

## NOVAS PERSPECTIVAS PARA A DETERMINAÇÃO DO CAUDAL ECOLÓGICO EM REGIÕES SEMI-ÁRIDAS

Maria Helena Alves<sup>1</sup>; João Manuel Bernardo<sup>2</sup>

### RESUMO

Os cursos de água de regiões semi-áridas, onde se inclui o Sul de Portugal, caracterizam-se por caudal nulo ou muito baixo durante a estiagem, apresentando frequentemente enormes extensões do leito pontuado por pegos. As comunidades bióticas estão adaptadas à alternância de condições lótic-lênticas. No entanto, em situações de prolongamento ou intensificação de estiagem, como sucede com a implantação de um aproveitamento hidráulico, a elevação do *stress* a que é sujeito o biota pode por em causa a sua sobrevivência.

A maioria dos métodos de determinação do caudal ecológico foram desenvolvidos para cursos de água salmonícolas, que mantêm caudal ao longo de todo o ano. Por outro lado, a determinação do caudal ecológico para cursos de água temporários requer, pelo seu carácter peculiar, uma nova abordagem, em que garantir a persistência dos pegos até ao final da época de estiagem, com condições compatíveis com a sobrevivência das comunidades aquáticas, é uma questão de particular importância. As águas subterrâneas desempenham um importante papel neste processo, dada a sua conexão com as águas superficiais, devendo por isso ser consideradas.

Este artigo discute, sumariamente, as limitações dos métodos mais comuns para a determinação do caudal ecológico, tendo em consideração as peculiaridades dos rios temporários Mediterrânicos, em particular durante o período de estiagem.

Atendendo à importância crucial deste período, desenvolveu-se um método empírico que envolve: (i) a caracterização das comunidade piscícolas ao longo do rio, no sentido de identificar os troços mais importantes; (ii) a análise da fotografia aérea para identificar a variação interanual da disponibilidade de pegos ao longo do rio e nos troços identificados, (ii) e o estabelecimento de uma relação entre a persistência de pegos durante o Verão com o escoamento, que envolve um modelo precipitação-escoamento.

**Palavras-chave:** caudal ecológico, cursos temporários, regiões-semi-áridas, Sul de Portugal.

---

<sup>1</sup> Eng<sup>a</sup> Ambiente (FCT-UNL), Mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos (IST)  
Instituto da Água, Av. Almirante Gago Coutinho n<sup>o</sup>30, 1000 Lisboa. Portugal

<sup>2</sup> Biólogo (FCUL), Doutor em Ecologia e Sistemática (FCUL)  
Prof. Auxiliar do Depart. de Ecologia, Universidade de Évora, Largo dos Colegiais, 7000 Évora. Portugal

*Seminário sobre Barragens e Ambiente.* Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens.  
Porto, 7 a 9 de Maio de 1998.

# 1 - INTRODUÇÃO

## 1.1 - Métodos para a determinação do caudal ecológico e cursos de água Mediterrânicos

A generalidade dos métodos disponíveis para a determinação dos caudais ecológicos foram desenvolvidos para cursos de água perenes da América do Norte. Estes métodos podem-se dividir em três categorias tendo em conta os pressupostos e os princípios em que se baseiam: métodos baseados em registos históricos de caudais, métodos baseados na relação entre os parâmetros hidráulicos e o caudal e métodos baseados na relação entre o habitat e o caudal.

Os métodos baseados em registos históricos de caudais definem o caudal ecológico com base no regime hidrológico natural, assumindo que o caudal que corresponde a certa percentagem do caudal médio diário, ou um caudal com uma certa duração definido com base na curva de duração de caudais, garantirá um determinado grau de protecção do ecossistema. Estes métodos apresentam grande especificidade relativamente ao local e às espécies para os quais foram desenvolvidos. Por isso uma das grandes limitações destes métodos é que a sua aplicação deve restringir-se aos rios morfologicamente semelhantes àqueles para os quais foram inicialmente desenvolvidos e em que a relação entre o habitat e o caudal é semelhante LOAR e SALE (1981); GORDON *et al.* (1992); JOWETT (1997). O método mais utilizado é o Método de Tennant (Quadro 1) em que o caudal ecológico recomendado é calculado com base no caudal médio anual, calculado para o local do aproveitamento hidráulico, em que são utilizadas diferentes percentagens para o semestre húmido e para o semestre seco. Outro método, é o método do Caudal Básico ou de Nova Inglaterra, em que o caudal ecológico corresponde à mediana do caudal no mês de menor caudal, geralmente Agosto LOAR e SALE (1981).

### Quadro 1

Regime de caudais recomendados, segundo o método de Tennant (adaptado de TENNANT (1976))

Caudal	Regime de caudais recomendados (% do caudal médio anual)	
	Semestre seco	Semestre húmido
de descarga ou máximo	200	
gama de variação óptima	60-100	
excelente	40	60
muito bom	30	50
bom	20	40
fraco ou degradante	10	30
pobre ou mínimo	10	
degradação elevada	0 - 10	

Os métodos baseados na relação entre os parâmetros hidráulicos e o caudal, consistem no estabelecimento de uma relação entre o caudal e certas características físicas do curso de água, como por exemplo o perímetro molhado. O caudal ecológico é definido como o caudal que permite apenas uma certa redução do valor desse parâmetro hidráulico numa secção seleccionada, considerando-se que a garantia de um valor mínimo para essas variáveis permitirá

manter a integridade do ecossistema LOAR e SALE (1981); GORDON *et al.* (1992); JOWETT (1997).

Os métodos baseados na relação entre o habitat e o caudal recorrem a critérios de aptidão de habitat para uma ou mais espécies, em determinada(s) fase(s) do ciclo de vida, para estimar a variação do habitat disponível em função do caudal. O caudal ecológico é definido com base num caudal que permite maximizar a área de habitat disponível e abaixo do qual esta decresce rapidamente. Entre os métodos deste tipo aquele que é mais utilizado é a Metodologia Incremental (Instream Flow Incremental Methodology, IFIM) BOVEE (1982). Esta metodologia baseia-se no princípio de que a distribuição espacial dos organismos lóticos, assim como certas fases do seus ciclos de vida são determinadas, entre outros factores, pelas características hidráulicas, estruturais e morfológicas do curso de água. Cada organismo tende a seleccionar no curso de água as condições que lhe são mais adequadas, correspondendo a cada variável ambiental um grau de preferência que é proporcional à aptidão do valor da variável para a espécie. A variável de decisão é a área de habitat disponível para as espécies piscícolas, ou outras, definida como uma função do caudal, em que são estimadas as alterações na área de habitat disponível para cada fase do ciclo de vida ou actividade particular (reprodução, alimentação, repouso), devido a alterações no regime hidrológico do curso de água GORE *et al.* (1991). As principais limitações à sua aplicação são, entre outras: (i) o pressuposto de que o leito do curso de água é estável, (ii) a necessidade de informação detalhada sobre os habitats das espécies consideradas relevantes em cada fase do seu ciclo de vida, (iii) a complexidade da modelação do coberto.

A aplicabilidade destes métodos aos cursos de água mediterrânicos é questionável, devido a algumas particularidades destes ecossistemas e do respectivo biota.

O Sul de Portugal, e uma grande parte da Península Ibérica, tem um clima Mediterrâneo seco, com Verões quentes, insolação elevada e uma evapotranspiração média anual de 900 mm. De acordo com a classificação climática de Thornthwaite, grande parte desta área tem um clima semi-árido.

A precipitação anual média é de 560 mm com um padrão de distribuição da precipitação irregular ao longo do ano. A distribuição interanual é também irregular, com cerca de 350 mm em anos secos e 900 mm em anos médios, estando a região frequentemente sujeita a longas séries de anos secos. A distribuição anual do escoamento é fortemente determinada pela distribuição da precipitação, concentrando-se cerca de 80% entre Novembro e Abril. O escoamento médio anual é de aproximadamente 100 mm, e o coeficiente de variação tem um valor médio de 0.8 VEIGA DA CUNHA *et al.* (1974).

Qualquer metodologia para a determinação do caudal ecológico em cursos de água mediterrânicos, particularmente para os rios temporários, i.e. que tem caudal em cerca de 20-80% do tempo DAVIES *et al.* (1994), devem considerar os seguintes aspectos:

- elevada variabilidade do regime hidrológico e a grande heterogeneidade geomorfológica não permitem a caracterização do leito do curso de água com base em alguns transeptos;

- ocorrência de cheias e de longos períodos de seca;
- ocorrência sazonal de cheias permitem manter a morfologia do canal e o substrato;
- inexistência de espécies economicamente importantes, mas muitas são endemismos ibéricos, com um elevado valor de conservação;
- a vegetação ripária pode apresentar um valor ecológico e paisagístico elevado em muitos troços, podendo constituir, como grupo alvo, uma alternativa às comunidades piscícolas, em muitos troços inexistentes ou irrelevantes;
- existência de grandes lacunas de informação relativamente às espécies endémicas, nomeadamente no que se refere ao seu habitat, contudo, e aparentemente, estas espécies são generalistas, suportando uma grande variabilidade de condições ambientais;
- existência a uma outra escala, de uma grande falta de informação relativamente ao funcionamento dos ecossistemas fluviais Mediterrânicos, especialmente no que se refere ao efeito das cheias, das secas, e da variabilidade do caudal na estrutura das comunidades;
- conhecimento limitado do papel regulador do caudal nestes ecossistemas.

## **1.2 - O significado do caudal ecológico em regiões semi-áridas**

Devido ao regime pluviométrico mediterrânico, observam-se em muitos cursos da Península Ibérica, e particularmente no Sul, enormes variações sazonais de caudal. Aos grandes caudais do período chuvoso sucedem-se, no período seco, caudais nulos ou muito baixos. O sistema hídrico apresenta-se como uma sucessão temporal de ambientes lóticos e lênticos, sendo estes frequentemente separados por importantes extensões de leito seco. Em regiões mais áridas e em anos mais secos, poucos pegos subsistem durante a estiagem, ficando a quase totalidade da rede hídrica completamente seca, o que sucede designadamente nos cursos de ordem mais baixa. Esta situação é generalizável aos cursos temporários ou intermitentes das regiões semi-áridas.

O biota é submetido a um *stress* elevado e, face a essas pressões, desenvolveu os necessários mecanismos de adaptação. Com a redução de caudal e a diminuição da altura da água, algumas espécies, nomeadamente peixes, recuam para zonas mais profundas em que a probabilidade de persistência da água é superior. Os pegos que persistem tornam-se refúgios para as espécies aquáticas, particularmente as piscícolas. A diminuição do volume e da área molhada dos pegos, o aumento da temperatura e a alteração das características químicas da água, conjuntamente com o aumento da vulnerabilidade à predação pela lontra, determinam o sucesso das populações que ocupam os pegos, até que torne a haver caudal no rio.

Após o restabelecimento da continuidade do meio hídrico, organismos sobreviventes recolonizam a rede hídrica. Em geral a recolonização verifica-se de jusante para montante, dos pegos localizados no mesmo curso de água ou cursos de ordem 3 e 4 para cursos de ordem 1 e 2. Temos, portanto, no período seco, uma fase de extinção seguida de uma fase de recolonização/imigração, caracterizada por uma expansão das populações, quando torna a haver caudal no rio.

Algumas espécies endémicas, tais como ciprinídeos reófilos (*Chondrostoma willkommii* e *Barbus* spp.), requerem diferentes condições de habitat, durante as distintas fases do ciclo de vida. Os habitats de reprodução são as cascalheiras com corrente elevada, que correspondem também aos habitats preferidos pelos juvenis. Fora da época de reprodução, os adultos são normalmente encontrados em zonas mais profundas e de velocidades baixas.

Os processos migratórios, associados à reprodução, desenvolvidos por algumas espécies - migrações potamódromas reprodutivas, que ocorrem do final do Inverno até meados da Primavera (Bernardo, 1996) articulam-se, assim, com a recolonização da rede hídrica.

A existência de um padrão de utilização do habitat, relacionado com diferentes necessidades de corrente por parte das espécies reófilas, em particular durante a fase de reprodução e para os juvenis, reflecte a importância de ocorrência de caudal.

A construção de barragens e a derivação de caudais alteram o regime hidrológico natural dos cursos de água, reduzindo o caudal médio anual, diminuindo a variação sazonal do caudal, alterando a época de ocorrência dos caudais extremos, reduzindo a magnitude das cheias e/ou impondo descargas não naturais. Uma das principais consequências é o prolongamento do período de estiagem, cujo início é antecipado para o início da Primavera, e que se pode estender por cerca de 8 meses. A redução do caudal implica também o agravamento da qualidade da água, por abaixamento da diluição e diminuição da capacidade natural de depuração.

As características do regime hidrológico natural, tais como os padrões de distribuição sazonal de caudal, a variabilidade inter e intra anual, a ocorrência de caudais de cheia de diferentes magnitudes, duração e períodos de retorno, a ocorrência de caudais baixos e de secas, têm certamente um papel determinante nas características dos ecossistemas fluviais das regiões semi-áridas ARTHINGTON (1994); ARTHINGTON e PUSEY (1994); RICHTER *et al.*, (1996).

A incorporação destas características no regime de caudais modificado deverá permitir manter a estrutura e a integridade funcional dos ecossistemas tal como foi sugerido por alguns autores KING e O'KEEFFE (1989); ARTHINGTON *et al.* (1991); ARTHINGTON (1994); ARTHINGTON e PUSEY (1994); RICHTER *et al.* (1996); KING e THARME (1996). O regime do caudal ecológico deverá ser definido numa base mensal, ou pelo menos sazonalmente, e deverá incorporar a variação interanual apresentando valores especiais para anos secos.

A estiagem constitui o período em que se fazem sentir as maiores pressões ambientais, o agravamento desta situação devido à regularização e redução de caudais, implica que a manutenção dos pegos durante este período é um aspecto crucial a ter em consideração na definição do caudal ecológico em cursos de água temporários. Assim, e nesse sentido, foi desenvolvida uma nova abordagem aplicada ao Aproveitamento Hidráulico do Enxoé, na Ribeira do Enxoé, para a definição de caudais que permitiam a manutenção de condições de disponibilidade de água adequadas ao biota durante este período.

## **2 - CASO DE ESTUDO : A RIBEIRA DO ENXOÉ**

O Aproveitamento Hidráulico do Enxoé na Ribeira do Enxoé, junto a Lagares de Alpendes, na freguesia de S. Salvador, concelho de Serpa, visa o abastecimento público aos concelhos de Serpa e Mértola.

A barragem é de terra com núcleo argiloso, com uma altura máxima acima do leito do rio de 20.5 m. A capacidade útil da albufeira à cota 175.0, nível de pleno armazenamento, é  $9.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ , para uma capacidade total de  $10.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ , a que correspondendo uma superfície inundada de  $2.05 \text{ km}^2$  HIDROTÉCNICA PORTUGUESA (1994). A bacia dominada pela barragem tem  $60.8 \text{ km}^2$  de área, a que corresponde um comprimento aproximado do curso de água principal de 15 km.

A Ribeira do Enxoé, curso de 2ª ordem, tem 32 km de comprimento desde a nascente até à sua confluência com o rio Guadiana. A bacia hidrográfica tem  $228.5 \text{ km}^2$  de área e 81.6 km de perímetro. A precipitação média anual na bacia é de 602 mm, com um valor mínimo aproximado de 380 mm, e um valor máximo de cerca de 890 mm. O escoamento médio anual é  $32.66 \times 10^6 \text{ m}^3$ , concentrado entre Novembro e Dezembro e baixo entre Abril e Setembro, durante aproximadamente seis meses.

O escoamento anual médio na bacia de drenagem da barragem é de  $8.63 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Num ano seco com uma probabilidade de ocorrência de 20 %, este valor é de  $2.24 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

As fontes de poluição pontuais mais significativas existentes na área da bacia hidrográfica da barragem do Enxoé, de acordo com um reconhecimento efectuado pelo Instituto da Água em colaboração com a DRAAlentejo, são a estação de tratamento de águas residuais de Vale de Vargo, que se encontra a funcionar de forma muito deficiente, o lagar de azeite “Machado & Barradas”, junto a esta povoação, e a Herdade da Abóboda. Contudo não foram detectados quaisquer sinais de eutrofização ou de má qualidade da água, mesmo no fim do Verão.

### **3. METODOLOGIA GERAL**

A metodologia proposta compõe-se das seguintes etapas:

1. Caracterização das comunidades piscícolas no troço a jusante da barragem até à confluência com o rio Guadiana, identificando potenciais padrões de distribuição longitudinal da fauna piscícola e os troços mais importantes;
2. Identificação dos pegos que se mantêm durante a estiagem, através da análise da fotografia aérea disponível relativa a diferentes anos hidrológicos;
3. Utilização de um modelo precipitação-escoamento que permita a análise do regime hidrológico para os anos da fotografia aérea;

4. Com base na informação fornecida pelo modelo de precipitação-escoamento, definição de regime de um caudal ecológico que permita garantir a persistência dos pegos com condições favoráveis para a fauna piscícola.

## 4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

### 4.1 - Caracterização das comunidades piscícolas

Foram seleccionados vários locais de amostragem designados A, B, C, D, E, F e G (junto à foz do rio) que distam 21.5, 24.9, 25.8, 26.5, 30.0, e 35.1 km, respectivamente, da cabeceira da Ribeira do Enxoé. Foi realizada amostragem com pesca eléctrica durante o mês de Novembro de 1996, antes do início da precipitação.

A ictiofauna do Enxoé é composta por sete espécies (Quadro 2), número relativamente baixo quando comparado com o do Guadiana (16 espécies). Uma possível explicação para este facto é a existência de declive acentuado com pequenas quedas de água no troço final do Enxoé, junto à confluência com o rio Guadiana, que constituirão uma barreira física dificultando a transposição de jusante para montante. A aparente redução da colonização do rio Guadiana causa, provavelmente, algum isolamento das comunidades piscícolas da Ribeira do Enxoé. Assim, a persistência das comunidades piscícolas na Ribeira do Enxoé depende fortemente (se não totalmente) da possibilidade de reprodução local dos indivíduos existentes na Ribeira do Enxoé, dado que no caso de ocorrência de situações críticas, não ocorrerão migrações de jusante que permitam a recolonização do rio. O aparente isolamento das comunidades piscícolas na Ribeira do Enxoé reforça a necessidade de definição do caudal ecológico.

#### Quadro 2

Espécies piscícolas capturadas e respectivo estatuto de conservação (seg. S.N.P.R.C.N., 1991).  
End. - endémica, Indíg. - indígena, Intr. - introduzida

Espécie	Nome vulgar	Tipo	Estatuto
Família Cyprinidae			
<i>Barbus microcephalus</i> Almaça, 1967	Barbo-de-cabeça-pequena	End.	Raro
<i>Chondrostoma lemmingii</i> (Steindachner, 1866)	Boga-de-boca-arqueada	End.	Raro
<i>Leuciscus pyrenaicus</i> Gunther, 1868	Escalo-do-Sul	Indíg.	Não ameaç.
<i>Rutilus alburnoides</i> (Steindachner, 1866)	Bordalo	Indíg.	Não ameaç.
<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758	Carpa	Intr.	Não ameaç.
<i>Carassius auratus</i> (Linnaeus, 1758)	Pimpão	Intr.	Não ameaç.
Família Poeciliidae			
<i>Gambusia holbrooki</i> Girard, 1859	Gambúsia	Intr.	Não ameaç.

A avaliação das comunidades piscícolas baseou-se nos seguintes parâmetros:

1. Número de espécies;
2. Abundância relativa, captura por unidade de esforço de pesca (CPUE), sendo 1 minuto de pesca eléctrica a unidade de esforço;
3. Número de espécies consideradas ameaçadas de acordo com o Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal SNPRCN (1991);
4. Ocorrência de indivíduos de média a grande dimensão (comprimento total, CT > 25 cm) de espécies com longevidade elevada
5. Índice Ictiológico, índice biótico simples que incorpora os seguintes parâmetros: número de espécies e abundância relativa, proporção de espécies intolerantes e número de espécies endémicas, e que permite avaliar a qualidade relativa das comunidades piscícolas BERNARDO (1997).

Os locais E e D são os que apresentam valores mais elevados (Quadro 3).

### Quadro 3

Número de espécies, abundância relativa, número de espécies ameaçadas e presença de espécimens de barbos de grandes dimensões e Índice Ictiológico para as comunidades piscícolas nos locais de amostragem na ribeira do Enxoé.

Parâmetros	Locais de amostragem					
	A	C	D	E	F	G
Número de espécies	5	5	4	5	4	3
Abundância relativa	8	5	12	4	8	12
Número de espécies ameaçadas	1	1	2	2	1	1
Indivíduos de maiores dimensões CT > 25 cm	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim
Índice Ictiológico	11	10	12	11	10	11

As espécies com longevidade elevada, tal como *B. microcephalus*, foram consideradas indicadoras de reduzidos constrangimentos hídricos. A ocorrência, em alguns troços, de indivíduos de dimensão média a grande sugere a persistência de condições de estiagem favoráveis, em que se verifica a persistência de *pools* com profundidades superiores a 0.8 m. Durante o Verão os peixes de maiores dimensões são encontrados apenas nos habitats de maiores profundidades. Apesar dos barbos serem tolerantes à degradação das condições ambientais, nomeadamente má qualidade da água durante o Verão, tornam-se bastante vulneráveis, em particular à predação, quando confinados em pequenos pegos, pouco profundos, durante os períodos secos. A presença de indivíduos com vários anos de idade em certos troços parece indicar um baixo *stress* hídrico e um maior valor biótico.

#### 4.2 - Análise da fotografia aérea

A análise da fotografia aérea disponível foi realizada no sentido de identificar a presença de pegos durante o Verão a jusante da barragem.

Foram utilizadas as seguintes fotografias: Julho de 1958, Maio de 1970, Agosto de 1978, Junho 1984, Junho de 1988, Agosto de 1990 e Setembro de 1995. Todas as fotografias observadas são a preto e branco, com exceção para as dos dois últimos anos. A má qualidade da impressão de algumas fotografias, a presença de galerias ripícolas com copas bem desenvolvidas e a existência de macrófitos aquáticos emergentes pode, contudo, ter causado uma deficiente avaliação da presença de pegos. A presença de água foi representada como uma percentagem dos troços ou do comprimento do rio numa base linear (100 % significa ausência de descontinuidade), apresentando-se os resultados no Quadro 4.

#### Quadro 4

Presença de pegos no leito da Ribeira do Enxoé durante o período seco, em termos de percentagem do comprimento do rio, obtido a partir das fotografias aéreas.

Fotografias Aéreas	Percentagem do comprimento do rio com água
Julho 1958	25
Maio 1970	39
Agosto 1978	35
Junho 1984	36
Junho 1988	41
Agosto 1990	53
Setembro 1995	12

Os anos para os quais se dispõe de fotografia aérea são representativos da variação interanual da precipitação, e consequentemente do escoamento, que caracteriza esta região. Os anos hidrológicos 1957/58 e 1994/95 foram anos secos, enquanto que 1994/95 foi um ano relativamente húmido. Por outro lado, a precipitação que ocorreu durante a Primavera e início do Verão de 1978 e 1984 pode ser considerada alta.

A disponibilidade de água observada nas fotografias está correlacionada ( $r = 0.87$ ) com a precipitação acumulada desde o início do ano hidrológico, Outubro, até ao mês da fotografia aérea (Fig.1). Comparando os valores médios para a totalidade do troço da Ribeira do Enxoé a jusante da barragem, os anos 1958 e 1995 são os piores anos (Fig.1), o que é consistente com os valores de precipitação ocorridos nesses anos hidrológicos. Os melhores resultados são obtidos em 1988 (Junho) e 1990 (Agosto), o que poderá estar relacionado com a precipitação ocorrida em Maio e Junho de 1988 e Abril de 1990. Considerando a precipitação que ocorreu em 1969/70, 1983/84 e 1987/88, a disponibilidade de água observada no rio foi superior à esperada. Contudo a fotografia aérea de 1970 foi tirada em Maio e as de 1984 e 1988 foram tiradas em Junho, i.e. antes dos meses mais quentes e secos, que têm um efeito importante no decréscimo da disponibilidade de água.

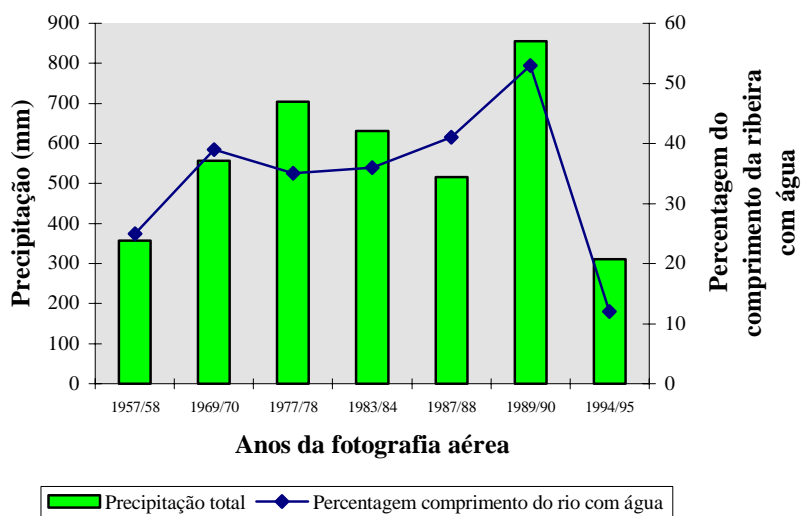


Figura 1 - Relação entre a precipitação total (desde Outubro até à data da fotografia aérea) e a disponibilidade de água no curso, expressa como percentagem do comprimento do curso com água.

No sentido de estimar a distribuição espacial dos pegos ao longo do rio durante o Verão, foram estimados os valores médios considerando todas as fotografias. Os troços entre o local D e a confluência com o rio Guadiana apresentam os valores mais elevados (Quadro 5).

#### Quadro 5

Valores percentuais médios do comprimento do rio com pegos, no troço a jusante da barragem até à confluência com o rio Guadiana, obtidos a partir das fotografias aéreas de Julho 1958, Maio de 1970, Agosto de 1978, Junho de 1984, Junho de 1988, Agosto de 1990 e Setembro de 1995.

Troço	Barragem	A	C	D	E	F	G
Percentagem do comprimento do rio com água	16.4	34.7	15.0	35.3	39.3	44.7	

Como foi anteriormente referido (Quadro 3), os locais de amostragem que apresentam uma comunidade faunística mais interessante são os locais D, E e G e uma explicação possível é a persistência de condições favoráveis durante o período seco. O regime de caudal ecológico proposto deverá garantir a preservação destes valores ecológicos.

Por outro lado, a disponibilidade de água na Ribeira do Enxoé durante a estigem é superior à encontrada em pequenos cursos em condições climáticas semelhantes, evidenciando a importante contribuição das águas subterrâneas neste curso de água.

### 4.3 -Modelo precipitação-escoamento

A caracterização do escoamento superficial na Ribeira do Enxoé baseou-se nos Estudos Base elaborados pela HP (1991), que teve como base os registos das afluências na estação hidrométrica da Ribeira de Limas, que apresenta características hidrológicas similares às do Enxoé.

Este modelo traduzia, contudo, de forma deficiente o escoamento na Ribeira do Enxoé a jusante da barragem. O caudal médio mensal estimado para os meses de Julho e Agosto para os anos da fotografia aérea era zero, o que não correspondia à realidade observada, nomeadamente no Verão de 1996, aquando da realização de trabalho de campo.

Esta situação sugeria a falta de validade do modelo de precipitação-escoamento utilizado e a ocorrência de escoamento subsuperficial durante a estiagem, assim como a importância das águas subterrâneas na manutenção dos pegos durante a estiagem.

A localização da barragem entre dois sistemas aquíferos: (Moura-Ficalho e gabros de Beja) será, *a priori*, responsável por caudais superiores aos previstos pelo modelo utilizado. Por outro lado, os pegos aparecem frequentemente associados a exurgências que têm origem em zonas de contacto entre depósitos detríticos e formações de características distintas, impermeáveis, como sejam os xistos e os gabros. Frequentemente, este contacto é por falha SILVA (1998).

Será necessário utilizar um modelo de precipitação-escoamento que considere as águas subterrâneas como o modelo de TEMEZ (1977) que inclui a capacidade de armazenamento do solo, a taxa de infiltração máxima e coeficiente de descarga do aquífero.

Este modelo permitirá saber (i) a distribuição anual do escoamento e (ii) estabelecer uma relação entre o escoamento e a disponibilidade de pegos durante o Verão.

## 5 - PERSPECTIVAS FUTURAS E MONITORIZAÇÃO

No sentido de compreender os factores relacionados com a persistência dos pegos e as relações entre as águas subterrâneas e as águas superficiais irão ser realizados os seguintes trabalhos:

- Monitorização de pegos e dos poços que lhes estão próximos no que se refere a níveis de água e medição *in situ* da condutividade, temperatura e pH, e colheita de amostras de água para determinação de vários parâmetros químicos, que funcionam como traçadores, para a determinação da conexão entre as águas superficiais e as águas subterrâneas e a sua influência na manutenção dos pegos;
- Determinação do balanço hídrico de um pego;
- Calibração e aplicação do Modelo de Temez.

Entretanto, será definido um valor provisório para o caudal ecológico e será desenvolvido um programa de monitorização do ecossistema fluvial, que será implementado a curto prazo e que permitirá identificar e avaliar os efeitos a curto e médio prazo na ictiofauna, vegetação ripária, morfologia do canal e substrato.

O valor preliminar para o caudal ecológico foi calculado considerando o seguinte:

1. O escoamento em ano médio é de  $8,6 \times 10^6 \text{ m}^3$  HIDROTÉCNICA PORTUGUESA, (1994),
2. Existe uma importante contribuição, não quantificada, do escoamento subterrâneo para os caudais da Ribeira do Enxoé;
3. Segundo o Método de Tennant, um “bom” caudal ecológico corresponde a 20% do caudal médio mensal durante o semestre seco e 40% durante o semestre húmido, com um valor mínimo igual a 10 % do caudal médio mensal TENNANT (1976), respectivamente 55 l/s e 110 l/s, com um valor mínimo de 27 l/s;
4. Tendo em consideração o Método do Caudal Básico que define o caudal ecológico como sendo igual à mediana do mês de menor caudal, calculou-se o caudal médio para o período de estiagem, de Maio a Setembro, que é 13 l/s.

Tendo em consideração o exposto definiu-se um valor para o caudal ecológico durante o período mais húmido, de Novembro a Fevereiro de 50 l/s, nos meses de Outubro e Março e Abril, considerados de transição, de 27 l/s, e para o semestre seco, de Maio a Setembro, de 13 l/s. Estes valores serão mantidos quando o caudal afluente à Ribeira do Enxoé o permitir, caso contrário o caudal que afluí à barragem será igual ao caudal descarregado, de acordo com o que já foi sugerido para a aplicação do Método de Tennant ALVES (1994); HENRIQUES (1994).

## **6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os principais constrangimentos e as consequências gerais da redução de caudais em cursos de água temporários estão já identificadas. No entanto, a falta de informação relativamente ao funcionamento destes ecossistemas e aos impactes resultantes da regularização de caudais são ainda significativas.

Neste momento, é já possível afirmar que a garantia de condições durante a estiagem compatíveis com a conservação destes ecossistemas é fulcral, e que este aspecto está directamente ligado à manutenção dos pegos durante este período.

As águas subterrâneas desempenham um papel fundamental na manutenção dos pegos, tornando-se assim necessário compreender as interações entre o rio e as águas subterrâneas, assim como, considerar estes aspectos nos modelos de precipitação-escoamento.

O desenvolvimento de metodologias para a determinação de caudais ecológicos nos cursos de água temporários envolverá, ainda, a implementação de estudos ecológicos em diferentes escalas temporais e a implementação de programas de monitorização a longo prazo que permitam a análise dos impactes resultantes de diferentes estratégias de definição de regimes para o caudal ecológico.

## **BIBLIOGRAFIA**

ALVES, M. H. - *Caudais ecológicos para os rios Douro, Tejo e Guadiana*. Instituto da Água, Ministério do Ambiente e Recursos Naturais, 1994.

ARTHINGTON, A. H. - "A holistic approach to water allocation to maintain the environment values of Australian streams and rivers: a case history". *Mitt. Internat. Verein. Limnol.*, 24, 1994, pp 165-177.

ARTHINGTON, A. H.; KING, J. M.; O'KEEFFE, S. E. BUNN; J. A. DAY, B. J. PUSEY D. R. BLUHDORN, R. THARME, R. - *Development of an holistic approach for assessing environmental flow requirements of riverine ecosystems*, in *Proceedings of an International Seminar and Workshop on Water allocation for the Environment*, editado por J. J. Pigram & B. P. Hooper, Centre for Water Policy Research. Armidale, 27-29 Novembro, 1991, 69-76

ARTHINGTON, A. H.; PUSEY, B. J. - "Essential flow requirements of river fish communities". in *Environmental Flows Seminar*, Camberra (Austrália), 25 a 26 de Agosto de 1994, pp 1-94 .

BERNARDO, J. M. - "Definição de caudais ecológicos em cursos de água de regime mediterrânico? Algumas reflexões de um biólogo", in *Actas do 3º Congresso da Água*, Março 1996, Lisboa (Portugal), pp. III.545 - III.550.

BOVEE, K. D. - "A guide to stream habitat analysis using the Instream Flow Incremental Methodology", *Instream Flow Information Paper* 12, U.S.D.I. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services FWS/OBS-82/26, 1982.

DAVIES, B. R.; THOMAS, M. C.; WALKER, K. F.; O'KEEFFE, J. F.; GORE, J. A. - *Dryland Rivers: their Ecology, Conservation and Management*. In *Handbook of Rivers* editado por P. Calow e G. Petts, Oxford (UK), Blackwell Scientific Publications, 1994, pp. 484-511.

GORDON, N. D.; MCMAHON, T. A.; FINLAYSON, B. L. - *Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists*, Chichester (UK), John Wiley & Sons, 1992.

HENRIQUES, A. G. - *Proposta de Regime de Caudais Ambientais dos Principais Rios Internacionais*. Instituto da Água, Ministério do Ambiente e Recursos Nacionais. 34 pp, 1994.

HIDROTÉCNICA PORTUGUESA - *Aproveitamento Hidráulico do Enxoé. Revisão do Projecto. Projecto para Concurso*. Volume 1 e 4., Direcção Geral dos Recursos Naturais, Ministério do Ambiente e Recursos Naturais. Lisboa (Portugal). 1994.

JOWETT, I. G. - "Instream flow methods: a comparison of approaches". *Regulated Rivers: Research & Management*, 13, 1997, pp. 115-127.

KING, J. H.; O' KEEFFE, J. H. - *Looking to the future-South African Requirements, in Ecological Flows Requirements for South African Rivers*, editado por Ferrar, Pretória (África do Sul), South African National Programmes Report n° 162, Council for Scientific and Industrial Research, 1989, pp. 110- 116.

KING, J.; THARME, R. - *Development of the building block methodology for instream flow assessments, and supporting research on the effects of different magnitude flows on riverine ecosystems*. Report to the Water Research Commission on the project "The effects of different magnitude flows on South African riverine ecosystems". Freshwater Research Unit, Zoology Department, University of Cape Town (África do Sul), 1996.

LOAR, J. M.; SALE, M. J. - *Analysis of Environmental Issues Related to Small-Scale Hydroelectric Development. V. Instream Flow Needs for Fisheries Resources*. Environmental Sciences Division Publication No. 1829, ONRL/TM-7861. Oak Ridge, Tennessee (EUA), Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, 1981.

RICHTER, B. D.; BAUMGARTNER, J. V.; POWELL, J.; BRAUN D. P. - "A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems". *Conservation Biology*, 10, 1997, pp. 1163-1174.

SERVIÇO NACIONAL DE PARQUES, RESERVAS E CONSERVAÇÃO DA NATUREZA (SNPRCN) - *Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal Vol. II: Peixes Dulciaquícolas e Migradores*. Lisboa (Portugal), Serviço Nacional de Parques, Reservas e Conservação da Natureza, 1991.

SILVA, M. V. S. - *Caudal ecológico da Ribeira de Enxoé. Parecer Hidrogeológico*. D. S. R. H., Instituto da Água, 1998, 10 pp.

VEIGA DA CUNHA, L.; CORREIA; M. L.; GONÇALVES, A. S.; FIGUEIREDO, V. A. - *Fundamentos para uma nova política de Gestão das Águas em Portugal*. Lisboa (Portugal), Ministério do Equipamento Social e do Ambiente. 1974.