

PASSAGEM DE PEIXES NOS A.H DA EDPP: DEFINIÇÃO DE UM PLANO ESTRATÉGICO DE AVALIAÇÃO DO FUNCIONAMENTO E EFICÁCIA

Fish Passage Devices in EDPP HP: Definition of a Strategic Plan for Functioning and Effectiveness Evaluation

MIGUEL COSTA ⁽¹⁾, RAQUEL MOURA ⁽²⁾ e RODRIGO MAIA ⁽³⁾

⁽¹⁾ Mestre em Engenharia do Ambiente, FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, mapcosta@fe.up.pt

⁽²⁾ Engenheira do Ambiente, EDP – Gestão da Produção de Energia SA,
Rua Ofélia Diogo Costa, 45, 4149-022 Porto, raquel.moura@edp.pt

⁽³⁾ Professor Associado, FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, rmaia@fe.up.pt

Resumo

Nas últimas décadas assistiu-se a um aumento do número de dispositivos de passagem de peixes construídos, como forma de mitigar os efeitos decorrentes da quebra da conectividade fluvial provocada pela construção de barragens e açudes. Porém, a maioria dos dispositivos existentes têm-se revelado ineficaz na transposição de peixes, dificultando a migração por parte das espécies piscícolas e, conseqüentemente, originando uma quebra na diversidade genética ao nível da ictiofauna. Neste contexto, o presente estudo teve como principal objetivo a definição de um “Plano Estratégico de Avaliação do Funcionamento e Eficácia de Dispositivos de Passagem de Peixes”. O desenvolvimento do mesmo resultou da conjugação entre o conhecimento teórico e o conhecimento empírico adquirido nas visitas efetuadas a dispositivos de passagem de peixes, com diferentes particularidades, instalados em aproveitamentos hidroelétricos. Deste processo, considerou-se relevante a elaboração de um plano composto por quatro fases: 1) Avaliação do funcionamento e identificação das espécies a jusante; 2) Definição e aplicação de medidas de melhoria; 3) Monitorização de passagem de peixes e recolha de elementos externos; 4) Monitorização através de método comportamental. Uma vez elaborado e detalhado, apresentar-se-á a aplicação do Plano Estratégico a dois tipos de dispositivos de passagem de peixes: Bacias Sucessivas e Dispositivos Mistos.

Palavras-chave: Bacias sucessivas, conectividade fluvial, dispositivos de passagem de peixes, dispositivos mistos, espécies piscícolas.

Abstract

In the past decades, there has been an increase in the number of fish passage devices constructions, as a way to mitigate the effects of the lack of fluvial connectivity caused by the construction of dams. However, the majority of the existing devices have proved to be ineffective in the transposition of fish, hindering migration by fish species and, consequently, causing a breach in genetic diversity at the level of the ichthyofauna. In this context, the main objective of the present study was the establishment of a "Strategic Plan for Evaluating the Functioning and Effectiveness of Fish Passage Devices". Its development resulted from a combination of theoretical knowledge and empirical knowledge acquired during the visits to fish passage devices with different characteristics installed in hydroelectric powerplants. From this process, it was considered relevant to elaborate a plan composed by four phases: 1) Evaluation of the functioning and identification of downstream fish species; 2) Definition and application of improvement measures; 3) Monitoring fish passage and collecting external elements; 4) Monitoring through behavioral method. Once elaborated and detailed, it will be presented the application of the Strategic Plan in two types of fish passage devices: Pool Passes and Mixed Devices.

Keywords: Fish ladder, river connectivity, fish passage devices, mixes devices, fish species.

1. Enquadramento

De forma a dar resposta a todas as necessidades populacionais, necessidades estas cada vez mais emergentes devido ao crescimento populacional e ao desenvolvimento económico das sociedades, os rios têm sido dos sistemas mais explorados. Esta exploração é feita com recurso ao represamento de massas de água através da construção de infraestruturas hidráulicas, tais como barragens e açudes, sendo que no caso dos Aproveitamentos Hidroelétricos (A.H.), para além do represamento das águas existe também a produção de energia hidroelétrica.

Todavia, embora a energia hidroelétrica seja considerada uma fonte de energia limpa, a construção de A.H. provoca inúmeros impactes sobre os ecossistemas aquáticos e nos organismos que dependem destes, o que leva a que populações piscícolas sejam um dos grupos mais afetados (Hasler, *et al.*, 2009).

Da construção de A.H resultam os seguintes impactes nas espécies piscícolas (Garcia, *et al.*, 2011; Wang, *et al.*, 2011; Caudill, *et al.*, 2013; Anderson, *et al.*, 2015):

- Alteração de habitats;
- Alteração da qualidade da água;

- Alteração da temperatura da água;
- Aumento do risco de predação;
- Aumento do risco de doenças;
- Modificação do regime de escoamento;
- Quebra da conectividade fluvial.

De todos estes impactos enumerados, o mais significativo para a comunidade piscícola é a quebra de conectividade fluvial.

Sendo as espécies piscícolas muito dependentes das características dos habitats aquáticos, a maior parte delas necessita de migrar entre diferentes habitats, de forma a completarem as mais diversas funções biológicas inerentes ao seu ciclo de vida, tais como: reprodução, repouso e alimentação. Porém, com a quebra da conectividade fluvial, os peixes ficam impedidos de migrarem, potenciando o isolamento das espécies e levando, conseqüentemente, à perda de diversidade genética (Branco, *et al.*, 2016).

Face a esta problemática, numa tentativa de minimizar o efeito da quebra da conectividade fluvial nas comunidades piscícolas, foram desenvolvidos dispositivos com o intuito de possibilitar a transposição dos obstáculos criados, tendo sido os mesmos denominados de “Dispositivos de Passagem de Peixes”. Estes permitem manter o *continuum fluvial*, bem como minimizar alguns dos impactos provocados pela criação de obstáculos nos rios.

Em Portugal, a construção do primeiro Dispositivo de Passagem de Peixes (DPP) remonta à década de 50, na barragem de Belver, situada rio Tejo. A partir deste momento, verificou-se um aumento do número deste tipo de construções em A.H e açudes, como forma de minimizar o desaparecimento progressivo de certas espécies nos cursos de água. Todavia, avaliações realizadas aos DPP mostram que em Portugal uma parte significativa dos dispositivos existentes apresenta um ou mais fatores limitantes à sua eficácia, uma vez que não foram projetados corretamente para as espécies piscícolas existentes nos cursos de água portugueses (Santo, 2005; Santos, *et al.*, 2012).

1.1. Enquadramento legal

A nível legal, a Diretiva Quadro da Água (DQA) veio reforçar a importância da restauração da conectividade fluvial, sendo que nos casos dos rios, a avaliação do estado ecológico é realizada tendo em consideração inúmeros elementos, dos quais: “composição, abundância e estrutura etária da fauna piscícola” e “continuidade do rio”.

A nível nacional, a DQA foi transposta na Lei da Água (Lei nº 58/2005), sendo que de acordo com o artigo 45º da mesma, os objetivos ambientais para as águas superficiais são prosseguidos através da aplicação das medidas especificadas nos Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH).

Nos PGRH, a temática da conectividade fluvial insere-se nas medidas de minimização de alterações hidromorfológicas, mais concretamente nas medidas de promoção da continuidade longitudinal. Estas, na sua generalidade, remetem para as medidas presentes no Plano de Gestão da Enguia (PGE), medidas estas que passam sobretudo pela utilização de DPP.

1.2. Objetivo

Tendo em consideração que grande parte dos DPP construídos em Portugal apresentam fatores limitantes à sua eficácia e, uma vez que a DQA veio obrigar a uma visão mais ecológica sobre os A.H., nomeadamente no que respeita à continuidade fluvial, o objetivo deste trabalho consistiu na elaboração de um Plano Estratégico que permita avaliar o funcionamento e a eficácia de DPP. Com a elaboração deste plano pretende-se, não só, que o mesmo possa ser aplicável aos diferentes DPP presentes em A.H. da EDP – Gestão da Produção de Energia, S.A., mas também à generalidade dos DPP existentes. Uma vez elaborado e apresentado o Plano Estratégico, apresenta-se também neste artigo a aplicação do mesmo a dois tipos de dispositivos existentes: Bacias Sucessivas e Dispositivos Mistos.

2. Dispositivos de Passagem de Peixes

Os Dispositivos de Passagem de Peixes (DPP) são a principal medida mitigadora do efeito barreira na ictiofauna, uma vez que são um dos principais meios de restauração da conectividade longitudinal dos sistemas fluviais. O princípio geral destes dispositivos consiste em atrair os peixes migradores para um determinado ponto do curso de água, a jusante do obstáculo, e incitá-los ou obrigá-los a passar para montante através de um caminho de água, ou capturando-os e largando-os a montante do obstáculo (Santo, 2005).

Do ponto de vista da conceção, os DPP são vistos como sendo estruturas com elevado grau de especificidade, dado que são o resultado de uma conjugação de aspetos hidráulicos (caudal, velocidade de água, padrão de escoamento) e aspetos de índole biológica (espécies piscícolas, capacidades natatórias dos peixes, comportamento dos peixes) (Larinier, 2002).

Os locais onde se pretende construir os DPP apresentam singularidades únicas, o que faz com que haja uma multiplicidade de fatores de ordem biológica, hidráulica, hidrológica e topográfica a ter em conta aquando da escolha do dispositivo mais adequado. Assim, de uma forma geral, a escolha do dispositivo mais adequado para determinado local deve ser feita tendo em consideração os seguintes aspetos (Porcher e Larinier, 2002):

- Espécies piscícolas a usar o dispositivo;
- Caudal a escoar no interior do dispositivo;
- Variações do nível de água a montante e a jusante do obstáculo;
- Regime de escoamento a montante e a jusante do obstáculo;
- Constrangimentos topográficos;
- Diferença de altura a vencer;
- Custo de construção e funcionamento;
- Transporte Sólido.

2.1. Tipos de Dispositivos de Passagem de Peixes

De modo a tornar possível a implementação dos DPP em locais com diferentes características, os DPP existentes dividem-se em 4 tipos (FAO/ DVWK, 2002; Santo, 2005):

- Dispositivos técnicos de passagem de peixes “Technical Fish Passes”:
 - Bacias Sucessivas (Pool passes or vertical-slot);
 - Defletores ou tipo Denil (Denil Passes).
- Dispositivos especiais de passagem de peixes “Special Fish Passes”:
 - Passagem para enguias (Eel Ladders);
 - Eclusa de peixes (Fish Locks);
 - Ascensores / Elevadores (Fish Lifts).
- Dispositivos mistos de passagem de peixes “Mixed Fish Passes”:
 - Bacias Sucessivas + Elevador (Pool passes or vertical-slot + Fish Lift).
- Dispositivos naturalizados de passagem de peixes “Close to Nature Fish Passes”:
 - Leito do rio modelado (Bottom ramps and slopes);
 - Canais Laterais (Bypass Channels);
 - Rampas para peixes (Fish Ramps).

Os “DPP Técnicos” são dispositivos que obrigam os peixes a deslocarem-se ao longo deles, provocando assim um gasto de energia nos peixes. Por sua vez, os “DPP Especiais” são dispositivos em que os peixes não necessitam de realizar grandes esforços para se deslocarem nos mesmos, sendo apenas adequados para situações cujo desnível a vencer é elevado (> 10 m). Os “DPP Mistos” são o resultado da junção de dois tipos de dispositivos diferentes, sendo geralmente constituídos por bacias sucessivas e elevador. Os “DPP Naturalizados” têm como principal característica a mimetização de um curso natural do rio, possuindo uma maior orientação ecológica que os outros tipos de dispositivos. Para que tal seja possível, o material utilizado na construção deste tipo de dispositivos é o presente no local da construção, em condições naturais (Larinier, 2002).

Na elaboração deste trabalho, os dispositivos alvos de estudo foram de dois tipos: Bacias Sucessivas e Dispositivos Mistos (Bacias Sucessivas e Elevador). Como tal, de seguida é apresentado com mais pormenor cada um dos dispositivos abordados.

2.1.1. Bacias Sucessivas

As Bacias Sucessivas (Figura 1) são o tipo de DPP mais usual em pequenos A.H e açudes, uma vez que se adaptam a um grande número de espécies, permitem a migração de espécies nos dois sentidos e também a passagem de outros elementos da fauna aquática (Larinier, 2002).

Em termos de funcionamento, este tipo de dispositivo proporciona a divisão da altura de água, entre montante e jusante, em pequenas quedas transponíveis para os peixes, formando uma série de bacias que se dispõem sucessivamente, sendo as mesmas separadas por septos (Larinier, 2002b). Dependendo do tipo e da forma do septo, as bacias sucessivas podem ser de dois tipos (FAO/DVWK, 2002):

- “Pool passes”: a passagem de peixes entre bacias efetua-se através de descarregadores de superfície e/ou através de orifícios de fundo.

- “Vertical-Slot passes”: a passagem de peixes efetua-se através de uma ou duas fendas verticais.

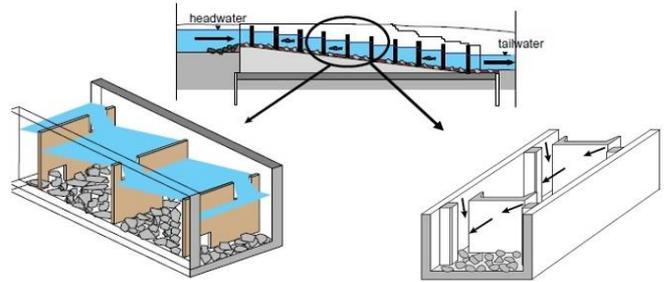


Figura 1. Tipos de Bacias Sucessivas: “Pool passes” (esq.) e “Vertical-Slot passes” (dir.).

2.1.2. Elevador

Um elevador de peixes, também designado por ascensor de peixes (Figura 2), consiste num dispositivo que transporta os peixes de jusante para montante através de uma cuba, sendo a sua utilização adequada para A.H. em que o desnível a vencer é superior a 15 m (FAO/DVWK, 2002).

O funcionamento deste tipo de dispositivo compreende três fases, sendo elas: fase de atração; fase de ascensão e fase de lançamento dos peixes para montante do obstáculo.

Ao usarem o elevador, os peixes não efetuam qualquer esforço para vencer o desnível, o que o torna eficiente para espécies com poucas capacidades natatórias e que sintam maiores dificuldades em usar os DPP mais tradicionais, como o caso das bacias sucessivas (Travade e Larinier, 2002).

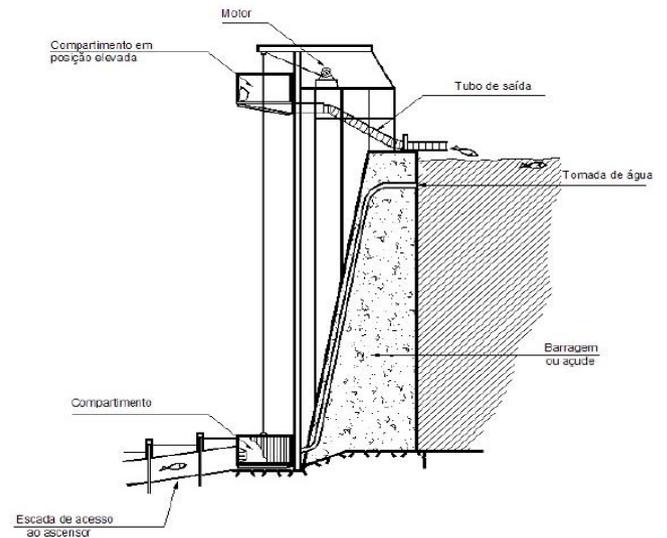


Figura 2. Elevador / Ascensor de Peixes.

3. Plano Estratégico de Avaliação do Funcionamento e Eficácia de Dispositivos de Passagem de Peixes

Com base no conhecimento teórico adquirido e na realização de visitas a diferentes DPP existentes em A.H. da EDP – Gestão da Produção de Energia, S.A., tornou-se possível elaborar um Plano Estratégico de Avaliação do Funcionamento e da Eficácia a aplicar em DPP, tendo o mesmo por objetivo ser aplicável à generalidade dos diferentes dispositivos existentes.

De todo este processo resultou um plano estratégico divididos em quatro fases:

1. Avaliação do funcionamento e identificação das espécies a jusante;
2. Definição e aplicação de medidas de melhoria;
3. Monitorização de passagem de peixes e recolha de elementos externos;
4. Monitorização através de método comportamental.

Numa primeira fase do plano sugere-se que seja realizada uma avaliação do funcionamento hidráulico e mecânico dos dispositivos.

Em simultâneo com a avaliação do funcionamento, recomenda-se a determinação das espécies situadas a jusante do obstáculo.

De referir que este processo de determinação das espécies a jusante assume extrema importância, uma vez que permitirá determinar as espécies suscetíveis de usar os dispositivos, bem como quais as características que as mesmas apresentam. Desta forma, tornar-se-á possível ajustar, previamente, alguns aspetos relacionados ao modo de funcionamento dos dispositivos, de forma a que estes se adequem às espécies.

Realizado o estudo do funcionamento dos dispositivos, bem como realizado o reconhecimento das espécies a jusante dos obstáculos, será possível delinear medidas que, a priori, potenciem um aumento do número de passagens de peixes nos dispositivos. Assim, a 2ª fase deste plano passa pela aplicação destas medidas.

Estando o dispositivo em funcionamento, a única maneira de saber se o mesmo permite a passagem de peixes é através da realização de campanhas de monitorização, constituindo este processo a 3ª fase do plano.

A monitorização sugerida assenta na quantificação e identificação das espécies que transpõem o dispositivo, sendo tal conseguido através de uma contagem visual do número de passagens de peixes, com recurso a gravação de imagens.

Em paralelo com a monitorização, caso se ache necessário, poderá ser feita a recolha de elementos externos (dados abióticos e dados relacionados com o regime de caudal a jusante). Esta recolha poderá ajudar a perceber quais as condições no meio ambiente que potenciam a migração dos peixes, e respetivo uso dos dispositivos, fornecendo assim informação para uma melhor gestão dos DPP.

A monitorização das passagens de peixes pode resultar em duas conclusões: o dispositivo é eficaz (nº elevado de passagens de peixes) ou dispositivo é não eficaz (ausência/nº reduzido de passagem de passagens de peixes).

Caso o dispositivo seja considerado não eficaz, dever-se-á proceder à 4ª fase do plano estratégico, ou seja, à monitorização através de método comportamental. Esta é conseguida com recurso à marcação de peixes com PIT Tags e através de Telemetria de eletromiogramas (EMG).

Dado que este tipo de monitorização permite conhecer o comportamento dos peixes na abordagem aos DPP, a sua aplicação permitirá desvendar quais as possíveis causas que fazem com que os peixes não consigam usar de maneira eficaz os dispositivos, bem como fornecer dados importantes acerca das capacidades natatórias dos peixes.

Por fim, detetadas as causas que levam à ausência ou ao número reduzido de passagens de peixes, o próximo passo passará novamente pela aplicação da 2ª fase do plano, ou seja, proceder à implementação de medidas corretivas nos dispositivos, como forma de dar solução às causas de ineficácia dos mesmos.

De referir que a sequência de fases anteriormente descrita é apenas aconselhada para dispositivos em que já existam resultados referentes a uma situação de referência no que respeita à passagem de peixes.

Contudo, uma vez que na maior parte dos dispositivos nunca houve lugar à realização de monitorizações, desconhece-se assim qual a situação de referência relativamente à eficácia dos DPP.

Nestes casos, após o estudo da avaliação do funcionamento hidráulico e mecânico, bem como após a identificação das espécies a jusante (1º fase), o próximo passo deverá passar pela realização da 3ª fase.

Deste modo, caso sejam necessárias aplicar medidas de melhoria nos dispositivos, tornar-se-á possível saber qual o acréscimo na eficácia da passagem de peixes que resulta da aplicação das mesmas em comparação com a situação de referência.

Em suma, o Plano Estratégico de Avaliação do Funcionamento e Eficácia de Dispositivos de Passagem de Peixes descrito pode ser resumido na Figura 3.

4. Aplicação do Plano Estratégico

Definido o Plano Estratégico, de seguida apresenta-se a aplicação do mesmo a dois tipos de Dispositivos de Passagem de Peixes: Bacias Sucessivas e Dispositivos Mistos (Bacias Sucessivas + Elevador).

4.1. 1ª Fase: avaliação do funcionamento e identificação das espécies a jusante

4.1.1. Avaliação do funcionamento

A avaliação do funcionamento dos DPP deve ser dividida em duas componentes, sendo elas: hidráulica e mecânica. De realçar que os parâmetros hidráulicos devem ser analisados para diferentes cenários, ou seja, para diferentes condições hidráulicas, permitindo assim averiguar os diferentes comportamentos hidráulicos e quais os caudais mais adequados às espécies piscícolas.

Uma vez que cada DPP apresenta propriedades únicas, a avaliação destas duas componentes é realizada recorrendo a parâmetros distintos para cada um deles. Como tal, são apresentados quais os parâmetros / órgãos que devem ser analisados aquando da avaliação do funcionamento mecânico e hidráulico nos dois tipos de dispositivos abordados ao longo deste documento.

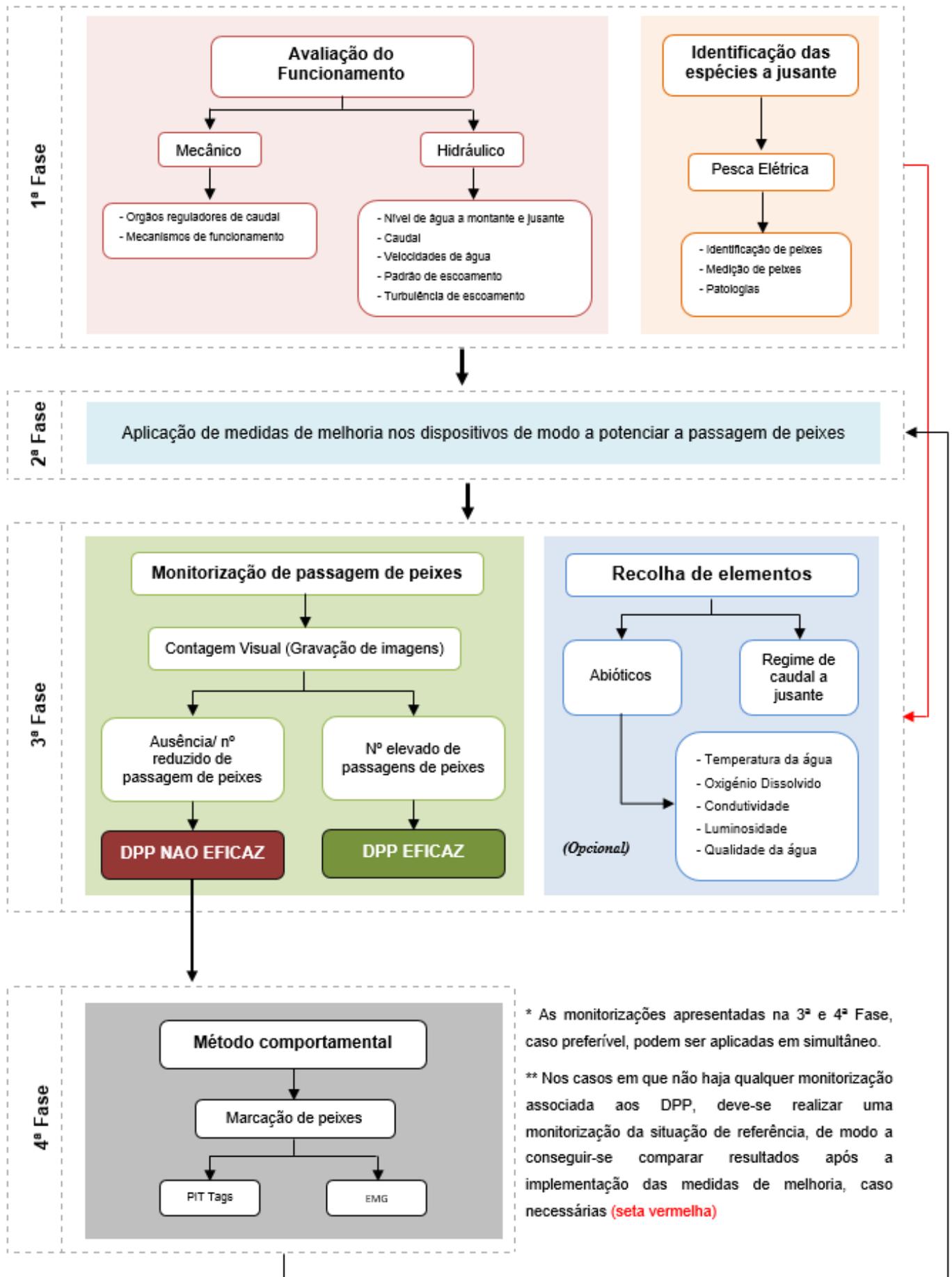


Figura 3. Plano Estratégico de Avaliação do Funcionamento e Eficácia de Dispositivos de Passagem de Peixes.

- **Bacias Sucessivas**
 - Avaliação Mecânica: comportas de alimentação do caudal;
 - Avaliação Hidráulica: nível de água nas bacias; queda de água entre bacias; carga de água sobre as fendas verticais ou descarregadores superficiais; caudal escoado entre bacias; velocidades de escoamento; turbulência de escoamento; nível de água a montante e a jusante do obstáculo.
- **Dispositivos Mistos**

No que se refere aos Dispositivos Mistos, será apresentado de seguida apenas os parâmetros a avaliar no que diz respeito aos Elevadores, uma vez que os parâmetros associados às Bacias Sucessivas já se encontram mencionados.

- Avaliação Mecânica: duração do período de passagem de peixes; abertura das comportas de entrada; intervalo de tempo entre passagem de peixes; avaliação do funcionamento dos diferentes constituintes do elevador;
- Avaliação Hidráulica: caudal de atração na entrada; velocidade de água na entrada; características de escoamento na entrada; caudal no canal coletor; nível de água no canal coletor; velocidade de água no canal coletor.

4.1.2. Identificação das espécies a jusante

Na primeira fase do Plano Estratégico elaborado sugere-se igualmente a identificação das espécies que se encontram a jusante do obstáculo. Esta identificação deve ser efetuada de acordo com o “Protocolo de amostragem e análise para a fauna piscícola”, presente no “Manual para a Avaliação Biológica da Qualidade da Água em Sistemas Fluviais” (INAG, 2008). Segundo este protocolo, a amostragem deverá ser efetuada com recurso a pesca elétrica, na qual se deverá recolher os seguintes parâmetros dos indivíduos:

- Identificação das espécies;
- Comprimento total de cada indivíduo;
- Patologias.

4.2. 2ª Fase: definição e aplicação de medidas de melhoria

A realização de visitas aos dois tipos de DPP estudados permitiu constatar que existem condicionantes que potenciam uma redução de eficácia dos mesmos. Como tal, nesta 2ª fase do Plano Estratégico apresentam-se propostas de melhoria a aplicar nos dois tipos de dispositivos alvos de análise, de forma a corrigir as condicionantes existentes, incrementando assim a eficácia dos dispositivos.

4.2.1. Bacias Sucessivas

- **Proposta BS 1:** Automatização das comportas reguladoras do caudal de alimentação

Na generalidade dos dispositivos de bacias sucessivas, a alimentação de caudal é realizada através de orifícios situados a cotas diferentes, sendo que, em cada um destes orifícios, a entrada de água é, geralmente, regulada através de uma comporta mural de acionamento manual.

As comportas reguladoras de caudal (Figura 4), ao serem de acionamento manual, faz com que seja provável que a sua posição não varie e que se mantenha fixa durante grandes períodos de tempo. Nestas situações, o caudal a entrar no dispositivo está dependente do nível a que se encontra a albufeira, levando consequentemente a variações do caudal escoado ao longo das bacias.



Figura 4. Comporta manual de regulação do caudal de alimentação: roldana manual para regular a posição da comporta (esq.) e comporta mural (dir.).

Ao existirem variações do caudal a escoar nas bacias, a probabilidade de existência de condições hidráulicas dentro do dispositivo prejudiciais para os peixes é grande, o que pode levar ao insucesso da transposição das bacias sucessivas

Tendo em consideração esta problemática, sugere-se a automatização das comportas reguladoras do caudal de alimentação, devendo esta regulação ser realizada em função da cota da albufeira. Deste modo, seria possível manter constantes, ou pouco variáveis, as condições hidráulicas nas bacias sucessivas, potencializando assim a transposição das mesmas por parte dos peixes.

- **Proposta BS 2:** Definição de um regime de caudal ótimo
Complementarmente à automatização das comportas reguladoras do caudal de alimentação, tornar-se-á possível definir um regime de caudal ótimo a circular nas bacias sucessivas, de forma a potenciar a utilização dos dispositivos, por parte da comunidade piscícola.

A definição deste regime dever ser feita tendo em consideração as capacidades natatórias dos peixes, sendo que o parâmetro crítico nesta definição deverá ser a turbulência do escoamento, parâmetro este designado geralmente pela Potência Volúmica Dissipada (P/V). Este é um parâmetro dependente do valor de caudal, da queda de água entre bacias e das propriedades geométricas das bacias, sendo um dos fatores que exerce uma maior influência no comportamento das espécies nos DPP, uma vez que pode provocar desorientação nos peixes (Santo, 2005).

- **Proposta BS 3:** Definição de periodicidade das operações de limpeza e manutenção dos dispositivos

Devido ao seu modo de funcionamento e configuração, as bacias sucessivas são dispositivos que apresentam um elevado risco de obstrução e colmatção dos meios de comunicação entre bacias.

Estas obstruções são passíveis de acontecer devido ao arrastamento de material para dentro do dispositivo através do escoamento, originando assim constrangimentos no funcionamento hidráulico do dispositivo e, conseqüentemente, na deslocação dos peixes.

Para além da obstrução das vias de comunicação entre bacias, o arrastamento de material pode originar também a deposição de material no fundo das bacias. Estas ocorrências levam a que as bacias sucessivas sejam dispositivos que necessitem de um maior cuidado em termos de limpeza e manutenção quando comparado com outros tipos de dispositivos. Nesta ótica, sugere-se que sejam efetuadas visitas periódicas às bacias sucessivas, de modo a proceder-se à verificação do estado de limpeza e conservação das mesmas e efetuar, caso seja necessário, a desobstrução das vias de comunicação entre bacias e a remoção de materiais depositados no fundo.

A periodicidade destas visitas deverá ser estabelecida de acordo com as épocas de migração das espécies suscetíveis de usar os dispositivos. Neste sentido, as visitas de verificação deverão apresentar uma maior periodicidade nas épocas de migração das espécies que ocorrem no Outono e no Inverno, uma vez que a probabilidade de haver arrastamentos de detritos para dentro das bacias é maior.

- **Proposta BS 4:** Provisão de estrutura de proteção da entrada do dispositivo

No seguimento da Proposta BS_3, a provisão de uma estrutura de proteção da entrada dos dispositivos reduziria o risco de obstrução das bacias sucessivas, bem com o risco de deposição de detritos no fundo das mesmas, uma vez que reduziria a quantidade de material arrastado, através do escoamento, para dentro dos dispositivos.

Além disso, a implementação de uma estrutura de proteção permitiria evitar a obstrução dos orifícios que permitem a alimentação de caudal ao dispositivo, e conseqüentemente, a saída dos peixes do dispositivo para a albufeira.

Como estrutura de proteção sugere-se a implementação de uma grelha sustentada por materiais flutuantes, que permita a retenção de detritos, tal como se exemplifica na Figura 5.

Esta grelha deverá ser localizada a uma distância adequada da saída dos peixes do dispositivo, permitindo assim aos peixes sentir o efeito da corrente, bem como recuperar do desgaste associado à transposição das bacias



Figura 5. Grelha de retenção de detritos.

Esta grelha deverá ser localizada a uma distância adequada da saída dos peixes do dispositivo, permitindo assim aos peixes sentir o efeito da corrente, bem como recuperar do desgaste associado à transposição das bacias.

Para além desta especificidade, a grelha não deverá possuir uma profundidade muito elevada, de forma a possibilitar a passagem dos peixes por debaixo da mesma.

- **Proposta BS 5:** Colocação de substrato rugoso no fundo das bacias

Uma forma de induzir a passagem de peixes em maior número, sobretudo nos que possuem menores capacidades natatórias, passa pela inclusão de uma superfície rugosa no fundo das bacias, tal como representado na Figura 6. Esta inclusão permitirá reduzir a velocidade de escoamento no fundo das bacias, levando a que os peixes efetuem um esforço menor para se deslocarem (FAO/DVWK, 2002).

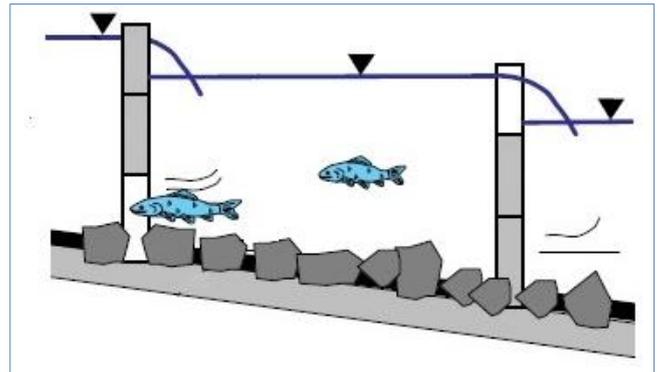


Figura 6. Bacia Sucessiva com um fundo rugoso (FAO/DVWK, 2002).

Esta superfície rugosa poderá ser alcançada através da colocação de pedras no fundo da bacia, devendo as mesmas, sempre que possível, serem incorporadas no betão, de modo a que não sejam arrastadas com o escoamento.

4.2.2. Dispositivos Mistos

Para os Dispositivos Mistos serão apenas apresentadas medidas direcionadas para os Elevadores, de seguida enunciadas, uma vez que as medidas passíveis de serem aplicadas às bacias sucessivas são as enunciadas anteriormente.

Tendo em conta a configuração dos Dispositivos Mistos, das cinco propostas de medidas apresentadas anteriormente, as únicas passíveis de serem aplicadas nas bacias sucessivas são as Propostas BS_2 e BS_5.

- **Proposta Mis 1:** Prolongamento da rampa de descarga dos peixes sobre a albufeira

Nos dispositivos mistos, os peixes após serem elevados na cuba do elevador são descarregados para a albufeira, sendo que, em alguns casos, o desnível entre a rampa de descarga e a cota da albufeira é considerável, tal como exemplificado na Figura 7. Nestes casos, o impacte associado da queda é prejudicial para os peixes, uma vez que pode fazer com que estes fiquem desorientados, assim como aumentar a probabilidade de ocorrerem ferimentos, sobretudo nos peixes de menor dimensão. De forma a minimizar este problema, a descarga dos peixes sobre a albufeira deverá ser sempre efetuada à cota da mesma. Neste sentido, nesta proposta de melhoria é sugerido o prolongamento da rampa de descarga dos peixes sobre a albufeira



Figura 7. Desnível elevado entre a soleira da rampa de descarga dos peixes e o nível da albufeira.

Em termos estruturais, a rampa de prolongamento deverá possuir uma inclinação variável de acordo com o nível albufeira. Para que tal seja possível, a mesma deverá ser implementada sobre um apoio articulado móvel, sendo que a soleira da mesma deverá ser assente sobre um material flutuante. Desta forma, assegurar-se-á que a mesma possua diferentes inclinações, de acordo com a cota da albufeira, e que a descarga dos peixes seja efetuada sempre ao nível da água. Aliado a estas especificações, a parte inicial da rampa de descarga deverá ser tapada, de forma a que não haja projeção dos peixes quando a inclinação da rampa for maior. Para além disto sugere-se que a soleira da rampa seja um troço horizontal, cujo comprimento permita a redução da velocidade de entrada nos peixes na albufeira e ao mesmo tempo que os peixes não fiquem retidos na rampa.

- **Proposta Mis 2:** Substituição do fundo do elevador

A substituição do fundo da cuba do elevador não é uma medida que permita potenciar a eficácia dos dispositivos, mas sim aferir de uma melhor forma a eficácia dos mesmos, uma vez que facilita a identificação e quantificação das espécies que usam o elevador. Neste sentido, em elevadores cujo o fundo da cuba seja de cor escura, dever-se-á proceder à substituição do mesmo por um fundo quadriculado e de cor clara, tal como exemplificado na Figura 8.



Figura 8. Substituição do fundo do elevador: fundo escuro (esq.) e fundo claro e quadriculado (dir.).

4.3. 3ª Fase: monitorização de passagem de peixes e recolha de elementos externos

4.3.1. Monitorização de passagem de peixes

A construção de um DPP adequado às espécies piscícolas nem sempre é sinónimo de um dispositivo eficaz. Tal deve-se ao facto de existirem fatores externos, tais como, possível competição de caudais, estado de conservação dos dispositivos, entre outros, que podem reduzir a eficácia associada aos dispositivos.

A eficácia de um DPP é determinada através de uma monitorização que permita quantificar o número de passagens de peixes, bem como identificar as espécies respetivas. Entre os diferentes tipos de monitorização existentes para quantificar e identificar as espécies, neste plano recomenda-se a monitorização através da gravação de imagens, podendo esta gravação ser continua ou apenas durante os períodos em que ocorre passagem de peixes. A recomendação deste método deve-se ao facto de ser um método pouco evasivo para os peixes, visto que não requer a captura e manuseamento dos mesmos.

A escolha dos locais para gravação de imagens poderá influenciar os resultados associados à eficácia dos dispositivos, pelo que esta deverá ser realizada em posições estratégicas, sendo elas:

- **Entrada do Dispositivo:**
 - Determinar as espécies que entram no dispositivo;
 - Quantificar o número de peixes de cada espécie que entram no dispositivo;
- **Saída do Dispositivo:**
 - Averiguar quais as espécies que conseguem transpor o dispositivo;
 - Quantificar o número de peixes que utiliza com sucesso o dispositivo;
 - Analisar o tempo total de deslocação (caso das bacias sucessivas).

De seguida apresenta-se qual deve ser a localização da captura das imagens em cada um dos dois dispositivos em estudo.

- **Bacias Sucessivas**
 - Entrada: numa das bacias de entrada, devendo-se evitar escolher logo a primeira bacia.
 - Saída: última bacia, antes da saída dos peixes para a albufeira.
 - Meio: bacias de descanso (caso o dispositivo seja muito longo).
- **Dispositivos Mistos**
 - Entrada: numa das bacias de entrada, devendo-se evitar escolher logo a primeira bacia.
 - Saída: Topo do poço do elevador.

4.3.2. Recolha de elementos externos

A recolha de elementos externos pode ser vista como sendo um procedimento opcional, uma vez que não permite aferir diretamente a eficácia dos dispositivos.

Apesar de não condicionar a eficácia dos dispositivos, a sua aplicação poderá ser importante, na medida em que permite determinar quais os fatores que influenciam a migração das espécies piscícolas. Através da recolha desta informação poderá ser possível efetuar uma melhor gestão dos dispositivos, podendo esta gestão resultar num aumento da eficácia dos mesmos.

Como elementos externos a recolher sugere-se a recolha de parâmetros abióticos e de parâmetros relacionados com o caudal a jusante, tais como:

- Parâmetros Abióticos: temperatura da água; oxigénio dissolvido; condutividade; luminosidade; qualidade da água;
- Parâmetros relacionados com o caudal a jusante: regime de caudal; velocidade de escoamento; nível da água; caudais descarregados.

4.4. 4ª Fase: monitorização através de método comportamental

Tal como referido anteriormente, da aplicação da 3ª Fase do Plano Estratégico apresentado, mais em concreto da fase da monitorização, poder-se-á chegar à conclusão que o DPP não é eficaz na transposição de peixes. Quando tal acontece, passar-se-á à 4ª Fase do Plano, sendo ela a “Monitorização através de método comportamental”.

Esta fase consiste na aplicação de marcadores físicos nos peixes, sendo um método de monitorização dependente da captura de peixes. De todos os marcadores físicos existentes sugere-se a utilização de Telemetria de Eletromiogramas (EMG) e de Passive Integrated Transponders (PIT-Tags).

O método de telemetria de eletromiograma (EMG) consiste na utilização de transmissores de radio eletromiogramados codificados (CEMG), nos quais é efetuado o registo de parâmetros fisiológicos associados à natação dos peixes, tais como: esforço de deslocação; frequências cardíacas; velocidade de natação e consumo de oxigénio (Cooke, *et al.*, 2004).

Por sua vez, os PIT-Tags são pequenos cilindros de vidro, no qual se insere uma bobina e um circuito programado para transmitir dados, que torna possível a monitorização de padrões de migração, crescimento, sobrevivência e distribuição espaço-temporal dos vários indivíduos marcados (Lucas e Baras, 2001). Para além do registo destes parâmetros, os PIT-Tags permitem também avaliar a influência dos fatores ambientais nos peixes, tais como a temperatura da água e regime de caudal, sendo estes importantes para o conhecimento das condições ideais que despoletam a migração dos peixes (Pinheiro, *et al.*, 2005).

5. Conclusão

Atualmente as questões ligadas à quebra de conectividade fluvial têm ganho um maior protagonismo devido à crescente sensibilidade ambiental, no que se refere à melhoria da qualidade ecológica dos ecossistemas aquáticos. Como tal, houve uma necessidade de se adotar uma visão mais ecológica sobre os A.H., uma vez que a construção dos mesmos pode levar à deterioração ecológica dos rios.

Um dos resultados associados à deterioração dos rios passa pela quebra de conectividade fluvial. Esta é sobretudo negativa para as espécies piscícolas, uma vez que impede a migração piscícola, conduzindo a uma enorme perda de biodiversidade nos rios, e consequente redução de espécies em locais outrora habitados em abundância.

Como forma de mitigar os efeitos adjacentes da quebra de conectividade fluvial, têm-se procedido à construção e instalação de DPP em A.H e açudes. Contudo, apesar de todos os esforços realizados, verifica-se que em Portugal grande parte dos dispositivos existentes possuem condicionantes que os tornam inadequados para a transposição dos peixes.

Neste sentido, o presente artigo teve como objetivo sistematizar num Plano Estratégico, um conjunto de procedimentos que permitam a avaliação do funcionamento e eficácia dos DPP. Através da constituição do mesmo, e de todo o trabalho inerente à elaboração do mesmo, foi possível chegar-se a algumas conclusões pertinentes.

De forma a que um dispositivo seja eficaz na transposição das espécies é necessário que exista uma simbiose entre o modo de funcionamento dos dispositivos e as características das espécies piscícolas, sendo as espécies piscícolas o fator que deverá condicionar o “*modus operandis*” dos dispositivos.

Outra das conclusões a tirar deste trabalho é que apesar de muitos dispositivos serem ineficazes na passagem de peixes, a sua eficácia pode ser incrementada, frequentemente, pela realização de intervenções locais e/ou específicas nos mesmos, sendo que estas intervenções podem ser a nível estrutural ou simplesmente no modo de operação dos dispositivos, sendo a Proposta BS_2 apresentada neste documento, um exemplo de uma intervenção no modo de operação.

No que diz respeito ao método de avaliação da eficácia de um DPP, o melhor método passa pela contagem visual do número de peixes que transpõem o dispositivo, devendo esta contagem ser efetuada com recurso à gravação de imagens. Este é considerado o melhor método uma vez que permite conhecer quais as espécies que usam com sucesso os dispositivos, bem como quantificar as mesmas. Aliado a isto, trata-se de um método que não requer o manuseamento dos peixes, evitando assim a indução de um foco de stress nos mesmos. Porém esta monitorização deve ser realizada em locais estratégicos, dado que a escolha destes pode condicionar os resultados associados à eficácia. Também neste artigo exemplificou-se a aplicação do plano a dois tipos de DPP: Bacias Sucessivas e Dispositivos Mistos.

Com este exercício, verificou-se que, apesar de se tratarem de dispositivos diferentes, as quatro fases definidas no plano são aplicáveis aos dois tipos de dispositivos, sendo apenas diferente o modo como as mesmas são executadas, o que perspetiva que o plano possa ser aplicável, na sua generalidade, aos diferentes tipos de dispositivos existentes.

Em suma, a grande conclusão a retirar deste trabalho é que o Plano Estratégico elaborado poderá constituir uma ferramenta importante no estudo e incremento da eficácia de dispositivos de passagem de peixes já construídos e em futuras construções

Referências

- Anderson, D.; Moggridge, H.; Warren, P. e Shucksmith, J. (2015). *The impacts of 'run-of-river' hydropower on the physical and ecological condition of rivers*. *Water and Environment Journal*, 29, 268 – 276.
- Branco, P.; Santos, J. M.; Segurado, P. e Ferreira, M. T. (2016). *Measuring Longitudinal River Network Connectivity*. 11th ISE. Melbourne, Australia.
- Caudill, C. C.; Keefer, M. L.; Clabough, T. S.; Naughton, G. P.; Burke, B. J. e Peery, C. A. (2013). *Indirect Effects of Impoundment on Migrating Fish: Temperature Gradients in Fish Ladders Slow Dam Passage by Adult Chinook Salmon and Steelhead*. *PLOS One*, 8.
- Cooke, S., Thorstad, E. B., & Hinch, S. G. (2004). *Activity and energetics of free-swimming fish: insights from electromyogram telemetry*. *Fish and Fisheries*, 5, 21-52.
- FAO / DVWK . (2002). *Fish passes - Design, dimensions and monitoring* . Roma .
- Garcia, A.; Jorde, K., Habit, E., Caamaño, D., e Parra, O. (2011). *Downstream Environmental Effects of Dam Operations: Changes in habitat quality for native fish species*. *River Research and Applications*, 27, 312 - 327.
- Hasler, C. T., Pon, L. B., Roscoe, D. W., Mossop, B., Patterson, D. A., Hinch, S. G., e Cooke, S. J. (2009). *Expanding the "toolbox" for studying the biological responses of individual fish to hydropower infrastructure and operating strategies*. *Environmental Review*, 17, 179-197.
- INAG, I. (2008). *Manual para a avaliação biológica da qualidade da água em sistemas fluviais segundo a Diretiva Quadro da Água - Protocolo de amostragem e análise para a fauna piscícola*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do desenvolvimento Regional, Instituto da Água, I.P. .
- Larinier, M. (2002b). *Pool Fishways, Pre-Barrages and Natural Bypass Channels*. *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, 54 – 82.
- Lucas, M. C., e Baras, E. (2001). *Migration of Freshwater Fishes*. Oxford, Blackwell Science .
- Pinheiro, P., Santos, J., e Ferreira, M. (2005). *Utilização de diferentes metodologias na avaliação da funcionalidade de passagens para peixes em Portugal*.
- Porcher, J. P. e Larinier, M. (2002). *Designing Fishways, Supervision of Construction, Cost, Hydraulic Model Studies* . *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, 156 – 165.
- Santo, M. (2005). *Dispositivos de Passagem para Peixes em Portugal*. (1ª ed.). (D. d. Interiores, Ed.) Lisboa: Editideais - Edição e Produção, Lda.
- Santos, J. M.; Silva, A.; Katopodis, C.; Pinheiro, P.; Pinheiros, A.; Bochechas, J. e Ferreira, M. T., (2012). *Ecohydraulics of pool-type fishways: Getting past the barriers*. *Ecological Engineering*, 48, 38 – 50.
- Travade, F., e Larinier, M. (2002). *Fish Locks and Fish Lifts*. *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, 102 – 116.
- Wang, L., Infante, D., Lyons, J., Stewart, J., e Cooper, A. (2011). *Effects of dams in river network on fish assemblages in non-impoundment sections of rivers in Michigan and Wisconsin, USA*. *River Research and Applications*, 27, 473 - 487.