

Mapeamento do Campo de Velocidades no Mecanismo de Transposição de Peixes do Tipo Ranhura Vertical Construído na UHE de Igarapava

Edna Maria de Faria Viana, Carlos Barreira Martinez.

Centro de Pesquisas Hidráulicas (CPH), (EHR / DEMEC / DELT) UFMG
ednaviana@pop.com.br, martinez@cce.ufmg.br

Marcelo Giulian Marques

Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS
mmarques@iph.ufrgs.br

Recebido: 02/08/04 – revisado: 31/08/06 – aceito: 07/11/06

RESUMO

A crescente demanda de energia elétrica no Brasil tem alavancado a implantação de usinas hidrelétricas. Entretanto, a construção dessas estruturas promove impactos sobre o meio ambiente, especialmente no que diz respeito à migração de peixes. A partir do final dos anos 90 surgiram dispositivos legais que obrigam a construção de mecanismos para transposição de peixes (MTP), quando necessários. O desconhecimento sobre as características bio-hidráulicas dos peixes, a serem transpostos, tem obrigado os projetistas a utilizarem dados internacionais, de peixes do hemisfério Norte. Além disso, inexistência na literatura um estudo mais aprofundado sobre o campo de velocidades dentro dos MTP. Este trabalho apresenta um estudo sobre o escoamento em um MTP construído na UHE de Igarapava. O mapeamento de velocidades foi realizado utilizando-se um fluxímetro (molinete) com saída digital. Fez-se um conjunto de medidas em planos distantes entre si de 200mm. Estes planos foram subdivididos em áreas de 200 X 200mm. Após o mapeamento em campo foi possível “desenhar”, com auxílio do Matlab, os mapas representativos das velocidades que ocorrem no MTP. Para isso utilizou-se de uma escala em cores e setas, onde as cores correspondem a magnitude das velocidades medidas e as setas o direcionamento do escoamento, para verificação do comportamento do escoamento.

Palavras-chave: fluxímetro, mecanismo de transposição de peixes, ranhura vertical, UHE-Igarapava.

INTRODUÇÃO

Desde a inauguração da primeira usina hidrelétrica de porte da América do Sul, em setembro de 1889, (www.Cemig.com.br), observou-se uma crescente demanda de energia elétrica para suprir as necessidades do Brasil. Dessa forma, existiu durante o século XX um esforço no sentido de aumentar a oferta de hidroeletricidade. Este fato levou à implantação de centenas de usinas com seus respectivos vertedores, eclusas e barramentos. Além do uso para geração de eletricidade, essas estruturas também serviram para otimizar os níveis de água e possibilitar a navegação e irrigação (Winter e Van Densen, 2001).

Sabe-se que esses empreendimentos causam impactos sobre o meio ambiente, que podem ser de cunho social, devido ao deslocamento da população das regiões a serem alagadas, a modificação da for-

ma de trabalho dos produtores rurais e dos pescadores, entre outros. Podem, ainda, ser de cunho físico, devido às mudanças das características da região com a criação de estradas, a impermeabilização do local onde a barragem é construída, ao desmatamento e assoreamento local, etc. Além de ser de cunho biológico, tal como o impedimento da migração de peixes, a modificação das condições do rio, a eliminação das lagoas marginais, etc. Uma das grandes preocupações dos grupos de pesquisa é com a ictiofauna e como ela é afetada no que diz respeito ao fenômeno da piracema (quando o peixe sobe o rio para desova). Sabe-se que o barramento dos rios é reconhecido como uma das causas da diminuição dos peixes em diversas partes do mundo (Bernacsek, 1984; Pavlov, 1989; Petts, 1989; Swales, 1989; Welcomme, 1989; Woyanovich, 1991; Godinho, 1993; Godinho e Godinho, 1994; Swales, 1994). Os barramentos podem afetar a migração em diferentes graus, desde uma pequena obstrução até o completo

impedimento à passagem dos peixes. O seu efeito depende da dimensão característica da barreira, da hidrologia do rio e das características específicas das espécies, como capacidade natatória e o período de migração (Winter e Van Densen, 2001).

No Brasil, apesar das dificuldades de financiamento à pesquisa, tem-se buscado informações sobre a eficácia dos MTPs. Entretanto, ainda hoje existe pouco conhecimento a respeito das características dos peixes brasileiros. O fato é que enquanto em toda a Europa existem 200 espécies de peixes distribuídos em 25 diferentes famílias (Lelek, 1987), e na América do Norte são aproximadamente 180 espécies de peixes, na América do Sul tem-se 5.000 espécies de peixes, sendo que aproximadamente 1.300 só na Amazônia (Bolhke, Weitzman e Mendes, 1978; Lowe-McConnell, 1987). Logo, o potencial de problemas relativos à passagens de peixes para as barragens e demais obstruções no Brasil são de maiores proporções (Northcote, 1998).

Desta forma surge a necessidade da ampliação dos estudos para a verificação do escoamento dentro de mecanismos, assim como da magnitude das velocidades a serem vencidas pelas diferentes espécies de peixes migradoras nos seus deslocamentos ao longo dos rios e reservatórios do Brasil.

MECANISMO DE TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES (MTP)

A preocupação para solucionar o problema da interrupção da migração de peixes é antiga. A primeira construção de mecanismo de transposição de peixes, registrada, data do século XVII. As pesquisas para o desenvolvimento de MTP aparecem a partir do final do século XIX e início do século XX. Várias dessas incluíam projetos detalhados que foram sendo aprimorados com o passar do tempo (Clay, 1995).

Para a construção de um mecanismo de transposição de peixes é necessário que haja uma interação entre as áreas de engenharia e biologia, pois esta tecnologia é de caráter multidisciplinar. O sucesso das estruturas e das tecnologias para passagens de peixes depende do trabalho dos biólogos no estudo do comportamento natatório dos peixes em conjunto com o trabalho dos engenheiros sobre o funcionamento hidráulico da estrutura por onde os peixes passarão (Odeh e Haro, 2000). Um mecanismo de transposição de peixes deve contemplar a subida para desova dos peixes adultos e garantir o retorno das larvas, peixes pequenos e adultos. A

descida dos peixes, especialmente em hidrelétricas, apresenta problemas tais como a entrada na tomada d'água, com grande mortalidade e ferimentos na passagem pelas turbinas, o que não ocorrem na subida (Northcote, 1998).

Os dispositivos de transposição de peixes podem ser agrupados em três categorias gerais: eclusas, elevadores e escadas.

As eclusas são mecanismos constituídos por um canal que liga o reservatório de jusante com o de montante e possui acionamento por comportas. Assim que os peixes são atraídos, pelo jato de atração, entram na câmara inferior (a jusante do barramento) e a comporta se fecha. Neste momento uma válvula se abre para que toda a câmara se encha até atingir o nível do reservatório superior. Em seguida a comporta da câmara superior se abre (a montante). Quando os peixes terminam de transpor o sistema, a comporta superior se fecha, a inferior se abre e o processo se inicia novamente.

Os elevadores podem ser de dois tipos, com ou sem caminhão tanque. No caso "sem caminhão tanque", os peixes são atraídos até uma câmara que possui uma comporta que se fecha, os peixes são conduzidos até uma caçamba e por um guindaste são elevados até o reservatório de jusante. No caso "com caminhão tanque", uma caçamba é colocada no caminhão e este a leva até o reservatório de jusante, onde os peixes são descarregados.

As escadas são geralmente constituídas por uma série de tanques em desnível, que conduzem água do reservatório para o canal de fuga. Os tanques são separados por defletores, que têm como objetivo dissipar a energia do escoamento, de modo a permitir o deslocamento dos peixes, de jusante para montante, nadando ou saltando de um tanque para outro, de acordo com a construção dos mesmos (Martinez et al., 2000). As escadas mais comuns atualmente são do tipo Denil, tanque com vertedor, canal natural e ranhura vertical. A escada Denil é composta por vários tanques separados por anteparos inclinados em 45° e com uma abertura na região central. Este mecanismo possui declividade geralmente superior a 20% e velocidades consideradas elevadas (acima de 2,5 m/s). O mecanismo tipo tanque com vertedor (pool and weir) é composto por tanques separados por vertedores, que podem ter aberturas superiores e inferiores e/ou orifícios. A água passa acima dos vertedores, pelas aberturas e/ou orifícios, tendo valores de velocidades elevadas. O mecanismo tipo canal natural é composto por um canal com tanques separados por anteparos geralmente de pedras e terra. Este tipo de sistema pode ser um pequeno tributário, ligando o reserva-

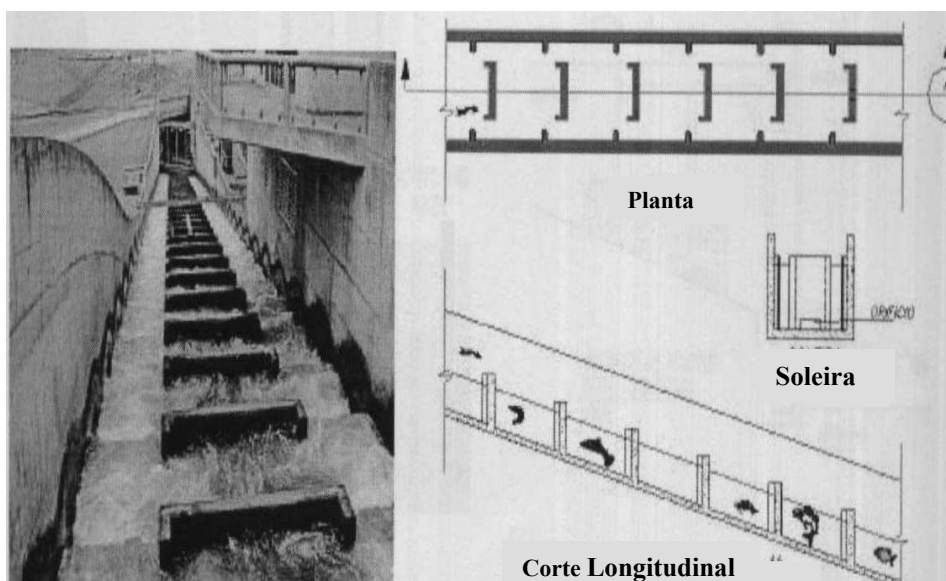


Figura 1 -Mecanismo de Transposição de Peixes do Tipo Ranhura Vertical Dupla (fonte: Martins, 2000).

tório de montante com a calha do rio, a jusante da usina. Este tipo de mecanismo requer, normalmente, uma grande área para sua instalação. A escada do tipo ranhura vertical (vertical slot) é composta por tanques separados por anteparos dispostos nas duas paredes laterais do canal. O fato de se ter uma abertura para a passagem do peixe em diferentes alturas e velocidades torna este sistema não seletivo, quando comparado com as escadas do tipo Denil e tanques com vertedor, além de atender a espécies de fundo, coluna e superfície.

A utilização de escadas pode ser considerada prática usual em desníveis inferiores a 10 m. Na faixa de 10 a 20 m, escadas, eclusas e elevadores podem ser utilizados. As eclusas são utilizadas geralmente para a transposição de desníveis não superiores a 40 m (Pavlov, 1989). Os elevadores possibilitam a transposição em qualquer faixa de desnível. O que define a construção de cada um desses mecanismos é o custo do empreendimento e a faixa de desnível a ser vencida.

MTP do Tipo Ranhura Vertical

Em 1943, o mecanismo conhecido como “escada com slot vertical” (ranhura vertical) foi desenvolvido e representou um grande avanço no projeto dos MTP. Ela consiste em um canal retangular com fundo inclinado (ou fundo

gular com fundo inclinado (ou fundo móvel), que é dividido internamente por anteparos, formando um número adequado de tanques (Rajaratnam, Vinne e Katopodis, 1986). Nesse mecanismo, o princípio de recirculação do escoamento dentro dos tanques, aumenta a eficiência na dissipação de energia (Clay, 1995). Esse tipo de escada é conhecido como Hell’s Gate e teve a sua primeira unidade construída no rio Fraser, em British Columbia, com ranhuras duplas e simples (Figura 1).

A escada do tipo ranhura vertical possui detalhes complexos nos anteparos, que são usualmente finalizados com estudos do modelo hidráulico (White e Pennino, 1980). Nesses estudos tem-se que levar em consideração a diferença do nível da lâmina d’água de um tanque para outro (ΔH). Este ΔH depende do tipo de peixe que irá utilizar a escada no seu movimento de subida. A velocidade utilizada para fins de cálculo deve ser inferior à velocidade de explosão, utilizada em casos extremos quando se tem situação de perigo ou busca de alimento, e é caracterizada pelo uso total da respiração anaeróbica e causadora de fadiga muscular (Blake, 1983).

Rajaratnam, Vinne e Katopodis (1986) realizaram um estudo onde se observou o comportamento hidráulico de uma escada de peixes do tipo ranhura vertical. Neste estudo verificou-se a possibilidade de correlacionar algumas características hidráulicas. Através de um levantamento experimental chegou-se a equação de vazão adimen-

sional, que está relacionada com a altura da lamina d'água (y_0) e a abertura entre os anteparos (b_0) para escadas com ranhura vertical. O mecanismo construído em Igarapava foi equipado com ranhuras verticais simples. A equação 1 representa a correlação entre a vazão adimensional Q_* e os altura média da lâmina d'água y_0 e a ranhura b_0 .

$$Q_* = 3,77 \left(\frac{y_0}{b_0} \right) - 1,11 \quad (1)$$

A vazão adimensional é relacionada à vazão (Q) em m^3/s , à aceleração da gravidade (g) em m/s^2 , à declividade (S_0) em m e à abertura entre os anteparos (b_0) em m, pela Equação 2.

$$Q_* = \frac{Q}{\sqrt{g S_0 b_0^5}} \quad (2)$$

A dissipação de energia no tanque não pode ser muito elevada para não desorientar os peixes. Segundo Bell (1973) a dissipação (k) não deve ser superior a $0,191 \text{ kW/m}^3$. Pode-se calcular esta dissipação pela Equação 3.

$$k = \frac{Q \gamma \Delta h}{B L y_0} \quad (3)$$

γ é peso específico da água (N/m^3), B a largura do tanque (m), L o comprimento do tanque, Δh perda de carga (m) e y_0 a altura média da lamina d'água (m).

Em 1999 construiu-se um mecanismo de transposição de peixes do tipo ranhuras verticais com 282,4 m de extensão total e declividade de 6%, para vencer um desnível de 17 m. Este mecanismo foi construído no rio Grande, no barramento da UHE de Igarapava na divisa entre os estados de Minas Gerais e São Paulo (Cemig, 2002), e constitui o objeto de estudo do presente trabalho (www.uhe-igarapava.com.br).

METODOLOGIA

O MTP da UHE de Igarapava é constituído por 85 tanques e 86 defletores. Cada tanque possui 3,00 m de comprimento, e cada defletor 200 mm de espessura. Para ter este comprimento total o mecanismo foi construído em forma de Z com três trechos, como pode ser observado na Figura 2. O primeiro trecho é paralelo ao canal de fuga e possui comprimento de 60,80 m e 19 tanques. O segundo trecho tem o comprimento de 140,80 m e 44 tanques, e o último trecho é perpendicular à barragem, possuindo 70,4 m de comprimento e 22 tanques (Hidricon, 1998).



Figura 2– Escada de peixes do tipo ranhuras vertical construída na UHE de Igarapava (fonte: Cemig, 2002).



Figura 3 – Suporte metálico para o posicionador do fluxímetro (fonte própria).

Para a realização das medidas construiu-se uma estrutura metálica com uma grade de fechamento no fundo. Esta estrutura, como visto na Figura 3, apóia-se no passeio e na parede lateral do canal, e o piso da estrutura se encontra na altura do anteparo. O anteparo possui 3,5 m de altura, e a parede lateral do canal 4,5 m. Caso se optasse pela realização dos testes com uma plataforma plana, na altura da parede do canal, a haste do equipamento não seria suficientemente longa para realização das medidas nas posições inferiores e, além disso, haveria um momento na haste do instrumento muito mais elevado.

A localização de cada ponto de medição é obtida com um posicionador que é colocado sobre a grade de fechamento. O posicionador (Figura 4) é construído em madeira com diversos furos, e serve também como de piso da estrutura. Os centros da região arredondada dos furos de posicionamento possuem 200 mm de distância um do outro. Assim é possível fazer o levantamento de velocidade com uma malha com passo conhecido nas direções x (do escoamento) e y (da parede à esquerda para a direita do tanque).

O equipamento utilizado para se fazer as medidas foi um fluxímetro (molinete) (Figura 5) que possui um processador eletrônico com um “dis-

play” acoplado. Este mostra a leitura de velocidade média e velocidade máxima no intervalo da medida.

O molinete, realiza leituras de velocidade em ft/s e dm/s. O manual indica a incerteza de leitura observada pelo instrumento. Para medidas em m/s esta incerteza é de 0,03 m/s.

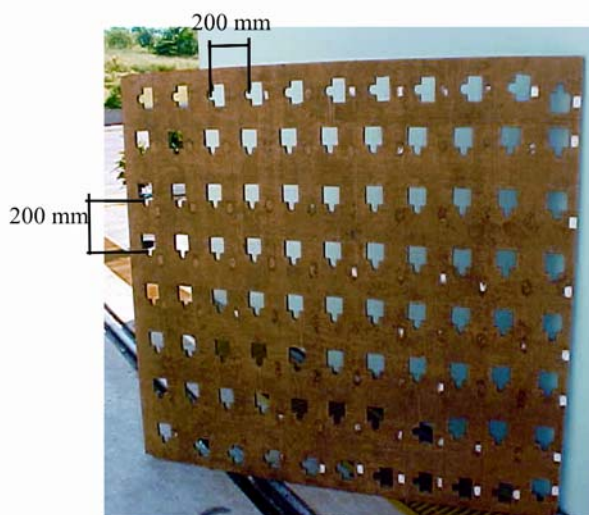


Figura 4– Posicionador para o fluxímetro (fonte própria).



Figura 5 - (a) haste do molinete com a hélice; (b) mini-computador processador de leitura (fonte: globalw.com).

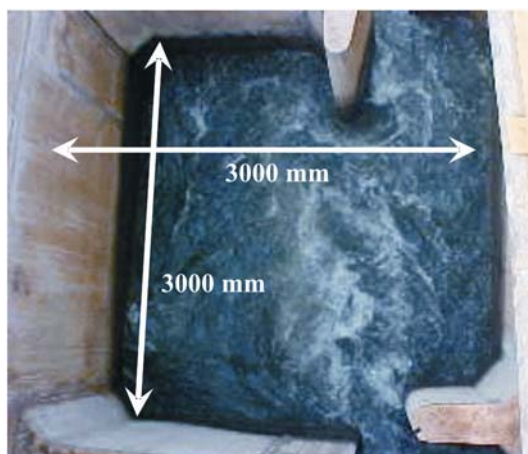


Figura 6 – Tanque do MTP da UHE de Igarapava (fonte própria).

O tanque do MTP a ser mapeado possui seção horizontal quadrada, com largura e comprimento de 3.000 mm, como pode ser observado na Figura 6. Para auxiliar a realização das medidas, utilizou-se o posicionador de madeira descrito anteriormente. Devido às dimensões do posicionador, com 1.600 mm de comprimento, foi necessária a realização das medidas em duas etapas, a primeira até o centro do

tanque, e, em seguida, após o deslocamento da estrutura, do centro até o final do tanque.

A medição de velocidade no mecanismo

A malha de medição possui quatorze posições na direção da largura do canal e dezesseis posições na direção do escoamento. Em cada ponto realizaram-se medidas na direção longitudinal e transversal do canal. Dessa forma foi possível encontrar a componente de velocidade e a direção do escoamento. No entanto, nas regiões muito próximas às paredes laterais e aos anteparos, as medições foram feitas com o equipamento posicionado paralelamente às mesmas. Nesse caso considerou-se que, devido à proximidade, a outra componente de velocidade seria nula. A localização dos pontos de medição é mostrado na Figura 7.

Realizaram-se medidas com passos de 200 mm na direção x , direção do escoamento, e y , da parede esquerda para a direita. Mediu-se em nove diferentes planos horizontais com 200 mm de distância entre eles. O primeiro plano se encontra a aproximadamente 100 mm da superfície e o último a aproximadamente 200 mm do fundo do canal. Em cada ponto de medição foram realizadas duas medidas, uma na direção do escoamento e outra na direção perpendicular ao eixo do canal. O ângulo da medida foi definido em função do empuxo recebido pela haste do equipamento quando submerso. Assim, nas medidas no sentido do eixo longitudinal do canal, quando a haste se deslocava no sentido de montante para jusante, adotava-se um ângulo de 270° . Caso o deslocamento se desse de em sentido oposto a esse, de jusante para montante, adotava-se um ângulo de 90° . No sentido perpendicular ao eixo do canal, adotou-se o mesmo procedimento, porém, com ângulos de 0° , para deslocamentos da direita para a esquerda do canal e 180° no caso inverso, como observado na Figura 7. Para a medição dos pontos, abaixo do passeio lateral da escada foi necessário se posicionar o fluxímetro inclinado. O esquema do posicionamento do molinete abaixo do passeio e a foto com a realização da medida podem ser observados na Figura 8.

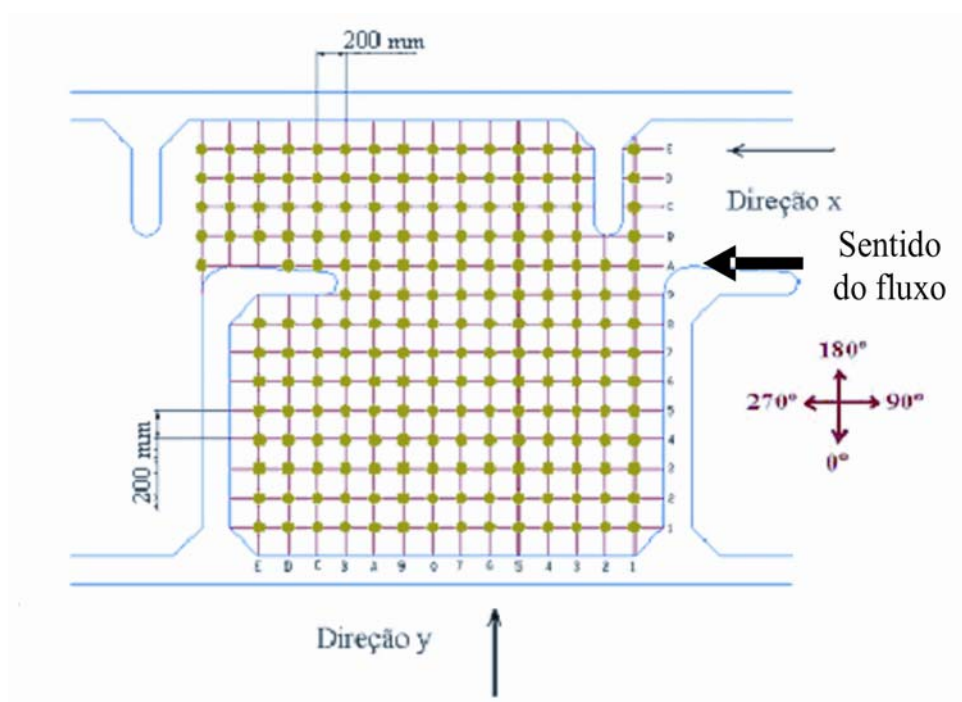


Figura 7 – Localização dos pontos de medição e posicionamento angular das medidas (fonte própria).

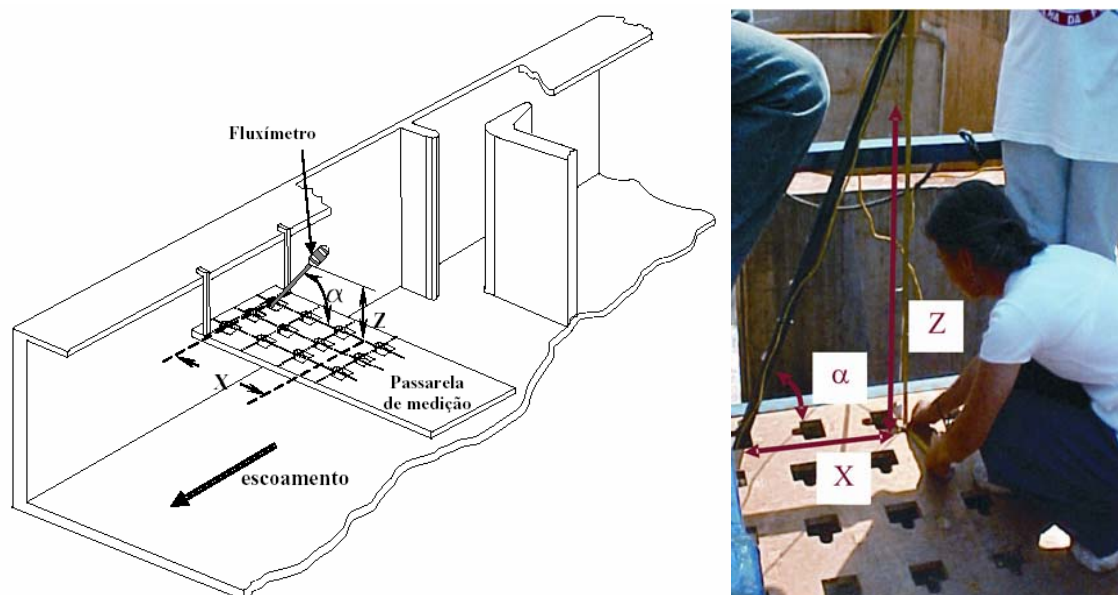


Figura 8 – Realização das medidas em pontos de difícil acesso onde foi necessária a utilização do fluxímetro inclinado (fonte própria).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os resultados obtidos com o mapeamento do escoamento no tanque, do mecanismo de transposição de peixes da UHE de Igarapava, pode-se observar como o escoamento ocorre e quais as velocidades enfrentadas pelas diferentes espécies ao transpor o sistema.

A Figura 9 mostra o mapeamento do escoamento a 200 mm do fundo do canal, e corresponde ao plano mais próximo do fundo onde se realizaram medidas. Nela nota-se o escoamento com velocidades com maiores magnitudes, ligando um tanque a outro, denominado “escoamento principal”, e duas regiões de recirculação, à direita e à esquerda. Nesse plano o escoamento principal possui grandes perturbações devido ao efeito de parede, pois a estrutura é construída em concreto e já apresenta rugosidade elevada devido à abrasão. Além disso, o fundo é bastante rugoso devido à existência de muitos blocos de pedra de mão, roladas das laterais do canal da escada para peixes. Essas perturbações podem ser observadas pela

descontinuidade no escoamento principal logo na entrada do tanque e mais próximo da saída do mesmo. Esta descontinuidade não ocorre à medida que se distancia do fundo do canal, como pode ser observado pela Figura 10. Além disso, os valores de velocidades, encontrados no plano a 200 mm do fundo, são inferiores aos observados no plano a 1.000 mm.

A análise da Figura 10 mostra um escoamento bem comportado. A velocidade, nesse plano, é superior a 1,8 m/s, ou seja, quase no limite do projeto do mecanismo que indica que a velocidade não deve superar a 2,0 m/s. Vê-se, também, que os maiores valores de velocidades se encontram na região mais próxima da entrada do tanque, que está compreendida entre os pontos 1 e 7 da ordenada. Logo a jusante do ponto 7 os valores de velocidades são inferiores, havendo divisão do escoamento principal em dois novos jatos, um que passa diretamente para o outro tanque e outro que recircula na região da ranhura maior.

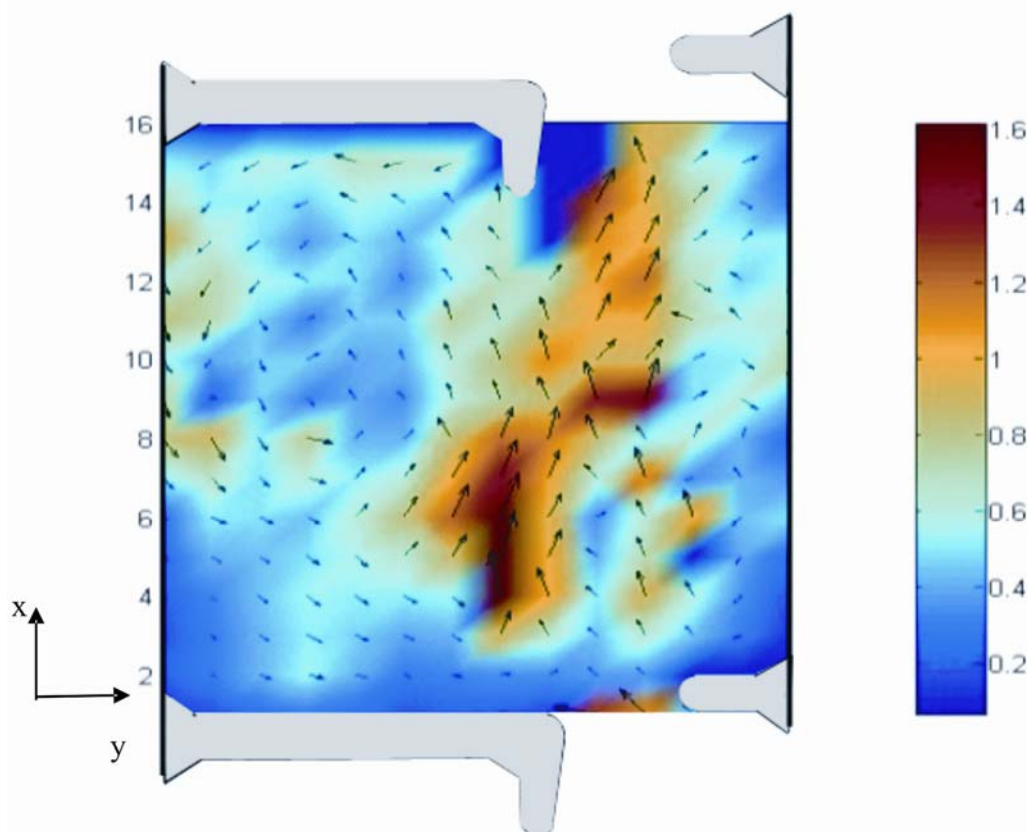


Figura 9- Campo de velocidades médias a 200 mm acima do fundo do tanque do MTP da UHE de Igarapava

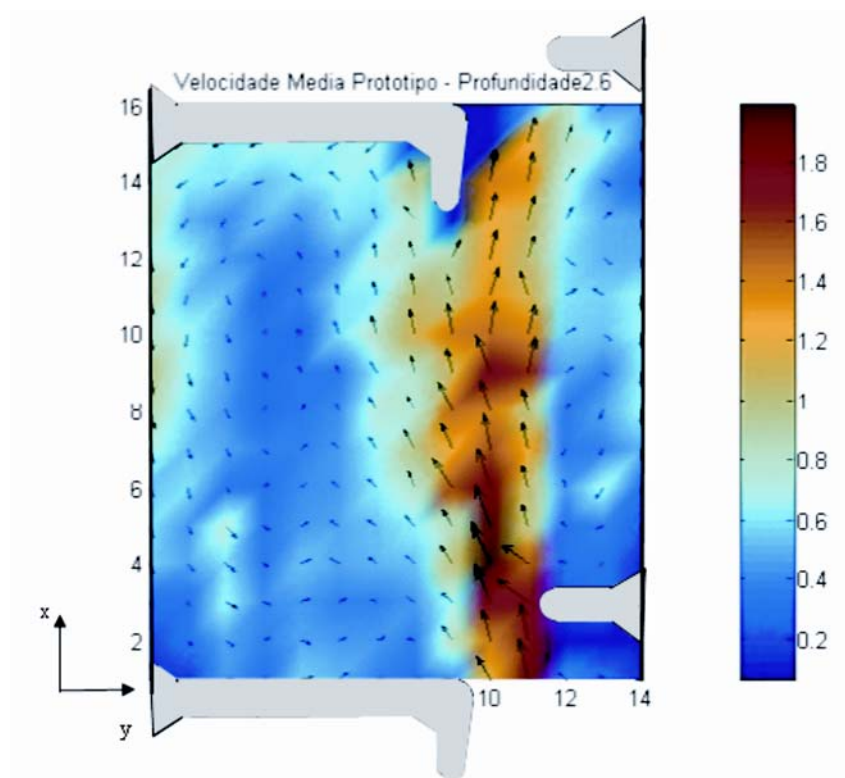


Figura 10- Campo de velocidades médias a 1000 mm acima do fundo do tanque do MTP da UHE de Igarapava

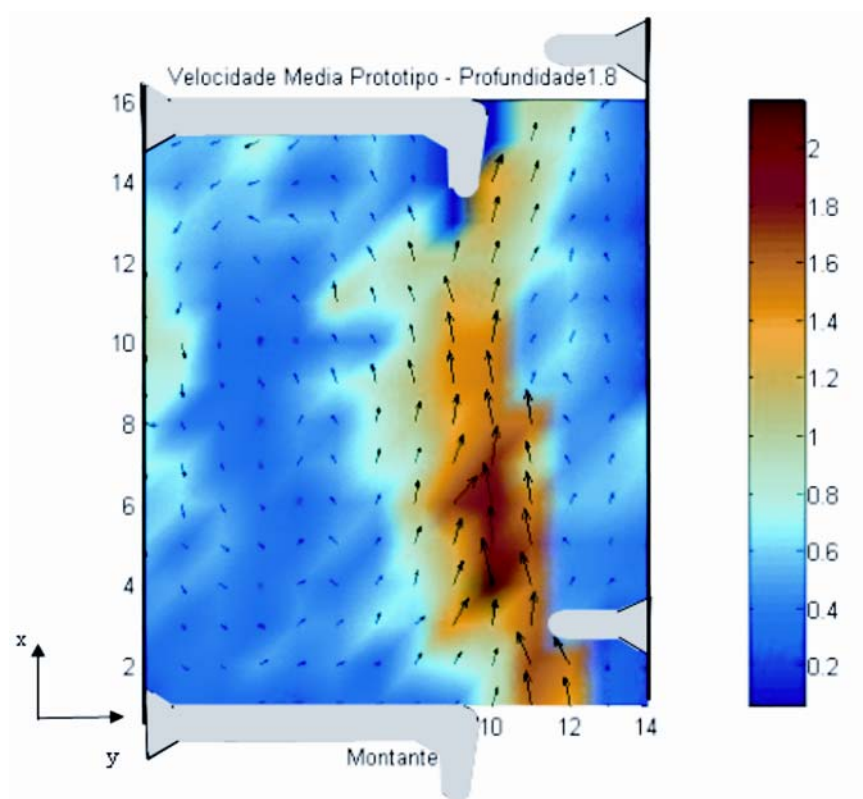


Figura 11- Campo de velocidades médias a 1800 mm acima do fundo do tanque do MTP da UHE de Igarapava

No plano mais superficial, que se encontra a 1800 mm do fundo do canal (Figura 11), observa-se que o escoamento principal não possui perturbações, com grande similaridade ao observado na região central do tanque. Entretanto, os valores das velocidades são superiores aos observados na Figura 10, atingindo magnitudes acima de 2,0 m/s, superando o valor máximo de projeto. Entretanto, vale lembrar que este valor de projeto é determinado com base em estudos de peixes de clima temperado. Apesar desses valores elevados pôde-se observar que os peixes transpõem sem maiores problemas o mecanismo. Daí a grande necessidade de se estudar a capacidade natatória dos peixes de clima tropical, que além de se acreditar conseguir transpor corredeiras com velocidades superiores, são em maior número do que o observado em países de clima temperado.

CONCLUSÃO

Através dos planos com mapeamento de velocidades no tanque, do mecanismo de transposição de peixes da UHE de Igarapava, nota-se que ocorre uma região de escoamento principal, onde se tem velocidades com magnitudes maiores, e duas regiões de recirculação, à direita e à esquerda do escoamento principal. O plano mais superficial possui as maiores velocidades que vão diminuindo na medida em que se aproxima do fundo do canal. O plano mais próximo do fundo do canal, que se localiza a 200 mm da parede, possui grandes perturbações devido a imperfeições nas paredes e grande número de pedras presentes no canal.

Foram encontradas, no tanque, velocidades com magnitudes superiores a 2,0 m/s, considerada a máxima de projeto e correspondente à capacidade natatória de peixes de clima temperado. Apesar disso, diferentes espécies de peixes são observadas transpondo esse MTP sem maiores problemas. Daí a grande necessidade de se estudar a capacidade natatória dos peixes tropicais, que além de se acreditar conseguir alcançar velocidades superiores, possuem maior diversidade. Através de um maior número de estudos, com essa finalidade, será possível a construção de mecanismos mais eficientes e com menores custos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Companhia Energética de Minas Gerais - Cemig em conjunto com o FUNBIO – Fundo da Biodiversidade pelo apoio

financeiro para o projeto. Ao Centro de Transposição de Peixes – CTPeixes, pelo suporte dado na pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BELL, M. C., *Fisheries Handbook of Engineering Requirements and Biological Criteria*, Corps of Engrs., North Pacific Div., Portland, Oreg., 490 p., 1973;
- BERNACSEK, G.M. *Guidelines for dam design and operation to optimize fish production in impounded river basins*. CIFA Tech. Pap., 11:98 p., 1984;
- BLAKE, R.W., *Fish Locomotion*, Cambridge University Press, Londres, Inglaterra, 1983;
- BOHLKE, E. E., WEITZMAN, S. H. E MENDES, N., *Estado atual da sistemática dos peixes de água doce da América do Sul*, Acta Amazônica, 8, p. 657-77, 1978;
- CEMIG, *Instalação de Usinas Hidrelétricas*, 2002, Disponível em: www.cemig.com.br Acesso em abril de 2004;
- CLAY, C.H. *Design of fishways and other fish facilities* (2 nd ed.) Boca Raton, Lewis, 248 p., 1995;
- GLOBAL WATER INSTRUMENTATION, INC, *Water Flow FP201*, Disponível em www.globalw.com Acesso em novembro de 2002.
- GODINHO, A.L. *E os peixes de Minas em 2010* Ciência Hoje, 16(91): p. 44-49, 1993;
- GODINHO, H.P. e GODINHO, A.L. *Fish communities in southeastern Brazilian river basins submitted to hydroelectric impoundments*. Acta Limnologica Brasiliensia 5: p. 187-197, 1994;
- HIDRICON – Consultoria de Recursos Hídricos Ltda, *Dispositivo para Transposição por Peixes – Projeto Básico – Relatório Final*, 1998;
- LELEK, A., *Factors Influencing Changes in Fish Assemblages of Pacific Northwest Streams*, Community and Evolutionary Ecology of North American Stream Fishes, University of Oklahoma Press. Norman, p. 193-202, 1987;
- LOWE-McCONNEL, R. H., *Ecological Fishes of Britain and Europe*, Cambridge University Press., Inglaterra, 1987;
- MARTINEZ, C. B., JUNHO, R. A. C., GODINHO, A. L., MACEDO, A. A., *Mecanismo de Transposição de Peixes*, II Simpósio Brasileiro Sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas. Canela, Rio Grande do Sul, Brasil 2000;
- MARTINS, S. L., *Sistemas de Transposição de Peixes*, Dissertação de Mestrado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP, 2000;
- NORTHCOTE, T. G., *Migratory Behaviour of Fish and its Significance to Movement Through Riverine Fish Pas-*

- sage Facilities, Fish Migration and Fish Passage, 1ª edição, p. 3-18, 1998;
- ODEH, M., HARO, A., *Developments in fish passage engineering and technology*, *Advances in Fish Passage Technology*, American Fisheries Society, Bioengineering Section, Bethesda, Maryland, USA, p. 1-12, 2000;
- PAVLOV, D.S. *Structures assisting the migrations of non-salmonid fish: USSR*. FAO Fisheries Technical Paper, 308:97p., 1989;
- PETTS, G.E. *Perspectives for ecological management of regulated rivers*. In Gore, J.A. & Petts, G.E. (eds) *Alternatives in regulated river management*. Boca Raton, CRC, p.3-24, 1989;
- RAJARATNAM, N., VINNE, V.D., KATOPODIS, C., *Hydraulics of Vertical Slot Fishways*, *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 112, n. 10, Outubro de 1986;
- SWALES, S. *The use of instream habitat improvement methodology in mitigating the adverse effects of river regulation on fisheries*. In Gore, J.A. & Petts, G.E. (eds) *Alternatives in regulated river management*. Boca Raton, CRC, 1989. p.186-208;
- SWALES, S. *Habitat restoration methods – a synthesis*. In: Cowx, I.G. *Rehabilitation of freshwater fisheries*. Oxford, Fishing News Books, p. 133-137, 1994;
- UHE – Igarapava, *Escada de Transposição de Peixes*, Consórcio da Usina Hidrelétrica de Igarapava, Disponível em: www.uhe-igarapava.com.br, Acesso em maio de 2004;
- WELCOMME, R.L. *Floodplain fisheries management*. In Gore, J.A. & Petts, G.E. (eds) *Alternatives in regulated river management*. Boca Raton, CRC, p. 210-233, 1989;
- WHITE, D.K. e PENNINO, B.J., *Connecticut River Fishways: Model Studies*, *Journal of Hydraulic Engineering*, 106(7), 1980;
- WINTER, H.V. & VAN DENSEN, W.L.T., *Assessing the opportunities for upstream migration of non-salmonid fishes in the weir-regulated River Vech*, *Fisheries Management & Ecology*, Volume 8 Issue 6 p. 547 - 2001;
- WOYNAROVICH, E. *The hidroelectric power plants and fish fauna*. *Verh. Internat.Verein Limnol.*, 24: p.2531-2536, 1991.

plants. However, these new plants have had a strong impact on the environment, mainly on fish migration. Since the end of 1990's, strict new environmental laws have forced the design and installation of fishways in hydroelectric plants that have significantly affected the fish populations. Lack of information on the biohydraulic characteristics of several fish species which are in need of transposition systems for spawning and survival has forced the transposition system designers to use international technical data based on the characteristics of fish found in the Northern hemisphere. Moreover, the technical literature lacks studies on velocity fields in the fishway. This work deals with an experimental and analytical study about flow within a fishway built at the hydroelectric plant of Igarapava (UHE Igarapava). The flow velocity field is experimentally estimated by using a digital flowmeter. Velocity measurements are performed on planes 200m distant from each other. The area of each plane is about 200 mm x 200 mm. Afterwards, from the experimental velocity field data, the more representative flow velocity maps are graphically obtained by using Matlab© software. The flow velocity maps are plotted using colors and arrows. The colors indicate the measured velocity magnitudes, while the arrows show the flow direction, providing a means to analyze flow behavior within the fishway.

Key-words: Flow probe, fishway, vertical slot, UHE - Igarapava

Mapping Of The Velocities Field In The Vertical Slot Fishway Built At The Igarapava Hydropower Plant

ABSTRACT

The growing demand for electric power in Brazil has prompted the construction of new hydroelectric power