

Utilização de indicadores de alteração hidrológica para caracterizar os regimes fluviais a jusante de barragens portuguesas

J.S. Cardoso^(a), M.M. Portela^(b), M.J. Martins^(c), M.D. Bejarano^(d), F.C. Aguiar^(e),

^(a) Universidade de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, joana.saldanha@ist.utl.pt

^(b) Universidade de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, maria.manuela.portela@ist.utl.pt

^(c) Universidade de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, mjmartins@isa.utl.pt

^(d) Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, mariadolores.bejarano@upm.es

^(e) Universidade de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, fraguiar@isa.utl.pt

Sumário

Apresentam-se, de modo breve, os resultados de um estudo eco-hidrológico aplicado a trechos de cursos de água localizados a jusante de barragens portuguesas com o objetivo de avaliar o modo como tais infraestruturas afectam os regimes fluviais naturais característicos dos mesmos. O estudo baseou-se na aplicação de indicadores de alteração hidrológica (IHA) a regimes fluviais naturais e alterados por ação de barragens para o que foram selecionados nove casos de estudo constituídos por aproveitamentos hidroelétricos localizados no Norte de Portugal Continental.

Palavras-chave: *Estudo eco-hidrológico; barragens; regime natural; indicadores de alteração hidrológica.*

Introdução

O regime hidrológico em Portugal Continental caracteriza-se por uma elevada variabilidade temporal, bem patente na acentuada irregularidade exibida pelas afluências naturais nos cursos de água, tanto ao longo do ano – com significativa maior disponibilidade hídrica no semestre húmido, de Outubro a Março –, como entre anos. Uma vez que as utilizações de água não apresentam a mesma variabilidade, é necessário intervir no sentido da regularização das afluências naturais, de modo a garantir a satisfação das utilizações ao longo do tempo, independentemente da sua maior ou menor “adesão” ao regime hidrológico natural.

As albufeiras criadas por barragens assumem um papel preponderante nessa regularização, permitindo, por exemplo, o armazenamento de água nos anos húmidos ou na estação húmida de modo a garantir a disponibilidade do recurso para os diversos fins entre anos ou ao longo do ano (albufeiras dispoñdo de capacidade de armazenamento inter anual ou anual, respectivamente) ou nos meses mais secos (albufeiras como as destinadas à irrigação, ditas de inversão estival). Quer promovam ou não a regularização de afluências, as albufeiras permitem ainda tirar partido da energia potencial da água nelas armazenadas, transformando-a em energia eléctrica por intermédio de centrais hidroelétricas associadas a aproveitamentos hidroelétricos, os quais podem eventualmente reunir em si outras finalidades (aproveitamentos de fins múltiplos).

Contudo, uma barragem introduz sempre numa perturbação no curso de água em que se insere, não só a montante, com passagem de regime lótico a regime lântico, mas também a jusante, frequentemente através da alteração qualitativa e quantitativa do padrão temporal do regime fluvial natural, com inevitáveis consequências na estrutura, composição, diversidade, funcionamento das comunidades aquáticas e ripárias (i.e. peixes, macroinvertebrados, vegetação) (Nilsson e Svedmark, 2002), entre outras ou mesmo nas componentes físicas dos sistemas fluviais, como sejam as suas características geomorfológicas ou a estabilidade das margens.

Importa, assim, caracterizar o nível de alteração do regime hidrológico resultante da construção de uma barragem de forma a analisar os seus efeitos na vegetação ripária e, de

modo geral, nas espécies que co-habitam aquele ecossistema. É neste âmbito que surgem indicadores de alteração hidrológica – *Indicators of Hydrologic Alterations*, IHA (Richter *et al.*, 1996) destinados à caracterização da alteração a que respeitam, não em termos qualitativos, necessariamente subjectivos, mas objectivamente, através de valores numéricos, associados a frequências empíricas ou a quantis, por meio de descritores estatísticos. A partir destes indicadores é possível comparar regimes em condições naturais e modificadas ao longo de um mesmo rio ou entre rios distintos.

Casos de estudo, dados de base e indicadores de alteração hidrológica

O trabalho que se apresenta insere-se no âmbito da aplicação de indicadores de alteração hidrológica com vista a quantificar a modificação introduzida em regimes fluviais naturais por aproveitamentos hidroeléctricos portugueses. Para o efeito, houve primeiramente que

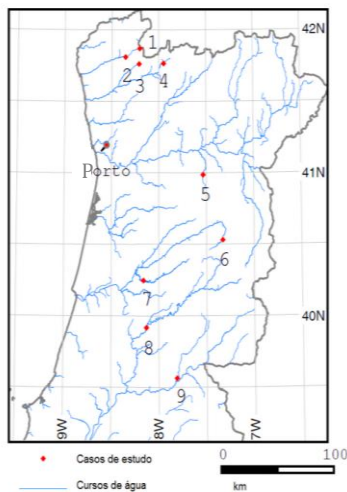


Figura 1 – Casos de estudo:
(1) Alto Lindoso, (2) Touvedo,
(3) Vilarinho das Furnas, (4)
Paradela, (5) Vilar, (6)
Caldeirão, (7) Fronhas, (8)
Cabril e (9) Pracana.

Em consequência dos anteriores constrangimentos, seleccionam-se como casos de estudo nove aproveitamentos hidroeléctricos inseridos no Norte do País, esquematicamente localizados na Figura 1. Desses casos de estudo, o identificado por 2 assenta numa barragem criando uma albufeira com capacidade de regularização muito reduzida – ou seja, é objecto de exploração praticamente a fio-de-água – enquanto os demais aproveitamentos promovem a transferência temporal das afluições naturais que recebem por meio de albufeiras de regularização. De entre estes últimos casos de estudo distinguem-se entre os que efectuem transvases, quer para albufeiras inseridas noutros cursos de água (casos 3 e 7), quer pela devolução directa dos caudais turbinados a outros cursos de água (caso 6) e os que não procedem a essa transferência de afluições, restituindo os caudais turbinados para os mesmos cursos de água onde se inserem as respectivas barragens (casos 1, 2, 4, 5, 8 e 9). Relativamente aos aproveitamentos que não executam transvases, pode ainda distinguir-se aqueles cujas centrais são adjacentes às barragens (centrais pé-de-barragem) (casos 2, 8 e 9) dos que possuem circuitos hidráulicos relativamente extensos (casos 1, 4 e 5). Esta informação está também sistematizada na Tabela I.

Identificados os casos de estudo, a fase seguinte da análise efectuada consistiu na aquisição de dados de caudal médio diário necessários à análise estatística em que se baseia o cálculo dos indicadores de alteração hidrológica, para o que se recorreu ao SNIRH, Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, e directamente à EDP – Energias de Portugal. A partir da informação assim adquirida, identificaram-se os períodos de tempo a adotar no cálculo dos indicadores, para o que se considerou que tais períodos deveriam dispor, de modo contínuo, de pelo menos 300 registos de caudais médios diários em cada ano. Na Tabela II identificam-se os anos assim considerados – células sombreadas a

cinzento -, bem como o número de registos de caudal médio diário em cada ano – número no interior de cada célula. As falhas nos períodos sombreados a cinzento foram automaticamente preenchidas pelo próprio *software* de cálculo dos indicadores de alteração hidrológica. Importa esclarecer que, para o trecho fluvial em que se insere cada barragem, se considerou que os caudais afluentes à respetiva albufeira representariam o regime natural, sendo que o regime modificado foi deduzido a partir dos caudais dela efluentes. Nos aproveitamentos com central pé-de-barragem e, por limitações decorrentes da informação disponível, também no caso 1, o regime modificado resultou, assim, da acumulação dos registos diários de caudais turbinados ou transferidos (T), descarregados (D) e, quando existentes, ecológicos (E); nos demais casos, considerou-se a acumulação apenas destes dois últimos tipos de caudal – situações assinaladas na Tabela I por T+D+E e por D+E, respectivamente.

Tabela I – Informação relativa aos nove casos de estudo.

Caso de estudo	Ano de entrada em serviço	Capacidade de regularização		Transferência de caudais					Regime modificado ⁵		
		Albufeira de regularização	Fio-de-água ou dispondo de uma capacidade de regularização muito pequena	Com transvase entre cursos de água		Sem transvase entre cursos de água			T+D+E	D+E	
				Para uma albufeira	Directamente para outro curso de água	Central pé-de-barragem	Circuito hidráulico relativamente extenso				
						Com turbinamento directo para o curso de água		Sem turbinamento directo (transferência para uma albufeira)			
1	1992	X					X ⁴			X	
2	1993		X			X				X	
3	1972 e 1987	X		X							X
4	1956 ¹ /1958 ²	X						X			X
5	1965	X					X				X
6	1993 ¹ /1994 ²	X			X						X
7	1985	X		X							X
8	1954	X				X				X	
9	1944/50 e 1993 ³	X				X				X	

Datas em conformidade com: ¹ a EDP - Energias de Portugal; ² a CNPGB - Comissão Nacional Portuguesa de Grandes Barragens, com o apoio do INAG – Instituto da Água.

³ Aproveitamento desactivado em 1980, tendo reentrado em serviço em 1993, após grande renovação.

⁴ Uma vez que o regime modificado respeita à secção a jusante da central hidroeléctrica, em termos da análise efectuada é como se de uma central pé-de-barragem se tratasse.

⁵ Consoante a informação disponível, a sequência de caudais respeitante ao regime modificado foi obtida por acumulação dos registos diários de: T+D+E – caudais turbinados, descarregados e ecológicos, se previstos; D+E – caudais descarregados e ecológicos, se previstos.

Tabela II – Dados de caudais médios diários afluentes (Natural) e efluentes (Modificado) relativos aos nove casos de estudo (nº de dias).

Caso de estudo	Regime hidrológico	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1	Natural					22	54	156	269	326	301	333	347	352	354	333	330	304	356	360
	Modificado						54	156	270	329	303	335	347	350	344	333	330	304	356	360
2	Natural	275	365	365	366	365	365	365	366	365	365	333	339	347	346	341	328	335	352	358
	Modificado						56	156	269	328	300	335	339	347	346	341	328	335	357	359
3	Natural												366	365	365	365	366	365	365	365
	Modificado												366	365	365	365	366	365	365	365
4	Natural					99	269	177	279	328	321	333	332	348	339	342	325	335	351	357
	Modificado					53	273	177	289	334	323	336	334	348	340	342	325	335	356	358
5	Natural												366	365	365	365	366	365	365	365
	Modificado												366	365	365	365	366	365	365	365
6	Natural												366	365	365	365	366	365	365	365
	Modificado												366	365	365	365	366	365	365	365
7	Natural												366	365	365	365	366	365	365	365
	Modificado												366	365	365	365	366	365	365	365
8	Natural												366	365	365	365	366	365	365	365
	Modificado												366	365	365	365	366	365	365	365
9	Natural												366	365	365	365	366	365	365	365
	Modificado												366	365	365	365	366	365	365	365

Reunidos os dados de caudal representativos dos regimes natural e modificado, prosseguiu-se com a determinação dos IHA, para o que foram selecionados os 33 indicadores sistematizados na Tabela III. Tais indicadores estão organizados em cinco grupos consoante o “descriptor” do regime hidrológico sobre o qual incidem, permitindo, deste modo,

caracterizar e quantificar a alteração no regime hidrológico de acordo com as seguintes características fundamentais: magnitude, predictabilidade, duração, frequência e taxa de variação.

O cálculo dos anteriores indicadores utilizou o *software* IHA7 version 7.1 (The Nature Conservancy, 2009) tendo por base as amostras de caudais médios diários representativas, quer do regime natural (caudais afluentes às albufeiras), quer do regime modificado (caudais no trecho de rio a jusante das barragens). Para diferenciar níveis de alteração hidrológica, procedeu-se à comparação de indicadores entre aqueles regimes, tendo conceptualmente por base a razão de alteração, RA, definida pela seguinte equação, na qual IHA designa um mesmo indicador no numerador e no denominador, especificando-se, através de um índice, o regime a que esse indicador respeita (natural ou modificado):

$$RA = \frac{(IHA)_{\text{natural}}}{(IHA)_{\text{modificado}}} \quad (1)$$

Tabela III – Indicadores de alteração hidrológica – IHA (Richter, Baumgartner, Powell, & Braun, 1996).

Grupo	Características	Indicador de alteração hidrológica - IHAi	
1	Magnitude das descargas mensais	Magnitude/predictabilidade IHA ₁ to IHA ₁₂ Média* do escoamento médio diário para cada mês	
2	Magnitude e duração das descargas anuais extremas	Magnitude/duração	IHA ₁₃ Mínimo anual para 1 dia
			IHA ₁₄ Mínimo anual para 3 dias
			IHA ₁₅ Mínimo anual para 7 dias
			IHA ₁₆ Mínimo anual para 30 dias
			IHA ₁₇ Mínimo anual para 90 dias
			IHA ₁₈ Máximo anual para 1 dia
			IHA ₁₉ Máximo anual para 3 dias
			IHA ₂₀ Máximo anual para 7 dias
			IHA ₂₁ Máximo anual para 30 dias
			IHA ₂₂ Máximo anual para 90 dias
			IHA ₂₃ Número de dias com escoamento médio diário nulo
IHA ₂₄ Índice do escoamento base			
3	Data das descargas anuais extremas	Predictabilidade IHA ₂₅ Número de ordem do dia de cada escoamento mínimo anual IHA ₂₆ Número de ordem do dia de cada escoamento máximo anual	
4	Frequência e duração dos pulsos altos/baixos	Magnitude/frequência/duração	IHA ₂₇ Número de pulsos baixos
			IHA ₂₈ Duração média* dos pulsos baixos
			IHA ₂₉ Número de pulsos altos
			IHA ₃₀ Duração média* dos pulsos altos
5	Taxa/frequência das mudanças no hidrograma	Frequência/taxa de alteração	IHA ₃₁ Média* das subidas
			IHA ₃₂ Média* das descidas
			IHA ₃₃ Número de variações

*No presente caso adotou-se uma análise não paramétrica, o que significa que ao invés da média se adotou a mediana, com o objetivo de atender ao enviesamento da distribuição.

Atendendo a que a magnitude dos resultados fornecidos pela equação (1) pode variar diversas ordens de grandeza, dependendo dos valores relativos do numerador e do denominador, o que dificulta a sua comparação, nomeadamente, entre casos de estudos, introduziu-se uma ligeira modificação que consistiu em adotar o inverso da mencionada equação sempre que o resultado da mesma equação fosse superior a 1, de acordo com:

$$mRA = \begin{cases} \min \left\{ \frac{(IHA)_{\text{natural}}}{(IHA)_{\text{modificado}}}; \frac{(IHA)_{\text{modificado}}}{(IHA)_{\text{natural}}} \right\} & \text{se } (IHA)_{\text{natural}} \neq 0 \\ 0 & \text{se } (IHA)_{\text{natural}} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Para cada indicador, um resultado de mRA próximo de zero traduz um nível de alteração hidrológica muito grande, ao passo que um resultado próximo de 1 indica que o regime modificado não varia muito relativamente ao regime natural. Anota-se que apenas foram calculadas razões de alteração para valores de $(IHA)_{\text{modificado}}$ diferentes de zero e que verificando-se $(IHA)_{\text{natural}}=0$ a razão mRA foi considerada igual a zero, mesmo para valores de $(IHA)_{\text{modificado}}$ relativamente pequenos, uma vez que, neste caso, qualquer modificação, ainda que pequena, representa sempre uma grande alteração relativamente ao estado natural.

Resultados

Na Tabela IV apresentam-se os valores das razões mRA para cada um dos casos de estudo. De modo a sintetizar resultados e a condensar a informação, obteve-se também a Tabela V que contém, para cada grupo, a média dos correspondentes valores de mRA. Os resultados de mRA de ambas as tabelas foram “organizados”, embora de modo subjetivo, consoante o nível de alteração induzido pela barragem, para o que foram consideradas as seguintes três classes (identificadas por símbolos e diferentes tons de cinzento, de acordo com legenda incluída na Tabela V): alteração reduzida (mRA superior a 0,67), moderada (mRA entre 0,33 e 0,67) e alta (mRA inferior a 0,33).

Tabela IV – Valores de mRA para os diferentes indicadores e casos de estudo (ver legenda da Tabela V).

Grupo	IHA	Caso de estudo								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	IHA ₁	↑ 0,856	↑ 0,936	↓ 0,046	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,291	↑ 0,949	⇒ 0,624
	IHA ₂	↑ 0,939	↑ 0,914	↓ 0,072	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,123	↑ 0,764	↑ 0,740
	IHA ₃	↑ 0,723	↑ 0,826	↓ 0,086	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,127	↑ 0,941	↑ 0,679
	IHA ₄	↑ 0,855	↑ 0,932	↓ 0,093	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↑ 0,760	↑ 0,925
	IHA ₅	↑ 0,998	⇒ 0,645	↓ 0,146	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	⇒ 0,657	↓ 0,141
	IHA ₆	↑ 0,957	↑ 0,739	↓ 0,305	↓ 0,048	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	⇒ 0,526	↓ 0,000
	IHA ₇	↑ 0,758	↑ 0,836	⇒ 0,395	↓ 0,307	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,150	↓ 0,000
	IHA ₈	⇒ 0,636	↑ 0,814	⇒ 0,509	↑ 0,843	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,101	↓ 0,000
	IHA ₉	⇒ 0,388	↑ 0,714	↑ 0,700	↑ 0,741	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,197	↓ 0,000
	IHA ₁₀	⇒ 0,632	⇒ 0,602	↓ 0,117	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	⇒ 0,386	⇒ 0,351
	IHA ₁₁	↑ 0,957	↑ 0,763	↓ 0,097	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↑ 0,802	↑ 0,790
	IHA ₁₂	↑ 0,899	↑ 0,702	↓ 0,079	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↑ 1,000	⇒ 0,547
2	IHA ₁₃	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,048		↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000		
	IHA ₁₄	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,256		↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	
	IHA ₁₅	↓ 0,270	↓ 0,109	⇒ 0,343	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↑ 0,743	
	IHA ₁₆	↑ 0,886	⇒ 0,602	↑ 0,859	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,325	↑ 0,875
	IHA ₁₇	↑ 0,735	↑ 0,716	⇒ 0,379	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,313	↓ 0,142
	IHA ₁₈	↑ 0,753	↑ 0,869	↓ 0,062	↓ 0,088	↓ 0,000	↓ 0,212	⇒ 0,433	↑ 0,843	↑ 0,719
	IHA ₁₉	↑ 0,826	↑ 0,998	↓ 0,045	↓ 0,115	↓ 0,000	↓ 0,135	⇒ 0,608	↑ 0,812	↑ 0,866
	IHA ₂₀	↑ 0,812	↑ 0,981	↓ 0,034	↓ 0,131	↓ 0,000	↓ 0,072	⇒ 0,618	↑ 0,786	↑ 0,901
	IHA ₂₁	↑ 0,851	↑ 0,910	↓ 0,033	↓ 0,065	↓ 0,000	↓ 0,030	⇒ 0,452	↑ 0,906	↑ 0,999
	IHA ₂₂	↑ 0,885	↑ 0,965	↓ 0,042	↓ 0,067	↓ 0,000	↓ 0,016	⇒ 0,354	↑ 0,891	↑ 0,994
	IHA ₂₃	↓ 0,013	↓ 0,023	⇒ 0,583	↓ 0,188	↓ 0,017	↓ 0,023	↓ 0,008	↓ 0,279	⇒ 0,510
	IHA ₂₄	↓ 0,275	↓ 0,115	↓ 0,022	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,303	
3	IHA ₂₅	↓ 0,208	↓ 0,309	↓ 0,280	↓ 0,010	↓ 0,006	↓ 0,005	↓ 0,033	⇒ 0,448	↓ 0,083
	IHA ₂₆	↑ 0,803	↑ 0,841	⇒ 0,437	⇒ 0,591	↓ 0,005	⇒ 0,423	↑ 0,674	⇒ 0,579	↑ 0,790
4	IHA ₂₇	⇒ 0,616	↑ 0,965	↓ 0,032	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↑ 0,891	
	IHA ₂₈	↑ 0,923	↑ 0,714	↓ 0,056	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,000	↑ 1,000	
	IHA ₂₉	⇒ 0,365	↑ 0,957	↓ 0,159	⇒ 0,365	↓ 0,000	↓ 0,057	↓ 0,211	⇒ 0,461	⇒ 0,350
5	IHA ₃₀	⇒ 0,593	↑ 0,795	↓ 0,122	↑ 0,873	↓ 0,156	↑ 0,827	⇒ 0,642	⇒ 0,387	⇒ 0,221
	IHA ₃₁	↓ 0,303	↑ 0,989	↓ 0,155	↑ 0,782	↓ 0,062	↓ 0,041	↓ 0,076	↓ 0,308	↓ 0,138
	IHA ₃₂	⇒ 0,336	↑ 0,993	↓ 0,094	⇒ 0,531	↓ 0,060	↓ 0,056	↓ 0,178	⇒ 0,367	↓ 0,193
	IHA ₃₃	↑ 0,993	↑ 0,884	↓ 0,043	↓ 0,087	↓ 0,000	↓ 0,003	↓ 0,049	↑ 0,953	↑ 0,695

Tabela V – Médias dos valores mRA para os diferentes grupo de indicadores e de casos de estudo.

Grupo	Caso de estudo								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	↑ 0,800	↑ 0,785	↓ 0,220	↓ 0,162	↓ 0,000	↓ 0,000	↓ 0,045	⇒ 0,603	⇒ 0,400
2	⇒ 0,526	⇒ 0,524	↓ 0,226	↓ 0,065	↓ 0,001	↓ 0,041	↓ 0,206	⇒ 0,564	↑ 0,751
3	⇒ 0,506	⇒ 0,575	⇒ 0,358	↓ 0,301	↓ 0,005	↓ 0,214	⇒ 0,353	⇒ 0,513	⇒ 0,437
4	⇒ 0,624	↑ 0,858	↓ 0,092	↓ 0,309	↓ 0,039	↓ 0,221	↓ 0,213	↑ 0,685	↓ 0,286
5	⇒ 0,544	↑ 0,955	↓ 0,097	⇒ 0,467	↓ 0,041	↓ 0,033	↓ 0,101	⇒ 0,542	⇒ 0,342

Legenda:

Nível de alteração	
↑ Reduzido	mRA > 0,67
⇒ Moderado	0,33 < mRA < 0,67
↓ Elevado	mRA < 0,33

Principais conclusões

Os resultados obtidos indicam claramente um elevado grau de alteração introduzido pelos casos de estudo 3, 6 e 7, aliás, como seria de esperar, pois respeitam a transvases (ver Tabela I). Com efeito, em consequência do desvio de aflúncias para outros cursos de água, é de esperar que o regime a jusante de cada uma daquelas barragens fique bastante alterado.

Contrastando com a anterior situação, o caso 2, referente a um aproveitamento com exploração praticamente a fio-de-água, regista o menor nível de alteração, facto que vai de encontro às expectativas, uma vez que a diminuta capacidade de regularização faz com que os padrões temporais dos regimes afluente à albufeira e dela efluente sejam muito próximos. Contudo, importa realçar que, não obstante esta “semelhança”, se admite que o padrão das afluições à albufeira do caso 2 possa não representar um regime natural visto advir do modo de exploração da central do caso 1, a jusante da qual se insere aquela albufeira, aspeto cuja análise está, contudo, para além do âmbito em discussão.

Tanto o caso 2, como os casos 8 e 9 dispõem de centrais pé-de-barragem, pelo que os caudais efluentes respeitam a caudais turbinados para os trechos de rio imediatamente a jusante das barragens. Embora por limitações decorrentes da informação que foi possível obter, o caso 1 foi analisado como se de uma central pé-de-barragem se tratasse, como oportunamente anotado a propósito da Tabela I. Os casos 2, 8 e 9 e, por força dos dados incorporados na análise, o caso 1 são os que nitidamente evidenciam menor alteração do regime hidrológico, sendo que o caso 2 beneficia ainda da exploração a fio-de-água, como antes realçado.

Relativamente aos casos 4 e 5, embora não se tratem de transvases, o facto de disporem de extensos circuitos hidráulicos que promovem o afastamento dos caudais efluentes dos trechos fluviais que, a jusante, são adjacentes às origens de água, resulta em alterações nesses trechos tanto ou mais significativas do que as induzidas por alguns dos casos com transvase.

As anteriores conclusões podem ter duas leituras. Uma direta e que se afigura quase redundante, pois transcreve o expectável: uma vez que se conheça o regime de exploração de uma dada albufeira, leva a reconhecer que os aproveitamentos com menor capacidade de transferência temporal de afluições (ou seja, com menor capacidade de regularização) e que devolvam caudais ao curso de água tão perto quanto possível das respetivas origens são obviamente os que induzem menor alteração nos regimes hidrológicos. A segunda leitura, que se julga ser a pertinente e a promissora em termos de investigação e de aplicações futuras, evidencia o facto de os indicadores de alteração hidrológica se terem revelado uma ferramenta capaz de captar, comparar e hierarquizar, em termos quantitativos e, como tal, objetivos, as alterações causadas no regime hidrológico por barragens, apenas exigindo para o efeito que se disponha de informação hidrológica compatível com a caracterização tão precisa quanto possível do regime fluvial a jusante dessas barragens.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do Projeto PTDC/AAC-AMB/120197/2010 – “OASIS: How to Run Regulated Rivers in Semi-arid Regions?”.

Referências bibliográficas

NILSSON, C. e SVEDMARK, M. – Basic Principles and Ecological Consequences of Changing Water Regimes: Riparian Plant Communities. **Environ. Manage.** ISSN 0364-152X, 30:4 (2002) 468-480.

RICHTER, B.D., BAUMGARTNER, J.V., POWELL, J. e BRAUN, D.P. A Method for Assessing Hydrological Alteration within Ecosystems. **Conserv. Biol.** ISSN: 1523-1739, 10:4 (1996) 1163-1174.

THE NATURE CONSERVANCY. **Indicators of Hydrologic Alteration version 7.1. User's Manual.** (2009) [Consult. 19 Set. 2013]. Disponível na internet: URL:www.conservationgateway.org].