

# PERSPETIVA DE EVOLUÇÃO NA APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE MONITORIZAÇÃO EM ETAR DESCENTRALIZADAS

Rita RIBEIRO<sup>(1)</sup>, Maria do Céu ALMEIDA<sup>(2)</sup>, Tatiana ARRIAGA<sup>(3)</sup>, Carla I.C. PINHEIRO<sup>(4)</sup>,  
Helena M. PINHEIRO<sup>(5)</sup>

## Resumo

A utilização de sistemas de monitorização contínua em estações de tratamento de águas residuais (ETAR) descentralizadas de pequena dimensão é uma via promissora para aumentar o conhecimento sobre as condições de funcionamento e, também, para servir como alerta precoce sobre situações anómalas. Sem o acesso a este tipo de informação é difícil garantir um bom desempenho dos processos de tratamento. Desenvolvimentos tecnológicos recentes em sensores óticos na gama ultravioleta-visível, em sensores químicos e em sistemas de comunicação e informação abrem caminho a novas configurações para os sistemas de monitorização. Torna-se agora possível acompanhar à distância e em tempo real o funcionamento de ETAR descentralizadas e introduzir correções atempadamente.

Neste artigo é apresentado o potencial de sistemas de monitorização em contínuo com vista à melhoria do desempenho e fiabilidade de ETAR descentralizadas. São referidos aspetos de intervenção estrutural, seleção e instalação de equipamentos, desenvolvimento e validação de modelos matemáticos de estrutura simples para a simulação dinâmica do funcionamento do sistema de tratamento. É proposta uma abordagem à implementação de sistemas de monitorização e da sua utilização para controlo operacional, sendo exemplificada a sua aplicação em dois estudos de caso.

**PALAVRAS-CHAVE:** controlo; desempenho e fiabilidade do tratamento; medição em contínuo; sistemas de monitorização; ETAR descentralizadas

---

<sup>1</sup> Investigadora Auxiliar do Departamento de Hidráulica e Ambiente, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, [rribeiro@lnec.pt](mailto:rribeiro@lnec.pt)

<sup>2</sup> Investigadora Principal do Departamento de Hidráulica e Ambiente, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, [mcalmeida@lnec.pt](mailto:mcalmeida@lnec.pt)

<sup>3</sup> Bolseira de Investigação, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal, [tatiana.arriaga@tecnico.ulisboa.pt](mailto:tatiana.arriaga@tecnico.ulisboa.pt)

<sup>4</sup> Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Química, IBB, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal, [carla.pinheiro@ist.utl.pt](mailto:carla.pinheiro@ist.utl.pt)

<sup>5</sup> Professora Auxiliar do Departamento de Bioengenharia, IBB, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, [helena.pinheiro@ist.utl.pt](mailto:helena.pinheiro@ist.utl.pt)

## **1 INTRODUÇÃO**

Para que seja possível uma resposta adequada e eficiente às crescentes exigências operacionais e regulamentares, a gestão dos sistemas urbanos de água deve envolver um maior conhecimento sobre as condições de funcionamento ao longo do tempo. A utilização de sistemas de monitorização em contínuo resulta em diversos benefícios, tais como possibilidade de responder proactivamente a alterações repentinas na qualidade da água e das águas residuais e de reduzir os custos operacionais. No entanto, e apesar da disponibilização no mercado de equipamentos de monitorização novos e mais robustos, o potencial da sua utilização permanece ainda pouco explorado. De entre as razões apontadas para esta dificuldade, salienta-se a presente carência de informação sobre o funcionamento deste tipo de instrumentação em condições normais de operação dos sistemas urbanos de água (Maclennan e Nutt, 2010).

Os sistemas descentralizados são uma alternativa corrente para a gestão de águas residuais nas áreas de maior dispersão populacional, em particular nas zonas rurais. As ETAR que servem pequenos aglomerados estão sujeitas a condições específicas que condicionam o desempenho dos sistemas de tratamento. Atualmente verifica-se alguma insuficiência na disponibilização de informação sobre as condições reais de operação das ETAR descentralizadas, o que tem contribuído para a perceção de que estes sistemas apresentam fraca fiabilidade e eficiência.

No presente artigo, é analisado o potencial da aplicação de tecnologias de monitorização em contínuo em sistemas urbanos de água, dando enfoque à avaliação e controlo do funcionamento de ETAR de pequena dimensão. É também apresentada a metodologia DEMOCON, desenvolvida no sentido de fornecer às entidades gestoras de sistemas de águas residuais uma estrutura prática e com custos controlados para a melhoria do desempenho deste tipo de ETAR.

## **2 MONITORIZAÇÃO EM CONTÍNUO EM SISTEMAS URBANOS DE ÁGUA**

### **2.1 Características básicas**

O alicerce de uma gestão eficiente de sistemas urbanos de água está no conhecimento das condições correntes de funcionamento, conseguido através da aquisição em linha de dados, em paralelo com a compreensão de processos e mecanismos envolvidos na dinâmica dos processos de transporte e tratamento. A deteção atempada de situações anómalas, ou atípicas, é fator chave para o incremento da fiabilidade e eficiência do funcionamento destes sistemas. De facto, a partir do momento em que os decisores dispõem deste tipo de informação, a operação dos sistemas é facilitada e a resposta em situações de emergência que obriguem a intervenções rápidas pode ser melhorada.

A monitorização das condições de funcionamento de um sistema urbano de água envolve, entre outros aspetos, a medição de parâmetros de qualidade da água e de caudal. A medição de uma dada grandeza pode ser efetuada em contínuo, ou seja com um passo temporal suficientemente pequeno para a análise correta da dinâmica de processo em

questão, ou de forma discreta ou pontual. A informação fornecida pelos equipamentos de medida em contínuo pode ser armazenada localmente ou transmitida a um sistema de aquisição de dados. A monitorização em contínuo resulta na produção de um volume expressivo de dados, os quais necessitam de ser devidamente tratados para se traduzir em informação útil para os decisores.

Os recentes avanços tecnológicos têm resultado na disponibilização no mercado de instrumentação de medição em linha desenvolvida especificamente para os sistemas urbanos de água. Estes equipamentos apresentam atualmente uma maior robustez, exatidão e fiabilidade, a par de menores exigências na operação dos sensores e de custos mais reduzidos. Complementarmente regista-se um progresso ainda mais significativo ao nível das tecnologias de informação e de comunicação, o que facilita seguramente a gestão dos dados obtidos.

Para que seja possível aproveitar o potencial completo associado à medição em contínuo, é importante que um sistema de monitorização seja desenvolvido a partir da análise de três vertentes: instrumentação, local de medição e logística de operação. Por outras palavras, é fundamental que um equipamento de monitorização apresente características metrológicas adequadas à medição dos parâmetros em causa e seja instalado num local que permita adquirir informação representativa sobre o sistema em análise. É também indispensável a calibração, manutenção e verificação do correto funcionamento dos sensores utilizados, de modo a assegurar a qualidade das medições realizadas. Adicionalmente, é fundamental um dimensionamento adequado do sistema de aquisição de dados.

Apresentam-se, no Quadro 1, os fatores a considerar na definição de um sistema de monitorização em sistemas urbanos de água.

Quadro 1 – Caraterísticas básicas de um sistema de monitorização (adaptado de ASCE, 2010)

Constituinte	Atributos	
Instrumentação de medição	<i>Equipamento individual</i>	Exatidão e fiabilidade na medição dos parâmetros em causa
		Fiabilidade e robustez do equipamento
		Facilidade de instalação
		Sistema de limpeza automática da superfície de leitura
		Sistema de parametrização e condicionamento de sinal
	<i>Sistema de equipamentos</i>	Capacidade de armazenamento de dados
		Custo
		Complementaridade das medições
		Sincronismo das medições
		Possibilidade integrar num único sistema de aquisição de dados os sinais provenientes de sensores de diversas marcas
Capacidade de processamento prévio dos sinais, rotinas de medição e armazenamento de resultados		
Capacidade de transmissão de dados		

Quadro 1 – Características básicas de um sistema de monitorização (continuação)

Constituinte	Atributos
Local de instalação	<p>Representatividade do ponto de medição, tendo em conta os objetivos da monitorização e de qualidade dos dados</p> <p>Existência de altura de escoamento suficiente para a completa submersão do equipamento</p> <p>Ausência de turbulência e velocidades elevadas</p> <p>Necessidade de trabalhos de construção civil para adequação do local</p> <p>Acesso a ligações elétricas, se necessário</p> <p>Acesso a meios de telecomunicação para transmissão de dados</p>
Logística (exigências de manutenção)	<p>Facilidade no acesso ao equipamento para montagem, desmontagem, inspeção do estado das membranas ou de superfícies de leitura e recolha de dados</p> <p>Segurança e espaço para realização das operações de manutenção</p> <p>Exigências técnicas dos procedimentos de verificação</p> <p>Requisitos de reagentes</p> <p>Tempo de paragem para verificação e manutenção</p>

## 2.2 Justificação da monitorização em contínuo

A aplicação de um sistema de monitorização em contínuo em sistemas urbanos de água tem frequentemente por objetivo a deteção de situações ditas anómalas e a sua classificação, de modo a ser possível desencadear ações de controlo que minimizem os efeitos associados. Complementarmente, a monitorização em contínuo permite a caracterização do funcionamento típico, ou seja em condições ditas normais, do sistema e o apoio ou suplementação das atividades regulamentares de monitorização (ASCE, 2004). Por situação anómala entende-se, por exemplo, um evento de contaminação numa rede de distribuição de água ou a afluência de uma descarga não autorizada a uma ETAR.

Como benefícios associados à monitorização em contínuo em sistemas urbanos de água, salientam-se os seguintes aspetos:

- Aviso precoce de alterações do caudal e qualidade da água (de abastecimento e residual), com redução do risco sobre a saúde pública e o ambiente através do desencadeamento de alarmes e procedimentos adequados de resposta.
- Caracterização de condições típicas de funcionamento, com a construção de um histórico de dados de caudal e qualidade da água.
- Maior eficiência na exploração dos sistemas, obtida através de um conhecimento acrescido sobre os padrões de consumo de água e de produção de águas residuais.
- Maior fundamentação das decisões operacionais, com suporte na previsão dos resultados de ações de controlo.
- Redução de custos operacionais associados ao consumo de energia e de reagentes químicos, conseguida através da adoção de estratégias mais eficientes de operação dos sistemas.

- Aumento da eficiência nas ações de rotina através da diminuição das necessidades de mão-de-obra, conseguida através de um melhor planeamento das intervenções de manutenção.
- Aumento da qualidade do serviço prestado, com fortalecimento da confiança dos clientes, operadores e reguladores.

Para que a deteção de situações anómalas resulte numa melhoria significativa da fiabilidade dos sistemas urbanos de água, é necessário que as entidades gestoras desenvolvam competências e capacidade técnica que permitam tirar proveito do novo tipo de informação produzida. A aposta num sistema de monitorização em contínuo deve, portanto, estar integrada na estratégia geral da organização, com definição de objetivos e critérios claros para a sua aplicação, e envolvendo a sensibilização de todos os agentes (desde a gestão de topo até ao pessoal de operação). Só assim será verdadeiramente possível alcançar o benefício decorrente de um conhecimento mais detalhado sobre o funcionamento do sistema.

### **2.3 Controlo operacional baseado na monitorização em contínuo**

A eficácia de um sistema de controlo operacional depende do acesso a informação atualizada sobre as condições de funcionamento do processo onde se pretende atuar. Esta informação, quando associada a dados históricos, pode ser utilizada na simulação dos principais processos com impacto no desempenho, apoiando a tomada de decisão sobre ações de controlo.

Os modelos matemáticos são ferramentas muito úteis na avaliação e análise de sistemas urbanos de água. Permitem a incorporação do conhecimento e informação na descrição numérica do funcionamento dos sistemas e, complementarmente, quantificar o impacto de variações no caudal e qualidade da água ou da alteração na operação das infraestruturas no desempenho destes sistemas.

A utilidade dos resultados da aplicação de um modelo matemático está naturalmente associada aos atributos dos dados utilizados na sua calibração ou como entrada do modelo. Assim, deve ser dada particular atenção à conceção do sistema de monitorização e à realização das campanhas, de modo a assegurar que os dados obtidos têm a qualidade adequada face ao objetivo estabelecido para a modelação (Rieger *et al.*, 2010). É também fundamental avaliar o desempenho do modelo após a sua calibração, com avaliação permanente da qualidade da previsão do modelo.

A modelação matemática do funcionamento de sistemas urbanos de água, quando integrada num contexto de monitorização em contínuo, apresenta as seguintes utilizações (adaptado de ASCE, 2010):

- Confirmação de situações anómalas. Existem diversas causas para falsos alarmes, e deste modo deverão ser desenvolvidos procedimentos para confirmar um alarme, o que pode ser feito recorrendo à capacidade de previsão do modelo. A comparação do valor medido e simulado de uma variável de saída é uma forma de confirmar a validade do alarme inicial.

- Construção de cenários de resposta a situações anómalas, com análise e teste da eficácia de diferentes alternativas de controlo dos processos ou de contenção do efeito de contaminantes.
- Decisão sobre a localização mais adequada de sensores, através da identificação de condições de fronteira, por exemplo.
- Dimensionamento da reabilitação ou extensão do sistema urbano de água, com a identificação e priorização de pontos críticos através da simulação dinâmica do seu funcionamento.

Para interpretar um conjunto de medições como indicativas de uma situação anómala na composição da água ou no caudal, deve ser feita a distinção entre um evento a controlar e todas as causas possíveis das alterações medidas. O primeiro desafio é distinguir entre anomalias sem impactos negativos que estejam associadas à operação do sistema urbano de água e potenciais eventos com impacto negativo no desempenho deste último.

Caso seja aplicado um controlo operacional em tempo real, a identificação de eventos pode ser automatizada através da aplicação de um modelo matemático na análise de dados. Este modelo deve ser construído de modo a abranger os cenários relevantes para o processo em questão, com diferentes durações, que podem ir desde impulsos de curta duração (na ordem dos minutos) até alterações mais extensas (na ordem dos dias).

Uma situação anómala irá produzir um padrão de resposta na instrumentação de medição que de alguma forma permite caracterizar o tipo de alteração na composição da água ou no caudal e o respetivo impacto mais provável. Assim, o modelo de análise deverá incorporar uma árvore de decisão que dirija as atividades de verificação dos dados, permitindo as seguintes identificações (ASCE, 2004):

- Padrões de variação já detetados anteriormente e sem ligação a impactos negativos no funcionamento do sistema urbano de água (sem sequência).
- Padrões de variação já detetados anteriormente e com ligação a impactos negativos no funcionamento do sistema urbano de água (sequência: o programa deverá acionar um alarme).
- Padrões de variação que não tenham sido detetados anteriormente (sequência: o programa deverá desencadear respostas adequadas para a sua confirmação).

Sintetizando, no contexto dos sistemas urbanos de água, um sistema de controlo operacional deve ser composto pelos seguintes elementos:

- Modelo matemático descritivo de um ou mais aspetos do funcionamento do sistema urbano de água que se pretenda controlar.
- Sistema de monitorização em contínuo que permita a obtenção de dados com elevada resolução temporal sobre caudal e parâmetros de qualidade da água.
- Monitorização regulamentar da qualidade da água (por exemplo, para efeitos de licenciamento da descarga de águas residuais).
- Procedimentos adequados para a validação dos dados, previamente à sua utilização no modelo matemático.
- Sistema de comunicação para envio dos dados, desde o local de aquisição até a plataforma de análise. Para que seja possível uma articulação entre dados

adquiridos e os resultados das simulações dinâmicas os valores medidos pelos sensores deverão ser transmitidos em contínuo.

- Base de dados para armazenamento dos valores das medições e dos resultados das simulações. É importante a construção de um histórico de dados que possa ser analisado e incorporado em futuras tomadas de decisão, para o registo de condições de alarme e para a monitorização de tendências e do desempenho no longo prazo dos sistemas de tratamento.

## **2.4 Necessidade de validação prévia dos dados**

A monitorização em tempo real constitui a base de um sistema de controlo automático, sendo, no entanto, necessário garantir a validade dos valores medidos antes da aplicação das ações de controlo, tal como já anteriormente referido.

A qualidade dos dados obtidos na monitorização pode ser melhorada através da aplicação de ferramentas adequadas para a deteção de falhas (Rieger e Vanrolleghem, 2008). Neste sentido, Thomann *et al.* (2002) implementaram um sistema de deteção de falhas baseado na utilização de cartas de controlo, para análise do sinal dos sensores em termos de desvios (do termo *drift*) e de efeitos de troca (do termo *shift*), assim como a deteção de erros grosseiros na calibração das medições através da caracterização analítica de amostras pontuais. Lumley (2002) sugere a utilização de algoritmos correspondentes a sensores inferenciais, associados ao cálculo de balanços de massa, para avaliação da qualidade dos dados obtidos através de sensores em linha.

Assim, os dados adquiridos pela instrumentação de monitorização em contínuo devem ser objeto de verificação, devendo ser expurgados todos aqueles sobre os quais recaia dúvida quanto à sua veracidade. Como exemplo de causas para a invalidação de medições, refere-se a ocorrência de anomalias nos equipamentos de medição, a colmatação da zona de leitura dos sensores, alterações motivadas por ações de calibração ou manutenção dos sensores, exposição do circuito de sinal a perturbações eletromagnéticas (ruído), entre outros.

## **3 AVALIAÇÃO E CONTROLO DO FUNCIONAMENTO DE ETAR DESCENTRALIZADAS**

### **3.1 Particularidade da operação de ETAR descentralizadas**

A dispersão de aglomerados de pequena dimensão, particularmente nas zonas rurais, tem levado à adoção tecnicamente justificada de sistemas descentralizados de águas residuais. Em paralelo, têm vindo a aumentar as exigências nos requisitos de qualidade das descargas de efluentes de ETAR, o que conduz à necessidade de uma melhoria no nível de supervisão e controlo nestas unidades.

As ETAR que servem pequenos aglomerados estão sujeitas a fatores específicos que condicionam o desempenho dos sistemas de tratamento. Por exemplo, a reduzida extensão das redes de drenagem conduz a uma menor capacidade de amortecimento e um tempo de permanência mais baixo, o que resulta em variações bastante pronunciadas de caudal e de concentração na afluência de águas residuais. Existe um conjunto diversificado de tecnologias que podem ser utilizadas no tratamento de águas residuais em sistemas de

pequena dimensão, procurando-se atenuar estas restrições. No entanto, a chave para fornecer um bom nível de qualidade de serviço no tratamento de águas residuais em pequenas comunidades não depende necessariamente do tipo de tecnologia empregue, mas antes da forma como o sistema é explorado (Maclennan e Nutt, 2010).

O regime operacional aplicado nas ETAR descentralizadas difere da prática usual nas instalações de grande dimensão, uma vez que funcionam de forma semiautónoma, com visitas periódicas para operação e manutenção. Este tipo de operação resulta da necessidade de se controlarem os custos de exploração (*per capita* e por metro cúbico) associados ao tratamento, os quais variam na razão inversa da dimensão das ETAR (Cape Cod, 2013).

A ausência de pessoal em permanência nas ETAR descentralizadas pode conduzir à deteção tardia de desequilíbrios nos sistemas de tratamento. Este atraso apresenta diversos inconvenientes, tais como a) maior risco de incumprimento do normativo de descarga e, conseqüentemente, de impacto negativo na qualidade do meio receptor; b) redução na eficácia das ações de controlo implementadas; e c) custos acrescidos na correção dos desequilíbrios no sistema de tratamento (Maclennan e Nutt, 2010).

Neste sentido, a utilização de sistemas de monitorização em contínuo e comando remoto é uma via importante para a melhoria da fiabilidade de ETAR descentralizadas. Permite também uma melhor programação das visitas, passando a presença de pessoal técnico a ser determinada por necessidades concretas de operação e manutenção.

### **3.2 Domínios de aplicação da monitorização em contínuo**

Existem três domínios principais de monitorização que podem ser utilizados nas ETAR descentralizadas, designadamente (Maclennan e Nutt, 2010):

- Monitorização do estado de funcionamento do equipamento mecânico (por exemplo, bombas, arejadores mecânicos e pontes raspadoras).
- Monitorização do estado de funcionamento dos sistemas de tratamento, através de medidas-chave (por exemplo, concentração de oxigénio dissolvido em tanques de arejamento, altura do manto de lamas em decantadores), integrada num esquema de controlo em tempo real.
- Monitorização da afluência de águas residuais e da descarga de efluente tratado, articulada com a avaliação do cumprimento de licenças de descarga.

A definição de um sistema de monitorização em ETAR pode ter um objetivo simples de registo de valores de variáveis de desempenho, caso em que operam a maior parte dos sistemas implementados, de grande ou pequena dimensão. Aqui, podem ser medidos caudais em contínuo e os dados de qualidade são obtidos com amostragem composta e análises laboratoriais posteriores. Contudo, quando a monitorização pretende possibilitar ações de controlo em tempo real torna-se necessário que a informação sobre o funcionamento da ETAR seja colhida com uma frequência ajustada à sua dinâmica própria.

No último caso, o sistema de monitorização deve incluir instrumentação de medição em contínuo não só de caudal mas de uma seleção de variáveis de qualidade físico-química-biológica (oxigénio dissolvido; cargas orgânica, de sólidos suspensos e de nutrientes; pH; temperatura). Com uma escolha adequada de variáveis, pontos e frequência de medidas,

torna-se possível agir, ou seja manipular variáveis operacionais do processo, de modo a cumprir os requisitos de qualidade à descarga apesar das variações na afluência de águas residuais e nos sistemas biológicos de tratamento.

### 3.3 Parâmetros de interesse

A monitorização do funcionamento de ETAR descentralizadas envolve, no essencial, a medição dos seguintes parâmetros em afluentes e efluentes: caudal, sólidos, compostos orgânicos, compostos azotados e, com menor frequência, compostos de fósforo. Complementarmente, a medição de alguns parâmetros dentro das unidades de tratamento, como sejam o oxigénio dissolvido e o potencial de oxidação-redução, facilita o ajuste das condições de funcionamento face a alterações na afluência de águas residuais, por exemplo. Apresenta-se, no Quadro 2, uma descrição sumária de parâmetros com maior potencial para monitorização em contínuo em ETAR descentralizadas.

Quadro 2 – Parâmetros com maior potencial de uso em monitorização em contínuo em ETAR descentralizadas.

Parâmetro	Medição	Objeto de medição	Uso da informação
Caudal/nível	Sondas ultrassónicas	Água residual afluente Efluente tratado Decantação, retorno e extração de lamas	Controlo de cargas e de tempos de retenção hidráulicos e de lamas
Concentração de espécies iónicas (amónio, nitrato)	Sensor eletroquímico	Água residual afluente Efluente tratado Licor misto (reator biológico)	Controlo do processo biológico, (remoção de nutrientes)
Concentração de oxigénio dissolvido	Sensor eletroquímico Sensor ótico	Licor misto (reator biológico)	Controlo do processo biológico, (remoção de CQO e de nutrientes)
Espectro na gama UV-visível	Sensor ótico (espectrómetro)	Água residual afluente Efluente tratado	Inferência de valores de parâmetros de qualidade (SST, CQO, nitrato)
pH	Sensor eletroquímico	Água residual afluente Licor misto (reator biológico)	Controlo de descargas indevidas (industriais), uso eventual de agentes químicos, controlo do processo biológico, (remoção de nutrientes)
Potencial redox	Sensor eletroquímico	Licor misto (reator biológico)	Controlo do processo biológico, (remoção de CQO e de nutrientes)
Temperatura	Sensor termo-elétrico	Licor misto (reator biológico)	Controlo do processo biológico
Turvação	Sensor ótico (nefelometria)	Efluente tratado	Controlo de material em suspensão (ajuste da decantação secundária, proteção de tratamentos de afinação)

## 4 METODOLOGIA DEMOCON

### 4.1 Apresentação

A DEMOCON (*DE*centralized *MO*nitoring and *CON*trol) é uma abordagem integrada para a melhoria contínua da operação de ETAR de pequena dimensão e tem por objetivo o aumento da eficiência e da robustez dos sistemas de tratamento. Pretende constituir um sistema expedito de apoio à decisão na gestão centralizada destas instalações baseado na monitorização em linha e na simulação dinâmica de processos.

Os principais *drivers* da DEMOCON são a crescente necessidade de otimização no uso de recursos (*e.g.*, energia), o aumento de dimensão e capacidade técnica das entidades gestoras e os avanços tecnológicos na instrumentação de monitorização de águas residuais.

A metodologia DEMOCON pode definir-se como um conjunto de procedimentos baseados, em grande medida, na aquisição em linha de dados do processo e sua posterior utilização num modelo matemático, para controlo e gestão operacional sustentada de ETAR. Está estruturada em três etapas sequenciais, tal como se apresenta na Figura 1. A etapa de monitorização visa a obtenção de informação sobre o sistema de tratamento através da realização de campanhas periódicas. A etapa de diagnóstico operacional tem por objetivo a avaliação do funcionamento do sistema de tratamento e identificação de eventuais problemas. A etapa de controlo consiste no desenvolvimento de estratégias para a melhoria do funcionamento da ETAR e na aplicação das ações selecionadas. A modelação matemática dos processos é aplicada nas etapas de diagnóstico e de controlo.

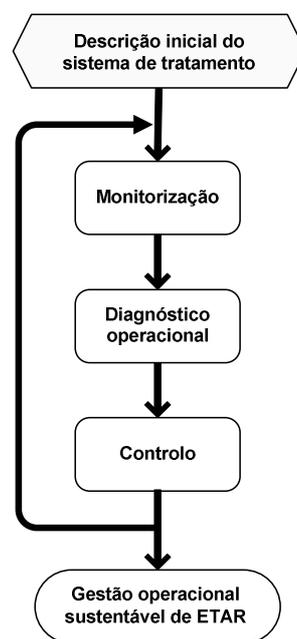


Figura 1. Metodologia DEMOCON

Para a aplicação da metodologia DEMOCON, é necessário realizar uma descrição inicial do sistema de tratamento, que inclua aspetos relacionados com a estrutura da própria ETAR e o historial do seu funcionamento. Pretende-se obter informação sobre particularidades e problemas dos processos de tratamento, reconhecidos pela entidade gestora através da

operação corrente. Estes elementos, em conjunto com os dados de monitorização, são cruciais para estruturação e calibração do modelo descritivo do processo, sobre o qual assentam as ações de diagnóstico e de controlo.

Um elemento chave no processo de melhoria contínua é a condução de um trabalho de monitorização de seguimento, que permita documentar o sucesso das medidas de controlo implementadas. Este procedimento é essencial para suportar iniciativas futuras no domínio da optimização operacional no funcionamento da ETAR (NRC, 2003).

## 4.2 Etapa de monitorização

A permanência de equipamento de monitorização em cada ETAR descentralizada é condição necessária para a realização do controlo em tempo real partindo da deteção automática de situações anómalas. Contudo, esta solução implica um investimento inicial expressivo, o que presentemente constitui uma barreira para adoção deste tipo de ferramenta de operação. Uma solução de compromisso é a partilha da instrumentação de medição por diversas instalações, com a realização de campanhas periódicas no conjunto de ETAR descentralizadas exploradas por uma entidade gestora. Como vantagens associadas, refere-se a promoção do desenvolvimento gradual de competências na operação e manutenção deste tipo de equipamento, no emprego corrente de modelos numéricos e na gestão de grandes volumes de dados. Entende-se que esta abordagem irá potenciar o uso corrente de sistemas de monitorização em contínuo nas ETAR de pequena dimensão, antecipando a previsível evolução dos equipamentos no sentido a redução de custos.

Os objetivos estabelecidos na metodologia DEMOCON para a etapa de monitorização são de dois tipos. Em primeiro lugar, pretende-se efetuar a caracterização do funcionamento do sistema de tratamento, incluindo a sua modelação matemática, para diagnóstico de constrangimentos e eventuais problemas. O segundo objetivo prende-se com a aferição do efeito da aplicação de ações de controlo.

Para além da definição de objetivos para a monitorização, importa estabelecer as condições necessárias a uma operação correta do equipamento, uma vez que a qualidade e fiabilidade dos dados dependem da representatividade do local selecionado para a medição ou amostragem, da instalação adequada dos equipamentos e da sua correta utilização. Nas ETAR de pequena dimensão, esta instalação pode obrigar a intervenções estruturais, de modo a garantirem-se condições de escoamento adequadas ao funcionamento dos equipamentos e à representatividade dos locais de medição e amostragem.

Nas ETAR de pequena dimensão, a medição do caudal de águas residuais apresenta dificuldades devido aos baixos valores verificados, designadamente durante o período noturno. Também é frequente observarem-se maiores dificuldades na instalação dos dispositivos de medição (resultantes das dimensões do canal de entrada, por exemplo). A monitorização em contínuo do caudal pode ser feita através da medição de nível utilizando sensores ultrassónicos. O estabelecimento de condições de escoamento em superfície livre adequadas à medição pode ser conseguido através da instalação de caleiras Venturi prefabricadas. Em Ribeiro *et al.* (2008) é apresentada uma síntese das condições necessárias a uma correta instalação de equipamento de medição de caudal em ETAR de pequena dimensão.

Para a monitorização em contínuo da qualidade das águas residuais, é explorada na metodologia DEMOCON a aplicação da espectrofotometria nas gamas ultravioleta e visível (UV-Vis). É uma técnica que permite a estimativa da Carência Química de Oxigénio (CQO), entre outros parâmetros. A medição da CQO com uma elevada resolução temporal é muito importante para simulação dinâmica das ETAR, já que o balanço de massa e a cinética de transformação para a matéria orgânica apresentados em modelos matemáticos de uso corrente (como os ASM da International Water Association) são estimados em termos da CQO que lhe está associada.

A espectrofotometria UV-Vis baseia-se na determinação da atenuação da luz devido à absorção pelo meio, na zona espectral de 200 a 780 nm em comprimento de onda (Lourenço *et al.*, 2012). A eficácia desta tecnologia na monitorização das águas residuais depende da calibração das medições inferenciais, baseada no desenvolvimento de um modelo de correlação específico. A estimativa de valores de parâmetros de qualidade é feita com o processamento matemático da informação obtida através dos espectros de absorção, sendo normalmente utilizadas ferramentas de estatística multivariada.

As águas residuais urbanas apresentam uma matriz complexa em termos de qualidade, o que pode dificultar a identificação de situações anómalas na alteração da sua composição. Acresce a este facto, as dificuldades incorporadas na medição devido à presença de gorduras e detritos que prejudicam o normal funcionamento dos sensores. É, assim, fundamental garantir uma manutenção adequada dos equipamentos de monitorização e a avaliação constante dos dados obtidos.

#### **4.3 Exemplos da aplicação da DEMOCON**

A falha na partilha de informação e de experiência com uso de sistemas de monitorização em contínuo entre entidades gestoras, fabricantes de equipamentos e instituições de investigação científica é uma barreira importante para a adoção deste tipo de solução na gestão de ETAR descentralizadas (van der Gaag e Volz, 2008). Apresenta-se seguidamente informação sobre dois estudos de caso utilizados no desenvolvimento e teste da metodologia DEMOCON. O primeiro estudo decorreu entre 2007 e 2011, estando em curso um segundo estudo, iniciado em 2013.

##### Estudo de caso n.º 1

O sistema estudado é uma ETAR de pequena dimensão situada no interior de Portugal numa região de características marcadamente rurais. O aglomerado populacional servido tem cerca de 850 habitantes, sendo o processo de tratamento utilizado o sistema de lamas ativadas com arejamento prolongado.

O trabalho de monitorização realizado integrou a medição, em contínuo, dos caudais de águas residuais afluentes e de efluentes tratados durante um ano. Foram efetuadas diversas medições pontuais de caudal, por método manual, em pontos intermédios da ETAR, para obtenção de dados sobre fluxos internos. Realizaram-se seis campanhas de monitorização, incluindo espectrofotometria em linha e amostragem para análises laboratoriais, para caracterização do funcionamento do sistema de tratamento. Para além do trabalho de campo, foram efetuados ensaios laboratoriais (respirometria) para obtenção de informação de suporte à modelação do tratamento biológico. Apresenta-se na Figura 2 o esquema do sistema de monitorização instalado neste estudo de caso.

A informação obtida foi utilizada na calibração e validação de um modelo matemático, desenvolvido para a descrição dinâmica do funcionamento da ETAR monitorizada. Este modelo apresenta uma estrutura simples e é constituído por três módulos, designadamente, comportamento hidrodinâmico, tratamento biológico e separação de sólidos. As simulações dinâmicas realizadas permitiram a análise de diferentes cenários operacionais, com vista à melhoria do funcionamento do sistema de tratamento. Em Ribeiro *et al.* (2012) é apresentado o potencial associado à monitorização em contínuo das águas residuais afluentes na melhoria do funcionamento da ETAR.

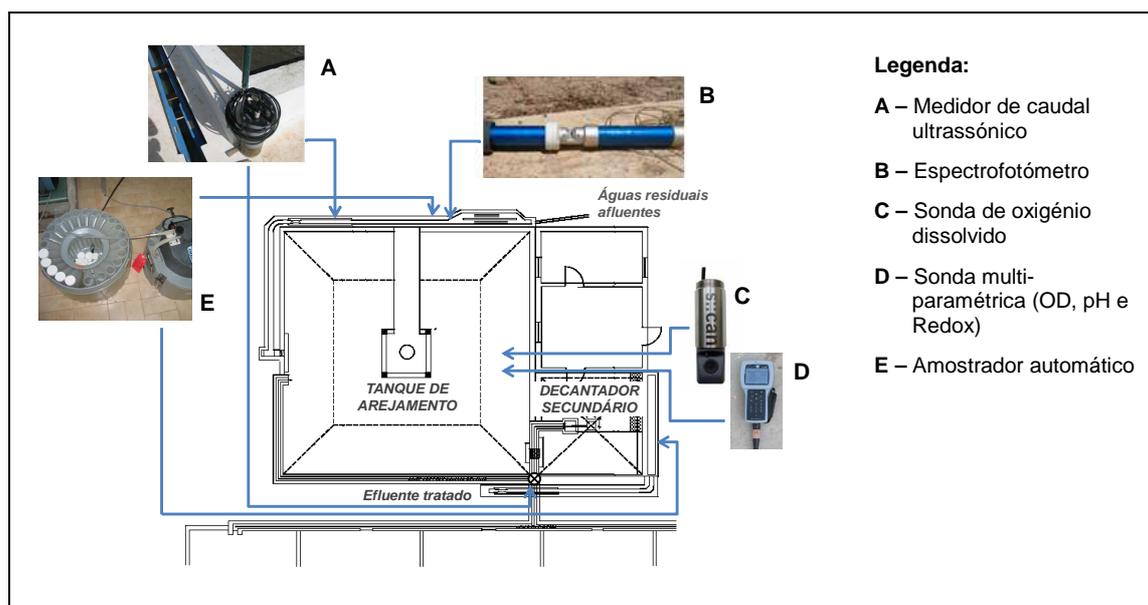


Figura 2. Sistema de monitorização – estudo de caso n.º 1

### Estudo de caso n.º 2

Pretende-se, no âmbito deste estudo, fazer progredir a metodologia DEMOCON, com o desenvolvimento de ferramentas avançadas de supervisão e controlo do funcionamento de ETAR. O sistema de monitorização em contínuo inclui a medição de azoto amoniacal, para além dos parâmetros de qualidade e de caudal monitorizados no primeiro estudo. O sistema agora estudado é uma ETAR descentralizada situada numa zona rural próxima de Lisboa. O aglomerado populacional servido tem cerca de 4 500 habitantes, sendo o processo de tratamento utilizado o sistema de lamas ativadas com arejamento prolongado (em vala de oxidação). Esta ETAR apresenta diferentes possibilidades de atuação ao nível de controlo.

O trabalho agora em curso propõe os seguintes desenvolvimentos específicos:

- Melhoramento do modelo dinâmico descritivo do funcionamento de ETAR descentralizadas, com inclusão de mais processos na sua estrutura.
- Produção de sensores inferenciais (*software sensors*) para inferir valores de variáveis de qualidade e de perturbações que não possam ser medidos diretamente.
- Construção de um sistema de controlo preditivo multivariável baseado em modelos (MPC) e tolerante a falhas.

## **CONCLUSÕES**

A utilização de sistemas de monitorização contínua nas ETAR descentralizadas é uma via promissora para aumentar o conhecimento sobre as condições de funcionamento e, também, para servir como alerta precoce sobre situações anómalas. No entanto, e apesar da disponibilização no mercado de novos e mais robustos equipamentos de monitorização, é corrente considerar-se que a sua utilização em ETAR de pequena dimensão não é prioritária. Para sustentar esta perceção, é vulgar a utilização de argumentos como, por exemplo, “são quase sempre cumpridos os requisitos de qualidade na descarga do efluente tratado”, “o custo dos equipamentos é demasiado elevado face ao volume de águas residuais tratadas”, “é difícil instalar convenientemente os equipamentos na ETAR, uma vez que os canais são estreitos e a altura de escoamento é muito baixa” ou “se a ETAR funciona normalmente, para que é necessária esta informação adicional?”.

A resposta a esta última pergunta constitui o ponto de partida para uma perspetiva de evolução sobre a aplicação de monitorização avançada em sistemas descentralizados. É necessário contabilizar todos os ganhos obtidos com uma melhor operação destes sistemas, que vá além do simples cumprimento das normas de descarga, para assim se justificar o esforço em termos de conhecimentos técnicos e de investimento associados à utilização destes novos equipamentos. É fundamental a incorporação de vertentes de análise custo-benefício, como sejam, o controlo de custos operacionais (energia, escoamento de lamas, manutenção), o aumento da resiliência do sistema de tratamento e, para além de cada sistema individual, a perspetiva de economia no dimensionamento de novos sistemas trazida pela muito superior disponibilidade de dados, tanto de afluências como de desempenho no tratamento.

O desenvolvimento de sistemas de monitorização em contínuo com capacidade de gestão e armazenamento dos dados, de comunicação em tempo real e de controlo automático é apontado como um desenvolvimento inevitável dos sistemas urbanos de água. A possibilidade de conjugar os dados de campo em tempo real com ferramentas de modelação numéricas de carácter preditivo, perfila-se como a melhor forma de controlar o funcionamento destes sistemas de elevado dinamismo.

O presente artigo visa fornecer um panorama sobre a implementação de sistemas de monitorização em contínuo em ETAR descentralizadas, partindo de uma análise breve das suas características. É apresentada a metodologia DEMOCON, estruturada no sentido da melhoria da avaliação e controlo do funcionamento do sistema de tratamento, com descrição dos principais aspetos da componente de monitorização.

## **AGRADECIMENTOS**

O trabalho desenvolvido contou com apoio financeiro das empresas Águas da Serra, S.A., AGS, S.A., e da Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito do projeto PTDC/AAG-TEC/4124/2012. As autoras agradecem a colaboração valiosa dos elementos das empresas Águas da Serra e AGS (estudo de caso n.º 1) e da Simtejo, S.A. AGS (estudo de caso n.º 2) na preparação e realização do trabalho experimental

## BIBLIOGRAFIA

ASCE (2004). *Interim Voluntary Guidelines for Designing an Online Contaminant Monitoring System*. American Society of Civil Engineers, USA.

Cape Cod (2013). *Regional Wastewater Management Plan. Understanding the Cost Factors of Wastewater Treatment and Disposal*. Cape Cod Commission Report, USA.

Lourenço N.D, Lopes J.A., Almeida C.F., Sarraguça M.C., Pinheiro H.M. (2012). Bioreactor monitoring with spectroscopy and chemometrics: a review. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 404, 1211–1237.

Lumley, D. (2002). On-line instrument confirmation: how can we check that our instruments are working? *Wat. Sci. Tech.*, 45(4-5), 469-476.

Maclennan, L. e Nutt, S. (2010). *Non-Traditional Indicators of System Performance*. WERF Research Report Series, Decentralized Systems, Report n. DEC2R06, Water Environment Research Foundation, USA.

NRC (2003). *Wastewater Treatment Plant Optimization - a best practice by the national guide to sustainable municipal infrastructure*. Federation of Canadian Municipalities and National Research Council, Canada.

Ribeiro, R., Almeida, M.C., Ilharco, O., Pais, A.R. (2008). Avaliação da eficiência de tratamento em ETAR de pequena dimensão: aspectos de instrumentação. In *Anais do 13.º ENASB*, Covilhã, pp. 14.

Ribeiro, R. (2011). *Avaliação e controlo da eficiência do tratamento e águas residuais – Aplicação a sistemas de pequena dimensão*. Dissertação de Doutoramento. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa (publicação disponível no LNEC como TPI 70).

Ribeiro, R., Pinheiro, C.I., Pinheiro, H.M., Almeida, M.C. (2012). Potencialidades da monitorização em linha na melhoria do funcionamento de ETAR de pequena dimensão. In *Anais do 15.º ENASB*, Évora, pp. 14.

Rieger, L., Vanrolleghem, P. (2008). monEAU: a platform for water quality monitoring networks. *Wat. Sci. Tech.*, 57(7), 1079-1086.

Rieger, L., Takács, I., Siegrist, H., Lessard, P., Vanrolleghem, P., Comeau, Y. (2010). Data reconciliation for wastewater treatment simulation studies – Planning for high-quality data and typical sources of errors. *Water Environment Research* 82(5), 426-433.

Thomann, M., Rieger, L., Frommhold, S., Siegrist, H., Gujer, W. (2002). An efficient monitoring concept with control charts for on-line sensors. *Wat. Sci. Tech.*, 46(4-5), 107-116.

van der Gaag, B. e Volz, J. (2008). *Real-time on-line monitoring of contaminants in water. Developing a research strategy from utility experiences and needs*. Report BTO 2008.028. Kiwa Water Research. The Netherlands.