

XII-013 - MÉTODO PARA MONITORAMENTO E PRÉ-DIAGNÓSTICO DAS EFICIÊNCIAS ELETROMECÂNICA E HIDROENERGÉTICA DE SISTEMAS ELEVATÓRIOS DE ÁGUA

Rita Cavaleiro de Ferreira ⁽¹⁾

Engenheira do Território pela Universidade Técnica de Lisboa (UTL/IST). Pós-Graduação em Engenharia Sanitária pela Universidade Nova de Lisboa (UNL/FCT). Consultora da *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH* (GIZ). Coordenadora do ProEESA - Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água

Gustavo Rafael Collere Possetti ⁽²⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Engenheiro Eletricista pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre e doutor em Ciências pela UTFPR. Gerente da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar). Professor do Programa de Mestrado Profissional em Governança e Sustentabilidade do Instituto Superior de Administração e Economia do Mercosul (ISAE-FGV)

João Geraldo Ferreira Neto ⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade de Brasília (UnB/DF). Analista de Infraestrutura do Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão (MPDG), com atuação no Ministério das Cidades em projetos de Certificação de Informações e Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA).

André Braga Galvão Silveira ⁽⁴⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e mestre em Saúde Pública pela Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ). Analista de Infraestrutura do Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão (MPDG), com atuação no Ministério das Cidades em projetos de perdas de água e eficiência energética.

José Dias Corrêa Vaz de Lima ⁽⁵⁾

Engenheiro Agrônomo pela Universidade de São Paulo (USP). Analista de Infraestrutura do Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão (MPDG), com atuação no Ministério das Cidades no Sistema Integrado de Gestão de Serviços de Saneamento (GSAN).

Endereço⁽¹⁾: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental/Ministério das Cidades, SAUS, Quadra 1, lote 1/6 – Bloco H – Edifício Telemundi II, 9º andar, CEP 70.070-010, Brasília-DF, Brasil, + 55 (61) 2108 1057, rcavaleirodeferreira@gmail.com

RESUMO

O monitoramento do rendimento dos sistemas elevatórios de água é realizado de forma incipiente na maioria dos prestadores de serviços brasileiros. Em razão disso, há custos causados por ineficiência que poderiam ser evitados. Em geral, os conjuntos moto-bomba trabalham muitos anos com eficiências desconhecidas. O fato desses conjuntos recalcarem água, não significa que o estejam a fazer de modo eficiente e econômico. Nesse contexto, este artigo apresenta um método de monitoramento simplificado e de pré-diagnóstico expedito que permite a tomada de decisões em relação à manutenção e substituição de equipamentos ao analisar a viabilidade econômica dessas alternativas, baseada em parâmetros conservadores de eficiências eletromecânica e hidroenergética dos conjuntos moto-bomba.

Os resultados da aplicação desse método em 12 sistemas elevatórios de água operando em escala plena, os quais integram o sistema de abastecimento de água de um município com 263.915 habitantes, são aqui reportados. Os estudos realizados permitiram identificar rendimentos insatisfatórios em sete conjuntos moto-bomba. O potencial de economia estimado mediante a substituição desses equipamentos foi de 122.018 kWh/mês, o que resultaria uma redução de custos com energia elétrica de R\$ 63.155/mês. O *payback* associado com às 7 intervenções mais prioritárias é de 18,3 meses.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência energética, estações elevatórias, monitoramento, pré-diagnósticos, baixo custo.

INTRODUÇÃO

As despesas com energia elétrica dos prestadores de serviços de água e esgoto atingiram 5,1 bilhões de reais em 2015, tendo sido consumidos 12,1 TWh, segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2016). Essa quantidade de energia equivale ao consumo anual doméstico de cerca 22 milhões de habitantes no Brasil (EPE, 2016). Os custos com energia elétrica tipicamente representam uma importante despesa operacional dos prestadores de serviços de água e esgoto. Por isso, as práticas de conservação e racionalização de energia tem sido apontadas como fundamentais para a perenidade dos modelos de negócios desses prestadores de serviços. Isso porque parte do consumo de energia elétrica é desperdiçada, seja por ineficiência dos equipamentos instalados, seja por práticas operacionais inadequadas ou por meio das perdas de água que, após toda energia empregada para seu tratamento e bombeamento, não chega ao usuário final.

Conforme ilustra a Figura 1, o Índice de Consumo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água no Brasil apresenta tendência de crescimento, (SNIS, 2016), indicando o aumento proporcional dos custos com energia elétrica para prestação dos serviços. Se essa tendência se mantiver, em 2034 o índice alcançará valores superiores a 0,9 kWh/m³, representando um aumento de 52,5% em relação aos valores registrados em 2010 e impactando significativamente os custos de operação dos prestadores de serviços. Dessa forma, o uso racional de energia e melhor aproveitamento da infraestrutura existente é estratégico para a sustentabilidade econômica desses prestadores de serviços.

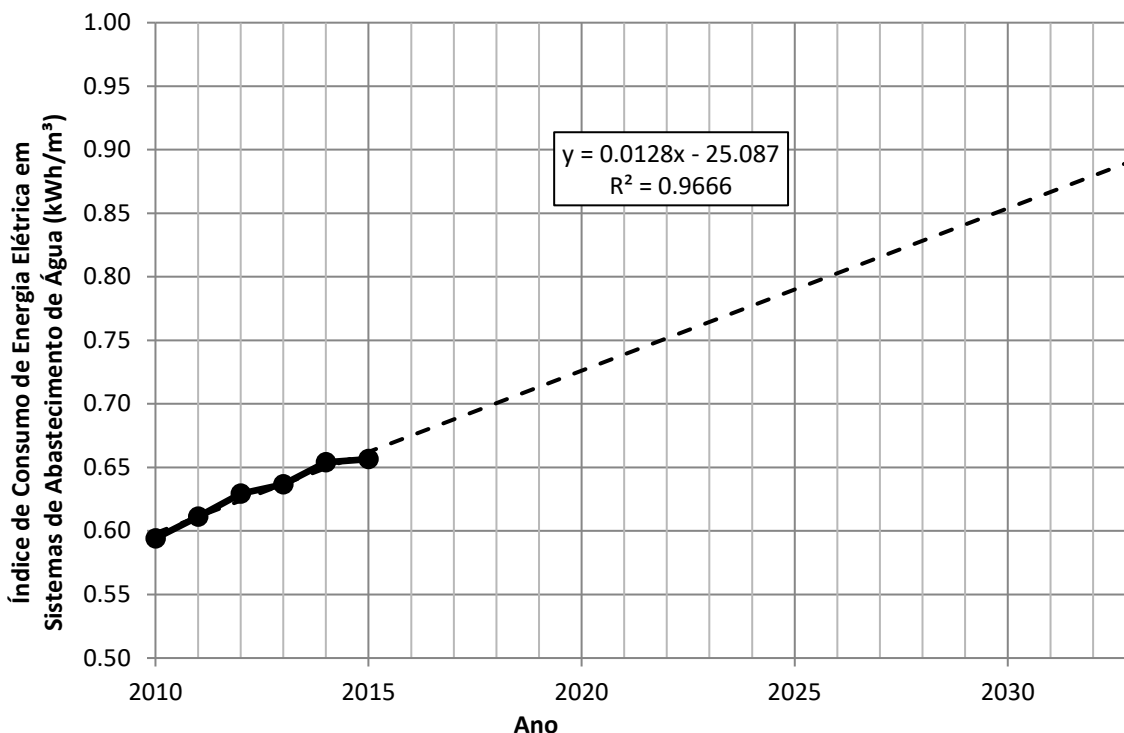


Figura 1: Índice de Consumo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água (kWh/m³) em função do tempo (Fonte: calculado a partir de SNIS, 2017).

Normalmente, grande parte do consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água está relacionado com a operação de conjuntos moto-bomba. No entanto, é uma situação comum no Brasil a ausência de monitoramento dos desempenhos eletromecânico e hidroenergético de sistemas elevatórios de água. Dentre as razões para tal pode-se citar a escassez de procedimentos simplificados que possibilitem o monitoramento e o pré-diagnósticos dos desempenhos desses sistemas.

OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar um método para monitoramento e pré-diagnóstico das eficiências eletromecânica e hidroenergética de sistemas elevatórios de água. O método pretende dotar os prestadores de serviço com uma ferramenta de apoio à decisão para intervenções associadas com a manutenção e/ou a substituição de equipamentos com baixo rendimento e que possibilitem ganhos econômicos. Aplicação desse método em 12 sistemas operando em escala plena, os quais são integrantes do sistema de abastecimento de água de um município com 263.915 habitantes, também compõe o escopo desse artigo.

METODOLOGIA

O método

O método é indicado para o controle do rendimento de estações elevatórias usando a informação existente e disponível. O processo é considerado um pré-diagnóstico da operação de estações elevatórias (unidades consumidoras de eletricidade), que identificará as estações elevatórias onde existe o maior potencial de economia. No entanto, para efeitos de justificativa de investimentos avultados é necessário completar o processo com um diagnóstico embasado em valores medidos e com maior exatidão por meio de auditorias energéticas e diagnósticos em campo.

O método em questão é pautado no cálculo do indicador de rendimento normalizado, em kWh/(m³x100m), conforme estabelecido por Alegre et al. (2006), ou em porcentual de rendimento do conjunto motor-bomba, e compara os rendimentos diagnosticados com valores de referência relativos a bombas e motores. O método é extremamente confiável e exato para prestadores de serviço que possuem informações individualizadas sobre os seus conjuntos moto-bomba (altura manométrica, volume bombeado, energia consumida, valor de compra). Destaca-se, porém, que mensurar dados com elevado nível de exatidão não é uma condição indispensável para aplicação do método.

Para o cálculo do indicador de rendimento normalizado (Ph5), utilizaram-se as seguintes equações:

$$\mathbf{Ph5 = D1 / D3} \quad \text{equação (1)}$$

em que,

D1 é o consumo de energia para bombeamento da estação elevatória (kWh/ano); e,

D3 é o fator de uniformização (m³/ano x 100m), expresso por:

$$\mathbf{D3 = V x H / 100} \quad \text{equação (2)}$$

em que,

V é o volume bombeado pela instalação elevatória (m³); e,

H é a altura manométrica da instalação elevatória (m).

Para o cálculo do rendimento dos conjuntos motor-bomba em porcentual, adotou-se a seguinte expressão:

$$\mathbf{Ph5 (\%) = 0,2725 / Ph5} \quad \text{equação (3)}$$

Por razões de agregação de dados elétricos, consideram-se unidades consumidoras ao invés de conjuntos moto-bomba individuais, já que os contratos celebrados com as concessionárias de eletricidade são definidos para unidades consumidoras (OLIVARES *et al.*, 2015). Os consumos relativos à iluminação podem ser desprezados, por serem reduzidos face à energia usada para elevar a água. É calculado o rendimento do conjunto de vários conjuntos moto-bombas quando houver um só medidor de energia, isto é, agrupados em apenas um contrato de eletricidade.

Quando os consumos de energia da estação elevatória são registrados em conjunto com outros equipamentos consumidores intensivos de energia, como aeradores de lodos ativados, por exemplo, é necessário estimar os consumos individuais. Esse procedimento reduz a confiabilidade dos resultados obtidos, mas não deve ser razão para não utilizar o método.

Aplicação do método

As seguintes estações elevatórias foram escolhidas para aplicar o método:

Tabela 1: Características das estações elevatórias selecionadas para o estudo.

Estação elevatória	Tipo do motor	Bombas	Inversor de frequência	Potência das bombas (kW)
A	externo	3	Não	3 x 147,2
B	externo	1	Sim	9,2
C	externo	3	Não	3 x 92
D	externo	2	Sim	2 x 55,2
E	externo	2	Não	2 x 92
F	submersível	2	Sim	18,39
G	submersível	3	Sim	3 x 7,36
H	externo	4	Não	3 x 200 + 175
I	externo	1	Não	desconhecida
J	submersível	3	Não	3 x 18,4
K	submersível	3	Não	3 x 22,8
L	submersível	3	Não	2 x 33,12 + 25,76

Para cada uma das estações elevatórias acima referidas foram coletados e inseridos os seguintes dados em planilha eletrônica, todos referentes ao ano de 2016:

- Dados operacionais: consumo de energia (kWh) por mês, volume mensal de água elevado (m³) e altura manométrica média (m);
- Confiabilidade dos dados de energia: medidor de energia exclusivo para elevação de água (sim/não);
- Confiabilidade dos dados de volume de água (medido/estimado);
- Confiabilidade dos dados de altura manométrica (medido e calculado / placa da bomba /estimado de outro modo);
- Dados cadastrais: Potência da bomba (kW), tipologia da bomba (motor externo / motor submersível), valor de compra da bomba ou de sua substituição (R\$), rendimento desejável/alcançável em campo (em % e em kWh/(m³x100m)), preço médio de eletricidade (R\$/kWh) praticado na instalação.

Quando houve divergência de dados de altura manométrica entre bombas da mesma estação elevatória e não se observou tubulação de recalque independente para cada bomba, assumiu-se o superdimensionamento da bomba menos requisitada, conforme análise dos níveis altimétricos do reservatório ou da rede de distribuição a jusante.

O cálculo do volume de água elevada mensalmente nas estações elevatórias pautou-se nas medições volumétricas aferidas pelas equipes de operação dos sistemas com o uso de medidores eletromagnéticos. Em casos de medições com valores improváveis ou quando foi verificado erro de medição ou falha do macromedidor, optou-se por invalidar a série mensal da contagem volumétrica. Nesses casos, paralelamente, retiraram-se da análise as faturas de energias correspondentes ao mês invalidado, o que permitiu avaliar os demais meses sem comprometer a média anual de rendimento hidroenergético.

Para a adequação dos dados ao cálculo foi necessário um tratamento preliminar, em razão do fato de que as faturas de eletricidade não coincidem com o período do mês completo (de dia 01 a dia 28, 30 ou 31). Assim,

realizaram-se interpolações entre meses para poder corresponder o consumo de energia com o volume de água elevado ao mês sob análise.

A confiabilidade para os dados de volume de água e de energia foi considerada elevada para as bombas selecionadas. Todas dispõem de medição de vazão. Os dados de energia provêm de faturas de eletricidade, que também são considerados confiáveis, por serem medidos.

A altura manométrica é menos confiável. Os valores provêm dos dados das placas das bombas, podendo na realidade estar nessa ordem de grandeza. O valor não foi medido com manômetros. As perdas cargas associadas à fricção e à velocidade da água não foram calculadas.

A potência do motor (kW) também foi obtida das placas das bombas. Para o valor de compra da bomba ou de sua substituição (R\$) foi feita uma consulta a um fabricante da estimativa de custo. O preço médio de eletricidade (R\$/kWh) foi obtido com base nos dados das faturas de eletricidade. Apenas se considerou a parte de consumo de energia (kWh), sendo desconsideradas, portanto, a componente de demanda (kW), os impostos, as multas de ultrapassagem de demanda, baixo fator de potência, entre outros fatores.

Para as estações elevatórias selecionadas, foram avaliados e interpretados os resultados dos seguintes cálculos:

- Cálculo do rendimento operacional eletromecânico de estações elevatórias (%) e (kWh/m³x100m);
- Avaliação do desempenho energético de estações elevatórias;
- Cálculo do potencial de economia eletromecânico de estações elevatórias nas vertentes de
 - energia (kWh/mês);
 - monetário (R\$/mês);
- Cálculo de *pay back* simples (meses) para a substituição de equipamentos;
- Avaliação da confiabilidade da informação das estações elevatórias;
- Recomendação de intervenção para estações elevatórias;
- Priorização de ações de intervenção em estações elevatórias.

Com base na fórmula enunciada na metodologia (equação (1)) foi calculado o rendimento dos conjuntos moto-bomba. Posteriormente, o resultado em kWh/(m³x100m) foi convertido para porcentual utilizando a equação (3).

Para avaliar o rendimento obtido em cada instalação elevatória usaram-se os valores das Tabelas 2 e 3, de acordo com a potência dos motores e se estes eram externos ou motores submersíveis.

Tabela 2: Critério de avaliação dos rendimentos dos conjuntos moto-bomba com motor externo

Intervalo de potências (kW)		Valores sem credibilidade e (%)	Rendimento insuficiente e baixa confiabilidade (%)	Rendimento insuficiente (%)	Rendimento mediano (%)	Bom rendimento (%)	Bom rendimento, mas baixa confiabilidade (%)	Valores sem credibilidade (%)
de	a							
5,6	15,7	Inferior a 16%	de 16% a 20%	de 20 a 52%	de 52% a 64%	de 64% a 83%	de 83% a 120%	superior a 120%
15,7	38	Inferior a 16%	de 16% a 20%	de 20 a 56%	de 56% a 68%	de 68% a 83%	de 83% a 125%	superior a 125%
38	96	Inferior a 16%	de 16% a 20%	de 20 a 60%	de 60% a 72%	de 72% a 83%	de 83% a 131%	superior a 131%
96	261	Inferior a 16%	de 16% a 20%	de 20 a 64%	de 64% a 72%	de 72% a 83%	de 83% a 131%	superior a 131%

Tabela 3: Critério de avaliação dos rendimentos dos conjuntos moto-bomba commotor submersível

Intervalo de potências (kW)		Valores sem credibilidade (%)	Rendimento insuficiente e baixa confiabilidade (%)	Rendimento insuficiente (%)	Rendimento mediano (%)	Bom rendimento (%)	Bom rendimento, mas baixa confiabilidade (%)	Valores sem credibilidade (%)
de	a							
5,6	15,7	Inferior a 16%	de 16% a 20%	de 20 a 35%	de 35% a 50%	de 50% a 55%	de 55% a 79%	superior a 79%
15,7	38	Inferior a 16%	de 16% a 20%	de 20 a 47%	de 47% a 57%	de 57% a 62%	de 62% a 89%	superior a 89%
38	96	Inferior a 16%	de 16% a 20%	de 20 a 57%	de 57% a 62%	de 62% a 67%	de 67% a 96%	superior a 96%
96	261	Inferior a 16%	de 16% a 20%	de 20 a 59%	de 59% a 63%	de 63% a 68%	de 68% a 98%	superior a 98%

Para calcular o potencial de economia foi necessário determinar o rendimento a alcançar para cada instalação elevatória em uma situação de maior eficiência, conforme a Tabela 4.

Tabela 4: Rendimentos dos conjuntos moto-bomba correspondentes a eficiências satisfatórias

Intervalo de potências (kW)		Rendimentos para conjuntos com motor externo (%)	Rendimentos para conjuntos com motor submersível (%)
de	a	(valor conservador)	(valor conservador)
5,6	15,7	64%	50%
15,7	38	68%	57%
38	96	72%	62%
96	261	72%	63%

Deliberadamente, não se optou por melhores rendimentos, ainda que fossem atingíveis, e utilizou-se eficiências mais conservadoras para dar mais segurança à estimativa de retorno do investimento no cálculo do *payback* das medidas de substituição das bombas. Caso haja uma implementação adequada de medidas de eficiência energética, rendimentos superiores dos conjuntos são esperados.

Exemplificando, para um conjunto moto-bomba com 74,6 kW de potência e trabalhando com 58,3% de eficiência foram realizados os seguintes cálculos:

Eficiência atual: 58,3% = 0,467 kWh/(m³x100m);

Eficiência satisfatória: 72% = 0,378 kWh/(m³x100m);

Diferencia entre eficiência atual e eficiência satisfatória = 0,467 - 0,378 = 0,089 kWh/(m³x100m);

Volume bombeado em um mês = 86.573m³/mês;

Altura manométrica = 107,24 mca;

Potencial de economia (kWh) = 0,089 kWh/(m³x100m) x 86.573m³ x 107,24 mca = 8.263 kWh/mês.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 5 apresenta os rendimentos e avaliações das instalações elevatórias. Para as estações elevatórias K e L, o cálculo foi agrupado de acordo com os registros de consumo de energia. A eficiência conjunta resulta da ponderação em função do volume e altura manométrica de cada uma das instalações.

Tabela 5: Avaliação hidroenergética.

Estação elevatória	Rendimento em 2016	Avaliação 2016	Confiabilidade da informação base
A	88%	Bom rendimento e baixa confiabilidade do resultado final	★★ Os valores de eletricidade são estimados a partir das horas de funcionamento e os volumes são medidos. As alturas manométricas são obtidas pela placa da bomba.
B	17%	Rendimento insuficiente e baixa confiabilidade do resultado final	★★ Os valores de eletricidade são estimados a partir das horas de funcionamento e os volumes são medidos. As alturas manométricas são obtidas pela placa da bomba.
C	28%	Rendimento insuficiente	★★ Os valores de eletricidade são estimados a partir das horas de funcionamento e os volumes são medidos. As alturas manométricas são obtidas pela placa da bomba.
D	53%	Rendimento insuficiente	★★ Os valores de eletricidade são estimados a partir das horas de funcionamento e os volumes são medidos. As alturas manométricas são obtidas pela placa da bomba.
E	104%	Bom rendimento, mas baixa confiabilidade do resultado final	★★ Os valores de eletricidade são estimados a partir das horas de funcionamento e os volumes são medidos. As alturas manométricas são obtidas pela placa da bomba.
F	43%	Rendimento insuficiente	★★ Os valores de eletricidade são estimados a partir das horas de funcionamento e os volumes são medidos. As alturas manométricas são obtidas pela placa da bomba.
G	49%	Rendimento mediano	★★ Os valores de eletricidade são estimados a partir das horas de funcionamento e os volumes são medidos. As alturas manométricas são obtidas pela placa da bomba.
G	46%	Rendimento insuficiente	★★ Os valores de eletricidade são estimados a partir das horas de funcionamento e os volumes são medidos. As alturas manométricas são obtidas pela placa da bomba.
I	56%	Rendimento insuficiente	★★ Os valores de eletricidade são estimados a partir das horas de funcionamento e os volumes são medidos. As alturas manométricas são obtidas pela placa da bomba.
J	22%	Rendimento insuficiente	★★★ Os valores de eletricidade e os volumes são medidos. As alturas manométricas são obtidas pela placa da bomba. O

			valor de rendimento se verifica baixo para o tipo de motor em análise pelo que se considera que o conjunto motor-bomba não deve estar operando nesta faixa.
K	88%	Bom rendimento, mas baixa confiabilidade do resultado final	<p style="text-align: center;">★★</p> <p>Os valores de eletricidade são medidos e os volumes medidos. As alturas manométricas são obtidas pela placa da bomba. O valor de rendimento se verifica elevado para o tipo de motor em análise pelo que se considera que o conjunto-motor bomba não deve estar a operar nesta gama.</p>
L			

A Tabela 6 resume os rendimentos a alcançar pelas estações elevatórias e seus respectivos potenciais de economia.

Tabela 6: Potencial de economia.

Estação elevatória	Rendimento em 2016	Rendimento mínimo desejável	Potencial de economia mensal (kWh)
A	88%	72%	Não aplicável
B	17%	64%	5.062
C	28%	57%	8.777
D	53%	72%	20.467
E	104%	72%	Não aplicável
F	43%	72%	14.777
G	49%	50%	118
H	46%	72%	56.905
I	56%	68%	1.617
J	22%	57%	9.294
K	88%	57%	Não aplicável
L		57%	

De acordo com o potencial de economia existente em cada estação elevatória foram estabelecidas as prioridades de intervenção de manutenção programada, conforme reportado na Tabela 7.

Tabela 7: Intervenções recomendadas de manutenção e respectiva priorização.

Estação elevatória	Potencial de economia mensal (kWh)	Confiabilidade do potencial de economia	Prioridade de intervenção	Intervenção
A	Não aplicável	★★	-	Atuação não é prioritária, o equipamento está com bons rendimentos, requer, no entanto, melhor coleta de dados
B	5.062	★★	6	Requer manutenção e recolha de melhores dados
C	8.777	★★	5	Requer manutenção e recolha de melhores dados
D	20.467	★★	2	Requer manutenção e recolha de melhores dados
E	Não aplicável	★★	-	Atuação não é prioritária, o equipamento está com bons rendimentos, requer, no entanto, melhor coleta de dados
F	14.777	★★	3	Requer manutenção e recolha de melhores dados
G	118	★★	8	Requer manutenção e melhor coleta de dados
H	56.905	★★	1	Requer manutenção e recolha de melhores dados
I	1.617	★★	7	Requer manutenção e recolha de melhores dados
J	9.294	★★★	4	Requer manutenção
K	Não aplicável	★★	-	Atuação não é prioritária, o equipamento está com bons rendimentos, requer, no entanto, melhor coleta de dados
L				

Nas situações em que há inversores de frequência (A, E, C, G), os três dados em análise (volume de água elevado, energia consumida e altura manométrica) são variáveis em função da rotação da bomba. Não se considera que o uso de inversores de frequência invalide o cálculo realizado, pois duas variáveis, o volume de água e a energia consumida, são medidas, e a altura manométrica necessária é a prevista no projeto para abastecer o reservatório (ou da rede, caso *booster*). Se a bomba estiver elevando com altura manométrica excessiva (superior ao necessário) significa que a instalação não opera de modo eficiente. Na fórmula usada do Ph5 – equação (1) – essa prática conduz a valores de menor eficiência.

Para as bombas em análise foi observado que muitas vezes os modelos de bomba empregados em sistemas de abastecimento de água são inadequados para a situação de operação. No caso das estações elevatórias de água analisadas neste estudo, constatou-se o emprego de bombas projetadas para o recalque de substâncias químicas agressivas (D) e bombas submersíveis operando como *booster* (C, K, L). Esse fator influencia diretamente no rendimento observado nos conjuntos moto-bomba e traz a reflexão sobre um maior cuidado na escolha do modelo de bomba adequado para cada projeto.

A análise das grandezas energéticas ficou condicionada à base de dados formada pelas faturas de energia da companhia distribuidora. Devido à forma como o consumo energético é contabilizado, isto é, cada unidade consumidora corresponde a um conjunto de estações elevatórias próximas e não aos equipamentos

eletromecânicos individualmente, o cálculo do rendimento torna-se generalizado. Em alguns casos, a fatura de energia chega a englobar até oito equipamentos distintos, o que inviabiliza a avaliação individual do potencial de economia na troca de cada equipamento.

O método é mais confiável e simples para situações de uma estação elevatória e um medidor de energia como é o caso da estação elevatória J.

Com base no potencial de economia mensal (R\$) e no valor de substituição do equipamento, calculou-se o *payback simples*. Para *paybacks* inferiores a 5 anos (60 meses), considerou-se que deve ser avaliada a substituição do equipamento. Considerando que os recursos financeiros são escassos, as prioridades de substituição devem ir para os equipamentos com menores *paybacks*, conforme indicado na Tabela 8. A prioridade de intervenção para investimento e substituição do equipamento é bastante distinta da prioridade para manutenção do equipamento. Esse fato se deve ao valor da sua reposição.

Tabela 8: Intervenções recomendadas relativas a possíveis substituições de equipamentos e sua respectiva priorização.

Designação da estação elevatória	Valor de substituição (R\$)	Payback (meses)	Confiabilidade do payback	Prioridade de intervenção	Intervenção
A	295.200	-	★★	-	Nenhuma
B	6.574	2,6	★★	1	Avaliar a substituição do equipamento e recolha de melhores dados
C	44.326	10,1	★★	2	Avaliar a substituição do equipamento e recolha de melhores dados
D	188.544	12,8	★★	4	Avaliar a substituição do equipamento e recolha de melhores dados
E	388.810	-	★★		Requer recolha de melhores dados e recolha de melhores dados
F	399.000	46,5	★★	6	Avaliar a substituição do equipamento e recolha de melhores dados
G	66.490	1.203,1	★★	8	Recolha de melhores dados
H	360.000	13,5	★★	5	Avaliar a substituição do equipamento e recolha de melhores dados
I	90.000	119,1	★★	7	Avaliar a substituição do equipamento e recolha de melhores dados
J	66.490	12,1	★★★	3	Avaliar a substituição do equipamento
K	70.507	-	★★	-	Nenhuma
L	70.507	-			

CONCLUSÕES

A sistematização do monitoramento e da avaliação de estações elevatórias permite detectar com mais celeridade desempenhos insuficientes de modo que o prestador de serviço possa tomar medidas para manter níveis aceitáveis de eficiência. Os relatórios de saída facilitam a tomada de decisões para gerentes e diretores e permite direcionar os esforços de manutenção e priorizar com base em um critério econômico a substituição dos equipamentos eletromecânicos com maior potencial de economia.

Para prestadores de serviço com sistemas de informação internos sofisticados, o método pode ser incorporado. Entidades com mecanismos de controle mais iniciais ou com poucas estações elevatórias podem recorrer a planilhas eletrônicas.

Recomenda-se a medição dos parâmetros utilizados no método, podendo, no entanto, ser usadas estimativas ou valores de especificações técnicas. A qualidade dos dados influi na interpretação e na confiabilidade do resultado final. O cálculo é mais simples quando existe uma única estação elevatória ou quando os conjuntos moto-bomba têm as mesmas características (altura manométrica e vazão) na mesma unidade consumidora de energia, isto é, no mesmo contrato de energia. Configurações elevatórias mais complexas dificultam a averiguação do rendimento individual das instalações, mas permite uma avaliação global para a unidade consumidora. A experiência mostra que mesmo dados estimados fornecem uma boa indicação se a estação elevatória está operando em uma faixa de desempenho razoável ou fora dela. No médio prazo, é possível alcançar reduções significativas nas despesas de eletricidade (custos evitados) e nos consumos energéticos, com inerentes melhorias na conservação das instalações de bombeamento.

A presente abordagem constitui uma integração de dados e é uma interface entre um volume de dados hidráulicos, mecânicos, elétricos e financeiros, gerando informações que facilitam a tomada de decisão na área operacional, de manutenção e de substituição dos equipamentos. Além disso, constitui um procedimento expedito relativo a pré-diagnósticos com periodicidade mensal do rendimento eletromecânico e hidroenergético, estimando os potenciais de economia em sistemas elevatórios de água (kWh e R\$).

A ferramenta é adequada como monitoramento baixo custo do rendimento dos equipamentos eletromecânicos. Além disso, podem ser completados com auditorias em campo para confirmar a tomada de decisões de aquisição de novo equipamentos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o valioso apoio de Priscila Oliveira de Souza Donadello Figueiredo (SANEPAR), André Lopes de Oliveira (AKUT/SKAT-GIZ), Felipe Owczarzak de Mello e Silva (Sanepar), Vanderlei Goncalves da Silva (Sanepar), Luiz Carlos Medeiros (Sanepar), Ivan Cionek (Vetorlog), Paulo Zanim (Vetorlog) e Daniel Taketa (Vetorlog).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALEGRE, H., BAPTISTA, J. M., CABRERA, E., CUBILLO, F., DUARTE, P., HIRNER, W., MERKEL, W., PARENA, R. **Performance indicators for water supply services**. 2. ed. IWA Publishing, 2006.
2. EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional: Ano Base 2014**. 2015. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf>. Acesso em: 26 mai. 2017.
3. OLIVARES, R., FERREIRA, R. C., ALCOCER-YAMANAKA, V., RODRIGUEZ, P. H. **Informe de la iniciativa CEEPA 2014: Resultados de conjunto**. (2015). Disponível em: <<http://www.aneas.com.mx/contenido/InfBMCEEPA2014.pdf>>. Acesso em: 26 mai. 2017.
4. PAPA, F., RADULJ, D., KARNEY, B., ROBERTSON, M. Pump energy efficiency field testing and benchmarking in Canada. **Journal of Water Supply: Research and Technology**. v. 7, n. 63: 570-577, 2014.
5. SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Série Histórica**. 2016. Disponível em: <<http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: 10 mai. 2017.