

A Importância do Estudo da Capacidade Natatória de Peixes para a Conservação de Ambientes Aquáticos Neotropicais

Hersília de Andrade e Santos,

Departamento Acadêmico de Engenharia Civil - CEFET/MG

hersiliash@yahoo.com.br

Paulo dos Santos Pompeu

Departamento de Biologia - UFLA

pompeu@ufla.br

Carlos Barreira Martinez

Centro de Pesquisas Hidráulicas – UFMG

martinez@cce.ufmg.br

Recebido: 06/10/06 - revisado: 04/06/07 - aceito: 18/07/07

RESUMO

Os ecossistemas aquáticos do mundo vêm sofrendo acentuada intervenção antrópica e, consequentemente, várias espécies de peixes têm apresentado reduções em suas populações, principalmente as que apresentam comportamento migratório. Para minimizar os problemas ambientais decorrentes dessas intervenções, vêm sendo propostas soluções de engenharia, como revitalização de cursos d'água, passagens para peixes e manejo de vazão ecológica. No entanto, para que estas soluções sejam realmente eficazes, é necessário que as mesmas levem em conta as características específicas da fauna local. No caso dos peixes, a capacidade natatória é um dos fatores norteadores no processo de recuperação ambiental de um ecossistema aquático. Entretanto, na América Latina, as únicas informações disponíveis até bem pouco tempo se limitavam em observações qualitativas da velocidade natatória de nossas espécies. Desta maneira, iniciou-se no Centro de Pesquisas Hidráulicas da UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais) a primeira experiência nacional de levantamento da capacidade natatória de uma espécie nativa, baseada nos processos experimentais descritos na literatura. O presente artigo tem como objetivo mostrar a evolução dos métodos de medição da capacidade natatória, a experiência brasileira nesta área e a importância da aplicação dos dados obtidos nas soluções ambientais.

Palavras-chave: capacidade natatória, mecanismos de transposição, revitalização de cursos d'água e vazão ecológica.

INTRODUÇÃO

A região neotropical, na qual o Brasil encontra-se inserido, abrange as Américas do Sul e Central. Sua fauna de peixes de água doce representa 13% da biodiversidade total de vertebrados, embora ocorra em menos de 0,003% (por volume) dos ecossistemas aquáticos do mundo (Agostinho, Thomaz e Gomes, 2005), e vem sendo ameaçada pela poluição doméstica, industrial e da agricultura; pelo desmatamento, alteração e obstrução nos rios, introdução de espécies exóticas e sobre pesca (Harvey e Carosfeld, 2003). Consequentemente, várias espécies vêm apresentando redução acentuada em suas populações. Particularmente sensíveis são aquelas com comportamento migratório, já que são alta-

mente dependentes da integridade de amplas áreas de uma bacia, como cabeceiras, canais principais e planícies de inundação associadas (Agostinho, Thomaz e Gomes, 2005).

Visando contribuir para a manutenção da integridade ecológica dos rios e de sua biota, a engenharia propõe soluções como passagem de peixes, revitalização de córregos e manejo de vazão ecológica. No entanto, estas soluções dependem da compreensão do funcionamento físico, ecológico e biológico do sistema natural (Katopodis, 2005). Um aspecto importante dessa compreensão diz respeito ao comportamento migratório da ictiofauna de água doce. Por serem completamente diferentes das espécies encontradas no hemisfério norte (Clay, 1995), os peixes neotropicais apresentam, por consequência, características comportamentais peculia-

res, estando entre elas aquelas relacionadas às habilidades natatórias.

A natação, modo mais comum de deslocamento dos peixes, é normalmente dividida em: sustentável, prolongada e de explosão (Beamish, 1978). O modo sustentável corresponde às baixas velocidades que podem ser mantidas por longos períodos de tempo, definidos como superiores a 200 minutos (Beamish, 1978), e é mantida por metabolismo aeróbio. A natação prolongada abrange o grupo das velocidades moderadas e requer alguma energia resultante de processos anaeróbicos, o que resulta em um período menor de manutenção dessa natação (entre 20 segundos e 200 minutos) e fadiga (Beamish, 1978). Finalmente, o modo de explosão envolve as velocidades mais altas que um peixe pode desenvolver e utiliza exclusivamente o metabolismo anaeróbico. Estas velocidades podem ser mantidas somente por tempos muito curtos, menores que 20 segundos (Beamish, 1978).

Com base na revisão sobre os levantamentos de capacidade natatória de peixes já realizados em outros países, iniciou-se o estudo sobre a natação de algumas espécies neotropicais através da determinação de sua velocidade prolongada. O objetivo do presente artigo é detalhar este estudo de forma a subsidiar novas pesquisas para outras espécies, apresentando as vantagens e limitações da metodologia escolhida.

HISTÓRICO DO LEVANTAMENTO DE CAPACIDADE NATATÓRIA

A locomoção dos animais sempre despertou interesse no homem e serviu de base para a Engenharia na concepção de muitas máquinas, como o avião. Atualmente, o estudo da natação dos peixes subsidia projetos de veículos subaquáticos autônomos, uma vez que se trata de um dos modos mais eficientes de locomoção em fluidos (Triantafyllou e Triantafyllou, 1995; Sfakiotakis, Lane e Davies, 1999).

A natação dos peixes começou a ser estudada por Aristóteles. Nos seus trabalhos (*História dos animais*, *Movimentos dos animais* e *Progressão dos animais*) o filósofo discutiu o número de nadadeiras, comparando os propulsores dos animais aquáticos com os órgãos locomotores apresentados pelas aves e pelo homem. Além disso, Aristóteles estudou de forma aprofundada as brânquias, descrevendo as de diferentes espécies de peixes e explicando seu mecanismo de funcionamento (Alexander, 1983).

Mas foi no século XVII que aconteceu um acentuado aumento nos estudos sobre a hidrodinâmica dos peixes, impulsionado pelo desenvolvimento da Física Newtoniana e das técnicas de pesquisa com base na observação experimental. Os trabalhos de Arquimedes, publicados pela primeira vez em 1543, de Galileu (1564-1642), de Newton e de Torricelli propiciaram estudos mais aprofundados da estabilidade do peixe e de seu principal órgão gerador de empuxo: a bexiga natatória (Alexander, 1983).

Outro salto foi dado com os progressos na mecânica e hidrodinâmica clássica, realizados por Daniel Bernoulli, 1700-1782; Euler, 1707-1783; Navier, 1785-1836; e Stokes, 1819-1903. As trutas, por exemplo, foram utilizadas por Cayley (1810) na tentativa de descobrir a forma hidrodinâmica ideal.

No entanto, mesmo com o aumento do interesse dos pesquisadores pela capacidade dos peixes em vencer determinados escoamentos, até 1912, praticamente todos os estudos sobre natação eram de caráter qualitativo. Apenas com Houssay é que se iniciaram os trabalhos quantitativos. Ele foi o primeiro pesquisador a medir a velocidade de deslocamento de um peixe através da força que o mesmo utiliza para nadar. Para isso, o cientista amarrou o peixe a um complicado sistema com roldanas e pesos. Basicamente, media-se a força natatória que o peixe deveria fazer para equilibrar pesos diferenciados na roldana. De posse da força necessária na natação, Houssay calculava a potência requerida (Houssay, 1912). No entanto, o aparato de Houssay permitia apenas o cálculo da potência transmitida à máquina e desprezava a potência dissipada na água.

Iniciou-se então a era dos estudos aeronáuticos. Estava na natureza a inspiração para o desenvolvimento dos aviões e com isso, a locomoção dos peixes, por ocorrer em fluidos, ganhou mais atenção. Um exemplo disso foi dado pelo Ministério Aeronáutico Francês, que financiou os estudos de Magnan (Alexander, 1983). É nessa época também que aumenta a participação de engenheiros no estudo da natação dos peixes. O engenheiro Shoulejkin (1929) colocou um modelo de um peixe voador, *Exocoetus*, em um túnel de vento para medir o arrasto e o empuxo criado pelo escoamento em vários ângulos de ataque. Outros dois engenheiros, Kempf e Neu (1932), utilizaram um peixe morto do gênero *Esox*, também para a medição de arrasto. Mas de todos esses, foi Richardson, em 1936, que, através de seus testes, começou a suspeitar da influência do muco da superfície do peixe na redução do arrasto (Richardson, 1936).

Todos esses estudos de arrasto culminaram, então, no paradoxo de Gray. No ano de 1936, esse zoólogo calculou a potência necessária para um golfinho (mamífero marinho) se mover a uma velocidade de 20 nós. O resultado desse cálculo foi algo inacreditável. Considerando que a resistência ao deslocamento do golfinho fosse igual a de um corpo rígido dentro de um fluido em movimento, para uma mesma velocidade, era necessário que os músculos do animal produzissem sete vezes mais energia do que os músculos presentes em outros tipos de mamíferos poderiam produzir (Gray, 1936).

Assim, Gray lançou uma grande dúvida, mas indicou um caminho que, futuramente, com estudos mais aprofundados, esclareceria seu próprio paradoxo. Para ele, os princípios da locomoção natatória estavam mais relacionados aos movimentos transversais de cada seção do corpo do peixe do que as ondas propagadas pelas contrações do mesmo, fato argumentado por Breder (1926). Apoiado nessa constatação, Gray filmou o deslocamento de peixes, estudou a ondulação dos mesmos e constatou a importância da nadadeira caudal. Essa última observação foi feita através de um estudo onde o pesquisador estimou a propulsão gerada por um peixe antes e depois da amputação de sua nadadeira caudal. Ele percebeu que ocorria uma perda de 40% na propulsão gerada (Gray, 1933).

Foram necessários quase 60 anos para que o paradoxo de Gray fosse esclarecido. Em 1993, os irmãos e engenheiros Triantafyllou publicaram os resultados obtidos com a construção de um aerofólio que oscilava em um fluido. Os pesquisadores observaram que estando o batimento e a freqüência desse último dentro de uma determinada faixa, os vórtices normalmente formados atrás de um objeto imerso em um escoamento eram invertidos, contribuindo positivamente com a locomoção (Triantafyllou et al., 1993).

O desenvolvimento de uma teoria matemática para a locomoção de peixes incentivou e possibilitou a vários pesquisadores, como Webb, Weihs e Blake, realizarem estudos aprofundados sobre sua hidrodinâmica. Atualmente esses estudos fornecem os fundamentos para a compreensão dos comportamentos apresentados pelos peixes durante o desenvolvimento de uma determinada velocidade (Magnuson, 1978).

De forma geral, os procedimentos para levantamento de velocidades de nado podem ser agrupados em duas categorias: as realizadas em campo, no *habitat* do animal, e as realizadas em laboratório. Os primeiros levantamentos de velocidade em

campo consistiam em fisgar o peixe em um anzol e medir a distância através da linha juntamente com o tempo gasto no percurso (Beamish, 1978).

A medição em campo é capaz de fornecer uma série de informações a respeito do comportamento do peixe, mas, dentro da faixa de velocidades, sua principal contribuição está no levantamento das velocidades sustentáveis de cruzeiro e de cardume (Beamish, 1978). Isso acontece porque esses tipos de velocidades, principalmente as sustentáveis de cruzeiro, são empregadas pelos peixes durante longo período de tempo. Além disso, elas só são desenvolvidas em determinadas situações, como na presença de outros peixes, no caso da velocidade de cardume, e sob certas condições físicas (do ambiente) e biológicas (do peixe), no caso da velocidade de cruzeiro. No entanto, um dos problemas principais da medição em campo é o fato de fornecer apenas a velocidade do peixe e não possibilitar o monitoramento das linhas de fluxo da água nas proximidades do animal.

O segundo tipo de observação abrange todas as metodologias empregadas dentro de laboratórios e consiste basicamente em confinar o peixe em um aparato, sendo o animal forçado ou não a nadar. As principais velocidades estudadas com essas metodologias são as velocidades prolongadas e as de explosão, podendo, em alguns casos, serem obtidas algumas velocidades sustentáveis (com exceção das de cruzeiro e de cardume) (Katopodis, 2005). O aparato a ser empregado em medições de laboratório pode assumir inúmeras características e formas de operação. O mais comum e atualmente utilizado é a montagem conhecida como respirômetro de Brett, que pode ser caracterizada como um conduto forçado cujo escoamento é produzido pelo acionamento de uma bomba centrífuga. Por ser um dos mais estudados, esse tipo de equipamento sofreu várias adaptações à medida que foi sendo utilizado por diversos pesquisadores.

No entanto, à medida que os estudos de laboratório se aprofundaram, houve a necessidade de compreender as habilidades natatórias voluntárias, as estratégias de nado e as performances dos peixes sobre determinadas situações de turbulência (Katopodis, 2005). Com isso, novas tecnologias foram adaptadas às medições em laboratório como o *pit-tag* e a radio-telemetria, que permitem a localização do peixe no espaço, em tempo real.

Assim, como é permitido ao peixe o uso voluntário do modo de natação, a utilização de canais hidráulicos para realização de testes tornou-se uma opção mais interessante, já que a vantagem dos

chamados respirômetros se limita às facilidades na produção de altas velocidades do escoamento, no qual o peixe é迫使 a nadar. Além disso, com os canais cria-se uma condição mais próxima da encontrada naturalmente nos rios (Peake, 2004), livre de pressões decorrentes do escoamento de bombas e de alguns efeitos, como o devido à proximidade das paredes (Webb, 1993).

Dessa forma, passou a ser inevitável uma comparação entre as velocidades obtidas nos testes voluntários e forçados, o que revelou um menor valor nas velocidades desenvolvidas em respirômetros. Segundo Peake (2004), a explicação para isso está em duas razões: a primeira, na recusa do peixe confinado em nadar até a sua completa exaustão fisiológica, já demonstrada por vários autores, e a segunda, nas diferenças entre os custos energéticos associados à natação confinada (cujo procedimento obriga o peixe a nadar contra o escoamento) e à não-confinada (cujo procedimento permite ao peixe desenvolver a natação espontânea).

Apesar dessas constatações, ainda se faz necessária a realização de mais estudos com espécies confinadas em respirômetros, uma vez que a quantidade de informações sobre velocidade, obtidas nessas condições, permite comparações poderosas. Além disso, são necessários novos dados para comprovar que estudos com natação forçada geram dados subestimados em relação à capacidade de nado voluntário (Peake, 2004).

A EXPERIÊNCIA DO CENTRO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS DA UFMG

O conhecimento sobre a velocidade natatória de peixes neotropicais se resumia até bem pouco tempo à valores obtidos de observações diretas, sem experimentação. São freqüentes as citações dos trabalhos de Godoy, que em rios brasileiros, verificou a passagem de peixes por corredeiras, medindo pontualmente a velocidade da água (Clay, 1995 e Quirós, 1989). Além destas observações, estudos de migração com marcação de peixes realizados com algumas espécies forneceram, de forma indireta, uma noção de grandeza da velocidade (Barthem e Goulding, 1997).

A falta de dados mais precisos sobre a capacidade natatória da ictiofauna tropical levou os projetistas de mecanismos de transposição a adotarem as velocidades de natação conhecidas para os salmones e trutas, peixes encontrados em locais de clima temperado e cujo comportamento se diferencia bastante de nossas espécies (Quirós, 1989).

Frente aos desafios da construção de mecanismos de transposição no Brasil, o Centro de Pesquisas Hidráulicas (CPH), como membro do Centro de Transposição de Peixes, iniciou uma série de estudos sobre soluções de engenharia aplicadas às questões de passagens de peixes. De forma pioneira, se destaca o estudo das habilidades natatórias das espécies de peixes nativas do Brasil.

Partindo da necessidade de uma comparação entre as habilidades natatórias, optou-se então por utilizar métodos de natação forçada em respirômetro. O tipo de velocidade escolhida para o estudo foi a prolongada, uma vez que esta já é conhecida para muitas espécies de clima temperado (Beamanish, 1978).

Para levantar a velocidade prolongada das espécies de peixes neotropicais, construíram-se dois respirômetros baseados nos estudos de Brett (1964). O primeiro, com diâmetro nominal de 150 mm, é utilizado para estudos de espécies de até 30 cm de comprimento total, enquanto o segundo, com diâmetro de 250 mm, permite o estudo de peixes de até 50 cm.

Ambos os aparelhos consistem em túneis hidrodinâmicos cujo escoamento é criado por duas bombas centrífugas. Na parte central do túnel se localiza a seção de teste, trecho produzido em acrílico, permitindo a visualização do peixe. Este por sua vez é confinado nesta seção por telas, situadas logo a montante e a jusante da seção.

Devido a diferença de diâmetro e a necessidade da obtenção de uma velocidade de escoamento de 3 m/s na seção de teste, o sistema hidráulico que abastece os aparelhos é diferente. A TAB. 1 mostra a diferença neste sistema.

As bombas centrífugas retiram água de reservatórios que, no caso do primeiro aparelho, comporta 5000 litros e se situa no mesmo nível das bombas (FIG. 1a). Já na segunda montagem, o reservatório é subterrâneo e sua capacidade é de 1000m³ (FIG. 2a). Para reduzir os efeitos rotacionais da bomba, o segundo aparelho conta com um laminador a montante da seção de teste.

Para introduzir o peixe na seção de teste, o primeiro aparelho conta com duas conexões "Tê" (FIG. 1a e FIG. 1b). Na conexão situada a montante (verificar o sentido do escoamento pela seta), o peixe é introduzido, enquanto na conexão de jusante, o peixe é retirado. As duas conexões "Tê" são vedadas por tampas rosqueadas e possuem um "soquete" que conduz o peixe para a seção de teste. Esse componente também é responsável por conformar a confluência do "Tê", fazendo com que a seção de

Tabela 1- Especificações Técnicas dos dois aparelhos experimentais

	Vazão Máxima (m ³ /s)	Diâmetro da Seção de Teste (mm)	Velocidade Máxima na Seção de Teste (m/s)	Comprimento Total do Túnel Hidrodinâmico (m)	Potência de cada uma das duas Bombas (cv)
Aparato 1	0,042	150	2,6	7,80	7,5
Aparato 2	0,160	250	2,62	7,50	20

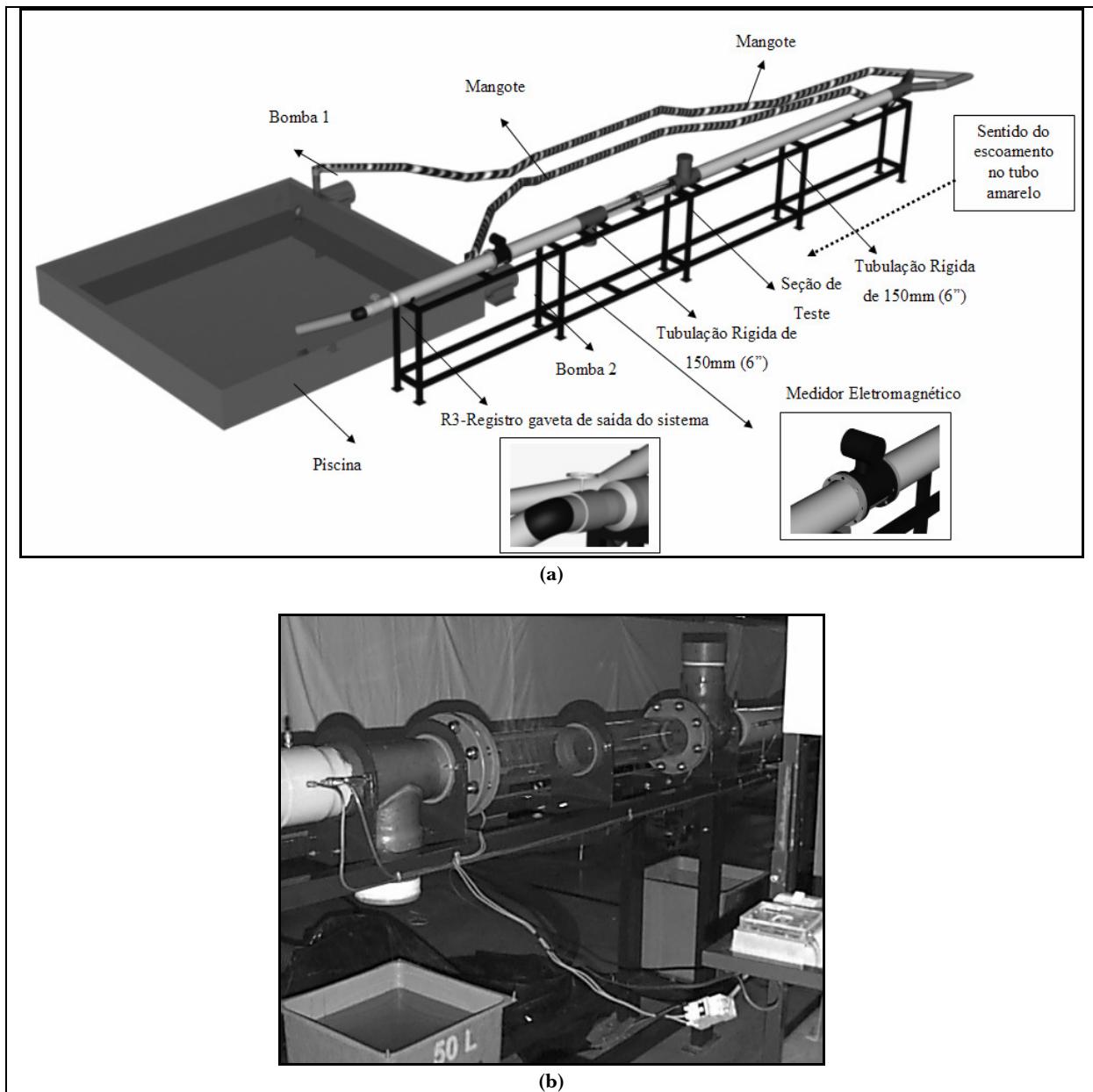


Figura 1. a) Esquema Geral e b) Seção de Teste do Túnel Hidrodinâmico com diâmetro nominal de 150 mm

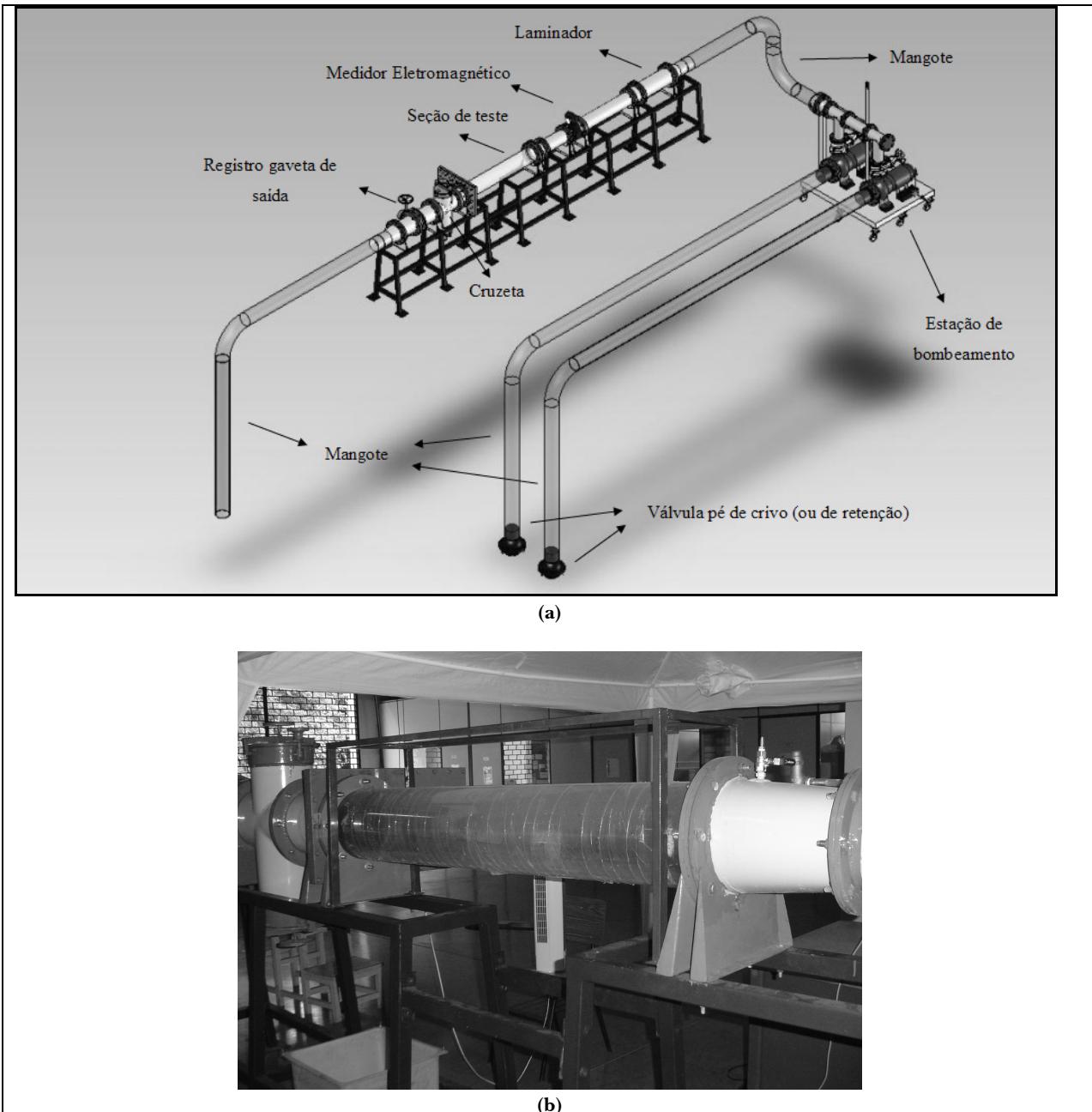


Figura 2. a) Esquema Geral e b) Seção de Teste do Túnel Hidrodinâmico com diâmetro nominal de 250 mm

teste não tenha locais onde o escoamento possa desviar.

Já no segundo aparato, esse processo é realizado através da conexão do tipo cruzeta. Isto foi possível, pois a grade próxima a esta conexão é móvel (FIG. 2a e 2b).

Para permitir o controle gradual da velocidade do escoamento dentro do túnel, as bombas são

acionadas por inversores de freqüência que alteram a rotação das mesmas e, consequentemente, a vazão recalculada. A verificação da pressão interna do aparelho é feita através de manômetros do tipo Bourdon.

Os dois respirômetros desenvolvidos no CPH, fazem parte de uma série de aparelhos experimentais desenvolvidos com a finalidade de se estudar passagens para peixes.

Os primeiros estudos com passagem para peixes consistiam inicialmente na avaliação hidráulica de escadas, em 2001. A partir de então, as linhas de pesquisas relacionadas à área foram se tornando mais diversificadas, compreendendo hoje: avaliação de eficiência e seletividade de elevadores, aproveitamento energético de água para atração de peixes, estruturas para o desvio de peixes em tomadas d'água e efeitos de pressão sobre peixes quando da passagem para jusante, além dos trabalhos com capacidade natatória.

Soluções de engenharia para conservação de ambientes aquáticos devem levar em conta as características biológicas da ictiofauna local. Assim, em estudos desta natureza, o trabalho conjunto entre biólogos e engenheiros permite uma melhor adequação destas obras, tanto da fase de projeto como na avaliação de sua operação. Esta filosofia vêm sendo adotada pelo CPH.

A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DA CAPACIDADE NATATÓRIA DE PEIXES NEOTROPICais

Na América do Sul, a geração hidráulica é a principal fonte de energia elétrica, sendo que no Brasil, a oferta corresponde a 77,1% da produção de energia elétrica (Brasil, 2006). Segundo a ANNEL, foram outorgados 347 empreendimentos, entre 1998 e 2005, que variam entre Hidrelétricas, Termelétricas e PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas). Este número é significativo, considerando que o Brasil apresenta 1359 desses empreendimentos em operação. Uma característica em comum de boa parte dessas usinas é a necessidade de obstrução do escoamento natural dos rios, causando a interrupção da rota migratória das espécies de peixes migradores.

Para atenuar o efeito dessa interrupção sobre as populações das espécies migradoras, iniciou-se nos países da América do Sul a construção das chamadas passagens para peixes, com base nos dispositivos que funcionam satisfatoriamente para o salmão e já implementados nos rios do Hemisfério Norte (Welcomme, 1985). No entanto, o comportamento das espécies locais e as peculiaridades hidrológicas de cada rio se combinam, exigindo soluções diferenciadas daquelas utilizadas para minimizar os problemas criados à migração dos salmonídeos (Pavlov, 1989). Somam-se a isto, as diferenças

na capacidade natatória entre os representantes dessa família e as espécies neotropicais (Clay, 1995).

Portanto, o conhecimento das características natatórias dos peixes neotropicais constitui um aspecto primordial para estabelecer diretrizes no dimensionamento de mecanismos de transposição a serem instalados na América do Sul (Quirós, 1989). Neste contexto, têm sido estudadas as velocidades sustentáveis, que são aquelas desenvolvidas entre 20 segundos e 200 minutos, intervalo de tempo que corresponde ao tempo dos valores geralmente verificados para a travessia de um mecanismo de transposição. Confirmado as suspeitas de alguns pesquisadores que avaliaram a velocidade de alguns peixes neotropicais de forma qualitativa (Clay, 1995), os primeiros resultados obtidos para um representante dessas espécies, o *Pimelodus maculatus* (mandi-amarelo), mostram uma capacidade natatória equivalente à do salmão *Oncorhynchus nerka* (Santos, 2004), quando se compara a velocidade para um mesmo comprimento das duas espécies. Esta constatação explicaria, por exemplo, a passagem de grandes cardumes de mandi-amarelo em mecanismos já construídos no Brasil (Fernandez, et al., 2004; Vono et al., 2004; Bizzotto, 2006).

Mas a importância do estudo da natação dos peixes neotropicais não se limita ao âmbito de mecanismos de transposição. Outros fenômenos decorrentes da presença de Hidrelétricas nos rios, como a atração de peixes para o canal de fuga durante a parada de turbinas, que têm provocado freqüentes episódios de mortandade, também poderão ser melhor compreendidos. Para esta situação, a engenharia propõe o uso de grades, cuja efetividade depende, dentre outros fatores, da capacidade natatória das espécies locais (Katopodis, 1996), em especial da capacidade de fuga, dada pela velocidade de exploração.

A recuperação de cursos d'água é outra preocupação ambiental que vem ganhando espaço em alguns países sul-americanos como o Brasil (Pompeu e Santos, 2006). Segundo Katopodis (2005), é neste contexto de revitalização de cursos d'água e de manejo de vazões ecológicas, que a capacidade natatória permite o desenvolvimento de critérios de *habitat* sustentável e modelos bioenergéticos (Katopodis, 2005). Neste caso, particularmente importante é o conhecimento das velocidades sustentáveis que são mantidas pelo peixe na maior parte do tempo. De posse destas velocidades, pode-se dimensionar melhor estruturas que tem como objetivo diversificar o ambiente hidráulico de um rio (FIG. 3).

Finalmente, deve ser ressaltado o desafio e a extensão do trabalho de levantamento das características natatórias de nossos peixes, tendo em vista a



Figura 3 – Exemplo de estruturas para revitalização construídas a partir do conhecimento de capacidade natatória dos peixes locais

diversidade da fauna neotropical, com cerca de 4500 espécies descritas (Reis et al., 2003). Dessa maneira, o presente estudo é apenas o início de um grande processo de investigações interdisciplinares com aplicação no desenvolvimento de tecnologias relacionadas às passagens para peixes, renaturalização de rios e manejos de vazões ecológicas na América do Sul.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, A. A., THOMAZ, S. M.; GOMES, L. C. Conservação da biodiversidade em águas continentais do Brasil. *Megadiversidade*, n.1(1), p. 70-78. 2005.
- ALEXANDER, R. McN. The history of fish mechanics In: WEBB, P. W. ; WEIHS, D. *Fish biomechanics*, 1. ed. Nova York: Praeger Publishers, 1983, cap. 1, p. 1 – 35.
- BARTHEM, R. & GOULDING, M. *The catfish connection- ecology, migration and conservation of Amazon predators*. New York: Columbia University Press, 1997, 144 p.
- BEAMISH, F. W. H. Swimming capacity. In: HOAR, W. S. ; RANDALL D. J., 1978, *Fish Physiology* , 1. ed. Londres: Academic Press, 1978. v. 7, cap. 2, p. 101-187.
- BIZOTTO, P. M. *Trânsito de peixes na escada da UHE-Igarapava*, Rio Grande, Alto Paraná. 2006. 52f. Dissertação (Pós-graduação em Zoologia de Vertebrados), Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Balanço Energético Nacional 2006: Ano base 2005: Resultados Preliminares* / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2006. 28 p.
- BREDER, C. M. The locomotion of fishes. *Zoologia (New York)*, n. 4, p. 159-297, 1926
- BRETT J. R. The respiratory metabolism and swimming performance of young Sockeye Salmon. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, n. 21 (5):p. 1183-1226, 1964
- CAYLEY, G. On aerial navigation, part III, *Nicholson's J. Nat. Phil. Chem. Arts. NS*, n. 25, p. 161-169, 1810.
- CLAY, C. H. *Design of fishways and other fish facilities*, 2. ed. Boca Raton: Lewis Publishers, 1995. 248 p.
- FERNANDEZ, D. R.; AGOSTINHO, A. A.; BINI, L. M. Selection of an experimental fish ladder located at the dam of the Itaipu Binacional, Paraná River, Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 47, n. 4, p. 579-586, 2004.
- GRAY, J. Studies in animal locomotion. VI. The propulsive mechanism of the whiting (*Gadus merlangus*). *Journal of Experimental Biology*, n. 10, p. 391-400, 1933
- GRAY, J. The propulsive powers of the dolphin. *Journal of Experimental Biology*; n. 13(2), p.192-199, 1936
- HARVEY, B. ; CAROSFELD, J. Introduction: Fishes of the Floods In: HARVEY, B; CAROSFELD, J; ROSS, C. ; BAER, A.. *Migratory Fishes of South America*, Victoria: International Development Research Centre (Canada)/ World Bank / World Fisheries Trust, 2003, cap. 1, p. 1 – 18.
- HOUSSAY, F. *Forme, puissance et stabilité des poissons*. Hermann : Paris, 1912
- KATOPODIS, C. Developing a toolkit for fish passage, ecological flow management and fish habitat works. *Journal of Hydraulic Research*, n. 43(5), p. 451-467, 2005
- KATOPODIS, C. Ecohydraulics: challenges and opportunities with fish and fish habitat., In: INTERNACIONAL SYMPOSIUM ON HABITAT HYDRAULICS (invited lecture), 2, 1996, Quebec, *Proceedings of Ecohydraulics 2000*, 1996, Vol. B
- KEMPF, G.; Neu, W. Schleppversuche mit Hechten zur Messung des Wasserwiderstandes, *Zeitschr. Vergl. Physiol.* n.17, p. 353-364, 1932.
- MAGNUSON, J. J. Locomotion by scombrid fishes: hydromechanics, morphology, and behavior. In: HOAR, W. S.; RANDALL D. J., 1978, *Fish Physiology* , 1ed., Londres: Academic Press, 1978. v. 7, cap. 4, p. 239-313.
- PAVLOV, D. S. *Structures assisting the migrations of non-salmonid fish: USSR*. Report 308, FAO. 1989, 97 p.

- PEAKE, S. An evaluation of the use of critical swimming speed for determination of culvert water velocity criteria for smallmouth bass. *Transaction american fisheries society* n. 133, p. 1472-1479, 2004.
- POMPEU, P. S.; SANTOS, H. A. O desafio da revitalização de cursos d'água urbanos, *Cadernos do Manuelzão*, n. 1 (2), p. 28-33, 2006.
- QUIRÓS, R. *Structures assisting the migrations of non-salmonid fish: Latin America*. Report 756, FAO, 1989, 41p.
- REIS, R. E., KULLANDER, S. O.; FERRARIS Jr., C. J. *Check list f the freshwater fishes of South and Central America*. Porto Alegre: EDIPUCRS. 2003, 742p.
- RICHARDSON E. G. The physical aspects of fish locomotion. *Journal of Experimental Biology*; p. 63-74, 1936
- SANTOS, H. A. *Metodologia de medição de velocidade prolongada crítica e de explosão das espécies de peixes migradoras do Brasil*. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)-Escola de Engenharia. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.
- SFAKIOTAKIS, M., LANE, D. M.; DAVIES, J. B. C. Review of fish swimming modes for aquatic locomotion. *IEEE Journal of oceanic engineering*. n. 24(2), p. 237-252, 1999
- SHOULEJKIN, W. Airdynamics of the flying fish. *Internat. Rev. Ges. Hydrobiol. Hydrogeogr.*, n. 22, p. 102-110, 1929
- TRIANTAFYLLOU G. S., TRIANTAFYLLOU M. S.; GROSENBAUGH M. A. Optimal thrust development in oscillating foils with application to fish propulsion. *Journal of Fluids and Structures*; n. 7, p.205-224,1993
- TRIANTAFYLLOU, M. S.; TRIANTAFYLLOU, G. S. An efficient swimming machine. *Scientific American*, n. 272(3), p. 40-45, 1995.
- VONO, V.; BIZZOTTO, P. M.; GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L.; KYNARD, B. Fish passage at the Igarapava Fish Ladder, River Grande, Brazil. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON THE BIOLOGY OF FISH, 2004, Annals of the Manaus: American Fisheries Society 2004. p. 1-5.
- WEBB, P. W. Swimming. In: EVANS, David H., 1993, *The physiology of fishes*, 1 ed.. Londres: CRC, 1993. cap.2, p. 47-73.
- WELCOMME, P. L. *River fisheries*. Report 262, FAO. 1985, 230 p.

The Importance of Studying the Swimming Capability of Fish to Conserve Neotropical Aquatic Environments

ABSTRACT

The world's aquatic systems have been changed by human interference and consequently many fish populations are declining, mainly migratory species. In order to reduce environmental problems, many engineering solutions, such as river rehabilitation, fish passages and ecological flow management have been used. However, these solutions will be effective only if they concern the local fauna characteristics. As to fishes, the swimming capability is one of the most important aspects to be considered for the recovery process of aquatic systems. Despite this relevance, until a few years ago, the only information in Latin America about our fish capability was the result of qualitative observations. Then, the first experiment on swimming velocity measurement was performed with native species at the Centro de Pesquisas Hidráulicas of UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais). It was based on experimental processes described in the literature. The objective of this article is to show the evolution of the swimming measurement processes in the world, the Brazilian experience and the importance of swimming capabilities for environmental solutions.

Key-words: swimming capability, transposition mechanisms, revitalization of water courses and ecological streamflow.