

## O CONTRIBUTO DA AVALIAÇÃO NA MELHORIA DO DESEMPENHO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

Catarina SILVA (1), Pedro RAMALHO (2), Helena ALEGRE (3), Maria João ROSA (4)

### RESUMO

Os serviços urbanos de águas residuais e, em particular, as estações de tratamento de águas residuais (ETAR) são atualmente alvo de esforços de melhoria do seu desempenho técnico, ambiental e económico. O *benchmarking* é uma ferramenta para melhoria do desempenho através da procura contínua e adaptação das melhores práticas. Para avaliação do desempenho dos serviços de águas têm sido desenvolvidos, nacional e internacionalmente, sistemas de indicadores e índices de desempenho. Em Portugal, o LNEC tem vindo a desenvolver o sistema de avaliação de desempenho (PAS) de ETAR e a sua utilização em consórcio, designadamente, no âmbito do projeto PAST21 (2009-2011).

Na presente comunicação apresenta-se o contributo da avaliação na melhoria de desempenho de ETAR. Em particular, explica-se conceptualmente e ilustra-se com resultados hipotéticos como utilizar o PAS de ETAR de forma a tirar o maior partido da complementaridade entre indicadores e índices de desempenho. Os indicadores quantificam o desempenho global da estação num período de referência e os índices identificam “quando”, “onde” e “porquê” se obteve desempenho insatisfatório, aceitável, bom e excelente. Da análise complementar de indicadores e índices é possível diagnosticar e prever situações de maior risco de ineficácia e identificar oportunidades de melhoria de eficiência técnica, económica e ambiental das ETAR. Confirma-se pela experiência adquirida no PAST21 que o *benchmarking* é uma ferramenta adequada para a melhoria do desempenho destes serviços e que a avaliação de desempenho é uma peça-chave.

### PALAVRAS-CHAVE

ETAR, indicadores de desempenho, índices de desempenho, sistemas de avaliação de desempenho, *benchmarking*.

---

<sup>1</sup> Eng.ª do Ambiente, Mestre em Engenharia do Ambiente, Bolseira de Doutoramento, csilva@Inec.pt

<sup>2</sup> Eng.º do Ambiente, Licenciado em Engenharia do Ambiente, Bolseiro de Investigação, pramalho@Inec.pt

<sup>3</sup> Eng.ª Civil, Doutorada em Engenharia Civil, Investigadora Principal Habilitada, halegre@Inec.pt

<sup>4</sup> Eng.ª Química, Doutorada em Engenharia Química, Investigadora Principal, mjrosa@Inec.pt

## 1. INTRODUÇÃO

Os serviços urbanos de águas residuais e, em particular, as estações de tratamento de águas residuais (ETAR) são atualmente alvo de esforços de melhoria do seu desempenho técnico, ambiental e económico.

Segundo o grupo especialista em *Benchmarking and Performance Assessment* da IWA (Associação Internacional da Água), *benchmarking* é uma ferramenta para melhoria do desempenho através da procura contínua e adaptação das melhores práticas (Cabrera Jr. *et al.* 2011). Esta definição sublinha o carácter contínuo (em ciclos *plan-do-check-act* (PDCA)) e coletivo (interno e ou externo à organização) do *benchmarking*, que envolve duas etapas consecutivas – a avaliação do desempenho e a melhoria do desempenho.

Para avaliação do desempenho dos serviços de águas têm sido desenvolvidos, nacional e internacionalmente, sistemas de indicadores e índices de desempenho. Em Portugal, o LNEC (Vieira 2009; Quadros 2010; Rosa *et al.* 2010; Silva *et al.* 2012) tem vindo a desenvolver o sistema de avaliação de desempenho (PAS, *Performance Assessment System*) de ETAR (e o sistema análogo para Estações de Tratamento de Água (ETA)) e a sua utilização em consórcio, designadamente, no âmbito do projeto PAST21 (2009-2011).

De forma a permitir avaliar e melhorar a eficácia e a fiabilidade, e a eficiência e a sustentabilidade técnica, ambiental e económica das ETAR, o PAS foi concebido com uma componente de avaliação de desempenho global e uma componente de avaliação de desempenho operacional. A primeira avalia a instalação como um todo através de indicadores de desempenho (PI) e a componente de avaliação de desempenho operacional avalia cada operação ou processo unitário (OPU) através de índices de desempenho (PX) de qualidade da água residual tratada, eficiência de remoção e funcionamento dos órgãos. Os PX complementam os PI uma vez que os indicadores quantificam o desempenho global da estação num dado período de referência e os índices identificam “quando”, “onde” e “porquê” se obteve desempenho insatisfatório, aceitável, bom e excelente.

Na presente comunicação apresenta-se o contributo da avaliação na melhoria de desempenho de ETAR. Em particular, explica-se conceptualmente e ilustra-se com resultados hipotéticos como utilizar o PAS de ETAR de forma a tirar o maior partido da referida complementaridade entre PI e PX. Constitui objetivo último da comunicação sensibilizar os profissionais da água e as entidades gestoras para a importância e as potencialidades das ferramentas de avaliação de desempenho e de *benchmarking* para a melhoria do desempenho do setor da água em geral e das ETAR em particular.

## 2. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ETAR

O sistema de avaliação de desempenho de ETAR foi concebido com o objetivo de avaliar e melhorar a eficácia e a fiabilidade, e a eficiência e a sustentabilidade técnica, ambiental e económica das ETAR. Para o efeito, inclui medidas de avaliação de desempenho global – indicadores – e de desempenho operacional – índices. Os PI foram formulados de acordo com a abordagem da IWA (Alegre *et al.* 2006; Matos *et al.* 2003) e com os princípios estabelecidos nas normas ISO do setor, e avaliam a ETAR como um todo, nos domínios de qualidade da água tratada; eficiência e fiabilidade da ETAR; utilização de água, energia e materiais; gestão de subprodutos; segurança; recursos humanos; recursos económico-financeiros e apoio ao planeamento e projeto. Os PX avaliam cada OPU em termos de qualidade da água residual tratada, eficiência de remoção e funcionamento dos órgãos.

Os PI são calculados para um período de referência, em geral 1 ano. O valor obtido não emite juízo em termos do maior ou menor desempenho, sendo necessária a comparação com uma referência, *i.e.* uma meta (ou gama), definida, por exemplo, com base na literatura ou nos resultados obtidos noutra instalação ou grupo de instalações (caixa de bigodes na Figura 1a; Silva *et al.* 2012). Ao invés, os valores de referência dos PX são intrínsecos às funções de desempenho que convertem as variáveis de estado (eficiências de remoção, Figura 1b; concentrações e condições de operação, Figura 1c) em índices na escala 0-300, com a discretização temporal das variáveis de base (Figura 1d) (NOTA 1).

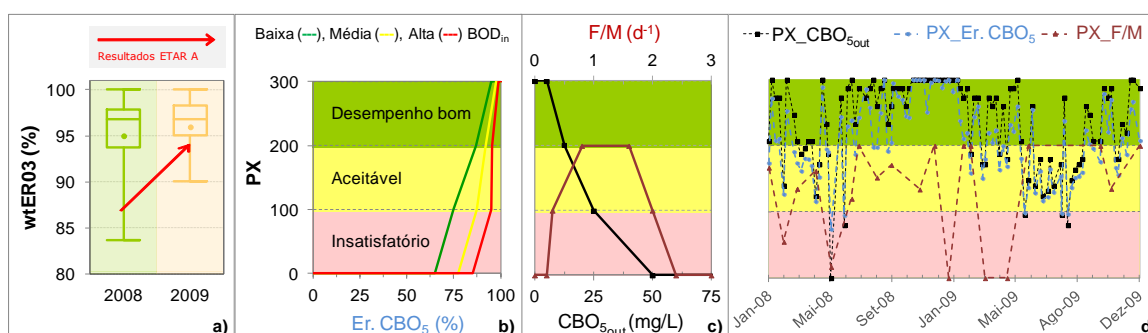
**NOTA 1**

Índices na escala 0-300: 300 corresponde a desempenho “excelente”; valores entre 300 e 200 traduzem desempenhos “bons”; valores entre 200 e 100 “aceitáveis”; o valor 100 corresponde ao desempenho “mínimo aceitável”; valores inferiores a 100 traduzem um desempenho “insatisfatório” e um índice zero significa que há “ausência” ou interrupção da função.

Os índices de qualidade de água tratada são obtidos aplicando uma função de desempenho (Figura 1c para CBO<sub>5</sub>) aos parâmetros de qualidade físico-química e microbiológica da água tratada (Quadros *et al.* 2010). Esta função de desempenho baseia-se no critério (VL – Valor-limite) de qualidade estabelecido pela entidade gestora para o parâmetro em questão à saída da ETAR e no limite de quantificação do método analítico (LQ) ou 0,2 VL, o maior dos dois (Rosa *et al.* 2010, 2011).

Os índices de eficiência de remoção são obtidos aplicando para cada OPU ou etapa de tratamento uma função de desempenho de eficiência de remoção do(s) parâmetro(s) de qualidade. Dados reais revelaram que, tanto em ETA (Campinas *et al.* 2003; Silva 2008; Vieira 2009) como em ETAR (Quadros 2010), a concentração afluente à OPU é um dos parâmetros que influencia a eficiência de remoção, sendo a relação habitualmente descrita por equações do tipo  $y = x/(a+bx)$ . Em consequência, desenvolveu-se uma metodologia para obtenção de uma função de desempenho para cada valor de concentração. Esta metodologia baseia-se em dados reais, gamas típicas e curvas-modelo de eficiência de remoção em função da concentração afluente de cada parâmetro (Quadros *et al.* 2010; Rosa *et al.* 2010, 2011). Por analogia com os índices de qualidade da água, ao PX 100 está normalmente associada a curva-Er que garante o VL à saída da OPU; ao PX 300 associa-se a curva-Er que garante 0,2 VL ou LQ e; ao PX 200 a curva-Er média dos dados reais. A título exemplificativo, na Figura 1b apresentam-se as funções de desempenho da eficiência de remoção de CBO<sub>5</sub> da decantação secundária para concentrações baixa, média e forte. Dependendo da concentração, uma eficiência de 90% pode corresponder a um desempenho bom, satisfatório ou insatisfatório.

Nos índices de funcionamento dos órgãos são usadas variáveis de operação que correspondem a condições críticas de operação (Figura 1c para F/M) e a parâmetros de qualidade da água e lamas que influenciam a sua operação e determinam os principais problemas de funcionamento. Os valores de referência das funções de desempenho baseiam-se em gamas recomendadas na bibliografia para cada variável (PX 100) e no melhor compromisso entre a eficiência de tratamento e a eficiência económica da OPU (PX 200).



**Figura 1.** Exemplos de indicadores (a), funções (b e c) e índices (d) de desempenho de ETAR.

Os PX complementam os PI, uma vez que os indicadores quantificam o desempenho global da estação num dado período de referência e os índices identificam “quando”, “onde” e “porquê” se obteve desempenho insatisfatório, aceitável, bom e excelente. Através da análise complementar de PI e PX, ilustrada na Figura 2, é possível diagnosticar e prever situações de maior risco de ineficácia e identificar oportunidades de melhoria de eficiência técnica, económica e ambiental das ETAR.

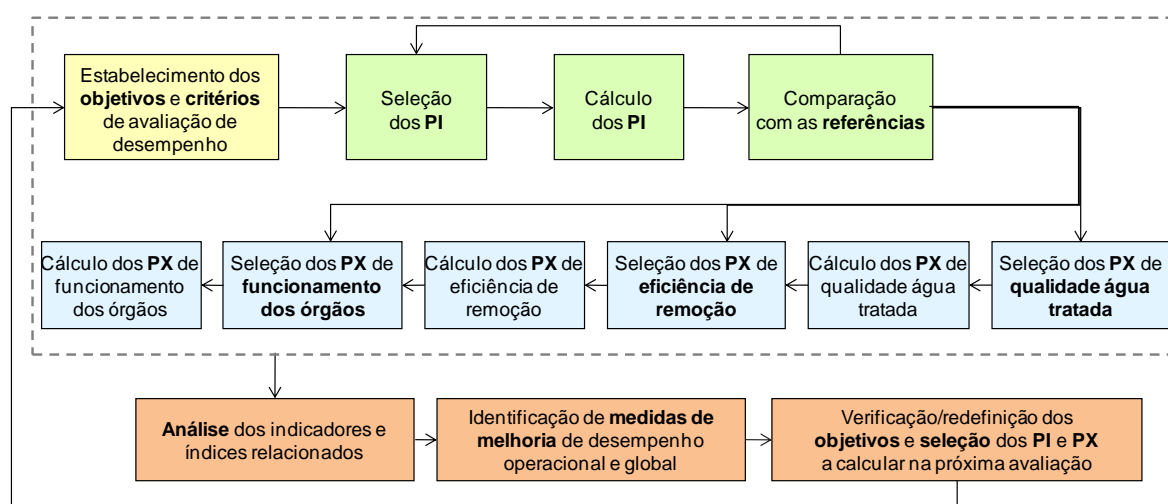


Figura 2. Fluxograma de aplicação do PAS de ETAR.

A primeira etapa da avaliação de desempenho consiste no estabelecimento dos objetivos e dos critérios de avaliação de desempenho para cada instalação de tratamento. Atendendo aos objetivos de avaliação estabelecidos, devem ser selecionados, calculados e analisados os indicadores de desempenho comparando-os com as referências respetivas. Para uma visão mais aprofundada poderá ser necessário selecionar e calcular indicadores complementares.

A etapa seguinte consiste na seleção e cálculo dos PX de qualidade da água tratada, tendo por base os resultados dos PI respetivos e atendendo aos objetivos e critérios de avaliação estabelecidos para a instalação. Os índices de qualidade da água tratada complementam a informação dada pelos indicadores deste domínio de avaliação. Enquanto os últimos avaliam a eficácia do tratamento no período de referência, expressando a conformidade da água tratada com os critérios estabelecidos, os índices de desempenho avaliam “quando” e quão perto ou longe cada valor registado ficou do valor objetivo.

Após o cálculo dos PI e PX de qualidade da água tratada, deve-se selecionar os parâmetros de qualidade e as OPU para as quais se pretendem calcular índices de desempenho de eficiência de remoção. Os PX de eficiência de remoção analisam em pormenor o desempenho de cada OPU ou etapa de tratamento (“quando” e “onde”).

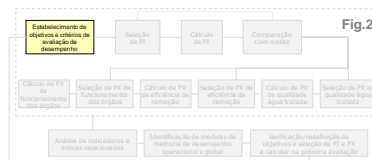
Com base nos resultados dos PI e/ou dos PX de qualidade da água tratada e de eficiência de remoção, pode então proceder-se à seleção e cálculo dos índices de desempenho de funcionamento dos órgãos. Pode-se finalmente identificar “porquê”, “onde” e “quando” se obteve desempenho insatisfatório, aceitável, bom e excelente.

Os resultados assim obtidos na avaliação de desempenho global e operacional permitirão identificar medidas de melhoria do desempenho operacional, económico e ambiental da ETAR. A melhoria contínua do desempenho implementa-se com ciclos PDCA que requerem, a cada período de avaliação, a verificação e eventual redefinição dos objetivos e seleção das correspondentes medidas de avaliação (PI e PX) a calcular.

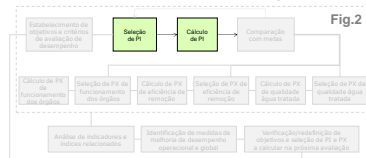
### 3. EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO PAS A ETAR

Nesta secção ilustra-se como utilizar o sistema de avaliação de desempenho de ETAR de forma a tirar o maior partido da referida complementaridade entre indicadores e índices de desempenho.

A título exemplificativo, e utilizando resultados hipotéticos, foram definidos dois objetivos de avaliação de desempenho da ETAR: a avaliação da conformidade da água residual tratada com a legislação em vigor (DL n.º 152/97) e a avaliação da produção de lamas.



Com base nestes objetivos de avaliação foram selecionados e calculados os indicadores de i) conformidade da água descarregada pela ETAR, ii) produção e valorização de lamas, em termos de quantidade e de qualidade e iii) gastos associados a estes dois objetivos (Quadro 1).



Quadro 1. Indicadores selecionados.

Critérios	Indicadores de desempenho (PI)
i)	wtWQ01.2 – Conformidade da água para descarga em n.º de análises realizadas (DL 152/97) [%]
	wtWQ02.2 – Conformidade da água para descarga em n.º de parâmetros analisados (DL 152/97) [%]
	wtWQ03.2 – Conformidade da água para descarga relativamente à qualidade (DL 152/97) [%]
ii)	wtBP01 – Produção de lamas [kg/m <sup>3</sup> ]
	wtBP02 – Escoamento de lamas [%]
	wtBP03 – Destino de lamas [%]
	wtBP04 – Valorização de lamas [%]
	wtBP05 – Conformidade das lamas para valorização agrícola em n.º de análises realizadas [%]
	wtBP06 – Conformidade das lamas para valorização agrícola em n.º de parâmetros analisados [%]
	wtBP07 – Conformidade da qualidade das lamas para valorização agrícola [%]
	wtBP08 – Teor em matéria seca das lamas produzidas [% (p/p)]
iii)	wtFi07 – Gastos com deposição/valorização de subprodutos [Euro/m <sup>3</sup> ou %]
	wtFi08 – Gastos com aquisição de serviços de controlo analítico [Euro/m <sup>3</sup> ou %]

Os resultados dos indicadores devem então ser comparados com as referências respetivas. Neste caso, utilizaram-se os resultados obtidos em 2008 e 2009 em 17 ETAR do consórcio PAST21. Os valores obtidos, para cada PI e para cada ano, foram agregados em caixa de bigodes (Figura 3) que inclui a média, mediana, percentis 25 e 75, máximos e mínimos e extremos. Os resultados da ETAR em análise são representados nas caixas de bigodes através de uma seta vermelha.

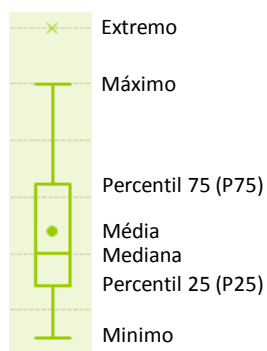
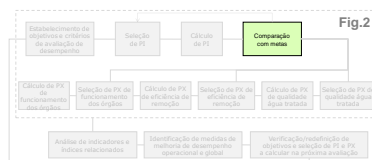


Figura 3. Caixa de bigodes.

A conformidade da água residual tratada foi avaliada relativamente a três aspetos: o número de análises realizadas (wtWQ01, Figura 4a), os parâmetros analisados (wtWQ02, Figura 4b) e a qualidade da água face aos parâmetros estabelecidos na legislação (wtWQ03, Figura 4c). Verifica-se que na ETAR em análise (setas vermelhas na Figura 4) foram realizadas ca. o dobro das análises e dos parâmetros requeridos e que houve uma melhoria significativa do desempenho relativamente à qualidade. O indicador wtWQ03.2 demonstrou que, em 2008, houve apenas 33% de conformidade da água residual tratada e que, em 2009, a eficácia foi de 100%.

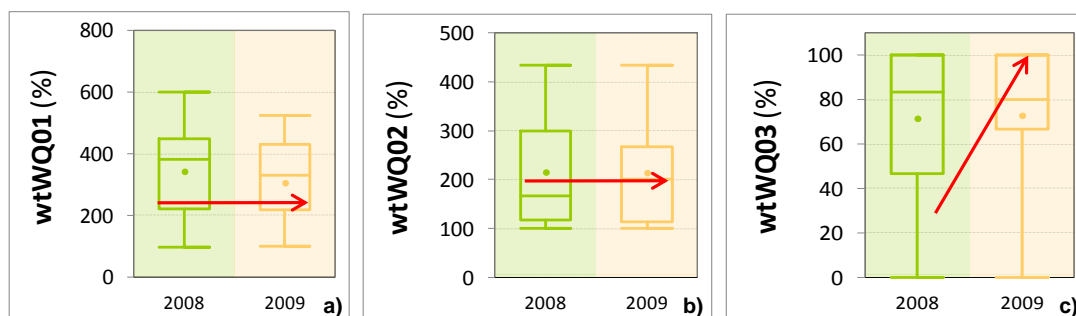


Figura 4. Indicadores de conformidade da água residual tratada.

Em termos de quantidade de lamas verificou-se valores elevados (wtBP01, Figura 5a) associados, como habitualmente, à produção de lamas menos espessadas (wtBP08, Figura 5b). Consequentemente, o indicador associado aos gastos de deposição/valorização de subprodutos também foi elevado (wtFi07, Figura 5c).

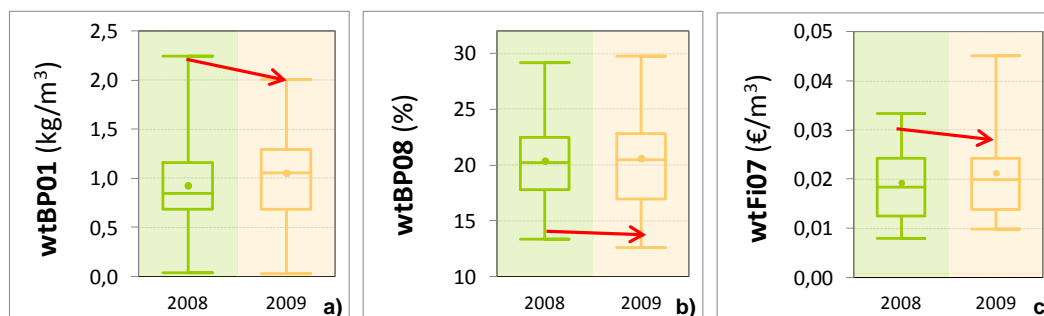
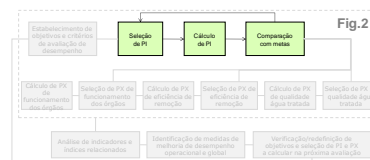


Figura 5. Indicadores de produção de lamas (quantidade e qualidade) e de gastos com deposição/valorização de subprodutos.

Para uma visão mais aprofundada pode ser necessário selecionar e calcular indicadores complementares. Na Figura 6 apresentam-se os PI que podem complementar a interpretação dos resultados de produção de lamas. Por exemplo, valores baixos de produção de lamas podem corresponder a maior eficiência do processo de tratamento de lamas e/ou de água residual (e.g. por produção de lamas mais concentradas (wtBP08) ou maior eficiência de estabilização de matéria orgânica (wtER02 a 06)). Valores elevados de lamas produzidas podem corresponder a menor eficiência do tratamento, e.g. por não disponibilidade de reagentes adequados às características da água residual bruta/lamas a tratar (wtER24) e/ou pela não otimização da sua aplicação (wtER25, 23, 30, 34, 49). Esta última pode refletir-se no consumo de reagentes (wtRU05) e nos gastos associados (wtFi06).



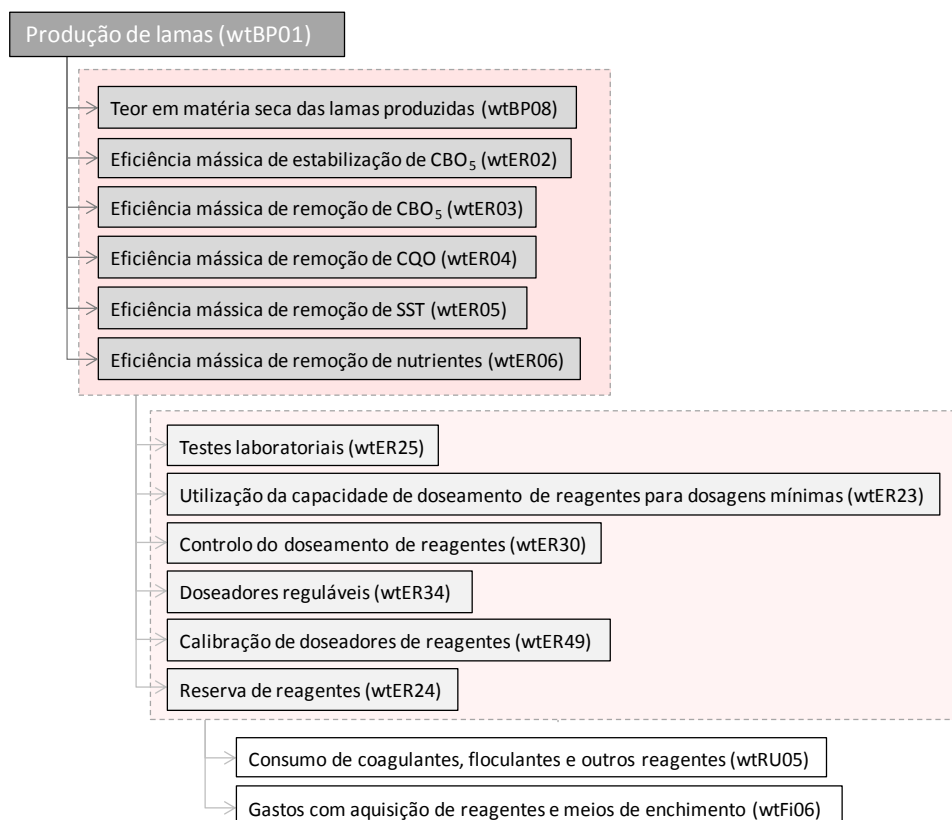


Figura 6. Indicadores complementares do PI “Produção de lamas”.

Os resultados dos PI alertaram para os aspetos a investigar: a qualidade da água residual tratada e a produção de lamas. O passo seguinte na aplicação do PAS consiste na seleção e cálculo dos índices de desempenho operacional.

Os PX de qualidade da água tratada avaliam quão perto ou longe cada valor registado ficou do valor objetivo e identificam “quando” ocorreram as inconformidades. Com base nos resultados do indicador de conformidade da água tratada, selecionaram-se e calcularam-se os PX para os parâmetros CBO<sub>5</sub> (Figura 7a) e SST (Figura 7b). Tal como no indicador de conformidade da água tratada, verifica-se uma melhoria no desempenho de 2008 para 2009. Em 2008, algumas análises de CBO<sub>5</sub> e SST excederam o VL, o que correspondeu a índices de desempenho insatisfatórios (PX < 100). Em 2009, houve uma melhoria dos resultados dos índices, tendo-se registado maioritariamente desempenho “bom” para o parâmetro CBO<sub>5</sub> e desempenho “satisfatório” para o SST.

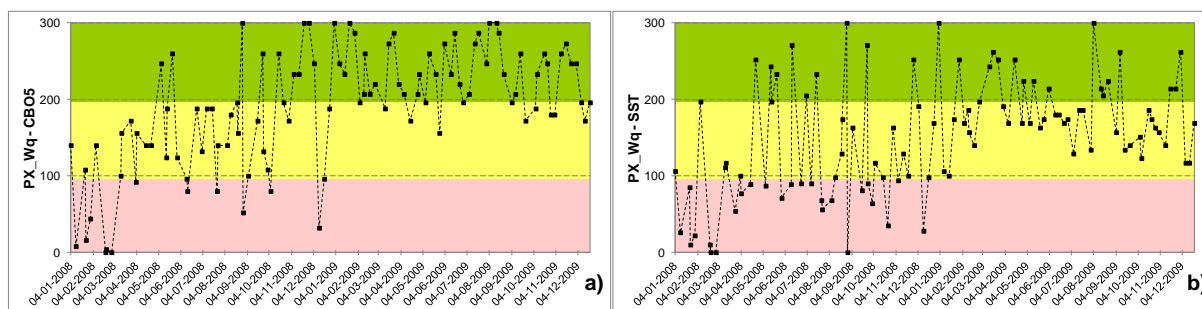
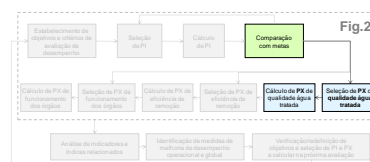
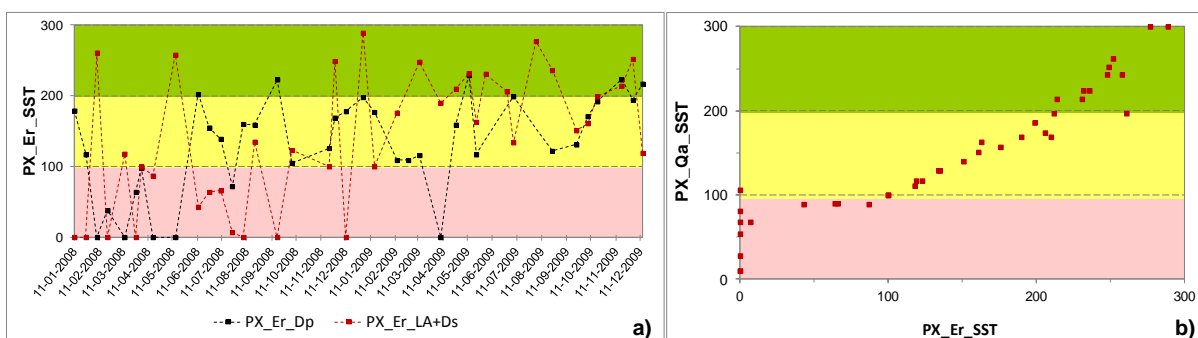
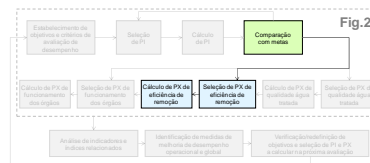


Figura 7. PX de qualidade da água tratada, em CBO<sub>5</sub> e SST.

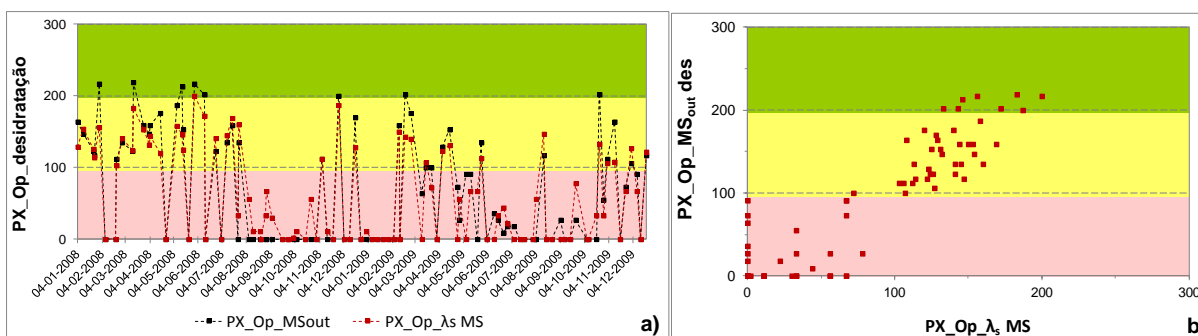
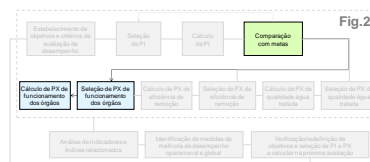
Considerando que cada OPU funciona como uma barreira à passagem de contaminantes, os índices de eficiência de remoção de cada OPU permitem identificar “onde” ocorreram os melhores e os piores desempenhos que terão condicionado a qualidade da água tratada.

Como o PX do parâmetro SST foi o que apresentou valores mais baixos, selecionaram-se e calcularam-se os índices de eficiência de remoção de SST na decantação primária e no tratamento biológico (lamas ativadas e decantação secundária). Na decantação primária o índice oscilou entre 0 e 220 ao longo dos dois anos e no tratamento biológico variou entre 0 e 290, mas com uma melhoria em 2009 (Figura 8a). Esta melhoria em 2009 resultou num aumento da qualidade da água tratada (Figura 8b). Neste ano, a OPU menos eficiente foi a decantação primária.



**Figura 8.** PX de eficiência de remoção de SST na decantação primária e no tratamento biológico e relação com o PX de qualidade de água tratada em SST.

Os indicadores relativos às lamas (Figura 5) demonstraram uma elevada produção de lamas pouco espessadas. Os índices de desempenho operacional identificam não só o “quando” e “onde”, mas também o “porquê” de se obterem maiores ou menores desempenhos. Neste caso, deve-se selecionar os PX de funcionamento dos órgãos relacionados com a produção e qualidade das lamas nas várias OPU. Esta etapa de cálculo dos PX iniciou-se do fim para o início da sequência de tratamento de lamas, *i.e.* da desidratação de lamas na fase sólida para a produção de lamas na fase líquida. A Figura 9 apresenta os índices de matéria seca à saída da desidratação e de carga superficial de sólidos, assim como a relação entre ambos. De facto, a qualidade das lamas finais tem um desempenho insatisfatório ao longo do período analisado (Figura 9a). Porém, este desempenho pode não estar relacionado com a eficiência da desidratação. Esta eficiência aumenta com a carga de sólidos afluente (Figura 9b); o problema reside no desempenho insatisfatório da ETAR neste aspeto.



**Figura 9.** PX de matéria seca e carga de sólidos na desidratação e relação entre ambos.



Procedeu-se então à mesma análise no espessamento (Figura 10) e o índice de carga de sólidos afluente também revelou um desempenho insatisfatório, demonstrando que o problema se situa a montante. Deste modo, analisaram-se os índices de qualidade das lamas afluentes à fase sólida – lamas primárias e lamas secundárias. Os índices das lamas secundárias demonstraram um desempenho excelente e os das primárias apresentam oscilações ao longo do período analisado (Figura 11a), ou seja, a decantação primária produziu lamas pouco espessadas. Esta análise permitiu identificar “onde” existem os constrangimentos ao desempenho bom das OPU da fase sólida.

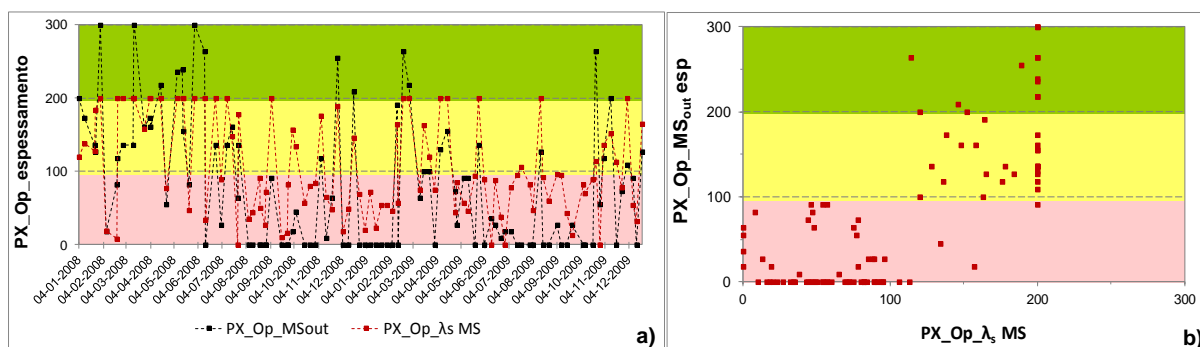


Figura 10. PX de matéria seca e carga de sólidos no espessamento e relação entre ambos.

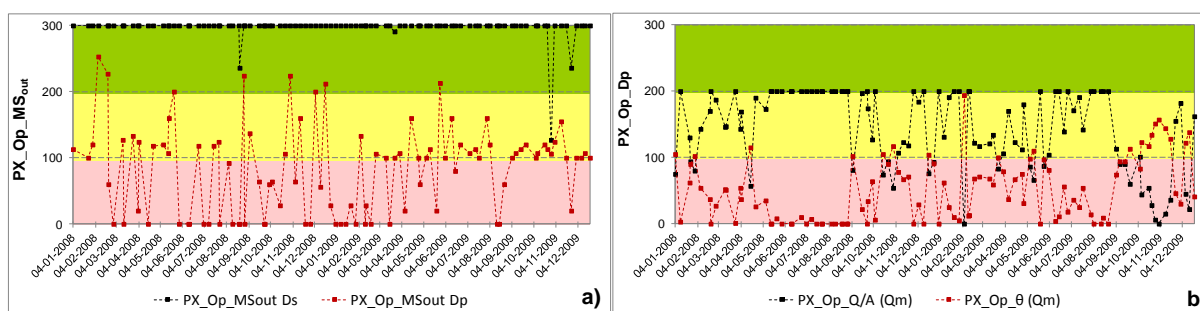
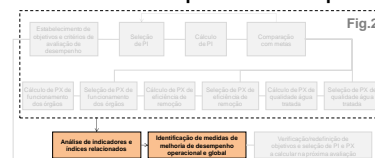


Figura 11. PX de matéria seca das lamas secundárias e das lamas primárias e de carga hidráulica e tempo de retenção da decantação primária.

Nesta fase, faltando ainda perceber o “porquê” do desempenho insatisfatório dos decantadores primários, selecionaram-se índices de funcionamento hidráulico da decantação primária – PX de carga hidráulica e de tempo de retenção (Figura 11b). Estes índices demonstraram que o desempenho é maioritariamente satisfatório em termos de carga mas insatisfatório em termos de tempo de retenção (insuficiente). Podemos finalmente concluir que o problema das lamas pouco espessadas à saída da ETAR está relacionado com a decantação primária e, mais propriamente, com a insuficiente altura dos decantadores. Ou seja, identificou-se uma medida de melhoria de desempenho da ETAR.

Contudo, a melhoria do desempenho requer a participação de vários parceiros para identificar e adaptar as melhores práticas a partir da comparação e troca de experiência entre colegas (Cabrera Jr. *et al.* 2011). O *benchmarking* tem um carácter contínuo (em ciclos PDCA) e coletivo (interno e ou externo à organização).



## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na presente comunicação apresentou-se o contributo da avaliação na melhoria de desempenho de ETAR. Em particular, explicou-se conceptualmente o sistema de avaliação

de desempenho de ETAR e ilustrou-se com resultados hipotéticos como utilizar o PAS de ETAR de forma a tirar o maior partido da complementaridade entre PI e PX de desempenho.

Os indicadores quantificam o desempenho global da estação num período de referência e os índices identificam “quando”, “onde” e “porquê” se obteve desempenho insatisfatório, aceitável, bom e excelente. Da análise complementar de PI e PX é possível diagnosticar e prever situações de maior risco de ineficácia e identificar oportunidades de melhoria de eficiência técnica, económica e ambiental das ETAR. Neste exemplo, esta análise permitiu concluir que a elevada produção de lamas pouco espessadas à saída da ETAR está relacionada com a decantação primária e, mais propriamente, com a insuficiente altura dos decantadores.

Confirma-se pela experiência adquirida no PAST21 que o *benchmarking* é uma ferramenta adequada para a melhoria do desempenho destes serviços e que a avaliação de desempenho é uma peça-chave.

## AGRADECIMENTOS

O LNEC e os autores agradecem à Prof.<sup>a</sup> Sílvia Quadros da Universidade dos Açores a colaboração no desenvolvimento do sistema de avaliação de desempenho de ETAR, e às instituições e colegas do consórcio PAST21 (<http://past21.lnec.pt>) o seu contributo para o teste e melhoria dos sistemas de ETA e ETAR.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegre H., Baptista J.M., Cabrera Jr E., Cubillo F., Duarte P., Hirner W., Merkel W., Parena R. (2006). *Performance indicators for water supply services*. 2<sup>nd</sup> Ed. Manual of Best Practices Series. IWA Publishing. London. ISBN 1843390515.
- Cabrera Jr. E.; Dane P.; Haskins S.; Theuretzbacher-Fritz H. (2011). *Benchmarking Water Services. Guiding water utilities to excellence*. Edited by the IWA Specialist Group on Benchmarking and Performance Assessment. London: AWWA and IWA Publishing, 164 p. ISBN: 9781843391982.
- Campinas M., Lucas H., Rosa M.J. (2003). Análise das eficiências de tratamento na ETA de Alcantarilha. *Recursos Hídricos*. 24(2), 21-31.
- Matos R., Cardoso A., Ashley R., Duarte P., Molinari A., Schulz A. (2003). *Performance indicators for wastewater services*. Manual of Best Practices Series. IWA Publishing. London. ISBN 19002229006.
- Quadros S. (2010). *Desenvolvimento de um sistema de avaliação de desempenho de estações de tratamento de águas residuais urbanas*. Tese de Doutoramento. Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo, 286 p.
- Quadros S., Rosa M. J., Alegre H., Silva C., Ramalho P. (2010). *Avaliação de desempenho operacional de ETAR urbanas*. In Anais do 14.º Encontro Nacional de Saneamento Básico/14.º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto, 26-29 Outubro. 15 p.
- Rosa M. J., Silva C., Ramalho P., Alegre H. (2011). *Projecto PAST21 – Iniciativa nacional de avaliação de desempenho de ETA e ETAR urbanas – Relatório Final*. Relatório 277/2011 – NES, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Julho, 206 p.
- Rosa M.J., Ramalho P., Silva C., Vieira P., Quadros S., Alegre H. (2010). *PAST21 – Iniciativa Nacional de Avaliação de Desempenho de ETA e ETAR Urbanas*. In Anais do 10.º Congresso de Água. Alvor (Algarve). Março 2010, 14 p.
- Silva C. (2008). *Aplicação de medidas de avaliação de desempenho a estações de tratamento de água da Águas do Algarve*. Tese de Mestrado em Eng. do Ambiente, Especialidade Tecnologias Ambientais, FCMA/UALG, Faro.
- Silva C., Ramalho P., Quadros S., Alegre H., Rosa M. J. (2012). Results of 'PAST21' - the Portuguese initiative for performance assessment of water and wastewater treatment plants. *Water Science and Technology - Water Supply*. 12 (3), 372-386.
- Vieira P. (2009). *Avaliação de desempenho de estações de tratamento de água para consumo humano*. Tese de Doutoramento, Universidade do Algarve. Lisboa: Teses e Programas de Investigação LNEC, 2009, 451 p. ISBN 978-972-49-2186-0.