



# A UTILIZAÇÃO DE ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TEJO

Melissa SONDERMANN<sup>1</sup>, Rodrigo Proença de OLIVEIRA<sup>1,2</sup>, Joana SIMÕES<sup>2</sup>

1. *Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability (CERIS), Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georecursos, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa; Portugal; email: melissa.sondermann@tecnico.ulisboa.pt, rodrigopoliveira@tecnico.ulisboa.pt*  
2. *BLUEFOCUS; Lisboa, Portugal; email: jrs@bluefocus.pt*

## RESUMO

A bacia hidrográfica internacional do rio Tejo representa um grande desafio no que diz respeito à gestão dos seus recursos hídricos. A variabilidade climática, a extensa regularização dos caudais e o aumento das necessidades de água ao longo das últimas décadas conduziram a uma situação difícil que proporciona conflitos de alocação da água e grandes impactos nos ecossistemas. Este trabalho utilizou o modelo de simulação Aquatool para representar o complexo sistema hidrológico em regime modificado da bacia hidrográfica do rio Tejo, com o objetivo de analisar o balanço hídrico e contribuir para a articulação de políticas entre os países ribeirinhos. O modelo agrega dados sobre a disponibilidade de água, infraestruturas hidráulicas existentes e procura de água para os diferentes usos. Os resultados da comparação entre os regimes de escoamento natural e modificado apontam uma significativa alteração no regime de escoamento em todas as secções analisadas, sendo que as maiores ocorrem nos troços do rio Tejo em Espanha e à entrada em Portugal, assim como no rio Sorraia.

**Palavras-Chave:** Bacias internacionais; modelo de alocação da água; necessidades de água; aproveitamentos hidráulicos; segurança hídrica.

## 1. INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas internacionais são áreas críticas de gestão dos recursos hídricos, não apenas pela sua dimensão e representatividade na Terra, mas também pelas suas particularidades físicas, políticas e económicas, geradoras de conflitos, especialmente quando a água é considerada recurso limitado (Gleick 1993). Desde a metade do século passado, que as bacias hidrográficas vêm, em geral, sofrendo modificações nos seus regimes de escoamento, principalmente devido ao aumento das necessidades de água, desenvolvimento de infraestruturas hídricas e alterações no clima. Em bacias internacionais, os problemas relacionados com a água podem ser ainda mais críticos, uma vez que a gestão dos recursos e a alocação da água exige uma articulação entre os países ribeirinhos que, por vezes, não existe. Neste sentido, os estudos que avaliem a disponibilidade e a alocação da água para os vários usos, assumindo a bacia hidrográfica como um todo, são de extrema relevância, uma vez que contribuem para uma articulação entre os países e para uma efetiva gestão da água.

O presente estudo pretende fornecer uma análise completa do sistema hidrológico modificado da bacia hidrográfica do rio Tejo através da sua simulação no modelo Aquatool (Andreu, Capilla e Sanchís 1996). O modelo adota um passo de cálculo mensal para simular a operação dos aproveitamentos hidráulicos existentes na bacia hidrográfica e a alocação das disponibilidades de água à satisfação das necessidades para os diferentes usos. A análise dos resultados sobre os regimes de escoamento e de atendimento das necessidades de água permite identificar pontos críticos que necessitem de enfoque na gestão de recursos hídricos.

## 2. ENQUADRAMENTO

Entre as bacias hidrográficas partilhadas da Península Ibérica, a bacia do rio Tejo é identificada como aquela que apresenta maiores desafios de gestão e alocação da água, tendo em conta as suas disponibilidades de água e o seu complexo sistema hidráulico. Lorenzo-Lacruz et al. (2012) analisaram as tendências anuais e sazonais do escoamento no contexto da Península Ibérica, durante o período de 1945 a 2005, com o objetivo de determinar o

efeito da regularização do regime de escoamento na evolução temporal. Os resultados encontrados para as bacias hidrográficas localizadas ao Sul da Península, incluindo a bacia do Rio Tejo, mostraram uma redução significativa na tendência dos escoamentos durante as estações de inverno e primavera. Os autores atribuem esta tendência à redução na precipitação (variabilidade climática) e a associação entre processos de reflorestação e aumento das necessidades de água, principalmente nos setores urbano e agrícola.

Para atender às necessidades consumptivas de água na bacia hidrográfica do Tejo, são anualmente captados 4 000 hm<sup>3</sup> de água de massas de água superficiais e subterrâneas, correspondendo a maior parcela às massas de água superficiais (~3 000hm<sup>3</sup>). Os principais setores utilizadores são o urbano, principalmente, por compreender em seu território as regiões metropolitanas de Madrid e Lisboa que consomem em média 470 hm<sup>3</sup> e 210 hm<sup>3</sup>, respectivamente, e o setor agrícola que consome, em média, 1 620 hm<sup>3</sup> em Espanha e 450 hm<sup>3</sup> em Portugal (APA, 2016; DRH, 2015). Acresce, o transvase Tejo-Segura localizado nas cabeceiras do rio Tejo transfere até o máximo de 650 hm<sup>3</sup>/ano para as bacias hidrográficas dos rios Segura, Jucar e Guadiana, em Espanha (Lobanova et al., 2017). Todas estas necessidades de água contribuem para a intensa regularização do escoamento e para significativas mudanças no regime hidrológico da bacia hidrográfica. Este estado tem vindo a ser objeto de intenso debate acerca da disponibilidade de água e da sua utilização.

No trabalho aqui apresentado desenvolveu-se uma ferramenta de análise da utilização da água nos países que partilham a bacia hidrográfica do rio Tejo, que proporciona uma avaliação quantificada do estado da bacia hidrográfica e contribuir para esta discussão com elementos quantitativos. O modelo considera 43 albufeiras e 22 centrais hidroelétricas selecionadas com base na capacidade de armazenamento (> 10 hm<sup>3</sup> em Portugal e > 50 hm<sup>3</sup> em Espanha) e de produção de energia (> 20MW), respetivamente. A Figura 1 identifica as albufeiras e as centrais hidroelétricas incluídas na análise. Adotaram-se séries de escoamento em regime natural geradas a partir do modelo hidrológico de precipitação-escoamento de Temez (Temez, 1977). As necessidades de água são referentes ao ano de 2016, tendo sido recolhidas dos relatórios Agência Portuguesa do Ambiente (2016) e Confederación Hidrográfica del Tajo (2018). Os caudais ecológicos atualmente implementados em 19 pontos estratégicos na parte espanhola da bacia, incluindo 3 localizados no curso do rio Tejo em Aranjuez, Toledo e Talavera de la Reina, e em 3 pontos na parte portuguesa, a jusante das albufeiras de Castelo de Bode, Pracana e Minutos foram recolhidos dos relatórios Demarcación Hidrográfica del Tajo (2015) e Agência Portuguesa do Ambiente (2016).

A validação do modelo foi feita através da comparação entre os dados observados e simulados de volumes armazenados, entradas e saída de água nas albufeiras, e de escoamentos em pontos de monitorização selecionados. As regras de operação nas albufeiras foram ajustadas para reproduzir uma situação de alta garantia de atendimento às necessidades de água. Ressalte-se que a simplificação das regras de gestão e alocação da água que foi necessário assumir, tendo em conta a elevada a complexidade do sistema e a falta de dados, acarreta que os resultados obtidos têm associado uma incerteza não desprezável.

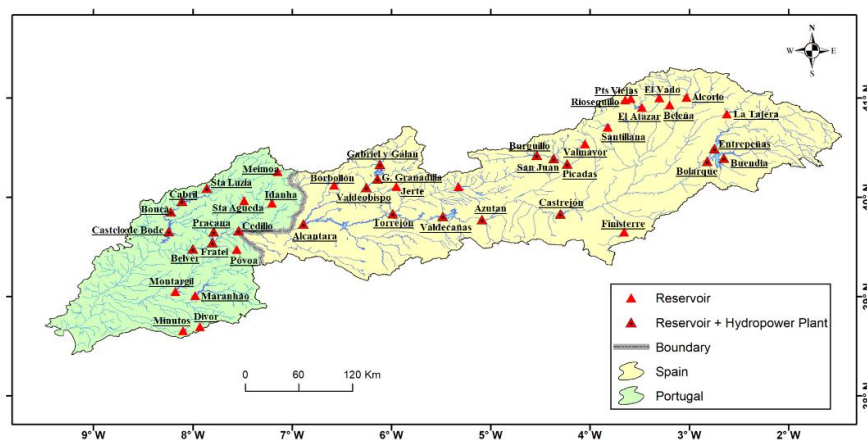


Figura 1: Bacia do rio Tejo dividida entre as partes portuguesa e espanhola, incluindo as albufeiras e centrais hidroelétricas inseridas no modelo de alocação da água

### 3. CONCLUSÕES

O modelo de alocação da água para a bacia do rio Tejo reproduz satisfatoriamente os regimes de escoamento observados nos pontos de monitorização, sendo as diferenças justificadas pela utilização do cenário atual (2016) de necessidades de água ao longo de todo o período da simulação e pelo desconhecimento das regras de operação de algumas infra-estruturas.

A Figura 2a mostra as garantias anuais de satisfação das necessidades de água para os usos urbanos/industriais e agrícolas em três grandes regiões da bacia hidrográfica, Alto Tejo e Médio Tejo, em Espanha, e Baixo Tejo, em Portugal, que foram obtidas pela ponderação dos diversos usos da água introduzidos no modelo de simulação com um nível de pormenor de grupos de utilizadores de acordo com a sua localização. A Figura 2b apresenta os indicadores mensais de alteração hidrológica em 7 estações de monitorização, com enfoque na parte portuguesa da bacia. Estes indicadores são definidos em Pumo et al. (2018) e têm por objetivo avaliar o grau de alteração dos escoamentos em regime modificado com relação ao regime em condições naturais.

a) Garantia para usos e por região

Garantia, Gr	Alto Tejo	Médio Tejo	Baixo Tejo
Usos urbano e industrial	96%	99%	100%
Uso agrícola	96%	88%	94%



b) Indicadores de alteração hidrológica a nível mensal

Estações de monitorização	Talavera de la Reina	Cedillo	Ocreza	Tramagal	Almourol	Sorraia
<b>IHA by Class</b>						
1. Magnitude das condições hidrológicas mensais	0.14	0.14	0.18	0.12	0.13	0.16
2. Magnitude e duração das condições sazonais dos extremos anuais	0.18	0.08	0.11	0.08	0.10	0.09
3. Timing das condições hidrológicas anuais extremas	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4. Frequência dos pulsos altos e baixos	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
5. Taxa e frequência de alteração das condições hidrológicas	0.06	0.07	0.00	0.06	0.10	0.00
<b>Global IHA</b>	<b>0.25</b>	<b>0.10</b>	<b>0.12</b>	<b>0.09</b>	<b>0.10</b>	<b>0.15</b>

Figura 2: Garantias anuais de atendimento às necessidades de água por região e indicadores de alteração hidrológica nas estações de monitorização.

Atualmente, a garantia anual de atendimento aos usos urbanos e industriais é alta em toda a bacia, sendo ligeiramente mais alta em Portugal. A garantia de atendimento aos usos agrícolas é menor na região do Médio Tejo em períodos de escassez hídrica devido à menor disponibilidade de água nos meses de grande extração (junho a setembro), principalmente, nos tributários Alagón e Tietar, regiões de intenso uso agrícola.

A análise dos indicadores mostra a situação crítica de alteração dos escoamentos em Talavera de la Reina, Espanha, e no troço final da sub-bacia do Sorraia em Portugal (Global IHA > 0.15). Estes valores devem-se às significativas extrações de água a montante da estação de Talavera, com o objetivo de atender, principalmente, o transvase Tajo-Segura, assim como as necessidades de água da região metropolitana de Madrid, através dos recursos dos tributários Jarama, Guadarrama e Alberche, na margem direita. Já o alto valor de alteração na estação no troço final do Sorraia é devido ao grande aproveitamento hidroagrícola do Vale do Sorraia que conta com duas principais albufeiras de armazenamento, Montargil e Maranhão. A maioria das demais estações também apresentam elevado grau de alteração dos regimes de escoamento (Global IHA > 0.10), entretanto com



valores menores à medida que se percorre o curso principal do rio Tejo. Na fronteira, em Cedillo, o índice de alteração é atenuado, principalmente, devido as regras de caudais mínimos estabelecidas pela Convenção de Albufeira, além da contribuição dos tributários Alagón e Tietar em Espanha, e Sever, Erges e Ponsul. Na parte portuguesa, a atenuação dos valores de alteração em Tramagal e Almourol é devido às contribuições dos tributários inteiramente localizados em território português, sub-bacia do Ocreza e Zezere, respectivamente.

Acrescenta-se que os indicadores por Classes mostram que as Classes 3 e 4 (timing das condições hidrológicas anuais extremas e a frequência dos altos e baixos pulsos) são aqueles que mais influenciam no aumento do indicador global, sendo esta a grande diferença entre os valores em Talavera e Cedillo, por exemplo. A existência da grande cascata de albufeiras entre as duas estações, com alta capacidade de armazenamento (albufeiras de Valdecañas e Alcantara) influenciam diretamente nos escoamentos a jusante.

Estes resultados indicam a necessidade de uma operação dos aproveitamentos hidráulicos de forma a adaptar suas regras de gestão ao cenário de redução do escoamento, principalmente no futuro em que se espera uma redução mais severa dos escoamentos devido aos impactos das alterações climáticas. A construção do modelo de simulação permite desenvolver estudos em curso referentes à gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica, nomeadamente de avaliação dos impactos das alterações climáticas e de possíveis estratégias de adaptação. Permite também validar alguns estudos já realizados nomeadamente de análise das tendências das necessidades de água (Tortajada et al. 2019) e dos futuros cenários de incerteza climática (Lobanova et al. 2016).

## AGRADECIMENTOS

Melissa Nogueira Sondermann é detentora de uma bolsa de doutoramento concedida pela Fundação para a Ciência e Tecnologia de Portugal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andreu, J., J. Capilla, and E. Sanchís. 1996. "AQUATOOL, a Generalized Decision-Support System for Water-Resources Planning and Operational Management." *Journal of Hydrology* 177 (3–4): 269–91. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)02963-X](https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)02963-X).
- APA, Agência Portuguesa do Ambiente. 2016. "Plano de Gestão de Região Hidrográfica Do Tejo e Ribeiras Do Oeste (RH5)."
- CHT, Confederación Hidrográfica del Tajo. 2018. "Plan Hidrológico de La Demarcación Hidrográfica Del Tajo Revisión de Tercer Ciclo (2021-2027) Documentos Iniciales. Programa, Calendario, Estudio General Sobre La Demarcación y Fórmulas de Consulta Memoria 19 de Octubre de 2018."
- DHT, Demarcación Hidrográfica del Tajo. 2015. "Plan Hidrológico de La Parte Española de La Demarcación Hidrográfica Del Tajo. Anejo de La Memoria 5 Caudales Ecológicos."
- Gleick, Peter H. 1993. "Water and Conflict: Fresh Water Resources and International Security." *International Security* 18 (1): 79. <https://doi.org/10.2307/2539033>.
- Lobanova, Anastasia, Hagen Koch, Stefan Liersch, Fred F. Hattermann, and Valentina Krysanova. 2016. "Impacts of Changing Climate on the Hydrology and Hydropower Production of the Tagus River Basin." *Hydrological Processes* 30 (26): 5039–52. <https://doi.org/10.1002/hyp.10966>.
- Lorenzo-Lacruz, J., S. M. Vicente-Serrano, J. I. López-Moreno, E. Morán-Tejeda, and J. Zabalza. 2012. "Recent Trends in Iberian Streamflows (1945-2005)." *Journal of Hydrology* 414–415 (January): 463–75. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.023>.
- Pumo, Dario, Antonio Francipane, Marcella Cannarozzo, Chiara Antinoro, and Leonardo Valerio Noto. 2018. "Monthly Hydrological Indicators to Assess Possible Alterations on Rivers' Flow Regime." *Water Resources Management* 32 (11): 3687–3706. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2013-6>.
- Témez, J. R. 1977. Modelo Matemático de transformación "precipitación-escorrentia". Asociación de Investigación Industrial Eléctrica. ASINEL. Madrid. 39pp.
- Tortajada, Cecilia, Francisco González-Gómez, Asit K. Biswas, and Joost Buurman. 2019. "Water Demand Management Strategies for Water-Scarce Cities: The Case of Spain." *Sustainable Cities and Society* 45 (February): 649–56. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.11.044>.