



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE AMBIENTES  
AQUÁTICOS CONTINENTAIS

HÉLIO MARTINS FONTES JÚNIOR

Avaliação do caráter multiuso do Canal da Piracema para a transposição de  
peixes neotropicais no rio Paraná, Brasil

Maringá

2011

HÉLIO MARTINS FONTES JÚNIOR

Avaliação do caráter multiuso do Canal da Piracema para a transposição de peixes neotropicais no rio Paraná, Brasil

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para à obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Ciências Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Gomes

Maringá

2011

"Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)"  
(Biblioteca Setorial - UEM. Nupélia, Maringá, PR, Brasil)

F683a	<p>Fontes Júnior, Hélio Martins, 1959- Avaliação do caráter multiuso do Canal da Piracema para a transposição de peixes Neotropicais no rio Paraná, Brasil / Hélio Martins Fontes Júnior. -- Maringá, 2011. 69 f. : il. (algumas color.).</p> <p>Tese (doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)--Universidade Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2011. Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Gomes.</p> <p>1. Peixes Neotropicais - Migração - Canal da Piracema - Paraná, Rio, Bacia. 2. Sistema de transposição de peixes - Multiuso. 3. Sistema de identificação por radiofrequência (RFID). 4. Marcação eletrônica de peixes (Passive integrated transponder) (PIT-tag). 5. Sistema de transposição de peixes seminatural. I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais.</p> <p>CDD 22. ed. -597.156809816 NBR/CIP - 12899 AACR/2</p>
-------	---

# FOLHA DE APROVAÇÃO

HÉLIO MARTINS FONTES JÚNIOR

Avaliação do caráter multiuso do Canal da Piracema para a transposição de peixes neotropicais no rio Paraná, Brasil

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

## COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Luiz Carlos Gomes  
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof. Dr. Sérgio Makrakis  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE

Dr. João Henrique Pinheiro Dias  
Companhia Energética de São Paulo – CESP

Dr. Domingo Rodriguez Fernandez  
Itaipu Binacional

Prof. Dr. Ângelo Antônio Agostinho  
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá

Aprovada em: 26 de agosto de 2011.

Local de defesa: Anfiteatro Prof. “Keshiyu Nakatani”, Nupélia, Bloco G-90, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

Dedico este trabalho a meus pais (*in memoriam*),  
a minha família e a todos os que contribuíram  
para sua realização.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as graças concedidas e amparo nos momentos de maior necessidade.

Agradeço também, especialmente:

Aos meus pais (*in memoriam*), pelas oportunidades que me proporcionaram na vida;

Aos meus filhos, aos quais não pude assistir como gostaria em momentos importantes de suas vidas;

A minha companheira Priscila, pelo estímulo, compreensão e colaboração;

Aos professores que contribuíram para minha formação, em particular ao meu orientador Prof. Dr. Luiz Carlos Gomes e ao Prof. Dr. Sérgio Makrakis, pelo apoio e colaboração;

Ao Dr. Theodore Castro-Santos, pesquisador da *United States Geological Service – USGS*, pela expressiva colaboração e apoio em fases cruciais do projeto;

A Itaipu Binacional, pelas oportunidades de realização e aperfeiçoamento profissional;

A toda a equipe da Itaipu Binacional, empregados terceirizados, assim como ao pessoal do Nupelia – Universidade Estadual de Maringá, que contribuíram nas fases de coleta de dados, compartilhando labuta e alegrias.

Por fim, agradeço também a todos que, embora não mencionados, contribuíram direta ou indiretamente (mesmo sem saber) para a realização deste trabalho.

O conhecimento é o bem mais precioso da humanidade,  
quando usado com sabedoria e ética.

Hélio Martins Fontes Júnior

# Avaliação do caráter multiuso do Canal da Piracema para a transposição de peixes neotropicais no rio Paraná, Brasil

## RESUMO

O Canal da Piracema é o maior sistema de transposição de peixes do mundo e o único em sua modalidade na América do Sul. Foi construído para atender a duas finalidades básicas: favorecer o fluxo gênico da ictiofauna na bacia do rio Paraná e propiciar a prática de atividades desportivas (especialmente canoagem e *rafting*) em determinados componentes do sistema. Os estudos até então realizados no sistema haviam avaliado a riqueza de espécies e a eficiência de ascensão para espécies migratórias, empregando diferentes metodologias. Este trabalho teve por objetivo avaliar o uso múltiplo do sistema, analisando a possível influência da canoagem na movimentação dos peixes e os fatores que possam estar restringindo a eficiência de ascensão das espécies migratórias. A influência da atividade desportiva foi analisada por meio de amostragens dos peixes no componente utilizado para este fim (Canal de águas bravas – CAAB), comparando-se as amostras obtidas em dias sem e com canoagem, com base num modelo proposto para representar os cenários possíveis. As diferenças observadas na abundância relativa de peixes no CAAB evidenciaram efeito dissuasor da canoagem, entre outros. A ascensão de espécies migratórias foi avaliada com o uso de tecnologia de identificação por rádio frequência – RFID (*Radio frequency identification*) e marcas eletrônicas passivas do tipo PIT-tag. Diferenças significativas foram observadas para o tempo de ascensão entre indivíduos marcados a jusante do componente denominado Canal de deságüe – CABV (considerado o gargalo do sistema) e os marcados a montante dessa estrutura, evidenciando que o tempo de permanência no sistema é elevado, podendo comprometer a estratégia reprodutiva. Também, foram observadas características dos padrões nictemerais de atividade para algumas espécies de Characiformes no sistema.

**Palavras-chave:** Migração. Transposição de peixes. Canoagem. Peixes neotropicais. Piracema. PIT-tag.

## Evaluation of the multipurpose function of the Canal da Piracema to Neotropical fish passage in the Paraná River, Brazil

### ***ABSTRACT***

The Canal da Piracema is the longest fish passage in the world and the solely of its kind in South America. It was constructed aiming to favor the gene flow of the Paraná River ichthyofauna and to promote outdoors activities, such as canoeing and rafting, in some components of the Canal. The studies already conducted in the Canal evaluated species richness and the ascent efficiency of migratory species using distinct methodologies (surveys and radiotelemetry). The purpose of this study was to evaluate the possible multiple uses of the Canal. Specifically, it was evaluated the effect of canoeing on fish movements and the factors that may restrict the ascent efficiency of migratory species. The influence of canoeing was studied based on samplings of fish conducted in the sector of the Canal named Canal de Águas Bravas (CAAB), comparing samples gathered in days with and without canoeing. Models for every possible influence scenario were proposed and adjusted to identify the best fit. Differences observed in the relative abundances of fish in CAAB showed the possible dissuasive effect of canoeing. The ascent of migratory fish was evaluated using the technology of radio frequency identification (RFID) and passive electronic tags (PIT). Significant differences were obtained in the time (in days) of ascent for individuals tagged and released downstream the sector Canal de Deságue do rio Bela Vista (CABV; considered the bottleneck of the Canal) from those tagged and released upstream this sector. The results indicated that the time of permanence in the Canal is high, which may compromise reproductive strategies. In addition, fish movements of tagged fish (mainly Characiformes) occurred during the day. Thus, PIT tag contributed to obtain more detailed information on the effect of CABV in the movements of fish in the Canal.

**Keywords:** Migrations. Fish passage. Canoeing. Neotropical fish. PIT-tag.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
2	USOS MÚLTIPLOS PARA O CANAL DA PIRACEMA: É POSSÍVEL CONCILIAR MIGRAÇÃO DE PEIXES COM CANOAGEM? .....	14
2.1	Introdução .....	15
2.2	Material e Métodos .....	18
2.2.1	Área de estudo .....	18
2.2.2	Coleta de dados .....	20
2.2.3	Análise dos dados .....	23
2.3	Resultados .....	26
2.3.1	Caracterização abiótica .....	26
2.3.2	Levantamento da ictiofauna e similaridade entre os experimentos .....	27
2.3.3	Efeito da Canoagem .....	30
2.4	Discussão .....	33
3	ESTUDO DA MIGRAÇÃO ASCENDENTE DE ESPÉCIES NEOTROPICAIS NO SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES DA ITAIPU BINACIONAL (CANAL DA PIRACEMA), BACIA DO RIO PARANÁ .....	44
3.1	Introdução .....	45
3.2	Material e métodos .....	47
3.2.1	Área de estudo .....	47
3.2.2	O sistema RFID .....	49
3.2.3	Coleta de dados .....	51
3.2.4	Análise dos dados .....	53
3.3	Resultados .....	54
3.4	Discussão .....	58
4	CONCLUSÃO .....	68

Tese elaborada e formatada conforme as normas da publicação científica River Research and Applications Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/%28ISSN%291535-1467/homepage/ForAuthors.html>

## 1 INTRODUÇÃO

Sistemas de transposição de peixes são bastante comuns no hemisfério norte, onde existem milhares dessas estruturas concebidas para viabilizar o ciclo de vida de espécies com amplo *home range*. Também são relativamente abundantes os estudos sobre a funcionalidade das chamadas passagens para peixes, bem como sobre a biologia das espécies que as utilizam.

Estima-se que em todo o mundo existem mais de 13.000 passagens para peixes (Martins, 2000). No Brasil, são conhecidos cerca de 40 mecanismos construídos para possibilitar a transposição de peixes por barragens (Martins, 2004), havendo ainda muitas dúvidas quanto à funcionalidade dos mesmos (Agostinho *et al.*, 2002 e 2007). A diversidade biológica consideravelmente maior na região neotropical, também dificulta o conhecimento mais amplo do comportamento das espécies, particularmente daquelas consideradas migratórias de longa distância.

Em 1996, o Governo do Estado do Paraná – Brasil lançou o Programa Costa Oeste, cuja diretriz previa a integração das atividades econômicas ao meio ambiente e às vocações locais, prevendo-se o desencadeamento de ações e parcerias entre diversas partes, como governos do Brasil, do Paraguai, do Paraná e dos municípios envolvidos, a Itaipu Binacional e a iniciativa privada (Paraná, 1997). A Costa Oeste teve como marco conceitual a estruturação de sua região de abrangência. Neste contexto foi concebido o projeto do Canal da Piracema, originalmente designado “Parque da Barragem”, o qual previa, além do propósito principal da transposição de peixes, a criação de um grande parque científico, permitindo o desenvolvimento de atividades culturais, esportivas e recreativas (Fiorini *et al.*, 2006). Assim, o Canal da Piracema, na sua concepção, possui basicamente duas finalidades: i) Estabelecer uma via de acesso entre a ictiofauna de jusante e de montante da barragem de Itaipu, criando condições para a migração de peixes e propiciando um fluxo gênico ao longo da bacia do rio Paraná; ii) Proporcionar a prática desportiva em determinados segmentos, com ênfase nas modalidades de canoagem, mediante condicionantes ambientais.

O projeto teve como diferencial o aproveitamento do rio Bela Vista, um pequeno afluente que deságua na margem esquerda do rio Paraná, à aproximadamente 4.000 m abaixo da Usina. Tal como o rio Paraná, o Bela Vista também teve seu leito seccionado pela barragem de Itaipu, ficando com sua bacia de captação reduzida à área utilizada para

implantação do canteiro de obras do Projeto Itaipu, cujas obras de conclusão da barragem e formação do reservatório ocorreram em 1982. Vinte anos depois, com a construção do Canal da Piracema, esse rio foi conectado ao reservatório de Itaipu por um sistema de canais, escadas e lagos, alimentado pela captação de água da represa. O percurso todo tem 10.300 m de extensão, para vencer o desnível de 120 m, entre o reservatório de Itaipu e o rio Paraná a jusante da Barragem.

O Canal da Piracema é um sistema ímpar na região neotropical, seja por suas características construtivas, seja por sua grande extensão. Inaugurado em 21 de dezembro de 2002, esse sistema de transposição de peixes já foi objeto de duas teses de doutoramento (Hahn, 2007; Makrakis, 2007), mas nem por isso o sistema pode ser considerado bem conhecido quanto aos vários aspectos de sua funcionalidade.

Este trabalho teve por objetivos: i) avaliar a possível relação entre a presença de peixes e a prática de canoagem, permitida fora dos períodos de defeso instituídos para proteger as espécies de piracema na bacia do rio Paraná; ii) elucidar aspectos ainda duvidosos a respeito da utilização e funcionalidade de alguns componentes do Canal da Piracema para as principais espécies migratórias de longa distância.

Agostinho AA, Gomes LC, Fernandez DR, Suzuki HI. 2002. Efficiency of fish ladders for neotropical ichthyofauna. *River Research and Applications* **18**: 299–306.

Agostinho AA, Gomes LC, Pelicice FM. 2007. **Ecologia e Manejo de Recursos Pesqueiros em Reservatórios do Brasil**. Maringá: EDUEM; 501p.

Fiorini A S, Fernandez D R, Fontes Jr HM. 2006. Itaipu Dam Piracema Migration Channel. *Vingt Deuxième Congrès Des Grands Barrages*, p.325-348, Barcelona.

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.

Makrakis S. 2007. **O Canal da Piracema como Sistema de Transposição**. Dissertação (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

- Martins SL. 2000. **Sistemas para a Transposição de Peixes**. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Mestre em Engenharia. Português. 170p. São Paulo, Brasil. Disponível em: [www.saber.usp.br](http://www.saber.usp.br)
- Martins SL. 2004. **Transposição de Peixes Neotropicais em Barragens**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Anhembi Morumbi no âmbito do Curso de Engenharia Civil com ênfase Ambiental. Disponível em: <http://cursos.anhembi.br/tcc-04/civil-36.pdf>, acesso em 26/07/2011.
- Paraná, Governo do Estado do. 1997. **Diagnóstico Ambiental do uso e Ocupação do Parque da Barragem**. Relatório Técnico.

## **2 USOS MÚLTIPLOS PARA O CANAL DA PIRACEMA: É POSSÍVEL CONCILIAR MIGRAÇÃO DE PEIXES COM CANOAGEM?**

### **RESUMO**

O Canal da Piracema começou a operar em dezembro de 2002 para possibilitar a transposição de peixes pela barragem da usina hidrelétrica de Itaipu e desde junho de 2006, um dos componentes do sistema, o Canal de Águas Bravas, passou a ser utilizado para práticas desportivas, principalmente canoagem slalon. De acordo com o Princípio da Precaução, o uso desportivo é permitido apenas fora do período de migração reprodutiva dos peixes. Neste estudo foi avaliado o possível efeito da canoagem nos movimentos dos peixes, por meio de experimentos em condições controladas e análise de tendência com base num modelo teórico, considerando todos os efeitos ou cenários possíveis. As amostras foram obtidas pela contagem total dos peixes presentes no Canal de Águas Bravas, antes e após a prática de canoagem, durante quatro experimentos conduzidos em diferentes meses, nos períodos reprodutivos 2009-2010 e 2010-2011. A ictiofauna presente nos componentes amostrados foi descrita e a similaridade entre os experimentos foi avaliada por meio de análise de correspondência, utilizada para ordenar a variabilidade da composição e abundância das espécies. Para aplicação do modelo, foi definida uma equação, que utilizou como variável resposta a proporção de abundância da ictiofauna entre as amostras nos diversos experimentos. Para análise de ajuste ao modelo foi empregada a ferramenta linha de tendência do MS-Excel e os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Os resultados indicaram efeito combinado da canoagem e do procedimento amostral (manipulação do canal para a realização dos experimentos), sugerindo que possa haver conflito temporal entre a canoagem e os movimentos dos peixes migratórios, os quais podem buscar rotas alternativas (Canal de Iniciação) quando o Canal de Águas Bravas está sendo utilizado para a prática desportiva.

## 2.1 Introdução

O Canal da Piracema teve suas obras concluídas para possibilitar a migração de peixes em dezembro de 2002 e, desde 2004 sua eficácia tem sido avaliada, por meio de levantamentos com amostragem de pesca experimental e por radiotelemetria. Os levantamentos realizados permitiram a identificação de 130 espécies de peixes presentes no sistema, caracterizadas por diversas estratégias reprodutivas (Hahn *et al.*, 2007; Makrakis *et al.*, 2007 e 2011). Porém, os resultados evidenciaram redução da quantidade de indivíduos, no sentido de jusante para montante, o que parece indicar que o sistema esteja sendo seletivo para as espécies migratórias (Hahn, 2007; Makrakis *et al.*, 2007 e 2011). A partir de maio de 2006 o sistema passou a ser utilizado também para fins desportivos, de forma que sua funcionalidade como sistema multiuso não foi avaliada pelos referidos estudos.

Considerando, então, o uso do Canal da Piracema para esportes náuticos, especificamente o componente denominado Canal de Águas Bravas, o qual representa um importante elo do sistema, deve-se avaliar se essa ação antropogênica não iria corroborar, ainda mais, para um sistema que já é seletivo, principalmente para as espécies migratórias de alto valor na pesca artesanal e esportiva. Por esta razão, de acordo com o Princípio da Precaução, não se permite, até agora, o uso desportivo do Canal durante o período de piracema, quando ocorre concentração nas movimentações de peixes.

Os avanços tecnológicos da engenharia têm permitido o desenvolvimento de diversos tipos de sistemas de transposição (Clay, 1995) e, recentemente, estruturas com varias funções (multiuso) têm sido construídas, para servir a atividades recreativas (canoagem) e movimentação de peixes (sistemas de transposição). No entanto, a maioria das informações a respeito desses mecanismos se encontra em relatórios técnicos e não estão publicadas, sendo acessíveis por sistemas de busca na internet. Os projetos, na maioria das vezes, dão ênfase às características hidráulicas relacionadas à atividade recreativa (Goodman & Parr, 1994), enquanto que as necessidades para a movimentação dos peixes são secundárias ou não consideradas. Esta tendência pode influenciar nos usos múltiplos de uma determinada estrutura. Um dos poucos exemplos encontrados desse tipo de estrutura multiuso é a pista de canoagem e o sistema de transposição do Padiham, no rio Calder (<http://www.bhrgroup.co.uk/cases/water09.htm>; 05/05/2011), desenvolvido pela *The British Hydromechanics Research Association* (BHRA). No rio Tees, Nordeste da Inglaterra, também há uma estrutura multiuso, que incorpora uma eclusa de navegação, uma passagem para

peixes, um lago de aquecimento e área para camping, trazendo também um acréscimo à rede local de corredores de fauna ([http://www.gardenvisit.com/book/landscape\\_planning\\_and\\_environmental\\_impact\\_design: from eia to eid/chapter 9 river engineering channelization and floods/river control structures](http://www.gardenvisit.com/book/landscape_planning_and_environmental_impact_design:_from_eia_to_eid/chapter_9_river_engineering_channelization_and_floods/river_control_structures), 04/05/2011). Um projeto desenvolvido para a barragem North Branch, rio Chicago, Estados Unidos, incorpora uma calha para canoas associada a uma passagem de peixes não anádromos em um canal de baixa inclinação (Abad *et al.*, 2009).

As publicações mais comumente encontradas a respeito de estruturas multiuso com passagem para peixes são aquelas relacionadas à conectividade da fauna aquática em bueiros rodoviários e outras estruturas de navegação interior (Kapitzke, 2005; 2010). Também, são consideradas multiuso, as passagens para peixes do tipo *nature like*, que funcionam como habitat de criação e de inverno para algumas espécies, além de restabelecer a conectividade longitudinal para as espécies alvo (Calles, 2005). Segundo Larinier (2002), certos tipos de passagens para peixes com defletores podem ser utilizados como declives para canoas na medida em que sua largura o permita (1,4 m no mínimo).

Muitos estudos dos efeitos de atividades recreativas sobre a vida selvagem são focados em locais específicos ou em determinadas espécies como cetáceos, focas e aves, bem como em algumas espécies de peixes. No entanto, em muitos casos, tem sido difícil identificar o impacto de uma única atividade, como a náutica de recreio, dentre as muitas outras atividades e fatores que podem afetar um local ou uma espécie (<http://www.thegreenblue.org.uk>, 04/05/2011).

Muitos desses estudos relatam conseqüências ecológicas e ambientais potencialmente negativas associadas com elevadas taxas de participação das embarcações de recreio motorizadas (Mosisch e Arthington, 1998; Asplund, 2000 *apud* Graham e Cooke, 2008). No entanto, mesmo as embarcações não motorizadas (veleiros, canoas, caiaques, entre outras) também podem causar distúrbios no ambiente (ver revisão em York, 1994). A revisão de Dahlgreen & Korschgen (1992) cita 211 artigos relacionados aos efeitos dessas interações sobre habitats de aves aquáticas.

Os efeitos da navegação sobre a ictiofauna de água doce também são descritos na literatura (ver revisões de Liddle & Scorgie, 1980 e Wolter & Arlingus, 2003). Os efeitos podem ser diretos (mortalidades resultantes das forças físicas geradas por um barco em movimento) e indiretos, que não permitem aos peixes cuidarem da prole ou de se

alimentarem, deslocamento de ovos e larvas para habitats menos adequados, aumento da turbidez pela ressuspensão de sedimentos e o aumento da predação decorrente da perda de ambientes de abrigo, entre outros. No entanto, estudos relacionados aos efeitos da canoagem com remos são escassos ou não estão publicados e, aqueles em sistemas de transposição, são raros ou inexistentes. Os estudos encontrados referem-se ao uso de diversos equipamentos utilizados em recreação (com motor e a remo) a diversas velocidades, como o realizado por Mueller (1980), que desenvolveu um sistema de filmagem subaquática para avaliar o efeito de embarcações sobre o comportamento de *Lepomis megalotus*, uma espécie de peixe com cuidado parental. Os resultados demonstram que as embarcações que passaram com menor velocidade (motor de popa e remo) foram as mais impactantes, ocasionando afastamento dos machos dos ninhos. Isto aumentou a predação de ovos e a turbidez, devido ao movimento dos remos próximos aos ninhos.

A carência de publicações sobre os efeitos da canoagem nos estoques de peixes levou a Agência Ambiental do Reino Unido a realizar um estudo utilizando o método Delphi aplicado a problemas da pesca (Zuboy, 1980). O estudo concluiu que a canoagem, no geral, não é prejudicial para as populações de peixes como um todo ou aos salmonídeos (R&D Technical Report W266, 2000).

Um estudo realizado no açude Chester Weir (rio Dee, Inglaterra), utilizado para atividades recreativas de canoagem e banho, registrou os movimentos de salmão por meio de radiotelemetria e de vídeo-monitoramento contínuo. Concluiu-se que, no geral, o impacto da canoagem foi de magnitude insignificante para diferenciá-la da variabilidade de comportamentos registrados através da interação de uma série de fatores extrínsecos do ambiente físico e operacional. Nenhuma relação causal foi encontrada para apoiar a visão de que o atraso da entrada no rio aumentou em uma população de salmão com radiotransmissores, quando expostos a canoagem ou atividade balneária (National Rivers Authority, 1994, *apud* R&D Technical Report W266).

Graham e Cooke (2008) avaliaram o nível de perturbações cardiovasculares no organismo de uma espécie de perca, *Micropterus salmonoides*, em resposta a diferentes tipos de atividades com embarcação de recreio. Em termos de magnitude de perturbação, a frequência cardíaca aumentou 29% no tratamento com canoa a remo, 44% com motor elétrico e 67% com motor a combustão. O tempo de recuperação da frequência cardíaca também foi menor (~15 min) após exposição ao tratamento com canoa a remo em comparação aos barcos

com motor elétrico (~25 min) e motor a combustão (~40 min). Os autores ponderam que as perturbações causadas por canoa e motor elétrico são similares a distúrbios ecologicamente relevantes, tais como atividade de natação e tentativas de predação. No entanto, a frequência na qual esses eventos ocorrem na natureza, em relação à frequência das perturbações por barcos, é desconhecida.

Percebe-se que há controvérsias entre os estudos dos efeitos de atividades recreativas consideradas de baixo impacto ao ambiente aquático, tais como as modalidades *slalon* e *rafting*, as quais são normalmente praticadas no Canal da Piracema. Dos estudos mencionados, nenhum foi conduzido na região Neotropical, o que dificulta ainda mais a identificação de possíveis interferências do uso de sistemas de transposição para atividades náuticas nessa região. Esse trabalho teve por objetivo avaliar tendências da possível influência da canoagem na abundância das espécies de peixes que utilizam o Canal de Águas Bravas como sistema de transposição, empregando uma abordagem experimental. Especificamente, pretende-se responder as seguintes questões: i) as assembleias de peixes presentes no Canal de Águas Bravas variam entre os experimentos conduzidos (diferentes espécies na escala temporal)? e ii) a prática desportiva (canoagem) afeta a movimentação de peixes no Canal de Águas Bravas?

## 2.2 Material e Métodos

### 2.2.1 Área de estudo

O Canal da Piracema está localizado na usina hidrelétrica de Itaipu, pertencente em condomínio ao Brasil e Paraguai. O sistema está implantado na margem esquerda do rio Paraná, no município de Foz do Iguaçu – PR, Brasil, e suas características construtivas se encontram bem descritas em Fiorini *et al.* (2006) e Makrakis *et al.* (2007; 2011). O sistema possui, no total, 10,3 km de extensão para vencer o desnível médio de 120 m da barragem de Itaipu (Fig. 1).

O sistema pode ser considerado um canal de passagem secundário (*bypass channel*), ou canal lateral, tipo seminatural (*nature like*). O Canal da Piracema de Itaipu é o único conhecido nessa modalidade de meio de transposição na América do Sul (Agostinho *et al.*, 2007) e considerado o maior do mundo (Makrakis *et al.*, 2007).

Fora da época de Piracema (de março a outubro), mediante condicionantes definidas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA e obedecendo a um cronograma previamente estabelecido, o Canal da Piracema pode proporcionar competições esportivas locais, regionais, nacionais e internacionais, ao mesmo tempo em que cumpre sua função principal de proporcionar uma via para a migração de peixes no rio Paraná.

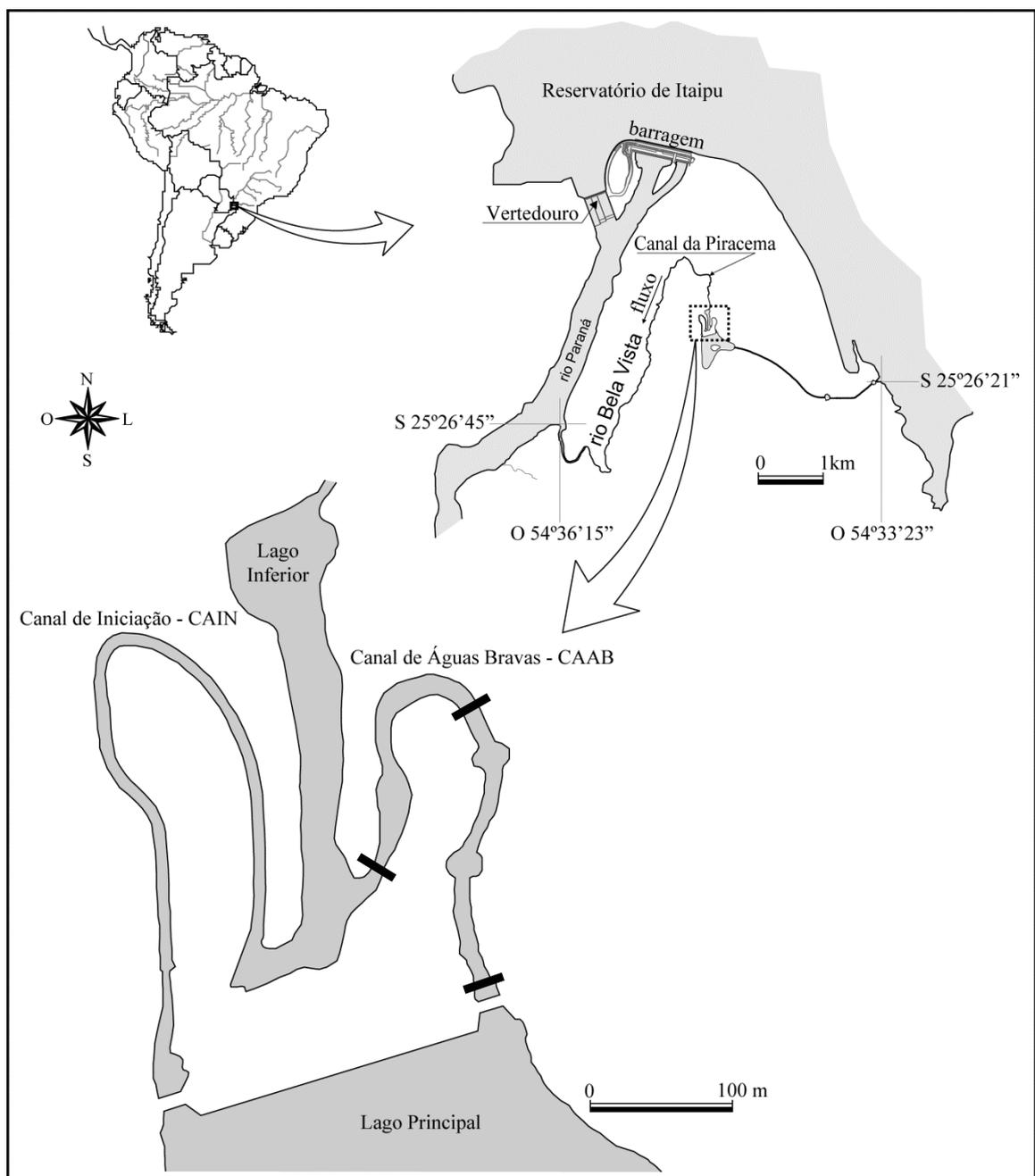


Figura 1. O Canal da Piracema (acima à direita) e detalhe da área multiuso com a localização das estruturas de contenção (barras pretas) empregadas para amostragem no Canal de Águas Bravas.

Para atender a sua finalidade desportiva foram construídos dois canais artificiais chamados Canal de Águas Bravas – CAAB e Canal de Iniciação – CAIN. Posteriormente, o projeto foi alterado, com modificações no Canal de Iniciação, o qual passou a ser destinado exclusivamente à migração de peixes. Esses canais partem cada um de uma extremidade da barragem que forma o Lago Principal (maior área de descanso para os peixes no sistema) na elevação 177,20 m.s.n.m. (metros sobre o nível do mar) e ambos desembocam no Lago Inferior, na elevação 170,00 m.s.n.m., perfazendo um desnível de 7,20 m. Esse conjunto de componentes representa a porção do sistema considerada de uso intensivo, onde se concentram as atividades recreativas (Fig. 1).

O Canal de Águas Bravas, também denominado Canal Itaipu, é utilizado para treinamento e competições nas diversas modalidades de canoagem e *rafting*. Possui 470 m de extensão, com declividade média de 1,53 % e largura variável de 8,0 a 20,0 m. A profundidade varia entre 0,8 e 1,5 m quando operado com vazões de 8 a 11 m<sup>3</sup>/s, normalmente praticadas para fins desportivos. Para criar o regime turbulento característico das águas bravas foram colocados, ao longo desse canal, obstáculos estruturados com pedras naturais, proporcionando trechos de maior ou menor velocidade como nas corredeiras de um rio. O Canal de Iniciação, com 521 m de extensão e declividade média de 1,5%, é basicamente uma escada de peixes, possui dimensões homogêneas e obstáculos padronizados moldados em concreto armado.

### 2.2.2 Coleta de dados

A metodologia utilizada para amostragem foi baseada na realização de experimentos envolvendo a captura, identificação visual e contagem dos peixes contidos no CAAB, submetido a diferentes condições de uso (com e sem atividade desportiva). Para a captura dos peixes foram montadas três estruturas de contenção, localizadas no início, no meio e no fim do CAAB (Fig. 1). Cada uma dessas estruturas era constituída por uma armação de ferro, que sustentava uma superfície de tela de arame galvanizado revestida com PVC malha 25 mm. Essas estruturas permaneciam deitadas sobre o fundo do Canal de Águas Bravas e durante as amostragens eram içadas, funcionando como um anteparo capaz de fechar toda a seção do canal nos sentidos horizontal e vertical, de maneira que todos os peixes que não conseguiram passar pela malha de 25 mm, contidos no CAAB, não poderiam mais entrar ou sair do canal

(Fig. 2). Em seguida, a comporta que regula a entrada de água no CAAB era fechada por completo, reduzindo a vazão e permitindo a coleta dos peixes que ficavam retidos na superfície de tela das estruturas de contenção (Fig. 2).



**Figura 2. Estrutura de contenção içada (esquerda) e peixes retidos (direita) quando interrompido o fluxo de água no Canal de Águas Bravas.**

Em cada amostragem, antes da interrupção do fluxo de água nos canais, foram medidas as variáveis abióticas com maior potencial para influir no movimento de espécies migratórias, segundo Vazzoler (1996). As variáveis consideradas foram: vazões no CAAB e CAIN, temperatura da água, turbidez e oxigênio dissolvido (Apêndice 1). As vazões foram registradas por sondas SonTek Argonaut-SW (Shallow Water), instaladas em ambos os canais avaliados. Os demais dados abióticos foram medidos com uma sonda multiparâmetro Horiba série U-50 (modelo U-53), equipada com sensores para as referidas variáveis, entre outras.

Cada evento amostral ou Experimento (Exp.) foi realizado ao longo de sete dias consecutivos, alternando dias sem atividade desportiva e dias com a prática de canoagem. Em intervalos de 24 h, o fluxo do Canal era interrompido, e todos os peixes retidos eram identificados, contados, e soltos no Lago Inferior (final do CAAB). Foram conduzidos quatro experimentos durante o ano de 2010, em dois diferentes períodos reprodutivos para espécies migratórias do rio Paraná (segundo Vazzoler, 1996). Os Experimentos 1 (Exp1) e 2 (Exp2) foram realizados, respectivamente, em janeiro e fevereiro, com amostragens sempre às 17 horas, ao passo que os Experimentos 3 (Exp3) e 4 (Exp4) foram efetuados em outubro e novembro-dezembro, respectivamente, porém durante a noite, às 19h30min (Tabela 1).

Cada experimento incluía um impacto inicial no sistema (amostra 1), no primeiro dia de amostragem, com o fechamento das estruturas de contenção e em seguida, da comporta que regula a vazão de água no CAAB. Ao mesmo tempo, para manter aproximadamente constante a vazão no sistema a jusante, o volume de água no Canal de Iniciação – CAIN era incrementado com a abertura extra de suas comportas.

**Tabela 1. Data e turno dos experimentos realizados no Canal de Águas Bravas (CAAB) para avaliar o efeito da canoagem sobre a ictiofauna.**

<b>Experimento</b>	<b>Data</b>	<b>Turno</b>	<b>Período reprodutivo</b>
Exp1	25 a 31/01/ 2010	Diurno (17h)	2009-2010
Exp2	06 a 12/02/ 2010	Diurno (17h)	2009-2010
Exp3	06 a 12/10/2010	Noturno (19h30min)	2010-2011
Exp4	29/11 a 03/12/2010	Noturno (19h30min)	2010-2011

Após o completo escoamento da água no CAAB foi feita a coleta, identificação e contagem dos peixes retidos nas estruturas de contenção. O mesmo procedimento foi realizado nos seis dias subseqüentes, sempre a intervalos de 24 horas, sendo a segunda amostra com canoagem, a terceira sem canoagem e assim sucessivamente, totalizando três réplicas por experimento, exceto no Exp4, com apenas duas réplicas. Assim, os Experimentos 1, 2 e 3 tiveram, cada um, sete dias de duração, e o Experimento 4 cinco dias. O primeiro dia corresponde sempre à amostra inicial, sem atividade desportiva. Nos demais, os dias pares representam amostras com canoagem e os dias ímpares amostras sem atividade desportiva. Nas amostras com canoagem, a atividade desportiva padrão foi realizada por 12 atletas no período das 08 às 12h e das 14 às 17h. Embora pequeno em relação às condições reais de eventos desportivos, esse foi o esforço possível, que se mostrou suficiente para efeito experimental.

Em Exp3 e Exp4 também foi amostrado o Canal de Iniciação (CAIN), que não é utilizado para práticas desportivas, de maneira que esse canal serviu como testemunho para validar o procedimento amostral, embora também possa sofrer influência das atividades e eventos amostrais no CAAB. Ambos os canais, portanto, foram submetidos ao mesmo impacto nesses dois experimentos. As amostragens no CAIN, que opera com aproximadamente 25% de vazão do CAAB, foram feitas instalando-se uma rede na

extremidade inferior desse canal e fechando-se a alimentação até o completo escoamento da água. Procedia-se então, a identificação e contagem dos peixes, tal como no CAAB.

### 2.2.3 *Análise dos dados*

#### *Caracterização abiótica*

As variáveis abióticas medidas são apresentadas graficamente, com a finalidade de caracterização ambiental do Canal nos diversos experimentos. Isso se faz necessário porque os dados foram coletados em diferentes meses ao longo de um ano, que compreendeu dois períodos reprodutivos.

#### *Levantamento da ictiofauna e similaridade entre os experimentos*

É feita uma descrição geral das coletas, dando ênfase a abundância e a riqueza de espécies. Para avaliar a similaridade da ictiofauna entre os experimentos, os dados de abundância (numero de indivíduos) foram anotados em planilha eletrônica e sumarizados numa matriz para análise multivariada utilizando o software PC-ORD versão 5.0 (McCunne & Mefford, 1995). A análise de correspondência (AC; Gauch Jr., 1984) foi utilizada para ordenar as amostras e, amostras próximas no diagrama que representa a ordenação apresentam composição e abundância similares de espécies. Para a aplicação da AC, os dados de abundância foram transformados em raiz quadrada, dando menor peso para as espécies raras. Os escores dos dois primeiros eixos (que geralmente representam a maior parte da variabilidade) foram retidos para interpretação e utilizados em análises posteriores, controlando o experimento. Dessa maneira, foi possível avaliar se os experimentos conduzidos nos diferentes meses apresentaram ictiofauna diferenciadas.

#### *Efeito da Canoagem*

Para determinar a melhor forma de análise de dados, foi feito, a priori, um modelo teórico não preditivo com todas as tendências ou possibilidades de respostas para os peixes. Para estabelecer esse modelo, primeiramente foi determinada a variável resposta (Y), que seria utilizada para avaliar o efeito das atividades de canoagem. Para o cálculo dessa variável, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$Y = \left( \frac{N_i}{N_1} \right) - 1$$

### Equação 1

Onde:  $N_i$  = abundância na amostra  $i$  (1, 2, ...,  $i$ );  $N_1$  = abundância na amostra inicial.

Dessa maneira, valores negativos implicam em diminuição da abundância (efeito negativo) e valores positivos implicam em atração ou chegada de cardumes (efeito positivo). Uma vez determinada a variável, foram identificadas as possíveis respostas (cenários), que são apresentadas na Figura 3. Os cenários considerados são: Cenário 1) Sem efeito de canoagem ou da manipulação do Canal; Cenário 2) Com efeito apenas da canoagem; Cenário 3) Com efeito apenas da manipulação do canal; Cenário 4) Com efeito tanto da canoagem quanto da manipulação do canal. Efeitos positivos na ictiofauna (atração e chegadas de cardumes) não foram considerados nessa figura.

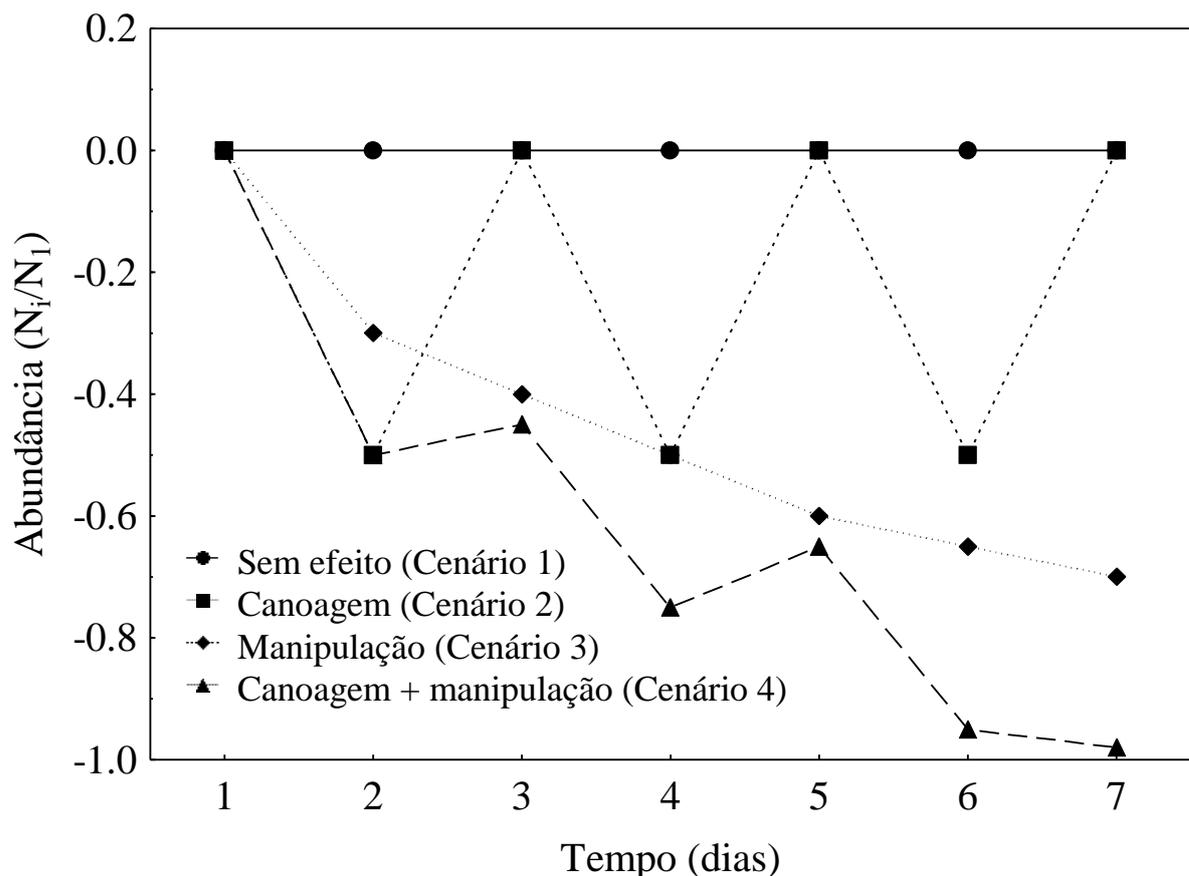


Figura 3. Modelo que representa o comportamento da variável resposta em relação a cada um dos efeitos possíveis ao longo do tempo. Obs: qualquer valor acima de zero indica que a espécie pode ter sido atraída pela manipulação do Canal de Águas Bravas. Além disso, pode ser indicação de que um cardume está em movimentação na região (ambas as possibilidades de efeito positivo não são apresentadas).

Para determinar qual cenário representa melhor a variável resposta em cada experimento, foram selecionados modelos que explicam cada um deles, como segue:

Cenário 1: Pelo modelo teórico, na ausência de qualquer efeito, o resultado esperado seria a variação da abundância em torno de um valor próximo de zero (abundâncias sempre similares à primeira amostra), de acordo com a equação:

$$Y = 0$$

**Equação 2**

Onde  $Y$  é a abundância relativa para a amostra em relação à primeira (ver Equação 1), e o 0 (zero) corresponderia ao intercepto de um modelo linear, com inclinação também 0.

Cenário 2: No caso de efeito apenas da canoagem a variação esperada para a série temporal teria a característica de uma resposta senoidal, com representação gráfica na forma de onda dentada. Ou seja, valores abaixo de zero nos dias com atividade desportiva e igual a zero nos dias sem canoagem (todos os peixes potencialmente poderiam retornar ao CAAB), que pode ser definida pela expressão:

$$Y = A \sin(kx - \omega t - \psi) + D$$

**Equação 3**

Onde  $A$  é a amplitude,  $k$  é o número de onda,  $\omega$  é a frequência angular,  $\psi$  é a mudança de fase (que em nosso modelo tende a zero) e  $D$  é o *offset* vertical.

Cenário 3: No caso de efeito apenas da manipulação do Canal, o comportamento esperado seria expresso por uma linha de tendência logarítmica, com queda acentuada na abundância após o impacto causado pela manipulação do canal na primeira amostra, com tendência contínua de queda nas demais amostras ao longo dos experimentos (decorrente da perturbação causada no sistema pelo procedimento amostral), de acordo com a equação:

$$Y = \alpha \ln X + \beta$$

**Equação 4**

Onde  $\alpha$  e  $\beta$  são o intercepto e a inclinação (respectivamente) e  $\ln$  é a função do logaritmo natural.

Cenário 4: Por fim, o efeito combinado da canoagem com a manipulação do Canal deveria produzir variação do tipo polinomial, com picos nas amostras ímpares (sem atividade desportiva) e vales nas amostras pares (com efeito da canoagem), mas com tendência de

decréscimo. Ou seja, com a canoagem os peixes abandonam o CAAB e retornam ao mesmo assim que essa atividade não ocorre (mas em menor número), de acordo com a expressão (no caso um polinômio de terceira ordem):

$$Y = \alpha + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3$$

**Equação 5**

Onde  $\alpha$  e  $\beta_i$  são constantes.

Para apresentação dos resultados (CAAB e CAIN, sendo este último como possibilidade de rota alternativa), optou-se por representar graficamente as abundâncias de todas as espécies, do total de migratórias, do total de não migratórias, e das espécies mais abundantes, para verificar os tipos de respostas, em relação ao modelo teórico (Fig. 3). Seguindo os objetivos propostos, para ajuste dos modelos, foram consideradas apenas a abundância total de indivíduos e o total de migradores. Os modelos foram ajustados utilizando o software Excel, empregando-se a ferramenta linha de tendência, que também fornece os valores do Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ), para verificar o melhor ajuste ao modelo proposto.

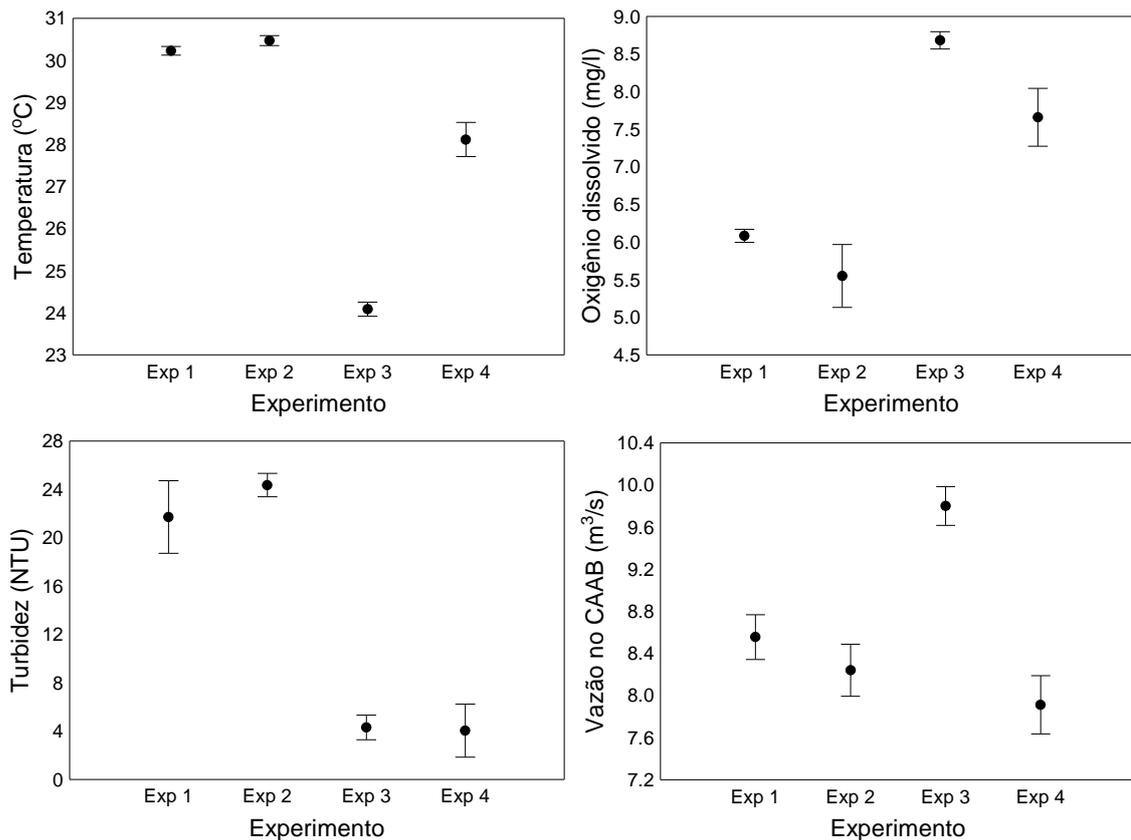
## 2.3 Resultados

### 2.3.1 Caracterização abiótica

Os dados abióticos apresentaram diferenças mais acentuadas dos experimentos 1 e 2 em relação aos experimentos 3 e 4 (Fig. 4), refletindo as variações entre os diferentes meses do ano em que foram coletadas as amostras (verão em Exp1 e Exp2 e outono em Exp3 e Exp4). As concentrações de oxigênio dissolvido apresentaram o comportamento esperado, inversamente proporcional às temperaturas, porém mantiveram-se acima de 5,0 mg/l em todos os experimentos, com máxima de 9,3 mg/l em Exp3. Os maiores valores de turbidez observados nos dois primeiros experimentos podem ter contribuído para a maior abundância de peixes em ambos esses eventos, pois devido à pequena profundidade do CAAB (em torno de 0,8 m em condições normais de operação), águas turvas tendem a favorecer os deslocamentos dos peixes fazendo com que os mesmos se sintam mais protegidos de ameaças externas, incluindo-se nisso o efeito visual da movimentação dos caiaques no CAAB, além de

ser estímulo para movimentos reprodutivos (Vazzoler, 1996; Rodriguez & Lewis, 1997; Agostinho *et al.*, 2003) das espécies migratórias, se ocorrer em escala regional.

As vazões mantiveram-se dentro dos padrões estabelecidos para operação do sistema (Fig. 4), variando, no CAAB, de 7,27 (Exp2, amostra 7) a 10,5 m<sup>3</sup>/s (Exp3, amostra 1) e no CAIN, de 1,69 (Exp4, amostra 2) a 3,10 m<sup>3</sup>/s (Exp1, amostra 1). Os dados abióticos encontram-se sumarizados no Apêndice 1.



**Figura 4.** Médias ( $\pm$  desvio padrão) das variáveis abióticas medidas durante os experimentos conduzidos no Canal de Águas Bravas, localizado no Canal da Piracema, nas imediações da barragem de Itaipu.

### 2.3.2 Levantamento da ictiofauna e similaridade entre os experimentos

Nos experimentos conduzidos no CAAB (quatro) e no CAIN (dois), foram feitas 38 amostras, com captura de 2037 indivíduos pertencentes a 18 espécies. Os maiores valores de riqueza de espécies e abundância foram observados em Exp1, com 14 das 18 espécies amostradas e 1.184 indivíduos coletados. O segundo experimento com maior número de indivíduos foi Exp2, com 370 exemplares de oito espécies. Em Exp3 e Exp4 o número de indivíduos amostrados foi, respectivamente, 181 (8 espécies) e 302 (10 espécies) (Fig. 5A e

5B), totalizando 483 indivíduos em ambos os experimentos. Deste total, 219 foram encontrados no CAAB (11 espécies) e 264 no CAIN (10 espécies).

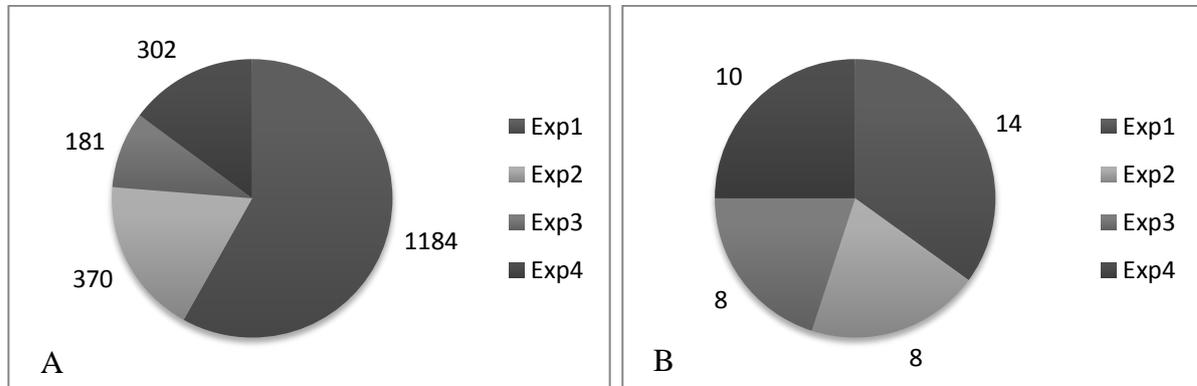


Figura 5. Número de indivíduos (A) e número de espécies (B) por experimento.

No total dos quatro experimentos, a espécie mais freqüente foi *Leporellus vittatus* ( $n = 1.251$ ), representando 61,4% da abundância, seguida por *Leporinus friderici* ( $n = 348$ ) com 17,1%, *Hypostomus ssp.* ( $n = 120$ ) com 5,9% e *Prochilodus lineatus* ( $n = 114$ ) com 5,6%. Juntas, estas quatro espécies representaram 90% do total (Tabela 2).

**Tabela 2. Espécies mais abundantes no total dos experimentos e suas estratégias reprodutivas: MIG = migratória de longas distâncias; SSC = sedentária ou migratória de curtas distâncias com fecundação externa sem cuidado parental; SCC = sedentária ou migratória de curtas distâncias com fecundação externa e cuidado parental; SFIE = sedentária ou migratória de curtas distâncias com fecundação interna e desenvolvimento externo (Suzuki *et al.*, 2004).**

Espécie	Estratégia reprodutiva	Abundância total	
		Absoluta	Relativa
<i>Leporellus vittatus</i>	SSC	1251	61,4%
<i>Leporinus friderici</i> *	SSC*	348	17,1%
<i>Hypostomus ssp.</i>	SCC	120	5,9%
<i>Prochilodus lineatus</i>	MIG	114	5,6%
<i>Salminus brasiliensis</i>	MIG	76	3,7%
<i>Leporinus octofasciatus</i>	SSC	31	1,5%
<i>Leporinus elongatus</i>	MIG	30	1,5%
<i>Potamotrygon motoro</i>	SFIE	19	0,9%
<i>Pimelodus maculatus</i>	MIG	13	0,6%
Outras	variada	35	1,7%

\*Espécie considerada migratória por Agostinho *et al.* (2007) e também neste estudo (ver comentário ao longo do texto).

Nos experimentos de outono (Exp3 e Exp4), realizados durante a noite, verificou-se a ocorrência de 12 espécies. Porém, nestes eventos não foi possível contar os indivíduos de *Hypostomus spp.*, devido a sua grande abundância (evitar morte dos mesmos), particularmente no CAIN, razão pela qual não foram considerados na análise dos dados.

Assim, os 483 indivíduos amostrados em Exp3 e Exp4 representam 11 espécies, das quais a mais abundante foi *Leporinus friderici* (n = 298) com 62% do total, encontrado com frequência quase duas vezes maior no CAIN (64,8%) em relação ao CAAB (35,2%). Quatro espécies (*Pimelodus maculatus*, *Schizodon borellii*, *Salminus hilarii* e *Megalancistrus parananus*) foram encontradas apenas nesses experimentos e destas, *Schizodon borellii* foi capturada apenas no CAAB, com sete indivíduos presentes em Exp4, amostra 5.

Na ordenação, resultante da aplicação da análise de correspondência (AC), ficou evidente a separação entre as amostras obtidas em Exp1 e Exp2 em relação aos outros dois experimentos (Fig. 6). Essa diferença possivelmente esteja relacionada aos distintos períodos ou meses do ano em que foram realizados os experimentos, mas também pode refletir variações na assembléia de peixes que utiliza o sistema em diferentes turnos (dia e noite). A variabilidade entre as amostras foi maior em Exp3 e Exp4 (CAAB e CAIN; outono, noite), porém a abundância e riqueza de espécies foram maiores em Exp1 e Exp2 (CAAB; verão, dia).

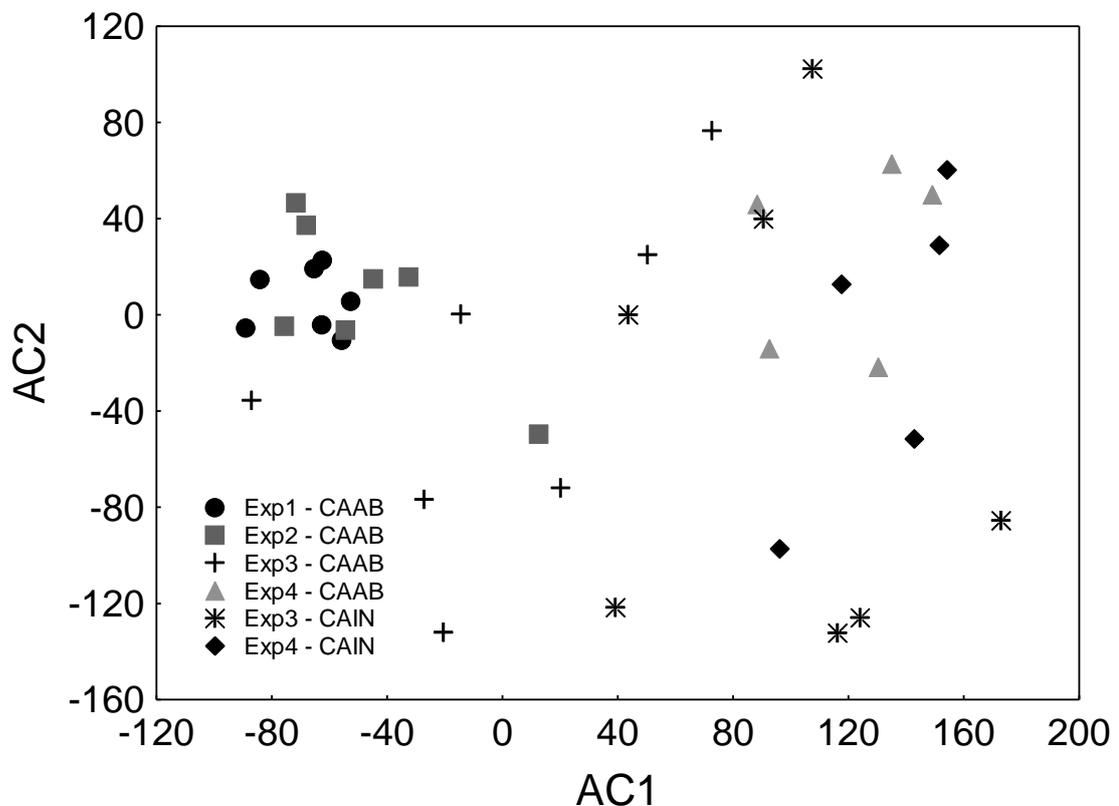


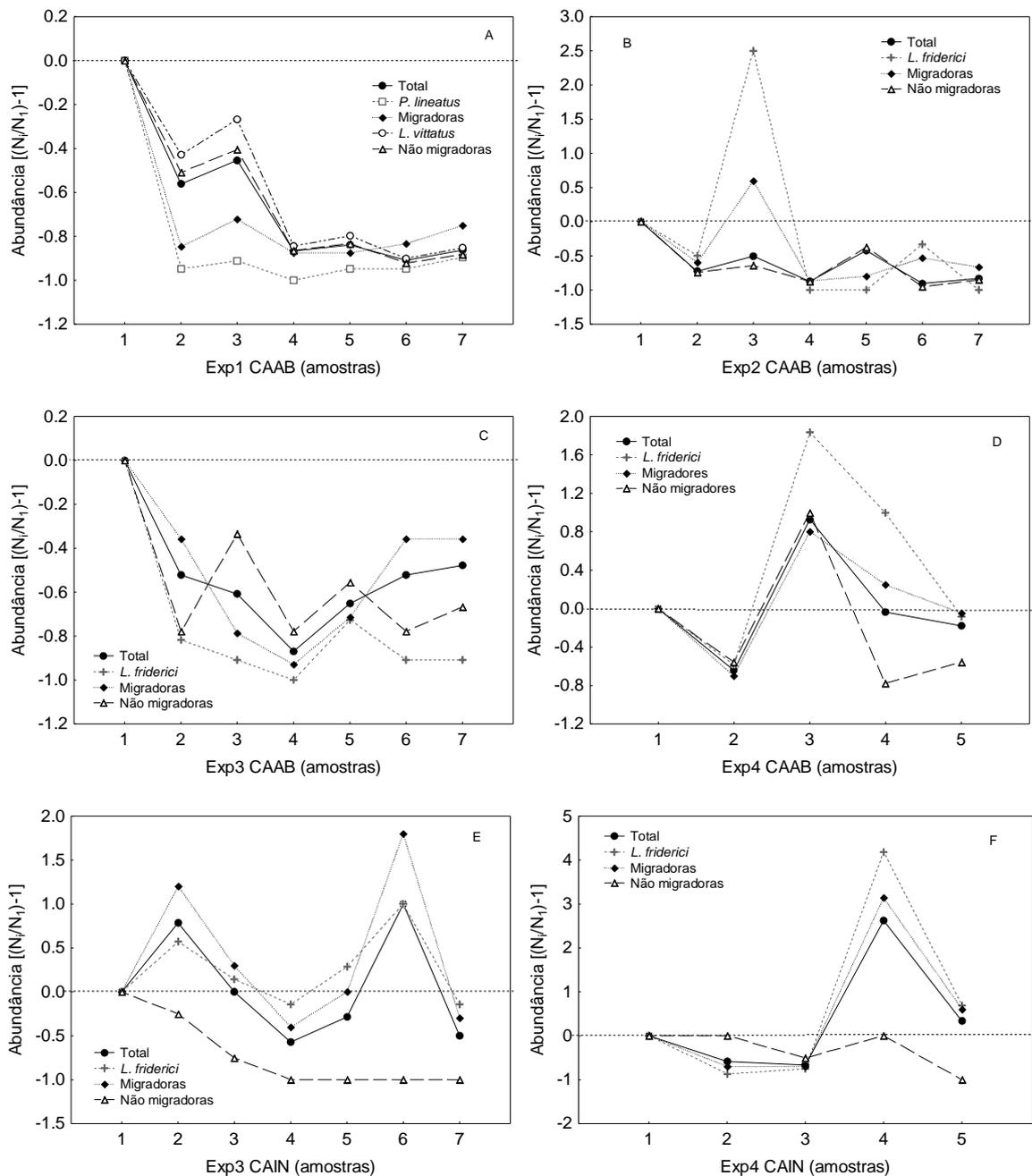
Figura 6. Ordenação das amostras dos diversos experimentos, resultante da aplicação da análise de correspondência (AC; AC1: eixo 1; AC2: eixo 2).

Algumas espécies ocorreram de forma rara no sistema, tais como *Apareiodon affinis*, *Brycon hilarii* e *Satanoperca pappaterra*, todas com um único indivíduo encontrado, bem como *Megalancistrus parananus*, *Geophagus cf. proximus* e *Piaractus mesopotamicus*, com dois, três e quatro indivíduos, respectivamente. Com exceção de *Megalancistrus parananus*, observada em Exp4 (noite), as demais espécies raras estiveram presentes apenas em Exp1. Esses dados se encontram sumarizados no Apêndice 2. Além das cinco espécies raras presentes em Exp1, *Brycon orbignyianus* também foi encontrado apenas durante o dia, totalizando 10 indivíduos amostrados em Exp1 e Exp2.

### 2.3.3 Efeito da Canoagem

Em todos os experimentos foram observadas flutuações consideráveis na abundância entre as amostras. Após o impacto supostamente causado pela amostra inicial, a amostra seguinte, no CAAB, foi invariavelmente caracterizada pela redução no número de indivíduos (Fig. 7). A partir da terceira amostra, observou-se um padrão geral de variação com tendência de recuperação da abundância nos dias sem atividade desportiva (amostras ímpares) e pequena queda nos dias com canoagem (amostras pares). Esse padrão foi mais evidente para as espécies não migratórias, representadas principalmente por *Leporelus vittatus*. As espécies que melhor representaram o grupo das migratórias foram *Prochilodus lineatus* em Exp1 e *Leporinus friderici* nos demais experimentos (Fig. 7). Essa última, embora não possa ser caracterizada como migratória de longa distância, possui comportamento reofílico e é encontrada ao longo de todo o sistema. Além disso, 10% dos indivíduos de *Leporinus friderici* marcados com PIT-tag no Lago Inferior ascenderam à extremidade superior do sistema (Fontes Jr, em prep.). Por essas razões, essa espécie é considerada migratória neste estudo.

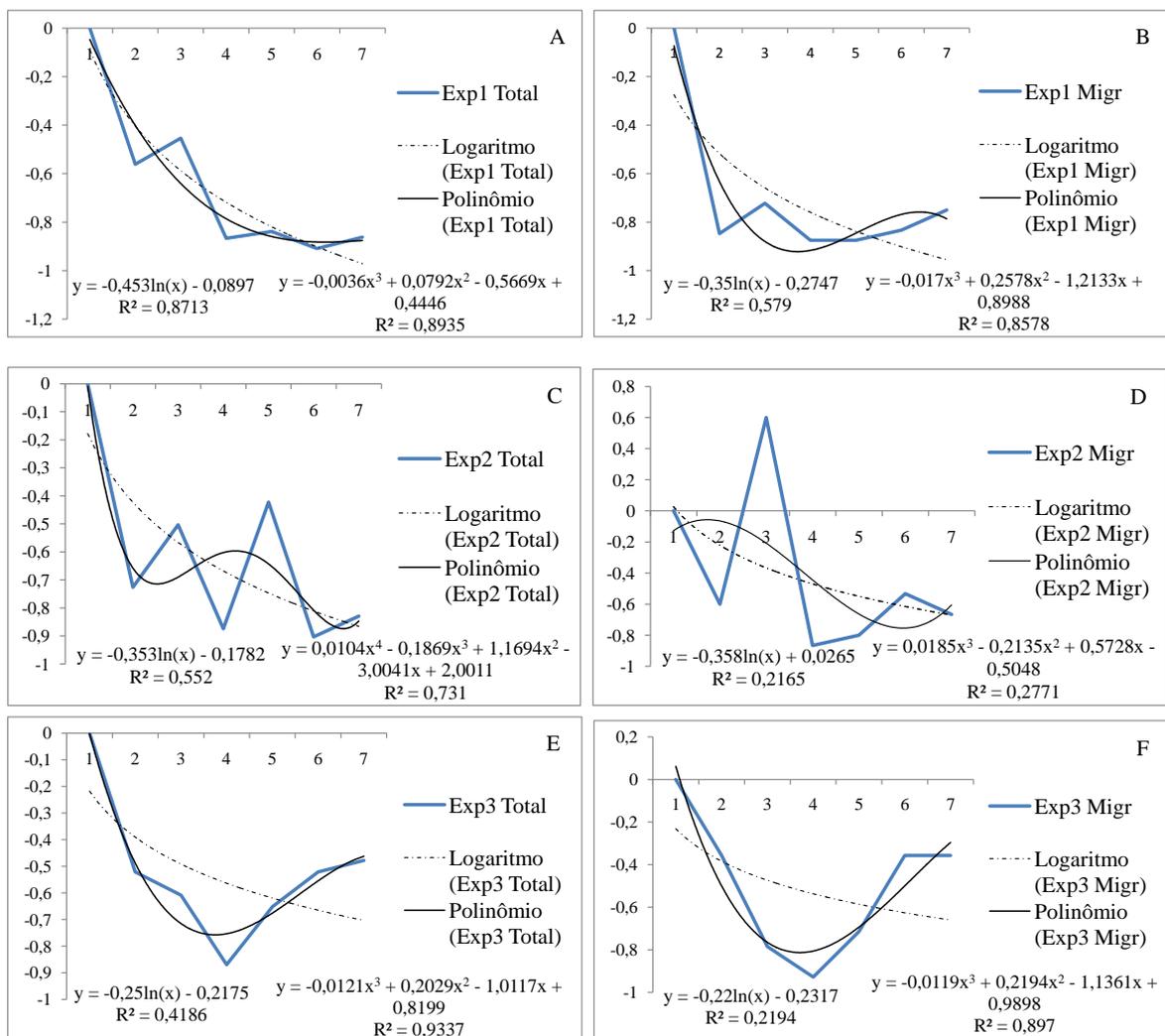
Para as análises de ajuste ao modelo, realizadas no Excel, foram consideradas apenas as linhas de tendência logaritmo e polinômio (Equações 4 e 5), pois as outras duas possibilidades (Equações 2 e 3) podem ser descartadas pela simples visualização gráfica dos dados (ver Fig. 7). Assim, foi analisada a possibilidade de efeito isolado da manipulação do canal (equação logarítmica), ou de efeito combinado da manipulação do canal + canoagem (equação polinomial), considerando a abundância total e das espécies migratórias nos três primeiros experimentos (Fig. 8). Os valores de  $R^2$  obtidos são apresentados na Tabela 3.



**Figura 7.** Variações na proporção da abundância  $[(N_i/N_1)-1]$  ao longo dos experimentos, considerando o número total de indivíduos amostrados (total), frequência de migradores (migradores) e não migradores (não migradores), bem como das espécies mais abundante em cada experimento (as amostras ímpares correspondem aos dias sem atividade desportiva e as amostras pares aos dias com canoagem).

Apenas a proporção da abundância total em Exp1 apresentou valor elevado de  $R^2$  (0,87) com o modelo logarítmico, muito próximo do obtido com o modelo polinomial (0,89), mas com resíduos negativos quando da canoagem e positivos na ausência desta. Porém, para as espécies migratórias, nesse mesmo experimento, o ajuste ao modelo polinomial ( $R^2 = 0,90$ ) foi bem melhor em comparação com o logarítmico ( $R^2 = 0,60$ ). Nas demais análises

realizadas, os baixos valores do coeficiente de determinação para a equação logarítmica, sugerem que é pequena a porcentagem de explicação das variações apenas pelo efeito da manipulação do canal. Os polinômios de grau 3 e 4, utilizados para analisar as curvas de abundância total e de espécies migratórias, em cada um dos experimentos, apresentam sempre melhor ajuste (maior  $R^2$ ), representando melhor a relação entre as duas variáveis, que corresponde a efeito da manipulação do CAAB e Canoagem (Fig. 8).



**Figura 8. Representação dos ajustes dos modelos (logaritmo e polinomial) para os dados agrupados (todas as espécies – A, C, E; e para as migratórias – B, D, F), nos diversos experimentos que apresentaram respostas negativas a manipulação do CAAB (o melhor ajuste foi aquele com maior valor do  $R^2$ ). Exp1 (A e B), Exp2 (C e D) e Exp3 (E e F).**

Os baixos valores de  $R^2$  obtidos para as espécies migratórias em Exp2, com ambas as equações, são devidos à forte variação positiva apresentada na amostra 3, sugerindo que houve atração ou que um cardume estava passando pelo CAAB durante a amostragem. Por

essa mesma razão não foram feitas as análises para Exp4 do CAAB e para os Exp3 e Exp4 do CAIN, que apresentaram esse efeito de maneira ainda mais acentuada (Fig. 8D, 8E, 8F). Particularmente, no CAIN, esse efeito pode estar associado ao uso desportivo do CAAB.

**Tabela 3. Valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para o ajuste dos modelos logaritmo e polinomial aos dados da proporção da abundância  $[(N_i/N_1)-1]$  para os três experimentos conduzidos no CAAB. Considerando os cenários apresentados, estes apresentaram influência da manipulação do canal e da canoagem.**

Modelos	Exp1		Exp2		Exp3	
	Total	Migratórias	Total	Migratórias	Total	Migratórias
Logaritmo	0,87	0,58	0,55	0,22	0,42	0,22
Polinômio	0,90	0,90	0,73	0,28	0,93	0,90

## 2.4 Discussão

Fatores hidráulicos como velocidade da água e regimes de fluxo, que devem ser compatíveis com a capacidade natatória das espécies consideradas, bem como variáveis ambientais (nível de oxigênio dissolvido, temperatura, ruído, cheiro, entre outros) podem influenciar o comportamento dos peixes (Larinier, 2002). As variáveis abióticas medidas caracterizaram diferenças acentuadas dos experimentos 1 e 2 em relação aos experimentos 3 e 4, refletindo as variações entre os diferentes meses do ano em que foram coletadas as amostras. Diferenças evidentes entre esses períodos também se manifestaram na composição da assembléia de peixes, conforme observado na riqueza de espécies, bem como na abundância e na ordenação das amostras. No entanto, essas diferenças parecem não ter influenciado o padrão geral de variação na proporção de abundância, ao longo dos diversos experimentos conduzidos no CAAB (ver Fig. 7).

As condições de maior turbidez e temperatura, em Exp1 e Exp2, são compatíveis com a maior abundância observada nesses experimentos e também foram registrados em estudos anteriores (Makrakis *et al.*, 2007; Fernandez *et al.*, 2007). Outra variável muito importante para determinar a subida de peixes no Canal da Piracema e, também no CAAB, é a vazão, que no caso está relacionada com a velocidade da água. Makrakis *et al.* (2011) mostraram que aumento nessas variáveis pode levar a diminuição na probabilidade de ascensão de espécies

migratórias. Nos experimentos conduzidos, as vazões foram controladas, na medida do possível, para evitar grandes variações entre as amostras. No entanto, essa variável sofre influência das flutuações de nível do reservatório de Itaipu e das precipitações pluviométricas ocasionalmente fortes na área da bacia de captação do rio Bela Vista e trecho do sistema a montante, com potencial para elevar significativamente as vazões no Canal da Piracema. Porém, desde que mantidas num intervalo de variação entre 7,0 e 10,0 m<sup>3</sup>/s no CAAB, e garantindo-se a condição geral de operação do sistema, os pulsos de vazão podem não exercer efeito expressivo capaz de influenciar os movimentos dos peixes em relação à presença ou ausência de canoagem.

Os dados demonstraram claramente o melhor ajuste das variações na proporção da abundância ao modelo polinomial, indicando efeitos combinados da canoagem e da manipulação do CAAB. Assim, apesar do potencial impacto produzido pelo procedimento amostral, foi possível evidenciar efeito do uso desportivo sobre a movimentação dos peixes. Essa influência parece ter sido maior sobre as espécies não migratórias, cujas curvas de abundância apresentaram picos e vales mais acentuados, mas as espécies migratórias também foram afetadas de forma similar. O caráter de ambiente temporário para as migratórias sugere que o tempo despendido por essas espécies no CAAB é pequeno, em relação às não migratórias, que sofreriam maior influência de fatores adversos.

Para as espécies migratórias, no CAAB, foi observada em todos os experimentos uma queda acentuada da proporção na segunda amostra, quando comparada com a primeira (conforme Equação 1), com tendência de recuperação na amostra 3 e nova queda na amostra 4 (Fig. 7). Nas amostras subsequentes (5, 6 e 7) o padrão geral observado sugere tendência de recuperação ou estabilização em relação à amostra anterior. Em Exp3 e Exp4 observou-se maior proporção de espécies migratórias no CAIN, em relação à captura inicial, principalmente nas amostras tomadas em dias com canoagem (Exp3, amostras pares; Exp4, amostra 4) (Fig. 7E e 7F). Este fato também é verificado quando se observa que, nos dias sem canoagem, a proporção aumentou no CAAB (Exp3, amostras 1 e 7; Exp4, amostra 3), porém a abundância efetiva foi muito baixa (ver Apêndice 2). Isso poderia ser um indício de que as espécies migratórias possam usar o CAIN como rota alternativa (efeito de atração), mas essa interpretação deve ser considerada com ressalva, devido ao número muito baixo de indivíduos capturados (abundância) nos poucos experimentos (apenas duas réplicas não permite tal afirmação) conduzidos nesse trecho. Além disso, esses resultados foram altamente

influenciados por uma única espécie migratória (*Leporinus friderici*), que é muito abundante no Canal.

A sensível redução na abundância e diversidade de espécies migratórias no CAAB, observada nas amostras 2 e 4, ambas em dias com canoagem, com tendência de pequeno aumento na proporção dessas espécies nas amostras subseqüentes (5, 6 e 7), sugere que pode ter havido uma resposta adaptativa de acomodação à nova condição de operação do sistema, em função do impacto causado pela metodologia de amostragem. Porém, também pode estar refletindo efeito da prática de canoagem, num primeiro momento, com posterior tendência de adaptação à presença dessa atividade antropogênica (lembrando que no período em que foram realizados os experimentos o uso desportivo estava proibido e foi introduzido apenas nos dias determinados para amostragem). O efeito mais provável, no entanto, conforme tendência demonstrada com a aplicação do modelo, pode ser atribuído à combinação de ambos os fatores (manipulação do canal e canoagem), ressalvando-se que as abundâncias nas amostras 5, 6 e 7 foram, no geral, baixas.

Entre os fatores introduzidos no ambiente pela prática de canoagem podemos considerar fundamentalmente a presença de objetos estranhos (caiaques e remos), capazes de produzir alterações visuais e sonoras no meio aquático. Além da cena visual, geralmente limitada a distâncias relativamente curtas, a cena auditiva pode se estender muito além fornecendo aos animais uma ampla “visão” de seu mundo, de tal forma que o som no meio aquático é de fundamental importância para a percepção do ambiente ao redor. Muitos organismos produzem sons para se comunicar à distância com o parceiro, prole e outros co-específicos, ou para encontrar presas e identificar outros objetos de interesse usando a ecolocalização (Popper e Hastings, 2009). Segundo esses autores, qualquer coisa que interfira na detecção de som tem potencial para impactar significativamente processos vitais não apenas do indivíduo, mas também a reprodução e a sobrevivência da espécie. Entre os vários efeitos dos sons, alterações comportamentais também podem ocorrer, resultando na saída de animais das áreas de alimentação ou reprodução.

Os dois componentes do Canal da Piracema avaliados neste estudo (CAAB e CAIN) representam trechos relativamente curtos e ambientes pouco estruturados, aparentemente utilizados apenas como corredor de passagem pelas espécies migratórias em trânsito pelo sistema. Exceto pela abundância de *Leporellus vittatus*, a baixa frequência de outras espécies sedentárias nas amostras corrobora essa evidência, mas também sugere que as não migratórias

podem ser mais vulneráveis aos efeitos antropogênicos em ambientes pouco estruturados. Então, os efeitos mais prováveis da canoagem sobre a assembléia de peixes no CAAB podem ser decorrentes da visualização da embarcação pelos peixes (efeito indireto), especialmente quando a turbidez for baixa, e das ações dos remos, que são movimentados intensamente durante a canoagem (efeito direto; mecânico e sonoro) (para mais detalhes ver revisões de Liddle & Scorgie, 1980 e Wolter & Arlingus, 2003). Embarcações que passam com menor velocidade (como barco a remo) foram mais impactantes para *Lepomis megalotus*, por afastar os machos dos ninhos (Mueller, 1980).

A aparente preferência de algumas espécies por um ou outro canal, conforme sugerem os dados observados em Exp3 e Exp4 (ver Apêndice 2) e também a ordenação (Fig. 6), que caracterizou variações entre as amostras obtidas no CAIN e no CAAB, possivelmente está relacionada às suas capacidades natatórias. O CAIN possui regime menos turbulento e opera com aproximadamente 25% da vazão do CAAB, o que contribuiria para atrair espécies com maior dificuldade para vencer águas rápidas, tais como *Pimelodus maculatus* e *Leporinus friderici*, visivelmente mais abundantes no CAIN, assim como *Hypostomus* spp. (não contada, porém abundante no CAIN). Nota-se também, que as referidas espécies são de pequeno porte e têm hábito migratório noturno, evidência reforçada pela ausência ou reduzida frequência das mesmas nas amostras obtidas durante o dia. Isso sugere que as condições hidráulicas do CAIN, com baixa vazão e pouco profundo, se mostram adequadas para essas espécies (ver Makrakis *et al.*, 2011 para detalhes da importância da velocidade sobre a probabilidade de ascensão de peixes no Canal da Piracema), principalmente durante a noite, quando a menor visibilidade pode proporcionar maior sensação de segurança aos peixes em baixas profundidades. Exemplares de grande porte de *Prochilodus lineatus*, que possui padrão de movimentação predominantemente diurno (Godoy, 1972; 1975; Pessoa & Schulz, 2010), também foram capturados no CAIN durante a noite.

Algumas espécies migratórias demonstraram aparente preferência pelo CAAB, a exemplo de *Leporinus elongatus*, *Schizodon borelli* e *Salminus hilarii*, enquanto *Salminus brasiliensis* ocorreu indistintamente em ambos os canais. No entanto, esta última, bem como *Prochilodus lineatus*, tipicamente migratórias e com maior ocorrência no CAAB nas amostras coletadas durante o dia, parecem também utilizar o CAIN nos dias com atividades desportivas no CAAB. A presença marcante de *Leporelus vittatus* em Exp1 e Exp2, apesar de não

migratória, sugere hábito predominantemente diurno e corrobora sua preferência por biótopos de rios e canais (Gaspar da Luz, *et al.*, 2002).

Nas represas Cromwell e Beeston, no Reino Unido, onde uma pista de canoagem slalon é utilizada como passagem para peixes do tipo Denil, a eficiência da passagem é questionável. O principal problema observado foi que o fluxo natural direciona peixes para o lado oposto ao da entrada no canal, e fluxos artificialmente altos e baixos para alimentar o slalon, quando ele está em operação (durante o dia) e no modo de espera (durante a noite), impõem barreira à migração ascendente (Cowx, 1998). No Canal da Piracema, no entanto, não há restrição quanto ao uso de água, exceto em períodos de deplecionamento do reservatório de Itaipu, que naturalmente reduz a alimentação do sistema. É possível também que a operação contínua, tanto do CAAB quanto do CAIN (ambos com vazões que se demonstraram adequadas para atrair peixes), proporcione condições para que as espécies migratórias utilizem o CAIN, como alternativa ao CAAB nos dias com atividade desportiva. Para isso, o CAIN deve passar por adequações, tornando-o semelhante ao CAAB, para garantir que a mesma quantidade de peixes suba quando o CAAB estiver em operação. Porém, o papel do CAIN na movimentação de peixes deve ser avaliado com mais detalhes.

Finalmente, ficou demonstrado que a canoagem e a manipulação do CAAB para a realização dos experimentos tiveram efeito negativo sobre a movimentação dos peixes (melhor ajuste do modelo polinomial, cenário 4). Então, as necessidades dos peixes parecem ser influenciadas pelas atividades dos canoístas. A acomodação de canoagem em canais onde os peixes se movimentam pode comprometer a passagem dos mesmos, ou pode haver conflito temporal entre a passagem de canoas e horários de maior movimentação dos peixes. Isso demonstra que canoagem e passagem para peixes migratórios não devam sobrepor-se, especialmente durante o período de maior movimentação das espécies de peixes.

## **Referências**

Abad JD, Waratuke A, Barnas C, Garcia MH. 2009. Hydraulic Model Study of Canoe Chute and Fish Passage for the Chicago River North Branch Dam. World Environmental & Water Resources Congress, ASCE, Kansas City, May 17-21, 2009.

- Agostinho AA, Gomes LC & Suzuki HI. 2003. Migratory fishes of upper Paraná River basin, Brazil. In: J. Carolsfed, B. Harvey, A. Baer & C. Ross (eds.). **Migratory fishes of South America: Biology Social Importance and Conservation Status**. 1ed. Victoria, p. 19-99.
- Agostinho AA, Gomes LC, Pelicice FM. 2007. **Ecologia e Manejo de Recursos Pesqueiros em Reservatórios do Brasil**. Maringá: EDUEM; 501p.
- Asplund TR. 2000. The effects of motorized watercrafts on aquatic ecosystems. Wisconsin Department of Natural Resources, Madison, WI. PUBL-SS-948-00. In: Graham AL & Cooke SJ. 2008. The effects of noise disturbance from various recreational boating activities common to inland waters on the cardiac physiology of a freshwater fish, the largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* **18**: 1315-1324.
- Calles O. 2005. **Re-establishment of connectivity for fish populations in regulated rivers**. Dissertation. Karlstad University Studies 2005:56 ISSN 1403-8099, ISBN 91-7063-028-3. Disponível em <[http://www.vattenkraftmiljo.nu/Dokument/Greenberg\\_2.pdf](http://www.vattenkraftmiljo.nu/Dokument/Greenberg_2.pdf)>, 26/07/2011.
- Clay CH. 1995. **Design of fishways and other fish facilities**. Second Edition. Lewis Publishers. Boca Raton.
- Cowx IG. 1998. Fish Passage Facilities in the UK: Issues and Options for Future Development. In: Jungwirth, M., Schmutz, S. & Weiss, S. **Fish Migration and Fish Bypasses**. The University Press, Cambridge.
- Dahlgren RB & Korschgen CE. 1992. **Human disturbances of waterfowl: An annotated bibliography**. U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Resource Publication 188. Washington, D.C.
- Environment Agency Fish Pass Manual: Guidance Notes On The Legislation, Selection and Approval Of Fish Passes In England And Wales. 2010. Disponível em: <<http://publications.environment-agency.gov.uk/PDF/GEHO0910BTBP-E-E.pdf>>, 26/07/2011.
- Fernandez DR, Agostinho AA, Bini LM, Gomes LC. 2007. Environmental factors related to entry and ascent of fish in the experimental ladder located close to the Itaipu Dam. *Neotropical Ichthyology* **5**(2): 153-160

- Fiorini A S, Fernandez D R, Fontes Jr HM. 2006. Itaipu Dam Piracema Migration Channel. *Vingt Deuxième Congrès Des Grands Barrages*, p.325-348, Barcelona.
- Gaspar da Luz KD, Oliveira EF, Petry AC, Julio Jr HF, Pavanelli CS, Gomes, LC. Composição ictiofaunística da planície de inundação do rio Paraná. In: A Planície de Inundação do Alto rio Paraná site 6. PELD/CNPq. Relatório Anual 2002.
- Gauch Jr HG. 1986. **Multivariate analysis in community ecology**. Cambridge, Cambridge University press (Cambridge studies in ecology, 1), 298 p.
- Godoy MP. 1975. Peixes da sub-ordem Characoidei – Bacia do rio Mogi-Guaçu. Piracicaba, Franciscana.
- Goodman FR & Parr GB. 1994. The design of artificial white water canoeing courses. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer* **103**(4): 191-202.
- Graham AL & Cooke SJ. 2008. The effects of noise disturbance from various recreational boating activities common to inland waters on the cardiac physiology of a freshwater fish, the largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* **18**: 1315-1324.
- Hahn L, English K, Carosfeld J, Silva LGM, Latini JD, Agostinho AA, Fernandez DR. 2007. Preliminary study on the application of radiotelemetry techniques to evaluate movements of fish in the lateral canal at Itaipu Dam, Brazil. *Neotropical Ichthyology* **5**: 103–108.
- Kapitzke R. 2005. Multipurpose design for remediation of fish passage barriers on University Creek Road crossings, Townsville North Queensland. ISBN 0-646-45002-6. *Proceedings of the Environmental Engineering and Sustainability National Conference* In: Environmental Engineering and Sustainability National Conference, 17-19 July 2005, Sydney, NSW, Australia.
- Kapitzke R. 2010. **Culvert Fishway Planning and Design Guidelines**. James Cook University. School of Engineering and Physical Sciences. 358p. Australia.
- Larinier M. 2002. 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.
- Liddle MJ & Scorgie HRA. 1980. The effects of recreation on freshwater plants and animals: a review. *Biological Conservation* **17**: 183-206.

- Makrakis S, Gomes LC, Makrakis MC, Fernandez DR, Pavanelli CS. 2007. The Canal da Piracema at Itaipu Dam as a fish pass system. *Neotropical Ichthyology* **5**(2): 185-195.
- Makrakis S, Miranda LS, Gomes LC, Makrakis MC, Fontes HM. 2011. Ascent of neotropical migratory fish in the Itaipu Reservoir fish pass. *Rivers Research and Applications* (Print), **27**: 511-519.
- McCune B, Mefford MJ. 1995. **PC\_ORD: multivariate analysis of ecological data**. Version 3.0. Oregon: mjm software design.
- Mosisch TD, Arthington AH. 1998. The impacts of power boating and water skiing on lakes and reservoirs. *Lakes and Reservoirs: Research and Management* **3**: 1–17.
- Mueller G. 1980. Effects of recreational river traffic on nest defense by longear sunfish. *Transactions of the American Fisheries Society* **109**: 248-251.
- Pessoa NA & Schulz UH. 2010. Diel and seasonal movements of grumatã *Prochilodus lineatus* (Valenciennes 1836) (Characiformes: Prochilodontidae) in the Sinus River, Southern Brazil. *Braz. J. Biol.* **70** (4) (suppl.): 1169-1177
- Popper AN & Hastings MC. 2009. The effects of human-generated sound on fish. *Integrative Zoology* **4**: 43-52. doi: 10.1111/j.1749-4877.2008.00134.x
- R&D Technical Report W266. 2000. **Effects of canoeing on fish stocks and angling**, Environment Agency. Disponível em: <<http://publications.environment-agency.gov.uk/PDF/STRW266-E-E.pdf>>, 26/07/2011.
- Suzuki HI, Pelicice FM, Luiz EA, Latini JD, Agostinho AA. 2004. Reproductive Strategies of the Fish Community of the Upper Paraná River Floodplain. In: AA Agostinho, L Rodrigues, LC Gomes, SM Thomaz e LE Miranda. Structure and functioning of the Paraná River and its floodplain. EDUEM, Maringá. Pp. 125-130.
- Vazzoler AEA de M. 1996. **Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática**. Maringá: EDUEM. 169p.
- York D. 1994. Recreational-boating Disturbances of Natural Communities and Wildlife: an Annotated Bibliography. National Biological Survey (U.S.). Biological report 22: 30p.
- Zuboy JR. 1980. The Delphi technique: a potential methodology for evaluating recreational fisheries. In Technical Consultation on Allocation of Fishery Resources, 1980, Vichy. Proceedings [Rome]:[FAO], p. 519-529.

- Wildman L, Parasiewicz P, Katopodis C, Dumont U. An Illustrative Handbook on Nature-Like Fishways – Summarized Version. Washington, DC: American Rivers Programs, 21p., ill. Cal. (Reports). Disponível em: <<http://www.americanrivers.org/library/reports-publications/handbook-on-nature-like-fishways.html>>, 25/05/2011.
- Wolter C & Arlinghaus R. 2003. Navigation impacts on freshwater fish assemblages: the ecological relevance of swimming performance. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **13**(1): 63-89.

## Apêndice 1. Variáveis abióticas medidas.

Experimento	Amostra	Oxigênio dissolvido (mg/l)	Turbidez (NTU)	Temperatura da água (°C)	Vazão no CAAB (m3/s)	Vazão no CAIN (m3/s)
Exp1	1	6	14,5	30,5	9,03	3,1
Exp1	2	5,9		30,2	8,48	2,8
Exp1	3			30,7	8,55	2,76
Exp1	4	6,3		30	9,04	2,7
Exp1	5	5,8	23	30,1	8,83	2,3
Exp1	6	6,3	20,4	30	8,57	2,28
Exp1	7	6,2	29	30,1	7,39	2,36
Exp2	1	3,5	23	30,7	8,73	2,66
Exp2	2	6	20,9	30,9	8,99	2,29
Exp2	3	5,6	27,5	30,7	8,93	2,42
Exp2	4	6,2	26,2	30	8,06	2,13
Exp2	5	6,1	25	30,2	7,93	2,59
Exp2	6	5,9	23,6	30,4	7,78	2,23
Exp2	7			30,4	7,27	2,1
Exp3	1	8,64	3,5	24,4	10,53	2
Exp3	2	8,64	9	23,6	9,64	2,12
Exp3	3	8,55	3,8	23,4	10,26	1,96
Exp3	4	8,65	2,5	24	9,23	2,09
Exp3	5	9,3	7,1	24,2	9,75	2,13
Exp3	6	8,7	1,8	24,5	9,25	1,98
Exp3	7	8,3	2,5	24,5	9,95	2,25
Exp4	1			28,4	7,4	2,05
Exp4	2	8,69	0,4	29,2	7,77	1,69
Exp4	3	7,57	1,5	28		2,25
Exp4	4	6,83	4,1	28,3	8,7	2,33
Exp4	5	7,55	10,2	26,7	7,78	1,87

Apêndice 2. Número de indivíduos por espécie nos experimentos realizados (C1, C2 e C3 = amostras com canoagem; T0, T1, T2 e T3 = amostras sem canoagem; AB = Canal de Águas Bravas; IN = Canal de Iniciação).

	<i>A. affinis</i>	<i>B. hilarii</i>	<i>B. orbignyana</i>	<i>G. proximus</i>	<i>Hypostomus</i> spp.	<i>L. elongatus</i>	<i>L. friederici</i>	<i>L. octofasciatus</i>	<i>L. vittatus</i>	<i>M. paramanus</i>	<i>P. lineatus</i>	<i>P. maculatus</i>	<i>P. mesopotamicus</i>	<i>P. motoro</i>	<i>S. borellii</i>	<i>S. brasiliensis</i>	<i>S. hilarii</i>	<i>S. popoffera</i>	Subtotais
Exp1C1AB		1	1		14	2	1	5	177		3		1			2			207
Exp1C2AB			2	3	2		7		48									1	63
Exp1C3AB									31		3					9			43
Exp1T0AB			1		84	5	2	6	310		57		1			6			472
Exp1T1AB			2		10		3		227		5		1	1		9			258
Exp1T2AB	1				2	2	1	1	63		3					3			76
Exp1T3AB					1	1	2		46		6		1			8			65
Exp2C1AB			1		3	1	3		28							1			37
Exp2C2AB								1	14		1					1			17
Exp2C3AB			1		4		4	2			1					1			13
Exp2T0AB			2			1	6	3	117		1					5			135
Exp2T1AB						3	21		43										67
Exp2T2AB								4	71		1					2			78
Exp2T3AB									18		4					1			23
Exp3C1AB						1	2		2							5	1		11
Exp3C1IN							11	2	1			9				2			25
Exp3C2AB									2		1								3
Exp3C2IN							6												6
Exp3C3AB						6	1		2		2								11
Exp3C3IN						1	14				13								28
Exp3T0AB							11	4	5			1				1	1		23
Exp3T0IN							7		4							3			14
Exp3T1AB						1	1	1	5							1			9
Exp3T1IN							8		1			1				4			14
Exp3T2AB						1	3		4										8
Exp3T2IN						1	9												10
Exp3T3AB						2	1		3		5					1			12
Exp3T3IN						1	6												7
Exp4C1AB							5		2					2			1		10
Exp4C1IN							2			1	2			3		1			9
Exp4C2AB							24		1					1		1			27
Exp4C2IN							83		3					1					87
Exp4T0AB						12		1	4	1	1			3		5	1		28
Exp4T0IN							16		1			1		3		2	1		24
Exp4T1AB						1	34		16			1		2					54
Exp4T1IN							4							2		2			8
Exp4T2AB							11	1	2					1	7		1		23
Exp4T2IN							27				5								32
TOTAL	1	1	10	3	120	30	348	31	1251	2	114	13	4	19	7	76	6	1	2037

### **3 ESTUDO DA MIGRAÇÃO ASCENDENTE DE ESPÉCIES NEOTROPICAIS NO SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES DA ITAIPU BINACIONAL (CANAL DA PIRACEMA), BACIA DO RIO PARANÁ**

#### **RESUMO**

A maioria dos sistemas para transposição de peixes implantados na região neotropical caracteriza-se por baixa eficiência e seletividade, com efeitos questionáveis para as populações à montante e a jusante. Estudos conduzidos no Canal da Piracema, com diferentes métodos, apontaram o componente do sistema denominado Canal de deságüe no rio Bela Vista – CABV como principal barreira à migração ascendente. Este estudo teve por objetivos avaliar o grau de restrição imposto pelo CABV aos movimentos ascendentes e verificar o comportamento nictemeral de deslocamento para as principais espécies migratórias de Characiformes em subsistema do Canal da Piracema. Foi utilizada tecnologia RFID (identificação por radiofrequência) para monitorar a ascensão de indivíduos marcados com PIT-tag a jusante e a montante do CABV. Os dados evidenciaram que os indivíduos de *Prochilodus lineatus* de jusante do CABV levaram, em média, 27 dias a mais para atingirem a extremidade superior do sistema, em relação aos marcados a montante desse componente. A eficiência do subsistema, avaliada por esse método, foi superior à obtida nos estudos realizados em ocasiões anteriores. As três espécies com maior número de indivíduos registrados (*Prochilodus lineatus*, *Salminus brasiliensis* e *Leporinus elongatus*) apresentaram padrão de movimentação predominantemente diurno. O sistema RFID apresentou falhas durante o período de monitoramento, porém mesmo assim se demonstrou vantajoso em relação a outros métodos, para o estudo da movimentação ascendente no subsistema avaliado. As grandes dimensões do Canal da Piracema, com poucos pontos de estrangulamento, dificultaram o uso do sistema RFID e, portanto a abrangência espacial do monitoramento.

### 3.1 Introdução

O rio Paraná e seus principais tributários, desde o Paranaíba e Grande, se encontram represados, formando uma extensa cascata de reservatórios os quais, além de cumprirem sua função de geração hidrelétrica, exercem uma expressiva regulação de vazão dos rios onde estão inseridos, atenuando-lhes os picos de cheias. O grupo de peixes mais afetado pelos represamentos é o dos grandes migradores que, por ocuparem ampla área de vida (*home range*), podem ter suas populações fragmentadas, suas rotas de migração bloqueadas por barragens ou seus habitats de desova, crescimento e desenvolvimento inicial modificados pelo alagamento (montante) e regulação das cheias (jusante) (Agostinho *et al.*, 2007a).

Estudos de dispersão de espécies migratórias, realizados por meio de marcações, evidenciaram que os tributários do reservatório de Itaipu e a planície de inundação do alto rio Paraná, a montante, têm grande importância na migração reprodutiva (Agostinho *et al.*, 1993). Observou-se que pelo menos seis das dez espécies mais frequentes na pesca no reservatório completam seu ciclo de vida no trecho da bacia a montante (Agostinho *et al.*, 2004; Okada *et al.*, 2005).

O trecho do rio Paraná onde está localizado a planície de inundação do rio Paraná, entre o reservatório de Itaipu e as barragens de Rosana e Eng. Sérgio Motta (Porto Primavera), representa o último trecho lótico extenso dessa bacia hidrográfica em território brasileiro, com potencial para a manutenção das populações de espécies potamódromas (Agostinho *et al.*, 2000). 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 sistemas de transposição, sumarizados em volume especial da Neotropical Ichthyology (volume 5, numero 2, 2007), 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; Agostinho *et al.*, 2008).

Dos vários sistemas de transposição de peixes conhecidos, os denominados canais de passagem secundários funcionam como “rios artificiais”, e restabelecem o contato entre os trechos a montante e a jusante de barragens. 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.*, 2007a). A decisão pela implantação desse sistema na hidrelétrica de Itaipu teve por base a realização de estudos prévios com um modelo experimental de escada de peixes, com 27 m de altura, cujo objetivo foi avaliar o potencial de atração e ascensão da estrutura para espécies migratórias do rio Paraná (Fernandez *et al.*, 2007a). Posteriormente, um levantamento da ictiofauna de ocorrência no rio Bela Vista, principal componente do Canal da Piracema, constatou a presença de 57 espécies de peixes, das quais 15 eram migratórias, corroborando o indicativo de viabilidade do aproveitamento desse rio para implantação de um sistema de transposição (Canzi *et al.*, 1998).

O monitoramento do Canal da Piracema foi iniciado 2004, com coletas de dados em seus diversos segmentos (principalmente com redes de espera e tarrafas), e com radiotelemetria. Dados de captura permitiram determinar que diversas espécies migratórias utilizam o Canal da Piracema, o que possibilitou diagnosticar um período sazonal de comportamento migratório (Fontes Jr. em prep.), sendo que diversas espécies que ascendem o Canal continuam os seus movimentos a montante (Makrakis *et al.*, 2007a; 2009), como determinado por Agostinho *et al.* (2003) para *Prochilodus lineatus*. Com os dados de captura ao longo do Canal, Makrakis *et al.* (2011) estimaram que apenas 0,5% dos peixes conseguiriam chegar ao seu final. Já o estudo com radiotelemetria concluiu que, no geral, a proporção de indivíduos marcados que alcançou o reservatório também foi relativamente baixa (>8% do total), sendo menor ainda aquela dos que conseguiram sobrepor a seção de escadas do Canal de Deságüe no rio Bela Vista (CABV; 6,5% dos soltos a jusante desta seção) e destes, posteriormente atingir o reservatório (1,6%) (Hahn, 2007). Porém, baixa eficiência e seletividade parece ser uma característica comum aos sistemas de transposição de peixes implantados na América do Sul (Oldani & Baigún, 2002; Agostinho *et al.*, 2002 e 2007; Makrakis *et al.*, 2007b; Godinho & Kinard, 2009).

Entre os métodos que vêm ganhando utilidade crescente para monitorar e melhor identificar movimentos ao longo de mecanismos de transposição é o uso de PIT-tags (Aarestrup *et al.*, 2003; Teixeira & Cortes, 2007). A tecnologia RFID (identificação por rádio frequência), que utiliza ondas eletromagnéticas para acessar dados armazenados em um microchip, começou a ser utilizada para monitorar movimentos de espécies migratórias no Canal da Piracema, a partir de dezembro de 2009. Esse trabalho, desenvolvido no período reprodutivo (piracema) 2009-2010, teve por objetivo verificar, com maior precisão, o grau de restrição imposto pelo Canal de Deságüe no rio Bela Vista (CABV) à migração ascendente,

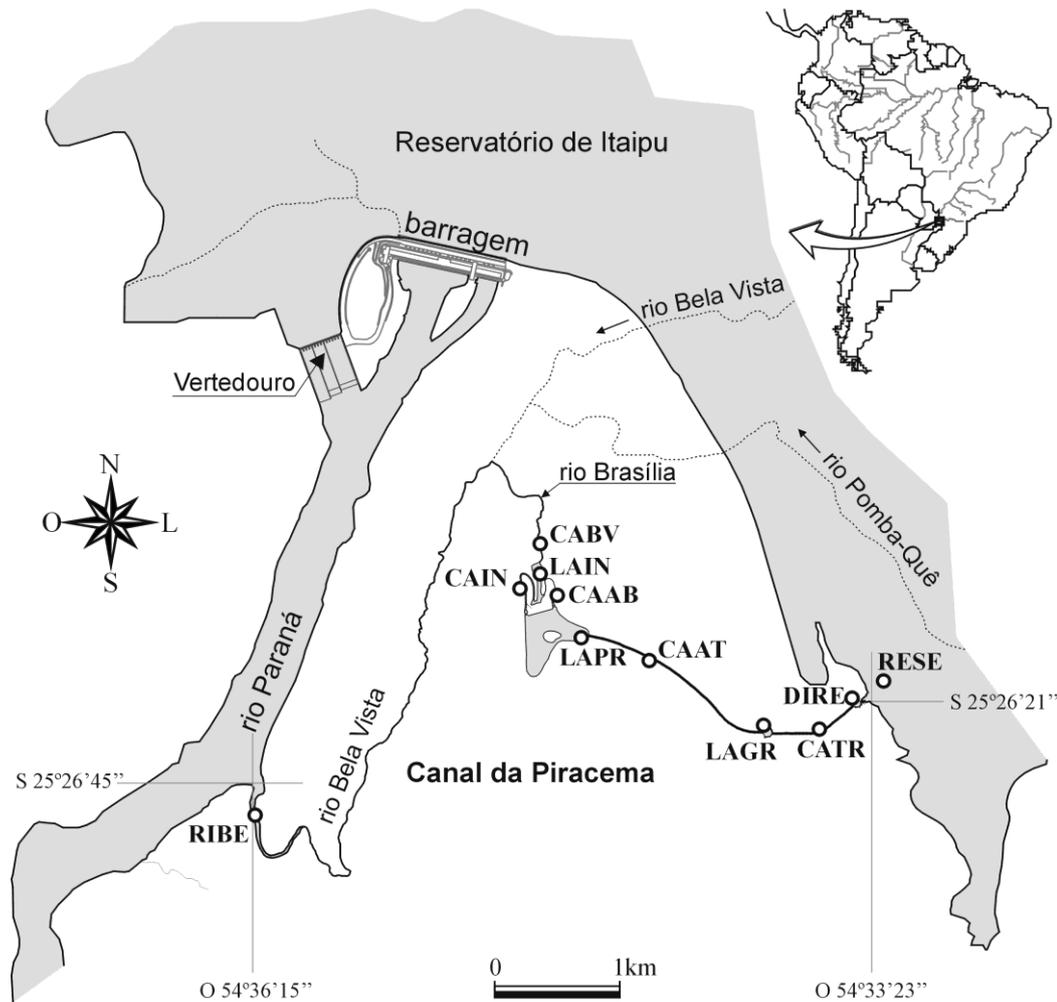
utilizando marcação eletrônica do tipo PIT-tag. Especificamente, procurou-se responder as seguintes questões: i) O CABV representa um obstáculo para a ascensão de peixes no Canal, atrasando a movimentação dos mesmos? e ii) existem padrões nictemerais na movimentação das espécies migratórias mais capturadas no Canal?

## **3.2 Material e métodos**

### *3.2.1 Área de estudo*

O Canal da Piracema está localizado nas imediações da 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. Em função de sua heterogeneidade e características construtivas, o sistema pode ser subdividido em dois grandes subsistemas: um seminatural, representado pelo rio Bela Vista e córrego Brasília, e outro artificial, constituído por um conjunto de escadas, canais e lagos, que se estendem até a tomada d'água do sistema no reservatório de Itaipu (Fig. 1).

O subsistema seminatural, com aproximadamente 6,7 km de extensão, representa 2/3 do comprimento total do sistema e tem como principal componente o rio Bela Vista. Esse rio, que originalmente tinha uma bacia de captação mais abrangente, foi seccionado pela barragem de Itaipu, cuja construção foi concluída em 1982, tendo permanecido durante 20 anos com sua vazão reduzida e área da bacia restrita às terras desapropriadas para implantação do canteiro de obras do projeto Itaipu (Fig. 1). A partir de 2002, com a inauguração do Canal da Piracema, a vazão do rio Bela Vista foi novamente incrementada em mais de 20 vezes. No entanto, não foram encontrados registros das vazões originais desse rio antes da construção de Itaipu. Um pequeno trecho do rio Bela Vista foi derrocado com o uso de explosivos para eliminar uma queda de aproximadamente 3 m de altura. Outro trecho maior, em terreno pantanoso, teve que ser desassoreado para proporcionar condições de fluxo e dimensões adequadas para a migração de peixes. Antes da construção do Canal da Piracema, o rio Bela Vista acumulou depósitos de material sólido proveniente da lavagem de pedra britada produzida no canteiro de obras da Usina e outros tipos de rejeito.



**Figura 1 – O Canal da Piracema e seus componentes: subsistema seminatural (RIBE - rio Bela Vista); subsistema artificial (CABV – Canal de Deságüe no rio Bela Vista, LAIN – Lago Inferior, CAIN – Canal de Iniciação, CAAB – Canal de Águas Bravas, LAPR – Lago Principal, CAAT – Canal de Alimentação em Aterro, LAGR – Lago das Grevilhas, CATR – Canal de Alimentação em Trincheira, DIRE – Dique de Regulagem, RESE – Reservatório).**

O subsistema artificial tem início, no sentido ascendente, a partir do córrego Brasília, aproximadamente 850 m a montante de sua confluência com o rio Bela Vista. O primeiro componente desse subsistema é uma estrutura denominada Canal de Deságüe no rio Bela Vista – CABV, com 200 m de comprimento, 5 m de largura, 2,5 m de altura e desnível de 12,5 m, que resulta numa inclinação de 6,25%. Essa estrutura tem sido considerada o componente crítico do sistema como um todo, responsável pela baixa eficiência e seletividade na transposição de peixes (Hahn, 2007; Makrakis *et al.*, 2007b; 2011). O Canal de deságüe possui 38 defletores de concreto armado, espaçados 4 m uns dos outros, formando uma seção de escadas com fluxo turbulento.

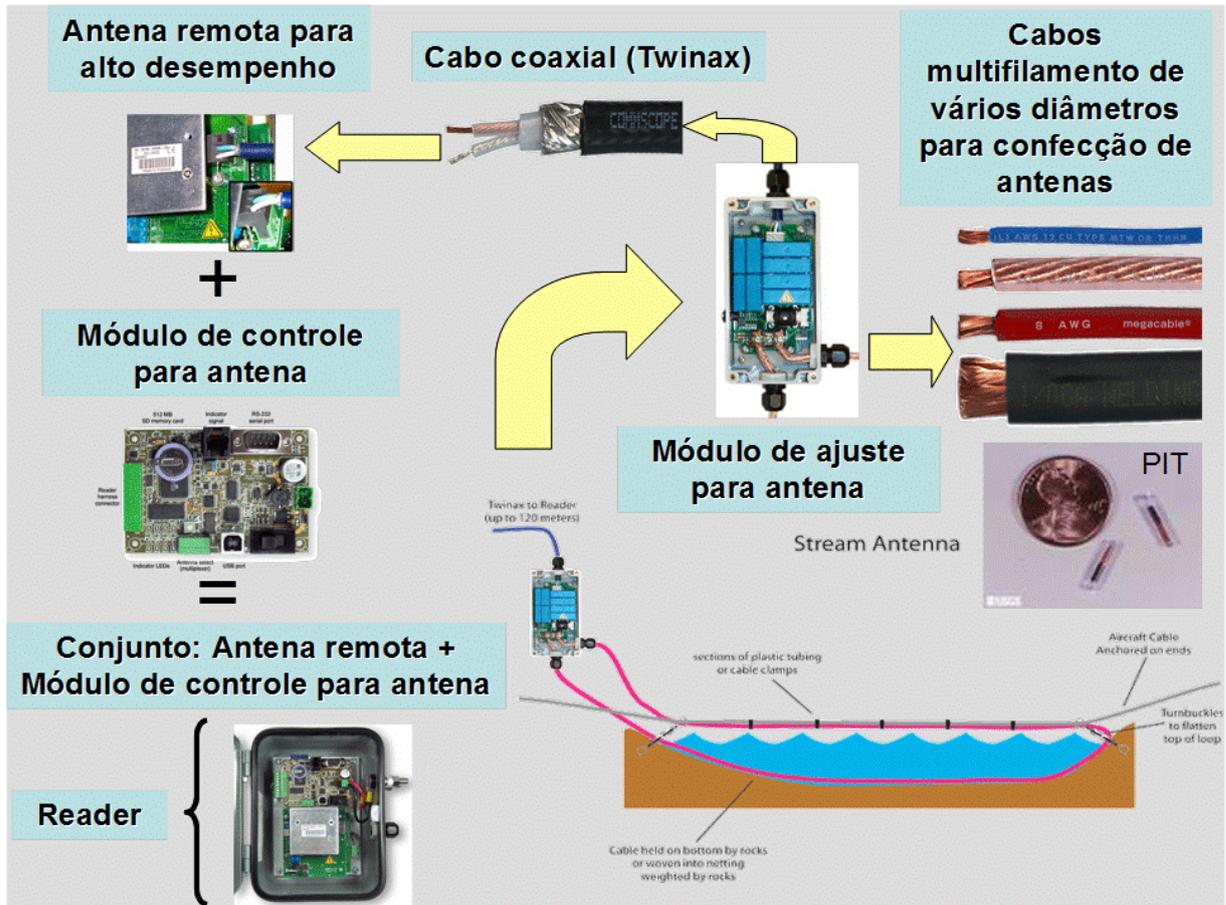
O componente seguinte do subsistema artificial é o Lago Inferior, com 1,2 ha de área e profundidade máxima de 2 m, a partir do qual seguem dois canais, denominados Canal de Águas Bravas (também chamado Canal Itaipu) e Canal de Iniciação, que convergem à montante no Lago Principal. A partir daí o percurso segue pelo Canal de Alimentação em Aterro, Lago das Grevilhas e Canal de Alimentação em Trincheira, até chegar ao Dique de Regulagem já na tomada d'água, situada na extremidade final da barragem de terra no reservatório de Itaipu. Para descrição detalhada desses componentes, consultar Fiorini *et al.* (2006); Makrakis *et al.*, (2007b, 2011). As características hidráulicas do Canal incluem velocidades médias da água inferiores a 3 m/s ao longo de todo o sistema, profundidade mínima de 0,8 m e seção transversal de “área molhada” de aproximadamente 4 m<sup>2</sup>. Baseado em cálculos hidráulicos e ensaios com modelos, o fluxo que preenche as condições para as espécies migratórias é de 11,4 m<sup>3</sup>/s (Fontes Jr *et al.*, 2004).

### 3.2.2 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 emprega antenas feitas com cabos elétricos multifilamento, ligadas a um módulo de controle e a um leitor, com alimentação de 12 V (Fig. 2). 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, as etiquetas tipo PIT-tag constituem 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 e caudal) na transposição de peixes de diferentes espécies e tamanhos (Lucas & Baras, 2000).

Neste estudo, foram instaladas três antenas, cada uma com 2,0 x 1,2 m, no Dique de regulagem – DIRE (extremidade superior do sistema), distante aproximadamente 3.500 m da área onde os peixes foram marcados e soltos. Essa configuração abrangeu integralmente a seção de passagem dos indivíduos que chegam ao DIRE (Fig. 3).



**Figura 2.** Sistema RFID – *Radio Frequency Identification* e etiquetas implantáveis tipo PIT – *Passive Integrated Transponder* utilizados na avaliação dos movimentos de espécies migratórias no Canal da Piracema.

O controle de data e local onde os peixes marcados foram soltos permitiu determinar o tempo gasto para percorrer a distância até o DIRE. Esse protocolo foi utilizado porque tentativas de instalar antenas maiores (5,0 x 1,2 m; 10,0 x 2,3 m) ao longo do Canal não tiveram sucesso. Estas antenas funcionavam de maneira intermitente, apresentando-se muito vulneráveis a ruídos (interferência eletromagnética) do ambiente, portanto inviáveis para utilização naqueles locais. Problemas desse tipo são inerentes ao sistema RFID (Haro, 2002) exigindo sua reavaliação e redimensionamento de acordo com as condições do local onde será instalado.

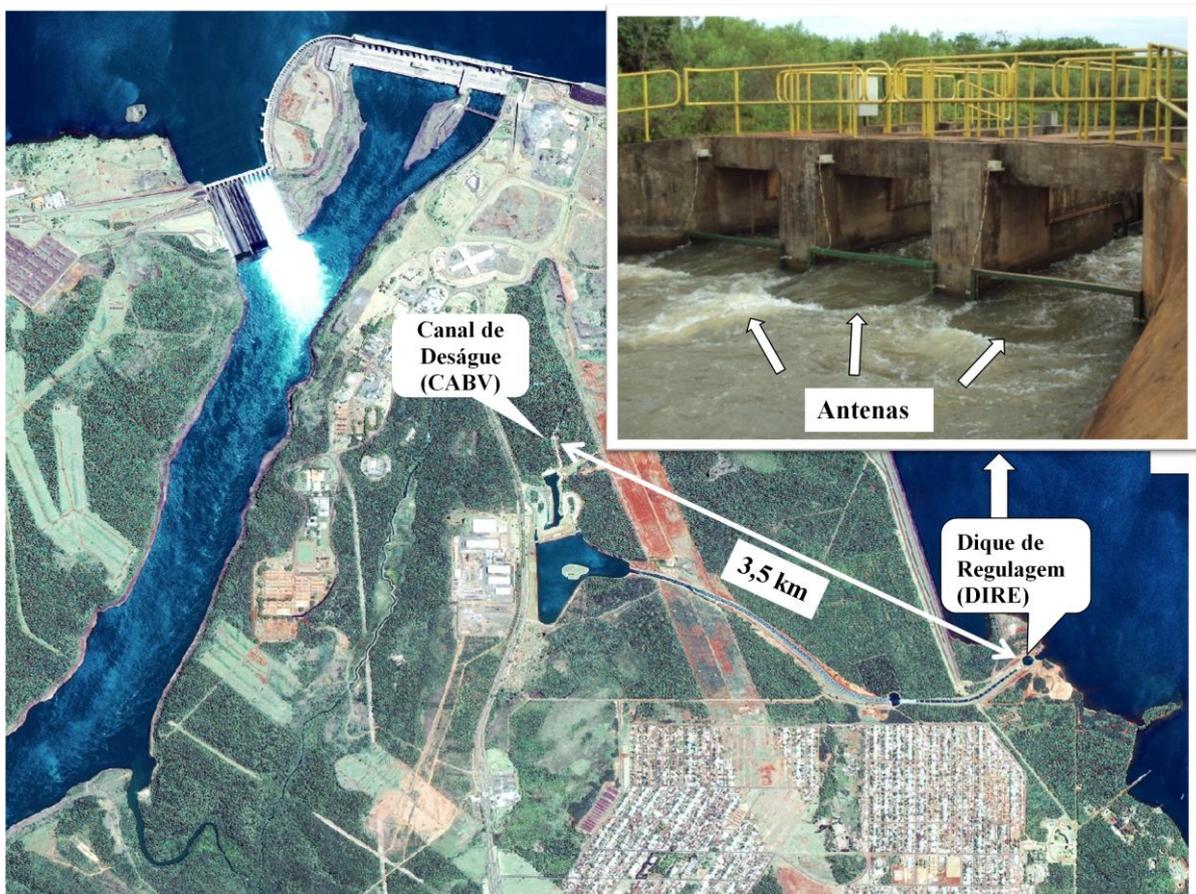
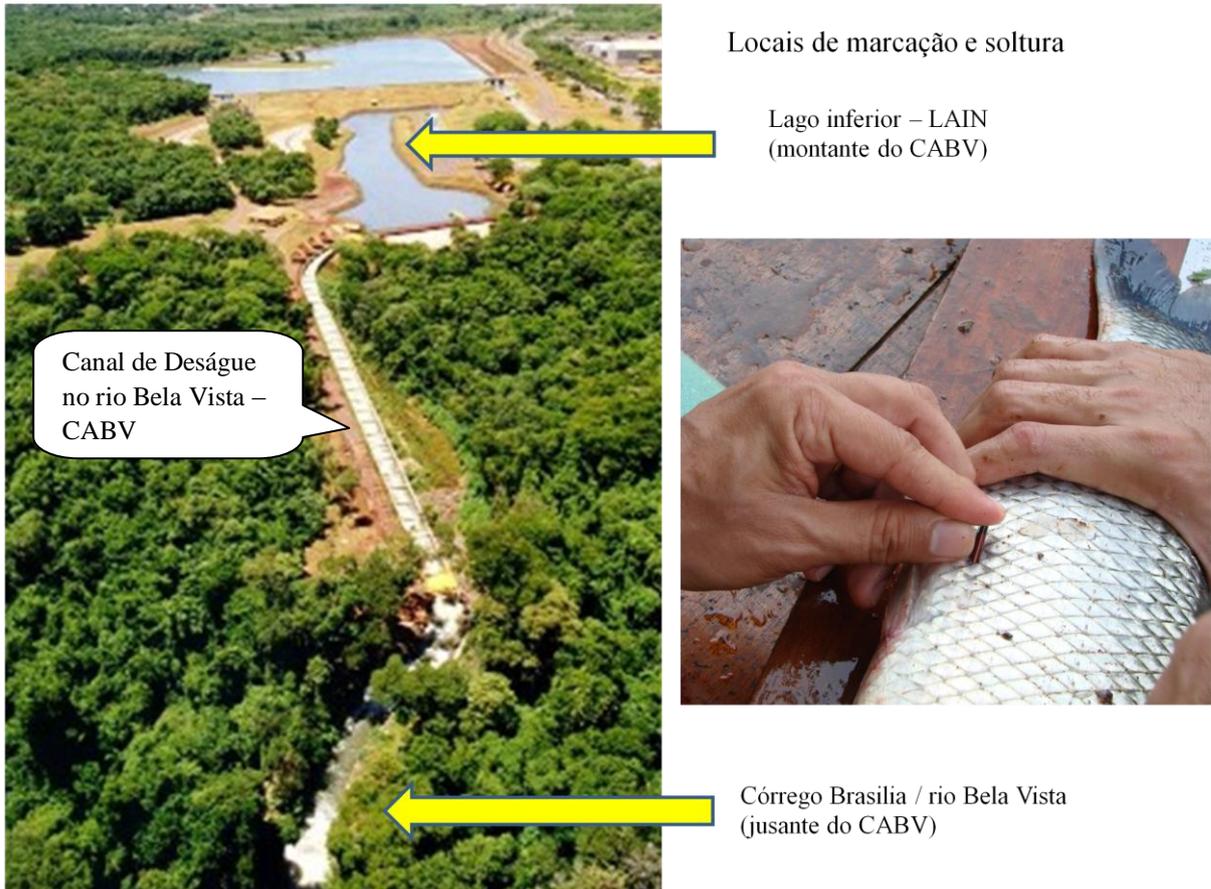


Figura 3. Antenas instaladas no Dique de Regulagem (DIRE) e distância aproximada em relação à área de marcação e soltura dos peixes (jusante e montante do Canal de Deságue no rio Bela Vista – CABV).

### 3.2.3 Coleta de dados

No período compreendido entre 8 de dezembro de 2009 a 26 de fevereiro de 2010, foram marcados 341 indivíduos, pertencentes a oito espécies migratórias, com etiquetas implantáveis do tipo PIT. Destes, 136 foram capturados, marcados e soltos no rio Bela Vista e córrego Brasília (a jusante do CABV) e 205 foram marcados e soltos nas proximidades do CAAB e CAIN (Lago Inferior – LAIN; a montante do CABV; Fig. 4). Para os exemplares do subsistema de jusante (rio Bela Vista e córrego Brasília) 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).



**Figura 4. Locais de captura, marcação com PIT e soltura, dos indivíduos de espécies migratórias no Canal da Piracema.**

O implante das marcas foi efetuado na cavidade abdominal. O procedimento consistiu 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 previamente 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 (recaptura). Para registro dos dados, quando da passagem pelas antenas de peixes marcados, foi utilizado um programa denominado “Multireader”, desenvolvido e utilizado pela *United States Geological Survey – U.S.G.S.*, que gentilmente cedeu uma cópia à Itaipu Binacional. O software se comunica com os leitores e registra o número da marca, data e hora da leitura.

Durante o monitoramento, o sistema RFID sofreu algumas paralizações, ocasionadas por necessidades de substituição de equipamentos (antena, leitor, computador), perda de arquivos que foram corrompidos antes que tivessem sido salvos em outro local, quedas

frequentes da energia por problemas na rede elétrica e desligamentos provocados por tempestades. Esses fatores foram responsáveis por perda de informações, que resultaram numa taxa de inoperância do sistema de aproximadamente 20%, durante o período de coleta de dados. Apesar disso, os resultados obtidos foram bastante expressivos, sem prejuízo das conclusões.

Na medida do possível foram mantidas, durante o período de estudo, as vazões normais de operação ao longo do Canal, cujas variações são influenciadas pelas condições hidrométricas do reservatório de Itaipu, entre outros fatores (*e.g.* precipitações e amostragens para avaliação de efeitos da canoagem no CAAB, que exigiram manipulação de vazão para obtenção das amostras).

#### 3.2.4 *Análise dos dados*

Os registros armazenados em arquivos de texto pelo programa *Multireader* foram importados para um banco de dados criado com o software MS-Access. Para possibilitar a sistematização das análises, foram criadas consultas considerando a primeira e a última observação registrada pelos leitores (*readers*), contendo o número da etiqueta, data e hora do registro.

Os dados foram analisados de forma descritiva, avaliando-se as taxas de ascensão (em porcentagem) para as espécies marcadas, os tempos de ascensão (dias) em relação aos locais de marcação e soltura, e períodos de maior movimentação das principais espécies migratórias (frequência de ocorrência do primeiro registro de passagem pela antena). Os diferentes tempos de ascensão foram descritos através da mediana, com os percentis de 25 – 75% e de 5 – 95%. Quando o número de indivíduos que passaram nas antenas foi relevante, considerando o local de marcação, foi utilizada a análise de variância não paramétrica (Kruskal Wallis; KW), para identificar possíveis diferenças no tempo gasto para alcançar o DIRE, em relação ao local de marcação (CABV e LAIN). Isso permitiu identificar o quanto o CABV influencia na ascensão das espécies de peixes.

### 3.3 Resultados

Dos 341 peixes marcados, pertencentes a oito espécies migratórias, 108 (31,7%) foram detectados pelas antenas localizadas no Dique de Regulagem (DIRE), no período de 141 dias compreendido entre 8/12/2009 e 28/04/2010. Dentre estes, 23,4% (25 indivíduos) foram marcados e soltos a jusante do CABV e 76,6% (82 indivíduos) foram marcados e soltos no LAIN, ou seja, a montante do CABV (Tabela 1). Apenas *Pseudoplatystoma reticulatum*, com um único indivíduo marcado a jusante do CABV, não foi detectado. A espécie mais representativa foi *Prochilodus lineatus*, com o total de 184 indivíduos marcados (91 a jusante do CABV e 93 no LAIN) e 74 detectados (18 de jusante do CABV e 56 do LAIN). O primeiro registro ocorreu nove dias após o início das marcações (um exemplar de *Prochilodus lineatus* de jusante do CABV) e o último registro foi obtido em 26/04/2010, relativo a um exemplar de *Prochilodus lineatus* marcado e solto no LAIN, 90 dias antes. A frequência de ascensão para *Prochilodus lineatus* foi de 60,2% para os indivíduos marcados no LAIN e de 19,8% para os marcados a jusante do CABV (Fig. 5).

Quanto às demais espécies, *Leporinus elongatus* também apresentou frequência de ascensão mais elevada para os indivíduos marcados no LAIN (50%, n = 12), enquanto *Salminus brasiliensis* e *Piaractus mesopotamicus* demonstraram tendência inversa, com maior frequência de ascensão de indivíduos provenientes de jusante do CABV. Porém, o número de indivíduos marcados naquele local foi pequeno para essas espécies (ver Tabela 1). Indivíduos de *Brycon orbignyanus* (n = 9) e *Leporinus friderici* (n = 30) foram marcados apenas no LAIN, e apresentaram frequência de ascensão de 44,4% e 20,0%, respectivamente (Fig. 5). A maior parte dos registros ocorreu no mês de fevereiro (63 indivíduos detectados), a maioria relativa a 137 peixes marcados e soltos no LAIN na última semana de janeiro. Em março, 15 peixes foram detectados e em abril apenas oito.

O tempo de ascensão ao Dique de regulagem – DIRE (tomada d'água na extremidade superior do sistema) variou de 8,8 a 116,8 dias para indivíduos de *Prochilodus lineatus* marcados a jusante do CABV, ao passo que, para os marcados no LAIN, a variação foi de 2,1 a 90,3 dias. Devido à grande diferença entre os valores extremos, os dados foram expressos de forma mais realista, com base na mediana e percentis (Fig. 6). A diferença entre as medianas dos grupos foi significativa (KW = 17,395; p < 0,001).

**Tabela 1. Número de indivíduos marcados com *PIT-tag* a jusante do Canal de deságue no Bela Vista (CABV) e a montante (LAIN) e detectados no Dique de regulagem (DIRE).**

Espécies	Indivíduos marcados e detectados de jusante do CABV e % detectada			Indivíduos marcados e detectados de montante do CABV (LAIN) e % detectada			Total marcado		Total detectado		
	Marcados	Detectados	%	Marcados	Detectados	%	N	%	N	% relativa	% absoluta
<i>Prochilodus lineatus</i>	91	18	19,8	93	56	60,2	184	54,0	74	68.5	21,7
<i>Salminus brasiliensis</i>	4	2	50,0	56	10	17,9	60	17,6	12	11.1	3,5
<i>Leporinus friderici</i>				30	7	23,3	30	8,8	7	6.5	2,1
<i>Leporinus elongatus</i>	26	3	11,5	12	6	50,0	38	1,1	9	8.3	2,6
<i>Pseudoplatystoma corruscans</i>	10	1	10,0	1			11	3,2	1	0.9	0,3
<i>Pseudoplatystoma reticulatum</i>	1						1	0,3		0.0	
<i>Brycon orbignyanus</i>				9	4	44,4	9	2,6	4	3.7	1,2
<i>Piaractus mesopotamicus</i>	4	1	25,0	4			8	2,4	1	0.9	0,3
Total	136	25	18,4	205	83	40,5	341	100,0	108	100.0	31,7

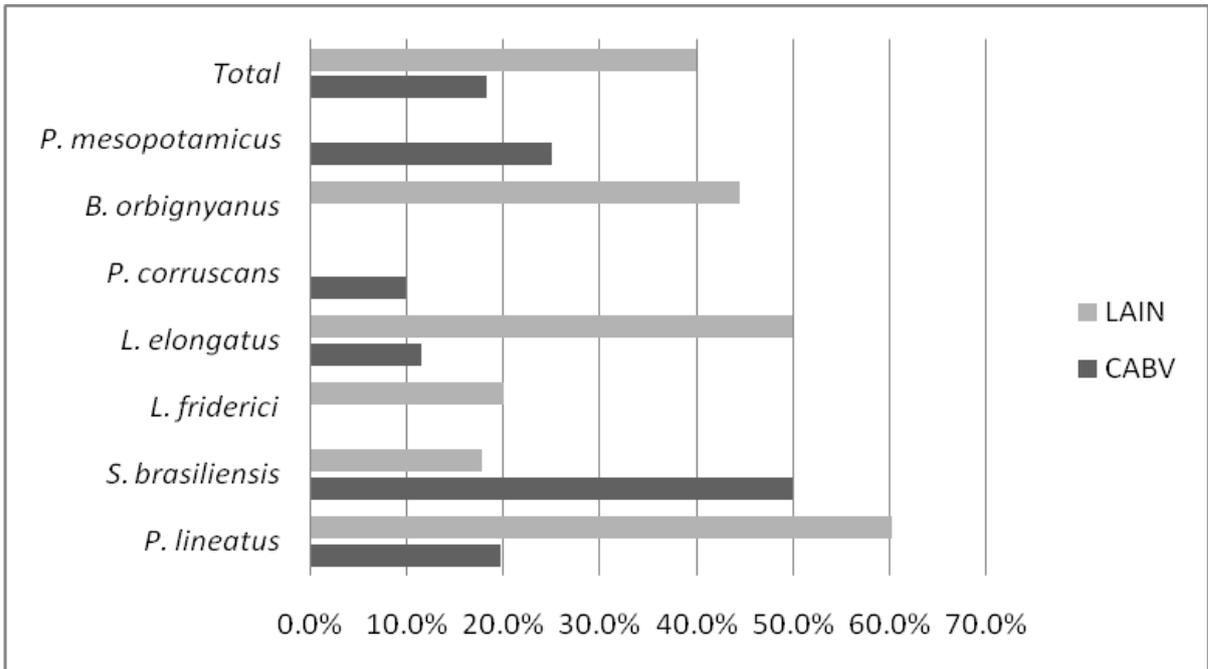


Figura 5. Frequência relativa de indivíduos detectados em relação aos locais de marcação (jusante do CABV e LAIN).

Os indivíduos de *Prochilodus lineatus* marcados a jusante do CABV levaram, em média, 27 dias a mais para chegar ao DIRE, em relação aos marcados no LAIN (Fig. 6A). Para os indivíduos das demais espécies, marcados no LAIN, os tempos médios de ascensão variaram de 9,4 (*Brycon orbignyanus*) a 33,7 (*Leporinus friderici*) dias (Fig. 6B). O menor tempo de ascensão (1,9 dias) foi constatado para um indivíduo de *Brycon orbignyanus* do LAIN e o maior tempo (116,8 dias) para um *Prochilodus lineatus* de jusante do CABV.

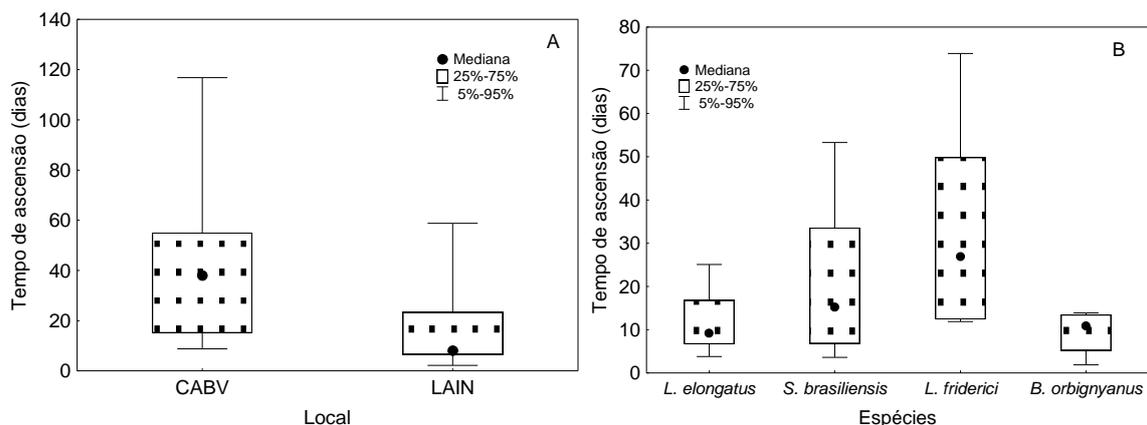
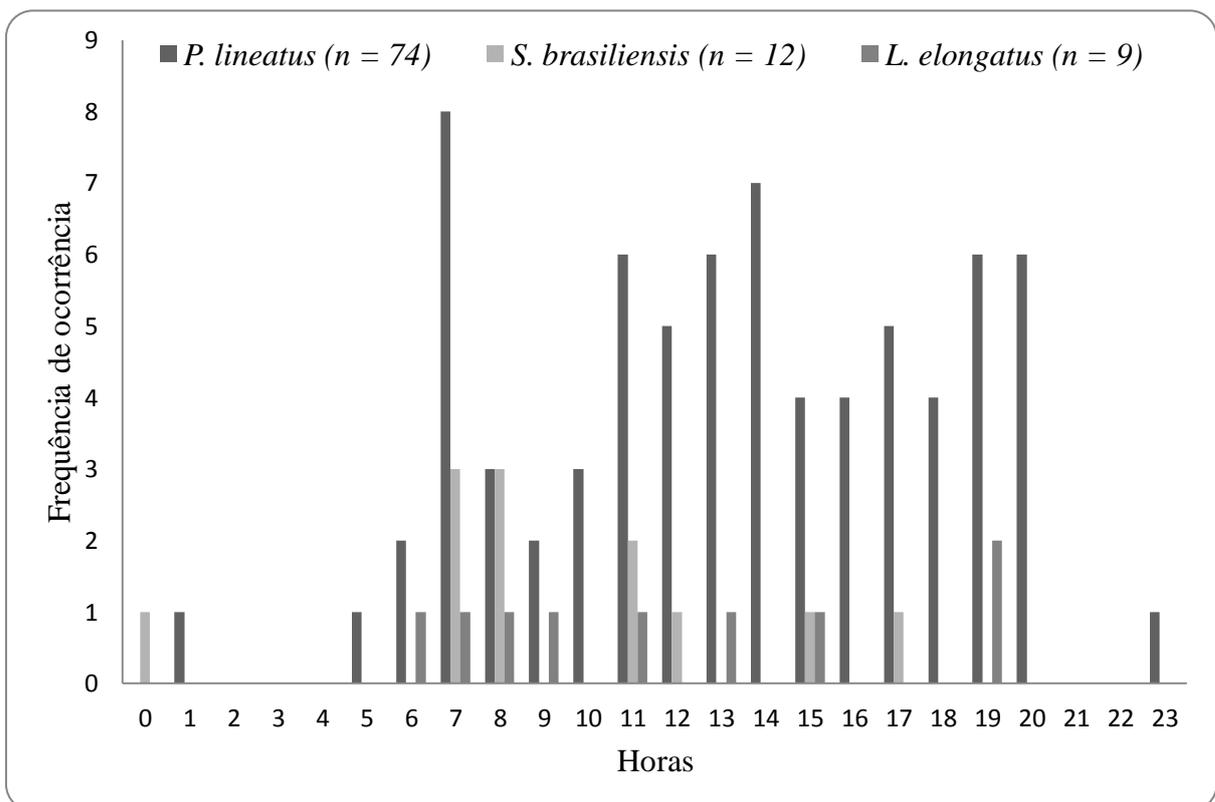


Figura 6. Tempo de ascensão ao Dique de regulagem (tomada d'água do Canal da Piracema) para indivíduos de *P. lineatus* marcados a jusante do CABV e no LAIN (A) e para as demais espécies marcadas no LAIN (B).

O padrão nictemeral de migração ascendente mostrou, para *Prochilodus lineatus*, pico de atividade entre 07 e 08 horas da manhã, seguindo-se pequena queda, mas com valores ainda elevados entre as 11 e 20h. Padrão semelhante foi observado para as outras duas espécies de Characiformes com maior número de registros depois de *Prochilodus lineatus* (Fig. 7). Para *Salminus brasiliensis* ( $n = 12$ ), a maior frequência de registros (66,6%) ocorreu entre 07 e 12h. Os registros de *Leporinus elongatus* ( $n = 9$ ) se apresentaram uniformemente distribuídos ao longo do dia, entre 06 e 20h. Apenas dois indivíduos de *Prochilodus lineatus* e um de *Salminus brasiliensis* foram registrados pela primeira vez no sistema durante a noite (Fig. 6). Para as demais espécies, com menor número amostral (não representadas graficamente), *Leporinus friderici* ( $n = 6$ ) teve cinco exemplares registrados entre 02 e 16h e um entre 20 e 21h, e *Brycon orbignyianus* ( $n = 5$ ) teve 100% dos indivíduos registrados entre 08 e 19h.



**Figura 7** Padrão nictemeral de movimentação ascendente das principais espécies com base no primeiro registro de cada indivíduo.

O único exemplar de Siluriformes, representado por *Pseudoplatystoma corruscans*, teve sua passagem registrada pelas antenas no DIRE às 02h33min, de acordo com o comportamento esperado para essa espécie de hábito noturno. Porém, *Piaractus mesopotamicus* (Characiformes), com apenas um indivíduo detectado, também passou pelo sistema de madrugada, às 04h24min.

### 3.4 Discussão

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) (Hahn *et al.*, 2007), bem como as condições hidráulicas e ambientais, afetam a eficiência das passagens de peixes, cujos resultados podem variar largamente em experimentos (Makrakis *et al.*, 2011). Todos estes fatores têm potencial para dificultar a interpretação de dados (Castro-Santos *et al.*, 1996).

A escolha do método a ser utilizado em estudos de marcação deve levar em consideração os objetivos do estudo (área de abrangência, dimensão temporal, necessidade ou não de armazenar dados, entre outros), a possível influência da marca no ciclo de vida do animal, durabilidade da marca, estresse associado à marcação, tamanho dos indivíduos a serem marcados, facilidade de implante e custo. Entre os pressupostos dos estudos de marcação, deve-se considerar que os indivíduos marcados são representativos da população (vários tamanhos, idades e ambos os sexos) e que a marca não favorece nem desfavorece os indivíduos (dificuldades em nadar, injúrias, alterações de comportamento, entre outros) (Nielsen, 1992; Lucas & Baras, 2000; Thiem *et al.*, 2011). Assim, é possível que o longo tempo de ascensão observado para os indivíduos marcados com PIT-tag no Canal da Piracema seja consequência do método de marcação, que num primeiro momento poderia retardar o estímulo migratório, até a sua recuperação e adaptação ao implante. No entanto, independentemente da influência ou não do implante das marcas e considerando que todos os indivíduos foram submetidos ao mesmo procedimento, ficou evidente que os exemplares de jusante do CABV levaram muito mais tempo para chegar ao DIRE em relação aos marcados

no LAIN, comprovando que o CABV é o maior gargalo do subsistema artificial, como mencionado em estudos anteriores (Hahn *et al.*, 2007; Makrakis *et al.*, 2007 e 2011). O longo tempo de ascensão observado para a maioria dos indivíduos pode inviabilizar a reprodução num dado período.

A eficiência de um sistema de transposição depende basicamente de dois fatores: i) capacidade dos peixes encontrarem a entrada do sistema; ii) capacidade dos peixes passarem ao longo do sistema (Aarestrup, 2003). Embora a eficiência do Canal da Piracema ainda não tenha sido avaliada como um todo, pois nenhum estudo estimou a quantidade de peixes em migração no rio Paraná que entram no sistema, várias espécies migratórias são encontradas em grandes quantidades na porção superior do rio Bela Vista, onde podem ser facilmente observadas a jusante do gargalo representado pelo CABV, ou seja, o sistema é eficaz para atrair peixes em seu segmento inicial (rio Bela Vista), sob influência dos níveis hidrométricos do rio Paraná e do reservatório de Itaipu (Fontes Jr, em prep.). No entanto, essa atração não abrange todos os peixes em migração pelo rio Paraná e nem seria esse o propósito do sistema. A espécie mais comumente observada e, possivelmente, a mais abundante, é *Prochilodus lineatus*, que é de grande importância na pesca no rio Paraná e reservatório de Itaipu (Okada *et al.*, 2005). No entanto, qualquer que seja a espécie, o acúmulo de peixes a jusante do CABV, decorrente da barreira que esse componente do sistema impõe à migração ascendente, é prejudicial ao seu ciclo de vida e favorece a predação, inclusive de natureza antrópica (pesca predatória). De acordo com modelo preditivo apresentado por Makrakis *et al.* (2011), a redução da velocidade da água poderia aumentar consideravelmente a probabilidade de ascensão.

Um dos principais fatores para ser levado em consideração no desenho de um sistema de transposição é a capacidade natatória das espécies alvo, o qual é expresso em relação à velocidade natatória e resistência, isto é, a duração de tempo em que o peixe pode manter-se em uma dada velocidade de natação (Larinier, 2002a). Este autor pondera que o uso de uma velocidade média (vazão dividida pela área da seção transversal para a direção normal do fluxo) como único critério para transposição de um obstáculo, ou para dimensionar o sistema, não é uma forma segura. Quando ocorrem flutuações espaciais ou temporais na velocidade da água (um fluxo muito turbulento, por exemplo), a energia que o peixe necessita para deslocar-se a uma dada distância pode aumentar consideravelmente, quando comparado com o requerimento exigido para atingir a mesma distância num fluxo regular, tendo a velocidade

média constante. Diante dessas considerações, percebe-se que o CABV, projetado com base apenas na velocidade média máxima da água, pode não atender aos requisitos compatíveis com a capacidade natatória de espécies migratórias neotropicais. Além disso, o fluxo turbulento pode confundir os peixes, dificultando sua localização e capacidade de natação (Martinez *et al.*, 2001). A capacidade natatória de peixes brasileiros é um importante parâmetro para o dimensionamento dos sistemas de transposição, porém nenhuma estrutura de transposição de peixes, já construída, leva em consideração essa importante característica das espécies neotropicais (Martinez *et al.*, <http://www.cph.eng.ufmg.br/docscph/prodgrupo27.pdf>, acesso em 25/07/2011). Pesquisas nessa área estão sendo conduzidas recentemente no Brasil (Santos *et al.*, 2007 e 2008; Sampaio *et al.*, 2009) e deverão se constituir em importantes referências para novos projetos de sistemas de transposição de peixes e adequação dos existentes.

O monitoramento com PIT-tag, mesmo com dados relativos ao período parcial de uma piracema e, apesar dos problemas técnicos que afetaram a eficiência do sistema RFID, evidenciou que pelo menos 18,4% dos peixes marcados a jusante do CABV, a maioria *Prochilodus lineatus*, chegaram até a extremidade superior do sistema de transposição. Esse número é superior as estimativas realizadas em estudos anteriores (Makrakis *et al.*, 2007, 2011). Isso comprova que uma proporção razoável consegue vencer o CABV, porém com dificuldade, mesmo sendo bons nadadores (apenas os “atletas” sobem; Makrakis, 2006). Por exemplo, indivíduos de *Prochilodus lineatus* soltos abaixo do CABV demoraram, em média, 27 dias a mais para chegar à parte superior do Canal. As diferenças entre os resultados dos diversos estudos, no entanto, podem ser atribuídas aos diferentes períodos em que foram realizados, considerando que os padrões de distribuição temporal da ictiofauna, no Canal da Piracema, tem se demonstrado bastante heterogêneo e estão relacionados aos níveis hidrométricos do rio Paraná e reservatório de Itaipu (Fontes Jr, em prep.).

Para os exemplares marcados com PIT-tag no LAIN, mais de 40% completaram a migração ascendente no sistema. Esse resultado se aproxima mais aos daqueles obtidos com uso de radiotelemetria, que observou eficiência de 30,1%, ao constatar que de treze exemplares soltos no LAIN, quatro (um *S. brasiliensis*, um *P. mesopotamicus*, e dois *P. corruscans*) conseguiram chegar ao reservatório de Itaipu (Hahn, 2007). No entanto, a motivação para os movimentos ascendentes pode ser diversa. A baixa taxa de ascensão observada para os indivíduos de *S. brasiliensis* do LAIN (17,5%, n = 56) e a taxa mais

elevada para os indivíduos de jusante do CABV (50%, n = 4), pode indicar que essa espécie se encontrava no sistema com motivação predominantemente trófica (como já observado em outros sistemas de transposição (Agostinho *et al.*, 2007c), embora a motivação reprodutiva não possa ser descartada. A maior frequência de indivíduos dessa espécie detectados múltiplas vezes pelas antenas no Dique de Regulagem, a intervalos variáveis (dados não apresentados), bem como a grande abundância de espécies forrageiras caracteristicamente encontradas no sistema (Makrakis *et al.*, 2007b; 2011), corroboram essa evidência. Já para *Prochilodus lineatus*, que apresentou as maiores taxas de ascensão, deve ser considerada a possibilidade de motivação predominantemente reprodutiva, ou de dispersão, pois é pouco provável que tamanha abundância observada para essa espécie no sistema esteja relacionada a estímulo trófico, devido ao seu hábito alimentar iliófago e a aparente baixa disponibilidade desse tipo de alimento no sistema. Isso também foi verificado por Makrakis *et al.* (2007c) na escada de peixes localizada na barragem da Usina Hidrelétrica Engenheiro Sergio Motta, localizada aproximadamente 250 km a montante do reservatório de Itaipu. Nessa mesma Usina, Volpato *et al.* (2009) observou que os indivíduos de *Prochilodus lineatus* encontrados na parte superior da escada eram significativamente maiores do que os encontrados na parte inferior, sugerindo seletividade relacionada ao tamanho dos peixes. No Canal da Piracema, o comprimento total dos exemplares dessa espécie capturados e marcados variou de 42,0 (n=1) e 45,5 a 62,6 cm, e o comprimento dos indivíduos que chegaram ao DIRE (extremidade superior do sistema) variou de 45,5 a 62,6 cm, sem evidência de seletividade para essa amplitude de tamanho.

Os tempos de ascensão apresentaram grande variação, mas foi observado que alguns indivíduos marcados num determinado período foram registrados com diferenças de apenas alguns minutos em relação a outros marcados muitos dias depois, sugerindo que permaneceram no sistema até que algum fator ainda não determinado estimulasse o movimento. Os padrões nictemerais de atividade denotam comportamento migratório preponderantemente diurno para Characiformes. Esses dados corroboram observações de Godoy (1975), Fernandez *et al.* (2007b) e Pessoa & Schulz (2010), que relatam padrões de movimentação predominantemente diurno as espécies desse grupo taxonômico. Convém lembrar que a maior parte do período em que foram obtidos os registros corresponde à estação de verão no Hemisfério Sul, inclusive com a aplicação do horário brasileiro de verão, de tal forma que 20h ainda é dia (o entardecer começa aproximadamente a partir desse horário).

Assim, qualquer fator de natureza antrópica, tais como o uso de componentes do sistema para atividades desportivas, a movimentação de veículos e de pessoas ao longo das margens, que transmitem vibrações e ruídos ao meio aquático, pode afetar negativamente a migração.

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 Regulagem, onde foi possível utilizar eficientemente antenas com dimensões de até 2,0 x 1,2 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 *et al.*, 2007). Suas desvantagens incluem o elevado custo dos equipamentos (receptores e radiotransmissores), abrangência temporal limitada pela bateria dos radiotransmissores e necessidade de cirurgia para o implante, 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. Apesar do uso de apenas uma antena, essa técnica permitiu identificar padrões nos movimentos de diversas espécies de peixes no Canal da Piracema, incluindo um dado preliminar do atraso na movimentação de *P. lineatus* devido ao CABV, que provavelmente ocorra para outras espécies.

As grandes dimensões do Canal da Piracema, cuja largura mínima é de 5 m e a profundidade variável, 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 instalação de antenas, com baixo nível de ruído e disponibilidade de rede elétrica para alimentar os 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.

## Referências

- Aarestrup K, Lucas MC & Hansen JA. 2003. Efficiency of a nature-like bypass channel for sea trout (*Salmo trutta*) ascending a small Danish stream studied by PIT telemetry. *Ecology of Freshwater Fish* **12**: 160-168.
- Agostinho AA, Vazzoler AEAdM, Gomes LC, Okada EK. 1993. Estratificación espacial y comportamiento de *Prochilodus scrofa* em distintas fases del ciclo de vida, em La planicie de inundación del alto rio Paraná y embalse de Itaipu, Paraná, Brasil. *Revue D’Hydrobiologie Tropicale* **26(1)**: 79-90.
- Agostinho AA, Thomaz SM, Minte - Vera CV, Winemiller KO. 2000. Biodiversity in the high Paraná river floodplain. In: B. Gopal; W.J. Junk; J.A. Davis (Eds.) **Biodiversity in Wetlands: assessment, function and conservation**. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands v.1, p. 89 - 118, 2000.
- Agostinho AA, Gomes LC, Fernandez DR, Suzuki HI. 2002. Efficiency of fish ladders for neotropical ichthyofauna. *River Research and Applications* **18**: 299–306.
- Agostinho AA Gomes LC & Suzuki HI. 2003. Migratory fishes of upper Paraná River basin, Brazil. In: J. Carolsfed, B. Harvey, A. Baer & C. Ross (eds.). **Migratory fishes of South America: Biology Social Importance and Conservation Status**. 1ed. Victoria, p. 19-99.
- Agostinho AA, Gomes LC, Veríssimo S, Okada EK. 2004. Flood regime, dam regulation and fish in the Upper Paraná river: effects on assemblage attributes, reproduction and recruitment. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. **14**; 11 - 19
- Agostinho AA, Gomes LC, Pelicice FM. 2007a. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil**. EDUEM, Maringá, 512 p.

- Agostinho AA, Pelicice FM, Petry AC, Gomes LC, Julio Jr HF. 2007b. Aquatic Ecosystem Health & Management, **10**(2):174–186.
- Agostinho CS, Pereira CR, Oliveira RJ, Freitas IS, MARQUES EE. 2007c. Movements through a fish ladder: temporal patterns and motivations to move upstream. *Neotropical Ichthyology* **5**(2): 161-167.
- Agostinho AA, Pelicice FM, Gomes LC. 2008. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Brasilian Journal of Biology*, 68(4): 1119-1133.
- Canzi C, Fontes Jr HM, Fernandez DR. 1998. A ictiofauna de ocorrência no rio Bela Vista (Resumos do 4o Congresso Brasileiro de Ecologia do Brasil). Belém. Faculdade de Ciências Agrárias do Pará. NETA, P. 592-593.
- Castro-Santos T, Haro A, Walk S. 1996. A Passive Integrated Transponder (PIT) tag system for monitoring fishways. *Fisheries Research* **28** p. 253-261.
- Fernandez DR, Agostinho AA, Bini LM, Gomes LC. 2007a. Environmental factors related to entry and ascent of fish in the experimental ladder located close to the Itaipu Dam. *Neotropical Ichthyology* **5**(2): 153-160.
- Fernandez DR, Agostinho AA, Bini LM, Pelicice FM. 2007b. Diel variation in the ascent of fishes up an experimental fish ladder at Itaipu Reservoir: fish size, reproductive stage and taxonomic group influences. *Neotropical Ichthyology* **5**(2): 215-222.
- Fiorini A S, Fernandez D R, Fontes Jr HM. 2006. Itaipu Dam Piracema Migration Channel. *Vingt Deuxième Congrès Des Grands Barrages*, p.325-348, Barcelona.
- Fontes Jr HM, Fernandez DR, Fiorini AS. 2004, New Channel Provides Fish Passage at Itaipu Dam. *Hydro Review Worldwide – HRW*. July 2004.
- Godinho AL & Kynard B. 2009. Migratory fishes of Brazil: life history and fish passage needs. *River Research and Applications* **25**: 702–712.
- Godoy MP. 1967. Dez anos de observações sobre a periodicidade de migração de peixes do rio Mogi Guaçu. *Revista Brasileira de Biologia* **27**(1): 1-12.
- 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.

- Hahn L, English K, Carosfeld J, Silva LGM, Latini JD, Agostinho AA, Fernandez DR. 2007. Preliminary study on the application of radiotelemetry techniques to evaluate movements of fish in the lateral canal at Itaipu Dam, Brazil. *Neotropical Ichthyology* **5**: 103–108.
- Haro A. 2002. **Manual for Operation of TIRFID PIT tag Systems**. CAFRC – S. O. Conte Anadromous Fish Research Center.
- Larinier M. 2002a. Fishways – General considerations. In: M. Larinier; F. Travade; J. P. Porcher (eds.) Fishways: Biological basis, design criteria and monitoring. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **364** suppl.: 21-27.
- Larinier M. 2002b. Biological factors to be taken into account in the desing of fishways, the concept of obstruction to upstream migration. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **364** suppl.: 28-8.
- Lucas MC & Baras E. 2000. Methods for studying spatial behavior of freshwater fishes in the natural environment. *Fish and Fisheries* **1**: 283-316.
- Makrakis S. 2006. **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.
- Makrakis MC, Miranda LE, Makrakis S., Xavier AMM, Fontes HM, Morlis WA. 2007a. Migratory movements of Pacu, *Piaractus mesopotamicus*, in the highly impounded Paraná River. *Journal of Applied Ichthyology* **23**: 700–704
- Makrakis S, Gomes LC, Makrakis MC, Fernandez DR, Pavanelli CS. 2007b. The Canal da Piracema at Itaipu Dam as a fish pass system. *Neotropical Ichthyology* **5(2)**: 185-195.
- Makrakis MC, Makrakis S, Xavier AMM, Fernandez DR, Fontes Jr, HM, Dias, JHP. 2009. Comportamento migratório de espécies de peixes na bacia do rio Paraná. XX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Recife.
- Makrakis S, Miranda LE, Gomes LC, Makrakis MC, Fontes Jr, HM. 2011. Ascent of neotropical migratory fish in the Itaipu reservoir fish pass. *River Research and Applications* **27**: 511-519.
- Martinez CB, Nascimento Filho J, Faria EM, Narques MG. 2001. Estudo de Monitorização de Mecanismos de Transposição de Peixes. 2001. IX Encuentro Latinoamericano y del Caribe sobre Pequeños Aprovechamientos Hidroenergéticos, Ciudad de Neuquen. IX ELPAH.

- Martinez CB, Viana EMF, Santos HÁ, Pompeu OS, Magalhães PHV, Ferreira VP. Metodologia de Medição de Capacidade Natatória de Peixes. Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em <http://www.cph.eng.ufmg.br/docscph/prodgrupo27.pdf>, 25/07/2011.
- Nielsen LA. 1992. Methods of Marking Fish and Shellfish. *American Fisheries Society Special Publication* **23**.
- Okada EK, Agostinho AA, Gomes LC. 2005 Spatial and temporal gradients in artisanal fisheries: a case study of the Itaipu Reservoir, Brazil. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **62**(3):714 – 724.
- Oldani NO & Baigún CRM. 2002. Performance of a fishway system in a major South American dam on the Parana River (Argentina-Paraguay). *River Research and Applications*, **18**(2): 171-183.
- Oldani NO, Baigun CFM, Nestler JM, Goodwin RA. 2007. Is fish passage technology saving fish resources in the lower La Plata River basin? *Neotropical Ichthyology* **5**(2): 89–102.
- Pessoa NA & Schulz UH. 2010. Diel and seasonal movements of grumatã *Prochilodus lineatus* (Valenciennes 1836) (Characiformes: Prochilodontidae) in the Sinus River, Southern Brazil. *Braz. J. Biol.* **70** (4) (suppl.): 1169-1177
- Pelicice FM & Agostinho AA. 2008. Fish - passage facilities as ecological traps in large neotropical rivers. *Conservation Biology*, **22**(1):180 - 188.
- Sampaio FAC, Ferreira RL, Pompeu OS, Santos HA, Castro M.A. 2009. Comparação da capacidade natatória de peixes epígeos e hipógeo (Characidae). Anais do III Congresso Latino Americano de Ecologia, 10 a 13 de Setembro de 2009, São Lourenço - MG
- Santos HA, Pompeu PS, Martinez CB. 2007. Swimming performance of the migratory Neotropical fish *Leporinus reinhardti* (Characiformes: Anostomidae). *Neotrop. ichthyol.* [online]. vol.5, n.2, pp. 139-146. ISSN 1679-6225. doi: 10.1590/S1679-62252007000200007
- Santos HA, Pompeu PS, Vicentini GS, Martinez CB. Swimming performance of the freshwater neotropical fish: *Pimelodus maculatus* Lacepède, 1803. *Braz. J. Biol.* **68** (2). São Carlos May 2008. doi: 10.1590/S1519-69842008000200029

- Teixeira A & Cortes RMV. 2007. PIT telemetry as a method to study the habitat requirements of fish populations: application to native and stocked trout movements. *Hydrobiologia* **582**:171–185. DOI 10.1007/s10750-006-0551-z.
- Thiem JD, Taylor MK, McConnachie SH, Binder TR, Cooke SJ. 2011 Trends in the reporting of tagging procedures for fish telemetry studies that have used surgical implantation of transmitters: a call for more complete reporting. *Rev Fish Biol Fisheries* **21**:117–126. DOI 10.1007/s11160-010-9194-2
- Volpat GL, Barreto RE, Marcondes AL, Moreira PSA, Ferreira, MFdeB. 2009. Fish ladders select fish traits on migration – still a growing problem for natural fish populations. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*. DOI: 10.1080/10236240903299177. URL: <http://dx.doi.org/10.1080/10236240903299177>
- Zydlewski GB, Haro A, Whalen KG, McCormick SD. 2001. Performance of stationary and portable passive transponder systems for monitoring of fish movements. *Journal of Fish Biology* **58**, p. 1471-1475.

## 4 CONCLUSÃO

Este estudo comprova que o Canal da Piracema se apresenta como sistema viável para a transposição de peixes neotropicais, com finalidade múltipla. O sistema, em sua maior parte, se demonstrou funcional com ressalva apenas ao componente denominado Canal de Deságüe no rio Bela Vista, com 200 m de comprimento, que se impõe como maior obstáculo aos peixes em migração ascendente. Alterações nesse trecho, visando facilitar a subida dos peixes e torná-lo menos seletivo, principalmente reduzindo a turbulência do fluxo, poderão incrementar significativamente a eficiência do sistema, contribuindo para melhorar sua funcionalidade.

A limitação ao uso desportivo do Canal de águas bravas ou Canal Itaipu, com potencial para influenciar também o Canal de Iniciação, Lago Inferior (área de desaceleração das embarcações) e Lago Principal (utilizado para exercícios de aquecimento), realmente é aconselhável durante a piracema, que corresponde ao período de maior atividade reprodutiva das espécies migratórias. No entanto, a barreira representada pelo CABV à migração ascendente, pode estar impondo restrições mais severas que o próprio uso desportivo como fator de impacto à funcionalidade do sistema.

A modificação do Canal de Iniciação, tornando-o semelhante ao Canal de Águas Bravas, também poderia contribuir para melhorar a eficiência do sistema, pois poderia tornar-se rota alternativa para os peixes durante o uso desportivo do Canal Itaipu.

O elevado número de espécies encontradas no sistema (mais de 160 segundo levantamentos recentes), incluindo praticamente todas as espécies consideradas migratórias de longa distância para o rio Paraná, torna o Canal da Piracema uma rota altamente viável de dispersão. Dessa maneira, ele pode desempenhar sua função principal de viabilizar o fluxo gênico da ictiofauna ao longo do corredor de biodiversidade do rio Paraná, muito embora possa estar contribuindo, também, para a transposição de algumas espécies antes restritas ao trecho da bacia a jusante de Itaipu, cujas conseqüências são ainda desconhecidas (introdução de novas espécies), fato que deve ter prioridade nas avaliações.

Da mesma forma, o uso desportivo de determinados componentes do sistema, fora do período de piracema, tem se demonstrado efetivo no cumprimento do segundo grande propósito do Canal da Piracema, o de proporcionar a prática de atividades desportivas

mediante condicionantes ambientais. A possibilidade de estender esse tipo de uso alternativo ao período de piracema deve ser considerada com cautela, pois foi demonstrado o efeito da canoagem sobre a assembléia de peixes que utiliza o Canal, com a diminuição da abundância no Canal de Águas Bravas nos dias em que o mesmo foi utilizado para a prática de canoagem. As espécies de Characiformes monitoradas apresentaram padrão de atividade predominantemente diurno, coincidindo com os períodos de práticas desportivas. Estudos complementares, a fim de avaliar com maior abrangência os padrões de movimentação das diversas espécies, no espaço e no tempo, são necessários para orientar medidas capazes de promover o melhor aproveitamento do sistema e potencializar os seus propósitos.