



ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA EM CENÁRIOS FUTUROS: O CASO DE ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO SORRAIA

Carina ALMEIDA¹, Ramiro NEVES², António PINHEIRO²

1. *AQUALOGUS, Rua do Mar da China n.º1 esc 2.4, 1990-137 Lisboa calmeida@aqualogus.pt,*
2. *Instituto Superior Técnico - MARETEC, Av. Rovisco Pais 1, ramiro.neves@tecnico.ulisboa.pt,*
3. *Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, antonio.pinheiro@tecnico.ulisboa.pt.*

RESUMO

No futuro é esperado que a incerteza no que diz respeito ao clima e comportamento social aumente. Os modelos matemáticos podem ser ferramentas eficientes de gestão para prevenir e estudar os impactos dos cenários climáticos e sociais nos recursos hídricos. Assim, o objetivo central deste trabalho é estudar os impactos de cenários climáticos futuros e sociais sobre a qualidade da água sob uma abordagem de modelação integrada. O modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) e o modelo CE-QUAL-W2 foram os modelos matemáticos adotados para esse fim. Os resultados destas simulações de teste confirmam o potencial dos modelos matemáticos para serem considerados como uma ferramenta valiosa para estudos de engenharia e gestão dos recursos hídricos, principalmente em cenários de alterações futuras.

No entanto, apesar das vantagens da modelação matemática e integrada, é crucial levar em consideração as incertezas que podem estar associadas às previsões.

Palavras-Chave: modelação; qualidade água; cenários futuros.

1. INTRODUÇÃO

Devido ao rápido crescimento populacional, a procura por recursos naturais e alimentos tem vindo a aumentar. Esse aumento levou nas últimas décadas a uma expansão e intensificação da atividade agrícola e resultou na crescente preocupação com a qualidade de água em rios, aquíferos e albufeiras. Em 2000, a Diretiva Quadro da Água Europeia (DQA - Comissão Europeia, 2000) foi publicada e tornou-se o principal instrumento da política da água da União Europeia. Quinze anos após a publicação da DQA, os seus objetivos continuam a ser um desafio, já que 47% das águas superficiais da UE não atingiram o bom estado ecológico em 2015 - um objetivo central da legislação da UE em matéria de águas. Em Portugal, apenas 52% cumprem a meta de "bom estado", de acordo com o diagnóstico do Plano Nacional de Água (APA, 2015). As mudanças climáticas podem impactar os processos hidrológicos das bacias hidrográficas e suas albufeiras (IPCC, 2013). Segundo o IPCC (2013), a região mediterrânea será afetada principalmente por eventos extremos de temperatura e precipitação, em duas estações extremas: uma estação fria com eventos extremos de precipitação e uma estação quente com altas temperaturas combinadas com a escassez de água. Face ao exposto e considerando a complexidade dos processos das bacias hidrográficas, deve-se considerar uma abordagem mais sustentável e holística à gestão da água. Para determinar o grau de impacto das mudanças climáticas futuras combinadas às práticas de uso da terra, podem ser considerados modelos hidrológicos para explorar essas influências na qualidade da água superficial. A importância da utilização de modelos preditivos para simular as condições das massas de água é implicitamente definida no Decreto-Lei n. 77/2006, de 30 de março, anexo III. A modelação da qualidade da água tem muitas vantagens sobre o monitoramento simples, uma vez que os modelos permitem analisar o estado presente e futuro, integrando mudanças e fatores ambientais. A incerteza no futuro em termos de clima e comportamento social deve aumentar. Embora já existam muitos estudos que usam modelos matemáticos para prever a quantidade e a qualidade da água, é necessária uma visão mais aprofundada para cada estudo de caso, analisando os processos em escala de bacias hidrográficas e albufeiras. Essa abordagem deve sempre ser um estudo integrado e permitir continuamente variação de cenários e diferentes metodologias analíticas, a fim de apoiar sem esforço os gestores da água e suas necessidades. Assim, os modelos matemáticos devem ser ferramentas eficientes de gestão para prevenir e estudar os impactos nos recursos hídricos.

2. CASO DE ESTUDO

Este estudo foi realizado no rio Sorraia (sul de Portugal), afluente do rio Tejo com a maior área da bacia, com ~ 7730 km² (Lat: 38,59 ° a 39,50 °; Longo: -8,99 ° a -7,24 °). O clima da região é seco e húmido, com verões quentes e secos e invernos amenos e úmidos. As duas grandes barragens, Montargil e Maranhão, foram construídas na bacia hidrográfica durante a segunda metade do século XX, como parte do Plano de Implementação da Rega do Vale Sorraia. Atualmente, o vale de Sorraia é uma das maiores áreas de Rega em Portugal, totalizando 16.000 ha, nas quais predominam milho (*Zea mays* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) e tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

3. METODOLOGIA

Ao nível da bacia hidrográfica do Sorraia o modelo SWAT (Neitsch et al., 2011) foi o modelo considerado, usando a versão ArcSWAT. A aplicação do modelo contou com mapas GIS disponíveis para topografia do SRTM com resolução de 90 m, uso do solo do GSE Land M2.1 da Observação da Terra com detalhe de 20 e 300 m e Cardoso et al., (Cardoso, 1965) mapas do solo (escala 1:25 000) e propriedades dos perfis de referência do solo. Os mapas climáticos, incluindo precipitação diária, temperatura, humidade relativa e velocidade do vento, foram obtidos no Instituto Nacional de Recursos Hídricos, SNIRH (SNIRH 2018). Para a simulação da albufeira, neste caso, a albufeira de Montargil, foi considerado o modelo CE-QUAL-W2. Este é um modelo bidimensional que assume homogeneidade lateral e suporta gradientes verticais e horizontais de todas as propriedades calculadas (Cole & Wells, 2015). A versão atual (versão 4.1) simula a hidrodinâmica e a qualidade da água dos sistemas, tanto vertical quanto longitudinalmente, tanto nos sistemas estratificados quanto nos não estratificados.

Para os cenários futuros, este trabalho seguiu a estrutura estabelecida por Birk et al., (Birk et al., 2018) durante o projeto "Managing Aquatic Ecosystems and Water Resources Under Multiple Stress - MARS" (Feld et al., 2016), que também foi adotado por Segurado et al., (Segurado et al., 2018) e Almeida et al., (Almeida et al., 2019, 2018) para a bacia do Sorraia e albufeira de Montargil. Este estudo considerou ainda as "Storylines" proposto por O'Neill et al., (O'Neill et al., 2014) e Moss et al., (Moss et al., 2010), resultante da combinação dos *Shared Socioeconomic Pathways* (Riahi et al., 2017; Warszawski et al., 2014) e os RCPs 4.5 e 8.5. Os dois modelos climáticos adotados para cada cenário climático foram o GFDL-ESM2M (Dunne et al., 2013, 2012) e o IPSL-CM5A-LR (Dufresne et al., 2013).

4. RESULTADOS – BACIA HIDROGRÁFICA

A concentração N total obtida foi mais elevada para o modelo climático GFDL devido à menor quantidade de precipitação prevista. Também foi previsto um aumento da concentração N total no rio durante os períodos de crescimento das culturas devido ao escoamento e lixiviação de nutrientes. O aumento mais acentuado foi observado imediatamente após a colheita, coincidindo com a mineralização dos resíduos da colheita e o início das estações chuvosas. O aumento do teor de água no solo promoveu ainda mais a lixiviação de nitrato, além de perdas pelo fluxo lateral. Assim, a redução da precipitação teve um papel fundamental nas projeções futuras da dinâmica da bacia hidrográfica.

O aumento projetado da concentração de N no rio resultou do uso progressivo desse nutriente como fertilizante na maioria dos cenários, mas também como consequência dos processos naturais que ocorrem nos solos. Esse resultado também é visível no cenário mais otimista (STL2), onde o impacto negativo das reduções do fluxo de água na qualidade da água também foi alto. O nitrato foi a forma mais abundante de N simulado no rio, também contribuindo significativamente para esse resultado: alta solubilidade do nitrato e suscetibilidade à lixiviação, principalmente durante os períodos maior precipitação e o tipo de fertilizante usado pelos agricultores.

Curiosamente, o aumento de P mineral resultante do uso de fertilizantes nos campos de milho não foi óbvio em termos de resultados da qualidade da água. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de P apresentar baixa mobilidade, adsorvendo a sedimentos e dependendo dos eventos de chuva e escoamento a serem removidos dos campos agrícolas. Espera-se também que as concentrações de P exibam um comportamento diferente de N em todas as *storylines*. No entanto, o fato de as concentrações de P mostrarem um ligeiro aumento, apesar da diminuição da precipitação, sugere que sua aplicação continuada terá um impacto significativo na qualidade da água.

5. RESULTADOS – ALBUFEIRA

A concentração de oxigénio dissolvido da camada superficial da água (considerada a 0,8 metros de profundidade) mostrou uma pequena diminuição para ambas as *storylines*, com reduções atingindo 4% quando comparadas com o valor médio observado na série histórica. A maior redução é observada no hipoliménio (considerado a 20 metros de profundidade), com o modelo prevendo uma redução de 58% e 62% para as *storylines* de 2030 e 2060. A concentração de clorofila-a aumentou na camada de epiliménio durante os dois períodos considerados, em média mais de 25% e 20% quando comparada com o presente. Por outro lado, uma redução de 13% na década de 2030 e de 46% na década de 2060 foi observada na camada de hipoliménio.

A concentração total de fósforo aumentou nas duas camadas durante o período analisado. Na camada de hipoliménio, esse aumento atingiu 90% e 118% nos períodos 2030 e 2060, sendo explicado principalmente pela disponibilidade de fósforo no fundo do sedimento e pela menor percentagem de saturação de oxigénio.

Com a implementação de uma redução de 30% e 35% na captação de água para rega, houve uma pequena melhoria na qualidade da água da albufeira em relação ao fósforo total (em média -10% em 2030 e -20% em 2060) e clorofila-a (em média -14% em 2030 e -31% em 2060). Em média, a concentração de oxigénio dissolvido permaneceu constante, embora nos anos em que se prevê que a concentração aumente, a albufeira não atinge um estado aceitável de boa qualidade.

6. CONCLUSÕES

A integração de modelos de bacia e albufeira permitiu analisar continuamente o estado trófico, fundamental para investigar o comportamento de cada massa de água, especialmente as albufeiras, que são altamente complexas. Esta abordagem é bastante aceitável para prever o estado trófico atual de albufeiras pouco monitoradas, como a albufeira de Montargil, para analisar o seu comportamento, considerando as entradas futuras da bacia afluente e as mudanças climáticas esperadas na região.

Em qualquer uma das abordagens aqui investigadas e sua principal vantagem, é a possibilidade de testar medidas de gestão para responder a essas pressões crescentes previstas no futuro. Essas medidas podem variar de ações a montante na escala da bacia hidrográfica, com mudanças nas práticas agrícolas, ou simplesmente culturas existentes (mudanças no uso do solo), até ações na escala do albufeira, por exemplo, alterando a quantidade de água disponível para rega, etc. A metodologia, aplicada numa escala de tempo diferente, permitirá que os gestores de albufeiras decidam, por exemplo, qual é o caudal mínimo para não comprometer o ecossistema da albufeira e atender às necessidades dos utilizadores.

Apesar das incertezas associadas à modelação matemática, principalmente associadas às previsões futuras, esta metodologia continua a ser bastante eficaz no estudo de processos, dada sua abordagem contínua, simplificada e integradora de processos complexos da natureza, como os que ocorrem em solos relacionados a nutrientes (mineralização, nitrificação, desnitrificação, lixiviação, etc.), erosão, balanço hídrico das bacias hidrográficas, coluna d'água, entre outros. Este estudo pode ser uma base para a classificação do estado trófico das massas de água, extremamente importante para os membros europeus, a fim de cumprir os objetivos do Quadro Diretivo da Água.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado no âmbito dos Grupo Operacional OMEGA – Otimização da gestão de albufeiras (PDR2020-101-032029), financiado pelo Programa Portugal 2020.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, C., Ramos, T.B., Neves, R. 2019. An Integrated Modelling Approach to Study Future Water Demand Vulnerability in the Montargil Reservoir Basin, Portugal. Sustainability. <https://doi.org/10.3390/su11010206>.
- Almeida, C., Ramos, T.B., Segurado, P., Branco, P., Neves, R., de Oliveira, R.P. 2018. Water quantity and quality under future climate and societal scenarios: A basin-wide approach applied to the Sorraia River, Portugal. Water (Switzerland) 10. <https://doi.org/10.3390/w10091186>.



- APA, 2015. Plano Nacional da Água. Agência Port. do Ambient. 1–259.
- Birk, C.S., Strackbein, J., Sanchez, M.F., Kloiber, A.S., John, R.S. 2018. Deliverable 8.4 : Fact sheets including a set of illustrations 2. Available online: http://www.mars-project.eu/files/download/deliverables/MARS_D8.4_fact_sheets.pdf (accessed on 20 November 2018).
- Cardoso, J.C. 1965. Os solos de Portugal. Sua classificação, caracterização e gênese. 1 – A sul do rio Tejo. (The soils of Portugal. Its classification, characterization and genesis. 1 - South of the Tagus River) Direcção-Geral dos Serviços Agrícolas, Lisbon, Portugal.
- Cole, M.T. & Wells, S.A. 2006. CE-Qual-W2: A two-dimensional, laterally averaged, hydrodynamic and water quality model, version 3.5, user manual, Washington, DC: U.S Army Corps of Engineers
- Comissão Europeia, 2000. Directiva 2000/60/EC of the European parliament and of the Council of October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy. Off J Eur. Communities L 327, 1–72.
- Dufresne, J.L., Foujols, M.A., Denvil, S., Caubel, A., Marti, O., et al. Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: From CMIP3 to CMIP5, Climate Dynamics. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1636-1>
- Dunne, J.P., John, J.G., Adcroft, A.J., Griffies, S.M., Hallberg, R.W., et al. GFDL’s ESM2 Global Coupled Climate–Carbon Earth System Models. Part I: Physical Formulation and Baseline Simulation Characteristics. *J. Clim.* 25, 6646–6665. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00560.1>
- Feld, C.K., Segurado, P., Gutiérrez-Cánovas, C. 2016. Analysing the impact of multiple stressors in aquatic biomonitoring data: A ‘cookbook’ with applications in R. *Sci. Total Environ.* 573, 1320–1339.
- IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In Stocker, T.F.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M.; Allen, S.K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P.M. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, 2013.
- Segurado, P., Almeida, C., Neves, R., Ferreira, M.T., Branco, P. 2018. Understanding multiple stressors in a Mediterranean basin: Combined effects of land use, water scarcity and nutrient enrichment. *Sci. Total Environ.* 624, 1221–1233. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.201>.
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., Wilbanks, T.J. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463, 747.
- Neitsch, S.L.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Williams, J.R., 2011. Soil and Water Assessment Tool; Theoretical Documentation; Version 2009; Texas Water Resources Institute; Technical Report No. 406; Texas A&M University System: College Station, TX, USA.
- O’Neill, B.C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K.L., Hallegatte, S., Carter, T.R., Mathur, R., van Vuuren, D.P. 2014. A new scenario framework for climate change research: The concept of shared socioeconomic pathways. *Clim. Change* 122, 387–400. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2>
- Riahi, K., van Vuuren, D.P., Kriegler, E., Edmonds, J., O’Neill, B.C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J.C., KC, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K., Hasegawa, T., Havlik, P., Humpenöder, F., Da Silva, L.A., Smith, S., Stehfest, E., Bosetti, V., Eom, J., Gernaat, D., Masui, T., Rogelj, J., Strefler, J., Drouet, L., Krey, V., Luderer, G., Harmsen, M., Takahashi, K., Baumstark, L., Doelman, J.C., Kainuma, M., Klimont, Z., Marangoni, G., Lotze-Campen, H., Obersteiner, M., Tabeau, A., Tavoni, M. 2017. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Glob. Environ. Chang.* 42, 153–168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>.
- Serviço Nacional de Informação dos Recursos Hídricos (SNIRH - Portuguese National Institute of Water Resources). Available online: <http://snirh.apambiente.pt/> (accessed on 10 September 2018).
- Warszawski, L., Frieler, K., Huber, V., Piontek, F., Serdeczny, O., Schewe, J. 2014. The Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project (ISI-MIP): Project framework. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 111, 3228 LP-3232. <https://doi.org/10.1073/pnas.1312330110>.