

## UMA PROPOSTA DE CAUDAL ECOLÓGICO PARA A BARRAGEM DE ALQUEVA

Maria Helena Alves\*

### RESUMO

No âmbito do “Estudo Integrado de Impacte Ambiental do Empreendimento do Alqueva”, concluído em Dezembro de 1994, foi elaborada uma proposta, que aqui se apresenta, para o caudal ecológico a manter no rio Guadiana a jusante do açude de contraembalse, em Pedrogão.

A proposta apresentada, que incluiu valores para ano médio e ano seco, foi elaborada com base na aplicação da Metodologia Incremental (IFIM).

A variável de decisão, gerada pela IFIM, é a área de habitat total disponível para as espécies piscícolas, definida como uma função do caudal, permitindo determinar o valor do habitat como um uso da água, no âmbito do planeamento dos recursos hídricos.

Os critérios de aptidão de habitat e a variação do habitat em função do caudal foi obtida em trabalhos anteriores, realizados no âmbito do primeiro estudo de Impacte Ambiental de Alqueva.

**Palavras chave:** caudal ecológico, IFIM, Alqueva

---

\* Eng<sup>a</sup> Ambiente (FCT-UNL), Mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos (IST)

## **1. INTRODUÇÃO**

No âmbito do “Estudo Integrado de Impacte Ambiental do Empreendimento do Alqueva”, concluído em Dezembro de 1994, foi elaborada uma proposta para o caudal ecológico a manter no rio Guadiana a jusante do açude de contraembalse, em Pedrogão.

A proposta apresentada não incluiu o troço do rio a jusante da barragem do Alqueva e a montante de Pedrogão, dado que este corresponderá na sua totalidade à zona de regolfo do açude de contraembalse. Por outro lado, o troço a jusante do açude do Guadiana foi também excluído, porque a influência da maré já se faz sentir, actualmente, a jusante do Pulo do Lobo, pelo que não se considerou de interesse a determinação de um caudal mínimo de água doce neste troço do rio.

O caudal ecológico, em sentido lato, pode ser definido como o caudal que permite assegurar a conservação e manutenção dos ecossistemas aquáticos naturais, a produção das espécies com interesse desportivo ou comercial, a conservação e a manutenção dos ecossistemas ripícolas, assim como, os aspectos estéticos da paisagem, ou outros de interesse científico ou cultural. É definido como uma série temporal de valores de caudal, que consideram as necessidades das espécies ao longo dos seus ciclos de vida, flexível em função das condições hidrológicas naturais que se verificam em cada ano.

Neste trabalho, optou-se por utilizar uma definição de caudal ecológico de sentido mais restrito, em que se consideraram unicamente os recursos piscícolas, assumindo-se, no entanto, que este valor permite a manutenção e a conservação dos ecossistemas.

As actuais condições ecológicas são função do regime hidrológico que se verificou após 1951/52 (correspondendo, aproximadamente ao ano em que começaram a funcionar as primeiras barragens espanholas) até ao presente, com destaque para os registos posteriores a 1980, ano a partir do qual o volume armazenado pelas albufeiras espanholas sofreu um aumento significativo. Para a caracterização do actual regime hidrológico utilizou-se a série hidrológica de aflúências mensais para um período de 36 anos (1956/91), que corresponde a uma reconstituição histórica de escoamentos mensais que tem consideração a evolução de consumos a montante, especialmente na bacia em território espanhol.

A recomendação de um valor para o caudal ecológico, é frequentemente acompanhada da necessidade de se considerarem caudais de limpeza, para a remoção de materiais finos depositados e de caudais para a manutenção da estrutura do leito e da capacidade de transporte. Este conjunto de caudais é, genericamente, designado por caudal ambiental.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1. Considerações gerais**

Os métodos actualmente disponíveis para a definição do caudal ecológico podem classificar-se em três grupos: i) métodos baseados em registos de caudais; ii) métodos baseados na relação entre os parâmetros hidráulicos e o caudal; iii) métodos baseados na relação entre o habitat e o caudal. Estes métodos correspondem, genericamente, a três níveis de análise e de precisão no cálculo do caudal ecológico (Alves, 1993):

i) o primeiro nível de análise envolve, de um modo geral, a aplicação dos métodos baseados no registo de caudais, recorrendo-se, a informação já existente e raramente a trabalho de campo. O nível de precisão é bastante baixo, já que os factores relacionados com as características específicas do curso de água, são consideradas de uma forma genérica ou não são mesmo considerados. Este nível de análise é particularmente adequado à gestão dos recursos hídricos considerados a uma escala nacional ou regional, permitindo uma rápida avaliação de potenciais conflitos de uso de água;

ii) o segundo nível de análise recorre à utilização dos métodos baseados na determinação da relação entre as características hidráulicas do curso de água e o caudal. As recomendações realizadas a este nível permitirão, genericamente, preservar as características hidráulicas do trecho do curso de água sujeito a alteração do regime hidrológico. Na maioria dos casos, as recomendações efectuadas não têm como base o conhecimento das características de habitat requeridas pelas espécies. O nível de precisão é mais elevado que o nível de análise anterior;

iii) o terceiro nível de análise requiere o conhecimento das necessidades das espécies em termos de habitat ao longo do seu ciclo de vida (critérios de aptidão do habitat), o reconhecimento e a caracterização dos troços representativos e dos troços críticos do curso de água e o desenvolvimento de relações entre o habitat e o caudal. Este nível de análise requiere um grande volume de informação, pelo que os custos associados são significativamente mais elevados, dependendo, das dimensões do troço do curso de água afectado, das características do regime hidrológico e da necessidade, ou não, de se proceder ao desenvolvimento de critérios de preferência de habitat ou a alteração dos critérios existentes. Constitui o nível de análise mais defensável, já que é aquele que toma em consideração a especificidade dos ecossistemas dulciaquícolas e em que a definição do caudal ecológico é baseada em critérios objectivos que visam a protecção do habitat das espécies. A Metodologia Incremental ("Instream Flow Incremental Methodology", IFIM, na terminologia anglo-saxónica) é, de entre os métodos utilizados a este nível de análise, o que se afigura mais válido, já que constitui uma síntese dos vários métodos desenvolvidos anteriormente, reflectindo o estado actual dos conhecimentos.

Recorreu-se, neste trabalho, ao 3ª nível de análise, através da aplicação da IFIM. Esta análise só foi possível devido à informação disponível, nomeadamente no que refere a critérios de aptidão de habitat e à distribuição do habitat em função do caudal, decorrente da utilização da IFIM para a avaliação de impactes na ictiofauna, realizada no âmbito do "Estudo de Impacte Ambiental do Empreendimento do Alqueva" (DRENA/EGF, 1986).

## **2.2. Metodologia Incremental**

### **2.2.1. Princípios gerais**

A Metodologia Incremental (IFIM) baseia-se no princípio de que a distribuição longitudinal e lateral 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 (Gore *et al.*, 1991). A área do curso de água, que possui as condições ambientais para a manutenção de uma população piscícola pode ser quantificada em função do caudal (Bovee, 1982)

A variável de decisão, gerada pela IFIM, é a área de habitat total disponível para as espécies piscícolas, 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. O conceito de habitat incorpora os conceitos de macrohabitat e de microhabitat. As características do macrohabitat determinam a distribuição longitudinal das espécies dulciaquícolas no curso de água, sendo as principais variáveis que o definem a temperatura e a qualidade da água. Outras características do macrohabitat, como sejam a geologia, o declive e o regime hidrológico, estão na origem de alterações longitudinais das características do

leito, que são, por sua vez, os principais factores determinantes do tipo de microhabitat que ocorre localmente no curso de água.

As espécies não respondem directamente às características do macrohabitat, mas sim às condições do microhabitat associadas ao macrohabitat. As características hidráulicas mais importantes para definição do microhabitat para as espécies piscícolas são a geomorfologia do leito, a profundidade e a velocidade do escoamento. Entre as características geomorfológicas do leito, referem-se a configuração do leito, a composição granulométrica do material aluvionar e a cobertura (Bovee, 1982; Gan & McMahon, 1990).

O IFIM não é, na sua forma actual, um modelo ecológico, nem os pretende substituir, constituindo um modelo genérico que permite determinar o valor do habitat como um uso da água, no âmbito do planeamento dos recursos hídricos, para o que tem, no entanto, de sacrificar alguns aspectos de carácter biológico (Gore & Nestler, 1988;). A análise dos resultados da IFIM deve restringir-se à disponibilidade de habitat, não relacionando a área de habitat disponível com o funcionamento ou produtividade do ecossistema (Nestler *et al.*, 1989; Gore *et al.*, 1991).

### 2.2.2. Aplicação da IFIM

Como já foi referido, na aplicação da IFIM para o cálculo do caudal ecológico, recorreu-se à informação contida no "Estudo de Impacte Ambiental do Empreendimento de Alqueva" (DRENA/EGF, 1986), onde se procedeu à aplicação desta metodologia para a avaliação dos impactes na ictiofauna.

O estudo da DRENA/EGF incidiu sobre um segmento de cerca de 160 km do rio Guadiana, entre Juromenha e Carvoeiro. Nesse estudo, foram definidos troços homogéneos de acordo com os seguintes critérios: os afluentes, o declive, a sinuosidade do leito do rio, as relações largura/profundidade, a identificação de locais onde a forma do canal, a sua morfologia, o substrato ou a vegetação marginal sofrerem mudanças significativas, a qualidade da água, as fontes de material sólido e a distribuição das espécies piscícolas. Em cada troço foram definidas estações, que se consideraram representativas das condições prevalentes nos troços em questão. O estudo da DRENA/EGF admite que as características geomorfológicas, sedimentares e ecológicas são estáveis para o horizonte do projecto (Bettencourt, com. pess.).

No estudo da DRENA/EGF (1986) foram elaboradas curvas de probabilidade de uso do rio para as seguintes espécies: *Barbus comiza*, *Barbus microcephalus*, *Barbus steindachneri*, *Lepomis gibbosus*, *Micropterus salmoides*, *Cyprinus carpio* e *Chondrostoma willkommi*.

Estas curvas foram estabelecidas por análise de frequências de acordo com o proposto por Bovee & Cochnauer (1977 in DRENA/EGF, 1986). Os cálculos realizados basearam-se no princípio de que indivíduos de uma determinada espécie tendem a seleccionar zonas que possuem a combinação mais favorável de valores de profundidade, velocidade, substrato e cobertura, utilizando também as condições menos favoráveis. A probabilidade de uso do rio diminui com a diminuição da adequabilidade de uma ou mais variáveis. Foram elaboradas curvas de probabilidade de uso, ou curvas de preferência de habitat, para as seguintes fases do ciclo de vida: adulto, juvenil e postura e, para os parâmetros: velocidade, profundidade, substrato e cobertura (Costa, 1988; DRENA/EGF, 1986).

No entanto, atendendo que em cada aplicação da IFIM para o cálculo do caudal ecológico, o número de espécies consideradas não deverá exceder três (Bovee, 1982), seleccionaram-se *Barbus microcephalus* e *Chondrostoma willkommi*, espécies endémicas da bacia hidrográfica do Guadiana e *Barbus steindachneri*, endemismo ibérico. No que se refere às fases do ciclo de vida, a postura foi tida em conta nos meses em que se verifica, ou seja,

Abril a Maio para *Barbus microcephalus*, Março a Junho para *Barbus steindachneri*, Fevereiro a Março para *Chondrostoma willkommii*. A ocorrência de juvenis foi considerada em todos os meses, com excepção dos meses de postura e o adulto ao longo de todo o ano.

De acordo com a DRENA/EGF (1986) na descrição das características do habitat, o troço do rio Guadiana, entre o açude do Guadiana e o Pulo do Lobo, foi subdividido em células de condições homogéneas, cujas dimensões são definidas pela distância entre as secções transversais estabelecidas em cada estação (Azenhas do Laço, Moinho dos Doutores e Monte do Vau) e pela largura dos intervalos estabelecidos. A caracterização da distribuição da profundidade e velocidade em cada célula foi feita recorrendo a um modelo hidráulico. O substracto<sup>1</sup> e a cobertura<sup>2</sup> foram caracterizados em cada intervalo definido na secção transversal, assumindo-se que não variavam significativamente com o caudal.

A área total de habitat disponível para as espécies seleccionadas foi calculada a partir das características do habitat e das curvas de preferência de habitat para cada variável, considerando diferentes fases do seu ciclo de vida: adulto, juvenil e postura. A aptidão do troço em estudo, para cada estágio do ciclo de vida é dado Superfície Ponderada Utilizável (SPU), a qual é dada pela soma da Superfície Ponderada Utilizável para cada célula ( $SPU_k$ ) determinada pela seguinte expressão (Bovee, 1982):

$$SPU_k = A_k \cdot f_1(v_k) \cdot f_2(p_k) \cdot f_3(s_k) \cdot f_4(c_k) \quad (1)$$

em que:

$f_1(v_k), f_2(p_k), f_3(s_k), f_4(c_k)$  - factores de preferência para a velocidade, profundidade e substracto e cobertura.

$SPU_k$  ( $m^2/s$ ) - Superfície Ponderada Utilizável para a célula  $k$

A superfície ponderada utilizável (SPU) no trecho considerado, para cada caudal, é dada por:

$$SPU_T = \sum_{t=1}^3 SPU_t = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^n SPU_k \quad (2)$$

em que:

$SPU_T$  ( $m^2/m$ ) - superfície ponderada utilizável total

$SPU_t$  ( $m^2/m$ ) - superfície ponderada utilizável no troço  $t$

$n$  - número de células definidas na secção transversal

$N$  - número de secções transversais representativas no troço  $t$

As curvas de disponibilidade de habitat, ou seja a Superfície Ponderada Utilizável em função do caudal, para o troço em estudo, considerando cada espécie e diferentes fases do ciclo de vida, são apresentadas nas figuras fig.1 a 3. É a partir destas curvas que foi elaborada uma proposta para o caudal ecológico.

<sup>1</sup> A escala de substracto utilizada foi a seguinte (DRENA/EGF, 1986):

1- Detritos vegetais; 2- Vasa; 3-Silt; 4- Areia; 5- Cascalho médio; 6- cascalho grosso; 7- Blocos; 8- Rocha.

<sup>2</sup> A escala de cobertura utilizada foi a seguinte (DRENA/EGF, 1986):

1- Sem cobertura; 2- Objectos com menos de 150 mm de diâmetro; 3- Objectos entre 150 e 300 mm de diâmetro; 4- Objectos maiores que 300 mm; 5- Vegetação terrestre saliente; 6- Raízes. Troncos submersos. Margens escavadas; 7- Objectos com menos de 150 mm de diâmetro com vegetação terrestre saliente; 8- Objectos com menos de 150 mm de diâmetro com raízes ou margens escavadas; 9- Objectos entre 150 mm e 300 mm com vegetação terrestre saliente; 10- Objectos entre 150 mm e 300 mm com raízes ou margens escavadas; 11- Objectos maiores que 300 mm com vegetação terrestre saliente; 12- Objectos maiores que 300 mm com troncos submersos ou margens escavadas;

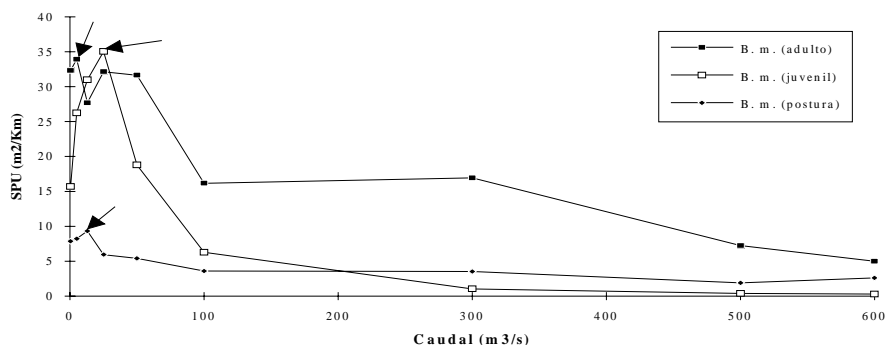


Fig. 1 - Superfície Ponderada utilizável (SPU) em função do caudal, para o adulto, juvenil e postura de *Barbus microcephalus*. As setas indicam o ponto de inflexão das curvas.

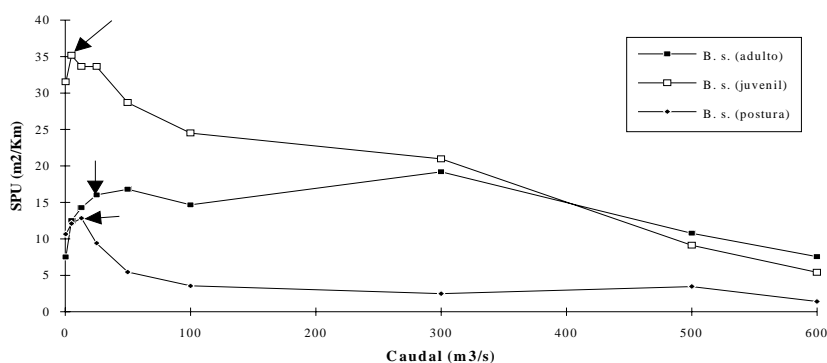


Fig. 2 - Superfície Ponderada utilizável (SPU) em função do caudal, para o adulto, juvenil e postura de *Barbus steindachneri*. As setas indicam o ponto de inflexão das curvas.

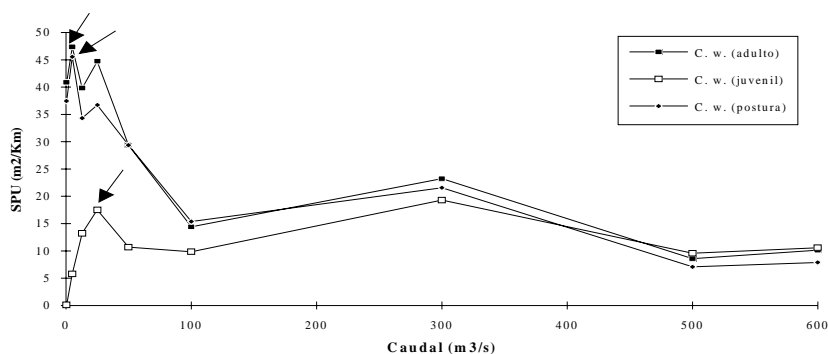


Fig. 3 - Superfície Ponderada utilizável (SPU) em função do caudal, para o adulto, juvenil e postura de *Chondrostoma willkommii*. As setas indicam o ponto de inflexão das curvas.

### 2.2.3. Técnicas de determinação do caudal ecológico e apresentação de resultados

Existem diversos métodos de tratamento e interpretação da informação relativa à variação da SPU em função do caudal, para a definição e proposta do caudal ecológico.

#### 2.2.3.1. Técnica baseada no ponto de inflexão da curva da Superfície Ponderada Utilizável em função do caudal

O caudal ecológico óptimo corresponde ao maior valor do conjunto de caudais correspondentes aos pontos de inflexão das curvas de SPU em função do caudal,

considerando as várias espécies e as diferentes fases do ciclo de vida (Vide fig. 3 a 5). O ponto de inflexão corresponde ao ponto a partir da qual a área de habitat disponível decresce rapidamente com o caudal, ou ao ponto partir do qual qualquer aumento de caudal tem pouca influência no aumento da área de habitat disponível (Orth & Maughan, 1982). Os caudais correspondentes aos vários pontos de inflexão encontram-se no QUADRO 1.

QUADRO 1 - Caudais correspondentes aos pontos de inflexão das curvas de SPU em função do caudal para *Barbus microcephalus*, *Barbus steindachneri*, *Chondrostoma willkommii*, considerando diferente fases dos respectivos ciclos de vida.

| Espécie                        | Adulto                 | Juvenil                | Postura                |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| <i>Barbus microcephalus</i>    | 5.0 m <sup>3</sup> /s  | 25.0 m <sup>3</sup> /s | 13.0 m <sup>3</sup> /s |
| <i>Barbus steindachneri</i>    | 25.0 m <sup>3</sup> /s | 5.0 m <sup>3</sup> /s  | 13.0 m <sup>3</sup> /s |
| <i>Chondrostoma willkommii</i> | 5 m <sup>3</sup> /s    | 25.0 m <sup>3</sup> /s | 5.0 m <sup>3</sup> /s  |

O maior dos caudais mínimos é 25 m<sup>3</sup>/s (QUADRO 1) ou seja, o caudal ecológico óptimo recomendado por esta técnica é aproximadamente 30% do caudal modular.

#### 2.2.3.2. Matriz de optimização

A aplicação desta técnica consiste na construção de uma matriz de optimização, em que as colunas se referem aos caudais e as linhas às fases do ciclo de vida das espécies consideradas, para o período de um ano (Annear & Conder, 1984). Consideraram-se diferentes percentagens do caudal modular: 2.5%, 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 100% (Gore *et al.*, 1991). Analisando cada coluna, a que corresponde um caudal, é seleccionado o valor mínimo de SPU, o qual é registado na última linha da matriz. O maior valor desta linha corresponde ao caudal que maximiza a área de habitat disponível (Bovee, 1982). No Quadro 2 são apresentadas os valores de caudal obtidos por esta técnica para cada espécie, considerando as diversas fases do ciclo de. O caudal óptimo, considerando a matriz de optimização apresentada no Quadro 2, é para *Barbus microcephalus* de 10% do caudal modular.

QUADRO 2- Caudais obtidos pela técnica da matriz de optimização para *Barbus microcephalus*, *Barbus steindachneri*, *Chondrostoma willkommii*, considerando diferente fases dos respectivos ciclos de vida

| Espécie                        | Caudal (%Qmod)         |
|--------------------------------|------------------------|
| <i>Barbus microcephalus</i>    | 5.0 m <sup>3</sup> /s  |
| <i>Barbus steindachneri</i>    | 25.0 m <sup>3</sup> /s |
| <i>Chondrostoma willkommii</i> | 5 m <sup>3</sup> /s    |

O valor para o caudal ecológico calculado pela matriz de optimização, considerando só o adulto e o juvenil de *Barbus steindachneri*, *Barbus microcephalus* e *Chondrostoma willkommii*, já que a postura só se verifica em determinadas épocas do ano, é 20 % do caudal modular, ou seja 19 m<sup>3</sup>/s.

Considerando o adulto e o juvenil de *Barbus steindachneri*, *Barbus microcephalus* e o adulto e a postura de *Chondrostoma willkommii* (já que a postura deste último se verifica nos meses de Janeiro e Fevereiro) é 20 % do caudal modular.

#### 2.2.3.3. Critérios da EDF, Electricité de France

A EDF- Electricité de France considera três níveis de caudais em função do índice de valor de habitat, VH. Este índice, é dado pela razão entre a superfície ponderada útil num

dado troço da linha de água e a área total desse troço, permitindo quantificar a aptidão média do meio para acolher uma espécie numa determinada fase do ciclo de vida (Sabaton, 1991).

Os níveis de caudais considerados por esta técnica são: i) caudal ecológico ótimo, a que corresponde um VH compreendido entre 80 a 100% do valor máximo obtido; ii) caudal ecológico favorável, a que corresponde um VH compreendido entre 50 a 80% do valor máximo obtido; iii) caudal ecológico medíocre, a que corresponde um VH inferior a 50% do valor máximo obtido: Quadro 3 são apresentados os resultados obtidos por este método.

QUADRO 3 - Gama de caudais obtidos segundo a técnica baseada nos critérios da EDF, para *Barbus microcephalus*, *Barbus steindachneri*, *Chondrostoma willkommi* e diferente fases dos respectivos ciclos de vida.

|                | <i>Barbus microcephalus</i>    |                               | <i>Barbus steindachneri</i>    |                               | <i>Chondrostoma willkommi</i>  |                               |
|----------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                | 80-100%<br>(m <sup>3</sup> /s) | 50-80%<br>(m <sup>3</sup> /s) | 80-100%<br>(m <sup>3</sup> /s) | 50-80%<br>(m <sup>3</sup> /s) | 80-100%<br>(m <sup>3</sup> /s) | 50-80%<br>(m <sup>3</sup> /s) |
| <b>Adulto</b>  | 0.5-3.9                        | 3.9-50                        | 0.5-100                        | 50-422.8                      | 0.5-5.0                        | 5.0-37.1                      |
| <b>Juvenil</b> | 0.5-33.8                       | 33.8-46.8                     | 0.5-5.0                        | 5.0-34.1                      | 13.0-35.3                      | 8.3-50                        |
| <b>Postura</b> | 0.5-13                         | 3.8-5.0<br>13-22.8            | 0.5-3.7                        | 3.7-25                        | 0.5-5.0                        | 5.0-11.0                      |

### 3. PROPOSTA PARA O CAUDAL ECOLÓGICO

A principal dificuldade na definição de valores para o caudal ecológico consiste na decisão dos níveis de alteração do regime hidrológico natural que se consideram aceitáveis, face aos impactes nos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos que essa alteração induzirá, particularmente se se atender ao nível de incerteza que ainda existe neste domínio, em especial nos aspectos quantitativos.

O caudal ecológico recomendado corresponde de um modo geral ao valor mais alto de um conjunto de caudais mínimos calculados para várias espécies piscícolas e que, por isso, será em princípio suficiente para a manutenção das populações piscícolas existentes (Bovee, 1982; Bovee *et al.*, 1978 in Gore *et al.*, 1991).

A principal dificuldade na definição de valores para o caudal ecológico consiste na decisão dos níveis de alteração do regime hidrológico natural que se consideram aceitáveis, face aos impactes nos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos que essa alteração induzirá, particularmente se se atender ao nível de incerteza que ainda existe neste domínio, em especial nos aspectos quantitativos.

Na elaboração da proposta apresentada no Quadro 4, foram considerados os seguintes critérios:

i) a fase mais crítica do ciclo de vida das espécies indicadoras seleccionadas é a postura, pelo que se deu durante esse período do ano, particular importância ao caudal ótimo para esta fase do ciclo de vida. Assim, durante os meses de Abril a Junho considerou-se o caudal ótimo para a postura dos barbos, tendo sido utilizado o caudal correspondente ao ponto de inflexão das curvas de SPU, que corresponde a 14% do caudal modular (fig. 1 e 2).

iii) a postura de *Chondrostoma willkommi* verifica-se durante os meses de Janeiro a Março, meses para os quais se considerou igualmente importante a manutenção das restantes populações piscícolas. Assim, nos meses de Janeiro e Fevereiro considerou-se 20 % do caudal modular (Quadro 2), optando-se para o mês de Março por 12% do caudal modular.

iv) nos meses de menor caudal, Julho a Outubro, foi considerada a manutenção de 80 a 100% da área de habitat disponível, caudal ecológico ótimo, para o adulto e juvenil das espécies seleccionadas, à excepção do juvenil de *Chondrostoma willkommi*, dado que a

respectiva gama de caudais apresentou-se bastante diferente. Da análise do Quadro 3 obteve-se um valor de 4 % do módulo anual.

v) nos meses de Novembro e Dezembro, foi considerada a maximização da área de habitat disponível para o adulto e juvenil das espécies seleccionadas. Recorrendo à matriz de optimização obteve-se um caudal de 20 % do módulo anual, por outro lado, recorrendo à técnica do ponto de inflexão o valor obtido é 30% do módulo anual.

vi) sempre que o valor do caudal ecológico recomendado com base na IFIM para um mês, foi inferior ao caudal médio mensal desse mesmo mês (considerando a série hidrológica modificada da EDP), optou-se por considerar um intervalo de variação do caudal ecológico em que o limite inferior é o caudal médio mensal.

QUADRO 4 - Proposta para o caudal ecológico no troço Pedrogão - Pulo do Lobo.

|                                   | Out. | Nov.        | Dez         | Jan. | Fev  | Mar  | Abr. | Mai  | Jun         | Jul.       | Ago.       | Set.      |
|-----------------------------------|------|-------------|-------------|------|------|------|------|------|-------------|------------|------------|-----------|
| <b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>   | 4.0  | 19.0 a 25.0 | 19.0 a 25.0 | 19.0 | 19.0 | 11.0 | 13.0 | 13.0 | 6.3 a 13.0  | 3.0 a 4.0  | 2.6 a 4.0  | 3.8 a 4.0 |
| <b>Caudal (% Qmod)</b>            | 4.0  | 20.0 a 30.0 | 20.0 a 30.0 | 20.0 | 20.0 | 12.0 | 14.0 | 14.0 | 7.0 a 14.0  | 3.0 a 4.0  | 3.0 a 4.0  | 4.0       |
| <b>Afluência (hm<sup>3</sup>)</b> | 11.0 | 49.0 a 65.0 | 51.0 a 67.0 | 49.0 | 46.0 | 30.0 | 34.0 | 35.0 | 16.0 a 34.0 | 8.0 a 11.0 | 8.0 a 11.0 | 10.0      |

A gama de valores de caudal apresentada no Quadro 4 garante, de acordo com os resultados obtidos na simulação da qualidade da água no rio Guadiana a jusante de Pedrogão, a manutenção de condições de qualidade, nomeadamente temperatura e oxigénio dissolvido, que permitem o normal desenvolvimento das espécies piscícolas em questão.

Adicionalmente, deve ser considerado um caudal de limpeza que deverá ser descarregado preferencialmente durante os meses Janeiro a Março, já que é para estes meses que a diferença entre o caudal proposto no Quadro 4 e o caudal médio mensal é maior. Assim, deverá ser descarregado um caudal instantâneo superior a 300 m<sup>3</sup>/s, antecedido e seguido de caudais superiores a 25 m<sup>3</sup>/s (SEIA, 1994)

O volume anual a considerar para o caudal ecológico deve, de acordo com a proposta apresentada no Quadro 4 e sem considerar o caudal de limpeza, variar entre 347-403 hm<sup>3</sup>/ano.

Considerando os resultados das simulações de exploração do sistema Alqueva/Pedrogão, tal como definidas em Novembro de 1994, e o nível de pleno armazenamento à cota 152 m, verifica-se que os volumes lançados a jusante não permitem satisfazer o volume necessário para garantir o caudal ecológico proposto, em 36% dos anos para o Cenário I e 25% dos anos para o Cenário II. Para o nível de pleno armazenamento à cota 147 m tem-se 33% para o Cenário I e 25% para o Cenário II. As duas cotas para o nível de pleno armazenamento não induzem alterações significativas, ao nível da satisfação do volume necessário para o caudal ecológico.

Em ano seco considera-se como valores mínimos admissíveis os valores apresentados no Quadro 5. Para a sua determinação considerou-se o caudal médio em ano seco, em regime natural, com uma probabilidade de não ser excedido de 0.20. Este valor é 43.8 m<sup>3</sup>/s (Gonçalves Henriques, 1994).

QUADRO 5 - Proposta de caudal ecológico em ano seco.

|                                 | Out. | Nov. | Dez  | Jan. | Fev  | Mar  | Abr. | Mai  | Jun | Jul. | Ago. | Set. |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|
| <b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b> | 2.0  | 9.0  | 9.0  | 9.0  | 9.0  | 5.0  | 6.0  | 6.0  | 3.0 | 1.0  | 1.0  | 2.0  |
| <b>Caudal (% Qmod)</b>          | 4.0  | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 12.0 | 14.0 | 14.0 | 7.0 | 3.0  | 3.0  | 4.0  |

|  |     |      |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
|--|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| <b>Afluência</b><br>(hm <sup>3</sup> ) | 5.0 | 23.0 | 24.0 | 24.0 | 23.0 | 13.0 | 16.0 | 16.0 | 8.0 | 3.0 | 3.0 | 5.0 |
|--|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|

O volume anual é 163 hm<sup>3</sup>/ano, o qual é garantido em 100% dos anos, considerando as simulações de exploração do sistema Alqueva/Pedrogão, em Novembro de 1994, tanto para o NPA à cota 152 m, como para o NPA à cota 147 m,.

No “novo cenário de retirada de água da albufeira” de Fevereiro de 1995, os valores de caudal ecológico para os meses de Janeiro, Fevereiro, Abril, Maio, Novembro e Dezembro são os valores mínimos determinados para o ano seco (Quadro 5), considerando-se nos restantes meses que os valores mínimos do caudal ecológico são garantidos pela necessidade de fornecimento a jusante de um caudal para o abastecimento de água ao Algarve. Assim, para a cota do NPA de 152 m, verifica-se que o volume total necessário para a manutenção dos valores mínimos do caudal ecológico é garantido em 100% dos anos. No entanto, este volume é incorrectamente distribuído ao longo do ano, provocando falhas em 25% dos anos, o que corresponde a 13,2% do total de meses. A situação para a cota do NPA a 147m, não é significativamente diferente, apesar de em 2.8% dos anos, o volume total anual não ser suficiente para garantir o caudal ecológico proposto no Quadro 5. Para esta situação, a distribuição incorrecta do volume correspondente ao caudal ecológico, provoca falhas em 30.6% dos anos, o que corresponde a 13.2% do número total de meses. Considerando unicamente os volumes lançados a jusante de Pedrogão no cenário VI, verifica-se que é possível garantir o caudal ecológico proposto no Quadro 4 em 83.3% dos anos para a cota do NPA a 152 m e em 78% dos anos para a cota 147. As simulações realizadas em Fevereiro de 1995 indicam, no entanto, que este regime de exploração não assegura a manutenção do caudal ecológico e induzem uma variação anormal do regime hidrológico. Assim, para a cota 152, o funcionamento da barragem do Alqueva provoca um acréscimo das afluências durante os meses de Junho a Setembro e um decréscimo nos restantes meses. Para a cota 147 ocorrerá um aumento das afluências no mês de Maio.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo sido originalmente desenvolvida para cursos de água salmonícolas e só posteriormente aplicada a cursos de água não salmonícolas, a aplicação da IFIM a estes ecossistemas levanta alguns problemas, que se prendem com a complexidade das características hidrológicas, físicas e biológicas destes ecossistemas (Bain & Boltz, 1989; Nestler, 1990).

As principais críticas levantadas ao IFIM prendem-se com a falta de rigor biológico, nomeadamente pela incapacidade de tomar em consideração as relações intra e interespecíficas (em particular a predação e competição), as variações nas taxas de produção, as variações sazonais e diárias na distribuição e abundância das espécies ou as variações devido a factores que não são directamente influenciados pelo caudal, como por exemplo a disponibilidade de alimento (Mathur *et al.*, 1985; Granholm *et al.*, 1985; Shirvell, 1986; Orth, 1987).

Por outro lado, considerou-se que o substrato e a cobertura são independentes do caudal, o que se deveu em parte às dificuldades de modelação. Embora face à velocidade e à profundidade o substrato possa ser considerado uma variável constante, alterações do caudal reflectir-se-ão, a longo prazo, numa alteração na sua composição (Kellerhals, 1982 *in* Shirvell, 1986). Relativamente à cobertura, a sua própria definição traduz uma dependência do caudal, dado que o abrigo ou protecção disponível para um indivíduo dependerá, entre

outros factores, da turbulência e da profundidade associadas a um determinado caudal, alterações difíceis de modular (Shirvell, 1986).

Alguns autores questionam para os rios de regime torrencial, como é o caso do Guadiana, a influência das relações bióticas sobre o crescimento, enfatizando como principal factor as condições do meio (Encina, 1991; Granado-Lorêncio, 1992). Por outro lado, é frequentemente referido que a perturbação, nomeadamente os períodos de cheia, é um importante factor ecológico na dinâmica de funcionamento de um rio, por exemplo na postura, devendo ser considerada como um elemento dominante na organização destes ecossistemas lóticos (Morais & Pinto, 1994).

Assim, e face ao tempo disponível entre a tomada de decisão e o enchimento da barragem de Alqueva e Pedrogão, sugere-se que se proceda durante esse período a uma reavaliação dos caudais propostos no presente trabalho, tornando-se necessário proceder a uma nova aplicação da IFIM e à validação da sua aplicação ao rio Guadiana.

Por outro lado, considera-se fundamental a implementação de programas de monitorização após a implementação de um regime hidrológico definido pela IFIM, em que sejam realizadas, periodicamente, medições da biomassa, a fim de ser avaliada a resposta da ou das populações piscícolas e conseqüentemente a validade da proposta de caudal ecológico.

## **SIMBOLOGIA**

$n$  - número de células definidas na secção transversal

$N$  - número de secções transversais representativas no troço  $t$   $f_1(v_k), f_2(p_k), f_3(s_k), f_4(c_k)$  - factores de preferência para a velocidade, profundidade e substracto e cobertura.

$SPU_k$  (m<sup>2</sup>/s) - Superfície Ponderada Utilizável para a célula  $k$

$SPU_T$  (m<sup>2</sup>/m) - superfície ponderada utilizável total

$SPU_t$  (m<sup>2</sup>/m) - superfície ponderada utilizável no troço  $t$

## **BIBLIOGRAFIA**

Alves, M. H., 1993. *Métodos de determinação do caudal ecológico*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. 162 pp.

Annear, T. C. & Conder, A. A., 1984. Relative bias of several fisheries instream flow methods. *North American Journal of Fisheries Management*, **4**: 451-539.

Bain, M. B. & Boltz, J. M., 1989. *Regulated Stream Flow and Warmwater Fish: A General Hypothesis and Research Agenda*. Biological Report 89 (18). U. S. Fish and Wildlife Service. Washington, DC. 28 pp.

Bovee, K.D., 1982. *A Guide to Stream Habitat Analysis Using the Instream Flow Incremental Methodology*. Instream Flow Information Paper No. 12, FWS/OBS-82/26. U.S. Fish and Wildlife Service. Washington, DC. 248 pp.

Costa, M. J., 1988. Utilização das curvas de probabilidade de uso de habitat em estudos de determinação do impacto ambiental nos peixes. *in Actas do Colóquio Luso Espanhol sobre Ecologia das Bacias Hidrográficas e Recursos Geológicos*. Instituto de Zoologia e Estação de Zoologia Marítima "Dr. Augusto Nobre". Faculdade de Ciências do Porto. Porto, 23-25 de Maio. pp. 73-79.

DRENA/EGF, 1986. *Estudos de Impacte Ambiental do Empreendimento de Alqueva*. Lisboa.

- Gan, K. & McMahon, T., 1990. Variability of results from the use of PHABSIM in estimating habitat area. *Regulated Rivers: Research & Management*, **5**: 233-239.
- Gonçalves Henriques, A. 1994. *Proposta de regime de caudais ambientais dos principais rios internacionais*. Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais, (não publicado).
- Gore, J. A.; King, J. M. & Hamman, K. C. D., 1991. Application of the Instream Flow Incremental Methodology to Southern African rivers: protecting endemic fish of the Olifants river. *Water S. A.*, **17**: 225-236.
- Gore, J. A. & Nestler, J. M., 1988. Instream flow studies in perspectives. *Regulated Rivers: Research & Management*, **2**: 93-101.
- Granado- Lorêncio, 1992. Fish species ecology in spanish freshwater ecosystems. Limnology in Spain. *Limnetica*. 255-261 pp
- Granhholm, S.; Li, S. & Holton, B., 1985. Warning: use of IFIM and HEP with caution. *Hydro Review*, Winter 1985: 22-28.
- Mathur, D.; Bason, W. H.; Purdy, E. J., Jr. & Silver, C. A., 1986. Reply to "In defense of the Instream Flow Incremental Methodology" by D. J. Orth and O. E. Maughan. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **43**: 1093-1094.
- Morais & Pinto, 1994. Eutrofização estival do rio Degebe. *Actas da III Conferência sobre a Qualidade do Ambiente*. Aveiro. pp 207-216.
- Nestler, J. M. 1990. Considerations in applying IFIM to warmwater streams. in M. B. Bain (Ed.), *Ecology and Assessment of Warmwater Streams: Workshop Synopsis*. Biological Report 90 (5), U.S. Fish Wildlife Service. Washington, DC. pp. 34-35.
- Nestler, J. M.; Milhous, R. T. & Layzer, J. B. 1989. Instream habitat modeling techniques. in J. A. Gore & G. E. Petts (Eds.), *Alternatives in Regulated River Management*. CRC Press. Boca Raton, Florida. pp. 295-315.
- Orth, D. J. 1987. Ecological considerations in the development and application of instream flow-habitat models. *Regulated Rivers: Research & Management*, **1**: 171-181.
- Orth, D. J. & Maughan, O. E. (1982). Evaluation of the Incremental Methodology for recommending instream flow for fishes. *Transactions of the American Fish Society*. 111:413-445.
- Sabaton, C., 1991. *Quel débit réserver a l'aval des ouvrages hydro-electriques ? La methode des microhabitats: un outil d'aide a la decision*. Rapport EDF, HE31/91-26. Chatou: Electricité de France.
- SEIA, 1994. *Estudo de Impacte Ambiental do Empreendimento de Alqueva*. DGXVI.
- Shirvell, C.S, 1986. Pitfalls of physical habitat simulation in the Instream Flow Incremental Methodology. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, (1460): 1-68.