



A MODELAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA COMO SUPORTE AO ORDENAMENTO DA ALBUFEIRA DE CASTELO DO BODE

Pedro SANTOS COELHO¹, Manuel ALMEIDA², Ricardo REBELO³, Maria Felisbina QUADRADO⁴, Francisco RIBEIRO TELES⁵, João PÁDUA⁶

1. FCT NOVA - DCEA, 2829-516 Costa de Caparica, pmhc@fct.unl.pt

2. FCT NOVA - DCEA, 2829-516 Costa de Caparica, mcvta@fct.unl.pt

3. FCT NOVA - DCEA, 2829-516 Costa de Caparica, r.rebelo@campus.fct.unl.pt

4. APA, Rua da Murgueira, 9 - Zambujal – Alfragide, 2610-124 Amadora, maria.quadrado@apambiente.pt

5. EDP – Gestão da Produção de Energia, S.A., Av. 24 Julho 1249-300 Lisboa, francisco.telles@edp.com

6. EDP Labelec - Estudos, Desenvolvimento e Actividades Laboratoriais, S.A., Rua Cidade de Goa, 4, 2685-038 Sacavém, joao.padua@edp.com

RESUMO

O processo de gestão da qualidade da água das albufeiras de águas protegidas localizadas em Portugal continental é, em grande parte, consubstanciado pela implementação das medidas inscritas nos principais instrumentos de gestão do território, nomeadamente os Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) e os Planos de Ordenamento de Albufeiras (POA), actualmente designados Programas Especiais de Albufeiras de Águas Públicas (PEA), em função da adaptação dos POA ao quadro legislativo vigente. A definição das disposições gerais relativas ao uso e ocupação da área de intervenção, e de acções, medidas e projectos inscritos no POA da albufeira de Castelo do Bode (Resolução do Conselho de Ministros n.º 69/2003), foi parcialmente suportada pela modelação matemática da qualidade da água da albufeira (INAG, I.P., 2011a)). Os cenários de simulação considerados permitiram identificar as principais pressões existentes e a mais-valia decorrente da aplicação de medidas concretas que visavam a redução da carga poluente afluente à massa de água. Decorridos 17 anos, e no âmbito do desenvolvimento do Programa Especial da Albufeira de Castelo do Bode (PEACB), procedeu-se a um novo processo de modelação matemática da qualidade da água. No presente estudo, descreve-se a abordagem metodológica que consubstanciou o processo de modelação matemática, os resultados obtidos e analisa-se a evolução da qualidade da água da albufeira nos últimos nove anos. Apesar da dificuldade inerente ao estabelecimento de uma relação causal directa entre a implementação das medidas/acções definidas no POA das albufeiras de Castelo do Bode, Cabril, Bouçã e Santa Luzia (Resolução do Conselho de Ministros n.º 45/2002), e a melhoria da qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode, considera-se que, em função do nexos temporal existente, a redução de carga afluente determinada pela implementação das referidas medidas/acções, poderá ter tido um papel crucial na melhoria e preservação da qualidade da água da albufeira.

Palavras-Chave: Qualidade da água; Plano; Ordenamento; Modelação matemática; Castelo do Bode.

1. INTRODUÇÃO

O Aproveitamento Hidroelétrico de Castelo do Bode está localizado no rio Zêzere, afluente da margem direita do rio Tejo. Neste mesmo rio estão construídos mais dois aproveitamentos de grande dimensão, ambos a montante de Castelo do Bode – Bouçã e Cabril. Este aproveitamento entrou em funcionamento em 1951, produzindo, anualmente e em média, 361 GWh decorrentes de uma potência total instalada de 159 MW (EDP, 2018). A albufeira, com uma capacidade total ao NPA de 1 095 hm³ e uma área inundada de 3 500 ha, é o principal reservatório nacional de água para abastecimento público, servindo mais de dois milhões de habitantes da área metropolitana de Lisboa e dos municípios limítrofes. De acordo com o Despacho n.º 5797/2018 de 12 de Junho, a experiência na aplicação do Plano de Ordenamento da Albufeira de Castelo do Bode (POACB), aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 69/2003, de 10 de Maio, tem demonstrado um desajustamento da actual realidade socioeconómica e do presente quadro legal e institucional, que regula este tipo de instrumentos de gestão do território. Consequentemente, foi determinado no Despacho n.º 5797/2018, ao abrigo do artigo 46.º do



Decreto-Lei n.º 80/2015, de 14 de Maio, a elaboração do PEA de Castelo do Bode (PEACB). O presente estudo corresponde à componente de modelação matemática da qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode, contribuindo para se atingirem os objectivos que se pretendem com o desenvolvimento do PEACB. A análise realizada baseou-se, numa fase inicial, na avaliação da qualidade da água da albufeira entre o período temporal compreendido entre 2009 e 2017, enquadrada numa perspectiva histórica da evolução da qualidade da água da albufeira descrita em estudos anteriores (e.g. INAG, I.P., 2011a), INAG, I.P., 2011b), EPAL, 2015). Posteriormente, procedeu-se à definição e simulação de diferentes cenários que visam, genericamente, quantificar as pressões existentes no que diz respeito às cargas poluentes afluentes à massa de água e avaliar a mais-valia decorrente da sua eventual redução. Para o desenvolvimento dos estudos optou-se pela utilização do modelo bidimensional, CE-QUAL-W2, na sua versão 3.72 (Cole e Wells, 2015). Trata-se de um modelo que permite a simulação hidrodinâmica e de qualidade da água de uma albufeira segundo as direcções longitudinal e vertical do sistema, sendo lateralmente homogéneo, e por isso indicado para o estudo de massas de água longas e estreitas, com gradientes longitudinais e verticais de qualidade da água (Cole e Wells, 2015).

2. ENQUADRAMENTO

Pela sua importância, a albufeira de Castelo do Bode é, tal como outras albufeiras nacionais, alvo de um programa de monitorização desenvolvido pela EDP (EDP – Gestão da Produção de Energia, S.A. e Labelec - Estudos, Desenvolvimento e Actividades Laboratoriais, S.A.), no âmbito das obrigações contratuais enquanto utilizadora dos recursos hídricos, que visa acompanhar a evolução da qualidade da água da albufeira, em função de critérios suportados na legislação vigente, e que permitem apoiar os processos de modelação da qualidade da água. Nas secções seguintes descrevem-se as principais conclusões obtidas com a análise da evolução temporal da qualidade da água da albufeira e descreve-se, sumariamente, a abordagem considerada no âmbito da modelação da qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode.

2.1. Análise da evolução da qualidade da água na albufeira de Castelo do Bode

O estudo desenvolvido em 2002 pelo INAG e pela FCT NOVA (DCEA) (INAG, I.P., 2011a), refere que entre 1996 e 2004, apesar de não se verificarem valores indicativos de uma degradação significativa do estado de qualidade da água, registou-se uma tendência de diminuição dessa qualidade na albufeira de Castelo do Bode. Não obstante, tendo em consideração a caracterização da qualidade da água desenvolvida pela EDP entre 2009 e 2017, conclui-se que a evolução temporal da qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode, nomeadamente ao nível dos valores da concentração da carência bioquímica de oxigénio (CBO₅), fósforo total (P total) e azoto amoniacal (NH₄), evidencia um decréscimo importante dos valores da concentração destes parâmetros. A mesma conclusão é corroborada pela classificação da evolução do estado trófico em função dos critérios da OCDE (OCDE, 1982), nomeadamente no que concerne ao teor em fósforo, o factor limitante da produção primária deste sistema, que em 2015 e 2017 determinaria a classificação correspondente à ultra-oligotrofia.

2.2. Modelação matemática da qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode

A componente de modelação matemática da qualidade da água suporta-se em dois vectores principais: a caracterização quantitativa das cargas poluentes afluentes à albufeira, decorrente do actual e do futuro uso do solo e das diferentes especificidades do mesmo na área de intervenção do PEACB, plano de água e a zona terrestre de protecção, podendo esta coincidir com o âmbito territorial do Plano de Ordenamento da Albufeira de Castelo do Bode (500 m) ou ser ajustada a uma largura máxima de 1000 m, contados a partir da linha de nível de pleno armazenamento (Despacho n.º 5797/2018, de 12 de Junho); e a modelação dos vários processos associados aos diferentes parâmetros descritores da qualidade da água. Para o desenvolvimento dos estudos de simulação matemática da qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode, consideraram-se os anos civis de 2011, 2012 e 2013 (correspondentes a anos médio, seco e húmido, respectivamente). A determinação dos valores de caudal afluente e efluente do sistema, durante os anos civis de 2011 a 2013, realizou-se tendo como base os dados de autocontrolo disponibilizados pela EDP, que permitiram estabelecer um balanço de volumes entre os caudais descarregados, turbinados, caudais captados para diversos usos e a variação do volume armazenado na albufeira. A caracterização da carga urbana gerada na bacia hidrográfica em análise, suportada por elementos

disponibilizados pela APA, e parte integrante do PGRH Tejo e Ribeiras do Oeste (APA, 2016), compreende as cargas geradas pelos sistemas de tratamento de águas residuais urbanas, pelas indústrias cujos efluentes são descarregados em massas de água e por águas residuais domésticas (fossas sépticas cujas descargas são efectuadas em poço ou trincheira de infiltração, ou seja, no solo). Tendo em consideração a caracterização das descargas poluentes, concluiu-se que existem onze fontes pontuais de poluição que descarregam directamente águas residuais para a área de intervenção do PEACB. Adicionalmente, na definição dos cenários de simulação incluíram-se mais 37 descargas, que apesar de serem realizadas no solo, e como se localizam na área de intervenção do PEACB, podem, eventualmente, atingir a massa da água. A carga poluente de origem difusa, gerada pela actividade agrícola e pelas áreas florestais, foi estimada em função dos diferentes usos do solo associados à área de estudo, obtidos através da carta Corine Landcover 2012. Após a estimativa das cargas de N total, P total e CBO₅, geradas nas zonas com ocupação agro-florestal, determinou-se o valor da carga bruta de CBO₅ gerada pela pecuária, através das capitações de carga de CBO₅ por cabeça de gado. Posteriormente, foi calculada a carga de N e de P gerada pela actividade pecuária, tendo sido utilizado como base o estudo desenvolvido em 2014 pela APA (APA, 2014). Finalmente, para se concluir a caracterização da situação de referência da massa de água, correspondente aos anos de 2011, 2012 e 2013, incluíram-se 16 tributários pontuais, que conceptualizam a afluência das descargas poluentes directas para a albufeira, às quais, no caso particular da albufeira de Castelo do Bode, acrescem as descargas no solo geradas por fossas sépticas que se localizam na área de intervenção do PEACB. A definição dos cenários de simulação que implicam a redução e/ou incremento de carga poluente afluente foi realizada considerando que, nas áreas de drenagem que são dominadas por estações de monitorização de qualidade da água, a contribuição das diferentes fontes de poluição é descrita pelos correspondentes resultados da monitorização. Desta forma, para possibilitar a consideração e estudo de diferentes cenários, os dados de qualidade que caracterizam as afluências ao sistema e que descrevem as descargas em análise, são afectados da percentagem de redução ou de incremento de carga, na proporção que caracteriza cada sector. Por outro lado, as descargas pontuais descritas pelos 16 tributários são afectadas da percentagem de remoção ou incremento de carga que é definida por cada um dos cenários de simulação (e.g.: a eficiência de tratamento da CBO₅ correspondente à ETAR X evolui de 75% para 90%). Após o processo de calibração do modelo, tendo em consideração perfis de temperatura e de OD e séries temporais correspondentes aos restantes descritores da qualidade da água, disponibilizados pela EDP, para os anos de 2011, 2012 e 2013, analisou-se a evolução temporal destes parâmetros (Figura 1), e definiu-se e simulou-se um conjunto de cenários que visam avaliar as pressões determinadas pelas diferentes fontes de poluição (e.g.: agricultura e pecuária), bem como o efeito da melhoria da eficiência de remoção de CBO₅, N, P, coliformes fecais e totais de todas as ETAR urbanas e industriais existentes na bacia hidrográfica própria da albufeira de Castelo do Bode e na área de intervenção do plano (primário→secundário e secundário→terciário). Adicionalmente, avaliou-se o eventual efeito sobre a qualidade da água decorrente da implementação dos cenários *Minimalista*, *Business as Usual* e *Maximalista* definidos no PGRH Tejo e Ribeiras do Oeste, projectados para o ano de 2027 (APA, 2016). Finalmente, avaliou-se a capacidade de carga da albufeira de forma a garantir o Bom Potencial Ecológico, e minimizar o risco de eutrofização.

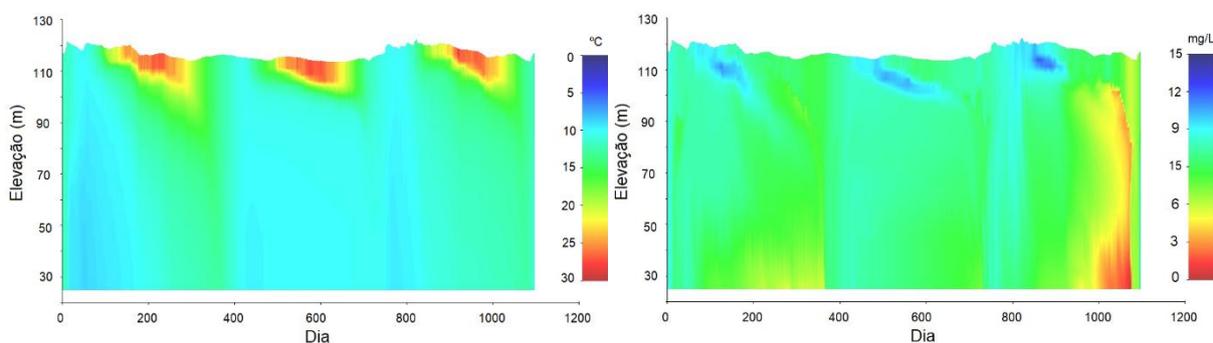


Fig. 1. Evolução dos valores de temperatura da água (esquerda) e da concentração de OD (direita) em profundidade a 300 m a montante da barragem de Castelo do Bode (2011 a 2013)

3. CONCLUSÕES

Não obstante a dificuldade inerente ao estabelecimento de uma relação causa-efeito entre a implementação das medidas/acções definidas no POA das albufeiras de Castelo do Bode, Cabril, Bouça e Santa Luzia (Resolução do Concelho de Ministros n.º 45/2002), e a melhoria da qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode, considera-se que, em função do nexos temporal existente, a redução de carga poluente afluente determinada pela implementação das referidas medidas/acções, poderá ter tido um papel crucial na melhoria e preservação da qualidade da água da mesma. Também as medidas que têm vindo a ser implementadas em toda a bacia de drenagem destas albufeiras, ao abrigo dos programas de medidas definidos nos PGRH do 1º ciclo e 2º ciclo, terão contribuído para esta melhoria. A importante redução dos valores da concentração de P total, evidenciada pela classificação ultra-oligótrfica da albufeira, para os anos de 2015 e 2017, constitui um relevante indicador relativamente ao estado ecológico da massa de água, nomeadamente no que diz respeito à diminuição da produção primária da mesma. Numa avaliação global, concluiu-se que as concentrações de fósforo, azoto e de CBO₅ na albufeira de Castelo do Bode são, todos eles, inferiores ao limite definido para o Bom Potencial Ecológico. A pressão exercida pelas descargas poluentes, de origem urbana e industrial, geradas na bacia hidrográfica própria da albufeira de Castelo do Bode é reduzida, e o incremento da eficiência de tratamento das águas residuais, com a exceção da redução da carga poluente determinada pelo hipotético tratamento terciário de todas as descargas existentes na bacia hidrográfica própria da albufeira, e incluindo as descargas realizadas na área de intervenção do PEACB, teria um efeito pouco sensível sobre a qualidade da água da albufeira. No entanto, importa referir que a redução da carga de P-PO₄, de N-NO_x e de CBO₅, gerada pelo sector da pecuária e nas áreas agrícolas e florestais existentes na bacia hidrográfica própria da albufeira de Castelo do Bode, poderia determinar melhorias significativas na correspondente qualidade da água. Adicionalmente, considera-se que a implementação do cenário prospectivo Minimalista, definido no PGRH Tejo e Ribeiras do Oeste, pode ter um impacto com alguma relevância na qualidade da água da albufeira. Finalmente, em função da análise realizada, considera-se que a albufeira de Castelo do Bode não deverá receber mais de 29 kg P-PO₄/dia, 2 683 kg N-NO_x/dia e de 19 809 kg CBO₅/dia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Agência Portuguesa do Ambiente, à EDP por todo o apoio prestado, nomeadamente, no que se refere à disponibilização dos dados de base que permitiram o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APA (2014) Avaliação das cargas de poluição difusa geradas em Portugal Continental. Agência Portuguesa do Ambiente.
- APA (2016) Plano de Gestão de Região Hidrográfica – Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste (RH5). Agência Portuguesa do Ambiente
- Cole, T. M. e Wells, S. A. (2015) CE-QUAL-W2. A Two Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.72 User manual. Instruction Report E-95-1, US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS
- EPAL (2015) Avaliação do Risco de Poluição das Origens Superficiais de Castelo do Bode e de Valada do Ribatejo – Contribuição para o Plano de Segurança da Água da EPAL
- INAG, I.P. (2011 a)) Modelação Matemática da Qualidade da Água em Albufeiras com Planos de Ordenamento – I – Albufeira de Castelo do Bode. Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território. Instituto da Água, I.P.
- INAG, I.P. (2011 b)) Modelação Matemática da Qualidade da Água em Albufeiras com Planos de Ordenamento – II – Albufeira de Castelo do Bode - Impacto da navegação recreativa a motor. Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território. Instituto da Água, I.P.
- OCDE, Organisation for the Economic Cooperation and Development (1982) Eutrophication of Waters – Monitoring Assessment and Control. OECD (ed.), Paris. 125 pp

LEGISLAÇÃO

- Decreto-Lei n.º 80/2015, de 14 de Maio
- Despacho n.º 5797/2018, de 12 de Junho
- Resolução do Concelho de Ministros n.º 69/2003 de 10 de Maio
- Resolução do Concelho de Ministros n.º 45/2002 de 13 de Março