



**XXI SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO - 11

GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS – GIA

MONITORAMENTO ELETRÔNICO DE ESPÉCIES MIGRADORAS NO SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES DA ITAIPU BINACIONAL (CANAL DA PIRACEMA)

Hélio Martins Fontes Júnior (*)
ITAIPU BINACIONAL

Luiz Carlos Gomes
NUPELIA – UEM

Sérgio Makrakis
GETECH – UNIOESTE

Sandro Alves Heil
ITAIPU BINACIONAL

RESUMO

O Canal da Piracema teve suas obras concluídas para possibilitar a migração de peixes em dezembro de 2002 e desde 2004 tem-se buscado avaliar a eficiência de seus diversos componentes (canal natural e escadas), por meio de levantamentos com amostragem de pesca experimental, radiotelemetria e, recentemente, com o uso de marcas eletrônicas tipo PIT (*Passive Integrated Transponder*). Espécies migratórias foram marcadas com PIT a partir de dezembro de 2009 e monitoradas para avaliação da frequência e tempo de ascensão dos indivíduos a partir de diferentes pontos ao longo do sistema. Os resultados apontam vantagens e restrições da metodologia utilizada.

PALAVRAS-CHAVE

Transposição de peixes, PIT-tag, Marcação, Migração

1.0 - INTRODUÇÃO

Os problemas impostos pelas barragens a peixes migradores podem ser minimizados pela implantação de mecanismos de transposição como escadas, eclusas, canais de migração e elevadores (LARINIER, 2002a e 2002b). Apesar dos esforços para estudar os mecanismos de transposição, sumarizados em volume da Neotropical Ichthyology (volume 5), ainda é relativamente limitada a compreensão do comportamento das espécies migratórias que utilizam esses mecanismos e existem muitas dúvidas a respeito da eficiência dos mesmos, particularmente em regiões neotropicais (AGOSTINHO *et al.*, 2002).

Dos vários sistemas de transposição de peixes conhecidos, os denominados canais de passagem secundários funcionam como “rios artificiais”, restabelecendo o contato entre os trechos a montante e a jusante da barragem. O Canal da Piracema de Itaipu é o único de grande escala conhecido nessa modalidade de meio de transposição na América do Sul (AGOSTINHO *et al.*, 2007). Este canal, que pode ser considerado um sistema misto, é o maior do mundo totalizando 10,3 km de extensão. Foi construído aproveitando 6,7 km do leito natural do rio Bela Vista e é composto por diversos mecanismos num único sistema, como escadas para peixes, canais naturais e artificiais e lagoas de descanso (MAKRAKIS, 2006; Makrakis *et al.*, no prelo).

Dentre os projetos desenvolvidos pela Itaipu Binacional no Canal da Piracema, os levantamentos com biologia pesqueira foram conduzidos durante os anos de 2004 a 2005, pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), através do Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura (NUPELIA), bem como pela UNIOESTE, através do Grupo de Pesquisa em Recursos Pesqueiros e Limnologia (GERPEL). Durante o período foram feitas doze campanhas mensais visando o levantamento da ictiofauna no Canal, que possibilitou diagnosticar todo um período sazonal de comportamento migratório.

(*) Av. Tancredo Neves, 6731 – Usina Hidrelétrica de Itaipu – Divisão de Reservatório (MARR.CD) – CEP 85856-970 Foz do Iguaçu, PR – Brasil
Tel: (+55 45) 3520-5604 – Fax: (+55 45) 3520-5659 – Email: helio@itaipu.gov.br

Durante esta etapa foram coletados, ao todo, 21.987 indivíduos referentes a 121 espécies, 28 famílias e 10 ordens. Destes, 825 indivíduos pertenciam a 17 espécies migratórias (principalmente *P. lineatus*), com maior ocorrência no rio Bela Vista e redução evidente da quantidade de indivíduos no sentido de jusante a montante. A porcentagem de indivíduos de espécies migratórias que conseguiriam chegar ao final do sistema foi estimada em 0,5% (MAKRAKIS *et al.*, 2010).

A radiotelemetria também tem sido utilizada para estudar os movimentos de espécies migratórias no Canal da Piracema. Entre outubro de 2004 e março de 2005, foram capturados e marcados com radiotransmissores 77 peixes pertencentes a seis espécies *Prochilodus lineatus* (curimba, n = 23), *Salminus brasiliensis* (dourado, n = 12), *Pseudoplatystoma corruscans* (pintado, n = 16), *Pseudoplatystoma fasciatum* (cachara, n = 17), *Zungaro jahu* (jaú, n = 4) e *Piaractus mesopotamicus* (pacu, n = 5). Dos 63 exemplares marcados e soltos a jusante do segmento denominado Canal de deságüe no rio Bela Vista – CABV, somente 6 (9,5%) foram registrados nas estações a montante e destes somente um dos exemplares de curimba alcançou o reservatório. O estudo concluiu que, no geral, a proporção de indivíduos marcados que alcançou o reservatório foi relativamente baixa (>8% do total), sendo menor ainda aquela dos que conseguiram sobrepor a seção de escadas do CABV (6,5% dos soltos a jusante desta seção) e destes, posteriormente atingir o reservatório (1,6%) (HAHN, 2007).

Os estudos apontaram que o componente denominado Canal de deságüe no rio Bela Vista, com 200 metros de extensão, seria o maior responsável pela seletividade do sistema.

A partir de dezembro de 2009 foi viabilizada a implantação do sistema de identificação por rádio frequência – RFID, que utiliza ondas eletromagnéticas para acessar dados armazenados em um microchip, visando avaliar a movimentação de espécies migratórias no Canal da Piracema. Este trabalho tem por objetivo apresentar os resultados preliminares obtidos com essa metodologia durante aproximadamente quatro meses e meio de monitoramento realizado no período da piracema 2009/2010.

2.0 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O Canal da Piracema está localizado na Usina Hidrelétrica de Itaipu, Estado do Paraná, Brasil. O sistema interliga o rio Paraná, a jusante da Barragem, ao reservatório de Itaipu, vencendo um desnível de 120 metros entre esses dois ambientes. Pode ser subdividido em um subsistema natural (rio Bela Vista) e um subsistema artificial, este último constituído por vários componentes (Figura 1).

As características hidráulicas do Canal incluem velocidades médias da água inferiores a 3 m³/s ao longo de todo o sistema, profundidade mínima de 0,8 m e seção transversal de “área molhada” de aproximadamente 4 m² quadrados. Baseado em cálculos hidráulicos e ensaios com modelos, o fluxo que preenche as condições para as espécies migratórias é de 11,4 m³/s (FONTES JR. *et al.*, 2004).

2.2 O sistema RFID

A tecnologia RFID utilizada neste estudo foi o sistema TIRIS S 2000 conforme preconizado por CASTRO-SANTOS *et al.* (1996), ZYDLEWSKI *et al.* (2001) e HARO (2002). O sistema consiste basicamente na utilização de antenas feitas com cabos elétricos multifilamento, ligadas a um módulo de controle de antena e a um leitor (*reader*), alimentados por uma fonte de 12V. O campo eletromagnético gerado na antena ativa as etiquetas implantáveis do tipo PIT – *Passive Integrated Transponder*, conhecidas por PIT-*tags*, as quais foram previamente codificadas.

Segundo a literatura especializada, a utilização de PIT-*tag* é uma metodologia bastante adequada para monitorar a mobilidade da ictiofauna em dispositivos de transposição, permitindo o estudo da sua funcionalidade, capacidade de atração e eficiência. Possibilita também a avaliação da influência de fatores ambientais (e.g., temperatura da água, caudal) na transposição de peixes de diferentes espécies e tamanhos (LUCAS & BARAS, 2000).

O objetivo inicial do uso de tecnologia RFID no Canal da Piracema era avaliar a ascensão de espécies migratórias, principalmente no trecho compreendido entre o rio Bela Vista – RIBE e o Lago principal – LAPR, incluindo a instalação de antenas no Canal de deságüe no rio Bela Vista – CABV, Canal de águas bravas – CAAB e Canal de iniciação – CAIN. Esses componentes do sistema de transposição são utilizados, fora dos períodos de piracema, para a prática de canoagem e visitação turística, atividades essas que poderiam influenciar a migração de peixes. No entanto, após várias tentativas e testes para implantar antenas de grandes dimensões (e.g. 10,0 x 2,3 m), que atendessem as condições de utilização no CAAB, bem como de antenas menores (e.g. 5,0 x 1,2 m) no CAIN e CABV, verificou-se que o funcionamento das mesmas se dava de maneira intermitente, apresentando-se bastante vulneráveis a ruídos (interferência eletromagnética) do ambiente, portanto inviáveis para utilização naqueles locais.

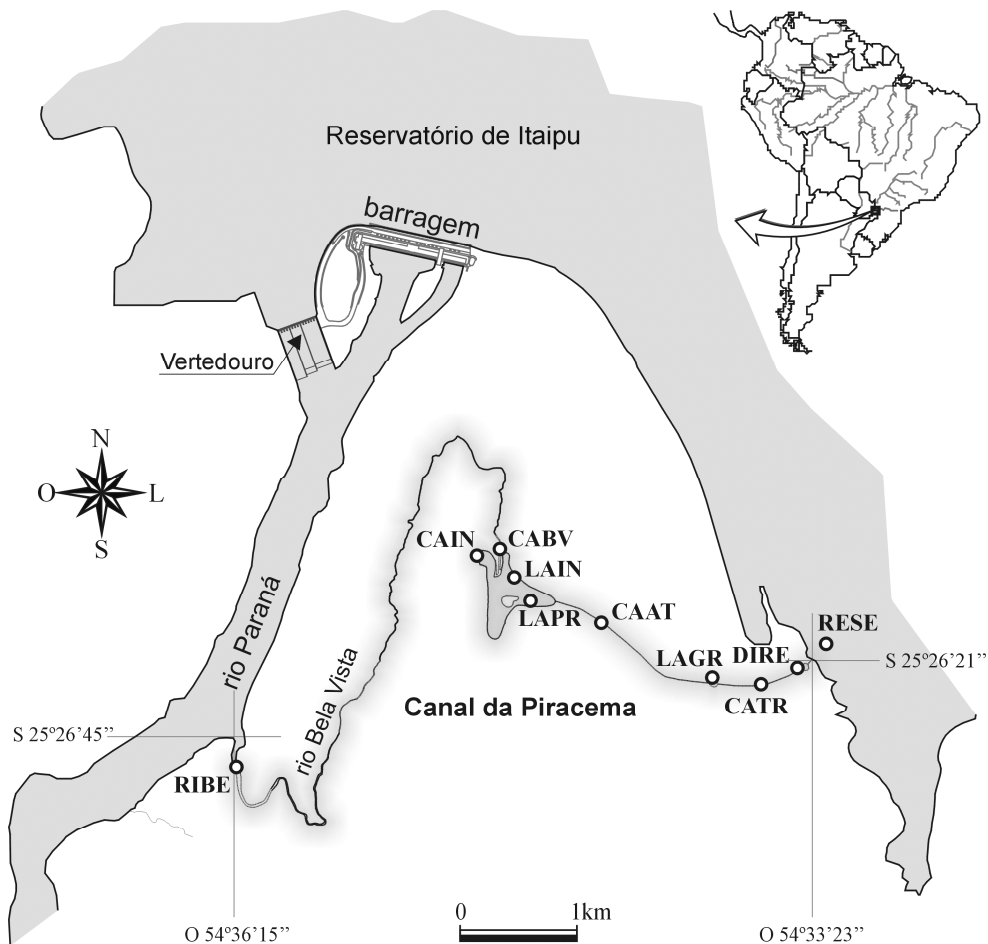


FIGURA 1 – O Canal da Piracema e seus componentes: subsistema natural (RIBE - rio Bela Vista); subsistema artificial (CABV – Canal de deságüe do rio Bela Vista, LAIN – Lago inferior, CAIN – Canal de iniciação, LAPR – Lago principal, CAAT – Canal de alimentação em aterro, LAGR – Lago das grevilhas, CATR – Canal de alimentação em trincheira, DIRE – Dique de regulação, RESE – Reservatório).

Problemas como descrito anteriormente são inerentes ao sistema RFID (HARO, 2002) exigindo sua reavaliação e redimensionamento de acordo com as condições do local onde será implantado. Assim, optou-se pela redefinição dos objetivos do estudo, com a instalação de três antenas menores, cada uma com 2,0 x 1,2 m, no Dique de regulação – DIRE (extremidade superior do sistema), distante aproximadamente 3.000 m da área inicialmente escolhida. Com essa configuração, que abrange integralmente a seção de passagem dos peixes que chegam ao DIRE, foi possível obter resultados para avaliação da ascensão de peixes no subsistema artificial do Canal da Piracema.

2.3 Coleta de dados

No período compreendido entre 8 de dezembro de 2009 a 26 de fevereiro de 2010 foram marcados 341 indivíduos com PIT. Destes, 136 a jusante do CABV e 205 a montante do mesmo, compreendendo oito espécies (Tabela 1). Para os exemplares do subsistema de jusante (rio Bela Vista) o método de captura utilizado foi tarrafa e para os de montante a captura foi efetuada por meio de amostragens realizadas no Canal de Águas Bravas e Canal de Iniciação (diminuição da vazão e capturas com estruturas de contenção). Os exemplares capturados no CAAB e CAIN foram soltos, após marcação, no Lago Inferior – LAIN, onde desembocam ambos os referidos canais. O implante das marcas foi efetuado na cavidade abdominal. O procedimento consiste numa pequena incisão com bisturi (lâmina nº 15) e inserção manual do transponder de 32 mm utilizado nesse estudo. Todos os peixes submetidos ao implante foram anestesiados e medidos (comprimento total e comprimento padrão). Complementarmente os peixes também receberam marcas externas do tipo dardo (*DART-tag*) a fim de possibilitar a eventual identificação dos mesmos fora do sistema (recaptação).

TABELA 1 – Número de indivíduos marcados com PIT a jusante do Canal de deságue do Bela Vista (CABV) e no lago inferior (LAIN) e detectados no Dique de regulação (DIRE).

Espécie	Indivíduos marcados a jusante CABV	Indivíduos detectados no DIRE	Frequência relativa CABV	Indivíduos marcados no LAIN	Indivíduos detectados no DIRE	Frequência relativa LAIN
<i>P. lineatus</i>	91	18	19.8%	93	56	60.2%
<i>S. brasiliensis</i>	4	2	50.0%	56	10	17.9%
<i>L. friderici</i>				30	7	23.3%
<i>L. elongatus</i>	26	3	11.5%	12	6	50.0%
<i>P. corruscans</i>	10	1	10.0%	1		
<i>P. reticulatum</i>	1					
<i>B. orbignyanus</i>				9	4	44.4%
<i>P. mesopotamicus</i>	4	1	25.0%	4		
Total	136	25	18.4%	205	83	40.5%

Os dados foram obtidos por meio de um programa denominado "Multireader", desenvolvido e utilizado pela *United States Geological Service – U.S.G.S.*, que gentilmente cedeu uma cópia à Itaipu Binacional e Unioeste. O software se comunica com os leitores e registra o número da marca, data e hora da leitura. Posteriormente os arquivos de dados foram importados e analisados em MS-Access e Excel.

Durante o período de coleta de dados uma das antenas do conjunto instalado no DIRE (antena 3) parou de funcionar, permanecendo assim por alguns dias até que fosse possível identificar e solucionar o problema, que exigiu a substituição da antena e do *reader* a ela acoplado. Também o computador utilizado para armazenamento dos dados apresentou problemas e teve que ser substituído. Quedas frequentes da energia elétrica, principalmente durante tempestades com ventos fortes, também foram responsáveis pela interrupção do sistema com prejuízo à coleta de dados, pois algumas vezes o evento se dava durante a noite e apenas no dia seguinte era possível constatar o ocorrido e restaurar o sistema. Todos esses fatores fizeram com que o sistema ficasse inoperante durante aproximadamente 20% do tempo.

Na medida do possível foram mantidas, durante o período de estudo, vazões aproximadamente constantes ao longo do Canal, cujas variações são influenciadas pelas condições hidrométricas do reservatório de Itaipu.

3.0 - RESULTADOS

Dos 341 peixes marcados, 107 foram detectados pelas antenas no Dique de regulação (DIRE) no período de 8/12/2009 a 28/04/2010. Dentre estes, 23,4% foram provenientes de jusante do CABV (25 indivíduos) e 76,6% foram provenientes do LAIN (82 indivíduos). O primeiro registro ocorreu nove dias após o início das marcações (um exemplar de curimba de jusante do CABV) e o último registro foi observado em 26/04/2010, relativo a um curimba marcado e solto no LAIN 90 dias antes. O menor tempo de ascensão (1,9 dias) foi constatado para um exemplar de piracanjuba do LAIN e o maior tempo (116,8 dias) para um curimba de jusante do CABV.

Para a espécie *P. lineatus*, com maior universo amostral em relação às demais, observou-se que 60,2% dos indivíduos marcados no LAIN chegaram a extremidade superior do sistema contra apenas 19,8% dos marcados a jusante do CABV (Figura 2). Tendência similar foi verificada para *L. elongatus*. Já para *S. brasiliensis* e *P. mesopotamicus* observou-se situação inversa, com maior frequência de ascensão de indivíduos provenientes de jusante do CABV, porém o número de exemplares marcados foi pequeno para essas espécies (ver Tabela 1).

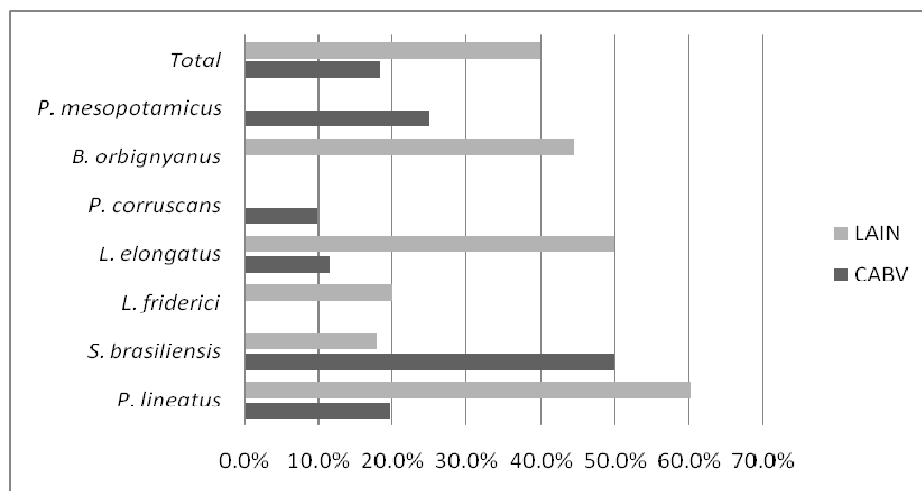


FIGURA 2. Frequência relativa de indivíduos detectados por local de marcação

B. orbignyanus e *L. friderici* foram marcados apenas no LAIN e apresentaram frequência de ascensão de 44,4% e 20,0% respectivamente.

O mês de fevereiro foi o período com maior número de registros (63 indivíduos detectados), a maioria relativa a 137 peixes marcados e soltos no LAIN, na última semana de janeiro. No mês de março 15 peixes foram detectados e em abril apenas oito.

O tempo de ascensão para indivíduos de *P. lineatus* marcados a jusante do CABV variou de 8,8 a 116,8 dias, com média de 43,3 dias, ao passo que para os marcados no LAIN a variação foi de 2,1 a 90,3 com média de 16,2 dias (Figura 3). A diferença entre as médias foi significativa de acordo com o teste *t* para duas amostras com correção de Bonferroni (27,1 dias; $p = 0,002$).

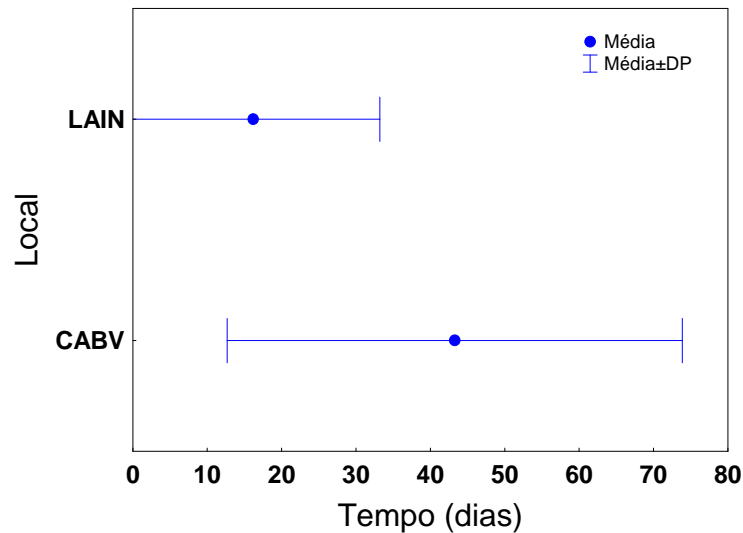


FIGURA 3 – Tempo médio de ascensão e desvio padrão para exemplares de *P. lineatus* marcados a jusante do CABV e no LAIN.

Para os espécimes marcados no LAIN os tempos médios de ascensão variaram de 9,4 (*B. orbignyanus*) a 33,7 (*L. friderici*) dias (Figura 4).

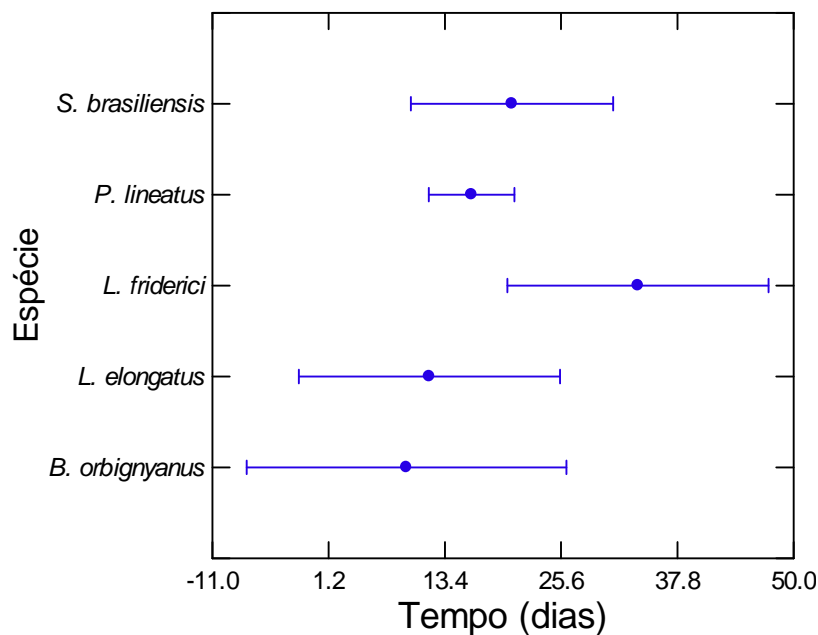


FIGURA 4 – Tempo médio de ascensão e variância para espécies marcadas no LAIN.

4.0 - CONCLUSÃO

Os estudos realizados no Canal da Piracema a partir de 2004 abrangeram períodos limitados e relativamente curtos, considerando-se que o comportamento das espécies migratórias é determinado por variáveis que se manifestam em larga escala temporal. Além disso, a pesca ilegal na área (constada em pelo menos 20% dos exemplares marcados com radiotransmissores), bem como as condições hidráulicas e ambientais, influenciam a eficiência das passagens de peixes, cujos resultados podem variar largamente em experimentos, confundindo a interpretação significativa dos dados (CASTRO-SANTOS *et al.*, 1996).

O monitoramento com PIT-tag, mesmo com dados relativos ao período parcial de uma piracema, apesar dos problemas técnicos que afetaram a eficiência do sistema RFID, evidenciou que pelo menos 18,4% dos peixes marcados a jusante do CABV atingiram a extremidade superior do mecanismo de transposição.

Para os exemplares marcados com PIT no LAIN, mais de 40% completaram a migração ascendente no sistema. Esse resultado se aproxima aos daqueles obtidos por meio de radiotelemetria, que observou eficiência de 30,1% ao constatar que de treze exemplares soltos no LAIN, quatro (01 dourado, 01 pacú, 02 pintados) atingiram o Reservatório (HAHN, 2007).

O uso de PIT-tag se apresenta como metodologia interessante para estudar a mobilidade de espécies migratórias neotropicais em mecanismos de transposição de peixes. No entanto, essa metodologia também possui limitações que, no caso do Canal da Piracema, foram evidenciadas pela interferência eletromagnética intermitente em determinados locais e pela inviabilidade do uso de antenas de grandes dimensões. O sistema funcionou bem apenas em locais com maior estrangulamento para a passagem dos peixes, tal como no Dique de regulação, onde foi possível utilizar eficientemente antenas com dimensões de até 2,0 x 1,0 metros.

Ambos os métodos eletrônicos até o momento empregados no Canal da Piracema apresentam vantagens e desvantagens, devendo ser utilizados de forma complementar conforme a resposta que se deseja obter. A radiotelemetria permite maior abrangência na detecção dos exemplares monitorados e pode ser utilizada nos mais diversos locais, com baixo nível de ruídos. Fornece precisão na determinação de velocidade de deslocamento, tempo de residência e na avaliação das rotas de passagem e comportamento dos peixes no Canal (HAHN, 2007). Suas desvantagens incluem o elevado custo dos equipamentos (receptores e radiotransmissores), abrangência temporal limitada pela bateria dos radiotransmissores e necessidade de cirurgia para implantação dos mesmos, fatores esses que limitam o tamanho da amostra e o tempo do estudo, além de submeter os peixes a maior estresse. As etiquetas do tipo PIT são menores, de implantação fácil e rápida, possuem abrangência temporal ilimitada e baixo custo em relação à radiotelemetria, o que permite aumentar significativamente o universo amostral no que se refere ao número de espécies, número de indivíduos e amplitude de tamanho dos exemplares que podem ser monitorados.

As grandes dimensões do Canal da Piracema, cuja largura mínima é de 5 m e profundidade variando de 0,8 a 2,5 m, com poucos locais de estrangulamento, restringem a utilização do sistema RFID e, portanto a abrangência espacial do monitoramento. São poucos os locais viáveis para colocação de antenas, com baixo nível de ruído e disponibilidade de rede elétrica para instalação dos equipamentos.

A continuidade do monitoramento e a instalação de antenas adicionais ao longo do sistema serão de fundamental importância para determinar a direção dos movimentos migratórios e avaliar a possível utilização do mecanismo como rota sazonal de dispersão ou como habitat para espécies que encontram no sistema condições favoráveis de permanência.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) AGOSTINHO, A. A., GOMES, L. C., FERNANDEZ, D. R., SUZUKI, H. I. Efficiency of fish ladders for neotropical ichthyofauna. **Regulated Rivers**, v 18, p. 299-306. 2002
- (2) AGOSTINHO, A. A., GOMES, L. C., PELICICE, F. M. **Ecologia e Manejo de Recursos Pesqueiros em Reservatórios do Brasil**. Maringá: EDUEM; 2007. 501p.
- (3) CASTRO-SANTOS, T., ALEX HARO & STEPHEN. WALK. A Passive Integrated Transponder (PIT) tag system for monitoring fishways. **Fisheries Research**, n. 28, p. 253-261, Apr 1996.
- (4) FONTES JUNIOR, H. M., FERNANDEZ, D. R., FIORINI, A. S. New Channel Provides Fish Passage at Itaipu Dam. **Hydro Review Worldwide – HRW**. July 2004.
- (5) HAHN, L. 2007. **Avaliação da eficiência do Canal Lateral de migração da barragem de Itaipu, rio Paraná, Brasil, na passagem de peixes migradores**. Dissertação (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2007

- (6) HARO, A. **Manual for Operation of TIRFID PIT tag Systems**. CAFRC – S. O. Conte Anadromous Fish Research Center. 2002
- (7) LARINIER, M. Fishways – General considerations. **Bull. Fr. Pêche Piscic.**, 364 suppl.: 21-27. 2002a
- (8) LARINIER, M. Biological factors to be taken into account in the design of fishways, the concept of obstruction to upstream migration. **Bull. Fr. Pêche Piscic.**, 364 suppl.: 28-38. 2002b
- (9) LUCAS, M. C. & BARAS, E. Methods for studying spatial behavior of freshwater fishes in the natural environment. **FISH and FISHERIES**. v 1, p. 283-316. 2000
- (10) MAKRAKIS, S. **Sistemas de transposição de peixes: aspectos ambientais, biológicos e monitoramento**. Exame Geral de Qualificação (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2006
- (11) MAKRAKIS, S., MIRANDA, L.E., GOMES, L.C., MAKRAKIS, M.C., FONTES JUNIOR, H.M. Ascent of neotropical migratory fish in the Itaipu reservoir fish pass. **River Research and Applications**. Publicado on-line em Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/rra.1378. 2010
- (12) Sociedade Brasileira de Ictiologia. **Neotropical Ichthyology**, 5(2): 87-236. 2007
- (13) ZYDLEWSKI, G. B., HARO, A., WHALEN, K. G., McCORMICK, S. D. Performance of stationary and portable passive transponder systems for monitoring of fish movements. **Journal of Fish Biology**, v 58, p. 1471-1475. 2001.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Hélio Martins Fontes Júnior, nascido na cidade de São Paulo – SP, em 16 de abril de 1959. Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade de São Paulo, em 1982. Doutorando em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais pela Universidade Estadual de Maringá – PR. Trabalha na Itaipu Binacional desde 1987, na Superintendência de Meio Ambiente, exercendo a função de Técnico de Nível Superior Sênior I. Atuou na implantação de diversos projetos nas áreas de fauna e flora silvestres e de ecossistemas aquáticos, tendo exercido funções gerenciais durante 18 anos, principalmente como gerente da Divisão de Reservatório de 1996 a 2006. Possui particular interesse em ecologia de reservatórios, migração de peixes e sistemas de transposição.

