

PLANOS DE OPTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA DE SISTEMAS ELEVATÓRIOS DE ÁGUAS RESIDUAIS

Pedro LEITE¹; Eduardo VIVAS²; Paulo MONTEIRO³; Luís TENTÚGAL VALENTE⁴

RESUMO

Em sistemas elevatórios de águas residuais o consumo de energia representa um custo significativo do seu ciclo de vida. No entanto, o processo de dimensionamento é habitualmente centrado na resposta satisfatória ao caudal máximo de horizonte, podendo originar uma operação irregular e ineficiente em situações de menores afluências. A optimização do binómio capacidade de bombeamento/ caudais afluentes permite incrementar o nível global de eficiência dos grupos electrobomba, bem como reduzir a perda de carga e consequentes consumos de energia.

O presente trabalho debruça-se sobre o desenvolvimento de planos de optimização energética de sistemas elevatórios de águas residuais, para definição da(s) melhor(es) solução(ões) técnica(s) e económica(s) de redução do consumo de energia e análise dos investimentos face às condições de funcionamento – altura geométrica e variação no tempo dos caudais afluentes.

Serão exemplificadas as fases principais para elaboração e estruturação desses planos: (i) caracterização inicial, recolhendo os dados necessários; (ii) avaliação dos sistemas, utilizando uma ferramenta de simulação (Pump3E); (iii) identificação de soluções de optimização, analisando as respectivas vantagens e desvantagens; (iv) planeamento de acções, de acordo com o potencial de redução e graus de intervenção e investimento pretendidos; e (v) acompanhamento, estabelecendo os indicadores de avaliação do processo de optimização.

Palavras-chave (ordem alfabética): avaliação económica, avaliação energética, condições de funcionamento, planeamento de acções, soluções de optimização.

¹ Engenheiro Civil, SMARTIVE, Lda, pedro.leite@smartive.net

² Engenheiro Civil, SMARTIVE, Lda, eduardo.vivas@smartive.net

³ Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil, FEUP

⁴ Engenheiro Civil, NORAQUA – Consultores de Engenharia, Lda, luisvalente@noraqua.pt

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas elevatórios são utilizados para diversos fins, desde simples utilizações domésticas, a situações de maior dimensão como utilizações agrícolas, industriais ou em sistemas públicos de abastecimento de água ou de drenagem de águas residuais. A este facto acresce a relevância dos custos de consumo de energia durante o seu ciclo de vida, representando, muitas vezes, o valor mais significativo. No caso de sistemas de grande dimensão, como os integrados em redes públicas de água ou saneamento, esta variável pode mesmo variar entre os 40% e os 90% do custo total (DOE *et al*, 2001; Veness, 2007).

A maximização da eficiência energética revela-se essencial neste, como noutros domínios, devido, não só à tendência crescente do custo da energia (EUROSTAT, 2009), mas também a questões ambientais (IRAR, 2009), pela necessidade de redução da dependência energética e da emissão de gases de efeito de estufa, resultantes da produção de energia.

Por outro lado, as entidades gestoras do sector de serviços de águas em Portugal são avaliadas, desde 2005, segundo um conjunto de indicadores (IRAR&LNEC, 2004;) cujos resultados são publicados num relatório anual de avaliação, o RASARP (ERSAR, 2009). Actualmente, o principal indicador, nesta matéria, é o de utilização de recursos energéticos [kWh/m³ de água facturada], embora, na proposta de segunda geração do sistema de avaliação da qualidade do serviço prestado aos utilizadores (ERSAR&LNEC, 2009), esse indicador deverá passar a avaliar, directamente, a eficiência energética das instalações elevatórias (kWh/(m³.100m), reforçando a necessidade de optimização das mesmas.

Assim, para aprofundar o estudo da eficiência energética de sistemas elevatórios de águas residuais será necessário conhecer a fundo o funcionamento dos mesmos, bem como todos os custos que este tipo de sistemas envolve no seu ciclo de vida útil. Tendo por base estes elementos será possível identificar o potencial de optimização energética, bem como a(s) solução(ões) de optimização técnica(s) e económica(s) mais adequadas às características dos sistemas em causa, às solicitações actuais e futuras, e ao grau de intervenção/ investimento pretendido pelas entidades responsáveis. Tendo por objectivo uma análise prévia da rentabilização de investimentos, face ao potencial de redução dos consumos de energia, o presente trabalho debruça-se sobre o desenvolvimento de planos de optimização energética em sistemas elevatórios de águas residuais. Para isso serão descritos, no ponto 2, os conceitos de base subjacentes a todo o processo de optimização energética de estações elevatórias de águas residuais e exemplificado, no ponto 3, com o auxílio de um caso de estudo, como se poderá desenvolver um plano deste género, demonstrando as fases principais para a estruturação e desenvolvimento do mesmo.

2. OPTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA DE ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ÁGUAS RESIDUAIS

Em qualquer grupo electrobomba existe um ponto de funcionamento que representa o máximo de eficiência, seja em termos de consumos de energia, seja em fiabilidade do grupo, o BEP – *Best Efficiency Point* (Figura 1) que, por definição, corresponde ao ponto de optimização das leis de conservação de energia no conjunto impulsor/voluta e ao ponto de rendimento máximo do motor eléctrico (DOE&HI, 2006). Idealmente todos os sistemas deveriam operar na vizinhança desse ponto. Porém, apesar de ser possível estimar com considerável rigor as necessidades de caudal e pressão a garantir pelo sistema elevatório, são habitualmente introduzidas margens de segurança bastante alargadas no processo de dimensionamento, levando a que o sistema funcione longe desse BEP (Kumar, 2009).

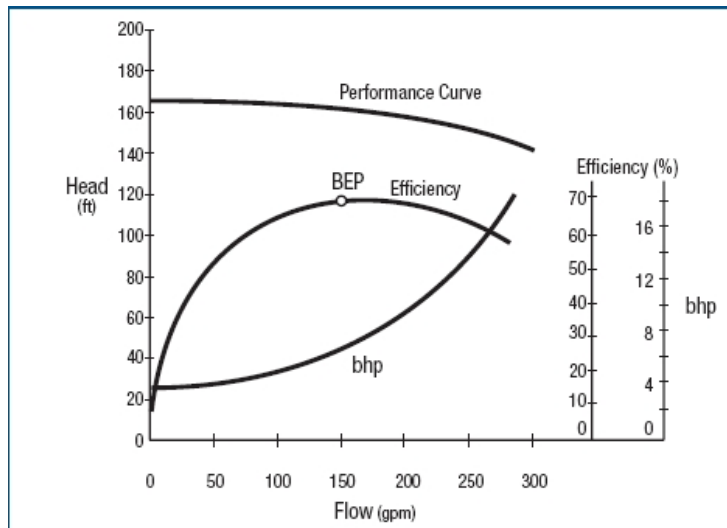


Figura 1- Representação do BEP para uma bomba centrífuga (DOE&HI, 2006)

De igual forma, em situações onde se verifica uma variação relevante do caudal afluyente, como é o caso dos sistemas de drenagem de águas residuais, a eficiência energética dependerá, sobretudo, da capacidade de adaptação do sistema às necessidades de bombeamento (Leite *et al*, 2010). No entanto, o seu dimensionamento é habitualmente centrado na resposta satisfatória ao caudal máximo no ano horizonte do equipamento, levando a que estes operem de forma bastante irregular e ineficiente em situações de menor afluência. Essa situação, frequente, pode verificar-se durante períodos de tempo bastante significativos no ciclo de vida dos mesmos. Como as perdas de carga do sistema aumentam segundo uma relação de segundo grau com o caudal, um funcionamento do sistema acima das necessidades reais de elevação implica, também, um consumo desnecessário de energia (HI&PSM, 2008). A optimização da capacidade de bombeamento do sistema face aos caudais afluyentes permitirá aumentar o nível global de eficiência dos grupos electrobomba (variável com o regime de funcionamento) e reduzir as perdas de carga.

A avaliação de soluções de optimização deverá basear-se em indicadores específicos que permitam traduzir a melhoria de eficiência do sistema no que toca ao consumo de energia. Dois dos indicadores mais adequados para o efeito são o *Energy Efficiency Rating* (EER) e o custo diário de energia (€/dia) (Leite *et al*, 2010). De facto, o EER (1) corresponde a um parâmetro teórico de avaliação do comportamento energético, com o objectivo de facilitar a comparação de diferentes soluções de eficiência. Este parâmetro permite aferir a discrepância entre as perdas de carga mínimas do sistema, considerando uma bombagem teórica e contínua do caudal afluyente e as perdas de carga reais, face aos caudais reais de bombeamento do sistema. Quanto mais próximo de 100%, maior a eficiência do sistema.

$$\text{EER (\%)} = \frac{H \text{ manométrica teórica} \times Q \text{ afluyente}}{(H \text{ manom. real} \times Q \text{ bombeado})} \times 100 \dots(1)$$

Em que:

H manom. teórica = Altura manométrica, em cada instante, de acordo com o diagrama de caudais afluyentes;

Q afluyente = Caudal afluyente à estação elevatória, em cada instante;

H manom. real = Altura manométrica, em cada instante, para o caudal bombeado real;

Q bombeado = Caudal realmente bombeado pela estação elevatória, em cada instante.

O custo de energia diário resulta, por sua vez, da potência dispendida (kWh) por cada grupo em funcionamento, individualmente ou em paralelo, ao longo do período de simulação.

No caso de aumento do custo de energia diário entre duas soluções, tal poderá dever-se a um aumento de perdas de carga injustificadas, visível num aumento simultâneo do EER, ou por o sistema apresentar pontos de funcionamento mais afastados do BEP de cada grupo electrobomba, reduzindo a eficiência energética do sistema global (Leite *et al*, 2010).

Partindo de uma base de avaliação como a descrita, justifica-se o recurso a ferramentas informáticas flexíveis de modo a permitir a simulação do comportamento dos sistemas, em condições actuais ou previstas, bem como o teste e avaliação de soluções de optimização incluindo a estimativa de melhorias de eficiência. No presente trabalho é utilizada uma ferramenta desenvolvida para o efeito, Pump3E - *Pump Energy Efficiency Evaluation* (Figura 2), que permite a simulação do comportamento diário de um sistema elevatório e a avaliação de eficiência energética, tendo como principais funcionalidades (Leite *et al*, 2010):

- Definição de diferentes cenários de caudais afluentes;
- Modelação dos diversos componentes de um sistema elevatório, incluindo o efeito de regulação do poço e o arranque/paragem dos grupos, de acordo com níveis definidos pelo utilizador;
- Selecção de um ou vários grupos electrobomba, iguais ou distintos, possibilitando a definição das curvas características e de eficiência;
- Cálculo das perdas de carga contínuas e localizadas para cada ponto de funcionamento;
- Simulação do funcionamento do sistema, em intervalos de 60 s, permitindo a avaliação da evolução contínua de diversas variáveis;
- Definição dos parâmetros de eficiência energética, EER (*Energy Efficiency Rating*) e custo diário de energia.

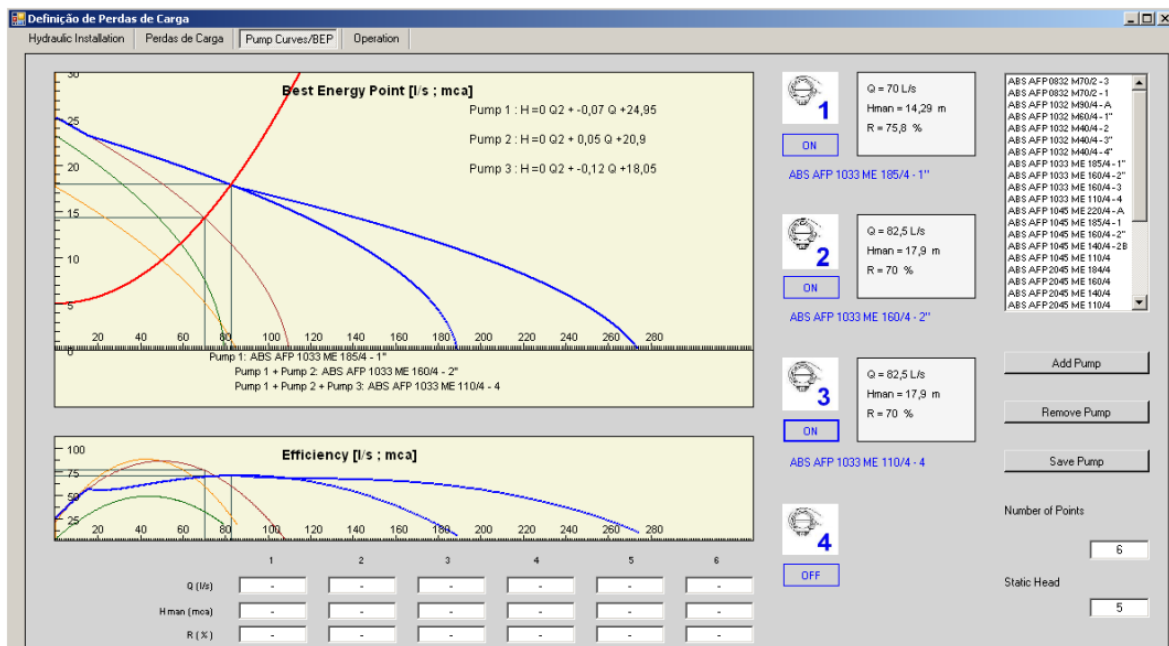


Figura 2 – Pump 3E - Módulo de selecção dos grupos electrobomba, com apresentação das curvas características dos grupos e definição dos pontos de funcionamento

Existem diversas soluções técnicas que podem ser consideradas para aumentar a relação custo/benefício do sistema, aumentando a eficiência de utilização de energia, como é o caso da instalação de variadores de velocidade, do escalonamento de bombas em paralelo, entre outras. Algumas dessas soluções são especialmente orientadas para a otimização de sistemas já em funcionamento, outras, mais adequadas ao dimensionamento de novos sistemas. Não obstante, as características de cada sistema elevatório são únicas, levando a que as soluções de otimização mais adequadas dependam da situação em causa e dos objectivos/ limitações a que cada sistema pode estar sujeito, justificando-se, desde logo, um estudo mais detalhado desta matéria.

Por outro lado, atendendo à estrutura empresarial do sector, o objectivo primordial deverá ser o de garantir uma elevada rentabilidade (a curto e longo prazo) dos investimentos efectuados, através de uma maximização da eficiência de todos os equipamentos em funcionamento (enquanto activos da empresa). Nesse contexto, a avaliação final das soluções de otimização deverá ser levada a cabo do ponto de vista económico recorrendo, no caso do dimensionamento de novos sistemas, à estimativa dos custos do ciclo de vida e, em sistemas já existentes, à avaliação do investimento para a intervenção de otimização, considerando que os ganhos de eficiência passíveis de serem obtidos (redução do consumo de energia e custos associados) corresponde ao retorno do mesmo (HI&PSM, 2008).

Assim, atendendo (i) ao potencial de otimização deste tipo de sistemas, (ii) ao tipo de análise em causa, (iii) às especificidades de cada sistema elevatório, (iv) às diferentes soluções técnicas disponíveis ou ainda (v) à necessidade de uma avaliação económica cuidada das intervenções em causa, torna-se especialmente apropriada a elaboração de planos para a otimização energética de sistemas elevatórios de águas residuais. De forma a demonstrar as principais potencialidades e vantagens do desenvolvimento e implementação deste tipo de planos, em especial em sistemas já existentes, serão apresentados, com o auxílio de um caso exemplo, os principais objectivos e fases de desenvolvimento na elaboração dos mesmos.

3. PLANO DE OPTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA

Face ao anteriormente exposto, a mera avaliação da factura de energia consumida pelo equipamento, atendendo ao volume efectivamente bombeado, a quantificação do número de arranques que se verificam ao longo do dia, a verificação de ruído nas tubagens, bem como a ocorrência de um número elevado de avarias por desgaste excessivo do equipamento, poderão constituir sinais de ineficiência e alertar para a necessidade de implementação de medidas correctivas (HI&PSM, 2008). Além disso, face ao exposto no ponto 2, apresentam-se com forte potencial de otimização os sistemas sobredimensionados para a população efectivamente servida e os integrados em zonas com significativas variações de caudal afluente, como é o caso das redes unitárias e dos sistemas localizados em orlas marítimas.

Em qualquer situação potencialmente relevante, o desenvolvimento de planos específicos de otimização energética permitirá um estudo específico e uma sistematização de todo o processo de avaliação, com o objectivo de definir a(s) melhor(es) solução(ões) de otimização, quer do ponto de vista técnico, quer económico, e atendendo às características de instalação e de funcionamento dos mesmos, bem como a possíveis objectivos de investimento. Para melhor demonstrar a utilidade e as potencialidades dos planos de otimização específicos para estes sistemas, será descrito o processo de aplicação a um

caso de estudo, no presente caso à estação elevatória de Afife, integrada no sistema de drenagem da Gelfa, sob responsabilidade da empresa Águas do Noroeste, S.A.

As principais fases de desenvolvimento de um plano de optimização energética, a descrever e analisar mais detalhadamente em seguida, são: (i) a fase de caracterização inicial, onde são identificados os dados de base necessários; (ii) a fase de avaliação dos sistemas, salientando as vantagens e potencialidades de utilização de uma ferramenta informática de simulação desenvolvida para o efeito (Pump3E – *Pump Energy Efficiency Evaluation*); (iii) a fase de identificação de possíveis soluções de optimização, onde serão analisadas as respectivas vantagens e desvantagens e potencial redução dos consumos de energia; (iv) a fase de planeamento de acções, incluindo a definição de um plano de investimentos a curto e a longo prazo, de acordo com os graus de intervenção pretendidos e a eficiência passível de ser conseguida; e (v) a fase de acompanhamento do plano, onde serão estabelecidos os principais indicadores e métodos de avaliação dos resultados do processo de optimização.

3.1 Fase de caracterização inicial

Nesta fase inicial é efectuada uma caracterização dos sistemas elevatórios de águas residuais integrados num determinado sistema de drenagem de águas residuais de modo a ser possível identificar potenciais pontos críticos e orientar a recolha dos dados de base para a avaliação desses sistemas (PSM, 2007). Este processo deverá ter por base uma reunião de arranque do projecto, com apresentação, pela equipa de desenvolvimento, dos principais passos a seguir na elaboração desse plano e onde serão também designados os elementos da entidade gestora que ficarão responsáveis pelo acompanhamento de todo o processo. Esta reunião irá, ainda, servir à primeira recolha de dados, nomeadamente: (i) um esquema do sistema geral de drenagem, com identificação das principais características (desnível geométrico, caudal e potência) dos sistemas elevatórios existentes, bem como (ii) uma quantificação dos consumos de energia, idealmente mensais, bem como das tarifas do fornecimento de energia eléctrica (eventualmente as facturas emitidas pela entidade responsável por esse fornecimento). Com base nessa informação, poderão ser identificados potenciais pontos críticos de optimização, a discutir numa segunda reunião de trabalho. Após selecção final dos sistemas a avaliar, serão solicitados os dados de base a recolher para uma avaliação mais detalhada dos mesmos, tais como: data de entrada em funcionamento, dados de consumo de energia, idealmente desde o início de operação do sistema, características mecânicas dos equipamentos, incluindo especificações de projecto, potência, curvas de funcionamento, dados do fabricantes, etc, bem como registos de caudais (horários, ao longo do dia e em diferentes períodos do ano) e pressões, caso existam, de avaliações anteriores aos sistemas em causa. Esta fase será finalizada com a formalização, pela equipa de projecto, de um plano de trabalhos da avaliação a desenrolar.

Obviamente é apresentado um faseamento considerando a selecção de pontos críticos nos sistemas com avaliação prioritária, embora todos os sistemas elevatórios possam ser alvos de melhorias até porque, em muitas situações, o seu real funcionamento pode diferir significativamente das características estipuladas em projecto.

No presente caso de estudo, a estação elevatória de Afife é composta por um grupo electrobomba activo e um segundo de reserva, funcionando num esquema de alternância, modelo WILO-EMU/FA10.98370ZT242-4/29. De acordo com o projecto de execução o sistema elevatório apresenta as seguintes características (Tabela 1):

Extensão da Conduita elevatória	799 m
Material	PVC Φ 200 (6Kg/cm ²)
Caudal Máximo de Bombagem	32 l/s (115,2 m ³ /h)
Desnível geométrico	32,4 m
Altura manométrica mínima	37,1 m
Altura manométrica máxima	38,6 m

Tabela 1 – Características do sistema elevatório de Afife, sistema de drenagem da Gelfa (Águas do Noroeste, S.A.)

3.2 Fase de avaliação da situação actual dos sistemas

Ainda na fase de caracterização inicial deverá ser definida uma visita ao local, idealmente durante o período de operação dos mesmos e com acompanhamento de pessoal responsável pela operação e manutenção do sistema (PSM, 2007). Essa visita dará início à fase de avaliação dos sistemas e pressupõe uma análise da degradação dos equipamentos, da existência de ruídos/ vibrações que possam sugerir um funcionamento anormal do mesmo e ainda uma confirmação dos dados de projecto recolhidos, nomeadamente através de análise visual dos diferentes elementos do sistema elevatório e atendendo a eventuais dísticos/placas com indicação das características dos equipamentos. Além disso, como os três factores principais com influência no consumo energético são o caudal, a altura manométrica e a eficiência/potência do grupo electrobomba (Kumar, 2009), a avaliação do sistema deverá assentar numa caracterização o mais rigorosa possível da situação actual destes parâmetros. Assim, deverão ser obtidos dados de caudais, correspondentes pressões, tempo de funcionamento dos grupos e de consumos de energia. Essas medições deverão ser efectuadas, no mínimo, em cadência horária e desenrolar-se ao longo de vários dias e, idealmente, em diferentes períodos do ano. No caso do equipamento não possuir elementos de medição instalados, deverá ser definido um procedimento específico de monitorização, com estipulação dos dados a obter, tipo de medidores a instalar, locais de medição, período de monitorização e rotina de obtenção de dados mínima necessária. Com estes valores será possível caracterizar, de forma mais fidedigna, o real funcionamento do sistema, servindo ainda à validação dos elementos de projecto e à calibração da simulação com uma ferramenta informática como, no caso presente, a Pump 3E. Esta fase será concluída com a entrega de um relatório de caracterização da situação actual e identificação dos principais factores de consumo excessivo de energia.

Para o caso da estação de Afife foram registados dados decorrentes da avaliação no período de 30/07/2010 a 12/08/2010 para caudais afluentes (Figura 3) e no período de 06/08/2010 a 12/08/2010 para as pressões correspondentes (Figura 4).

O medidor de caudal encontra-se instalado na conduita elevatória, realizando medição instantânea, sendo o envio de informação para o *datalogger* numa base horária. Efectivamente, a definição dos caudais afluente é composta pela integração dos valores bombeados. Embora esta abordagem não permita detalhar a variação do caudal entre registos, tendo em atenção o efeito de amortecimento devido ao poço de bombagem, incorporado no processo de modelação, pode-se considerar que esta definição é suficiente.

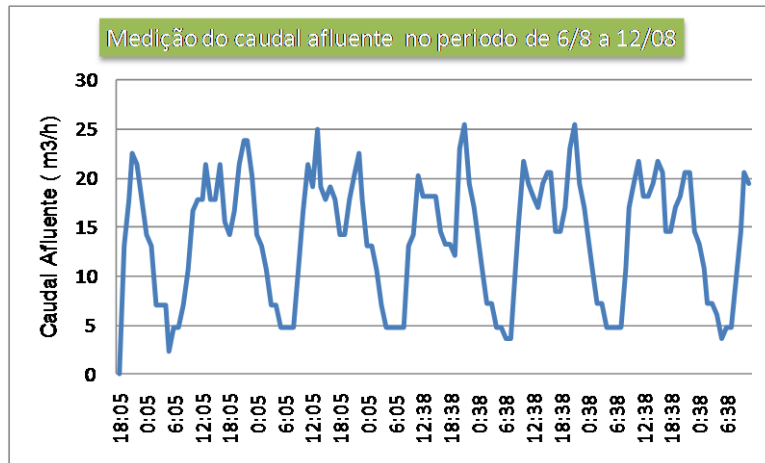


Figura 3 – Registro de caudal na estação elevatória de Afife no período de 6/8 a 12/8.

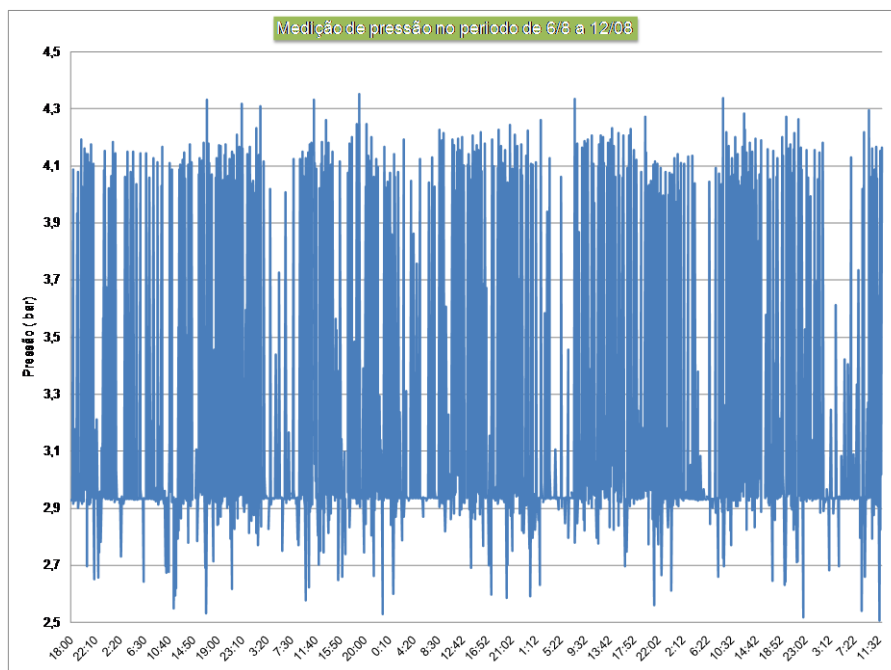


Figura 4 – Registro de pressão na estação elevatória de Afife no período de 6/8 a 12/8.

Assim, da análise dos dados anteriores é possível verificar a existência de dois patamares de pressão, o primeiro, correspondente à situação estática, ligeiramente acima de 2,9 bar e o segundo, com o sistema em funcionamento, por volta de 4,0 bar. Além disso, por medição do caudal instantâneo, com a estação em funcionamento, foi possível aferir o caudal de bombagem, sendo, actualmente, cerca de 86,5 m³/h (24,0 l/s). Em termos genéricos, atendendo ao tempo de funcionamento do sistema, o volume bombeado por dia ronda os 326 m³, com um consumo de energia diário de 113 KWh. Com estes dados, considerando uma tarifa de 0,09 €/KWh o custo com o consumo de energia, na situação actual, atinge os 10,2 €/dia.

Nesta fase é possível concluir, com base nos dados adquiridos e no período em análise:

- O sistema elevatório apresenta uma capacidade cerca de três vezes superior ao valor máximo de caudal afluyente em tempo seco (critério usual de dimensionamento);

- A relação entre H_{man}/H_{geo} é de aproximadamente 1,3 implicando um potencial teórico de optimização por redução das perdas de carga de, no máximo, 30%;
- O EER da estação elevatória para a situação actual é de 78%.

3.3 Fase de identificação das soluções de eficiência

Após toda a fase de caracterização e avaliação da situação actual do sistema, é possível identificar as soluções de optimização que, tecnicamente, são aplicáveis ao sistema em causa. A avaliação da melhor solução técnica e económica passará pela análise das características dos grupos electrobomba, de modo a respeitar a capacidade máxima do sistema, bem como do funcionamento do sistema global (grupo(s) electrobomba, tubagens e demais componentes) segundo uma abordagem de avaliação de caudais de entrada e de saída e do correspondente desempenho dos grupos electrobomba, ao longo do período diário, com vista à optimização energética da totalidade do sistema. As opções mais indicadas para a optimização destes sistemas irão forçosamente depender da situação específica que está em causa. Porém, de forma genérica, poderá ser considerado que as principais soluções se resumem a (i) substituição por bombas mais eficientes, (ii) instalação de bombas de pequena capacidade ou *Pony Pumps*, (iii) redução do diâmetro do impulsor ou (iv) instalação de variadores de velocidade ou *Variable Frequency Drives* (VFD).

3.3.1 Substituição por bombas mais eficientes

Em determinadas situações, os equipamentos podem estar degradados e/ou desadequados às necessidades do sistema, apresentando um funcionamento bastante irregular, justificando-se a sua substituição por equipamentos mais eficientes. A adopção por esta solução pode ser mais vantajosa em sistemas com consumos de energia bastante elevados e, especialmente, em situações de reformulação/ reabilitação do sistema elevatório existente. Nessa situação poderá ainda considerar-se a opção de escalonamento de bombas em paralelo, uma vez que permitirá uma maior flexibilidade de operação, devido aos múltiplos pontos de funcionamento, e uma optimização da relação entre caudais afluentes e caudais bombeados, reduzindo significativamente as perdas de carga do sistema. Além disso, do ponto de vista da optimização energética, a existência de múltiplos pontos de funcionamento tornam mais fácil a selecção de grupos electrobomba que funcionem mais próximos dos BEP (DOE & HI, 2006; HI & PSM, 2008). A diminuição do número de arranques e de paragens do sistema elevatório também não deve ser menosprezada, pois terá influência tanto na fiabilidade do grupo electrobomba, como nos consumos de energia, tendencialmente mais elevado nos momentos de arranque.

3.3.2 Bombas de pequena capacidade (*Pony Pumps*)

A instalação de grupos electrobomba de pequena capacidade, poderá ser equacionada para o bombeamento de valores mais baixos de caudais afluentes que, normalmente, representam um período de tempo considerável ao longo do dia. Com este tipo de solução é possível conseguir uma redução bastante significativa das perdas de carga no sistema, bem como o número de arranques e paragens do grupo electrobomba de maior capacidade (DOE & HI, 2006; HI & PSM, 2008).

3.3.3 Redução do diâmetro do impulsor

O processo de redução do diâmetro do impulsor tem como objectivo uma redução da energia fornecida ao fluido pelo grupo electrobomba, sem alterar as características e comportamento do motor eléctrico. O processo de optimização do impulsor corresponde a uma translacção na curva pressão/caudal representativa do funcionamento do grupo, tal como demonstrado na Figura 5, conseguindo-se a redução das perdas de carga, bem como um funcionamento mais próximo das necessidades do sistema (DOE & HI, 2006).

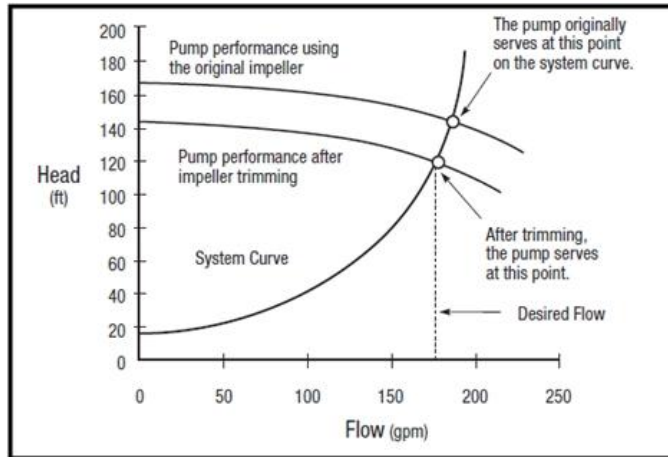


Figura 5 - Efeito do diâmetro do impulsor no ponto de funcionamento (DOE & HI, 2006)

3.3.4 Instalação de variadores de velocidade (VFD)

Este equipamento apresenta um funcionamento próximo do ideal em sistemas dominados pelas perdas de carga, permitindo a alteração do ponto de funcionamento, mantendo elevada eficiência mecânica, por deslocação do ponto de funcionamento ao longo da curva da instalação na direcção das curvas de iso-eficiência (Figura 6). Assim, além de facilitar a adaptação do caudal bombeado às necessidades do sistema, é ainda possível reduzir as perdas de carga totais do sistema (DOE *et al*, 2004; HI & PSM, 2008).

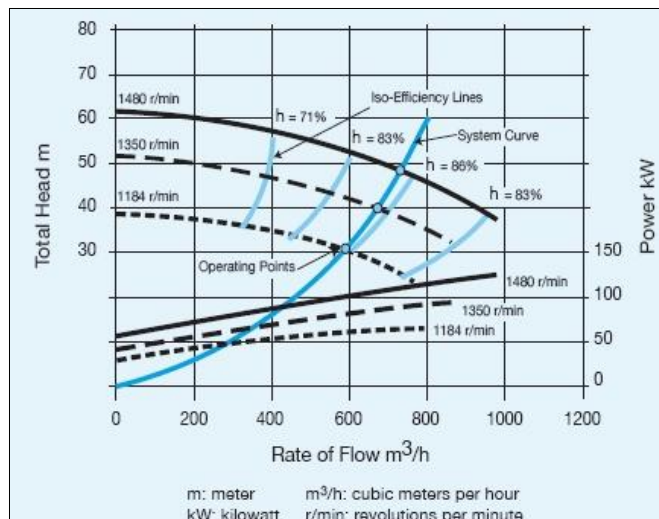


Figura 6- Variação do ponto de funcionamento de um sistema elevatório segundo as curvas de iso-eficiência de um grupo electrobomba com variador de velocidade (DOE *et al*, 2004)

A fase de identificação destas soluções deverá ser concluída com a apresentação de um relatório completo, descrevendo as principais vantagens e desvantagens das hipóteses testadas, incluindo os resultados da sua análise, a comparação face à situação actual do sistema, reduções do consumo de energia e os custos totais que cada solução acarreta.

A análise do funcionamento do sistema elevatório verificou que independentemente do ponto de funcionamento do sistema elevatório não apresentar um desvio significativo do definido teoricamente, o rendimento real apresenta uma redução acentuada, com um valor de aproximadamente 45%. (Tabela 2). Tal dever-se-á, muito provavelmente, a uma degradação dos impulsores instalados, situação comum em sistemas de drenagem de águas residuais.

	WILO FA 10.78Z – Φ 370	
	IMPULSOR ACTUAL	SUBSTITUIÇÃO DO IMPULSOR
Q (l/s)	24,03	28,8
Hman (mca)	42	46
R (%)	32,8	58
Custo diário (€/dia)	11,38	7,06 (- 38%)
EER (%)	78	71

Tabela 2 – Comparação das características de funcionamento da estação de Afife medidas na situação actual e considerando os valores teóricos para o mesmo diâmetro de impulsor.

A substituição do impulsor instalado implica um natural aumento do caudal bombeado, e consequentemente da variável EER. Contudo, o aumento da eficiência apresenta uma contribuição significativa na optimização energética, tendo em atenção que se trata de um sistema controlado pela componente estática (desnível geométrico).

Apesar de ser possível obter uma poupança no custo de energia com a substituição dos impulsores, foram ainda analisadas as seguintes soluções de optimização: (i) instalação de uma bomba de pequena capacidade, (ii) alteração do diâmetro do impulsor e (iii) variação de velocidade por instalação de um variador de frequência.

No caso da bomba de pequena capacidade foi considerada a instalação de um modelo de outro fabricante, ABS XFP 80E CB1 50 Hz PE110/2 - E - 50 Hz, cujas características se ajustam de forma mais adequada às solicitações do sistema de Afife. Este grupo electrobomba apenas deverá funcionar nas situações de menor afluência, dando lugar ao funcionamento dos actuais grupos electrobomba, nas restantes situações. Os resultados obtidos encontram-se sumariados na Tabela 3.

	Φ 370
Q (l/s)	10,0
Hman (mca)	34,5
R (%)	40
Custo diário (€/dia)	7,68 (-33%)
EER (%)	95

Tabela 3 – Características de funcionamento considerando a instalação de uma bomba de pequena capacidade (comparação com a situação actual)

A eficiência desta solução apresenta-se limitada pelos equipamentos existentes no mercado. É importante ter em atenção que a estação elevatória apresenta uma altura manométrica significativa para um caudal reduzido. Assim, na situação em análise, reduzindo o caudal, é efectuada uma transposição do funcionamento dos equipamentos para zonas de baixo rendimento, limitando consideravelmente esta solução, face aos equipamentos existente e à preponderância do desnível geométrico face às perdas de carga.

Por outro lado, para a alteração do diâmetro do impulsor foram analisadas as seguintes hipóteses: Alteração de Φ 370 para Φ 350 e ainda para Φ 330. Os resultados obtidos encontram-se resumidos na Tabela 4.

	WILO FA 10.78Z		
	Φ 370	Φ 350	Φ 330
Q (l/s)	10,0	24,0	18,0
Hman (mca)	46,0	42,0	38,0
R (%)	58	41	35
Custo diário (€/dia)	7,06 (-38%)	9,03 (-21%)	9,67 (-15%)
EER (%)	71	78	86

Tabela 4 – Características de funcionamento considerando a alteração do diâmetro do impulsor (reduções de custo avaliadas face à situação actual).

Como é possível observar a redução das perdas de carga, visível no aumento do parâmetro EER, não é contrabalançado pelo rendimento do ponto de funcionamento.

No que toca ao variador de velocidade, não faz sentido considerar a sua instalação num equipamento com o impulsor num elevado estado de degradação, razão pela qual se considerou a instalação do conversor de frequência ABB AS550 22 kW, admitindo desde logo a substituição dos impulsores por novos do mesmo diâmetro. Os resultados finais são apresentados na Tabela 5.

Velocidade de rotação (rpm)	WILO FA 10.78Z - Φ 370					
	1450	1377	1305	1232	1160	1087
Q (l/s)	28,8	25,2	22,9	19,5	15,8	9,0
Hman (mca)	46,0	43	41	38,8	36,5	34,8
R (%)	58	57,5	56,0	46,0	42,0	30,0
Custo diário (€/dia)	7,06	6,66 (- 6 %)	6,52 (- 8 %)	7,51 (+ 6%)	7,74 (+ 10%)	7,74 (+ 46%)

Tabela 5 – Características de funcionamento (a diferentes rotações) considerando a instalação do variador de frequência e a substituição dos impulsores actuais.

A optimização energética associada à instalação dos variadores de velocidade pode ser extrapolada para o cenário actual (sem substituição dos impulsores existentes), rondando uma redução de aproximadamente 10%. Efectivamente, o potencial de optimização apresenta o seu valor máximo para a variação de 10% da rotação (1305 rpm). Para rotações mais baixas, o consumo de energia acaba por ser superior, uma vez que, apesar de os caudais bombeados serem reduzidos, baixando as perdas de carga, o rendimento do

equipamento é, também, consideravelmente inferior, fazendo disparar o consumo final de energia.

3.4 Fase de planeamento das intervenções de optimização

Identificadas as principais soluções técnicas aplicáveis à situação em causa, a avaliação de novos investimentos a realizar sobre um equipamento já existente, deverá ser efectuada considerando que a redução anual dos custos de energia, corresponde a um retorno anual que permite amortizar o investimento. Nesse sentido, poderá considerar-se a avaliação de diferentes soluções segundo variáveis auxiliares como o *Payback* simples ou o Índice de Rendibilidade (IRP), que permite avaliar o grau de rendibilidade do projecto em causa, por cada euro de capital investido (HI&PSM, 2008; Leite *et al*, 2010).

Através deste tipo de avaliação económica será possível efectuar comparações entre as diferentes soluções e obter uma indicação das melhores soluções do ponto de vista económico. Em conjunto com os dados constantes do relatório da fase anterior, a avaliação económica dos investimentos auxiliarão a discussão, com os responsáveis da entidade gestora, da(s) opção(ões) a considerar para a optimização do sistema elevatório em causa. De igual forma deverão ser discutidos e analisados os objectivos de investimento e de intervenção na mesma, permitindo a construção de um planeamento financeiro adequado, e eventual faseamento no tempo, no caso, por exemplo, da consideração de múltiplas intervenções de optimização. Além disso, a maior ou menor importância do funcionamento contínuo da estação elevatória, bem como a necessidade de acautelar alternativas à operação do sistema poderão ser factores igualmente importantes no planeamento da(s) intervenção(ões) em causa.

No caso da estação de Afife, surgem resumidas na Tabela 6 as avaliações económicas de cada uma das soluções de optimização analisadas, sendo considerado que a taxa de crescimento do consumo de energia é sensivelmente idêntico à taxa de inflação.

Solução de optimização		Investimento Inicial (€)	Poupança Anual (€)	Payback (anos)
<i>Substituição do impulsor Φ 370</i>		6400	1577	4,05
<i>Alteração do diâmetro do impulsor</i>	Φ 350	6400	857	7,46
	Φ 330	6400	626	10,21
<i>Instalação do conversor de frequência</i>		6480	415	15,60
<i>Instalação de bomba de pequena capacidade</i>		5380	1375	3,91

Tabela 6 – Avaliação económica das alternativas de optimização da estação de Afife

Como se pode verificar pelos resultados obtidos, a solução mais vantajosa economicamente, é a de instalação de uma bomba de pequena capacidade. Não obstante, uma vez que a diferença face à simples substituição dos impulsores é muito reduzida, com um grau de intervenção bastante inferior na estação elevatória, poderá ser mesmo a opção técnica e economicamente mais indicada para a optimização da estação de Afife.

3.5 Fase de avaliação e acompanhamento do plano

A avaliação, em operação, da(s) solução(ões) de optimização aplicada(s) irá permitir aferir a real redução dos consumos de energia da estação elevatória e, conseqüentemente, dos custos operacionais de energia. Para isso, deverão ser acautelados, logo desde a fase de planeamento, o acompanhamento que deverá ser assegurado após intervenção na estação. Esse processo deverá ter uma duração igual ou superior a 1 ano, tendo por base indicadores auxiliares predefinidos e fáceis de avaliar, inclusive pelo pessoal da própria entidade gestora. Como indicadores de base poderão ser avaliados, idealmente em contínuo, os níveis de caudal e pressão da estação elevatória, bem como dos consumos de energia eléctrica efectuados em igual período. Deverão, igualmente, ser previstas, fases de reavaliação dos dados obtidos, ao final de um ano, dois anos, etc., incluindo dos pressupostos considerados na fase de avaliação das diferentes soluções técnicas de optimização. A eventual modificação das condições de funcionamento do sistema poderá, justificar, após reavaliação da eficiência do sistema, uma nova intervenção de optimização.

4. CONCLUSÕES

A optimização energética de estações elevatórias de águas residuais apresenta um potencial de exploração que deverá ser assistido com um estudo cuidado e devidamente aprofundado para cada situação específica. Como tal, justifica-se o desenvolvimento de planos segundo etapas devidamente estipuladas, tal como as descritas no presente trabalho e, fundamentalmente, apoiadas na recolha exaustiva de todos os elementos disponíveis. Além disso, devido às especificidades de cada situação, não existem soluções de optimização predefinidas, devendo ser estudado o sistema elevatório no seu conjunto e conhecendo as reais necessidades de bombeamento (caudais afluentes e altura geométrica a vencer). De igual forma a avaliação económica das soluções possíveis permitirá auxiliar a tomada de decisão final, altura em que deverão ser definidos, de forma estruturada, o planeamento da intervenção em causa e o processo de acompanhamento posterior.

Em relação à estação de Afife, o sistema é controlado pelo desnível geométrico, sendo nestas situações o processo de optimização energético centrado no rendimento mecânico em primeiro lugar, seguido da redução das perdas de carga (optimização da variável EER). Efectivamente, os grupos electrobomba no mercado, para esta gama de caudal e altura manométrica limitam consideravelmente a processo de optimização.

Ainda assim, foi possível verificar que, apesar de se encontrar ligeiramente sobredimensionada face às solicitações a que está sujeita, e não obstante, a elevada altura geométrica que tem de vencer, a principal causa de ineficiência dever-se-á a uma degradação acentuada dos impulsores actualmente instalados, justificando-se a sua substituição. Em alternativa poderá ser considerada a instalação de um grupo electrobomba de pequena capacidade, procurando fazer face aos períodos de menores afluências. Em ambas as situações o período de retorno do investimento a efectuar ronda os 4 anos, sendo possível obter uma poupança anual, na situação analisada, na ordem dos €1400-€1500 (≈ - 30 %).

Considerando que na situação em análise, com todas as limitações apresentadas é possível obter um potencial de redução de 30%, o potencial de optimização do conjunto das estações elevatórias, sob exploração de uma mesma entidade gestora, pode resultar em valores

superiores, reduzindo custos de operação e melhorando as condições de sustentabilidade ambiental dos sistemas.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se à Águas do Noroeste, S.A. pela disponibilização de dados relativos ao caso de estudo e pelos valiosos contributos para a elaboração deste documento.

BIBLIOGRAFIA

DOE, HI (2006), *Improving Pumping System Performance – A Sourcebook for Industry*, 2ª edição, US Department of Energy's Industrial Technologies Program, Hydraulic Institute (HI)

DOE, HI, Europump (2001), *Pump Life-Cycle costs: A Guide to LCC analysis for pumping systems*, US Department of Energy's Office of Industrial Technologies (OIT- DOE), Hydraulic Institute, Europump.

ERSAR (2009), *Relatório Anual do Sector das Águas e Resíduos em Portugal (RASARP) 2008 – Volume 03 – Avaliação da qualidade do serviço prestado aos utilizadores*, Entidade Reguladora de Sistemas de Águas e Resíduos, I.P., ISBN 978-989-8360-00-7

ERSAR, LNEC (2009a), *Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores – 2ª Geração do sistema de avaliação (versão preliminar)*, Instituto Regulador de Águas e Resíduos (actual Entidade Reguladora de Sistemas de Águas e Resíduos) e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Dezembro de 2009.

EUROSTAT (2009), *Panorama of Energy - Energy statistics to support EU policies and solutions*, EUROSTAT statistical books, European Commission, ISBN 978-92-79-11151-8

HI, PSM (2008), *Optimizing Pumping Systems – A guide for Improved Energy Efficiency, Reliability and Profitability*, Hydraulic Institute, Pump Systems Matter, 1ª edição, EUA, 2008

IRAR (2009), *Desafios para os serviços de águas em Portugal numa perspectiva de médio e longo prazo*, Publicação do Instituto Regulador de Águas e Resíduos (actual Entidade Reguladora de Sistemas de Águas e Resíduos), Agosto de 2009.

IRAR, LNEC (2004), *Guia técnico 2: Indicadores de desempenho para serviços de Águas Residuais*, Instituto Regulador da Água e Resíduos (actual Entidade Reguladora de Sistemas de Águas e Resíduos, I.P.) e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2004.

Kumar, J. (2009), *Auditing Pumping Systems to Unveil Hidden Energy Saving Potential*, Actas da conferência "Energy Efficiency in Motor Driven Systems", Nantes, França, 14 a 17 de Setembro de 2009.

Leite, P., Vivas, E., Monteiro, P., Tentúgal Valente, L, (2010), *Optimização energética no dimensionamento de estações elevatórias de águas residuais*, em actas da conferência 10º Congresso da Água – "Marcas d'Água", APRH, Algarve, 21 a 24 de Março de 2010.

PSM (2007), *Pump System Basic Assessment Guide*, Pump System Matter, 2007, disponível online em: <http://www.pumpsystemsmatter.org/>

Veness, J (2007), *Pump Energy Reduction - A Systems Approach*, artigo apresentado no Institute of Mechanical Engineers, 2007, Reino Unido.