência da bomba 79%

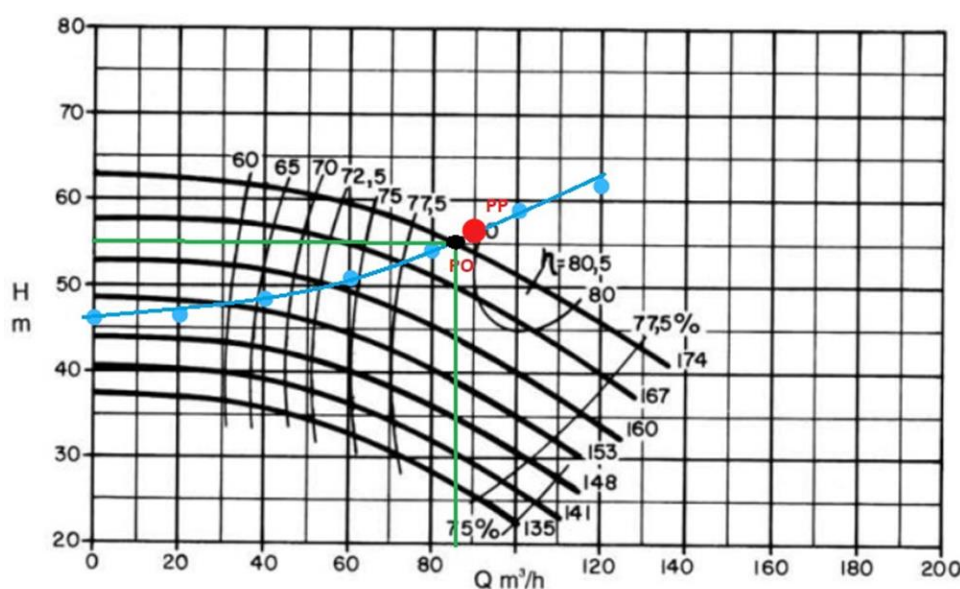


Figura 6: Curva do sistema para uma nova tubulação de 150mm.

- Potência necessária do motor

$$P_m = \frac{1000 \cdot Q \cdot H}{75 \cdot \eta_b} = \frac{1000 \cdot 87 \cdot 55}{3600 \cdot 75 \cdot 0,79} = 22,43 \text{ cv}$$

equação (28)

Considerando 10% a mais, precisamos de um motor de 25 cv.

RESULTADOS DA TERCEIRA ETAPA

Para calcular o consumo de energia elétrica, precisamos estabelecer qual é a potência que o conjunto motobomba demanda da concessionária de energia elétrica. Dessa maneira, a eficiência do motor é de 0,915, o motor que temos instalado é de 25 cv. Equações (29), (30) e (31).

$$P = \frac{\text{Potência mecânica}}{\text{Eficiência do motor}} = \frac{18,38}{0,915} = 20,08 \text{ kW}$$

equação (29)

Considerando que a unidade funcione 30 dias por mês e 24 horas por dia, conseguimos calcular qual é a energia gasta nesse intervalo de tempo.

$$E = P \cdot t = 20,08 \cdot 24 \cdot 30 = 14,462,95 \text{ kWh}$$

equação (30)

Sabendo que o preço médio do kWh é de 83 centavos temos:

$$\text{Custo de energia} = 14,462 \cdot 0,83 = \text{R\$}12.002,24$$

equação (31)

QUARTA ETAPA: ANÁLISE DE INVESTIMENTO SIMPLES

É imperioso lembrar, que o custo de investimento de um projeto, implica diretamente na sua execução ou não. Com base nesse critério, foi determinado através da equação (32), de forma simples, um retorno financeiro, em anos, para o projeto estudado.

- Custo da implementação do projeto: R\$ 521.000,00
- Custo na compra de 2 conjuntos motobomba: R\$ 51.500,00
- Consumo de energia médio mensal: 21,741 kWh
- Preço do kWh = R\$ 0,83
- Economia de energia :55%
- Economia gerada por mês: R\$ 9924,76

$$\text{Payback} = \frac{572.150}{9924,75} = 58 \text{ meses} = 4,8 \text{ anos.}$$

equação (32)

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A porcentagem de economia, dada pela equação (33):

$$\text{Porcentagem de economia} = \frac{\text{Consumo Futuro}}{\text{Consumo Atual}} = \frac{12.002}{23.628} = 50\%$$

equação (33)

Isso representa que para toda fatura de energia elétrica no mês, vamos economizar 50% de energia, logo 50% a menos no valor da fatura. Além disso, está economia pode chegar a valores maiores, pois a vazão atual está em

torno de $78 \text{ m}^3/\text{h}$ e passará para $87 \text{ m}^3/\text{h}$, desta forma o reservatório demorará menos tempo para encher e o conjunto motobomba vai operar por menos tempo. Com esse ganho operacional, estimou que a economia possa chegar a valores de 55% de redução na fatura mensal.

Portanto, com base em tudo que foi mostrado ao longo desse trabalho, conseguimos ver os impactos do envelhecimento da tubulação e da troca do diâmetro da mesma, além dos ganhos financeiros e operacionais. Assim, para a execução do projeto é necessário tomar algumas medidas tais como: trocar a tubulação de 100mm para 150mm, comprar um motor de 25cv com eficiência igual ou superior a 93% e uma bomba da ksb 150 – 160 3500 rpm. Por fim, o recurso financeiro economizado poderá ser investido em novos projetos de eficiência energética da companhia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GOMES, H. Sistema de Bombeamento - Eficiência Energética. João Pessoa. 2009. Editora Universitária da UFPB.
2. PIMENTEL, H.; CARVALHO, P. Manual de Bombeamento. João Pessoa. 2012. Editora Universitária da UFPB.