



DESEMPENHO NATATÓRIO DE UMA ESPÉCIE POTAMÓDROMA ATRAVÉS DE UM AÇUDE EXPERIMENTAL SUJEITO A VARIAÇÕES DE PROFUNDIDADE E ALTURA DE QUEDA DE ÁGUA

Susana, D. AMARAL¹; Paulo, BRANCO²; Ana, T. SILVA³; Teresa, VISEU⁴; Maria, T. FERREIRA⁵; António, N. PINHEIRO⁶; José, M. SANTOS⁷

- 1 - Mestre em Gestão e Conservação dos Recursos Naturais, CEF, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, 1349-017 Lisboa, samaral@isa.ulisoa.pt, +351 213653492
- 2 - Doutor em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais, CEF, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, 1349-017 Lisboa, pjbranco@isa.ulisoa.pt, +351 213653489
- 3 - Doutora em Engenharia Florestal, NINA- Norwegian Institute for Nature Research, Trondheim, Norway, ana.silva@nina.no, +47 455 03 711
- 4 - Chefe de Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1700-066 Lisboa, tviseu@lnec.pt, +351 218443771
- 5 - Professora Catedrática, CEF, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, 1349-017 Lisboa, terferreira@isa.ulisoa.pt, +351 213653487
- 6 - Professor Catedrático, CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 1049-001 Lisboa, antonio.pinheiro@tecnico.ulisoa.pt, +351 218418150
- 7 - Doutor em Engenharia Florestal, CEF, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, 1349-017 Lisboa, jmsantos@isa.ulisoa.pt, +351 213653489

Resumo

A fragmentação dos cursos de água devido à implementação de obras hidráulicas tem originado sérias alterações nos ecossistemas. Comparativamente com os vários estudos que têm sido realizados em relação aos impactes nas populações piscícolas dos grandes empreendimentos hidráulicos, como as barragens e os pequenos aproveitamentos hidroelétricos, os pequenos açudes têm recebido menos atenção por parte da comunidade científica por serem considerados como estruturas à partida permeáveis aos movimentos dos peixes. No entanto, a sua numerosa presença poderá provocar sucessivas perdas de conectividade, perturbando os movimentos dos peixes e dificultando o acesso a *habitats* específicos, devendo como tal ser estudados atentamente.

Com este estudo pretendeu-se avaliar a capacidade do barbo-comum (*Luciobarbus bocagei*), espécie ciprinícola potamódroma abundante nos rios Ibéricos, de transpor pequenos açudes de faces verticais, considerando a interação de três variáveis: a profundidade de água a jusante do açude (D), a queda de água a transpor (Δh), e o caudal (Q). Utilizando um açude experimental formado por módulos de PVC foram testadas no total 19 combinações de D e Δh sujeitas a diferentes Q. Posteriormente realizou-se a caracterização hidrodinâmica das configurações mais e menos favoráveis, em termos de

número de sucessos, recorrendo a um 3D Acoustic Doppler Velocimeter (Vectrino ADV; Nortek AS).

A análise estatística dos resultados revelou que todas as variáveis em estudo estão significativamente correlacionadas com o número de sucessos de passagem para montante do barbo-comum. Ao contrário do que era expectável, o aumento do número de passagens não ocorreu com o aumento da profundidade da água a jusante do açude aliada a uma menor altura de queda de água a transpor, nem com a existência de um menor caudal, o que nos leva a concluir que a transposição destes obstáculos é um fenómeno complexo, que está fortemente dependente do ambiente hidráulico que se forma pela interação destas variáveis.

Palavras-chave: Conectividade fluvial, pequenas barreiras, movimentos migratórios, espécies ciprinícolas potamódromas, ecoidráulica.

Tema: Estratégias para a proteção e melhoria do estado das massas de água, incluindo proteção e valorização de ecossistemas

1. INTRODUÇÃO

A perda do *continuum* fluvial (Vannote et al., 1980), principalmente na sua dimensão longitudinal, tem sido apontada como uma das principais ameaças à sustentabilidade das populações piscícolas (Aarts et al., 2003; Nilsson et al., 2005). Durante as últimas décadas, a construção de infraestruturas hidráulicas, como barragens e pequenos aproveitamentos hidroelétricos (PAH), tem vindo a promover a fragmentação dos cursos de água (Nilsson et al., 2005; Santos et al., 2006; Crook et al., 2015) e, conseqüentemente, a obstrução ao livre movimento das populações piscícolas, pondo em causa a variedade e abundância dessas populações (Gollmann et al., 1998; Larinier e Marmulla, 2004; Branco et al., 2012). Assim, indo ao encontro do estabelecido na Diretiva Quadro da Água (Directiva 2000/60/CE; Comissão Europeia, 2000) têm sido realizados vários estudos para documentar os impactes dessas infraestruturas nos ecossistemas ribeirinhos (Nilsson et al., 2005; Santos et al., 2006), de forma a encontrar soluções que colmatem ou minimizem os seus efeitos adversos (p. ex. a construção de dispositivos de passagem para peixes; Larinier and Marmulla, 2004; Katopodis e Williams, 2012).

Ao contrário do que acontece com os impactes das barragens e dos PAH, os impactes dos açudes têm recebido menos atenção (Ovidio e Philippart, 2002; Poulet, 2007; Ordeix et al., 2011), pois estas estruturas têm sido consideradas como pequenas barreiras, que são *a priori* permeáveis à livre movimentação dos peixes. No entanto, além de existirem em maior número que as grandes obras hidráulicas (Nilsson et al., 2005; Ordeix et al., 2011), os açudes alteram a hidrodinâmica natural do curso de água, tanto a montante como a jusante, formando desníveis eventualmente intransponíveis (Kondratieff e Myrick, 2006; Leaniz, 2008; Branco et al., 2012). Portanto, a presença de açudes ao longo dos cursos de água poderá provocar sucessivas perdas de conectividade, com conseqüências negativas para as populações piscícolas, principalmente para as que necessitam de efetuar migrações como as espécies diádromas e potamódromas (Lucas e Baras, 2001; Poulet, 2007; Benitez et al., 2015). Torna-se desta forma fundamental considerar tais conseqüências e desenvolver mais estudos, particularmente para as espécies com capacidades natatórias menos

desenvolvidas, como é o caso das espécies ciprinícolas potamódromas (Reyjo et al., 2014; Benitez et al., 2015).

Com este trabalho pretendeu-se avaliar a capacidade das espécies ciprinícolas potamódromas de transpor pequenos açudes de faces verticais, que constituem uma das tipologias de açudes mais frequentes nos sistemas fluviais (Baudoin et al., 2014). Tendo em conta estudos anteriormente realizados com espécies salmonícolas (Brandt et al., 2005; Kondratieff and Myrick, 2006; Ovidio et al., 2007), consideraram-se três variáveis, apontadas como preponderantes no sucesso de passagem para montante: a profundidade de água a jusante do açude (D), a queda a transpor (Δh ; desnível entre a superfície livre da água a jusante e o topo da soleira do açude), e o caudal (Q). A espécie alvo selecionada foi o barbo-comum (*Luciobarbus bocagei*), por ser representativo de 8 espécies ciprinícolas potamódromas (considerando o género *Barbus* and *Luciobarbus*) abundantes nos rios Ibéricos e da Europa ocidental (Santos et al., 2014). Como resultados expectáveis prevê-se que o número de sucessos de passagem para montante aumente com o aumento da profundidade da água a jusante do açude, aliado a uma menor altura de queda de água a transpor, bem como com a ocorrência de um menor caudal, e consequentemente menores velocidades de água e menor turbulência.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Instalações experimentais

As experiências foram realizadas num canal experimental existente no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), em Lisboa. O canal consiste (Fig. 1-A) numa estrutura retangular de aço com dimensões 10,00 m x 1,00 m x 1,20 m, com paredes laterais em vidro temperado que permitem a observação dos movimentos dos peixes no seu interior. A entrada de água no canal, que circula em circuito fechado, ocorre por uma câmara localizada a montante da estrutura. A jusante existe um tanque que permite a manutenção da água que é recirculada bem como o controlo da altura de água no canal aquando dos ensaios experimentais, através de um sistema de válvulas. O declive do canal é ajustável, tendo-se utilizado um declive de 3%, considerado representativo do declive da maioria dos rios ibéricos.

Para avaliar a capacidade do barbo-comum de transpor pequenas barreiras, construiu-se um açude experimental de faces verticais (Fig. 1-B), com uma soleira de 20 cm de largura, composto por módulos de PVC para possibilitar a manipulação da sua altura de acordo com as configurações a testar. Assim, para criar a queda a transpor (Δh), correspondente ao desnível entre a superfície livre da água a jusante do açude e o topo da soleira, adicionaram-se ou removeram-se módulos do açude (dois módulos de 5 cm, dois módulos de 10 cm, dois módulos de 20 cm, e uma base fixa de 10 cm) tendo em conta a sua altura total, correspondente a $D + \Delta h$. A profundidade de água a jusante do açude (D) foi mantida controlando, com o sistema de válvulas, o nível de água no tanque de jusante. O açude, que abrange toda a largura do canal experimental, foi instalado 2,75m a montante da área de aclimação (Fig. 1-C), criada na zona de jusante do canal por dois painéis de rede amovíveis para permitir a aclimação dos peixes às condições do canal experimental antes de cada ensaio. Imediatamente a jusante do açude foi estabelecida uma área de 0,65 m² (0,65 m x 1,00 m) denominada de área de aproximação, na qual os movimentos dos peixes foram monitorizados por vídeo-gravação (GoPro HERO3) e por observação direta.

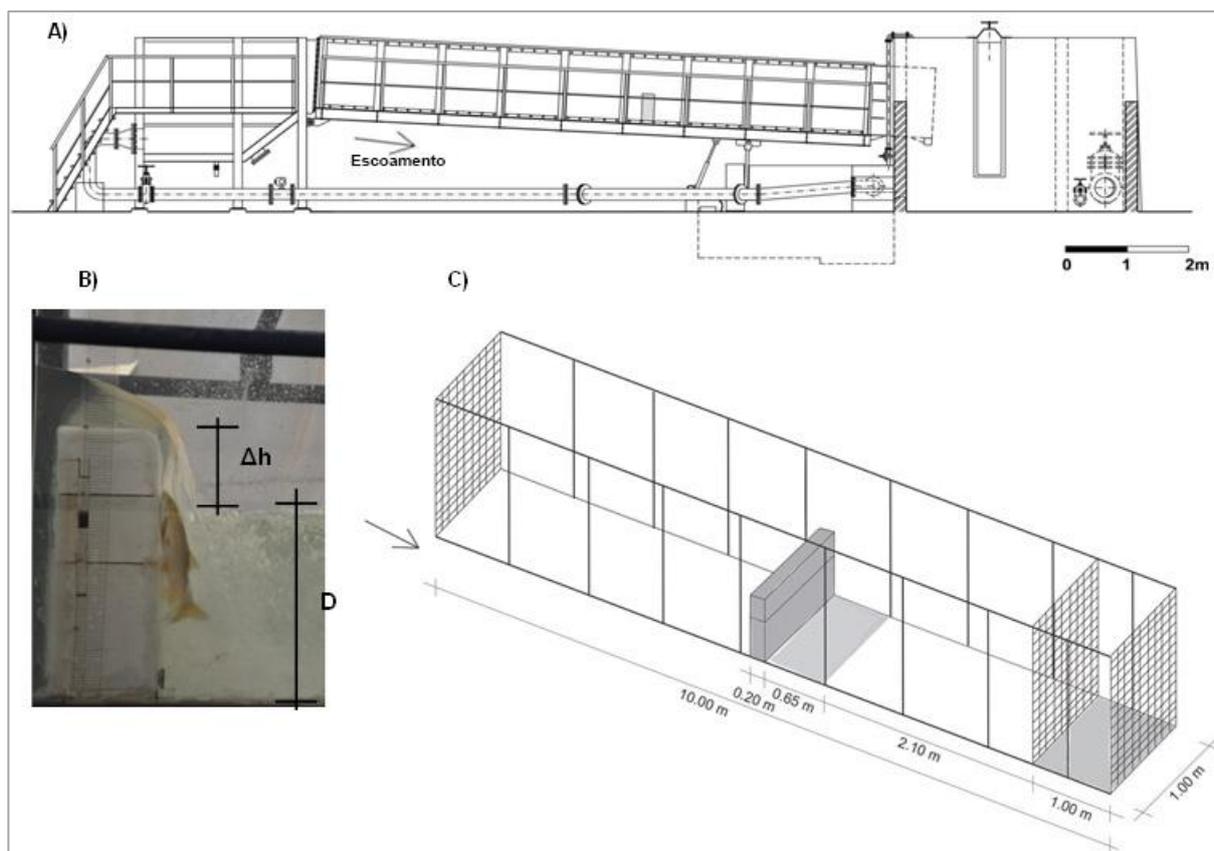


Figura 1. Esquema representativo das instalações experimentais: **A)** Planta do canal experimental com um declive de 3%; **B)** Ilustração das variáveis a testar considerando D como a profundidade de água a jusante do açude, e Δh a queda a transpor; e **C)** Localização do açude, da área de aproximação, e da área de aclimação no canal.

2.2. Ensaios biológicos

Um total de 380 barbos-comum, com um comprimento total médio de 18,7cm (\pm 3,3cm), foram capturados no rio Lisandro através de pesca elétrica (Hans Grassl IG-200), respeitando a metodologia estabelecida pelo Comité Europeu de Normalização (CEN, 2003). Ao longo dos ensaios realizaram-se seis saídas para capturar peixes, recolhendo-se em cada saída cerca de 65 exemplares. Os peixes capturados foram transportados para as instalações do LNEC onde foram mantidos em 3 tanques (capacidade de 700 l cada), por um período máximo de seis dias. Esses tanques de manutenção dispõem de um sistema de filtragem biológica (Fluval Canister Filter FX5) para recirculação da água e eliminação de eventuais substâncias tóxicas (p. ex. nitratos e nitritos).

Mantendo um caudal constante de 50 l/s, foram inicialmente testadas 16 configurações (Tabela 1) considerando todas as combinações de D (10, 20, 30 e 50cm) e Δh (5, 10, 15 e 25cm). Posteriormente, seleccionando a configuração que apresentou maior sucesso de passagem, foram testados os caudais de 25, 75 e 100 l/s. Para cada configuração foram realizadas 4 réplicas, usando em cada réplica um cardume de 5 peixes ($n = 20$ peixes por configuração). Antes do início de cada ensaio, os peixes foram mantidos durante 15 minutos na área de aclimação. Após esse período, o painel de rede foi removido e os peixes puderam movimentar-se livremente ao longo do canal experimental durante um período

máximo de 60 minutos. Como foi permitida tanto a passagem para montante como para jusante, os peixes puderam transpor o açude várias vezes.

Tabela 1. Designação das 16 configurações testadas (com $Q = 50$ l/s) considerando as combinações das variáveis profundidade de água a jusante do açude (D; cm) e queda de água a transpor (Δh ; cm).

		Queda de água a transpor (cm) – Δh			
		$\Delta h05$	$\Delta h10$	$\Delta h15$	$\Delta h25$
Profundidade de água (cm) – D	D10	D10 $\Delta h05$	D10 $\Delta h10$	D10 $\Delta h15$	D10 $\Delta h25$
	D20	D20 $\Delta h05$	D20 $\Delta h10$	D20 $\Delta h15$	D20 $\Delta h25$
	D30	D30 $\Delta h05$	D30 $\Delta h10$	D30 $\Delta h15$	D30 $\Delta h25$
	D50	D50 $\Delta h05$	D50 $\Delta h10$	D50 $\Delta h15$	D50 $\Delta h25$

Durante a monitorização foi registada a seguinte informação: número de aproximações (i.e., o número de peixes que entraram na área de aproximação, número de tentativas de passagem (i.e., o número de peixes que tentaram ativamente transpor o açude dentro da área de aproximação), número de sucessos de passagem para montante (NP) e tempo de ensaio decorrido a cada passagem para montante. Com base nesta informação calculou-se a eficiência de atracção (EA), correspondente ao quociente entre o número de tentativas e o número de aproximações registadas, e também a eficiência de passagem (EP), dada pelo quociente entre o número de passagens para montante e o número de tentativas.

Estatisticamente, para determinar a influência de D, Δh , e da interação de D e Δh no número de sucessos de passagem dos barbos para montante foi realizada uma análise da variância multivariável por permutações (PerMANOVA), com base nas distâncias euclidianas, usando o programa PC-ORD 6 (Peck, 2010). Para determinar o efeito do caudal no número de passagens dos barbos para montante foi aplicado o teste de Kruskal–Wallis, recorrendo ao pacote *dunn.test* (Dinno, 2015) do programa R (R Core Team, 2014).

2.3. Medições hidráulicas

A caracterização das condições hidrodinâmicas a jusante do açude foi realizada recorrendo a um 3D Acoustic Doppler Velocimeter (Vectrino ADV; Nortek AS), posicionado perpendicularmente em relação ao fundo do canal experimental. As configurações selecionadas foram: D20 $\Delta h10$, considerando os quatros caudais testados, e D50 $\Delta h05$, por inicialmente se considerar como a configuração que reunia as melhores condições. Assim, em cada configuração, as flutuações de velocidade segundo os eixos coordenados (x, y, z) foram medidas num total de 108 pontos de medição (36 pontos de amostragem localizados em 3 planos de medição verticais), estabelecidos de acordo com a variação esperada do campo de velocidades. Considerando os requisitos de aquisição de dados testados em trabalhos anteriores (Silva et al., 2011; Santos et al., 2014), as medições foram realizadas a uma frequência de amostragem de 25 Hz, por um período de 180 segundos. Posteriormente, de forma a caracterizar mais detalhadamente a variação de turbulência a jusante do açude, calculou-se a energia cinética turbulenta (TKE), com base nos dados filtrados das velocidades instantâneas (V_i), aplicando para tal o método de *despiking*, modificado por Wahl (2003), presente no programa de uso livre WinADV (Wahl, 2001).

3. RESULTADOS

Em todas as configurações testadas foram registadas passagens para montante. No entanto, o número total de aproximações, de tentativas de transposição e de sucessos de passagem em cada configuração, e conseqüentemente as suas eficiências de atracção e de passagem, bem como o tempo despendido pelos peixes para transpor o açude, foram bastante diferentes entre configurações.

Os resultados obtidos nas 16 configurações inicialmente testadas (influência de D e Δh na transposição de pequenas barreiras; Fig. 2) revelaram que tanto D ($F = 5.46$; $P = 0.004$) como Δh ($F = 4.68$; $P = 0.006$), bem como a interação de D e Δh ($F = 3.02$; $P = 0.005$) estão significativamente correlacionadas com o número de sucessos de passagem do barbo-comum (PerMANOVA, $P < 0.01$). Os melhores resultados foram alcançados na configuração D20 Δh 10, com o registo de 50 passagens para montante e elevadas percentagens de EA (53%) e EP (17%). Por outro lado, os piores resultados ocorreram na configuração D10 Δh 25 que, muito embora tenha conseguido um satisfatório valor de EA (25%), registou apenas uma passagem para montante (com EP de 1%), decorridos 46 minutos de ensaio (Fig. 3). Estes registos corroboram os resultados obtidos na comparação de pares realizada para cada variável D e Δh , destacando as diferenças significativas do número de sucessos de passagem registados em D = 20 cm, que apresenta maior número de passagens relativamente às outras profundidades testadas, bem como com $\Delta h = 25$ cm, que foi a queda de água a transpor com menor sucesso de passagem.

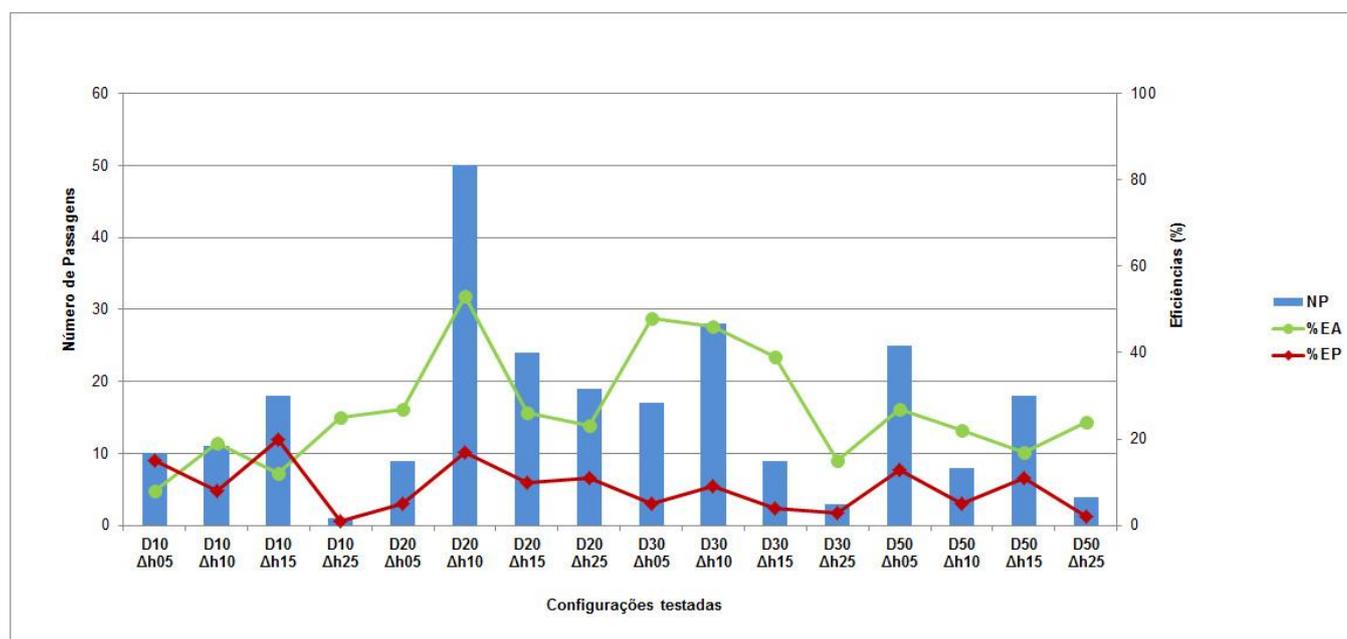


Figura 2. Resultados totais das 16 configurações testadas considerando as combinações de D e Δh , e mantendo $Q = 50$ l/s. NP é o número de passagens para montante; %EA eficiência de atracção ($n.^{\circ}$ tentativas/ $n.^{\circ}$ aproximações $\times 100$); %EP eficiência de passagem ($n.^{\circ}$ passagens/ $n.^{\circ}$ tentativas $\times 100$).

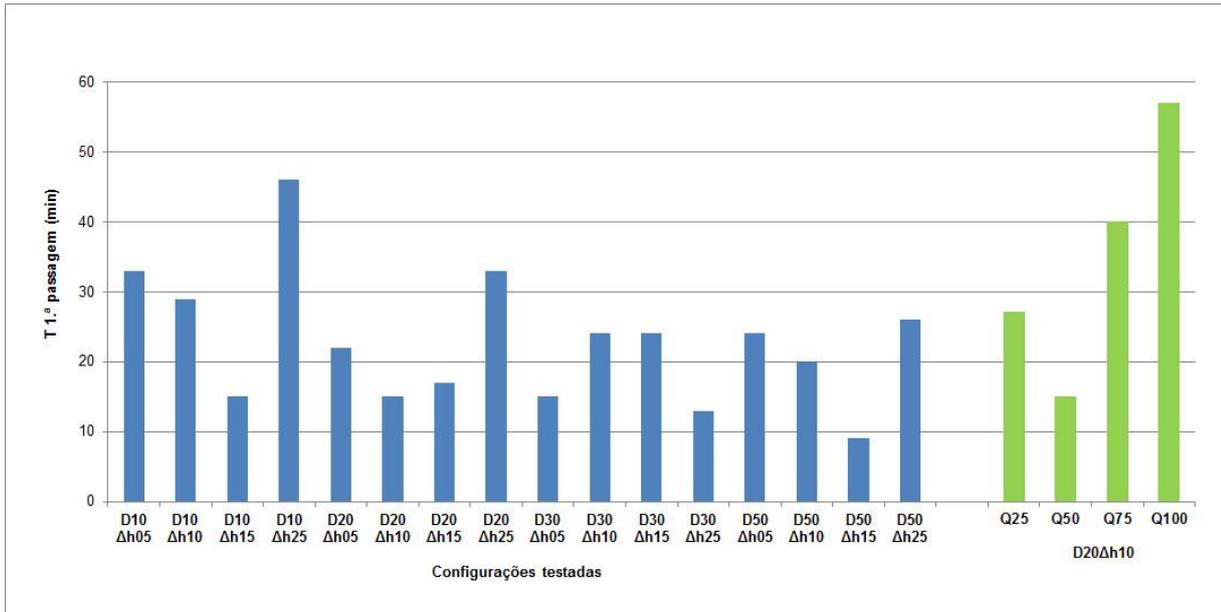


Figura 3. Valores médios do tempo de ensaio decorrido até se registar a primeira passagem para montante (min).

Quanto ao efeito do caudal (Fig. 4), os resultados do teste de Kruskal–Wallis evidenciaram que esta variável também afecta significativamente o número de sucessos de passagem ($\chi^2 = 10.95$; 3 d.f.; $P = 0.01$). O maior número de passagens para montante registou-se para $Q = 50$ l/s, que alcançou igualmente maiores percentagens de EA e EP e o menor tempo de ensaio decorrido até se registar a primeira passagem para montante. O caudal testado com piores resultados foi $Q = 100$ l/s, com apenas uma passagem, registada aos 57 minutos de ensaio (Fig. 3).

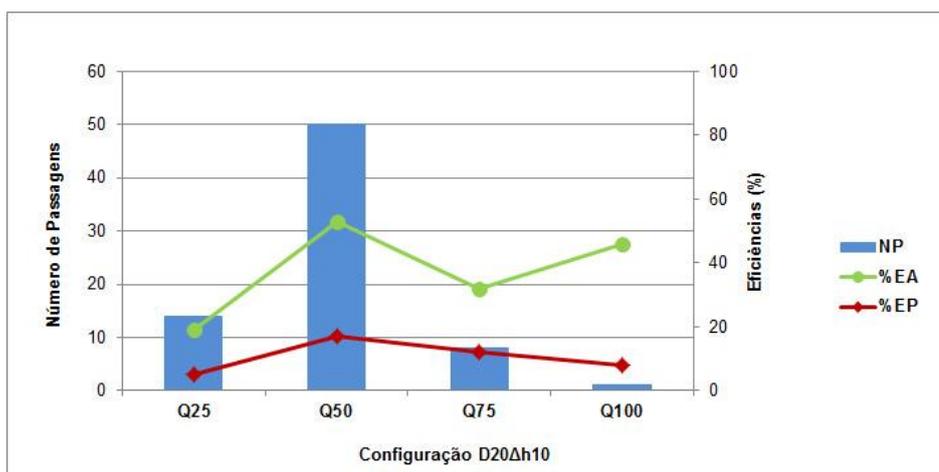


Figura 4. Resultados totais dos quatro caudais testados na configuração D20Δh10. NP é o número de passagens para montante; %EA eficiência de atracção (n.º tentativas/n.º aproximações ×100); %EP eficiência de passagem (n.º passagens/n.º tentativas ×100).

A caracterização das condições hidrodinâmicas a jusante do açude (Fig. 5) revelou diferenças entre as configurações testadas que poderão justificar os diferentes sucessos de passagem. Pela representação gráfica da variação da TKE, considerada como um importante descritor da turbulência em estudos ecohidráulicos (Wilkes et al., 2013), e dos vetores velocidade segundo o eixo coordenado (x,z), verificou-se um aumento destes dois parâmetros de acordo com os caudais testados (Fig. 5-A a 5-D). Esse aumento foi particularmente considerável para os caudais de 75 l/s (Fig. 5-C) e 100 l/s (Fig. 5-D), nos quais se registaram valores superiores a $1 \text{ m}^2/\text{s}^2$ perto da base do açude, bem como nas suas imediações no caso de $Q = 100 \text{ l/s}$. No que diz respeito à configuração D50Δh05 (Fig. 5-F; com $Q = 50 \text{ l/s}$), que inicialmente se considerou como a configuração que iria alcançar os melhores resultados, verificou-se que embora as velocidades sejam menores, os valores de TKE são igualmente superiores aos registados na configuração que efectivamente teve os melhores resultados, D20Δh10 Q50 (Fig. 5-B).

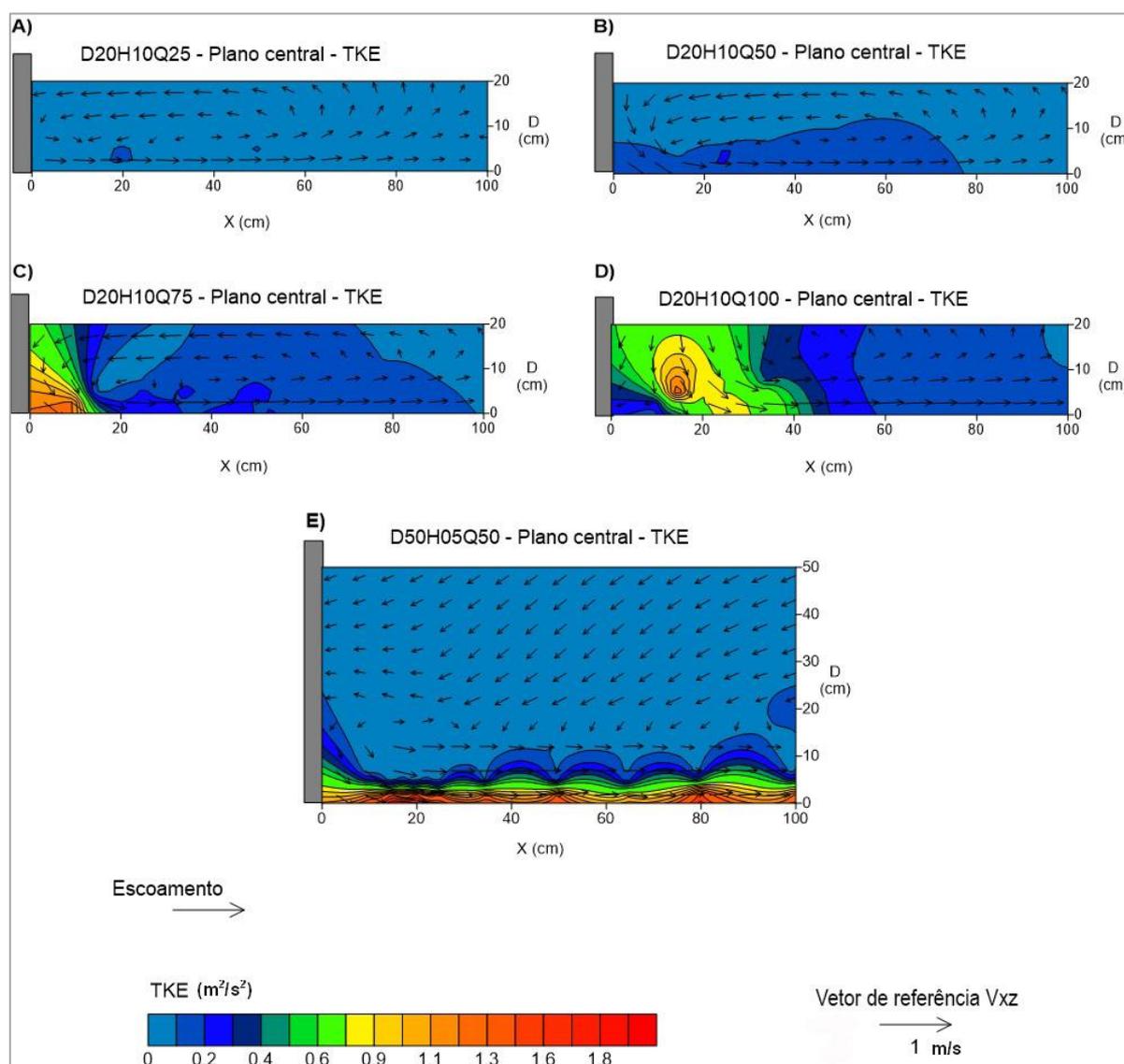


Figura 5. Representação gráfica da energia cinética turbulenta (TKE; m^2/s^2) e dos vetores de velocidade (V_{xz} ; m/s) a jusante do açude para: **A – D)** as quatro variações de caudal testadas na configuração D20 Δh10; e **E)** configuração D50 Δh05, inicialmente proposta como a melhor configuração.

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Este estudo evidenciou a importância da profundidade de água a jusante do açude, da queda de água a transpor, e do caudal, bem como o efeito das suas interações, na capacidade do barbo-comum transpor pequenos açudes de faces verticais. O elevado número de movimentos registados ao longo dos ensaios, tanto aproximações como tentativas e mesmo sucessos de passagem, demonstraram que os peixes estavam estimulados a movimentar-se para montante e transpor o açude. No entanto, as configurações testadas tiveram diferentes sucessos de passagem indicando que algumas combinações reuniram condições mais apropriadas de D e Δh , e de Q , e, conseqüentemente, proporcionaram ambientes hidrodinâmicos mais adequadas para os peixes manterem os seus desempenhos natatórios (Pavlov et al, 2000; Liao, 2007).

Embora a configuração com maior profundidade de água a jusante e menor queda a transpor ($D50\Delta h05$), prevista inicialmente como a configuração que deveria reunir as melhores condições de transposição, não tenha registado o maior número de passagens para montante e as melhores percentagens de EA e EP, alcançou o terceiro lugar de sucessos de passagem com valores satisfatórios. Por outro lado, analisando os resultados obtidos nas configurações com menores sucessos, podemos concluir que tanto as pequenas profundidades de água a jusante dos açudes como, principalmente, as elevadas quedas de água a transpor são factores potencialmente inibidores do sucesso de passagem para montante de espécies como o barbo-comum. De facto, o número de passagens que ocorreram nas sete configurações que testaram $D = 10$ cm ou $\Delta h = 25$ cm ($D10\Delta h05$, $D10\Delta h10$, $D10\Delta h15$, $D10\Delta h25$, $D20\Delta h25$, $D30\Delta h25$, e $D50\Delta h25$) representam apenas 26% do total de passagens, que é um resultado muito próximo dos 20% de sucessos alcançados com a melhor configuração $D20\Delta h10$. Além disso, com estas condições limitantes, os peixes necessitaram de mais tempo para transpor o açude experimental, obrigando-os igualmente a despendar mais energia.

Relativamente ao caudal, os resultados demonstraram que tem um efeito preponderante sobre os sucessos de passagem do barbo-comum. Como é mencionado por Baudoin et al. (2014), as espécies ciprinícolas potamódromas têm capacidades natatórias mais fracas quando comparadas com os salmonídeos e, embora sejam capazes de saltar, este não é um comportamento comum para transpor obstáculos. Tal como foi observado neste estudo, frequentemente as espécies ciprinícolas transpõem os obstáculos nadando pela lâmina de água que geralmente se forma junto à face de jusante do obstáculo, quando as condições do caudal e altura da queda são adequadas (Baudoin et al., 2014). Portanto, como era esperado, com o aumento do caudal, e conseqüentemente da turbulência junto ao açude, verificou-se uma diminuição das aproximações, das tentativas de transposição e principalmente das passagens para montante, pois não ocorreu formação da lâmina de água na face de jusante do açude e portanto os barbos foram forçados a tentar a passagem através do salto, o que conduz a um maior dispêndio de tempo e principalmente de energia. Por outro lado, o menor caudal testado inesperadamente não registou o maior número de passagens, resultado que nos leva a supor que a dissipação da queda de água a jusante não foi suficientemente atrativa para estimular os peixes a saltar, e também não possibilitou a formação de uma lâmina de água adequada para os peixes transporem o açude por natação. Estes resultados corroboram a importância da dissipação do jacto de água a

13.º Congresso da Água

jusante da barreira na atração dos peixes e nos sucessos de passagem para montante, como defendido por Baudoin et al. (2014).

Em conclusão, estes resultados demonstram que a transposição de pequenos açudes de faces verticais é um fenómeno complexo, que está largamente dependente do ambiente hidráulico que se forma pela interacção das variáveis profundidade de água a jusante do açude, queda de água a transpor, e caudal. Na prática, as observações resultantes deste estudo poderão ser úteis na definição de medidas de requalificação deste tipo de obstáculos, mais adequadas às capacidades e comportamentos de várias espécies, de forma a melhorar a livre movimentação dos peixes e aumentar a conectividade entre os diversos habitats.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através do projecto FISHMOVE (PTDC/AGR-CFL/117761/2010). Susana D. Amaral auferiu de uma bolsa da Universidade de Lisboa/Santander Totta (SantTotta/BD/RG2/SA/2011) e é atualmente financiada por uma bolsa de Doutoramento da FCT (SFRH/BD/110562/2015). Paulo Branco é financiado por uma bolsa de Pós-Doutoramento da FCT (SFRH/BPD/94686/2013). Os autores gostariam ainda de agradecer à equipa do Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) por todo o apoio prestado durante os ensaios experimentais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aarts B.G., Van Den Brink F.W., Nienhuis, P.H. (2003). Habitat loss as the main cause of the slow recovery of fish faunas of regulated large rivers in Europe: the transversal floodplain gradient. *Regulated Rivers: Research and Management* 20, 3–23.

Baudoin J.M., Burgun V., Chanseau M., Larinier M., Ovidio M., Sremski W., Steinbach P., Voegtli B. (2014). Assessing the passage of obstacles by fish. Concepts, design and application. Onema, France.

Benitez J.P., Matondo B.N., Dierckx A., Ovidio M. (2015). An overview of potamodromous fish upstream movements in medium-sized rivers, by means of fish passes monitoring. *Aquatic Ecology* 49, 481–497.

Branco P., Segurado P., Santos J.M., Pinheiro P., Ferreira M.T. (2012). Does longitudinal connectivity loss affect the distribution of freshwater fish?. *Ecological Engineering* 48, 70–78.

Brandt M.M., Holloway J.P., Myrick C.A., Kondratieff M.C. (2005). Effects of waterfall dimensions and light intensity on age-0 brook trout jumping performance. *Transactions of the American Fisheries Society* 134, 496–502.

CEN (European Committee for Standardization). (2003). Water quality: sampling of fish with electricity. Brussels: CEN, European Standard EN 14011: 2003 E.

Comissão Europeia. (2000). Directiva 2000/60/CE, Directiva Quadro da Água, de 23 de Outubro.

13.º Congresso da Água

Crook D.A., Lowe W.H., Allendorf F.W., Erős T., Finn D.S., Gillanders B.M., Hadweng W.L., Harrod C., Hermoso V., Jennings S., Kilada R.W., Nagelkerken I., Hansen M.M., Page T.J., Riginos C., Fry B., Hughes J.M. (2015). Human effects on ecological connectivity in aquatic ecosystems: Integrating scientific approaches to support management and mitigation. *Science of the Total Environment* 534, 52–64.

Dinno A. (2015). *dunn.test*: Dunn's Test of Multiple Comparisons Using Rank Sums. R package version 1.2.3. <http://CRAN.R-project.org/package=dunn.test>.

Gollmann G., Bouvet Y., Brito R.M., Coelho M.M., Collares-Pereira M.J., Imsiridou A., Karakousis Y., Pattee E., Triantaphyllidis C. (1998). Effects of river engineering on genetic structure of European fish populations. In *Fish Migration and Fish Bypasses*. Ed. M. Jungwirth, S. Schmutz and S. Weiss. Oxford: Fishing News Books. Blackwell Science, 113–123.

Katopodis C., Williams J.G. (2012). The development of fish passage research in a historical context. *Ecological Engineering* 28, 407–417.

Kondratieff M.C., Myrick C.A. (2006). How high can Brook Trout jump? A laboratory evaluation of Brook Trout jumping performance. *Transactions of the American Fisheries Society* 135, 361–370.

Larinier M., Marmulla G. (2004). Fish passes: types, principles and geographical distribution an overview. *Proceedings of the Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries*, 11–14 February. Kingdom of Cambodia.

Leaniz C.G. (2008). Weir removal in salmonid streams: implications, challenges and practicalities. *Hydrobiologia* 609, 83–96.

Liao J.C. 2007. A review of fish swimming mechanics and behavior in altered flows. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 362, 1973–1993.

Lucas M.C., Baras E. (2001). *Migration of Freshwater Fishes*. Blackwell Science, Australia.

Nilsson C., Reidy C.A., Dynesius M., Revenga C. (2005). Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science* 308, 405–408.

Ordeix M., Pou-Rovira Q., Sellarès N., Bardina M., Casamitjana A., Solà C., Munné A. (2011). Fish pass assessment in the rivers of Catalonia (NE Iberian Peninsula). A case study of weirs associated with hydropower plants and gauging stations. *Limnetica* 30, 405–426.

Ovidio M., Philippart J.C. (2002). The impact of small physical obstacles on upstream movements of six species of fish - synthesis of a 5-year telemetry study in the River Meuse basin. *Hydrobiologia* 483, 55–69.

Ovidio M., Capra H., Philippart J.C. (2007). Field protocol for assessing small obstacles to migration of brown trout *Salmo trutta*, and European grayling *Thymallus thymallus*: a contribution to the management of free movement in rivers. *Fisheries Management and Ecology* 14, 41–50.

Pavlov D.S., Lupandin A.I., Skorobogatov M.A. (2000). The effects of flow turbulence on the behavior and distribution of fish. *Journal of Ichthyology* 40, S232–S261.

Peck J.E. (2010). *Multivariate Analysis for Community Ecologists: Step-by-Step using PC-ORD*. MjM Software Design. Gleneden Beach. Oregon.

13.º Congresso da Água

Poulet N. (2007). Impact of weirs on fish communities in a piedmont stream. *River Research and Applications* 23, 1038–1047.

R Core Team. (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

Reyjo Y., Argillier C., Bonne W., Borja A., Buijse A.D., Cardoso A.C., Daufresne M., Kernan M., Ferreira M.T., Poikane S., Prat N., Solheim A.L., Stroffek S., Usseglio-Polatera P., Villeneuve B., van de Bund W. (2014). Assessing the ecological status in the context of the European Water Framework Directive: Where do we go now?. *Science of the Total Environment* 497–498, 332–344.

Santos J.M., Ferreira M.T., Pinheiro A.N., Bochechas J. (2006). Effects of small hydropower plants on fish assemblages in medium-sized streams in Central and Northern Portugal. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 16, 373–388.

Santos J.M., Branco P., Katopodis C., Ferreira T. and Pinheiro A. (2014). Retrofitting pool-and-weir fishways to improve passage performance of benthic fishes: Effect of boulder density and fishway discharge. *Ecological Engineering* 73, 335–344.

Silva A.T., Santos J.M., Ferreira M.T., Pinheiro A.N., Katopodis C. (2011). Effects of water velocity and turbulence on the behavior of Iberian barbel (*Luciobarbus bocagei*, Steindachner 1864) in an experimental pool-type fishway. *River Research and Applications* 27, 360–373.

Vannote R.L., Minshall G., Cummins K.W., Sedell J.R., Cushing C.E. (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37, 130–137.

Wahl T.L. (2001). WINADV – A free-ware software program for the analysis of ADV data. Bureau of Reclamation Water Resources Research Laboratory. Denver. Colorado.

Wahl T.L. (2003). Discussion of “Despiking Acoustic Doppler Velocimeter Data”. *Journal of Hydraulic Engineering* 129, 484–487.

Wilkes M.A., Maddock I., Visser F., Acreman M.C. (2013) Incorporating Hydrodynamics into Ecohydraulics: The Role of Turbulence in the Swimming Performance and Habitat Selection of Stream-Dwelling Fish. In *Ecohydraulics: An Integrated Approach*. Ed. I. Maddock, A. Harby, P.S. Kemp and P.J. Wood. Wiley Blackwell. London, 9–30.