

A IMPORTÂNCIA DA GESTÃO DE AFLUÊNCIAS PLUVIAIS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS

Catarina SILVA ⁽¹⁾; José Saldanha Matos ⁽²⁾; Maria João ROSA ⁽³⁾

RESUMO

Em tempo chuvoso é comum a ocorrência de descargas a montante das estações de tratamento de águas residuais (ETAR) urbanas. Estas descargas têm frequentemente cargas poluentes significativas, e têm portanto um impacto negativo nos meios hídricos receptores. Por outro lado, muitas ETAR estão em subutilização, em termos volúmicos e/ou mássicos, podendo existir alguma capacidade de encaixe de águas pluviais. Não existem contudo ferramentas de apoio à gestão sustentada dessas afluências. Neste contexto, encontra-se em desenvolvimento uma tese de doutoramento cujo objetivo principal é o desenvolvimento e teste, em casos de estudo, de uma metodologia e estratégia de apoio à gestão de afluências pluviais em ETAR urbanas e à tomada de decisão sobre a reabilitação e/ou expansão destas infraestruturas. A metodologia assenta em dois pilares principais – simulação dinâmica e avaliação de desempenho – integrados de forma a permitir avaliar, melhorar e prever o desempenho operacional das ETAR em resposta às variações de caudal e de concentração provocadas pelas afluências pluviais. Se, por um lado, há que minimizar as descargas, por outro, é necessário garantir a sustentabilidade técnica, económica e ambiental do seu tratamento nas ETAR, assegurando-se um tratamento eficaz e fiável com o menor consumo possível de energia, reagentes e produção de lamas. Na presente comunicação apresenta-se resumidamente a abordagem em desenvolvimento e os casos de estudo. Pretende-se ainda sensibilizar os profissionais da água e as entidades gestoras para a importância desta temática.

PALAVRAS-CHAVE

Afluências pluviais, avaliação de desempenho, ETAR, simulação dinâmica, tratamento de águas residuais.

¹ Eng.ª do Ambiente, Mestre em Engenharia do Ambiente, Bolseira de Doutoramento FCT, no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Ambiente, Núcleo de Engenharia Sanitária, Av. Brasil 101, 1700-066 Lisboa, csilva@Inec.pt

² Eng.º Civil, Doutorado em Engenharia Civil, Prof. Catedrático do Instituto Superior Técnico, DECivil, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, jose.saldanha.matos@tecnico.ulisboa.pt

³ Eng.ª Química, Doutorada em Engenharia Química, Investigadora Principal do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Ambiente, Núcleo de Engenharia Sanitária, Av. Brasil 101, 1700-066 Lisboa, mjrosa@Inec.pt

1 Introdução

A maioria dos sistemas urbanos de drenagem transporta conjuntamente águas residuais domésticas e pluviais em sistemas de funcionamento unitário, misto ou pseudo-separativo (Amorim et al. 2009). Em tempo chuvoso é comum a ocorrência de desvios (*bypass*) às estações de tratamento de águas residuais (ETAR), sem qualquer tratamento e sem quantificação dos volumes descarregados. Diversos estudos têm demonstrado o impacto negativo destas descargas nos meios hídricos recetores, na medida em que os caudais em tempo de chuva podem conter cargas poluentes significativas (Ferreira e Matos 2012), até mesmo superiores às das águas residuais domésticas, devido aos caudais envolvidos e ao arrastamento de substâncias depositadas nos coletores e nas superfícies de drenagem (David e Matos 2002).

Tipicamente, na Europa, as ETAR são dimensionadas para capacidades de tratamento da ordem de 3 a 6 vezes o caudal médio diário em tempo seco, consoante estejam ligadas a sistemas de funcionamento, respetivamente, separativo ou pseudo-separativo/unitário (David et al. 2006). Além disso, as ETAR são frequentemente projetadas para elevados horizontes de projeto baseados em cenários de expansão demográfica, que nem sempre se verificam. Estas situações refletem-se na existência de ETAR urbanas em subutilização, em termos volúmicos e/ou mássicos (Silva et al. 2012a, ERSAR 2012). Ou seja, pode existir alguma capacidade de encaixe de águas pluviais nas ETAR, mas não existem ferramentas de apoio à gestão sustentada dessas aflúências. Por um lado, é necessário quantificar os caudais descarregados e, por outro, é imperativo estudar o efeito das variações de caudal e concentração, provocadas por essas aflúências, no funcionamento dos órgãos das ETAR.

A simulação dinâmica das ETAR (Ferreira 2006) e a avaliação de desempenho (Rosa et al. 2010) são duas abordagens complementares do funcionamento destas instalações, embora a sua integração nunca tenha sido realizada de uma forma completa e exija desenvolvimentos ao nível dos sistemas de avaliação de desempenho e dos modelos de simulação do comportamento das ETAR. Além disso, a sua utilização para estimar a robustez e resiliência da ETAR a aflúências pluviais – incluindo a capacidade de encaixe destas aflúências nos órgãos da estação – é também, em grande parte, inovadora.

Esta temática encontra-se em desenvolvimento no âmbito da tese de doutoramento onde o presente resumo se enquadra. Esta tese tem como objetivo principal o desenvolvimento e teste, em casos de estudo, de uma metodologia e estratégia de apoio à gestão de aflúências pluviais em ETAR urbanas. Esta metodologia deverá produzir informação de apoio à exploração eficaz e eficiente dos sistemas de saneamento com minimização da descarga direta de cargas poluentes em meios recetores e à tomada de decisão sobre a reabilitação e/ou expansão das instalações de tratamento. No essencial, esta metodologia permitirá avaliar, melhorar e prever o desempenho operacional das ETAR em resposta às variações de caudal e de concentração provocadas pelas aflúências pluviais. Se, por um lado, há que minimizar as descargas, por outro, é necessário garantir a sustentabilidade técnica, económica e ambiental do seu tratamento nas ETAR, assegurando-se um tratamento eficaz e fiável com o menor consumo possível de energia, reagentes e produção de lamas.

A eficiência energética é um aspecto central uma vez que, nas ETAR, os gastos com a energia representam a segunda maior parcela dos gastos operacionais, logo a seguir aos gastos com o pessoal. Nos Estados Unidos, consoante os autores, esta parcela representa

28% (CEC e AWWARF 2003), ca. 25-40% (PG&E 2003) ou 30-35% (WERF 2010) dos gastos operacionais com energia em ETAR (Figura 1).

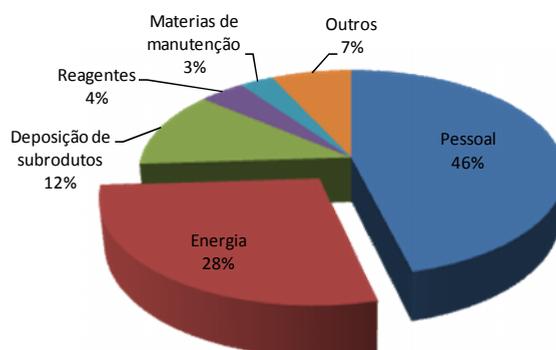


Figura 1. Distribuição dos gastos nos sistemas de tratamento de águas residuais (CEC e AWWARF 2003).

Resultados idênticos foram reportados recentemente para Portugal e Espanha. Rodriguez-Garcia *et al.* (2011) avaliaram o desempenho de 24 ETAR em Espanha e verificaram que, em média, 26% dos gastos estão associados ao consumo de energia e 35% ao pessoal. Em Portugal, nas 17 ETAR estudadas no âmbito do projeto PAST21, os gastos com energia elétrica (2006-2010) correspondem, aproximadamente, a 1/4 dos gastos operacionais ajustados e os gastos com pessoal a cerca de 27% (Silva *et al.* 2012).

Na presente comunicação apresenta-se resumidamente a abordagem em desenvolvimento e os casos de estudo. Pretende-se ainda sensibilizar os profissionais da água e as entidades gestoras para a importância desta temática.

2 Simulação dinâmica

Existem métodos convencionais, equações empíricas e semi-empíricas de dimensionamento de ETAR urbanas, e modelos dinâmicos do comportamento e controlo das operações unitárias físicas e dos processos unitários químicos do tratamento primário, secundário e de afinação e dos processos biológicos do tratamento secundário. São exemplos de modelos de simulação, os programas comerciais AQUASIM, ASSIM, EFOR, GPS-X, SIMBA, STOAT, WEST e BioWin (Ferreira 2006).

Estes modelos utilizam parâmetros hidráulicos, de qualidade da água, estequiométricos e cinéticos para descrever os fenómenos que caracterizam as forças e as reacções (e.g. no tratamento biológico) que ocorrem na(s) etapa(s) de tratamento simulada(s) e que determinam os valores de concentração à saída dessa(s) etapa(s). A calibração e validação de um modelo a uma ETAR requer portanto a realização de campanhas de monitorização de cada etapa a simular, ou seja, das concentrações à entrada e à saída (para os parâmetros relevantes), da temperatura e dos caudais (diários ou horários, consoante a etapa). No presente estudo, crescem campanhas de medição contínua do consumo de energia, uma vez que a eficiência energética foi uma das prioridades estabelecidas pelas razões acima expostas.

Uma vez que se pretende apoiar a gestão de aflúências pluviais em ETAR, é fundamental definir cenários de aflúência para os quais se simule e preveja o funcionamento da instalação. Neste estudo, trabalhar-se-ão cenários prováveis de caudal e concentração

afluentes à ETAR representativos de eventos habituais de precipitação e de eventos extremos, cada vez mais prováveis devido às alterações climáticas.

Para cada cenário, os dados simulados correspondem aos valores de concentração dos parâmetros de qualidade à saída da etapa de tratamento associadas às condições de operação e de funcionamento. Ou seja, a simulação dinâmica produz resultados que permitem avaliar e prever a eficácia da ETAR nos cenários testados. Não permite, no entanto, diretamente, concluir ou melhorar a eficiência do tratamento, em termos do consumo de recursos (energia e reagentes) e produção de subprodutos. Para esse efeito, recorre-se à avaliação de desempenho, segundo pilar da metodologia proposta.

3 Avaliação de desempenho

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 PDCA - *plan-do-check-act*) e coletivo (interno e ou externo à organização) do *benchmarking*, que envolve duas etapas consecutivas – a avaliação do desempenho e a melhoria do desempenho (Rosa *et al.* 2012).

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 (Rosa *et al.* 2010) 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 da iniciativa nacional de avaliação de desempenho de ETA e ETAR PAS_{t21} (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: i) um sistema de indicadores de desempenho (PI), que avalia a instalação como um todo, numa base anual e ii) um sistema de índices de desempenho (PX) para avaliar e melhorar o desempenho diário de cada etapa de tratamento em termos de qualidade da água residual tratada, eficiência de remoção e funcionamento dos órgãos. O PAS abrange oito grupos de avaliação de desempenho: Qualidade da água residual 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 projecto.

Atualmente, o PAS encontra-se na terceira geração. A 1.ª geração dos sistemas para ETA e ETAR foi desenvolvida no âmbito de duas teses de doutoramento e testada, respetivamente, em quatro ETA (Vieira *et al.* 2008, 2010) e duas ETAR (Quadros *et al.* 2010a, b). A 2.ª geração surgiu do projeto PAS_{t21} (2009-2011; <http://past21.lnec.pt>), coordenado pelo LNEC e envolvendo 18 instituições, 17 ETAR e 10 ETA (Rosa *et al.* 2010, Silva *et al.* 2012a).

A 3.ª geração do PAS para ETAR, em desenvolvimento no âmbito da presente tese de doutoramento e do projeto Europeu TRUST, aprofunda os aspetos relacionados com a eficácia e fiabilidade e com a eficiência e sustentabilidade dos sistemas de tratamento de águas residuais. Em particular, foca medidas de avaliação e melhoria do desempenho energético, do consumo de reagentes e da produção e gestão de lamas que, como referido, correspondem a uma parcela significativa dos gastos operacionais ajustados da ETAR.

Em face destes objetivos, desenvolveu-se um subconjunto de indicadores e índices (“set4goal”) dos domínios de avaliação de Qualidade de água residual tratada, Eficiência e fiabilidade, Utilização de água, energia e materiais, Gestão de subprodutos e Recursos económico-financeiros (Silva et al. 2013). De forma a agilizar a sua aplicação e a avaliação de desempenho, os indicadores estão classificados como de nível principal ou nível complementar, consoante respondam diretamente aos objetivos de avaliação ou forneçam informação complementar.

Os PI são calculados para um período de referência, em geral 1 ano, e o valor obtido não emite juízo em termos do maior ou menor desempenho, sendo necessária a comparação com uma referência, i.e., uma meta (valor ou gama de valores) definida, por exemplo, com base na literatura ou nos resultados obtidos noutra instalação ou grupo de instalações (caixa de bigodes na Figura 2a, explicada em Silva et al. 2012a). Ao invés, os valores de referência dos PX são intrínsecos às funções de desempenho que convertem as variáveis de estado (concentrações à saída na Figura 2b; eficiências de remoção na Figura 2c; e condições de operação na Figura 2d) em índices na escala 0-300, com a discretização temporal das variáveis de base (Figura 2e, Silva et al. 2012b).

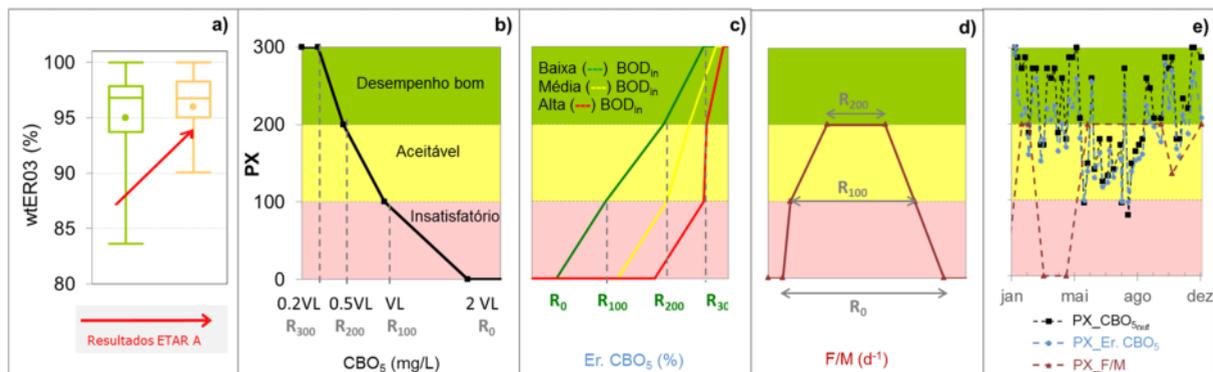


Figura 2. Exemplos de (a) indicadores, (b, c e d) funções e (e) índices de desempenho de ETAR (adaptado de Silva et al 2012b).

Como ilustrado na Figura 2, os índices são produzidos por funções de desempenho definidas pelos valores de referência de cada nível de desempenho, ou seja, R_0 , R_{100} (para o desempenho mínimo aceitável), R_{200} (bom desempenho) e R_{300} (desempenho excelente).

Para os índices de qualidade de água tratada (Figura 2b), as variáveis de estado correspondem aos valores de concentração dos parâmetros de qualidade físico-química ou microbiológica da água tratada (neste caso ilustrados para CBO_5) e os valores de referência baseiam-se no valor-limite (VL) para o parâmetro à saída da ETAR (Silva et al. 2012b).

Nos índices de eficiência de remoção (Er , Figura 2c), os valores de referência são específicos para cada parâmetro e etapa de tratamento e têm em consideração: i) a concentração afluente (C_{in}) e o VL; ii) dados reais de Er vs. C_{in} (que geram curvas modelo) e o limite inferior de gama típica Er - C_{in} (Silva et al. 2012b).

Em relação aos índices de funcionamento dos órgãos, as variáveis de estado correspondem a condições críticas de operação ou a parâmetros de qualidade da água ou lamas que influenciam a operação e principais problemas de funcionamento dessa etapa de tratamento. Neste caso, os valores de referência para o desempenho mínimo aceitável (R_{100}) são baseados em gamas recomendadas na bibliografia para cada variável. Os valores

R_{200} correspondem ao melhor compromisso entre eficácia, eficiência de remoção e eficiência económica que permite atingir bom desempenho (Figura 2d, ilustrada para a razão F/M – food/microrganismos no reator de lamas ativadas). Os valores de referência para o desempenho excelente (R_{300}) deverão ser encontrados caso a caso, através de estudos de otimização dessas operações/processos ou etapas de tratamento, que permitam identificar para a ETAR em estudo o melhor compromisso de eficácia, segurança, eficiência e sustentabilidade. Em alguns casos, os valores de referência são obtidos através de equações, para incorporar efeitos de outros parâmetros (e.g., o efeito da temperatura) (Silva et al. 2013).

Ou seja, os indicadores e os índices são ferramentas de avaliação e melhoria do desempenho, mas ambos requerem o estabelecimento de valores de referência.

Tendo em conta que um dos objetivos da tese é estudar o efeito das variações de caudal e concentração provocadas pelas afluências pluviais no funcionamento dos órgãos das ETAR, os valores de referência propostos baseiam-se em equações que incorporam esse efeito. Por exemplo, no indicador de consumo de energia estas equações são função do volume diário de água residual tratada e do tipo de tratamento (Silva et al. 2013); no PX de consumo de energia para purga de lamas do tratamento primário são função do caudal, da perda de carga e da eficiência das bombas.

Durante a tese, estes valores serão refinados através de estudos de otimização, nas ETAR selecionadas (secção 5), que permitirão identificar caso a caso o melhor compromisso entre eficácia-segurança e eficiência-sustentabilidade, e que envolverão campanhas de monitorização da qualidade de água e medições de campo da energia consumida em função das condições de funcionamento, em tempo seco e em tempo chuvoso.

Os modelos de simulação dinâmica darão um importante contributo neste processo de otimização. Os resultados da simulação dinâmica constituem, portanto, as variáveis de estado que serão convertidas em índices de avaliação de desempenho.

Finalmente, através da análise complementar de PI e PX é possível diagnosticar e prever situações de maior risco de ineficácia ou ineficiência da ETAR e identificar oportunidades de melhoria do seu desempenho técnico, económico e ambiental (Silva et al. 2013). 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 (Silva et al. 2012b).

4 Metodologia de apoio à gestão de afluências pluviais em ETAR urbanas

A Figura 3 ilustra a metodologia em desenvolvimento.

Através da modelação dinâmica serão simulados para diferentes cenários de afluência (caudais, concentrações e temperaturas), habituais e extremos, os valores das concentrações à saída para determinadas condições de funcionamento da(s) etapa(s) de tratamento.

Estes resultados de simulação constituem as variáveis de estado dos índices de desempenho operacional que permitem avaliar, para cada cenário, o desempenho da ETAR em termos de eficácia e fiabilidade da qualidade da água residual tratada e de eficiência energética, do consumo de reagentes e da produção de lamas. Além disso, deverá ser

possível identificar as condições ótimas (R_{300}) e as condições limite de funcionamento (R_{100}) de cada etapa de tratamento, informação que permitirá decidir se, quando e onde, i.e. em que etapa de tratamento, será necessário fazer bypass ou descarga de águas residuais.

Ou seja, deverá ser possível prever a capacidade de encaixe de aflúências pluviais nos vários órgãos de tratamento da ETAR e a resiliência da ETAR a estas aflúências. Há que minimizar os efeitos negativos das descargas no(s) meio(s) recetores sem comprometer a eficácia da ETAR, imediata ou a prazo, e a sustentabilidade do serviço.

Esta metodologia está a ser desenvolvida e será testada com dados de campanhas de monitorização em casos de estudo representativos da variedade climática nacional em termos de temperatura e de regime de precipitação.

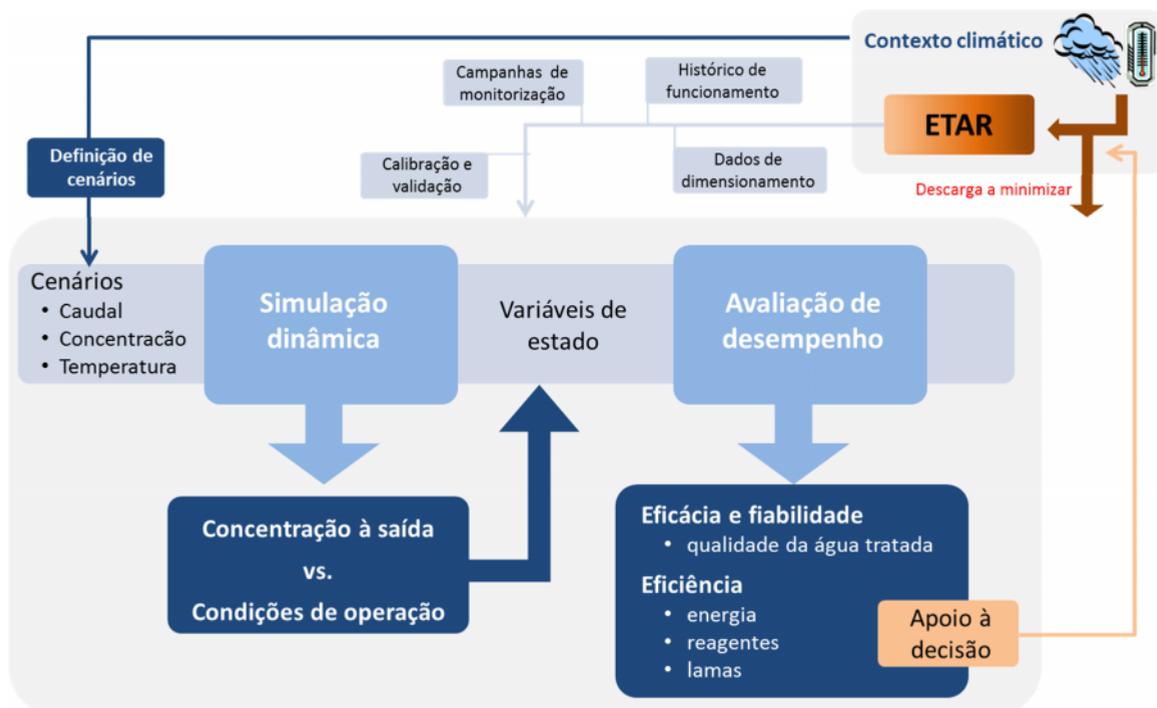


Figura 3. Metodologia de apoio à gestão de aflúências pluviais em ETAR urbanas.

5 Seleção dos casos de estudo

Os casos de estudo são essenciais ao desenvolvimento e validação da metodologia proposta de apoio à gestão de aflúências pluviais em ETAR urbanas e determinam a sua gama de aplicabilidade.

Como casos de estudo da presente tese, escolheram-se sistemas de tratamento de diferentes contextos geográficos, climáticos, de ordenamento do território, e tipologias de tratamento. Para o efeito, conta-se com o apoio das entidades gestoras Águas do Algarve, S.A. (AdA), Águas do Noroeste, S.A. (AdNw) e Serviços Municipalizados de Água e Saneamento (SMAS) de Almada (Quadro 1).

Conforme se ilustra na Figura 4, as ETAR selecionadas distribuem-se de Norte a Sul do país, abrangendo os diferentes contextos climáticos de Portugal Continental. A temperatura média varia entre 12.5 °C (AdNw) e superior a 17.5 °C (AdA) e a precipitação média anual

varia entre 500 mm (AdA) e 2000 mm (AdNw). Apesar de no Algarve a precipitação média anual ser mais baixa, o mesmo não acontece com a precipitação horária, onde se observa a intensidade mais elevada (Figura 5). Além dos regimes de precipitação, a temperatura é também um parâmetro climático chave do desempenho da ETAR, uma vez que condiciona a separação sólido-líquido (decantação), a solubilidade dos gases e a velocidade das reações (tratamento físico-químico e biológico).

As ETAR selecionadas são representativas dos sistemas mais habituais, em Portugal e mundialmente, de biomassa em suspensão e de biomassa fixa, respetivamente lamas ativadas e leitos percoladores (Quadro 1). As capacidades de tratamento variam, aproximadamente, entre 14000 e 30000 m³/d (Quadro 1).

A ETAR selecionada no Algarve permitirá estudar em paralelo os sistemas de lamas ativadas e os sistemas de leitos percoladores. Este aspeto é muito relevante pois viabilizará a análise custo-benefício destas duas opções para as mesmas afluências (urbanas e pluviais). Além de se poder comparar a resiliência às afluências pluviais das duas opções, também a metodologia de gestão poderá ser testada num ambiente com mais graus de liberdade. A repartição (não necessariamente igual) de caudais entre as duas linhas de tratamento constitui um nível adicional de gestão.

Quadro 1. Capacidades e os diferentes tipos de tratamento das ETAR caso de estudo.

ETAR	Entidade gestora	Capacidade (m ³ /d)	Tipologia
1	Águas do Noroeste (AdNw)	14 000	Tratamento secundário por lamas ativadas em arejamento prolongado, seguido de ozonização.
2	SMAS de Almada	25 992	Tratamento secundário por lamas ativadas, seguido de desinfecção por radiação UV. Digestão anaeróbia das lamas.
3	Águas do Algarve (AdA)	29 538	Duas linhas de tratamento secundário em paralelo, uma de lamas ativadas (sistema Bardenpho 5) e outra de leitos percoladores (enchimento plástico); ao tratamento secundário segue-se desinfecção por radiação UV.

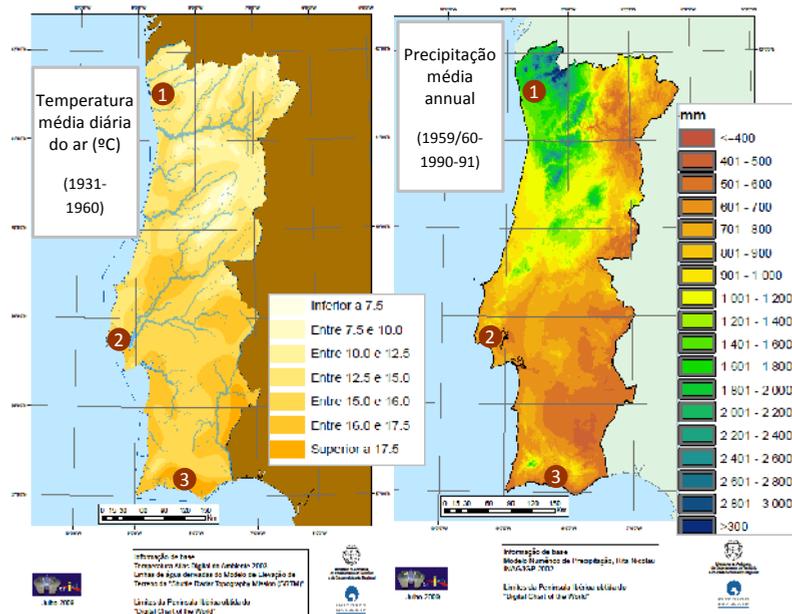


Figura 4. Temperatura média diária do ar e precipitação média anual, em Portugal Continental (SNIRH, 2009).

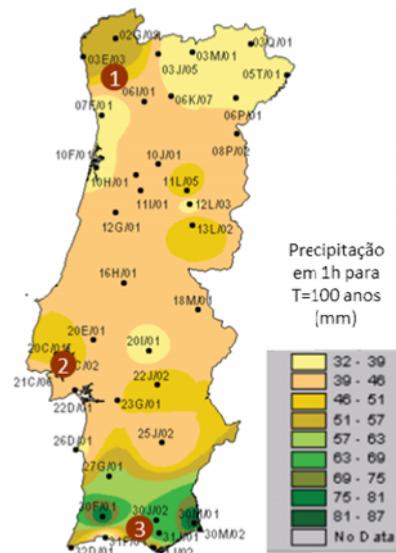


Figura 5. Precipitação em 1 h para um período de retorno de 100 anos, em Portugal Continental (Brandão et al. 2001).

6 Considerações finais

Na presente comunicação apresenta-se resumidamente uma metodologia, em desenvolvimento, para apoio à gestão de aflúências pluviais em ETAR urbanas e os dois pilares principais em que esta metodologia inovadora assenta. A simulação dinâmica das ETAR e a avaliação de desempenho são duas abordagens complementares do funcionamento destas instalações, e esta metodologia propõe a sua integração.

No essencial, a metodologia proposta permitirá avaliar e prever o desempenho operacional das ETAR em resposta às variações de caudal e concentração provocadas pelas aflúências

pluviais, permitindo identificar as condições recomendadas e as condições limite de funcionamento da ETAR em termos de eficácia e eficiência, que correspondem, respetivamente, ao desempenho bom e mínimo aceitável. Se, por um lado, há que minimizar as descargas, por outro, é necessário garantir a sustentabilidade técnica, económica e ambiental do seu tratamento nas ETAR, assegurando-se um tratamento eficaz e fiável com o menor consumo possível de energia, reagentes e produção de lamas.

Este estudo tem como finalidade produzir informação de apoio à exploração dos sistemas de saneamento com minimização da descarga direta de cargas poluentes em meios receptores, bem como à tomada de decisão sobre a reabilitação das instalações de tratamento.

Com esta comunicação pretende-se ainda sensibilizar os profissionais com interesse na temática da água e as entidades gestoras, para a importância da gestão de afluências pluviais em estações de tratamento de águas residuais urbanas e para as oportunidades de melhoria de eficácia e sustentabilidade ambiental e económica destas infraestruturas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio das entidades gestoras Águas do Algarve, S.A. (AdA), Águas do Noroeste, S.A. (AdNw) e Serviços Municipalizados de Água e Saneamento (SMAS) de Almada, e a disponibilidade da Eng.ª Alexandra Sousa (SMAS Almada), do Eng. Joaquim Freire e Eng. António Martins (AdA) e do Prof. José Tentúgal Valente (AdNw).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amorim J. Z., Ferreira F., Matias N., Marques R., Póvoa P., Matos J.S. (2009) Simulação dinâmica de sistemas de saneamento: Casos de estudo em Lisboa. *Águas & Resíduos*, série III. n.º 10, maio/agosto, 16-25.
- Brandão C., Rodrigues R., Costa J. P. (2001) *Análise de Fenómenos Extremos. Precipitações Intensas em Portugal Continental*. Direcção dos Serviços de Recursos Hídricos.
- 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.
- CEC e AWWA RF (2003) *Water and Wastewater Industry Energy Efficiency: A Research Roadmap*. California Energy Commission and American Water Works Association Research Foundation. Prepared by Means E., McGuire Environmental Consultants, Newport Beach, CA.
- David L. M., Matos R. S. (2002) Wet weather water quality modelling of a Portuguese urban catchment: difficulties and benefits. *Water Science and Technology*. 45(3), 131-140.
- David L., Matos J. S., Matos R. S. (2006) Avaliação do efeito de medidas de controlo de descargas de tempestade. In *Anais do 10.º ENASB*. Cascais, outubro, 16 p.
- ERSAR (2012) RASARP – *Relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal. Volume 3 – Avaliação da qualidade do serviço prestado aos utilizadores*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. setembro, 234 p.
- Ferreira F. (2006) *Modelação e Gestão Integrada de Sistemas de Águas Residuais*. Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, UNL. Lisboa.

- Ferreira F., Matos J. S. (2012) Caracterização da qualidade de águas pluviais na cidade de Lisboa. In *Anais do 15.º ENASB*, Évora, outubro.
- PG&E (2003). *Municipal Wastewater Treatment Plant Energy Baseline Study*. Pacific Gas and Electric Company (PG&E). San Francisco, CA, junho.
- Quadros S., Rosa M.J., Alegre H., Silva C. (2010a). A performance indicators system for urban wastewater treatment plants. *Water Science and Technology* 62(10), 2398-2407.
- Quadros S., Rosa M. J., Alegre H., Silva C., Ramalho P. (2010b). Avaliação de desempenho operacional de ETAR urbanas. In *Anais do 14.º ENASB/14.º SILUBESA*. Porto, Outubro, 15 p.
- Rodriguez-Garcia G., Molinos-Senante M., Hospido A., Hernández-Sancho F., Moreira M. T., Feijoo G. (2011) Environmental and economic profile of six typologies of wastewater treatment plants. *Water Research* 45, 5997-6010.
- 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), 22-24 março, 14 p.
- Rosa M. J., Silva C., Ramalho P., Alegre H. (2012) Avaliar para melhorar o desempenho das estações de tratamento de água e de águas residuais, In *Atas das Jornadas de Investigação e Inovação LNEC – Cidades e Desenvolvimento*. Lisboa.
- Silva C., Ramalho P., Quadros S., Alegre H., Rosa M. J. (2012a) 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.
- Silva C., Ramalho P., Alegre H., Rosa M.J. (2012b) O contributo da avaliação na melhoria do desempenho das estações de tratamento de águas residuais. In *Anais do 15.º ENASB*. Évora, outubro, 14 p.
- Silva C., Ramalho P., Rosa M.J. (2013) *Performance assessment of WWTPs*. Chapt. 1 in Part I. Curative actions in wastewater treatment systems. In Results from overall exploration of potential for sustainability improvements: Report D43.1 TRUST project.
- SNIRH – Serviço Nacional de Informação de Recursos Hídricos (2009). <http://snirh.pt> (acedido a 28 Janeiro de 2014).
- Vieira P., Alegre H., Rosa M. J., Lucas H. (2008) Drinking water treatment plants assessment through performance indicators. *Water Science and Technology - Water Supply* 8(3), 245-253.
- Vieira P., Rosa M. J., Alegre H., Lucas H. (2010) Assessing the operational performance of water treatment plants – focus on water quality and treatment efficiency. In *Proceedings of IWA World Water Congress*. Montréal.
- WERF (2010) *Overview of State Energy Reduction Programs and Guidelines for the Wastewater Sector*. Water Environment Research Foundation. Alexandria, VA. Co-published by IWA Publishing.