



## SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO AUTOMÁTICO E REMOTO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA ALBUFEIRA DE VILAR-TABUAÇO

João PÁDUA<sup>1</sup>, Alexandre ALMEIDA<sup>2</sup>, Cristina MARIN<sup>3</sup>, Carlos ROSÁRIO<sup>4</sup>, Anabela PERES<sup>5</sup>, Nuno Portal<sup>6</sup>

1. EDP Labelec, Rua Cidade de Goa, 4, 2685-038 Sacavém, [joao.padua@edp.com](mailto:joao.padua@edp.com)
2. EDP Labelec, Rua Cidade de Goa, 4, 2685-038 Sacavém, [alexandre.almeida@edp.com](mailto:alexandre.almeida@edp.com)
3. EDP Labelec, Rua Cidade de Goa, 4, 2685-038 Sacavém, [cristina.marin@edp.com](mailto:cristina.marin@edp.com)
4. EDP Produção, Centr. Régua, 2300-196 Canelas, [carlos.rosario@edp.com](mailto:carlos.rosario@edp.com)
5. EDP Produção, Rua Ofélia Diogo Costa, 45, 4149-022 Porto, [anabela.peres@edp.com](mailto:anabela.peres@edp.com)
6. EDP Produção, Rua Ofélia Diogo Costa, 45, 4149-022 Porto, [nuno.portal@edp.com](mailto:nuno.portal@edp.com)

### RESUMO

A monitorização da qualidade da água de uma albufeira é fundamental para avaliar a sua adequabilidade para as diferentes utilizações, sendo particularmente relevante em situações críticas onde é necessário manter uma elevada frequência, apenas possível com recurso a sistemas automáticos e remotos. A albufeira de Vilar é eutrófica, sendo caracterizada por concentrações elevadas de nutrientes, elevada produtividade e deterioração significativa da qualidade da água, particularmente nos estratos mais profundos. Este contexto conduziu, em 1990, à instalação de um sistema de arejamento hipolimnético junto à tomada de água, de modo a minimizar os fenómenos de corrosão e melhorar as condições ambientais na central de Tabuaço. Em 2017 foi implementando um regime de caudais ecológicos, lançado de forma experimental e sempre que a qualidade o permita, através duas tubagens soldadas à descarga de fundo. De modo a suportar as decisões relativas aos períodos de funcionamento do sistema de arejamento e do dispositivo de lançamento do caudal ecológico, foi implementado, em 2016, um procedimento com valores-limite de atuação e um sistema de monitorização automático e remoto, designado por perfilador automático. O sistema foi programado para registar, em ciclos de 4 horas, a temperatura, o oxigénio dissolvido, o pH e a condutividade em toda a extensão da coluna de água. Em 2017, 2018 e 2019 a informação produzida foi fiável e de extrema relevância, aumentando a confiança e precisão das decisões sobre o funcionamento do sistema de arejamento e do dispositivo de lançamento de caudal ecológico.

**Palavras-Chave:** Qualidade da água; Monitorização; Sistema automático e remoto; Apoio à decisão; Vilar.

### 1. INTRODUÇÃO

As albufeiras apresentam-se como ambientes intermédios entre os lagos e os rios, com características e dinâmica próprias, sendo a taxa de renovação da água mais lenta que num rio e mais rápida que num lago (Thornton et al, 1990). De salientar que a dinâmica destes sistemas ocorre não só longitudinalmente, à semelhança dos sistemas lóticos, mas sobretudo verticalmente, onde o comportamento térmico ao longo do ano e as reações de oxirredução são determinantes para a evolução da qualidade da água nos diferentes estratos. A principal característica das albufeiras é a superior velocidade a que ocorrem todos os processos, o que conjuntamente com fontes poluidoras e os eventuais efeitos das alterações climáticas (George, 2010) se traduz num envelhecimento prematuro, num acelerado processo de eutrofização e na degradação da qualidade da água.

A monitorização de uma albufeira é determinante para acompanhar a evolução da qualidade da água e avaliar a sua adequabilidade para as diferentes utilizações. A abordagem tradicional de monitorização, com a intervenção de técnicos na recolha e processamento das amostras, permite a determinação de uma grande diversidade de parâmetros. Contudo, a logística, a morosidade e os custos inerentes às deslocações e processamento laboratorial inviabilizam que esta abordagem seja utilizada como sistema de alerta e/ou apoio à tomada de decisão.

A eficiência da gestão de uma albufeira depende, em parte, da frequência da monitorização, sendo que em situações críticas, esta deverá ser elevada e obtida em tempo real, permitindo acompanhar as rápidas alterações

limnológicas (e.g. ocorrência de florescências de algas, estratificação térmica, anoxia hipolimnética). Por outro lado, Bartram & Balance (1996) realçaram a relevância dos parâmetros primários de qualidade da água, como temperatura, condutividade, pH e oxigénio dissolvido, os quais permitem inferir sobre o comportamento de uma albufeira e decidir sobre a sua exploração. Esta informação primária pode ser obtida com uma elevada resolução temporal com sondas acopladas a sistemas remotos e autónomos (Rouen *et al*, 2005). No presente trabalho é descrita a motivação de implementação de um sistema de monitorização remoto e automático da qualidade da água na albufeira de Vilar e apresentados alguns dos resultados.

## 2. ENQUADRAMENTO

O Aproveitamento Hidroelétrico de Vilar-Tabuaço localiza-se no rio Távora, afluente da margem esquerda do rio Douro, entrou em serviço em 1965 e apresenta 58 MW de potência instalada. A barragem de Vilar é do tipo enrocamento a granel, apresenta 55 m de altura e 240 m de desenvolvimento de coroamento. A albufeira de Vilar desenvolve-se ao longo de cerca de 15,5 km, inunda uma área de 670 ha e tem uma capacidade total de 100 hm<sup>3</sup>. No que se refere ao estado trófico, e de acordo com os critérios da OECD (1982), os resultados de monitorização (2009 a 2016) permitem descrever a albufeira como eutrófica (Tabela 1 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**), sendo esta caracterizada por concentrações elevadas de nutrientes, elevada produtividade e deterioração significativa da qualidade da água.

Tabela 1. Classificação do estado trófico da albufeira de Vilar de 2009 a 2016

	Profundidade de Secchi (m)	Fósforo total (mg/m <sup>3</sup> P)	Clorofila a(mg/m <sup>3</sup> )	Estado Trófico
2009	Eutrófica	Mesotrófica	Eutrófica	Eutrófica
2010	Eutrófica	Eutrófica	Eutrófica	Eutrófica
2011	Eutrófica	Mesotrófica	Eutrófica	Eutrófica
2012	Eutrófica	Eutrófica	Eutrófica	Eutrófica
2013	Eutrófica	Mesotrófica	Eutrófica	Eutrófica
2014	Eutrófica	Mesotrófica	Eutrófica	Eutrófica
2015	Eutrófica	Mesotrófica	Eutrófica	Eutrófica
2016	Eutrófica	Mesotrófica	Eutrófica	Eutrófica

No que respeita ao comportamento térmico, a albufeira de Vilar apresenta um único período anual de estratificação térmica que tem, habitualmente, início em maio e que se pode prolongar até outubro/novembro. Em relação às condições de oxigenação, verifica-se, no período de estratificação térmica, uma acentuada deterioração nos estratos mais profundos que resulta da oxidação biológica da matéria orgânica, o que provoca a depleção em oxigénio dissolvido e o posterior estabelecimento de condições anóxicas. Estas condições promovem o aumento significativo da concentração de azoto amoniacal, fosfatos, sulfureto de hidrogénio, ferro, manganês e a alteração das propriedades organoléticas da água (e.g. cor e cheiro). No restante período anual, a albufeira encontra-se com concentrações em oxigénio dissolvido e características físico-químicas homogéneas.

Os problemas de qualidade da água nos estratos mais profundos da albufeira de Vilar conduziram, em 1990, à instalação de um sistema de arejamento hipolimnético junto à tomada de água, cuja função é a de promover, no período mais crítico, a oxigenação da água captada para produção de energia, minimizando os fenómenos de corrosão associados às condições redutoras e melhorando as condições ambientais na central de Tabuaço.

Em 2017 foi implementado um novo regime de caudais ecológicos na barragem de Vilar e, face às dificuldades técnicas associadas às características da barragem, às acentuadas variações intra-anuais do nível da albufeira, aos problemas de qualidade da água e aos elevados custos das diferentes soluções estudadas, foi instalado, a título experimental, um dispositivo de lançamento correspondente à instalação de duas tubagens soldadas lateralmente à conduta da descarga de fundo. Este dispositivo foi concebido de modo a promover o arejamento do caudal lançado através do emulsionamento e dispersão na atmosfera do jato descarregado.

De modo a suportar tecnicamente as decisões de exploração, nomeadamente os períodos de funcionamento do sistema de arejamento e do dispositivo de lançamento do caudal ecológico, garantindo uma qualidade da água compatível como seu lançamento de modo a evitar a deterioração e agravamento das condições a jusante da barragem, foi implementado um sistema de monitorização remoto da coluna de água da albufeira de Vilar.

### 3. SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO E PROCEDIMENTOS

O sistema de monitorização da qualidade da água instalado na albufeira de Vilar corresponde a um perfilador automático transportável, YSI/Xylem Watermark 6951 Pontoon Vertical Profiling System, sendo este um sistema integrado e autónomo montado numa plataforma flutuante que, através de sensores acoplados a uma sonda multiparamétrica, monitoriza de forma contínua e com envio remoto de dados diversos parâmetros físico-químicos na coluna de água. O perfilador é constituído pela integração de várias unidades e componentes, sendo de destacar a plataforma flutuante, a estrutura de proteção em T, o guincho, o *data logger*, o *depth sounder*, o sistema de telemetria, os componentes de alimentação, a sonda multiparamétrica e o *software*.

O perfilador automático foi instalado em 2016 em zona lacustre, 250 metros a montante da barragem de Vilar, tendo sido programado para efetuar o registo de diversos parâmetros em perfis verticais, de metro em metro, com intervalos de quatro horas. Os parâmetros físico-químicos contemplados foram a temperatura da água, o oxigénio dissolvido, o pH, a condutividade e, pontualmente, a clorofila *a* e o potencial redox.

Numa perspetiva de integração do dados de monitorização com o funcionamento do dispositivo de lançamento de caudal ecológico e do sistema de arejamento hipolimnético, foi definido um procedimento experimental: no início do período de estratificação térmica (abril/maio), ligar o sistema de arejamento caso o oxigénio dissolvido seja  $<5$  mg/l O<sub>2</sub> nos 2 m mais profundos durante 2 dias seguidos e desligar o dispositivo de lançamento de caudal ecológico caso oxigénio dissolvido seja  $<3$  mg/l O<sub>2</sub> nos 2 m mais profundos durante 2 dias seguidos; no final do período de estratificação térmica (outubro/novembro), desligar o arejador e ligar o dispositivo de lançamento de caudal ecológico caso o oxigénio dissolvido seja  $>5$  mg/l O<sub>2</sub> nos 2 m mais profundos durante 2 dias seguidos.

A opção de adotar o valor de 5 mg/l O<sub>2</sub> como limite para ligar o sistema de arejamento prende-se com a necessidade de iniciar a injeção de ar no hipolimnion previamente à estabilização das condições anóxicas e muito reductoras. A adoção dos 3 mg/l O<sub>2</sub> como limite para suspender o lançamento do caudal ecológico corresponde à tentativa de garantir que as condições de oxigenação no rio Távora, com o contributo do arejamento promovido, se mantenham iguais ou superiores a 5 mg/l O<sub>2</sub>, o que corresponde ao valor limite para o Bom Estado Ecológico em rios (APA, 2016).

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro trimestre de 2017 a albufeira de Vilar manteve-se em circulação e termicamente homogénea (Figura 1). A coluna de água apresentou boas condições de oxigenação, com valores de taxa de saturação em oxigénio superiores a 80 % em toda a sua extensão. Com o aumento de temperatura e aquecimento dos estratos superficiais da albufeira de Vilar iniciou-se o processo de estratificação térmica, a qual foi detetada a 10 de abril e se estendeu até meio de outubro (19 outubro). Durante este período observou-se uma deterioração crescente das condições de oxigenação no hipolimnion, com anoxia nos estratos mais profundos e pontuais situações de redução significativa em praticamente toda a extensão da coluna de água.

De acordo com o procedimento estabelecido, foi dado o alerta para ligar o sistema de arejamento hipolimnético a 8 de maio, dado que foram observados valores inferiores a 5 mg/L O<sub>2</sub> nos 2 m mais profundos durante 2 a 3 dias seguidos. Após esta data as condições de oxigenação continuaram paulatinamente a degradar-se, com a presença de concentrações inferiores a 3 mg/L O<sub>2</sub> nos estratos mais profundos a partir de 20/21 de maio de 2017, data em foi reportada a necessidade de cessar o lançamento do caudal ecológico.

A partir do meio de setembro, com a descida de temperatura do ar, observou-se uma redução da temperatura da água nos estratos que compõem o epilimnion, sendo um indicio de que a massa de água da albufeira de Vilar começou a perder calor. Por fim, a 10 de outubro de 2017, todo o volume de água foi incorporado na circulação, observando-se uma homogeneidade térmica da coluna de água, a qual continuou a arrefecer gradualmente até dezembro. No que se refere às condições de oxigenação da coluna de água, estas mantiveram-se em anoxia no hipolimnion até ao início do período de circulação. Após o início da circulação outonal, e com o arrefecimento progressivo da totalidade da massa de água, as condições de oxigenação melhoraram gradualmente, atingindo valores superiores a 5 mg/L O<sub>2</sub> nos 2 m mais profundos nos últimos dias de outubro, tendo sido reportada a 2 de novembro de 2017 a necessidade de desligar o arejador hipolimnético e reiniciar o lançamento do caudal ecológico.

Nos anos de 2018 e 2019, a abordagem foi similar, variando os períodos de funcionamento do arejador hipolimnético e do dispositivo de lançamento do caudal ecológico em função das características do ano hidrológico.

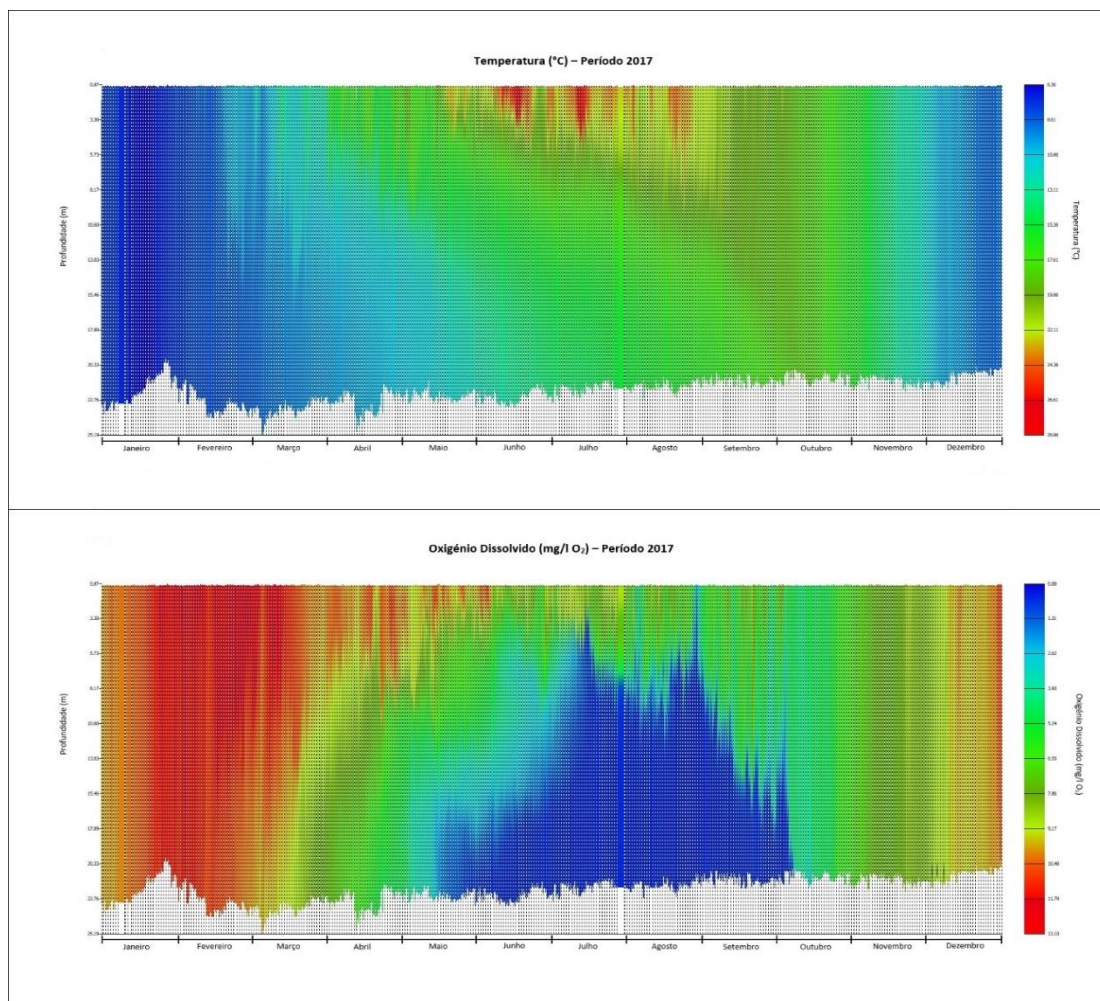


Fig. 1. Evolução da temperatura da água (cima) e da concentração de OD (baixo) na albufeira de Vilar em 2017

## 5. CONCLUSÕES

A informação produzida pelo perfilador automático é de extrema relevância para acompanhar em tempo real a evolução das condições térmica e de oxigenação em toda a extensão da coluna de água da albufeira de Vilar, aumentando substancialmente a precisão quanto às decisões de funcionamento do sistema de arejamento e do dispositivo de lançamento de caudal ecológico, tal como confirmado no decorrer de 2017, 2018 e 2019.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APA (2016) Plano de Gestão de Região Hidrográfica. Agência Portuguesa do Ambiente
- Bartram, J. & Balance, R. (1996). (Ed.) Water Quality Monitoring: A Practical Guide to the Design of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programme. Published on behalf of UNDP & WHO Chapman & Hall, London. 383 pp.
- George, G. (ed.) (2010). The Impact of Climate Change on European Lakes. Dordrecht: Springer Netherlands, 508 pp.
- Thornton, K. W., B. L. Kimmel and F. E. Payne (ed.) (1990). Reservoir limnology: Ecological perspectives. John Wiley & Sons, Inc., Somerset, New Jersey. 246 pp
- OCDE, Organisation for the Economic Cooperation and Development (1982). Eutrophication of Waters – Monitoring Assessment and Control. OECD (ed.), Paris. 125 pp
- Rouen, M., George, D.G., Kelly J.L., Lee M.J. (2005). High-resolution automatic water quality monitoring systems applied to catchment and reservoir monitoring. Freshwater Forum 23, 20–37