

POTENCIAL DE OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA DE SISTEMAS ELEVATÓRIOS DE ÁGUAS RESIDUAIS.

P. LEITE¹, F. FERREIRA², L. TENTÚGAL-VALENTE³, E. VIVAS⁴

RESUMO:

A otimização energética representa uma oportunidade de redução dos custos de operação dos sistemas elevatórios e de rentabilização económica das entidades do sector, visando uma otimização do binómio: capacidade de bombeamento do sistema e variação do caudal afluente ao sistema elevatório.

Existem diversas técnicas de otimização energética (instalação de grupos de pequena capacidade, escalonamento de bombas em paralelo, funcionamento com variadores de velocidade, etc.), umas mais apropriadas para sistemas já existentes, outras para o dimensionamento de novos sistemas. Qualquer destas soluções pode, de forma isolada ou conjugada, incrementar o nível global de eficiência do sistema, devendo cada caso ser sujeito a um estudo específico.

O presente trabalho foca um estudo comparativo de avaliação do potencial de redução dos custos energéticos, em sistemas elevatórios distintos, selecionados com base nos parâmetros: fator hidráulico do sistema (relação entre as alturas manométrica e geométrica do sistema), relação entre o caudal máximo e caudal médio, energia específica mensal e número de horas de funcionamento mensal por grupo electrobomba.

O estudo foi efetuado com base em três sistemas elevatórios distintos, situados no sistema urbano de drenagem do concelho de Vila Nova de Gaia, sob responsabilidade da empresa Águas de Gaia, EEM.

Palavras-chave: caudais afluentes, custos de energia, eficiência energética, sistemas elevatórios, períodos de funcionamento.

¹ Smartive, Lda; pedro.leite@smartive.net

² Águas e Parque Biológico de Gaia, EEM, ferreira@aguasgaia.pt

³ Noraqua, Lda, luisvalente@noraqua.pt

⁴ Smartive. Lda; eduardo.vivas@smartive.net

1. INTRODUÇÃO

A otimização energética representa uma oportunidade de redução dos custos de operação dos sistemas elevatórios, e de melhorar a rentabilidade económica das entidades do sector. De facto, analisando o ciclo de vida dos sistemas elevatórios verifica-se que os custos do consumo de energia são os mais significativos, podendo, nos sistemas de maior dimensão, atingir valores na ordem dos 80 a 90% do custo total (DOE *et al*, 2001). Assim, a maximização da eficiência energética revela-se essencial devido à tendência crescente do custo de energia, e à necessidade de redução da dependência energética e da emissão de gases de efeito de estufa (EUROSTAT, 2009; IRAR, 2009).

Não obstante, a sua utilidade extravasa o âmbito de maximização da rentabilidade dos equipamentos, enquanto ativos das empresas, promovendo também a responsabilidade social das empresas, pela minimização de impactes ambientais decorrentes da diminuição da utilização de recursos energéticos. 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, 2011). 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 (ERSAR&LNEC, 2009), esse indicador deva passar a avaliar, directamente, a eficiência energética das instalações elevatórias (kWh/(m³.100m), reforçando a necessidade de optimização das mesmas.

A realização de estudos de optimização energética, centrados na aplicação dos conceitos de *Energy Efficiency Rating* – EER e Energia Específica - E_s , representa, assim, uma rutura com o dimensionamento estático e expressamente focado na resposta satisfatória ao caudal máximo de projeto. Esse caudal está, habitualmente, associado a uma reduzida frequência de ocorrência, pelo que existe uma margem significativa de aumento da eficiência do sistema em situações de menores afluências, correspondentes ao período mais significativo do ciclo de vida dos mesmos. A aplicação destes conceitos visa, então, uma análise dinâmica, centrada na optimização do binómio: capacidade de bombeamento do sistema e diagrama do caudal afluente, com claro benefício ao nível dos custos de operação e de manutenção. De facto, 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). Como tal, a possibilidade de adaptar o caudal bombeado à variação do caudal afluente traduzir-se-á numa redução significativa dos custos de operação, por minimização dos custos de energia.

Das diversas técnicas/metodologias de optimização energética destacam-se, por serem vocacionadas para aplicação a sistemas existentes: a instalação de grupos de pequena capacidade, a alteração do diâmetro do impulsor, a instalação de variadores de velocidade e a substituição dos grupos eletrobomba por outros mais eficientes. Qualquer uma destas soluções pode, de forma isolada ou conjugada, após uma correta avaliação técnica do funcionamento do sistema, permitir incrementar o nível global de eficiência.

Assim, tomando por base estudos de soluções de optimização aprofundados em trabalhos anteriores (LEITE *et al*, 2010a; 2010b; 2012) é efectuada, no presente artigo, uma avaliação comparativa do potencial de redução do consumo energético em três sistemas elevatórios

diferentes (Espírito Santo, Valadares e Afurada), seleccionados, no seio de um sistema urbano de drenagem de águas residuais (do concelho de Vila Nova de Gaia, sob responsabilidade da empresa Águas e Parque Biológico de Gaia, EEM) de acordo com parâmetros de base específicos. Esses sistemas foram ainda alvo de uma avaliação detalhada da eficiência energética, e de uma avaliação técnica e financeira de soluções de optimização possíveis, incluindo a simulação numérica (PUMP3E) e avaliação do funcionamento atual do sistema.

2. AVALIAÇÃO ECONÓMICA DE UM SISTEMA ELEVATÓRIO

2.1 Custos totais do ciclo de vida

A avaliação dos custos do ciclo de vida (ou *Life Cycle Costs* – LCC) permite identificar, na fase de investimento e de construção de novos sistemas, qual, das várias soluções para um determinado sistema, poderá ser a mais eficiente do ponto de vista económico, dentro das limitações óbvias da informação disponível em fase de projeto (DOE *et al*, 2001).

Uma vez que uma estação elevatória de águas residuais tem normalmente um período de vida útil situado entre os 15 e os 20 anos, verifica-se que alguns dos custos envolvidos neste sistemas terão lugar de forma faseada no tempo, decorrentes da própria operação do sistema. Por esse motivo, o custo do ciclo de vida (LCC) de um sistema elevatório de águas residuais deverá resultar de um somatório dos principais custos, no seu período de vida útil, tal como apresentado em (1), devendo ser devidamente atualizados, de forma a poder avaliar as diferentes soluções na mesma base temporal (adaptado de HI&PSM, 2008):

$$LCC = C_{aq} + C_{in} + C_e + C_m + C_o \quad (1)$$

Sendo:

C_{aq} = custos de aquisição (equipamentos mecânicos, tubagens, etc.)

C_{in} = custos de instalação e de comissionamento (incluindo a construção de instalações)

C_e = custos de energia (de acordo com a operação expectável do sistema)

C_m = custos de manutenção e de reparação (intervenções previsíveis)

C_o = Outros custos (recursos humanos, ambientais, de remoção, etc.)

Em termos relativos verifica-se, contudo, que os custos mais significativos no ciclo de vida de um sistema deste género correspondem aos custos de energia, representando, em termos médios, valores na ordem dos 40 % dos custos totais (DOE *et al*, 2001). De forma geral, poderá considerar-se que, para os mesmos requisitos de projecto, a optimização energética no dimensionamento de sistemas elevatórios irá influenciar directamente os custos de energia, bem como os custos de aquisição e instalação destes sistemas, dependendo da solução de optimização considerada. Os custos de manutenção, embora possam, teoricamente, ser consideravelmente reduzidos com a optimização de funcionamento dos grupos electrobomba (HI &PSM, 2008), não constituem um benefício directamente mensurável e variará de caso para caso. Por essa razão a estimativa deste

tipo de custos deverá ser obtida junto do fabricante dos equipamentos em causa ou, no limite, considerado fixo na avaliação das diferentes alternativas (ABELIN *et al*, 2006).

3. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Os parâmetros base considerados para seleção dos sistemas elevatórios que iriam ser alvos de avaliação específica atendendo ao potencial de redução dos custos energéticos, foram: (i) o fator hidráulico do sistema, (ii) a relação entre o caudal máximo e o caudal médio, (iii) a energia específica mensal, e (iv) o número de horas de funcionamento mensal por grupo eletrobomba.

3.1 Fator hidráulico do sistema

O fator hidráulico do sistema corresponde à relação entre a altura manométrica e a altura geométrica do sistema (3):

$$f_{HS} = \frac{H_f + H_g}{H_g} \quad (3)$$

sendo H_f a componente de perdas de carga (fricção) e H_g o desnível geométrico. Assim, uma vez que este parâmetro pretende traduzir a importância da parcela de perdas de carga no sistema, torna-se um importante auxiliar na avaliação do potencial de otimização energética, uma vez que em sistemas controlados pelo desnível geométrico existe uma gama limitada em que a variação de caudal, e conseqüente redução das perdas de carga.

3.2 Relação entre o caudal máximo e o caudal médio

Uma vez que o dimensionamento de uma estação elevatória é efetuado para o caudal máximo de projeto, quanto maior for a relação entre esse caudal máximo e o caudal afluente médio, maior será também o potencial de otimização energética. De facto, verifica-se que essa relação ultrapassa, em muitas situações o dobro ou o triplo, situações em que deverá ser avaliada a flexibilidade de operação do sistema e de adaptação aos caudais afluentes.

3.3 Energia específica mensal

A energia específica (kWh/m^3) é um parâmetro útil para calcular o custo de bombagem e efectuar uma comparação entre as possíveis soluções de otimização do sistema. De facto, quando o sistema apresenta apenas um ponto de bombagem o cálculo da energia específica é uma tarefa simples. Não obstante, em sistemas com vários pontos de funcionamento, a determinação da energia específica (3) implica um cálculo ponderado, por volume bombeado, da energia específica de cada ponto de funcionamento.

$$\text{Energia Específica } (E_s) = \frac{\text{Energia consumida}}{\text{Volume bombeado}} \text{ (kWh/ m}^3\text{)} \quad (3)$$

3.4 Número de horas de funcionamento mensal por grupo eletrobomba

O aumento do número de horas de funcionamento do sistema, considerando a correcta concepção do sistema e uma variação do caudal afluente constante, pressupõem uma diminuição acentuada do rendimento dos grupos electrobomba, implicando uma redução do caudal bombeado e o aumento dos custos de operação.

4. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO E OPTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA

4.1 Ferramenta de avaliação de eficiência energética – PUMP 3E

A escolha da solução de otimização implica a análise global do funcionamento do sistema, a avaliação dos limites de aplicabilidade das diferentes soluções possíveis e a avaliação económica das mesmas, considerando a poupança de energia passível de ser obtida com cada uma dessas opções, ao longo do ciclo de vida do equipamento (LEITE *et al*, 2010a; 2010b). Tal poderá ser conseguido com a simulação numérica do sistema elevatório, como por exemplo através da ferramenta PUMP3E (*Pump Energy Efficiency Evaluation*). Esta ferramenta (Figura 1) possibilita, com base na definição de caudais afluentes, uma modelação dos diversos componentes do sistema elevatório e, ainda, a avaliação de alguns parâmetros de eficiência energética (EER - *Energy Efficiency Rating* e custo diário de energia), facilitando o teste e avaliação de soluções de optimização incluindo a estimativa de melhorias de eficiência. Resumidamente, a aplicação PUMP3E apresenta como principais funcionalidades:

- Definição de diferentes cenários de caudais afluentes;
- Modelação dos 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;
- Seleção de um ou vários grupos eletrobomba, 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.

Sendo um parâmetro complementar à avaliação da energia específica (3), o *Energy Efficiency Rating* – EER (4) tem, também, como objectivo a avaliação do comportamento energético do sistema para facilitar a comparação de soluções de optimização energética de um sistema elevatório. No entanto, o EER permite aferir a discrepância entre as perdas de carga mínimas do sistema (consistindo na altura manométrica teórica, segundo a curva característica da instalação, considerando uma bombagem teórica e contínua do caudal afluente), e as perdas de carga reais, face aos caudais reais de bombeamento do sistema. Assim, quanto mais próximo de 100%, maior será a eficiência do sistema.

$$\text{EER (\%)} = \text{H manom. teórica} \times \text{Q afluente} / (\text{H manom. real} \times \text{Q bombeado}) \times 100 \quad (4)$$

Em que:

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

Q afluente = Caudal afluente 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.

Por outro lado, o custo de energia diário resulta da potência despendida (kWh) por cada grupo em funcionamento, individualmente ou em paralelo, ao longo do período de simulação. No caso de se verificar um aumento desse custo entre duas soluções, este facto pode dever-se a um aumento das perdas de carga injustificadas, visível num aumento simultâneo do parâmetro EER, ou por o sistema apresentar pontos de funcionamento mais afastados da maior eficiência de cada grupo, reduzindo a eficiência do sistema global.

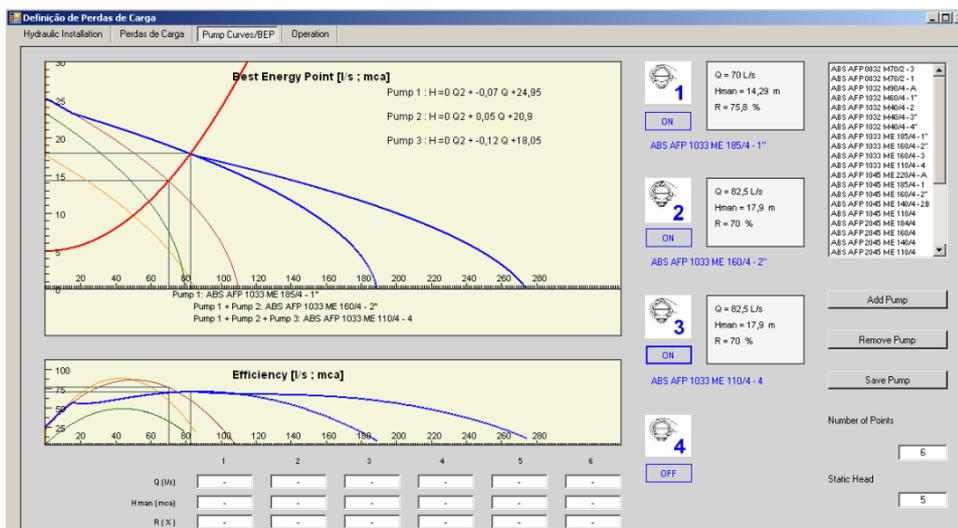


Figura 1 – Pump 3E - Módulo de selecção dos grupos electrobomba, com apresentação das curvas características dos grupos e definição dos pontos de funcionamento

5. CASOS DE ESTUDO

O estudo de otimização energética foi levado a cabo tomando por base as estações elevatória de Espírito Santo, Valadares e Afurada, localizadas no concelho de Vila Nova de Gaia e sob responsabilidade da empresa Águas e Parque Biológico de Gaia, EEM. A análise efetuada assentou nas seguintes etapas:

- Caracterização dos sistemas.
- Verificação da variação dos consumos energéticos anuais;
- Análise do funcionamento hidráulico atual, compreendendo:
 - Diagramas do caudal afluente semanal em tempo seco e avaliação dos tempos de funcionamento do sistema;
 - Pontos de funcionamento dos grupos eletrobomba.
- Avaliação técnica e económico-financeira das soluções de otimização consideradas.

Importa desde logo referir que, subjacente a qualquer metodologia de otimização energética considerada, esteve sempre a condição de não alteração da capacidade máxima de bombagem dos equipamentos elevatórios.

5.1. Caracterização geral dos sistemas elevatórios

Os sistemas considerados apresentam as características gerais sistematizadas na Tabela 1.

Tabela 1: Características gerais dos sistemas elevatórios em análise.

Características	Espírito Santo	Afurada	Valadares
Conduta elevatória	FFD DN700 L = 3.562 m	FFD DN700 L = 1.878 m	FFD DN500 L = 430 m
Grupos eletrobomba	ABS AFP 3502 – ME1100/6-61 (2+1)	ABS AFP 2001 – ME750/4-53 (3+1)	ABS AFP 2001 – ME750/4-53 (2+1)
Pontos de funcionamento	Q = 420 l/s Hman=22.7 m Pot = 175 kW	Q = 161 l/s Hman= 21.5 m Pot = 41 kW	Q = 246 l/s Hman=12.9 m Pot = 33 kW

Os três sistemas elevatórios arrancam, alternadamente, os diferentes grupos eletrobomba, de acordo com o número de horas totais de cada equipamento, podendo ter, no máximo, dois grupos em funcionamento simultâneo, no caso dos sistemas elevatórios de Lavadores e Espírito Santo, e três grupos no sistema da Afurada.

Comentário [e1]: Fundamental? Pode retirar-se?

Relativamente, aos sistemas elevatórios de Valadares e Espírito Santo estão equipados com variadores de frequência. No entanto, na situação atual, o variador de velocidade apenas tem como objetivo controlar o arranque em situação de falha de energia e assegurar o funcionamento do sistema com o auxílio do gerador de emergência. Por esse motivo, na presente análise, irá ser considerado que este equipamento não influencia o funcionamento dos sistemas.

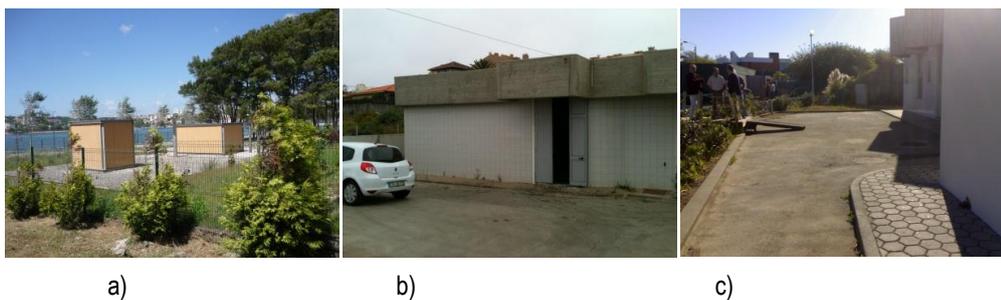


Figura 2 – Fotografias das estações elevatórias: a) Afurada; b) Valadares e c) Espírito Santo.

5.2. Variação do consumo energético anual

A análise das faturas de energia permitiu aferir um custo total anual de 37.377€ para a EE de Espírito Santo, 39.394€ para a EE da Afurada e 26.364€ para a EE de Valadares. Os valores apresentados correspondem ao período de faturação de Março de 2011 a Fevereiro de 2012 (Tabela 3).

Tabela 3: Resumo mensal (€) das faturas de energia das estações elevatórias, no período de Março de 2011 a Fevereiro de 2012.

Mês	Valor mensal faturado		
	Espírito Santo	Afurada	Valadares
Março 2011	3.886,96 €	3.053,37 €	2.250,00 €
Abril 2011	3.303,92 €	3.398,77 €	2.951,81 €
Mai 2011	2.784,61 €	3.170,25 €	2.546,02 €
Junho 2011	2.784,82 €	3.558,15 €	1.995,31 €
Julho 2011	2.661,60 €	3.185,62 €	1.585,85 €
Agosto 2011	2.825,97 €	3.064,20 €	2.085,65 €
Setembro 2011	2.776,63 €	3.281,42 €	2.246,45 €
Outubro 2011	3.400,85 €	3.160,27 €	2.229,29 €
Novembro 2011	3.129,03 €	3.337,92 €	1.958,06 €
Dezembro 2011	3.177,98 €	3.000,20 €	2.357,43 €
Janeiro 2012	3.584,39 €	3.723,37 €	2.225,00 €
Fevereiro 2012	3.026,74€	3.460,98 €	1.933,93 €
Média	3.111,96 €	3.282,88 €	2.197,07 €
Total	37.344,50 €	39.394,52 €	26.364,80 €

5.3. Análise do funcionamento atual

A otimização energética do sistema irá depender da variação do caudal afluente e, como tal, da caracterização e determinação do funcionamento atual, conforme anteriormente referido. Nesse sentido, foi implementada uma campanha de medição do caudal afluente e de registo da variação de nível no poço de bombagem, associada a procedimentos de arranque e paragem individualizada de cada grupo eletrobomba.



a)



b)



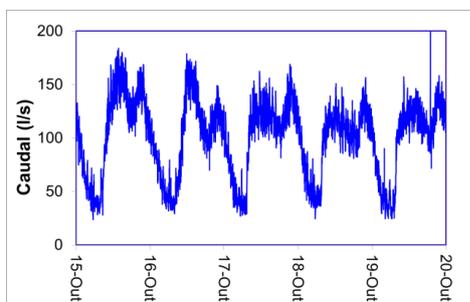
c)

Figura 3 – Fotografias das metodologias de medição utilizadas: a) medição de caudal no coletor de chegada; b) medição de nível no poço de bombagem e c) medição de pressão na flange de acoplamento do grupo eletrobomba.

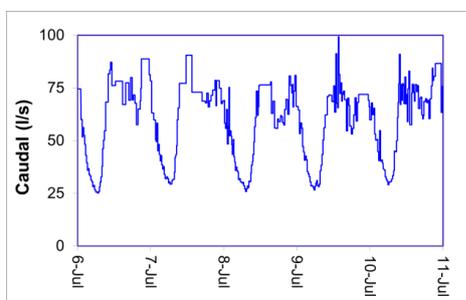
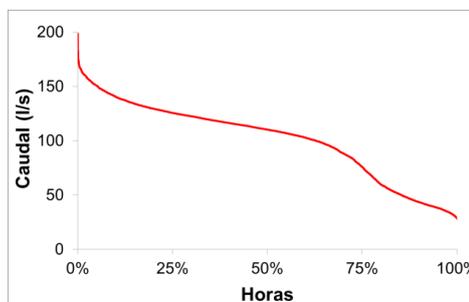
5.3.1. Diagrama de caudais afluentes e tempos de funcionamento

A medição do caudal afluente foi realizada através da instalação de um medidor de caudal na câmara de visita à entrada da estação elevatória, no caso do sistema de Espírito Santo e por avaliação da evolução dos níveis do poço de regulação no caso dos sistemas elevatórios de Valadares e Afurada.

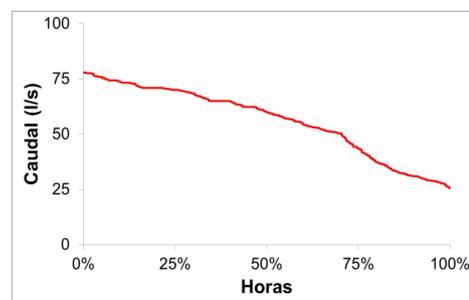
É importante relembrar que estas campanhas de medição se realizaram em períodos sem qualquer precipitação, pelo que se poderá considerar que os caudais afluentes medidos serão representativos de tempo seco. Representam-se, na Figura 4, as variações de caudal afluente a cada estação, para um período representativo, atendendo ao período de análise, bem como, o diagrama de caudais classificados, no período de medição, representando a frequência de ocorrência dos caudais afluentes em cada sistema.

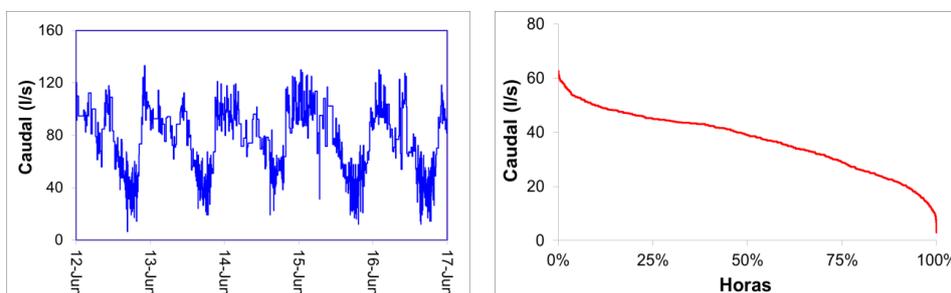


a) Estação elevatória de Espírito Santo



b) Estação elevatória de Valadares





c) Estação elevatória da Afurada

Figura 4 – Curvas de variação de caudal afluyente e de caudais classificados.

Com vista à otimização energética destes sistemas a informação mais relevante obtida da análise dos caudais afluentes ao longo do período de análise, corresponde à identificação dos aspetos apresentados na Tabela 4:

Tabela 4 – Características principais dos caudais afluentes a cada sistema elevatório.

Caudal afluyente (l/s)	Sistema elevatório		
	Espírito Santo	Afurada	Valadares
Valor máximo	215	62	78
Valor mínimo	25	3	25
Valor mediano	110	39	60
Volume diário (m ³ /d)	8683	5262	7234

Por outro lado, a avaliação realizada permitiu, ainda, a análise dos tempos de funcionamento dos grupos eletrobomba de cada sistema elevatório, em particular o tempo de arranque para cada equipamento (Tabela 5).

Tabela 5 – Análise dos tempos de funcionamento e do número de arranques no período de medição para os três sistemas elevatórios

	GE N°1	GE N°2	GE N°3	Total
Espírito Santo				
Tempo funcionamento diário (h)	0.49	3.93	2.98	7.40 (31%)
N° arranques/h	0,6	3,7	3,7	8.0
Tempo médio de funcionamento (min)	2,22	2,69	2.04	
Caudal de bombagem (l/s)	500	442	508	
Afurada				
Tempo funcionamento diário (h)	10.38	5.99	5.85	22.23 (93%)
N° arranques/h	3.1	2.4	1.8	7.3

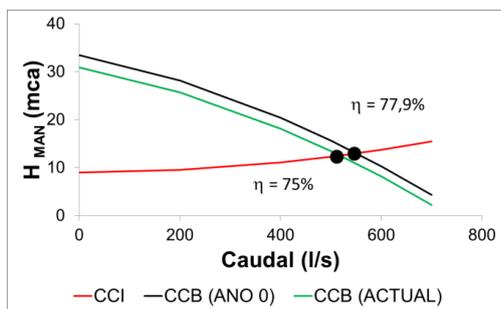
Tempo médio de funcionamento (min)	8.42	6.27	8.03	-
Caudal de bombagem (l/s)	90	82	81	-
Valadares				
Tempo funcionamento diário (h)	0.19	4.27	14.60	19.06 (79%)
Nº arranques/h	0.2	1.4	2.6	4.2
Tempo médio de funcionamento (min)	3.04	7.40	14.23	
Caudal de bombagem (l/s)	144	69	66	

Relativamente ao sistema elevatório de Espírito Santo, comparando o tempo de arranque com o tempo médio de funcionamento, é possível concluir que a componente do consumo de energia, associado ao arranque dos grupos, é de aproximadamente 30% do consumo total. Este valor é elevado e resulta do facto do caudal de bombagem ser superior ao recomendado para o volume útil do poço de bombagem, implicando um número elevado de arranques por hora e um tempo de funcionamento total reduzido.

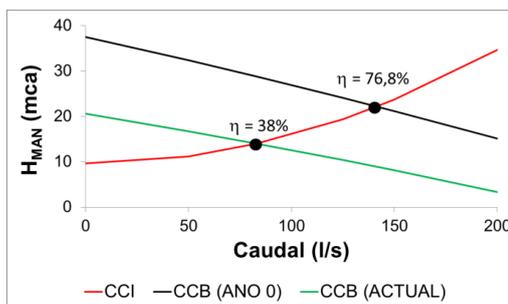
Por outro lado, os dados relativos às estações elevatórias de Valadares e Afurada descrevem um sistema com tempos de funcionamento do conjunto dos grupos electrobomba bastante elevados. Este funcionamento está associada à relação entre o caudal bombado e a variação do caudal afluente.

5.3.2. Análise do ponto de funcionamento

A determinação das condições de funcionamento para cada grupo eletrobomba pressupõe a análise em simultâneo das seguintes variáveis, em função do nível do poço de bombagem: altura manométrica, caudal e potência absorvida. Apresentam-se, nas Figuras 7, os resultados das medições efetuadas individualmente para os três sistemas elevatórios.



a) EE Espírito Santo



b) EE Valadares

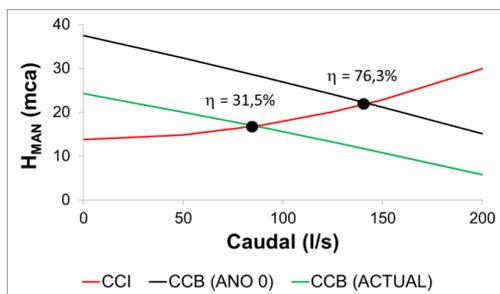


Figura 7 – Comparação do ponto de funcionamento do sistema inicial (teórico) e actual (medido)

c) EE Afurada

5.4. Otimização do comportamento hidráulico e mecânico dos sistemas

Para otimização energética dos sistemas foram consideradas soluções específicas para as características de cada um. Assim, para Espírito Santo, foi considerada a opção de instalação de uma bomba de menor capacidade para, dessa forma, reduzir o número de arranques dos grupos atualmente instalados (ponto 5.4.1). No que toca às estações elevatórias de Valadares (ponto 5.4.2) e Afurada (ponto 5.4.3) verificou-se uma acentuada redução da eficiência dos grupos elevatórios. Como tal, em ambos os casos foi avaliada a substituição dos impulsores atualmente instalados e procurou-se ainda analisar o período ideal de substituição dos mesmos.

5.4.1. Estação elevatória de Espírito Santo

A instalação de um grupo eletrobomba de menor capacidade na estação de Espírito Santo apresenta duas vantagens expressivas quanto à otimização energética do sistema em análise. A primeira prende-se com a redução significativa do número de arranques dos grupos de maior potência, ganhando importância redobrada face ao consumo de energia e tempo de arranque. A segunda resulta da redução da componente de perdas de carga contínuas, com a alteração do ponto de funcionamento, potenciando a natural redução da energia específica do sistema. Obviamente que as vantagens anteriormente enunciadas implicam a seleção de um equipamento com um rendimento total similar ao dos grupos atualmente instalados.

Assim, tendo em atenção a curva dos caudais classificados (Figura 8), o equipamento a instalar deve funcionar na gama de 100 l/s a 125 l/s. A opção recaiu no valor máximo, 125 l/s, tendo em atenção a importância de reduzir significativamente o número de arranques dos equipamentos atuais.

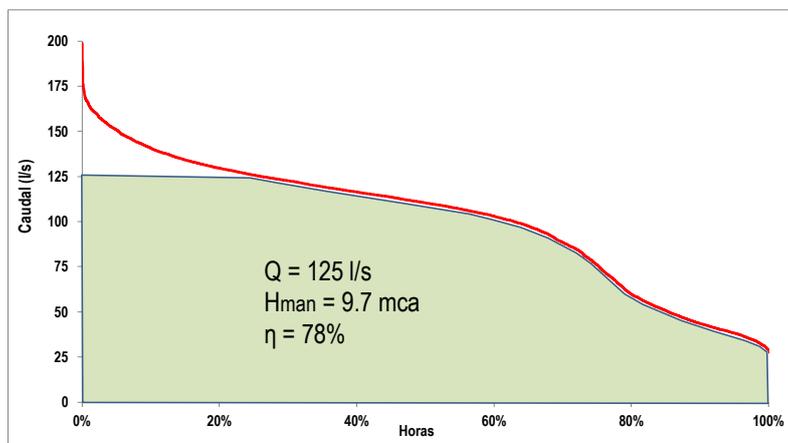


Figura 8 – Gama de utilização do grupo eletrobomba de pequena capacidade

A instalação deste equipamento possibilitaria dispensar a utilização dos grupos eletrobomba atuais em, aproximadamente, 75% do período em análise. Contudo, é importante referir que, mesmo em situação de afluência de um caudal superior a 125 l/s, este equipamento pode continuar em funcionamento até ser atingido um determinado nível no poço que acione os grupos de capacidade superior. Neste modo de operação esta opção pode ser responsável por, aproximadamente, 95% do volume bombeado na estação elevatória de Espírito Santo.

Com esta solução é possível obter uma redução, nos períodos de funcionamento, do valor de energia específica de 0.049 kWh/m³ para 0.033 kWh/m³, ou seja uma redução de 32%. Assim, considerando o período em que o sistema está em funcionamento e a diminuição muito acentuada dos arranques dos grupos de maior capacidade, o valor de redução do consumo acaba por ser de cerca de 42%. Esta solução apresenta como ponto forte uma maior adaptação do caudal bombeado ao caudal afluente, visível na subida do parâmetro EER dos atuais 57% para praticamente 95%.

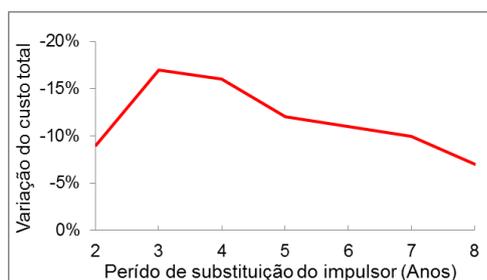
A implementação desta solução implica a aquisição de um novo grupo eletrobomba, bem como empreender as necessárias alterações no equipamento eletromecânico da câmara de manobras e ao nível do quadro de comando. No entanto, considerando a aquisição de um grupo eletrobomba com as características desejadas, com um custo de cerca de 4.700€, representa um investimento total estimado de 9.250€. Assim, esta solução apresentaria um período de retorno de 8 meses.

5.4.2. Estação elevatória de Valadares

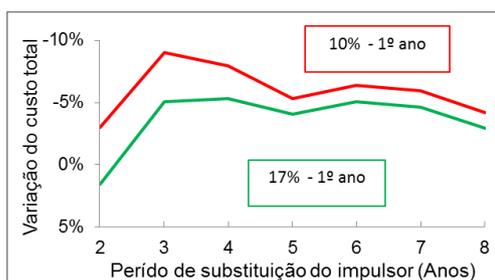
A análise ao funcionamento da estação elevatória de Valadares revela um sistema com períodos de funcionamento dos grupos eletrobomba elevados (o somatório dos tempos de funcionamento dos conjunto dos grupos corresponde a 79% do período de análise) e um desgaste acentua dos impulsores dos grupos eletrobomba, correspondendo a um decréscimo acentuado do caudal de funcionamento e uma diminuição do rendimento total dos equipamentos.

Neste contexto, a optimização energética do sistema passa numa primeira fase por definir o período óptimo de substituição dos impulsores, tendo em consideração o custo de energia e

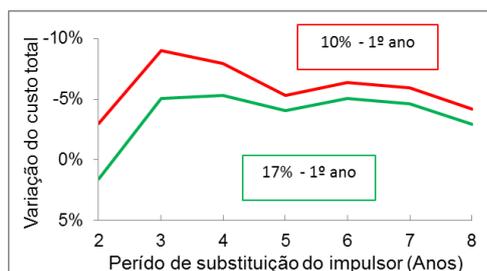
o inerente acréscimo do custo de manutenção. A abordagem apresentada considera a análise para um período de 10 anos. Na Fig. 9a considera-se uma degradação linear da eficiência do impulsor, considerando um rendimento de 76,8% aquando da instalação do equipamento e 31,8% após 10 anos de utilização sem substituição dos impulsores. Nesta situação verifica-se uma redução do custo total em 17% caso a substituição dos impulsores seja realizada com uma cadência de 3 anos. Na Fig. 9b analisa-se a variação do custo total considerando uma redução da eficiência do impulsor de 20% nos primeiros dois anos. Ainda nesta situação, é apresentada a influencia de aumentar o degaste inicial do equipamento para 17%.



a) Redução linear da eficiência do impulsor



b) Redução de 20% da eficiência do impulsor nos primeiros dois anos



c) Redução tri-linear da eficiência do impulsor

Figura 9 – Variação do custo total de energia e manutenção ao longo de um período de 10 anos

Como conclusão podemos referir que o período de substituição óptimo dos impulsores se localiza na gama de 3 a 4 anos. Contudo, o aumento acentuado do desgaste destes equipamentos no primeiro ano, diminui o benefício económico da troca sistemática dos impulsores, podendo inclusivamente implicar um aumento do custo total (energia + troca dos equipamento) para o período em análise.

5.4.3. Estação elevatória de Afurada

O sistema elevatório da Afurada apresenta um comportamento comparável com o verificado para o sistema de Vadares, apresentado uma redução semelhante da eficiência do sistema. Contudo, aplicando os mesmos princípios e tendo em atenção que os impulsores são semelhantes aos existentes no sistema de Valadares, em situação de poupança o valor é incrementado em aproximadamente 40%, tendo em atenção o custo anual de energia associada a este equipamento.

6. ANÁLISE DE RESULTADOS E CONCLUSÕES

A avaliação da Estação de Espírito Santo permitiu verificar que esta apresenta uma resposta eficiente na bombagem de caudais afluentes de valor elevado, mas não surge adequada à variação diária do caudal afluente, este facto leva a um custo energético significativo.

Nesse sentido, a instalação de uma bomba de pequena capacidade apresenta vantagens ao nível da adaptação do sistema ao caudal afluente e à diminuição significativa do número de arranques dos grupos actuais, resultando numa redução significativa dos custos de operação.

Relativamente, aos sistemas elevatórios de Valadares e Afurada o estudo efectuado permite concluir que os impulsores apresentam um desgaste significativo, resultando numa diminuição acentuado do caudal de bombagem e num aumento dos custos energéticos, associado à redução do rendimento do impulsor. Contudo, apesar de se verificar que a substituição dos impulsores pode resultar numa poupança significativa nos custos de operação, estimada em 20% para o sistema de Valadares e 30% no sistema da Afurada, caso o desgaste dos impulsores apresenta uma redução progressiva, a redução significativo da eficiência dos impulsores no período inicial pode inviabilizar esta poupança.

Assim, considera-se que deverá proceder-se a uma análise detalhada da lei de redução de eficiência dos impulsores nestes sistemas elevatórios.

7. BIBLIOGRAFIA

Abelin, S., Pritchard, M., Sanks, R. (2006), *Chapter 29 – Costs*, Capítulo editado em livro Jones, G, Bosserman, B., Sanks, R., Tchobanoglous, G. (eds), *Pumping Station Design – Third Edition*, Elsevier, EUA, 2006, ISBN 978-0-7506-7544-4.

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 (2011), *Relatório Anual do Sector das Águas e Resíduos em Portugal (RASARP) 2010 – Volume 03 – Avaliação da qualidade do serviço prestado aos utilizadores*, Entidade Reguladora de Sistemas de Águas e Resíduos, I.P., ISSN 1647-9238.

ERSAR, LNEC (2009), *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.

Leite, P., Vivas, E., Monteiro, P., Tentúgal Valente, L, (2010a), *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.

Leite, P., Vivas, E., Monteiro, P., Tentúgal Valente, L, (2010b), *Planos de optimização energética de estações elevatórias de águas residuais*, em actas da conferência 14º ENaSB-SILUBESA, APESB, Porto, 26 a 29 de Outubro de 2010.

Leite, P., Ferreira, F., Tentúgal Valente, L, Vivas, E. (2012), *Os variadores de velocidade como instrumentos de optimização energética em estações elevatórias de águas residuais. Vantagens e limitações da sua aplicação*, em actas da conferência 11º Congresso da Água – “Valorizar a água num contexto de incerteza”, APRH, Porto, 6 a 8 de Fevereiro de 2012.