

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE BUEIROS PARA PASSAGEM DE PEIXES EM TRÊS DIMENSÕES

Matheus Teotônio Rafael¹; Joseph Dvorak²; Ans Mouton³; Etienne Dupont⁴; Hersília de Andrade e Santos¹

Resumo

Mecanismos de transposição normalmente são estruturas hidráulicas destinadas a minimizar o impacto causado por barramentos à trajetória migratória dos peixes. Em geral, qualquer curso d'água é passível de alterações nas suas características hidráulicas, o que pode acarretar problemas à migração da ictiofauna e, consequentemente, ao uso de medidas mitigadoras como os mecanismos de transposição. Neste contexto se encontram os cursos d'água que são cortados por estradas de rodagem e cuja transposição rodoviária é realizada por meio de bueiros. Para propiciar a passagem da ictiofauna através destas estruturas, uma opção é a construção de bueiros adjacentes aos já construídos, com adaptações para redução da velocidade do escoamento. O presente artigo avaliou o escoamento criado por um bueiro adaptado "stairs pipe" e já instalado em pequenos córregos na Bélgica. Através do uso da técnica de CFD (Computational Fluid Dynamics) em três dimensões, foi possível verificar que a velocidade máxima do escoamento foi de 1,5 m/s e os defletores com ângulo de 60° provocaram maiores velocidades no escoamento principal para inclinação de 5 %. Já a inclinação de 10% não permite a formação de áreas de remanso, necessárias para os peixes em migração. Este estudo pode subsidiar futuras aplicações destes mecanismos no Brasil.

Palavras-chave - Mecanismos de transposição, superfície livre, computational fluid dynamics

NUMERICAL MODEL FOR FISHPASSES CULVERTS IN THREE DIMENSIONS

Abstract

Fishpasses are typically hydraulic structures designed to minimize the impact caused by obstruction to the migratory path of fish. In general, any watercourse is able to be changed in the hydraulic characteristics which can cause problems for migrating of the ichthyofauna and, consequently, determine the adoption of mitigating measures as fishpasses. Concerning on this kind of environmental impact, the watercourses that are crossed by roads can generate obstacles and disrupt the migratory pattern of the resident species in that region. To facilitate the passage of fish populations through these structures, an option is the construction of culverts adjacent to already built, with adjustments made to reduce the flow velocity. This paper evaluated the flow created by an adapted culvert known as "stairs pipe" and already installed in small streams in Belgium. Through the use of the technique of CFD (Computational Fluid Dynamics) in three dimensions, we found that the maximum velocity of the flow was 1,5 m/s and the baffles with 60° angle produces highest velocity in the main flow for 5% slope. The slope of 10% doesn't create pool areas, which

¹ Departamento Acadêmico de Engenharia Civil, CEFET-MG, matheust.rafael@gmail.com

² Universidade de Iowa

³ Research Institute for Nature and Forest (INBO)

⁴ Departamento de Meio Ambiente do Ministério da Agricultura, dos Recursos Naturais e Meio Ambiente, Bélgica

are necessities for migratory fish. This study may support future applications of this mechanism in Brazil.

Keywords – mechanisms of transposition, free surface, computational fluid dynamics

INTRODUÇÃO

Barreiras antropogênicas são um fator primário que afeta os movimentos dos peixes (Fullerton *et al.*, 2010). Em geral, qualquer curso d'água é passível de alterações nas suas características hidráulicas, o que pode acarretar problemas à migração da ictiofauna (Martins, 2005) e, consequentemente, ao uso de medidas mitigadoras como os mecanismos de transposição. Neste contexto se encontram os cursos d'água que são cortados por estradas de rodagem que geram empecilhos e podem desequilibrar o padrão migratório das espécies da região (Dupont, 2004). Passagens para peixes são tipicamente estruturas hidráulicas concebidas para permitir a migração de peixes que poderia ser bloqueada por barragens, estradas ou represas (Clay, 1995).

Os bueiros são estruturas hidráulicas que permitem a passagem de água através de condutos simples, geralmente retilíneos e de comprimento limitado. Eles são compostos basicamente por três partes: a boca de entrada, o corpo de obra e a boca de saída. Os seus critérios de classificação são quanto ao número de linhas (simples, duplos ou triplos) ou quanto à forma da secção (Baptista e Lara, 2010). Ao projetar um novo bueiro em cruzamentos de córregos, os engenheiros ainda focam na maximização da eficiência hidráulica da estrutura e na minimização dos custos, dando pouca atenção ao habitat e à necessidade de passagem dos peixes e invertebrados (Baker e Votapka, 1990; Warren e Pardew, 1998; Blakely *et al.*, 2006).

A maioria das alterações à ictiofauna está relacionada aos elevados desníveis criados com a construção dos bueiros, ao comprimento destas obras e às altas velocidades do escoamento geradas pela combinação do comprimento e do desnível a ser vencido (Figura 1). A acumulação de sedimentos e detritos também pode inibir a passagem (Bates *et al.*, 2003), assim como o tamanho específico para a natação do peixe alvo (Starrs *et al.*, 2011). No entanto, até mesmo uma passagem para peixes completamente funcional pode ser inútil se, por algum motivo peculiar ecológico, os peixes não querem usá-lo (Dupont, 2004).



Figura 1- Exemplo de um Bueiro Caixa intransponível.

Estudos sobre bueiros que propiciam a passagem de peixes neste contexto vêm sendo realizados principalmente em países da Europa (Dupont, 2004). Muitos destes mecanismos visam atender as necessidades de trutas, que possuem sítios de reprodução em pequenos cursos d'água.

Segundo Dupont (2004), a adição de defletores nos bueiros visa criar pequenas piscinas de baixa vazão para o peixe descansar durante a sua passagem. Desta forma, uma parceria estabelecida com o instituto de pesquisa INBO (Research Institute for Nature and Forest) visa avaliar hidráulicamente estas estruturas, cujo emprego vem se iniciando na Bélgica. Para isto um modelo de dinâmica computacional de fluidos (CFD) foi desenvolvido no Brasil utilizando as informações de projeto de um bueiro teste, construído nos laboratórios do INBO. O objetivo deste estudo é obter informações quantitativas relacionadas a distância mínima para formação das piscinas e velocidade máximas do escoamento para que seja possível a passagem de peixes.

MATERIAIS E MÉTODOS

Geometria e Malha

Para avaliação da eficiência da passagem de trutas foi construído no instituto de pesquisa INBO um bueiro passagem de peixe em escala real com 8 metros de comprimento. Para a confecção da estrutura, foram utilizados módulos de 1 metro de comprimento com diâmetro de 50 cm. De acordo com estudo prévios (Dupont, 2004), selecionou-se a inclinação de defletores internos ideal para passagem das trutas. Assim, o protótipo construído no INBO, intercala módulos de 1 metro cujos defletores tem ângulo 30° e 60° (Figura 2).



Figura 2 – Defletores intercalados por módulo de bueiro.

Desta forma, o presente trabalho desenvolveu, no Software Solid Works 2011, a geometria do referido protótipo (Figura 3). Foi mantida a inclinação do protótipo de 5 % no modelo. Em seguida, foi criada a malha não estruturada de volumes finitos cujos elementos foram hexaedros (Figura 4).

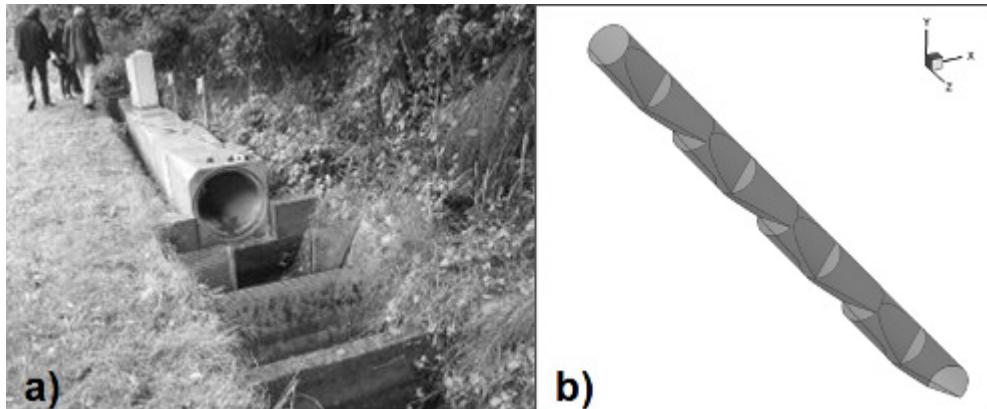


Figura 3- (a) Vista do protótipo no INBO (b) Modelo digital em Solid Works

Para a geração da malha no Software Gridgen (Figura 4), foram 1.334.955 células tetraédricas e 251.998 nós. Devido as dificuldades de construção da malha estruturada, optou-se por utilizar a malha não estruturada.

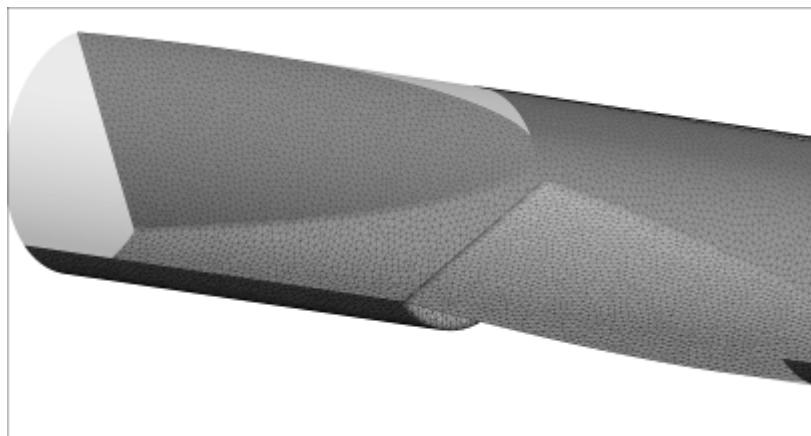


Figura 4 - Malha gerada para dois módulos

Modelo CFD

O modelo numérico foi criado utilizando o software Fluent do pacote Ansys. As equações calculadas para cada elemento de malha durante a simulação foram:

- Equação da conservação da massa

$$\frac{\delta \rho}{\delta t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0 \quad (1)$$

Onde: ρ é a densidade do fluido; u é a velocidade e t é o tempo.

- Equação da quantidade de movimento

$$\sum F = \frac{\delta P}{\delta t} \quad (2)$$

Onde: P é a quantidade de movimento linear e t é o tempo.

- Equação da conservação de energia

$$\rho \frac{\delta u}{\delta t} = \frac{\delta u}{\delta t} + (u \cdot \nabla) \cdot u \quad (3)$$

Onde: ρ é a densidade do fluido; u é a velocidade e t é o tempo.

- Equações do modelo turbulento

- Equação da energia cinética turbulenta

$$k = \frac{1}{2} u'_i \cdot u'_j \cdot u'_k \quad (4)$$

Onde u' são as flutuações turbulentas ao longo do tempo em relação aos eixos de coordenadas.

- Equação da Taxa de dissipação de energia

$$\epsilon = \frac{k}{v} \quad (5)$$

Onde: k é a energia cinética turbulenta e v é a viscosidade turbulenta.

O modelo utilizado assumiu dois tipos de fluido: ar e água. Desta forma, trabalhou com o método “Volume of Fluid” para determinação da lâmina d’água. Para o tratamento da turbulência foi adotada a abordagem de média de Reynolds com o modelo de fechamento $k - \epsilon$, tendo $k=10^{-6}$ com método implícito das equações.

A simulação decorrente de cálculos implícitos requer o uso de iterações fundadas em um escoamento de regime transitório, ou seja, variando ao longo do tempo. O software Fluent foi

utilizado para a realização destes cálculos aplicados nos centróides de cada volume de controle (célula de malha).

As condições de contorno são responsáveis pela calibração do modelo computacional e englobam vários fatores que reconhecem os elementos do novo design. A definição de faces imóveis e impermeáveis foi determinada pela condição de contorno do tipo parede, os quais foram considerados os deflectores de 60 e 30 graus e a estrutura cilíndrica de oito metros de comprimento.

Para a simulação, adotou-se a vazão de entrada de 9,35 l/s, utilizada pelo INBO no protótipo. Também criou-se a condição de contorno de que haveria uma lâmina de água na secção de entrada de 9 cm de altura (dado fornecido pelo INBO). Todo o sistema estava submetido a ação da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$) e a pressão atmosférica (103225 Pa).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da simulação foram vistos através da ferramenta TECPLOT 360 em sua versão 2009. A avaliação do novo design indicou a presença das regiões de remanso objetivadas para a transposição de peixes através da estrutura hidráulica.

A magnitude das velocidades encontradas nestas regiões foram próximas de zero (0,46m/s), enquanto que imediatamente a sua jusante, as mesmas atingiram valores maiores de aproximadamente 1,50m/s (Figura 5-a). A Figura 5-b mostra a formação de piscinas (com recirculação) a montante dos deflectores e o sentido do escoamento principal entre as piscinas. A vista da jusante (Figura 5-c) destaca as regiões de maiores velocidades localizadas principalmente no escoamento nas manilhas cujos deflectores correspondem ao ângulo de 60°.

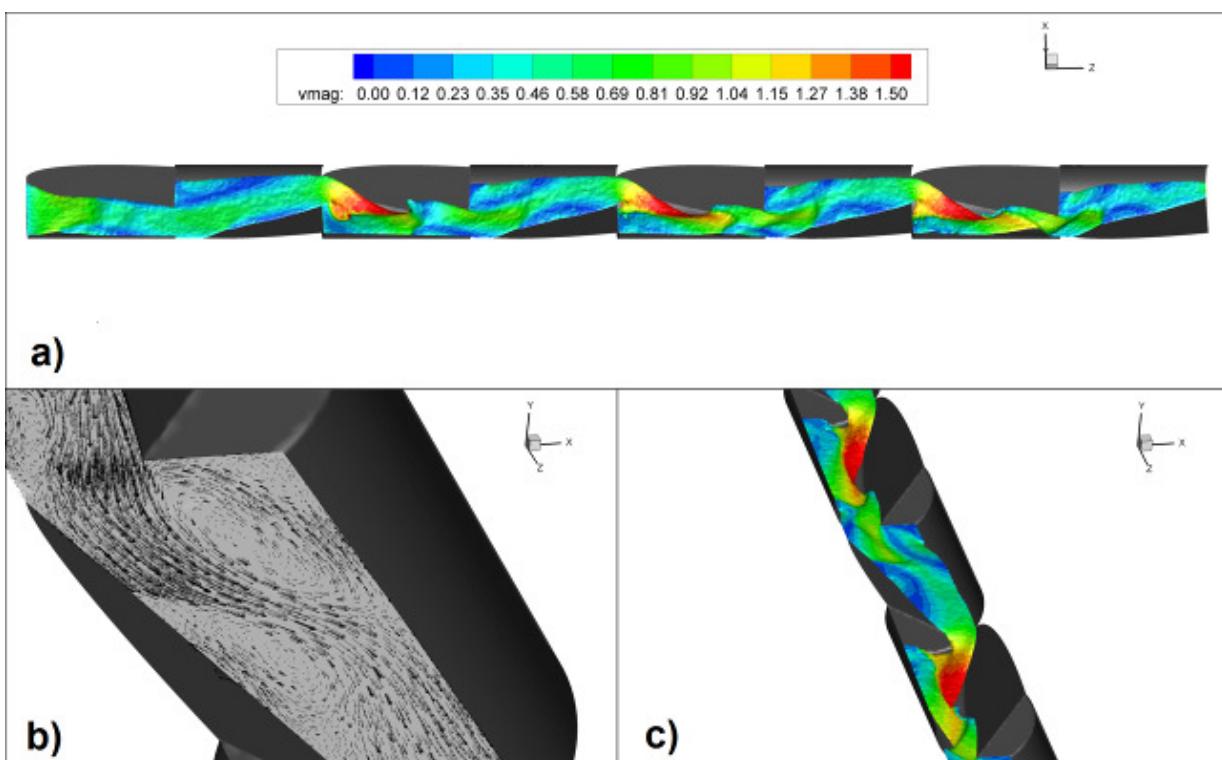


Figura 5 - (a) Vista superior ; (b) Resultados em escala vetorial; (c) Vista de jusante.

Uma comparação com medições de velocidade realizadas no INBO permitiu a calibração do modelo. De acordo com informações deste instituto, as velocidades variaram entre 0,01 m/s a 1,11 m/s.

De forma a analisar o efeito da inclinação sobre o escoamento, foram feitas simulações preliminares a inclinação de 10% (valor limite máximo para escadas de peixe de acordo com Clay (1995)). Os resultados obtidos (Figura 6) mostram a ausência de piscinas de remanso para um design projetado para uma inclinação de 10%, além do aumento da velocidade de escoamento. Desta forma, esta inclinação provavelmente não permitirá a passagem de peixes já que não cria locais de remanso.

O período de duração da simulação para cada caso foi em média de 36 horas (5%) e 48 horas (10%) até atingir a condição próxima ao escoamento permanente.

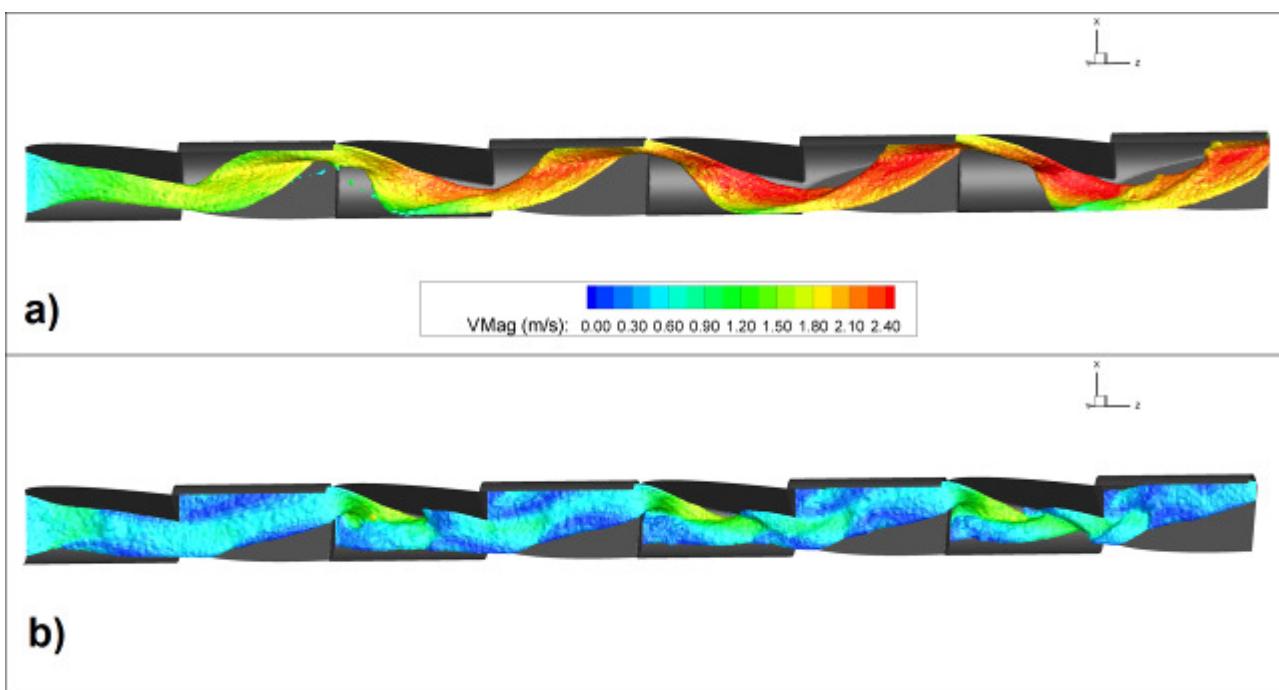


Figura 6 – Vista superior (a) para uma inclinação de 10% e (b) 5% .

CONCLUSÃO

Os modelos numéricos são importantes ferramentas que podem auxiliar a elaboração de mecanismos de mitigação de impactos à ictiofauna como os bueiros de transposição. O presente estudo mostrou que a inclinação de bueiros deve ser menor que os limites apresentados para escadas para peixes. Além disso, é possível concluir que o ângulo dos defletores em bueiros influencia diretamente a velocidade de escoamento principal. Desta forma, a implantação destes mecanismos no Brasil deve ser avaliada, pois as particularidades da ictiofauna local podem demandar escoamentos hidráulicos diferentes e consequentemente modelos de bueiros diferentes.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e a FAPEMIG pelo financiamento das bolsas dos alunos e ao aluno de mestrado do CEFET-MG, Bernardo Alan Duarte, pela colaboração no estudo.

REFERÊNCIAS

- BAKER, C.O., VOTAPKA, F.E., 1990. *Fish Passage through Culverts*. United States Department of Agriculture, Forest Service Technology and Development Centre, San Dimas, CA. 67pp.
- BAPTISTA, M.; LARA, M. (2010). *Fundamentos de engenharia hidráulica 3a. edição revista e ampliada*. Belo Horizonte: Ufmg.
- BATES, K. K., B. BARNARD, B. HEINER, P. KLAVAS & P. D. Powers. (2003). *Design of Road Culverts for Fish Passage*. Washington Department of Fish and Wildlife, 110p.
- BLAKELY, T.J., HARDING, J.S., MCTNTOSH, A.R., WINTERBOURN, M.J. (2006). Barriers to the recovery of aquatic insect communities in urban streams. *Freshw. Biol.* 51, 1634-1645.
- CLAY, C.H. (1995). *Design of Fishways and Other Fish Facilities*. Lewis Publishers, Boca Raton, 256 pp.
- DUPONT, E. (2004). Trout Road crossing problem in Belgium, Fifth International Symposium on Ecohydraulics, Madrid, Vol. 2, (2004), pp 905-910.
- FEURICH, R., J. BOUBÉE, et al. (2012). "Improvement of fish passage in culverts using CFD." *Ecological Engineering* 47(0): 1-8
- FULLERTON, A. H., K. M. BURNETT, E. A. STEEL, F. L. FLITCROFT, G. R. PESS, B. E. FEIST, C. E. TORGERSEN, D. J. MILLER & B. L. SANDERSON. (2010). Hydrological connectivity for riverine fish: measurement challenges and research opportunities. *Freshwater Biology*, 55, 2215-2237.
- MARTINS, S. L. ; TAMADA, K. (2005). *Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, p. 1 - 20, 02 jul. 2005.
- STARRS, D., EBNER, B.C., LINTERMANS, M, M FULTON, C.J. (2011). Using sprint swimming performance to predict upstream passage of the endangered Macquarie perch in a highly regulated river. *Fish. Manage. Ecol.* 18, 360-374
- WARREN, M.L., PARDEW, M.G. (1998). Road crossings as barriers to small-stream fish movement. *Trans. Am. Fish. Soc.* 127.637-644.