

# ESTUDOS DE OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA EM ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS. UMA METODOLOGIA PARA SUA SELEÇÃO

Eduardo VIVAS<sup>(1)</sup>, Pedro LEITE<sup>(2)</sup>, Luís VALENTE<sup>(3)</sup>, José TENTÚGAL-VALENTE<sup>(4)</sup>, Manuel PACHECO FIGUEIREDO<sup>(5)</sup>, Nuno AGUILAR<sup>(6)</sup>, Ricardo FERREIRA<sup>(7)</sup>

## RESUMO:

A otimização energética de estações elevatórias de água ou águas residuais constitui um procedimento para redução de custos de exploração e maior eficiência da entidade gestora.

A eficiência global de um sistema elevatório depende da capacidade de adequação às necessidades de bombeamento, mesmo que o equipamento instalado apresente um bom nível de eficiência no seu ponto de funcionamento. Um número de arranques excessivos, um ruído elevado ou um número de avarias significativo, poderão ser sinais de sistemas sobredimensionados e/ou com variações relevantes de consumos (em sistemas de abastecimento de água) ou de caudais afluentes (em sistemas de drenagem).

Existem diversas soluções de otimização aplicáveis a sistemas elevatórios. No entanto, a opção pela solução ideal implica uma análise do funcionamento do sistema elevatório na situação atual e uma simulação da(s) solução(ões) de otimização para um período significativo. Assim, justifica-se uma priorização das estações elevatórias que integram um sistema urbano de abastecimento ou drenagem para implementação de estudos de otimização.

No presente trabalho apresenta-se a definição de uma metodologia de seleção de estações elevatórias, para posterior implementação de planos de otimização específicos, tomando como base sistemas elevatórios de água e águas residuais sob gestão e exploração da empresa Águas do Noroeste, SA.

Palavras-chave: avaliação integrada, consumos de energia, estações elevatórias, indicadores de eficiência energética, potencial de otimização.

---

<sup>1</sup> Professor Adjunto Convidado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto, Telefone: +351 22 83 40 500, Fax: +351 22 83 21 159, email: [ebv@isep.ipp.pt](mailto:ebv@isep.ipp.pt)

<sup>2</sup> Engenheiro Civil, NORAQUA, Rua Monte Cativo, 313, 4050-402 Porto, Telefone: +351 22 834 95 50, Fax: +351 22 834 95 59, email: [pedro.leite@noraqua.pt](mailto:pedro.leite@noraqua.pt)

<sup>3</sup> Engenheiro Civil, NORAQUA, Rua Monte Cativo, 313, 4050-402 Porto, Telefone: +351 22 834 95 50, Fax: +351 22 834 95 59, email: [luisvalente@noraqua.pt](mailto:luisvalente@noraqua.pt)

<sup>4</sup> Professor Associado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias s/n, 4200-465 Porto, Telefone: +351 22 508 14 00, Fax: +351 22 508 14 40, email: [tvalente@fe.up.pt](mailto:tvalente@fe.up.pt)

<sup>5</sup> Professor Auxiliar, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias s/n, 4200-465 Porto, Telefone: +351 22 508 14 00, Fax: +351 22 508 14 40, email: [mpfiguei@fe.up.pt](mailto:mpfiguei@fe.up.pt)

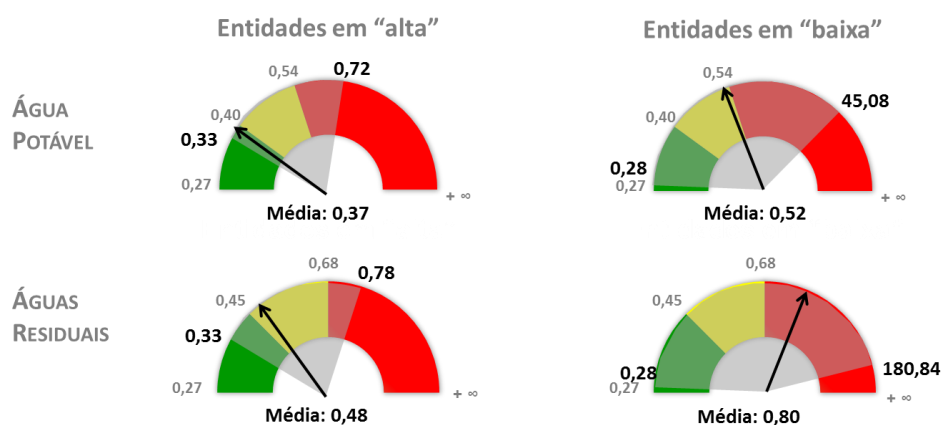
<sup>6</sup> Diretor de Infraestruturas, Águas do Noroeste, S.A., Lugar de Gaído, Barcelos, 4755-045 Areias de Vilar, Telefone: +351 253 919 020, Fax: +351 253 919 029, email: [nuno.aguilar@adnoroeste.pt](mailto:nuno.aguilar@adnoroeste.pt)

<sup>7</sup> Responsável da área de Gestão de Energia, Águas do Noroeste, S.A., Lugar de Gaído, Barcelos, 4755-045 Areias de Vilar, Telefone: +351 253 919 020, Fax: +351 253 919 029, email: [ricardo.ferreira@adnoroeste.pt](mailto:ricardo.ferreira@adnoroeste.pt)

## 1. INTRODUÇÃO:

Os grupos eletrobomba são uma componente central dos sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais, quer em termos operacionais, quer no que diz respeito ao consumo de energia. Sendo consumidores intensivos de energia, representam cerca de 65% do total do consumo de energia no setor da água em Portugal (ERSAR, 2012; 2013) e, a nível individual, o encargo com a energia nestes sistemas correspondem, normalmente, a mais de 40% dos custos totais do ciclo de vida de um sistema elevatório podendo, nos sistemas de maior dimensão, atingir valores na ordem dos 80 a 90% do custo total (DOE *et al*, 2001).

Nesse sentido, as conclusões do Relatório Anual dos Serviços de Água e Resíduos em Portugal de 2012 (ERSAR, 2013) destacam a necessidade de realização de um esforço, por parte das entidades gestoras, para redução dos encargos com energia, especialmente, no que concerne aos indicadores de 2ª geração de eficiência energética em estações elevatórias (Figura 1), indicador AA15, para sistemas de abastecimento de água potável e indicador AR11, para sistemas de drenagem de águas residuais.



**Figura 1:** Representação dos valores dos indicadores AA15 (água potável) e AR11 (águas residuais) a nível nacional, para o ano de 2011, face aos valores de qualidade de serviço (boa, a verde; mediana, a amarelo; insatisfatória, a vermelho) (adaptado de ERSAR, 2013).

Os valores obtidos significam que o consumo de energia nestes sistemas está, de forma global, acima do desejável, sendo a situação mais problemática nos sistemas de águas residuais em baixa, com um consumo de energia próximo do dobro do valor máximo recomendado. Não obstante, a situação poderá ser ainda pior, já que parte significativa das entidades gestoras não respondeu sobre o nível de eficiência dos sistemas, demonstrando a necessidade de sistematização de informação, fundamental para uma cultura de eficiência.

A eficiência global de um sistema elevatório depende da capacidade de adequação às necessidades de bombeamento, mesmo que o equipamento instalado apresente um bom nível de eficiência para o seu ponto de funcionamento. Situações onde se verifique um número de arranques excessivos, um ruído elevado ou um número de avarias significativo, poderão corresponder a sistemas sobredimensionados e/ou com variações relevantes de consumos (em sistemas de abastecimento de água) ou de caudais afluentes (em sistemas de drenagem de águas residuais). Estes casos, frequentes, justificam uma nova abordagem de análise onde, para além do nível de eficiência dos grupos eletrobomba, seja considerada uma avaliação global e real de todo o sistema elevatório (Leite *et al*, 2010).

Existem diversas soluções de otimização aplicáveis a sistemas elevatórios, algumas mais vocacionadas para sistemas já em funcionamento. No entanto, a opção pela solução ideal implica uma análise global do funcionamento do sistema, na situação atual, e uma simulação da solução de otimização para um período de tempo significativo. De facto, os estudos de otimização poderão ser aplicados a todo o tipo de estações elevatórias, mas o potencial de otimização será muito variável (Leite *et al*, 2012). Por outro lado, estações que apresentem consumos intensivos de energia poderão apresentar um potencial total de poupança (em custos) mais significativo do que estações elevatórias menos eficientes e, teoricamente, com um potencial relativo de otimização superior.

Assim, justifica-se a realização de uma análise preliminar das múltiplas estações elevatórias, de modo a serem identificadas aquelas consideradas prioritárias para a realização de estudos de otimização, permitindo, numa lógica de conjunto, potenciar o investimento.

Tendo em atenção a importância dos consumos de energia para a sustentabilidade económica e ambiental do sector, a empresa Águas do Noroeste tem promovido um conjunto de medidas com vista à promoção da eficiência energética nas suas instalações e equipamentos. Não obstante, a empresa apresenta um custo com o consumo de energia muito significativo, sendo fundamental continuar os esforços já realizados, nomeadamente através de uma análise integrada das múltiplas estações elevatórias existentes.

No presente trabalho serão, então, descritos os procedimentos levados a cabo para a identificação das situações mais gravosas e para a seleção das estações elevatórias a considerar prioritárias para estudos de otimização, tomando como base os sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais sob gestão e exploração da empresa Águas do Noroeste, SA.

Os principais índices considerados para a presente análise foram: o consumo anual de energia ativa (kWh), a energia específica (kWh/m<sup>3</sup>), os indicadores preconizados pela ERSAR (2ª geração de indicadores de eficiência energética em estações elevatórias) (kWh/m<sup>3</sup>/100m), o *Green Pump Index* (GPX) (Riventa & Deritrend, 2011).

## **2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE SISTEMAS ELEVATÓRIOS**

Os sistemas elevatórios integrados em sistemas de abastecimento de água são, fundamentalmente, controlados pela variação dos níveis de água dos reservatórios de regularização a que estão associados, sendo esses níveis dependentes da gestão operativa do sistema, mas também dos consumos de água verificados nas redes de distribuição. Esses consumos poderão sofrer variações bastante significativas ao longo do dia, ou, até, ser consideravelmente inferiores aos consumos estimados na fase de projeto, resultado de uma eficiência crescente na utilização da água ao nível doméstico, e/ou de uma sobrestimação da população servida, muito dependente da evolução demográfica do aglomerado em causa num período de tempo significativo (40 a 50 anos). Como os sistemas de abastecimento têm de garantir um nível de fiabilidade muito elevado (minimização do risco de falhas), o caudal de projeto destas estações elevatórias corresponderá ao nível mais elevado de satisfação de consumos (no ano horizonte de projeto).

Os sistemas elevatórios de águas residuais, por outro lado, são um exemplo claro de um processo de bombagem controlado pela variação do caudal afluente. Estes caudais são

função dos consumos de água potável a montante, mas existe, também, uma importante variabilidade associada a infiltrações e/ou significativa entrada de água pluvial para o sistema. Como tal, independentemente da capacidade de regularização de caudal, associada ao poço de bombagem, o sistema será, também, obrigatoriamente dimensionado para o caudal máximo afluyente (no ano horizonte de projeto).

Estes casos, frequentes, justificam uma nova abordagem de análise onde, para além do nível de eficiência dos grupos eletrobomba no seu ponto de funcionamento expectável, seja considerada uma avaliação global e real de todo o sistema elevatório (Leite *et al*, 2010). Uma vez que 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 afluyente traduzir-se-á numa redução significativa dos custos de energia e de operação.

Das diversas técnicas/metodologias de otimização energética existentes, a alteração do diâmetro do impulsor, a instalação de variadores de velocidade, a substituição dos grupos eletrobomba por outros mais eficientes ou, mesmo, a instalação de grupos de pequena capacidade, destacam-se por serem especialmente vocacionadas para aplicação a sistemas já existentes (Leite *et al*, 2010; 2012).

No entanto, cada estação elevatória deverá ser alvo de estudos de otimização específicos, envolvendo uma avaliação técnica e económica profunda, uma vez que a aplicabilidade de cada medida de otimização é determinada pelas características do sistema e das solicitações a que está sujeito. Como exemplo, indica-se o caso dos variadores de frequência, no qual é importante distinguir se o sistema é controlado pela perda de carga ou pelo desnível geométrico. Tal como demonstrado em Leite *et al* (2012), uma alteração do ponto de funcionamento poderá levar à variação significativa do rendimento do sistema, se este possuir um desnível geométrico elevado, por comparação com a altura manométrica total. Como consequência poderá, até, obter-se um consumo de energia superior à situação original, ou mesmo a ocorrência de fenómenos de cavitação, fruto de um aumento do NPSH no novo ponto de funcionamento do sistema. Justifica-se, assim, uma análise técnica e económica cuidada, incorporando todos os custos do ciclo de vida do sistema elevatório.

Por fim, refira-se, que a eficiência do equipamento instalado pode diferir muito da informação teórica disponibilizada pelos fabricantes. Tal pode suceder porque (EC, 2001):

- o ponto de funcionamento real do sistema pode estar afastado do ponto de máxima eficiência (Best Efficiency Point – BEP), sendo a magnitude dessa diferença variável de bomba para bomba, devido a margens de tolerância e majoração existentes, quer na informação fornecida pelos fabricantes, quer na caracterização do sistema, à variação do desnível geométrico a vencer, com a variação dos níveis de pressão a montante e a jusante, etc.;
- a eficiência dos grupos eletrobomba reduz-se significativamente com o tempo, devido à degradação inevitável do equipamento.

Como tal, a avaliação da eficiência energética de sistemas elevatórios deverá basear-se, tanto quanto possível, em dados reais, caracterizadores do funcionamento do sistema, seja

do ponto de funcionamento – caudal de elevação e altura manométrica, seja do próprio rendimento do equipamento.

### 3. ÍNDICES DE AVALIAÇÃO

A energia específica (kWh/m<sup>3</sup>) é um parâmetro útil para calcular o custo de bombagem de um determinado sistema elevatório e efetuar uma comparação entre possíveis soluções de otimização do sistema (HI&PSM, 2008). Quando o sistema apresenta apenas um ponto de bombagem, o cálculo da energia específica é simples. Contudo, em sistemas com vários pontos de funcionamento, a determinação da energia específica (1) implica um cálculo ponderado, por volume bombeado, da energia específica de cada ponto de funcionamento.

$$\text{Energia Específica } (E_s) = \frac{\text{Energia consumida}}{\text{Volume bombeado}} \text{ [kWh/ m}^3\text{]} \quad (1)$$

Assim, no caso de sistemas praticamente sem desnível geométrico, a energia específica é dependente das perdas de carga no sistema (2), o que, por sua vez, é função do caudal e da combinação do rendimento ( $\eta$ ) dos componentes (variador – motor elétrico – bomba). É importante notar que, neste tipo de sistemas, a eficiência do grupo eletrobomba mantêm-se praticamente inalterada com a alteração da frequência (Leite *et al*, 2012).

$$E_s = \frac{H_{man} \times \rho \times g}{\eta_{variador} \times \eta_{motor} \times \eta_{bomba}} \text{ [kWh/ m}^3\text{]} \quad (2)$$

Porém, em sistemas com desnível geométrico significativo, o cálculo da energia específica passa a incorporar uma importante parcela referente a esse parâmetro. Essa parcela aumenta o consumo de energia por unidade de volume, mas não é passível de ser eliminada ou minimizada, pois trata-se de uma especificidade do sistema. Por esse motivo, poderá considerar-se que este índice possui limitações na análise comparativa de diferentes estações elevatórias, embora tenha vantagens na análise de várias soluções de otimização para o mesmo sistema elevatório.

Precisamente para colmatar essa questão, os indicadores de eficiência energética considerados pela ERSAR (AA15 e AR11) (ERSAR & LNEC, 2009) e que servem, inclusive para a avaliação da qualidade de serviço prestado pelas Entidades Gestoras (apresentado no tópico 1), permitem homogeneizar a parcela referente à altura manométrica (3):

$$\text{Indicador ERSAR} = \frac{\text{Energia Consumida}}{\text{Volume bombeado} \times \text{Altura manométrica}} \times 100 \text{ [kWh/(m}^3 \cdot 100\text{m)]} \quad (3)$$

Dessa forma, poderá considerar-se que o indicador da ERSAR constitui uma versão uniformizada da energia específica, permitindo uma melhor comparação entre sistemas elevatórios distintos e incorporando, essencialmente, o rendimento do sistema (4).

$$\text{Indicador ERSAR} = \frac{\rho \times g}{\eta_{variador} \times \eta_{motor} \times \eta_{bomba}} \times 100 \text{ [kWh/(m}^3 \cdot 100\text{m)]} \quad (4)$$

Uma vez que este indicador apresenta uma relação direta com o rendimento global do sistema, a escala de classificação considerada pela ERSAR é, também ela, obtida atendendo aos valores do rendimento correspondentes. Assim, no caso do abastecimento

de água, valores do indicador: (i) entre 0.27 e 0.40 kWh/(m<sup>3</sup>.100m), para uma boa qualidade de serviço, correspondem a valores acima de cerca de 70%, de rendimento; (ii) entre 0.40 e 0.54 kWh/(m<sup>3</sup>.100m), correspondem a valores entre os 50% e os 70% de rendimento, para uma qualidade mediana; e (iii) acima de 0.54 kWh/(m<sup>3</sup>.100m), rendimentos inferiores a 50%, para uma qualidade insatisfatória. No caso dos sistemas de águas residuais, os valores limite das classes descritas são ligeiramente diferentes (0.45 e 0.68 kWh/(m<sup>3</sup>.100m), correspondentes, respetivamente, a cerca de 60 e 40% de rendimento), devido aos valores normalmente inferiores dos rendimentos dos grupos eletrobomba usados nestes sistemas.

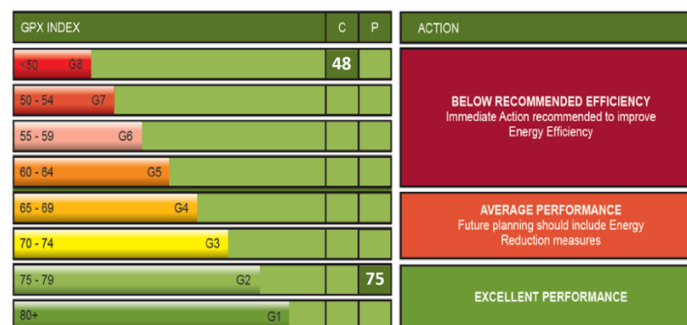
Numa vertente de avaliação ligeiramente distinta, surge o índice *Green Pump Index* –GPX (adimensional) (Riventa & Deritrend Ind., 2011) apresentada em (5):

$$GPX = \frac{Q \times H_{geo}}{3.67 \times Pot} \quad (5)$$

Sendo *Q* o caudal bombeado medido (em m<sup>3</sup>/h), *H<sub>geo</sub>* o desnível geométrico a vencer (em m), e *Pot* a potência elétrica consumida pelo grupo eletrobomba (em kW).

Analisando a definição deste índice em maior detalhe, verifica-se que corresponde à estimativa de um rendimento equivalente do sistema, considerando a eficiência do mesmo na satisfação das necessidades do sistema (elevação de um dado caudal para vencer um dado desnível geométrico). Todavia, ao considerar a altura geométrica, em vez da altura manométrica, deixa do lado das ineficiências, que poderão ser alvo de otimização, as perdas de carga (contínuas ou localizadas), bem como as ineficiências associadas ao rendimento do(s) equipamento(s), sejam elas da bomba, do motor, ou mesmo do variador de frequência (se existente). Comparando com o índice de energia específica, ou mesmo com o indicador de eficiência da ERSAR, verifica-se que, mais do que incorporar o rendimento do equipamento, como é o caso desses dois índices, o GPX procura refletir a eficiência do equipamento nas especificidades do sistema, facilitando a comparação entre grupos eletrobomba distintos, independentemente da sua aplicação.

Por outro lado, refira-se que o GPX tem, ainda, como objetivo, definir o desempenho real do equipamento, considerando uma comparação do desempenho atual do sistema, com o que poderá ser potencialmente atingido (exemplo na Figura 2, sendo “C” – o estado atual e “P” – o estado que se poderá potencialmente atingir).



**Figura 2:** Escala de classificação do índice GPX, de acordo com o funcionamento atual “C” e o que se poderá, potencialmente, atingir “P” (exemplo) (Riventa & Deritrend Ind., 2011).

#### **4. ANÁLISE DE SISTEMAS ELEVATÓRIOS SOB EXPLORAÇÃO DA EMPRESA ÁGUAS DO NOROESTE, SA**

Para a presente análise foram tomados, como base, um conjunto de sistemas elevatórios com telemetria, integrados, quer em sistemas de água, quer em sistemas de águas residuais, sob exploração da empresa Águas do Noroeste, SA.

No que toca à avaliação da eficiência energética dessas estações, considera-se, então, a aplicação dos índices: energia específica, indicador ERSAR e GPX. Refira-se, em relação ao cálculo destes índices, que, com vista a uma melhor caracterização dos sistemas elevatórios, os mesmos deverão incorporar, tanto quanto possível, dados do funcionamento real do sistema, de forma a caracterizar o estado de performance do mesmo, que poderá não corresponder aos dados teóricos, de projeto e fornecidos pelo fabricante.

Assim, face ao apontado no tópico 3, verifica-se que a energia específica poderá ser obtida diretamente a partir de dados reais de consumo de energia ativa (kWh) e dos volumes totais bombeados ( $m^3$ ). No entanto, no caso do indicador da ERSAR, além dessa informação, será necessário quantificar, também, a altura manométrica do sistema elevatório. Idealmente, essa informação deverá ser obtida a partir de uma medição real do diferencial de pressão no sistema elevatório. Porém, na falta de tal informação e, com vista a uma avaliação prévia das estações a priorizar para a realização de estudos de otimização, poderá considerar-se uma estimativa desse valor, pelos dados de projeto (preferencialmente). Por fim, em relação ao índice GPX, será necessário quantificar dados de caudal elevado, de desnível geométrico e de potência consumida. Mais uma vez, num cenário ideal, essa informação deverá ser obtida a partir de medições reais do funcionamento do sistema, incluindo dos diversos pontos de funcionamento, nos casos de sistemas com múltiplos grupos e/ou com variadores de frequência instalados. Porém, mais uma vez, na falta dessa informação prévia, dever-se-á tentar estimar esses dados com base em informação real de caracterização do funcionamento do sistema, disponível, de uma forma geral, nos dados dos sistemas de telegestão das entidades gestoras. Para o caso do GPX, poderá estimar-se um caudal médio, a partir dos volumes bombeados e do número total de horas de funcionamento do sistema. De igual forma, a potência média poderá ser obtida a partir dos dados de consumo de energia ativa e do número de horas de funcionamento do sistema. Por fim, o desnível geométrico, caso não esteja disponível para todas as estações elevatórias (como foi o caso do presente estudo, para algumas estações elevatórias mais antigas) poderá ser estimado, a partir da altura manométrica, de projeto, sabendo-se o diâmetro e material da conduta elevatória a jusante, uma vez que será sempre preferencial avaliar todas as estações segundo os mesmos pressupostos e critérios.

Importa notar, todavia, que nem sempre as estimativas de caudal e potência obtidos com base nesses dados reais, correspondem aos valores nominais de caracterização dos grupos elevatórios, o que poderá resultar: (i) do facto de existirem múltiplos pontos de funcionamento, devido ao número de grupos do sistema, (ii) de poder estar a verificar-se uma performance do equipamento abaixo do esperado, (iii) de poder existir alguma incongruência nos dados compilados, que a ser detetada, deverá ser devidamente aferida, com confirmação dos dados de projeto, face ao equipamento efetivamente instalado, e com verificação da possível ocorrência de erros na recolha de informação de dados reais.

Assim, para o presente caso de estudo, a primeira etapa consistiu na recolha de informação segundo parâmetros caracterizadores do sistema elevatório (caudal elevado, altura manométrica, potência do grupo, diâmetro das condutas elevatórias, material da conduta), e, também, de informação referente ao funcionamento do sistema, nomeadamente: volumes anuais bombeados (m<sup>3</sup>), energia ativa consumida (kWh) e período de funcionamento (h).

De forma resumida apresentam-se, nas Tabelas 1 e 2, as principais características (dados de caracterização da entidade gestora, não medidos) dos grupos considerados, integrados em sistemas de abastecimento e em sistemas de drenagem, respetivamente:

**Tabela 1:** Características das estações consideradas (sistemas de água).

Estações Elevatórias (Abastecimento de Água)	Caudal	Altura	Potência	Grupos	Diâmetro conduta
	unitário (l/s)	manométrica (m.c.a.)	unitária motor (kW)		
S. JORGE	250	150	630	3	700
CASAI	350	115	500	4	1000
S. MAMEDE CORONADO	22,89	67	30	2	150
OUTEIRO	9,6	106,8	30	2	200

**Tabela 2:** Características das estações consideradas (sistemas de águas residuais).

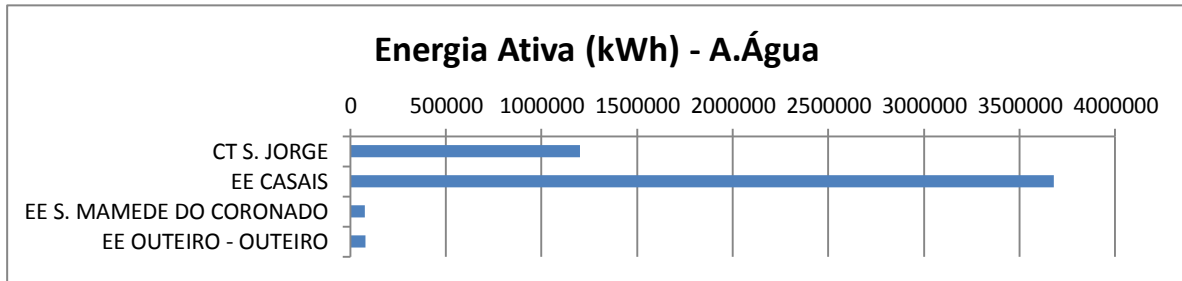
Estações Elevatórias (Drenagem de águas residuais)	Caudal	Altura	Potência	Grupos	Diâmetro conduta
	unitário (l/s)	manométrica (m.c.a.)	unitária motor (kW)		
MOLHE SUL	270	30	210	4	710
5 DE OUTUBRO (VCI)	110	14	75	(2+1)	500
ETAR DE MOSTEIRO	23	45	55	2+1	160
VILA DO CONDE	194	21	48	3	500
FORMARIZ (PRC)	16	49	38	2	160
GANFEI (VLN)	30	39	31	2	200
AFIFE (GLF)	32	37	30	2	200
VILA CHÃ (15)	88	23	30	2	315
AVENIDA MARGINAL (17)	40	24	17	2	200
DARQUE (VZI)	83	32	8	2	450

Para os parâmetros caracterizadores do funcionamento real do sistema, apresenta-se, nas Figuras 3 e 4, uma representação da energia ativa consumida (kWh), no ano de 2012, nas estações consideradas para sistemas de água e de águas residuais, respetivamente.

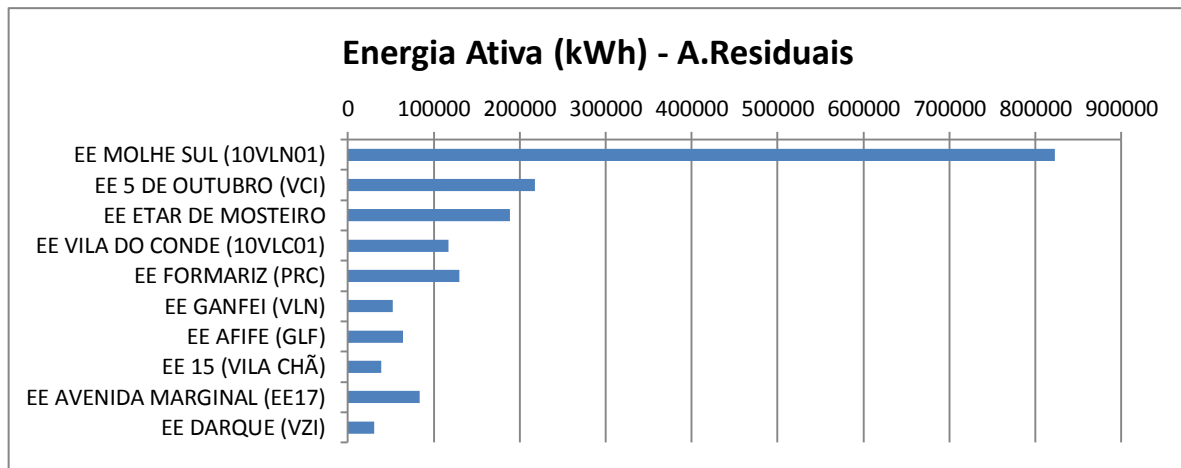
Por análise das Figuras 3 e 4 é, então, possível verificar uma grande diferença nas ordens de grandeza entre os valores de consumo de energia das diferentes estações elevatórias, como é o caso das estações de CT S.Jorge e EE Casais, no caso das estações elevatórias de água, ou da estação EE Molhe Sul, no caso das estações elevatórias de águas residuais, ou mesmo entre os consumos de energia das estações elevatórias de água e das estações



elevatórias de águas residuais. Refira-se, ainda, que a relação entre a ordem de grandeza da energia ativa e a ordem de grandeza da potência não é necessariamente linear. Essa questão, especialmente notória nas estações elevatórias de água CT S.Jorge e EE Casais, reforça a importância de uma análise dos tempos de funcionamento e da adequação da capacidade de bombagem às necessidades do sistema.

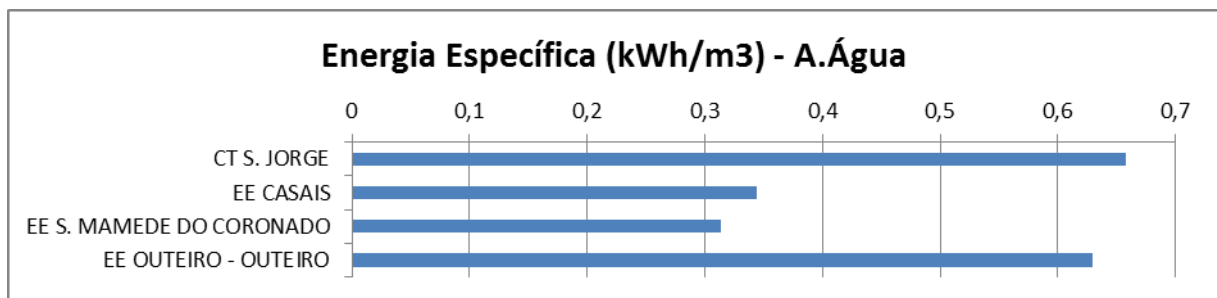


**Figura 3:** Caracterização do consumo de energia ativa (ano de 2012) das estações elevatórias consideradas em sistemas de água.

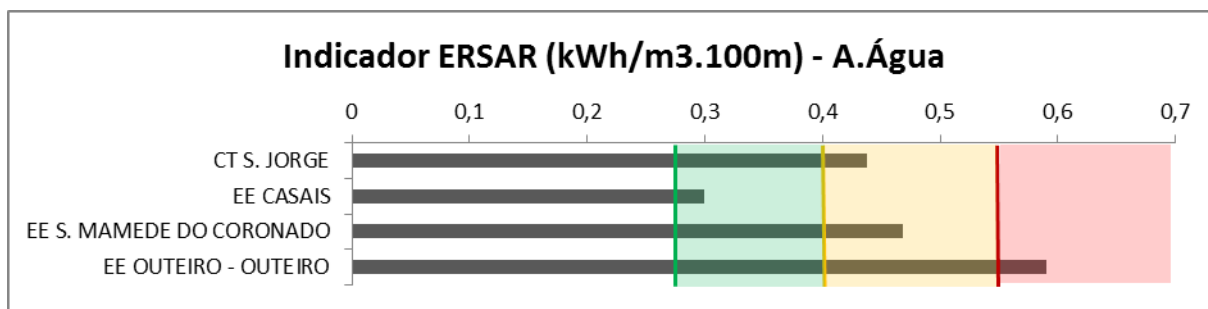


**Figura 4:** Caracterização do consumo de energia ativa (ano de 2012) das estações elevatórias consideradas em sistemas de águas residuais.

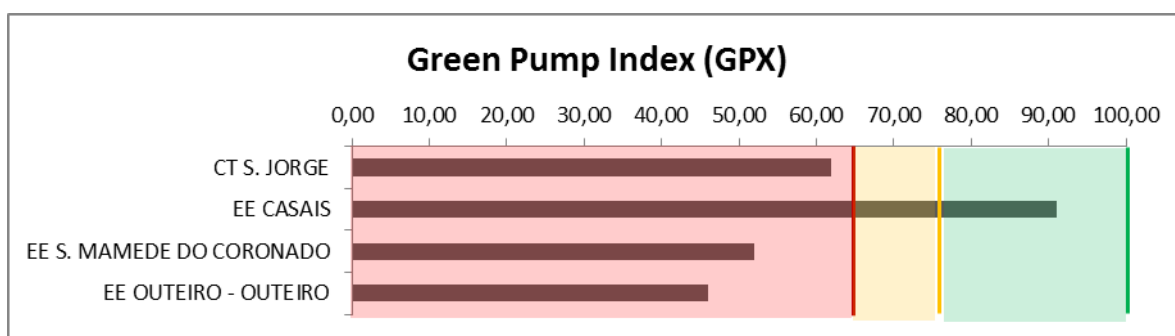
A aplicação dos índices: energia específica, indicador ERSAR e GPX para as estações elevatórias de água, surge apresentada nas Figuras 5, 6 e 7, respetivamente.



**Figura 5:** Índice energia específica (ano de 2012) para as estações elevatórias de água.



**Figura 6:** Índice ERSAR (ano de 2012) para as estações elevatórias de água.



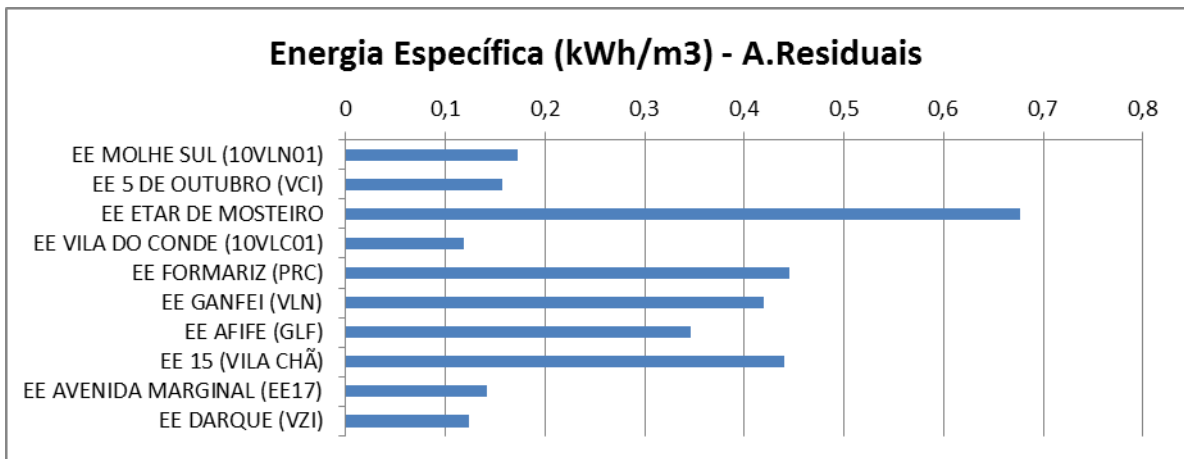
**Figura 7:** Índice GPX (ano de 2012) para as estações elevatórias de água.

Por análise do índice energia específica (Figura 5), é possível verificar que, apesar de possuírem potências nominais muito diferentes, as estações EE CT S.Jorge e EE Outeiro, possuem valores idênticos. Tal sucede, também, com as estações EE Casais e EE São Mamede Coronado, embora com valores mais reduzidos (menos de metade dos anteriores).

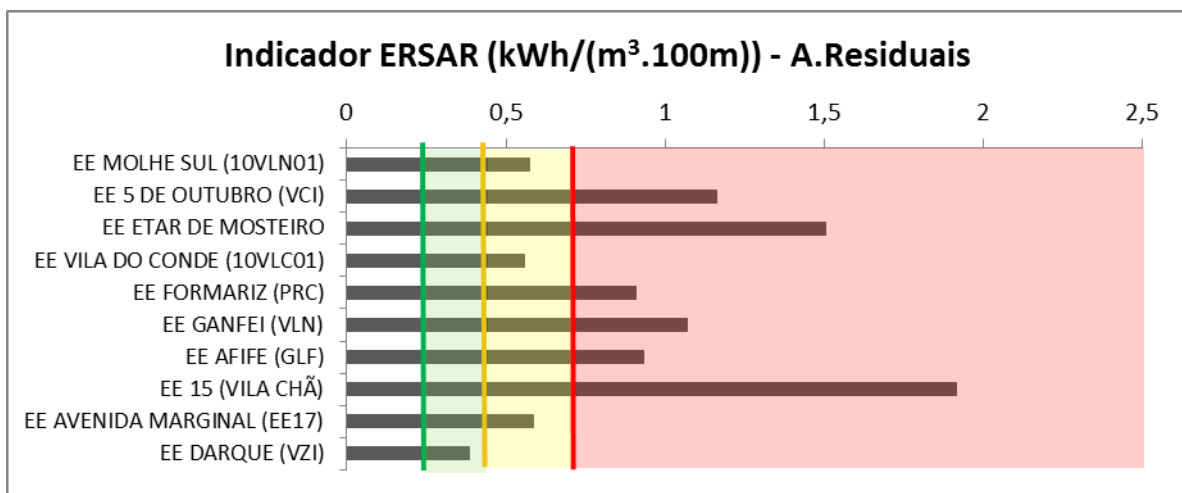
Fazendo uma análise dessas mesmas estações, mas segundo os outros índices (ERSAR e GPX), verifica-se, porém, que a EE CT S.Jorge apresenta níveis de eficiência muito superiores aos de EE Outeiro, a estação com piores resultados de todas as EE consideradas em sistemas de água. No extremo oposto, a estação EE Casais, acaba por ter os melhores níveis de eficiência energética, bastante acima da EE São Mamede Coronado. Esta questão vem reforçar as limitações do índice energia específica na comparação entre sistemas distintos, devido à influência da altura manométrica na performance do grupo eletrobomba no sistema elevatório.

No caso específico do GPX e, considerando que se trata de um rendimento equivalente do equipamento no sistema, verifica-se que as estações com piores níveis de eficiência são as EE São Mamede e EE Outeiro. No entanto, comparando os resultados dos índices GPX e ERSAR, verifica-se uma elevada proximidade, fruto, também, de alguma similitude conceptual desses índices (ver tópico 3). No entanto, refira-se que, a consideração de estimativas do desnível geométrico para o cálculo do GPX, poderá desvirtuar a mais-valia associada a este índice, facto que deverá ser tido em conta em análises futuras.

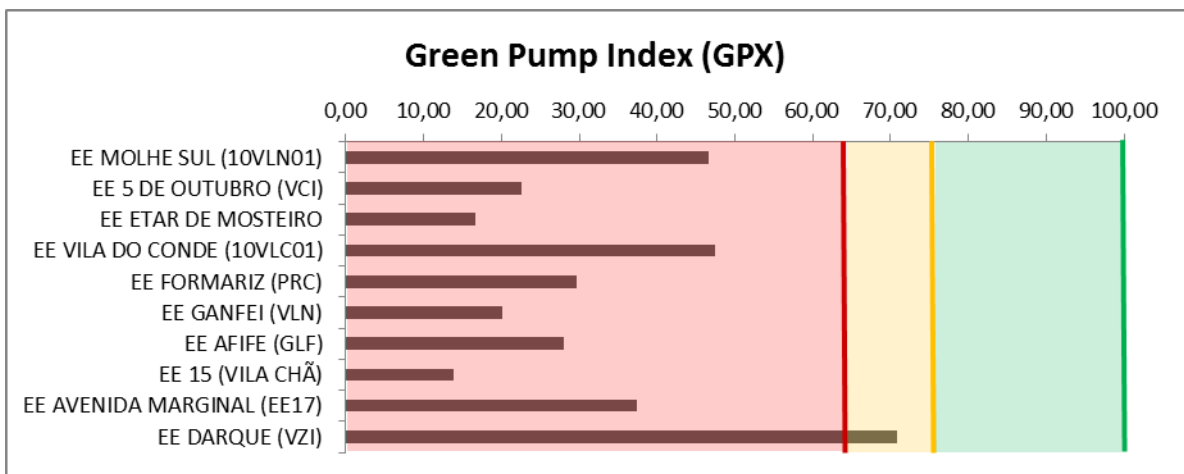
Nas Figuras 8, 9 e 10 são, igualmente, apresentados os resultados para os índices energia específica, ERSAR e GPX, mas para os sistemas elevatórios de águas residuais considerados no presente estudo.



**Figura 8:** Índice energia específica (ano de 2012) para as estações elevatórias de águas residuais.



**Figura 9:** Índice ERSAR (ano de 2012) para as estações elevatórias de águas residuais.



**Figura 10:** Índice GPX (ano de 2012) para as estações elevatórias de águas residuais.

No que toca aos sistemas elevatórios de águas residuais, verifica-se que, tal como no caso dos sistemas elevatórios de água, existem diversas estações com níveis idênticos de energia específica, ainda que com valores de potência muito díspares. Neste caso, poderão distinguir-se três níveis, relativamente distintos, de energia específica: EE Molhe Sul, EE 5 de Outubro, EE Vila do Conde, EE Avenida Marginal e EE Darque, com os valores mais reduzidos; EE Formariz, EE Ganfei, EE Afife e EE Vila Chã, com valores intermédios; e EE ETAR Mosteiro com o valor mais elevado.

Por outro lado, comparando com os resultados dos demais índices, verifica-se que a EE ETAR Mosteiro acaba por não ser o sistema com piores níveis de eficiência energética, cabendo esse destaque à EE Vila Chã. No extremo oposto, encontra-se a EE Darque, que apresenta bons níveis de eficiência.

No entanto, no caso das estações elevatórias de águas residuais, ao contrário do verificado para as estações elevatórias de água, a classificação dos resultados do indicador da ERSAR não é idêntica à do índice GPX. Porém, convém ressaltar que tal sucede porque as escalas de classificação do índice da ERSAR são distintas para estações elevatórias de água e para estações elevatórias de águas residuais (devido às diferenças de rendimentos dos equipamentos nos dois tipos de sistemas), o que não acontece com o índice GPX, de escala única, segundo a sua definição original (Riventa & Deritrend Ind., 2011). De facto, se considerada a aplicação, a estes últimos resultados, da escala de classificação do ERSAR para estações elevatórias de água (com valores limite de 0.4 e 0.54 kWh/(m<sup>3</sup>.100m), para categoria de qualidade boa e mediana, respetivamente), os resultados já serão similares.

Por fim, convém destacar que, também no caso das estações elevatórias de águas residuais, o facto de terem sido consideradas estimativas do desnível geométrico para o cálculo do GPX, poderá desvirtuar a principal mais-valia associada a este índice.

Perante os resultados apresentados, e entrando, também, em linha de conta com os valores de energia ativa consumida a nível anual (pelo potencial de redução que poderá ser conseguido) poderão considerar-se prioritárias, para a realização de estudos de otimização energética, as estações elevatórias apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3:** Estações consideradas prioritárias para a implementação de estudos de otimização.

<b>Tipo de sistema</b>	<b>Níveis de energia ativa</b>	<b>Estação(ões) elevatória(s) selecionada(s)</b>
<b>Água potável</b>	+ de 1.000.000 kWh	CT S.Jorge
	- de 100.000 kWh	EE Outeiro
<b>Águas residuais</b>	+ de 500.000 kWh	EE Molhe Sul
	Entre 200.000 e 500.000 kWh	EE 5 de Outubro
	Entre 100.000 e 200.000 kWh	EE ETAR Mosteiro, EE Formariz
	- de 100.000 kWh	EE Ganfei, EE Afife, EE Vila Chã

## 5. SELEÇÃO DE ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS PARA ESTUDOS DE OTIMIZAÇÃO

A definição de uma metodologia, consistente e válida, para a seleção prévia de sistemas elevatórios considerados prioritários para implementação de planos individuais de otimização energética, baseia-se na correta seleção dos parâmetros caracterizadores dos sistemas elevatórios, e também dos índices de avaliação a considerar, bem como na definição de critérios que permitam distinguir de forma simples, mas certa, quais os sistemas mais problemáticos e com maior potencial de poupança (redução de custos).

A seleção das características dos sistemas elevatórios, a reunir, deve basear-se em parâmetros uniformes, para que os pressupostos associados à sua obtenção sejam semelhantes para todos os sistemas elevatórios, e englobar, sempre que possível, valores representativos do funcionamento real dos sistemas. Por outro lado, é fundamental compreender que, os indicadores de avaliação devem atender ao nível de informação existente nas diferentes entidades gestoras, uma vez que, certos indicadores, mais complexos, podem fornecer resultados enganadores, quando calculados com informação inconsistente ou resultado de aproximações grosseiras.

Como conclusão do presente estudo, apresentam-se, então, algumas linhas orientadoras gerais, que poderão servir à identificação e seleção de estações elevatórias integradas em sistemas urbanos de abastecimento de água ou de drenagem de águas residuais, para, numa fase preliminar, priorizar a implementação de estudos de otimização. Assim, a análise a efetuar deverá atender às seguintes considerações:

1. A caracterização da eficiência energética atual dos sistemas elevatórios deverá passar, acima de tudo, por uma avaliação de dados reais de desempenho do sistema (como por exemplo, dados reais de caudal elevado, altura manométrica e potência consumida).
2. Para avaliação da eficiência energética dos sistemas elevatórios, o índice mais completo é o índice GPX pois, além de permitir a comparação direta entre diferentes sistemas elevatórios, considera a parcela de perdas de carga do escoamento como um ponto de possível otimização, minimizando os consumos de energia. Porém, a avaliação deste índice é especialmente dependente da existência de dados reais de desempenho do sistema e, em especial, do desnível geométrico do sistema.
3. Na falta de alguns desses dados, deverão, ainda assim, ser considerados dados reais de energia ativa consumida (kWh), volumes totais bombeados ( $m^3$ ) e período de funcionamento (h) dos sistemas. A altura manométrica poderá, eventualmente, ser estimada por dados de projeto, mas deverá ser aferida com dados de caudal reais.
4. Nesta situação, o indicador da ERSAR apresenta-se como um indicador bastante razoável para esta seleção preliminar. Não obstante, é importante notar que existirá sempre interesse na obtenção do índice GPX, com base em dados reais de desempenho do sistema, eventualmente numa fase posterior e apenas nas estações selecionadas para a implementação dos estudos de otimização.
5. A seleção de estações elevatórias, com base na avaliação dos índices referidos, deverá ser feita por patamares de energia ativa consumida, de forma a tornar claro, para a tomada de decisão, o binómio potencial de redução (função da energia total consumida) e potencial de otimização (função da minimização dos níveis de perdas e ineficiências do sistema).

6. O índice energia específica apresenta poucas ou nenhuma vantagem na aplicação para esta seleção preliminar. Porém, poderá e deverá ser utilizado posteriormente, nos estudos de otimização, nomeadamente pela maior facilidade de comparação de soluções de otimização que possam ser preconizadas para o mesmo sistema elevatório, devido à maior objetividade dos seus resultados ( $\text{kWh/m}^3$ ), facilmente traduzidos em custos finais de elevação do sistema elevatório.

Os indicadores de avaliação devem, assim, ser ajustados à informação existente. Com a progressiva recolha de informação relativa ao funcionamento real dos sistemas elevatórios, poderá ser equacionada a utilização sistemática do indicador GPX, vocacionado para a avaliação do desempenho real do sistema elevatório e associado à implementação sistemática de testes de desempenho (Leite *et al*, 2014). Contudo, numa fase preliminar, o indicador do ERSAR, aplicado a cada estação elevatória, poderá constituir um indicador abrangente e fidedigno do nível de eficiência do sistema.

Como nota final, importa referir que poderá, eventualmente, ser considerado um ajuste da escala de classificação do índice GPX (Tabela 4) para aplicação a sistemas elevatórios de águas residuais, atendendo ao menor rendimento dos sistemas deste tipo. Obviamente, esta proposta de adaptação é meramente indicativa e deverá ser validada e consolidada com uma análise sistemática de sistemas elevatórios de águas residuais.

**Tabela 4:** Proposta de adaptação da escala de classificação do índice GPX para aplicação a sistemas elevatórios de águas residuais.

Índice GPX	Ação
< 40 G8	Performance insatisfatória (intervenção imediata de melhoria da eficiência)
40-44 G7	
45-49 G6	
50-54 G5	Performance intermédia (planeamento de otimização)
55-59 G4	
60-64 G3	Performance excelente
65-69 G2	
> 70 G1	

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

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.

EC (2001), *Study on Improving the Energy Efficiency of pumps*, European Commission, ETSU, CETIM, TFA, David T. Reeves Consultant, NESAs, disponível online em: [http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/sites/energyefficiency/files/files/documents/save\\_pumps\\_final\\_report\\_june\\_2003.pdf](http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/sites/energyefficiency/files/files/documents/save_pumps_final_report_june_2003.pdf)

ERSAR (2012), *A evolução dos Serviços de Água em Portugal*, Entidade Reguladora de Sistemas de Águas e Resíduos, I.P., Março de 2012, AquaLifeExpo, Lisboa.

ERSAR (2013), *Relatório Anual do Sector das Águas e Resíduos em Portugal (RASARP) 2012 – Volume 03 – Avaliação da qualidade do serviço prestado aos utilizadores*, Entidade Reguladora de Sistemas de Águas e Resíduos, I.P., Setembro, ISBN 978-989-8360-17-5.

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 (atual ERSAR) e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Dezembro.

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

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*, publicação em atas do 11º Congresso da Água, APRH, Porto, 6 a 8 de fevereiro de 2012.

LEITE, P., VIVAS, E., MONTEIRO, P., TENTÚGAL-VALENTE, L, (2010), *Planos de optimização energética de estações elevatórias de águas residuais*, publicação em actas da conferência 14º ENaSB-SILUBESA, APESB, Porto, 26 a 29 de Outubro de 2010.

LEITE, P., VIVAS, E., VALENTE, L., FERREIRA, F., REGO COSTA, J., TEIXEIRA, M. (2014), *Avaliação de desempenho de grupos eletrobomba através da realização de testes de eficiência*, 12º Congresso da Água, APRH, Lisboa, 5 a 8 de março de 2014.

RIVENTA, DERITREND IND. (2011), *Green Pump Index – A methodology to benchmark in situ pump performance* (Whitepaper), Riventa, Deritrend Industries, 2011.