

XI-098 - OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS COM O INSUMO ENERGIA ELÉTRICA EM UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA COM A UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA SOLVER

Milton Tavares de Melo Neto⁽¹⁾

Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Mestre em Engenharia Elétrica pela UFPE e Doutor em Engenharia Elétrica também pela UFPE. Especialista em Eficiência Energética da Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA.

Hudson Tiago dos Santos Pedrosa⁽²⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Mestre em Recursos Hídricos e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (PPGEC/UFPE). Analista de Saneamento da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).

Luis Henrique Pereira da Silva⁽³⁾

Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Mestre em Tecnologia da Energia pela Escola de Politécnica de Pernambuco - POLI/UPE. Coordenador de Eficiência Energética da COMPESA.

Karlos Eduardo Arcanjo da Cruz⁽⁴⁾

Engenheiro Eletricista pela UFPE. Mestre em Economia pela UFPE e Doutor em Economia também pela UFPE. Coordenado da Manutenção Elétrica da COMPESA.

Endereço⁽¹⁾: Av. Cruz Cabugá, 1387 - Santo Amaro - Recife – PE – CEP: Brasil – Tel: (81) 3412-9731 - e-mail: miltontavares@compesa.com.br

RESUMO

O Sistema Botafogo produz, aproximadamente, 17% do volume distribuído na Região Metropolitana do Recife, abrangendo Igarassu (parcialmente), Cruz de Rebouças, Abreu e Lima, Paulista, Praias da Zona Norte e Olinda (9 subsistemas). Atualmente o sistema é composto pelos seguintes mananciais: Rio Catucá (Barragem de Botafogo), Cumbe, Pilão (desativada), Tabatinga, Conga, Arataca/Jardim e ainda os Rios Pitanga e Utinga (Monjope).

As captações da EEAB Arataca e EEAB Cumbe têm como destino o poço de sucção da barragem de Catucá, no qual se junta a contribuição da própria barragem para só depois serem bombeadas para a ETA Botafogo. As demais captações têm como destino direto a ETA Botafogo.

Como pode ser visto na Figura 1, trata-se de um sistema integrado, dependente da captação em seis, cada um deles com características distintas como alturas manométricas e capacidades. A fatura total de energia das unidades, considerando as vazões registradas, pode variar de R\$ 1.080.00,00 a R\$ 1.220.000,00 mensalmente. Esse artigo detalha o estudo que investigou um arranjo operacional ótimo objetivando a minimização dos custos energéticos das estações elevatórias de água bruta de um sistema, priorizando a captação de água em unidades mais próximas e com menores alturas manométricas a serem vencidas, realizando um controle das vazões das unidades.

PALAVRAS-CHAVE: Otimização, Energia, Custo, SAA.

INTRODUÇÃO

O insumo energia elétrica é bastante significativo para as companhias de saneamento. No Brasil, quase a totalidade dessas companhias (98%), tem entre seus três maiores custos, as despesas com energia elétrica (GOMES, 2010). De acordo com os dados divulgados pelo Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS), em 2014 estas empresas gastaram R\$ 5,1 bilhões com energia elétrica e foram responsáveis pelo consumo de aproximadamente 2,5% de toda a energia elétrica demandada do país, o que representa cerca de 11,95 bilhões de kWh.ano-1 (BRASIL, 2016).

A necessidade de se identificar o melhor arranjo operacional, com vistas a atenuar o consumo de energia elétrica tem sido uma preocupação constante entre as empresas prestadoras de serviços públicos de água e esgotamento sanitário, sejam elas pequenas ou grandes corporações. A elevação dos custos de produção

elétrica é uma tendência irreversível face ao esgotamento dos recursos naturais de maior viabilidade econômica, sobretudo os hídricos. Outro aspecto importante é o incremento de demanda de água e esgoto no setor de saneamento, criação de novos sistemas, etc. Dessa forma, mesmo com o subsídio de 15% aplicado pelas concessionárias de energia às tarifas, a tendência do setor de saneamento é a de operar com elevação do consumo de energia elétrica e, como consequência disso, aumento de custos.

A energia elétrica é necessária para transportar a água através dos sistemas, por isto, tão importante quanto as medidas de diminuição do consumo de água, são as ações no processo de melhoria dos sistemas (GOMES, 2005). Logo, implantações de programas e medidas que reduzam o consumo de energia são de suma importância para a saúde financeira das empresas concessionárias de água e esgoto.

Segundo Marques, Haddad e Guardia (2007), não basta a implantação de ações, sejam elas administrativas, sejam operacionais, como proposto por Tsutiya (2001); tornam-se necessários a definição de metas e responsáveis e efetivos acompanhamentos de acordo com um programa de gestão energética.

Em sistemas de abastecimento de água, observa-se em muitos momentos a falta de critérios para a operação de estações elevatórias, ou de critérios errôneos, pois a identificação da operação ótima é uma análise multicritério em que o controle de vazão, a perda de carga das tubulações, a curva do sistema, a potência e o rendimento dos motores, e o arranjo operacional das unidades devem ser considerados para se defini-la com objetivos de se minimizar os custos com energia elétrica.

A utilização de softwares como ferramentas na gestão operacional de sistemas de água tem se tornado cada vez mais frequente, visto que os mesmos nos fornecem uma visão sistêmica do abastecimento de água e o acompanhamento contínuo dos parâmetros hidráulicos.

Dessa forma, o presente estudo apresenta uma plataforma para a otimização visando determinar a operação ótima para um sistema de abastecimento de água no decorrer das 24 horas do dia, de forma a minimizar os custos de energia elétrica nas estações elevatórias.

O estudo foi aplicado no sistema integrado Botafogo (Figura 1) que depende da captação em seis unidades elevatórias de água bruta com características distintas operacionais tanto em alturas manométricas, como em capacidade de produção. O objetivo foi identificar o arranjo operacional ótimo no sentido de minimizar o custo da fatura mensal.



Figura 1: Visão geral do sistema Botafogo - Verde: Água Bruta e Azul: Água Tratada (Fonte: Próprio Autor).

SISTEMÁTICA OPERACIONAL DO SISTEMA BOTAFOGO

O sistema Botafogo, necessita de vazão mínima instantânea de 1200 l/s na chegada da ETA. Nas tabelas 1 e 2 é mostrado o histórico de vazões médias e máximas mensais, enquanto na tabela 3 é mostrado a relação entre os valores máximos e a média.

Tabela 1: Vazões médias mensais do sistema Botafogo

Mês	Monjope (L/s)	Conga (L/s)	Tabatinga (L/s)	Cumbe (L/s)	Arataca (L/s)	Catucá (L/s)	Barragem Catucá	Média
Abr	347,52	69,87	79,67	77,51	386,91	715,16	194,18	1.209,91
Mai	354,01	64,67	71,10	67,70	389,19	704,28	252,94	1.194,06
Jun	365,55	63,09	73,61	182,81	392,27	678,18	109,88	1.180,43
Jul	379,05	63,42	75,60	200,00	382,05	665,64	78,83	1.183,71
Ago	317,06	58,79	72,24	200,00	370,94	525,65	88,83	973,74
Set	281,28	59,54	73,89	200,00	397,08	756,89	159,54	1.171,61
Ou	263,93	52,93	66,81	200,00	399,11	786,03	186,90	1.169,70

Tabela 2: Vazões máximas mensais do sistema Botafogo

Mês	Monjope (L/s)	Conga (L/s)	Tabatinga (L/s)	Cumbe (L/s)	Arataca (L/s)	Catucá (L/s)	Barragem Catucá	Total
Abr	1547,57	77,00	88,00	180,00	450,00	750,00	729,00	2462,57
Mai	1003,07	73,00	80,00	133,63	401,00	890,00	618,54	2046,07
Jun	973,07	67,00	80,00	200,00	400,00	720,00	188,95	1840,07
Jul	424,19	65,00	77,00	200,00	400,00	1062,00	466,00	1628,19
Ago	386,04	65,00	76,00	200,00	407,00	900,00	310,00	1427,04
Set	382,80	65,00	77,00	200,00	405,04	946,00	350,00	1470,80
Ou	1020,98	60,00	77,00	200,00	403,00	924,00	334,00	2081,98

Tabela 3: Vazões relativas (média mensal pela máxima histórica) do sistema Botafogo

Mês	Monjope (L/s)	Conga (L/s)	Tabatinga (L/s)	Cumbe (L/s)	Arataca (L/s)	Catucá(L/s)	Barragem Catucá
Abr	22,5%	90,7%	90,5%	38,8%	86,0%	67,3%	26,6%
Mai	22,9%	84,0%	80,8%	33,9%	86,5%	66,3%	34,7%
Jun	23,6%	81,9%	83,6%	91,4%	87,2%	63,9%	15,1%
Jul	24,5%	82,4%	85,9%	100,0%	84,9%	62,7%	10,8%
Ago	20,5%	76,3%	82,1%	100,0%	82,4%	49,5%	12,2%
Set	18,2%	77,3%	84,0%	100,0%	88,2%	71,3%	21,9%
Ou	17,1%	68,7%	75,9%	100,0%	88,7%	74,0%	25,6%

Como pode ser visto, alguns mananciais possuem uma vazão de captação relativamente constante, enquanto outras têm suas vazões variando ao longo dos meses. Isso se deve, principalmente, a dependência das captações a incidência pluviométrica. Parte dessa dependência se deve a concepção de maioria das captações (Monjope, Conga, Tabatinga, Cumbe, Arataca) serem dependente de barragens de nível.

É possível concluir que raras as vezes as unidades atingem suas maiores vazões registradas. Ainda, infere-se que captações como Monjope, Cumbe e Barragem Catucá poderiam produzir mais se apenas considerarmos suas capacidades nominais. Ocorre que as particularidades de cada unidade impedem a exploração constante em suas vazões máximas.

DADOS DE PITOMETRIA

Uma das dificuldades encontradas seria uma maneira de atrelar volumes ou vazões captadas as respectivas faturas de energia de cada unidade. Assim, sabemos que a fatura de uma unidade que tarifa horo-sazonal pode ser dada por:

$$Fatura(R\$) = (TD_p \times P_p + TD_{fp} \times P_{fp}) + (TE_p \times h_p \times P_p + TE_{fp} \times h_{fp} \times P_{fp}) \quad (1)$$

Onde:

TD = Tarifa de Demanda na Ponta (p) e Fora Ponta (fp) TE = Tarifa de Energia na Ponta (p) e Fora Ponta (fp);
 P = Potência demandada na Ponta (p) e Fora Ponta (fp) h = Total de Horas de funcionamento no mês na Ponta (p) e Fora Ponta (fp);

Ao analisar-se os relatórios de pirometria realizados nas saídas das estações elevatórias, via-se que os mesmos registravam a corrente e tensão de cada conjunto. Ou, em unidades já automatizadas, tinha-se o registro da potência consumida para determinado ponto de operação (vazão e pressão). Assim, foi possível montar a seguinte tabela:

Tabela 4: Dados de Pitometria e potência.

Unidade	Ponto	Vazão (l/s)	Pressão (MCA)	Potência Total (kW)	Constante Proporcional (k) (Potência/Vazão)	(k) Adotado
EEAB Catuca	1	715,5	?	1.062,86	1,49	1,60
	2	928,1	80	1.627,27	1,75	
	3	1045	81,8	1.627,27	1,56	
Monjope	1	358,28	118	645,04	1,80	1,81
	2	359,38	120	617,00	1,72	
	3	362,97	122	645,04	1,78	
	4	180,105	?	350,57	1,95	
Arataca	1	398,4	98	719,36	1,81	1,81
Conga	1	55,89	?	114,73	2,05	2,05
Tabatinga	1	86,4	97,2	164,32	1,90	1,90
Cumbe	1	246,6	29,8	242,37	0,98	0,98

Sabe-se que a relação entre a potência solicitada pelo eixo da bomba e a vazão seria linear se não fosse:

1. a variação do rendimento do conjunto motobomba com a vazão:

$$P_{eixo} = \frac{Q \times H}{C \times \eta} \quad (2)$$

2. a variação da pressão em virtude da dependência da perda de carga na Tubulação com a vazão:

$$H = H_g + H_p \quad (3)$$

$$H_p = L \times \frac{10,66}{(D)^{4,87}} \times \left(\frac{Q}{c}\right)^{11,852} \quad (4)$$

Onde:

Q = Vazão;

H = Pressão (altura manométrica);

C = Constante (varia com as unidades utilizadas para vazão e pressão);

η = Rendimento do conjunto motobomba para o respectivo ponto de operação;

H_g = Altura geométrica;

H_p = Perda de Carga;

L = Comprimento da adutora;

D = Diâmetro da adutora;

c = Coeficiente de perda de carga;

Observando a tabela 4 com dados de pitometria, nas unidades em que se conseguiu mais de um ponto, percebe-se que a relação entre a vazão e potência pode ser adotada como linear, trazendo pouco prejuízo ao resultado final, para fins a que se destina o estudo.

Além disso, a adoção da linearidade entre a potência e a vazão poderia indicar vazões ótimas de captação que não poderiam ser adotadas na prática. Porém, essa metodologia poderia indicar que adequações na unidade para habilitar a vazão indicada. Sendo assim, a fatura de energia da Unidade poderia ser obtida pela fórmula.

$$Fatura(R\$)_i = (TD_p \times k_i \times Q_i + TD_{fp} \times k_i \times Q_i) + (TE_p \times h_p \times k_i \times Q_i + TE_{fp} \times h_{fp} \times k_i \times Q_i) \quad (5)$$

Onde:

i = Índice de indicação da unidade; k = Constante entre vazão e potência adotada para a unidade;

OTIMIZAÇÃO DE OPERAÇÃO

Ao fazer-se uma análise do sistema produto, inicialmente tinha-se a ideia de realizar a otimização considerando o volume total captado no período (mês). Ocorre que as captações possuem limitações específicas de vazão, o que traria a necessidade de atrelar a vazão, tempo de funcionamento e volume o que poderia mascarar o resultado.

Assim, optou-se por atrelar a otimização diretamente a vazão que a unidade seria capaz de produzir. Isso permitiu que, no caso de paralização de uma unidade, poder-se-ia refazer os cálculos desconsiderando essa unidade, encontrando um novo arranjo operacional ótimo.

Ao observar a equação da Fatura de energia, percebeu-se que poder-se-ia detalhar melhor a análise se fossem separadas as contribuições da fatura referente a ponta e fora ponta de forma separada.

$$Fatura(R\$)_i^{Ponta} = (TD_p \times k_i \times Q_i) + (TE_p \times h_p \times k_i \times Q_i) \quad (6)$$

$$Fatura(R\$)_i^{Fora\ Ponta} = (TD_{fp} \times k_i \times Q_i) + (TE_{fp} \times h_{fp} \times k_i \times Q_i) \quad (7)$$

Assim, poderia ser encontrada situações ótima de operação para as duas situações, as quais possuem tarifas distintas.

$$Função\ Minimizada = \sum_{i=1}^n Fatura(R\$)_i^{Ponta} \quad (8)$$

$$Função\ Minimizada = \sum_{i=1}^n Fatura(R\$)_i^{Fora\ Ponta} \quad (9)$$

Devido a configuração do sistema, a vazão da EEAB Catucá deve ser considerada como a soma da vazão da barragem (limitada pela sua capacidade sazonal), da EEAB Cumbe e da EEAB Arataca.

Os limites de cada captação foram estabelecidos com base no histórico de vazões, adotando-se conforme tabela 5.

Tabela 5: Limites de Vazões

Captações	Min	Máximo
Barragem	0	200
Catucá	0	1500
Monjope	0	400
Arataca	0	450
Conga	0	77
Tabatinga	0	88
Cumbe	0	200

RESULTADOS

Ao realizar-se a otimização, encontrou-se como configuração ótima os valores de vazões a serem retirados de cada manancial mostrados na tabela 6;

Tabela 6: Resultados

Unidade de Bombeamento	Vazões (l/s)	
	Antes	Depois
Catucá	653	435
Monjope	359	400
Arataca	386	35
Conga	64	77
Tabatinga	71	88
Cumbe	67	200
Energia (R\$/mês)	1.080.028,07	1.001.395,57

Percebe-se que a minimização dos custos de energia do sistema Botafogo, depende de duas grandes ações:

- Diminuição da captação da EEAB Arataca;
 - Trata-se da unidade mais distante e ainda dependente da EEAB Catucá para chegada na ETA (vide figura 1).
 - Pode Ser compensado pelo aumento de vazão na captação Cumbe;
- Priorização de bombeamento das unidades mais próximas a ETA e com menor altura manométrica (conforme tabela 4):
 - Monjope;
 - Conga;
 - Tabatinga;

Para o cenário estabelecido, poder-se-ia conseguir uma economia em torno de R\$ 79.000,00 reais mensais, modificando as preferências operacionais.

CONCLUSÕES

Com o passar do tempo, as decisões sobre o despacho operacional, muitas vezes tem como base a experiência dos colaboradores mais experientes, deixando um pouco de lado uma análise mais determinística.

O trabalho mostra que em sistema mais complexo, com várias unidades, a lógica do planejamento operacional precisa ser melhorada, invertendo a ordem de priorização: primeiro os dados precisam ser tratados em todo o seu contexto (disponibilidade hídrica e custos) para só então entrar a experiência.

Vale salientar que a metodologia reflete um cenário estático e precisaria ter seus dados de entrada sempre atualizados, principalmente quando a disponibilidade da unidade e a capacidade máxima de captação. Este último é muito importante, principalmente no caso do Sistema Botafogo, pois a maioria das captações são do tipo a fio d'água.

Outros trabalhos estão sendo desenvolvidos com a mesma metodologia, mas para outros sistemas levando em consideração outros custos, tais como produtos químicos. Nesse caso, nos deparamos com um sistema não linear, que varia de acordo com a qualidade de água dos mananciais, acarretando em uma análise matemática mais complexa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2014. Brasília: MCIDADES, 2016.
2. GOMES, H. P.. Eficiência Hidráulica e Energética em Saneamento: Análise Econômica de Projetos. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, Brasil, p.114, 2005
3. H. P. GOMES. Sistemas de Saneamento – Eficiência Energética. Editora Universitária, João Pessoa-PB, p.3, 2010. 1ª edição. 366p.
4. MARQUES, M.C.S.; HADDAD, J.; GUARDIA, E.C. (2007) Eficiência energética: teoria & prática. Itajubá: Fupai.
5. TSUTIYA, M.T. (2001) Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água. São Paulo: ABES. 185 p