

TRANSPONIBILIDADE DE UM AÇUDE EXPERIMENTAL RAMPEADO POR CIPRINÍDEOS POTAMÓDROMOS: EFEITO DO COMPRIMENTO E DECLIVE DA RAMPA

Susana D. AMARAL¹, Paulo BRANCO¹, Maria T. FERREIRA¹, António N. PINHEIRO², José M. SANTOS¹

1. Centro de Estudos Florestais (CEF), Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal, samaral@isa.ulisboa.pt, pjbranco@isa.ulisboa.pt, terferreira@isa.ulisboa.pt, jmsantos@isa.ulisboa.pt

2. Investigação e Inovação em Engenharia Civil para a Sustentabilidade (CERIS), Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Avenida Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal, antonio.pinheiro@tecnico.ulisboa.pt

RESUMO

Os pequenos açudes rampeados constituem um dos obstáculos fluviais mais comuns aos movimentos das espécies piscícolas. A transponibilidade destas estruturas, em que a água passa sobre as mesmas, mas não gera uma queda vertical, é sobretudo afetada pelo comprimento e declive da respetiva rampa. Contudo, a contribuição relativa destes fatores raramente tem sido considerada em estudos de ecodinâmica. Este trabalho teve como objetivo avaliar a transponibilidade de um pequeno açude experimental rampeado, com comprimento (C) e declive de rampa (D) variável, por um ciprinídeo potamódromo, o barbo-comum (*Luciobarbus bocagei*). Foram testadas 4 configurações, contemplando diferentes combinações de C (1,50 e 3,00 m) e D (10, 20 e 30%), mantendo um escoamento constante de 110 l/s. Os resultados sugerem que ambos os fatores influenciaram a transponibilidade dos movimentos piscícolas. A eficiência de atração (EA%) aumentou com o aumento de C e D, enquanto que o número de sucessos (N) e eficiência de passagem (EP%) diminuiu com o aumento de C. Relativamente a D, verificou-se que tanto N como a EP% atingiram o máximo para valores intermédios (20%) desta variável. Estes resultados podem ser úteis para a realização de projetos e/ou reestruturação destas estruturas, de forma a melhorar a conectividade longitudinal de segmentos fluviais fragmentados.

Palavras-Chave: espécies ciprinícolas potamódromas; pequenos açudes rampeados; migração para montante; ecodinâmica.

1. INTRODUÇÃO

A fragmentação dos cursos de água causada pela presença de pequenos açudes, que se estima serem 2-4 ordens de grandeza mais numerosos do que as barragens e os pequenos aproveitamentos hidroelétricos, tem sido considerada uma das principais ameaças à sustentabilidade das populações piscícolas (Nilsson et al., 2005). Nos rios portugueses, foram identificados mais de 8000 pequenos açudes, com menos de 5m de altura (Ordeix et al., 2018). Juntamente com os pequenos açudes de faces verticais, que devido à sua face de jusante geram uma queda, os açudes rampeados, com faces inclinadas que os peixes podem superar pela natação, são os mais frequentes nos cursos de água Ibéricos (Solà et al., 2011).

Ao contrário dos açudes de faces verticais, nos açudes rampeados a água passa sobre a rampa e não gera uma queda (Baudoin et al., 2014). A permeabilidade destes obstáculos aos movimentos da fauna piscícola é condicionada pelas condições locais, temporais, e das características das espécies presentes. Assim, para além da importância da capacidade natatória dos peixes, condição intimamente relacionada com o grupo de espécies piscícolas e seu tamanho corporal (Newton et al., 2018), a eficiência destas estruturas à transposição para montante está principalmente dependente das condições hidrodinâmicas presentes na sua vizinhança, tais como o escoamento e turbulência, bem como das suas características estruturais, apresentando-se o comprimento e o declive de rampa como dois dos fatores-chave (Baudoin et al., 2014). Desta forma, uma vez que a eficiência de transposição destes açudes rampeados tem sido parcamente avaliada, é particularmente importante estudar a

14.º SILUSBA

interação destes fatores-chave para estabelecer considerações de projeto mais apropriadas para este tipo de obstáculos.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a transponibilidade de um pequeno açude experimental rampeado, com comprimento (C) e declive de rampa (D) variável, por um ciprinídeo potamódromo, o barbo-comum (*Luciobarbus bocagei*). Para tal, foram testadas 4 configurações, contemplando diferentes combinações de C (1,50 e 3,00 m) e D (10, 20 e 30%), mantendo um escoamento constante de 110 l/s. O barbo-comum foi selecionado como espécie alvo por ser representativo de 8 espécies ciprinícolas potamódromas bentónicas, de tamanho médio, abundantes nos rios Ibéricos e da Europa ocidental. Como resultados expectáveis prevê-se que: i) o desempenho de passagem dos peixes, considerando a atração e os sucessos de passagem para montante, será influenciado pelas diferentes combinações de C e D testadas; ii) a eficiência de atração aumente com o aumento de C e D; e iii) as transposições bem-sucedidas e, conseqüentemente, a eficiência de passagem, diminuam com o aumento de C e D.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As experiências foram realizadas num canal existente no Departamento de Hidráulica e Ambiente do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), em Lisboa. O canal retangular (Fig. 1A), com dimensões de 10,00 m × 0,60 m × 1,20 m, tem estrutura em aço, 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 de tranquilização, localizada a montante, existindo a jusante um tanque que permite controlar o nível de jusante e armazenar a água que é recirculada. O declive do canal é ajustável, tendo-se utilizado um declive de 3%, considerado representativo do declive da maioria dos cursos de água de ordem inferior ibéricos.

Quatro configurações (Fig. 1B; C300 D10; C150 D10; C150 D20; C150 D30), contemplando dois comprimentos de rampa (C = 1,50 e 3,00 m) e três declives diferentes (D = 10, 20 e 30%), foram testadas mantendo um escoamento constante de 110 l/s. Os açudes experimentais, construídos em contraplacado marítimo, ocuparam toda a largura do canal e foram colocados 2,50 m a montante da área de aclimação, uma área de 0,60 m² criada por dois painéis de rede amovíveis, na zona jusante do canal, para permitir a aclimação dos peixes às condições existentes antes de cada ensaio. Imediatamente a jusante da rampa, uma zona de 0,50 m de comprimento foi estabelecida como área de aproximação, na qual os movimentos dos peixes foram monitorizados por vídeo-gravação (GoPro HERO5) e por observação direta. Em cada configuração testada, a velocidade da água (V_x) ao longo das rampas, bem como a montante e a jusante, foi medida com um molinete (modelo FP 101, Global Water Instrumentation; para mais detalhes, consultar Amaral et al., 2019).

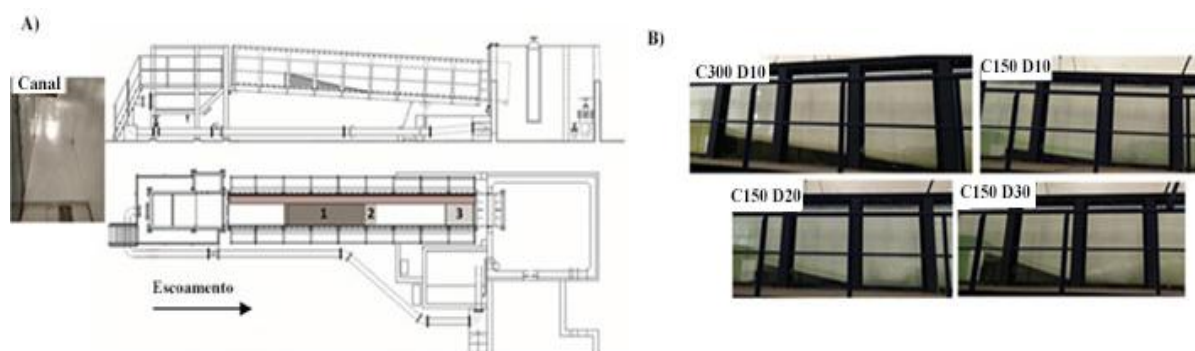


Fig. 1. A) vista lateral, e vista de topo do canal experimental com a localização de (1) o açude rampeado experimental (localizado 2,50 m a montante da área de aclimação), (2) a área de aproximação (área sombreada de 0,30 m² imediatamente a jusante da rampa) e (3) a área de aclimação (área sombreada de 0,60 m² localizada a jusante, entre dois painéis de rede amovíveis); B) imagens das quatro configurações testadas.

Um total de 80 barbos-comum, com um comprimento total médio de 16,3 cm (\pm 2,1 cm), foram capturados no rio Lisandro através de pesca elétrica (Hans Grassl IG-200), respeitando a metodologia estabelecida pelo Comité Europeu de Normalização (CEN, 2003). Os peixes capturados foram mantidos em tanques (capacidade de 700 l)

nas instalações do LNEC, 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 (2300 l/h).

Para cada configuração testada 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 do canal experimental. Após esse período, o painel de rede foi removido e os peixes puderam movimentar-se livremente durante um período de 60 minutos. Como foi permitida tanto a passagem para montante como para jusante, os peixes puderam transpor o açude rampeado várias vezes. Durante os ensaios foi registada a seguinte informação: Ap - número de aproximações (i.e., o número de peixes que entraram na área de aproximação), Tp - número de tentativas de transposição (i.e., o número de peixes que tentaram ativamente transpor a rampa), N - número de sucessos de transposição (i.e., o número de peixes que passaram a rampa para montante). Posteriormente, foram calculadas métricas de desempenho de passagem, como a eficiência de atração (EA%; quociente entre o número de tentativas e o número de aproximações $\times 100$) e a eficiência de passagem (EP%; quociente entre o número de sucessos e o número de tentativas $\times 100$). Para determinar a influência de C e D na transposição dos açudes rampeados testados, considerando os resultados de N, EA% e EP%, aplicou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, utilizando o pacote *dunn.test* (Dinno, 2015) do programa R (R Core Team, 2017).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em todas as configurações testadas foram registados sucessos de transposição dos açudes rampeados (Fig. 2). Contudo, o número total de Ap, Tp e N em cada configuração, e consequentemente as respetivas EA% e EP%, foram diferentes entre configurações, evidenciando a influência que os fatores C e D poderão ter tido no desempenho de transposição do barbo-comum.

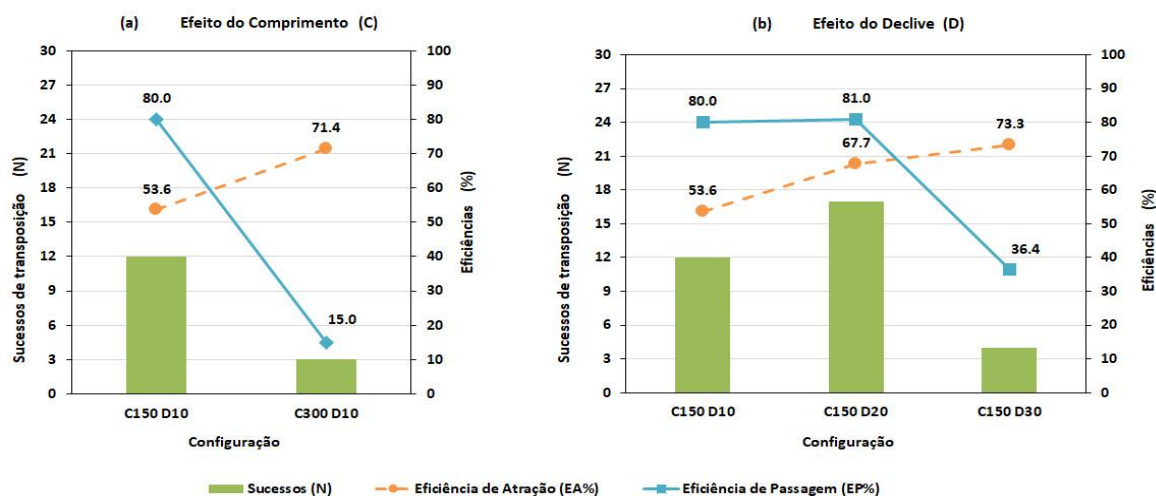


Fig. 2. Resultados relativos ao número de sucessos de transposição (N), eficiência de atração (EA%) e eficiência de passagem (EP%), considerando a variação de: a) comprimento de rampa (C); e b) declive da rampa (D).

Analisando o efeito dos fatores C (Fig. 2A) e D (Fig. 2B) sobre o desempenho de transposição do barbo-comum, é possível constatar que o número total de N e, consequentemente, os valores de EP% diminuíram com o aumento dos fatores testados. Contudo, os valores de EA% registaram um aumento com os valores crescentes de C bem como de D. Os resultados do teste de Kruskal-Wallis sugerem uma influência marginalmente significativa (i.e., $P \leq 0,10$) de ambos os fatores C e D no número de N (C: $H = 1,85$, 1 *d.f.*, $P = 0,10$; D: $H = 4,47$, 2 *d.f.*, $P = 0,10$), bem como nos valores de EP% (C: $H = 3,19$, 1 *d.f.*, $P = 0,07$; D: $H = 5,71$, 2 *d.f.*, $P = 0,05$). No entanto, a EA%, não foi significativamente influenciada pelos fatores C ($H = 0,004$, 1 *d.f.*, $P = 0,90$) e D ($H = 2,30$, 2 *d.f.*, $P = 0,31$).

Ao contrário do que seria inicialmente esperado, a configuração C150 D10, que combinou o menor C (150 cm) com o menor D (10%), e apresentou valores de V_x (sobre a rampa e no seu pé) inferiores a 2 m/s, não foi a

configuração que alcançou os melhores resultados (totais de $A_p = 28$, $T_p = 15$, e $N = 12$). O maior número de A_p , de T_p e de N foram registados na configuração C150 D20 (totais de 31, 21 e 17, respetivamente), onde os valores de V_x variaram entre 2 e 3 m/s; foi também esta a configuração que alcançou a maior EP% (81 %). Por outro lado, a configuração C300 D10, que apresentou valores de V_x superiores a 3 m/s, registou o menor N , com apenas 3 transposições, e foi a configuração menos eficiente em termos de EP% (15%). No entanto, considerando a EA%, esta configuração (C300 D10) foi a segunda mais atrativa para os peixes, com EA% = 71,4%, tendo sido apenas superada pela configuração C150 D30 (registando igualmente valores de V_x superiores a 3 m/s), na qual EA% = 73,3%. Estes resultados corroboram a teoria do "paradoxo da passagem dos peixes", mencionada por Amaral et al. (2016; 2019) e por Goering & Castro-Santos (2017), que reconhece a influência da velocidade da água e, conseqüentemente, da turbulência e dissipação de energia que ocorre nestas pequenas barreiras (Baudoin et al., 2014) na atração dos peixes para estes obstáculos, e no seu sucesso de transposição. Assim, tal como nos estudos referidos, os peixes foram atraídos para o açude rampeado por valores de V_x mais elevados, mas tais valores de V_x podem ter sido um fator limitante para o sucesso da transposição.

Em conclusão, estes resultados sugerem que as configurações com menores D podem não ser necessariamente a melhor opção, uma vez que podem ser menos atrativas para os peixes, além de requererem mais comprimento. Por outro lado, D mais elevados (mas não excessivos), poderão ser mais atrativos para os peixes, menos exigentes em termos de espaço e, portanto, mais económicos. Futuras investigações devem igualmente contemplar o estudo de diferentes caudais, bem como a colocação de geometrias distintas de macro-rugosidades ao longo das rampas, de forma a avaliar como estas afetam a transponibilidade deste tipo de estruturas, e assim melhorar a conectividade de segmentos fluviais fragmentados.

AGRADECIMENTOS

O Centro de Estudos Florestais (CEF) é uma Unidade de Investigação financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P. (FCT), Portugal (UID/AGR/00239/2019). Susana D. Amaral auferiu uma bolsa 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). José M. Santos detém um contrato Investigador FCT (IF/00020/2015).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral SD, Branco P, Silva AT, Katopodis C, Viseu T, Ferreira MT, Pinheiro AN, Santos JM (2016) Upstream passage of potamodromous cyprinids over small weirs: the influence of key-hydraulic parameters. *Journal of Ecohydraulics*, 1, 79–89. <http://dx.doi.org/10.1080/24705357.2016.1237265>
- Amaral SD, Branco P, Katopodis C, Ferreira MT, Pinheiro AN, Santos JM (2019) Passage performance of potamodromous cyprinids over an experimental low-head ramped weir: the effect of ramp length and slope. *Sustainability*, 11, 1456. doi:10.3390/su11051456
- Baudoin JM, Burgun V, Chanseau M, Larinier M, Ovidio M, Sremski W, Steinbach P, Voegtle B (2014) Assessing the passage of obstacles by fish. Concepts, design and application. Onema. Paris, France.
- [CEN] European Committee for Standardization (2003) Water quality: sampling of fish with electricity. Brussels: CEN, European Standard EN 14011: 2003 E.
- 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>.
- Goerig E, Castro-Santos T (2017) Is motivation important to brook trout passage through culverts?. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 74, 885-893. <https://dx.doi.org/10.1139/cjfas-2016-0237>
- Nilsson C, Reidy CA, Dynesius M, Revenga C (2005) Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science*, 308, 405–408. doi: 10.1126/science.1107887
- Ordeix M, González G, Sanz-Ronda FJ, Santo, JM (2018) Restoring fish migration in the rivers of the Iberian Peninsula. In: From Sea to Source 2.0. - International guidance for the restoration of fish migration highways. Eds P. Gough, P. Philipsen, P.P. Schollemma and H. Wannigen. Groningen, The Netherlands.109-112.
- R Core Team (2017) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.



14. SILUSBA

Solà C, Ordeix M, Pou-Rovira Q, Sellarès N, Queralt A, Bardina M, Casamitjana A, Munné A (2011) Longitudinal connectivity in hydromorphological quality assessments of rivers. The ICF index: A river connectivity index and its application to Catalan rivers. *Limnetica*, 30, 273–292.