

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ**  
**CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E**  
**ENGENHARIA DE PESCA**

**RICARDO LUIZ WAGNER**

Efetividade de passagens para espécies de peixes migradoras neotropicais

Toledo

2010

**RICARDO LUIZ WAGNER**

Efetividade de passagens para espécies de peixes migradoras neotropicais

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Nível de Mestrado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Makrakis

Toledo

2010

# FOLHA DE APROVAÇÃO

**RICARDO LUIZ WAGNER**

Efetividade de passagens para espécies de peixes migradoras neotropicais

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Nível de Mestrado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

## COMISSÃO JULGADORA

---

Prof. Dr. Sergio Makrakis  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Presidente)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elaine Antoniassi Luiz Kashiwaqui  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

---

Prof. Dr. Domingo Rodriguez Fernandez  
ITAIPU Binacional

Aprovado em: 21 de dezembro de 2010.

Local de defesa: Auditório da Unioeste/*Campus* de Toledo.

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Marlene e Roque, e meu irmão Diogo, que ao longo da minha vida nunca deixaram de me apoiar e incentivar, para meu crescimento pessoal e profissional e que sempre confiaram em mim.

## AGRADECIMENTOS

*Nesta página muito especial deste trabalho, gostaria de agradecer a algumas pessoas, dentre as muitas que me ajudaram a realizá-lo.*

*Primeiramente à Deus;*

*À minha família motivo de minha existência, Marlene, Roque e Diogo;*

*Ao meu orientador Prof. Dr. Sergio Makrakis, pela dedicação, paciência, e amizade durante a orientação neste trabalho;*

*À Prof<sup>a</sup>. Maristela Cavichioli Makrakis, pelo apoio e ajuda na tomadas de decisões;*

*Ao GETECH - Grupo de Pesquisa em Tecnologia de Produção e Conservação de Recursos Pesqueiros e Hídricos, Unioeste – Toledo/PR, pela oportunidade de trabalho, apoio e a todos os estagiários que de uma ou outra forma contribuíram para a realização deste trabalho;*

*À Companhia Energética de São Paulo-CESP, pela oportunidade oferecida para realização da pesquisa;*

*Aos docentes do Mestrado em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca;*

*Aos amigos Adilson, Patrícia, Lucileine, Dimas, Karane, Régis, Cassius, Fabio, Lucas, Eder, Fernando, Paulo, Tiago, Fernanda, Gustavo e a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram na realização deste trabalho, minha eterna gratidão.*

## Efetividade de passagens para espécies de peixes migradoras neotropicais

### RESUMO

Sistemas de transposição para peixes em barragens de hidrelétricas são projetados a fim de mitigar impactos, no entanto, faz-se necessário a avaliação e monitoramento desses sistemas. Este estudo realizado na escada para peixes da UHE Engenheiro Sergio Motta – CESP, no período de novembro/2009 a abril/2010, objetivou analisar a efetividade deste sistema, considerando dois aspectos necessários para análise: a taxa da atratividade, e posteriormente, a eficiência da escada para peixes. Para o cálculo da atratividade foi considerada a porcentagem de indivíduos que encontraram a entrada, e para a eficiência foi calculado o percentual de ascensão ao longo da escada para peixes, através da Função de Ascensão. A Função de Risco foi utilizada para identificar os locais que possam dificultar a ascensão das espécies estudadas. Foi utilizado o sistema de rádio frequência (RFID – *Radio Frequency Identification*) no estudo, com instalação de oito antenas ao longo da escada para peixes e transponders (PIT-tags) de 32mm foram implantados em quatro espécies de peixes migradores de longa distância. Foram considerados dois locais de soltura após a marcação: no primeiro, denominado rampa, aproximadamente 1.100m a jusante da entrada da escada, 757 indivíduos foram marcados, sendo 151 *Brycon orbignyianus*, 204 *Piaractus mesopotamicus*, 196 *Prochilodus lineatus* e 206 *Rhinelepis aspera*. E no segundo local, o tanque 11 da escada, foram marcados 317 indivíduos distribuídos em 100 *P. mesopotamicus*, 109 *P. lineatus* e 108 *R. aspera*. Os resultados da atratividade para indivíduos liberados na rampa foram de 15,89% para *B. orbignyianus*, 55,39% para *P. mesopotamicus*, 7,4% para *P. lineatus* e de 24,73% para *R. aspera*. Os resultados das estimativas da eficiência, com uso da Função de Ascensão, foram diferenciados para parte das espécies estudadas. Para *B. orbignyianus* liberadas na rampa, a eficiência foi de 79%. Os *P. mesopotamicus* obtiveram 94%, quando liberados na rampa, e 78% para os peixes liberados no tanque 11. Para *P. lineatus* resultou em 100% para os liberados na rampa e 69% para o tanque 11. Já para *R. aspera* percentagens de 43 e 31% foram observadas na rampa e tanque 11, respectivamente. Diferenças significativas foram constatadas quanto ao tempo de chegada à escada, entre as espécies: *R. aspera* (menor tempo) diferenciou de todas as espécies e *B. orbignyianus* foi distinta de *P. mesopotamicus*. Os tempos de deslocamento ao longo da escada foram diferentes para *P. mesopotamicus* e *P. lineatus*, com maior tempo acumulado para *R. aspera*. Para estimativas do risco, os valores mais elevados ocorreram na porção inicial, ou seja, até a terceira antena, sugerindo que nesse segmento possa haver alguma variável hidrológica que imponha maior restrição às espécies estudadas. As avaliações e monitoramento da efetividade da escada para peixes da UHE Engenheiro Sergio Motta para as espécies estudadas, bem como, as demais espécies alvo, devem ser continuadas, em longo prazo, com objetivo de verificar se esta passagem possibilita os peixes, no período reprodutivo (piracema), encontrarem e vencerem a passagem em tempo hábil, para realizarem a reprodução nos tributários existentes a montante da barragem.

**Palavras-chave – Efetividade. Atratividade. Escada para peixe. Migração. Eficiência. Hidrelétrica.**

## Effectiveness of fish passage for migratory neotropical fish species

### **ABSTRACT**

Transposition systems for fish at hydroelectric dams are designed to mitigate impacts, however, it is necessary to evaluate and monitor these systems. This study conducted at the fish ladder of Engenheiro Sergio Motta Hydroelectric Power Plant - CESP, from April/2010 to November/2009 aimed to analyze the effectiveness of this system, considering two aspects needed for analysis: the rate of attractiveness, and subsequently, the efficiency of the fish ladder. To calculate the attractiveness was considered the percentage of individuals who met the entry, and efficiency was calculated by the percentage of rise over the fish ladder through the extension using Ascend Function. The Hazard Function was used to identify sites that may hinder the ascent of the species. System was used for radio frequency identification (RFID - Radio Frequency Identification) in the study, installation of eight antennas along the fish ladder and transponders (PIT tags) 32mm were implanted in four long distance migratory fish species. We considered two sites of release after marking, the first named ramp, approximately 1100m downstream the entrance of the fish ladder, 757 individuals were tagged and 151 *Brycon orbignyanus*, *Piaractus mesopotamicus* 204, 196 *Prochilodus lineatus* and 206 *Rhinelepis aspera*. And in second place the pool 11 of the ladder were marked 317 individuals in, 100 *P. mesopotamicus*, *Prochilodus lineatus* 109 and 108 *R. aspera*. The results of the attractiveness to individuals released on the ramp were 15.89% for *B. orbignyanus*. For *P. mesopotamicus*, 113 were identified, ie 55.39%. For *P. lineatus* only 7.4%. *R. aspera* Total percentage 24.73%. The results of efficiency estimates, using the Ascend Function were differentiated among the species studied. For *B. orbignyanus* released on ramp efficiency was 79%. The *P. mesopotamicus* obtained 94%, when released into the ramp, and 78% for fish released in the pool 11. For *P. lineatus* resulted in 100% for the ramp and released 69% for the pool 11. As for the *R. aspera* percentages of 43 and 31% were observed on the ramp and pool 11, respectively. Significant differences were observed among species related to time for arrived at the entrance of fish ladder: *R. aspera* (lower time) was different of all species and *B. orbignyanus* was distinct of *P. mesopotamicus*. The traveled times into the fish ladder were different for *P. mesopotamicus* and *P. lineatus*, with higher time accumulated to *R. aspera*. To estimate the risk, the higher values occurred in the initial portion, ie, until the third antenna, suggesting that this segment may be some hydrological variable that imposes greater restrictions on species studied. Assessments and monitoring the effectiveness of the fish ladder of UHE Engenheiro Sergio Motta for the species studied, as well as other target species, should be continued in the long run, in order to verify if this passage allows the fish reproductive period (*piracema*) and find in time, to undertake the reproduction, in tributaries upstream of the existing dam.

**Keywords:** Effectiveness. Attractiveness. Fish ladder. Migration. Efficiency. Hydroelectric.

Dissertação elaborada e formatada conforme as  
normas da publicação científica *Neotropical  
Ichthyology* Disponível em:  
<http://www.ufrgs.br/ni>

## SUMÁRIO

<b>Introdução.....</b>	<b>10</b>
<b>Material e Métodos .....</b>	<b>14</b>
<b>Área de estudo.....</b>	<b>14</b>
<b>Coleta de dados .....</b>	<b>15</b>
<b>Análise de dados .....</b>	<b>17</b>
<b>Eficiência de atração .....</b>	<b>17</b>
<b>Função de ascensão.....</b>	<b>18</b>
<b>Função de risco .....</b>	<b>18</b>
<b>Resultados .....</b>	<b>20</b>
<b>Discussão.....</b>	<b>26</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>30</b>

## Introdução

A bacia do rio Paraná compreende cerca de 150 grandes reservatórios, sendo 104 destinados a usinas hidrelétricas (Agostinho *et al.*, 2007). Porém, os represamentos constituem-se na maior fonte pontual de interferência humana nos regimes hídricos naturais (Agostinho *et al.*, 1992), exercendo impactos consideráveis sobre as populações de espécies nativas e particularmente, daquelas que são altamente especializadas a condições lóticis, ou seja, as reofílicas (Petts, 1984), muitas das quais são migradoras de longas distâncias.

As migrações são movimentos sincronizados realizados por espécies em direção a um “home range”, ocorrendo em estágios específicos do ciclo de vida. Três tipos funcionais de movimentos podem ser reconhecidos: 1) para reprodução, 2) para alimentação e 3) para abrigar-se em períodos de condições não favoráveis, quando esses habitats não são necessariamente os mesmos nos diferentes estágios do ciclo de vida (Northcote, 1978, 1984). Os peixes podem minimizar a redução de seu “fitness” genético se eles se movem entre esses habitats em um momento específico durante o seu ciclo de vida. O comportamento migratório é uma consequência de características internas e externas que interagem para simular uma resposta. Uma série de fatores pode estimular o comportamento migratório: fatores internos como mudanças ontogenéticas, fome, fuga de predadores e memória espacial “homing”; e fatores externos como luz, temperatura, hidrologia, meteorologia, qualidade da água e disponibilidade de alimento (Northcote, 1978, 1984).

As espécies de peixes migradoras do rio Paraná, em geral, desovam em trechos superiores de grandes tributários e os habitats berçário são lagoas em trechos inferiores e ao longo das margens (Agostinho *et al.*, 2003). Entretanto, as barragens e reservatórios, associados, têm reduzido a conectividade do rio e suas planícies de inundação (Lucas & Baras, 2001), e as espécies migradoras podem ter suas populações fragmentadas, mudando suas rotas ou acumulando a jusante das barragens (Agostinho *et al.*, 2004), a menos que sejam implementados mecanismos de transposição que restabeleçam a conectividade entre os habitats (Godoy, 1985; Quirós, 1988; Prosser, 1986) como escadas, eclusas, canais de migração e elevadores (Clay, 1995).

O monitoramento de sistemas de transposição é de suma importância para verificar e avaliar os impactos positivos e negativos e, assim, tomar medidas de mitigação. Dois aspectos têm sido considerados cruciais para determinar o sucesso da passagem através de um sistema de passagem para peixes em particular: primeiro, se os peixes podem encontrar a entrada do

sistema e, segundo, se os peixes vão passar por todo o sistema (Aarestrup *et al.*, 2003). Assim, a eficiência de atração deve ser quantificada, e, em seguida, as eficiências da passagem, considerando as movimentações ascendentes e descendentes, juntos irão definir a eficácia do sistema como passagem para peixes como um todo.

A eficiência das passagens para peixes tem sido vista, sobretudo sobre um conceito qualitativo, que envolve a verificação se o sistema é capaz de atender satisfatoriamente a passagem das espécies alvo, sob as condições ambientais existentes durante o período de migração (Makrakis *et al.*, 2010). Avaliações quantitativas de eficiência calculam-se a fração de peixes presentes em um dos lados da passagem, que seja capaz de se mover através do sistema (Larinier, 2001, 2002a).

Entretanto, o número de peixes transpostos não pode comprometer os estoques a jusante, devendo, portanto, a transposição ser monitorada (Agostinho *et al.*, 2002). Porém, pré e pós-monitoramento de sistemas de transposição tende a ser uma exceção a regra. Geralmente, o monitoramento, quando acontece, tem como foco as espécies de maior interesse comercial (geralmente menos do que 5% das espécies de peixes em um dado reservatório), pois são fáceis de serem valorizadas economicamente. Por outro lado, ninguém menciona o verdadeiro valor para a biodiversidade (Lucas *et al.*, 2001), pois grande parte das espécies, que usam as passagens para peixes apresentam pouco ou nenhum valor comercial.

A necessidade de identificar peixes ou grupos de indivíduos é uma exigência básica para muitos estudos, que visam o conhecimento das diversas relações desses animais, com o meio ambiente. Isto conduziu ao desenvolvimento de inúmeras formas de marcação de peixes. Pesquisadores têm marcado animais há várias centenas de anos, utilizando-se de várias maneiras. Izaak Walton escreveu em 1563, que observadores marcavam salmões do Atlântico com fitas nas caudas (Mcfarlane *et al.*, 1990). A variedade de métodos de marcação está relacionada à diversidade de animais a serem marcados, sendo que, para peixes, diversos tipos têm sido contemplados (Nilsen, 1992). Os tipos de marcas são desenvolvidos continuamente, para tratar das diversas aplicações práticas que envolvem permanência, facilidade de identificação e do efeito no comportamento dos peixes (Parker *et al.*, 1990). As aplicações dependem da finalidade do estudo, das espécies trabalhadas e do tamanho dos peixes, ou do número de indivíduos identificados requeridos para o estudo.

A partir do desenvolvido, em meados da década de 1980, iniciou o desenvolvimento do sistema de rádio frequência RFID (*Radio Frequency Identification*) um sistema composto por módulos de leitura, armazenamento de dados e antenas, através da utilização de marcas tipo PIT-tag (*Passive Integrated Transponder*), tem proporcionado uma valiosa contribuição

sobre informações da migração, havendo assim, uma crescente utilização dessa tecnologia na marcação individual de peixes (Prentice *et al.*, 1990, Castro-Santos *et al.*, 1996, Armstrong *et al.*, 1996, Greenberg & Giller, 2000). Esta marca, composta por um chip e uma bobina, envolta por vidro, tem tempo de vida indeterminado, pois não carrega em si uma bateria, o que possibilita estudos em longo prazo.

A utilização de técnicas biotelemétricas no monitoramento do deslocamento e áreas utilizadas pelas espécies tem respondido às questões relacionadas aos padrões comportamentais em larga escala e em menos tempo (Stasko & Pincock, 1977). Além disso, esta técnica possui a grande vantagem de possibilitar a obtenção de dados, sem a necessidade de recapturar o animal, evitando o estresse causado pelo manuseio (Prentice *et al.*, 1990). Para avaliação de sistemas de transposição, tipo escada para peixes, o primeiro estudo com a utilização de antenas fixas e o sistema de tecnologia RFID, foi realizado em 1995, com a colocação de antenas em duas escadas e o uso de marcas do tipo PIT-tag, para avaliar a ascensão dos peixes (Castro-Santos *et al.*, 1996). Marcações em peixes podem causar algum tipo de lesão e levar até os indivíduos a morte, bem como, ocorrer à expulsão da marca, ou mesmos a dificuldade e impossibilidade de leitura das marcas nos peixes (Wisniewolski & Nabialek, 1993). Tais aspectos, associados às variações climáticas, diferenças biológicas e comportamentais das espécies conduzem a resultados estimados, quando obtidos com marcação, inclusive marcas do tipo PIT-tag, que apresentam baixa influência nos indivíduos marcados.

A utilização da análise de sobrevivência, para avaliação de sistemas de transposição para peixes, através das funções de ascensão e risco, pode ser um instrumento adequado para detectar possíveis pontos ou locais da escada, que estejam dificultando a passagem ou mesmo impedindo a ascensão dos peixes (Makrakis, 2007). Esta é uma das áreas da estatística que mais cresceu nas últimas décadas do século passado, uma evidência quantitativa deste sucesso e o grande número de aplicações deste método em medicina e ciências sociais. Porém, muito utilizadas em outras áreas, na engenharia para quantificar o tempo de vida de equipamentos e da mesma maneira aplicada a alternativas nas escalas de medida, como ciclos, quilometragem de um carro ou qualquer outra medida de carga (Colosimo & Giolo, 2006).

No Rio Paraná, a construção de barragens reduziu severamente o movimento de espécies de peixes migradoras de longa distância. Nesta bacia, existem mais de 130 grandes barragens com mais de 10m de altura, ao longo da calha principal deste rio. Itaipu, Porto Primavera, Jupia, Ilha Solteira e Yacyretá são grandes reservatórios com barragens com mais de 20m da altura. Até 2002, apenas Porto Primavera dispunha de escada e elevador e Yacyretá

de dois elevadores para peixes. São consideradas 19 espécies migradoras de longa distância na Bacia do Paraná (Agostinho *et al*, 2003;. Suzuki *et al*, 2004) e Bacia Paraguai-Paraná (Resende, 2003) e o período reprodutivo (piracema), para maioria destas espécies ocorre de outubro a março anualmente (Vazzoler *et al.*, 1997).

Neste contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a efetividade de uma escada para peixes para espécies migradoras de longa distância neotropicais. Especificamente, pretende-se responder as seguintes questões: i) Existem diferenças quanto à atratividade da passagem para peixes para as espécies analisadas? ii) Existem diferenças quanto à eficiência da passagem para as espécies de peixes analisadas? iii) A efetividade da passagem possibilita os peixes alcançarem os locais propícios para desova no tempo adequado ao período reprodutivo (piracema)?

## **Materiais e métodos**

### **Área de estudo**

A UHE Engenheiro Sergio Motta, com potência instalada de 1.800 MW, pertencente à Companhia Energética de São Paulo-CESP, está localizada no rio Paraná, entre os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, no município de Rosana, distrito de Primavera. O represamento do rio Paraná, por uma barragem de 13000m de comprimento, composta por uma de terra de 12000m, e complementada aquela distância pelo vertedouro e a casa de força em concreto (Fig. 1).

A escada para peixes, com uma extensão de 520m, apresenta um desnível de 20m, inicia na cota 255,50m (tomada d'água do dispositivo) e termina na cota 235,50m, desaguando no lado esquerdo do canal de fuga da casa de força, onde mergulha com um ângulo horizontal de  $45^\circ$  em relação ao fluxo do leito principal do rio Paraná. É constituída de uma calha inclinada de seção retangular, com 5m de largura e 2m de altura. Os degraus-tanque da escada são formados por 50 paredes transversais, com espaçamento de 8m entre si. Cada parede possui 6 janelas, sendo 3 inferiores e 3 superiores. Além das janelas, em cada uma dessas paredes, estão instaladas 4 portas metálicas corrediças, 2 superiores e 2 inferiores, que permitem alterar as configurações de fluxo da água e criar as condições ideais de atratividade e locomoção para os peixes transporem a barragem. A tomada de água da escada é realizada por uma abertura fixa, sendo que a vazão é praticamente constante, pois é determinada pelo nível de montante.



**Fig. 1.** Trecho do rio Paraná com localização da UHE Engenheiro Sérgio Motta (Porto Primavera), Distrito de Primavera no município de Rosana, São Paulo, Brasil.

### Coleta de dados

Após a realização de testes para a determinação dos locais e configuração das antenas do sistema RFID, foram instaladas, no interior da escada para peixes, 8 antenas, com dimensões de 1,5x3,0m, construídas com fios elétricos 4mm<sup>2</sup>, inseridos dentro de canos de PVC e afixadas a estrutura de concreto da escada por meio de um quadro de madeira, onde a primeira (antena 1) foi instalada a 100m da foz da escada, logo acima do primeiro tanque de descanso e a última (antena 8) ficou posicionada a 50m da tomada de água, sendo as demais distribuídas de forma equidistante, no espaço intermediário daquelas antenas na escada para peixes (Fig. 2). Dois módulos de controle, composto com 4 leitores da Série 2000 – marca *Texas Instruments*, 1 fonte estabilizada de energia, 1 *nobreak* e 1 computador para gerenciar o sistema e armazenar os dados (Fig. 3e).



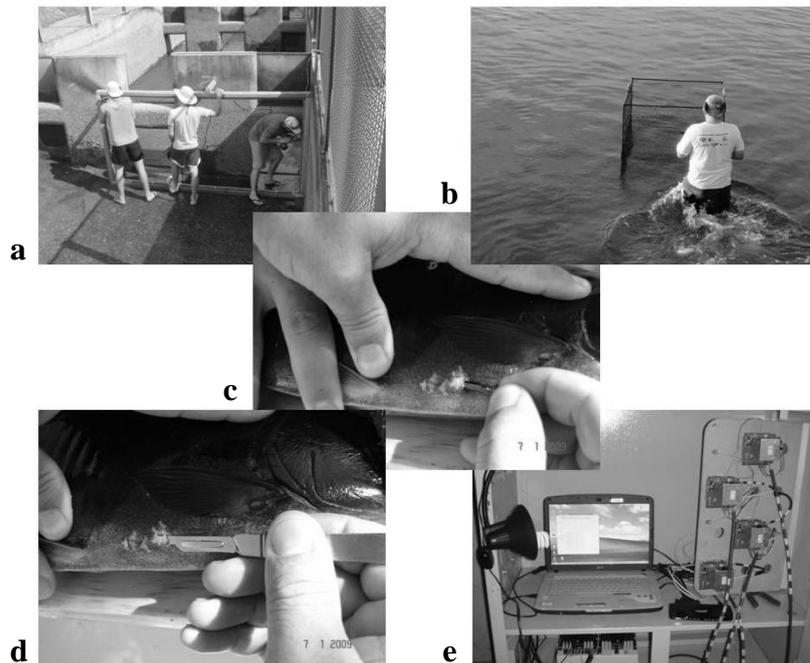
**Fig. 2.** Distribuição das antenas ao longo da escada para peixes da UHE Engenheiro Sérgio Motta. Localização do tanque 11.

Cada antena foi ajustada e energizada por um capacitor de sintonia, que emitia um campo eletromagnético com frequência de 134.2kHz, proporcionando um campo capaz de detectar as marcas previamente codificadas. Após a detecção da marca, o código era transmitido para um leitor, que o decodificava e encaminhava para o banco de dados (computador) através de um software específico.

Posteriormente à instalação e ajustes do sistema RFID, este permaneceu ligado desde o início das marcações e soltura dos peixes, no dia 13 de novembro/2009, até o dia 13 de abril/2010. Parte das coletas para marcação dos peixes foram realizadas na escada, distribuídas ao longo de 4 meses (novembro/2009, dezembro/2009, janeiro/2010 e fevereiro/2010). Foram marcados indivíduos de 4 espécies migradoras de longas distâncias: *Brycon orbignyanus* (piracanjuba) (Valenciennes, 1850), *Piaractus mesopotamicus* (pacu) (Holmberg, 1887), *Prochilodus lineatus* (curimba) (Valenciennes, 1836), e *Rhinelepis aspera* (cascudo-preto) Agassiz, 1829. Os indivíduos das espécies *B. orbignyanus* e *P. mesopotamicus* foram provenientes da Estação de Hidrobiologia e Aqüicultura de Jupiá – CESP, as espécies *P. lineatus* e *R. aspera* foram capturadas ao longo da escada para peixes, com uso de redes de arrasto e tarrafas. O transporte dos peixes foi feito em caixas de transporte dispondo de oxigenação e os indivíduos eram marcados e liberados em dois locais previamente estabelecidos: a rampa e o tanque 11. A rampa, localizada a uma distância em

linha reta de 1100m da foz da escada, na mesma margem esquerda desta do rio Paraná. Já o Tanque11 foi o primeiro tanque de descanso localizado a 85m acima da foz da escada.

Marcas do tipo PIT-tags de 32mm foram utilizadas e implantadas nos animais com o auxílio de um bisturi foi feita uma pequena abertura na cavidade peritoneal dos indivíduos (Figs. 3c-d) para a inserção das marcas. Previamente a marcação, os peixes eram anestesiados com uso de benzocaína, a proporção de 75mg/l, diluída em álcool etílico (92,8 °). Após a marcação, os peixes eram colocados em uma gaiola, localizada próximo ao local de soltura e após a recuperação, os peixes eram liberados.



**Fig. 3.** Foto a – instalação da antena, b – gaiola para soltura dos peixes, c e d – processo de marcação, e – módulo de controle (Foto: Pesquisa).

## Análise de dados

### Eficiência de atração

Para avaliar a atratividade da escada para peixes, foi quantificada a taxa dos indivíduos marcados e liberados na rampa, com aqueles que encontraram a entrada da escada, ou seja, detectados pela primeira antena. O tempo decorrido, desde o momento da soltura dos indivíduos na rampa, até o momento em que os peixes passaram pela antena 1 foi considerado.

Para avaliar diferenças entre as espécies com respeito ao tempo que os espécimes

despenderam para encontrar a entrada da escada, foi aplicada a análise de variância não paramétrica (Kruskal-Wallis; Zar, 1999). Os dados foram previamente transformados em raiz e testes de comparações múltiplas (Tukey *HSD* e *Z'*) foram utilizados para identificar as espécies distintas. Esse procedimento é um complemento a ANOVA e visa identificar quais as medianas, tomadas de duas as duas, diferem significativamente entre si. Para estas análises, foi utilizado o *software* Statistica 7.0. O nível de significância estatística adotado foi  $p < 0,05$ .

### Função de ascensão

Para avaliar a eficiência na ascensão dos peixes na escada, foi utilizada a análise de sobrevivência (Allison, 1995), através da Função de Ascensão (*Ascend Function*). Para essa análise, foi adotada considerando como variável resposta (evento) os indivíduos marcados e que foram detectados pelas antenas (1 a 8), assumindo o movimento dos peixes no sentido ascendente. Esta função foi estimada com o Procedimento Tabela de Vida (SAS, 2009), o que representou a verossimilhança de ascensão dos peixes para as sucessivas 8 antenas instaladas na escada para peixes. A probabilidade ( $\hat{S}$ ) de um peixe, ascender para até a antena ( $a_i$ ) ou além é:

$$\hat{S}(a_i) = \prod_{j=1}^{i-1} (1 - q_j) \quad (1)$$

onde  $q_j$  representa a probabilidade de falhar na ascensão além da antena  $j$ . Para  $a_i = 0$ , a probabilidade de ascensão foi definida como 1,0. Os eventos foram considerados como censos aleatórios, devido às observações finalizarem por razões não controláveis (isto é, o peixe pode escolher em parar o movimento ascendente, retornar descendente, morrer ou outras possibilidades).

### Função de risco

Os mesmos dados contínuos de ascensão, foram utilizados e analisados pela Função de Risco (*Hazard function*), que quantificou o risco instantâneo que um evento ocorreu em determinada antena ( $a$ ). Como as antenas foram distribuídas continuamente, a probabilidade de ocorrência de um evento em uma determinada antena  $a$  é necessariamente zero, ou a probabilidade de que o evento ocorra em um pequeno intervalo entre  $a$  e  $a + \Delta a$ . Porém, o interesse no risco (*Hazard*) é que este forneceu estimativas para a Função de Risco no ponto

médio entre cada antena instalada na escada. Isto foi calculado de acordo com a seguinte equação (SAS, 2009):

$$h(a_{im}) = \frac{d_i}{\left(n_i - \frac{d_i}{2}\right)} \quad (2)$$

onde, para a *iésima* antena,  $a_{im}$  foi o ponto médio,  $d_i$  foi o número de eventos, ou seja, a quantidade de peixes detectados pela *iésima* antena, e,  $n_i$  foi a quantidade ainda em falha (risco) no início do trecho da *iésima* antena. A forma do gráfico de risco pode mostrar se ele era constante, aumentava ou diminuía ao longo da escada. O aumento do risco, num determinado ponto ou trecho da escada, significou a diminuição na eficiência da ascensão dos peixes, ou seja, uma relação inversa da função de ascensão. Para uma possível relação com a dificuldade na ascensão em determinados trechos da escada, foi mensurado o tempo decorrido da passagem entre as antenas.

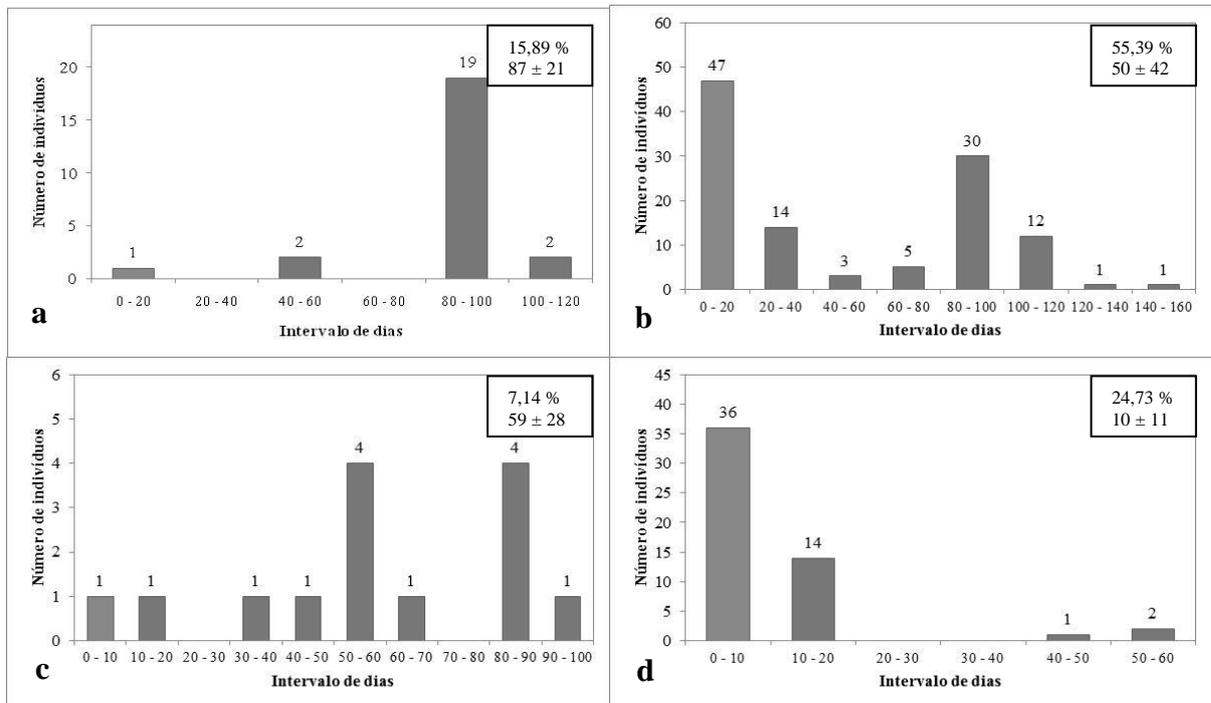
Para determinar diferenças entre as médias do tempo acumulado (tempo de deslocamento entre as antenas 1 e 8) e os locais de soltura das espécies analisadas, foi aplicada a Análise de Variância (ANOVA). Para satisfazer os pressupostos da estatística paramétrica os dados de tempo foram transformados em Log10, quando a ANOVA foi significativa, o teste de Tukey foi aplicado. A análise de variância foi realizada utilizando o *software* Statistica 7.0. O nível de significância estatística adotado foi  $p < 0,05$ .

## Resultados

Neste estudo para avaliação da efetividade da escada para peixes da UHE Engenheiro Sergio Motta, foram marcados e liberados na rampa 757 indivíduos. Dentre estes, 151 da espécie *B. orbignyanus*, 204 indivíduos de *P. mesopotamicus*, 196 de *P. lineatus* e 206 de *R. aspera*. No tanque 11, o número de indivíduos marcados e postos em liberdade foi de 317, distribuídos em 100 para *P. mesopotamicus*, 109 de *P. lineatus* e 108 de *R. aspera*.

Considerando a eficiência de atratividade para os peixes liberados na rampa, o percentual de indivíduos que encontraram a entrada do sistema, ou seja, aqueles detectados pela primeira antena, o resultado da maior taxa de atratividade foi de 55,39% para indivíduos de *P. mesopotamicus* e de 7,14% para *P. lineatus* a menor taxa entre as espécies estudadas (Fig. 4).

As espécies marcadas e colocadas em liberdade na rampa geraram diferentes resultados com relação ao tempo (dias) para o encontro da entrada da escada. Observou-se que *R. aspera* foi detectado pela primeira antena em menor tempo e em maior quantidade, com até 20 dias após a soltura, resultando uma média de  $10 \pm 11$  dias (Fig. 4d). Entretanto, verificou-se que a espécie *P. mesopotamicus* foi a mais abundante e com maior distribuição dos indivíduos durante o período de estudo (Fig. 4b).



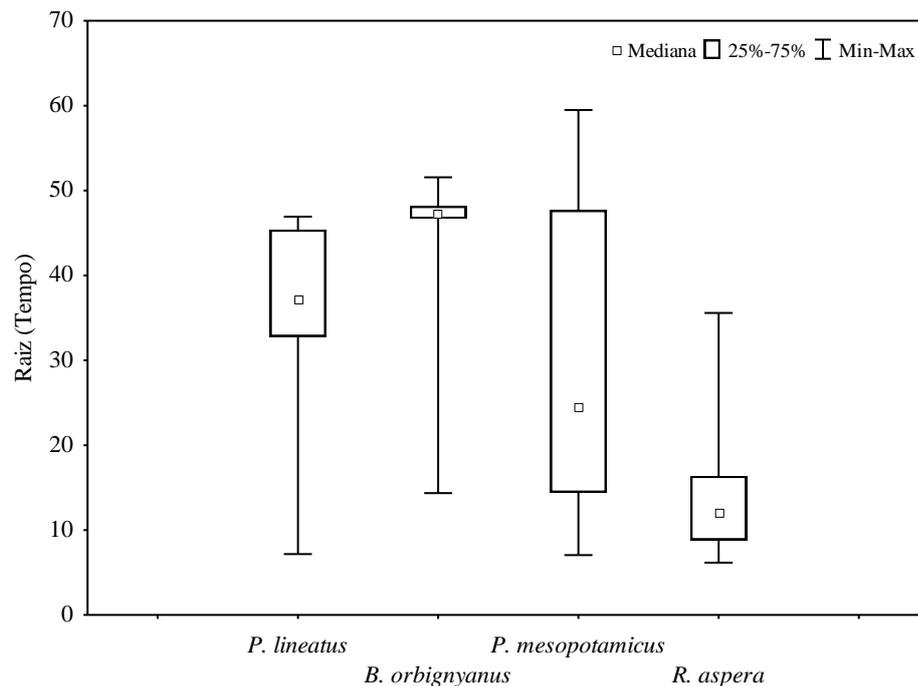
**Fig. 4.** Número de indivíduos liberados na rampa que encontraram a entrada da escada para peixes, durante o período do estudo, quadro superior direito Atratividade – Média  $\pm$  Desvio

Padrão. Figura a – *Brycon orbignyanus*, b – *Piaractus mesopotamicus*, c – *Prochilodus lineatus* e d – *Rhinelepis aspera*.

Diferenças significativas (ANOVA KW -  $H = 76,01$ ;  $p < 0,05$ ) foram constatadas quanto ao tempo de chegada à escada, entre as espécies (Tabela 1, Fig. 5). O teste de comparações múltiplas ( $Z'$ ) identificou que *R. aspera* diferenciou de todas as espécies e que *B. orbignyanus* foi distinta de *P. mesopotamicus*.

**Tabela 1** – Valores de  $Z'$  das comparações múltiplas aplicada para a raiz do tempo das espécies estudadas. ANOVA Kruskal-Wallis:  $H(3, N = 204) = 76,01$ ;  $p < 0,05$ . **Negrito** valores significativos.

Espécies	<i>P. lineatus</i>	<i>B. orbignyanus</i>	<i>P. mesopotamicus</i>	<i>R. aspera</i>
<i>P. lineatus</i>		1,919177	0,198859	<b>4,121991</b>
<i>B. orbignyanus</i>	1,919177		<b>3,122270</b>	<b>7,657542</b>
<i>P. mesopotamicus</i>	0,198859	<b>3,122270</b>		<b>7,101446</b>
<i>R. aspera</i>	<b>4,121991</b>	<b>7,657542</b>	<b>7,101446</b>	

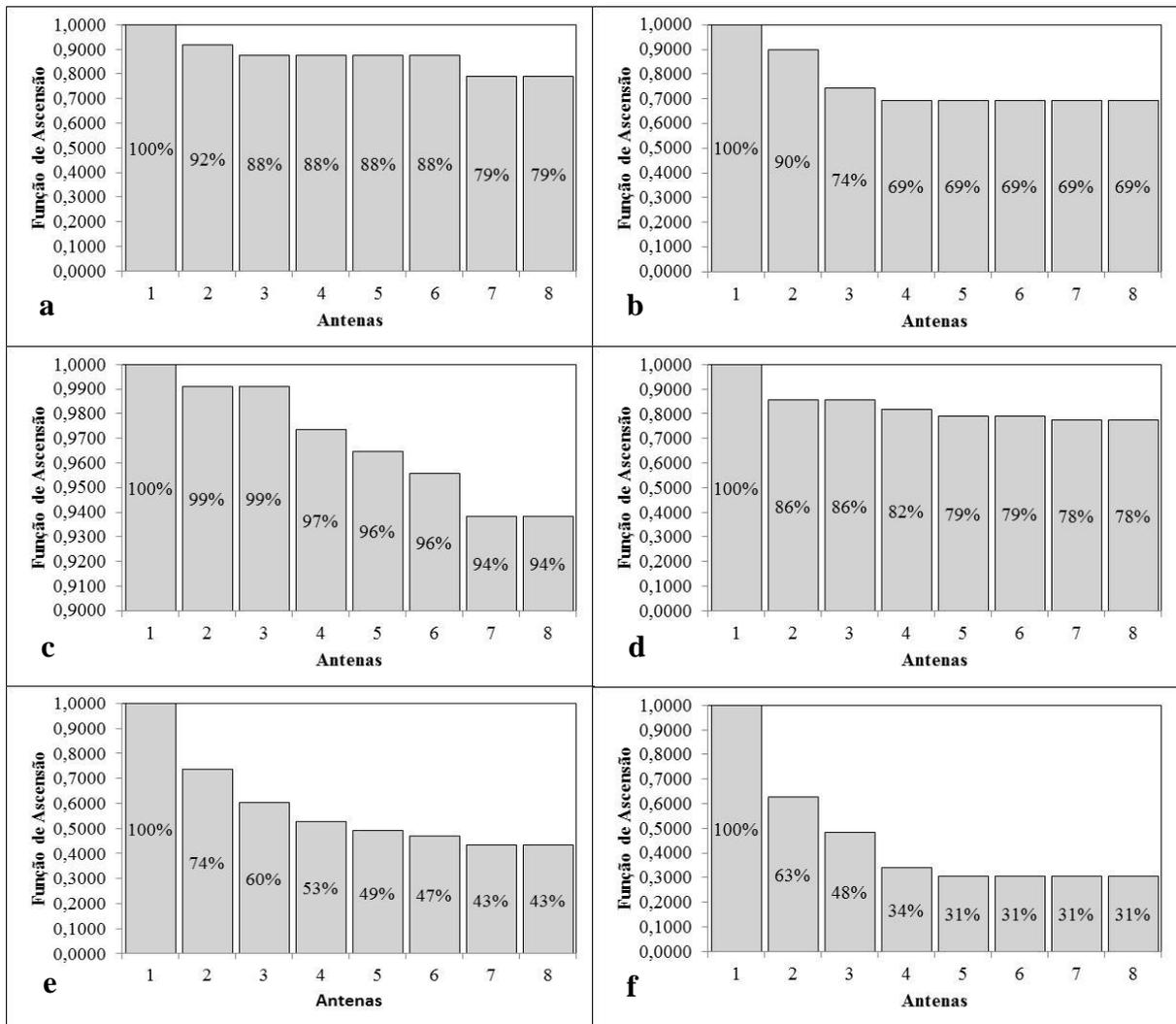


**Fig. 5.** Análise de variância, mediana do tempo de deslocamento entre as espécies.

O uso da Função de Ascensão resultou em valores de probabilidades de ascensão (eficiência) diferenciados entre as espécies estudadas, com probabilidades diminuindo no sentido de jusante a montante, relacionadas a cada ponto médio entre as antenas analisadas.

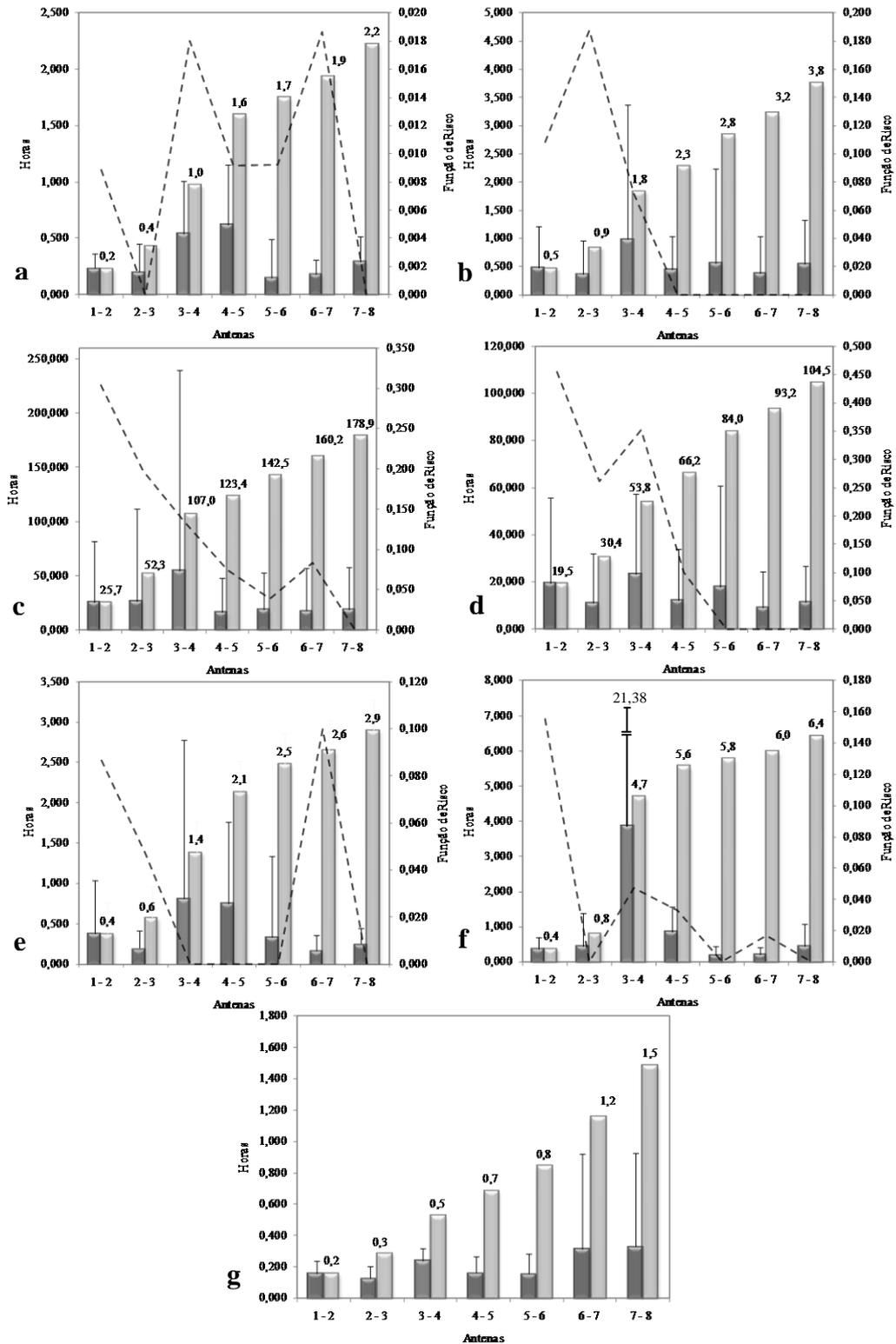
Quanto às análises da eficiência, indivíduos de *B. orbignyana*, liberados unicamente na rampa, obtiveram um padrão de queda do início ao final da escada resultando em uma eficiência de 79% (Fig. 6a). Para *P. lineatus*, foi observado que indivíduos liberados na rampa resultaram em uma pequena taxa de atratividade (Fig. 4c), no entanto, esses indivíduos obtiveram 100% de eficiência de ascensão da escada. Resultado inferior foi obtido para indivíduos desta espécie, quando marcados e liberados no tanque 11, onde 69% destes ascenderam a passagem como um todo (Fig. 6b). *P. mesopotamicus* resultou em estimativas de ascensão com a melhor eficiência em ascender o sistema, sendo que 94% dos indivíduos, liberados na rampa e 78%, para os peixes liberados no tanque 11 ascenderam até a montante da escada (Figs. 6c-d).

Para *R. aspera*, as percentagens de eficiência na movimentação ascendente foram observados valores que reduziram conforme se aproximava da montante da escada. Desde a entrada até a saída do sistema de transposição, foi observado que 43 e 31 % dos indivíduos desta espécie, soltos na rampa e tanque 11 respectivamente, transpuseram o sistema (Figs. 6e-f).



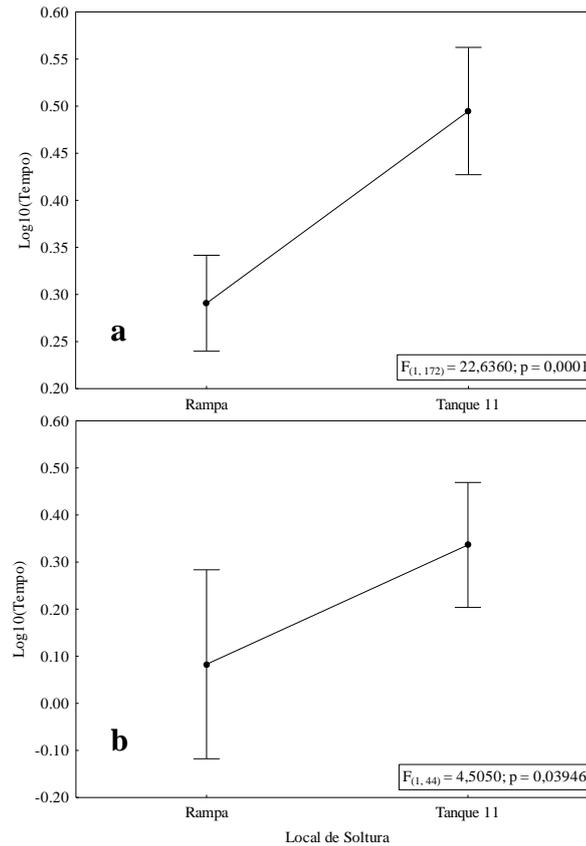
**Fig. 6.** Função de Ascensão representada no ponto médio entre a localização das antenas da escada para peixes. Figura a – *Brycon orbignyanus* (rampa), b – *Prochilodus lineatus* (tanque 11), c – *Piaractus mesopotamicus* (rampa), d – *Piaractus mesopotamicus* (tanque 11), e – *Rhinelepis aspera* (rampa) e f – *Rhinelepis aspera* (tanque 11).

As quantificações do tempo gasto para os deslocamentos na passagem entre as antenas, as espécies analisadas realizaram movimentações mais rápidas nos dois trechos iniciais, ou seja, entre as antenas 1-2 e 2-3. Possivelmente, isso se deve a estes trechos serem locais que requerem uma natação mais rápida, quando comparado com os trechos superiores, como entre as antenas 3-4 e 4-5. Nestes trechos os indivíduos podem ter usufruído do tanque de descanso existente entre aquela seção, para recuperação do dispêndio de energia anterior, podendo acarretar atraso na migração para algumas espécies. Isto pode ser evidenciado pela tendência alta, no trecho inicial e de decréscimo posterior, estimado pela Função de Risco, para a espécie *P. mesopotamicus*, *R. aspera* e *P. lineatus* respectivamente (Fig. 7). Chama atenção dois extremos, ao comparar a espécie *P. lineatus*, que percorreu toda a escada com um tempo médio acumulado de 1,5 horas, com a espécie *R. aspera*, que despendeu 178,9 horas (Fig. 7).



**Fig. 7.** Função de Risco (linha tracejada), tempo médio de deslocamento (horas)  $\pm$  desvio padrão (barras negras), tempo médio acumulado de deslocamento (horas) (barras cinza), entre as antenas da escada para peixes. Figura a – *Piaractus mesopotamicus* (rampa), b – *Piaractus mesopotamicus* (tanque 11), c – *Rhinelepis aspera* (rampa), d – *Rhinelepis aspera* (tanque 11), e – *Brycon orbignyianus* (rampa), f – *Prochilodus lineatus* (tanque 11), g – *Prochilodus lineatus* (rampa).

Diferenças significativas, para o tempo de deslocamento da antena 1 a 8 foi verificado, para os indivíduos marcados e liberados na rampa ou no tanque 11. Para *P. mesopotamicus* ( $F = 22,6360$ ,  $p < 0,05$ ) (Fig.8a) e *P. linetaus* ( $F = 4,5050$   $p < 0,05$ )(Fig. 8b), o teste de Tukey, a posteriori, mostrou que os indivíduos colocados em liberdade na rampa, realizaram os movimentos de subida mais rápido do que os liberados no tanque 11.



**Fig. 8.** Análise de variância, média do tempo de deslocamento (horas)  $\pm$  desvio padrão, entre as espécies. Figura a – *Piaractus mesopotamicus* e b – *Prochilodus lineatus*.

## Discussão

Estudos relacionados à atratividade das espécies de peixes, para as entradas dos sistemas de transposição são de grande dificuldade de serem executados. Além dos fatores hidrodinâmicos relacionados ao fluxo, como velocidade, ângulo de entrada no rio, relação entre a vazão do rio e o sistema de transposição, esses são igualmente ligados as características biológicas e físicas de cada espécie a ser analisada. Ressalta-se que os resultados da atratividade deste estudo podem estar tendenciados, devido aos peixes terem sido marcados e liberados na mesma margem (esquerda) do rio, que se encontra a foz da escada.

As taxas de atratividade observadas neste estudo resultaram em valores semelhantes, quando comparados com estudos existentes para espécies de peixes de regiões temperadas. Análises de vários sistemas de passagens de peixes em rios dos Estados Unidos e respectivos estados da Federação: Deerfield (MA), Shetucket (CT), Black (VT), Winooski (VT), Pomigewasset (NH), Penobscot (ME), Columbia (WA), Hudson (NY), e S. Fork Rogue (OR) entre os anos 1992 e 2003 (FERC, 2004), constataram efetividades entre 3 a 100% para espécies de Salmão do Atlântico, juvenis de Clupeídeos, juvenis de Salmão (Chinook) e Truta Arco-íris. Foi observado que o salmão do Atlântico, o *American Shad* e arenques de rio obtiveram resultados entre 45 e 67% respectivamente. Winter (2007) verificou eficiência de 6, 8 e 21%, durante o mês de abril de 1996, totalizando 11,2% até o mês de junho, com tempo médio de 57 horas no sistema de Vechterweerd. Destes peixes, foram detectados em mais dois sistemas acima deste local: dos 38 indivíduos encontrados em Vechterweerd, 1 chegou até Hardenberg (quinta barragem acima) e de Haandrik (sexta barragem acima) no giro de 9 dias. Já em estudos relacionados aos anos de 1998 e 1999 usando a técnica da marcação por telemetria, foram detectados registros de 10 peixes entre 13 marcados em Vechterweerd; em Weir Vilsteren, 100% dos peixes marcados foram detectados; para os 10 peixes marcados em Vilsteren-Junne, 4 alcançaram o sistema; e em Zwarte Meer, dos 25 marcados, 7 transpuseram a passagem.

Estudos realizados por Bunt *et al.* (1999) na represa de Mannheim, localizada na província de Ontário –Canadá, estimaram taxas de atratividade e eficiência de passagem, de duas escadas para peixes, construídas uma em cada margem do rio. A edificada na margem oeste possui baixas velocidades e uma declividade de 10%, já a da margem leste desempenha altas velocidades para um declive de 20%. Os estudos foram realizados através de marcação e recaptura, e utilização de técnicas de rádio telemetria. Durante seus estudos foram marcados

peixes da espécie *Catostomus commersoni* (White suckers), com uma taxa estimada de 50 e 59% da atratividade para a passagem oeste e leste, respectivamente. Foram marcados ainda indivíduos de *Micropterus dolomieu* (Smallmouth bass), obtendo como estimativas 82% na passagem oeste e 55% na passagem leste, levando em conta a atratividade. Em Aarestrup *et al.* (2003), estudos relacionados a eficiência da passagem para a espécie *Salmo trutta* na Dinamarca, 100% dos indivíduos marcados e soltos a jusante da passagem, encontraram o sistema.

As estimativas de eficiência de ascensão resultantes deste estudo, maiores valores para a espécie *P. mesopotamicus* (94%) e menores para *R. aspera* (31%), foram condizentes com taxas obtidas para espécies de outros países. Análises da eficiência de uma passagem para peixes constataram que 60% dos indivíduos de *Salmo trutta* marcados ascenderam todo o sistema: o canal foi subdividido em três seções: A, B, e C, com porcentagem de peixes detectados em 94, 67 e 67%, respectivamente (Aarestrup *et al.*, 2003). Winter (2007) analisou várias opções de passagens para peixes (canal passagem, lacunas na barragem e locais desconhecidos) e relatou que, em Vechterweerd, Países Baixos, dos 6 peixes marcados, todos utilizaram o canal de passagem na barragem Vilsteren, porém, não foi detectado nenhum peixe em Vilsteren-Junne. Dos 4 indivíduos marcados, 1 passou pelo canal e os outros 3 em locais desconhecidos. Em Zwarte Meer, 2 indivíduos utilizaram o canal de passagem e 1 passou por lacunas na barragem, dos 3 peixes marcados. Bunt *et al.* (1999), que analisaram a eficiência de duas escadas, observaram taxas de 55 e 38%, para *Catostomus commersoni* (White suckers) e de 36 e 33% de eficiência na passagem como um todo para *Micropterus dolomieu* (Smallmouth bass). Estudos realizados por Makrakis *et al.* (2010) relataram que no sistema de transposição para peixes, nominado como Canal da Piracema, na UHE – Itaipu Binacional, com 10km de extensão, apenas 0,5% dos peixes migradores analisados foram capazes de alcançar as partes mais a montante do canal e potencialmente o reservatório.

Na construção de reservatórios, os impactos mais relevantes incidem sobre a ictiofauna, especialmente aos peixes migradores, interceptando suas rotas migratórias, controlando os regimes hidrológicos, reduzindo os habitats de desova e criadouros (Agostinho *et al.*, 2007). De acordo com Vazzoler *et al.* (1997), peixes da espécie *B. orbignyanus*, tem seu pico de desova entre os meses de dezembro e janeiro. Já Ringuelet *et al.* (1967), relatam que *P. mesopotamicus* realiza suas desovas durante o período de outubro a janeiro. As desovas das espécies *P. lineatus* e *R. aspera* segundo (Agostinho *et al.*, 2003) ocorrem durante os meses de outubro a janeiro de cada ano. Valores resultantes do tempo médio acumulado para que as espécies encontrem a entrada da escada e realizem a subida até a montante no reservatório,

resultou num valor máximo de 87,12 dias e mínimo de 14,35 dias. Considerando os tempos necessários para as referidas espécies, realizarem o movimento de migração, transpor toda a passagem para peixes, até a chegada aos trechos superiores, locais passíveis de utilização para as espécies migradoras realizarem a desova. As espécies necessitam transpor a barragem e encontrar em tempo hábil os locais propícios nos trechos superiores, sem que não ocorra atraso em sua reprodução. Os tempos observados neste estudo, nos deixa com uma incerteza se algumas dessas espécies analisadas terão êxito em encontrar a entrada da escada, ascenderem com relativa eficiência e encontrar o habitat propício para realizarem a reprodução.

A estimativa demonstrada com análise de risco, associado as demais análises do estudo, as maiores dificuldades dos peixes estão em ascender a porção inicial do sistema de transposição. Entretanto, nesta porção as espécies analisadas realizam um movimento mais rápido, possivelmente devido à necessidade de vencer velocidades elevadas. A velocidade da água afeta a velocidade de natação dos peixes (Larinier, 2002b). Teoricamente, quanto maior o desnível, maiores as velocidades de fluxo e conseqüentemente maior a seletividade e incapacidade de transposição (Martins, 2005). Ainda, a eficiência está intimamente relacionada à velocidade da água, as quais devem ser compatíveis com a capacidade natatória das espécies de interesse e falhas na ascensão sugerem alterações de engenharia (Makrakis *et al.*, 2010), através do uso de dissipadores de energia, pode ser possível a redução das velocidades (Clay, 1995; Bilgil, 2003), tais como defletores ou chicanas feitos de concreto ou rochas, colocados em locais estratégicos (Makrakis *et al.*, 2010).

Os resultados deste estudo, quanto às diferenças nos locais de marcação e soltura, bem como os tempos despendidos pelas espécies, sugerem maiores estudos, incluindo as outras espécies alvo. O tempo necessário para encontrar a passagem e vencê-la, concomitante ao período migratório (piracema) deverá ser analisado com maior precisão, considerando se as referidas espécies migradoras de longa distância conseguem atingir os sítios reprodutivos favoráveis, ou seja, os tributários existentes a montante da barragem, e poderem realizar sem atraso a reprodução.

Embora a literatura possua relatos para passagens de peixes anádromos, temos escassos relatos de qualquer estudo de sucesso ou fracasso, de tentativas individuais ou em grupos, que sejam avaliados, para gerar estimativas da atratividade e da eficiência da passagem para as espécies de peixes neotropicais. Estudos relacionados a espécies de peixes neotropicais apenas relatam a porcentagem de espécies presentes nos sistemas de transposição, a frente da quantidade total de espécies catalogadas para região de estudo.

Dados disponíveis na literatura demonstram que grande parte dos sistemas de transposição da América do Sul possui falhas com a seletividade das espécies. A escada para peixes da UHE Engenheiro Sergio Motta demonstrou ser relativamente atrativa e eficiente para as espécies estudadas, verificando-se locais de limitação para algumas das espécies, principalmente na porção inicial a entrada. Futuros estudos com a utilização do sistema RFID, associado à análise de sobrevivência, poderão correlacionar com covariáveis como a velocidade de fluxo, da declividade, profundidade, que deverão ser realizados para subsidiar possíveis ajustes nesta passagem para peixes (Makrakis *et al.*, 2010).

Associado ao uso do sistema RFID, com marcações e liberação das espécies alvo em ambas as margens do rio, e a utilização de câmeras de vídeo na escada, para realização de contagens de peixes, bem como, para avaliar o comportamento natatório dos peixes, e a realização de coletas de peixes para verificação de estádios de maturação, poderão fornecer informações de quantificação, obter padrões de movimentos natatórios, comportamento e biologia mais detalhados das espécies migradoras neotropicais de longas distâncias.

## Referencias Bibliográficas

- Aarestrup, K., M. C. Lucas and J. A. Hansen. 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(3): 160-168.
- Agostinho, A. A., L. C. Gomes and F. M. Pelicice. 2007. *Ecologia e Manejo de Recursos Pesqueiros em Reservatórios do Brasil*. Maringá, EDUE, 507p.
- Agostinho, A. A., L. C. Gomes and H. I. Suzuki. 2002, Efficiency of fish ladders for neotropical ichthyofauna. *River Research and Applications*, 18(3): 299–306, DOI:10.1002/rra.674.
- Agostinho, A. A. 1992. Manejo de recursos pesqueiros em reservatórios. In: XI Encontro Brasileiro de Ictiologia, 106-121.
- Agostinho, A. A., L. C. Gomes, H. I. Suzuki and H. F. Júlio Jr. 2003. Migratory fishes of the Upper Paraná River Basin, Brazil. Pp. 19-98. In: J. Carolsfeld, B. Harvey, C. Ross and A. Baer (Eds.). *Migratory fishes of South America: Biology, Fisheries and Conservation Status*. Victoria, Canada, World Bank, 372p.
- Agostinho, A. A., L. M. Bini, L. C. Gomes, H. F. Júlio Jr, C. S. Pavanelli, C. S. Agostinho. 2004. Fish Assemblages. Pp. 223-246. In: S. M. Thomas, A. A. Agostinho, N. S. Hahn (Eds.). *The Upper Paraná River and its Floodplain physical aspects, ecology and conservation*. Leinden, Netherlands, Backhuys Publishers.
- Allison, P.D. 1995. *Survival analysis using the SAS system: A Practical Guide*. Cary, North Carolina, SAS Institute Inc. 292p.
- Armstrong, J. D., V. A. Braitwaite, and P. Rycroft. 1996 A flat-bed passive intragrated transponder array for monitoring behaviour of Atlantic Salmon parr and other fish. *Journal of Fish Biology*, 48: 539-541.
- Bilgil, A. 2003. Effect of wall shear stress distribution on Manning Coefficient of smooth open rectangular channel flows. *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences* 27: 305–313.
- Bunt, C. B., C. Katopodis, R. S. Mckinley. 1999 .Attraction and Passage Efficiency of White Suckers and Smallmouth Bass by Two Denil Fishways. *North American Journal of Fisheries Management*. American Fisheries Society, 19: 793-803.
- Clay C. H. 1995. *Design of Fishways and Other Fish Facilities*, 2nd edn, Lewis Publishers: Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo; 248p.
- Castro-Santos, T., A. Haro and S. Walker. 1996. A Passive Integrated Transponder (PIT) Tag System for Monitorig Fishways. *Fisheries Research*, 28: 253-261.
- Colosimo, E. A. and S. R. Giolo. 2006. *Análise de sobrevivência aplicada*. São Paulo, Edgard Blüncher, 367p.

- FERC-Federal Energy Regulatory Commission. 2004. Evaluation of migration effectiveness at hydropower projects: fish passage. Office of Energy Projects.
- Godoy, M. P. 1985. Aquicultura: aquicultura-atividade multidisciplinar: escadas e outras facilidades para passagens de peixes; estações de piscicultura. Florianópolis, ELETROSUL. 77p.
- Greenberg, A., and P. S. Giller. 2000. The potential of flat-bed passive integrated transponder antennae for studying habitat use by stream fishes. *Ecology of Freshwater Fish*, 9(1): 74-80.
- Hahn, N. S., I. F. Andrian, R. Fugi, and V. L. L. Almeida. 1997. Ecologia trófica. Pp. 209-228. In: Vazzoler, A. E. A. de M., A. A. Agostinho, and N. S. Hahn (Eds.). A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. Maringá, EDUEM, 460p.
- Hahn, N. S.; Fugi, R.; Andrian, I. F., 2004: Trophic ecology of fish assemblages. Pp. 247-269. In: The Upper Paraná River Floodplain: physical aspects, ecology and conservation. S. M. Thomaz, A. A. Agostinho, N. S. Hahn (Eds.). Leiden, Netherlands, Backhuys Publishers.
- Larinier, M. 2001. Environmental issues, dams and fish migration. Pp. 45-89 In: G. Marmulla, (Eds.). Dams, Fish and Fisheries: Opportunities, Challenges and Conflict Resolution. FAO Fisheries Technical Paper. Rome, 419p.
- Larinier, M. 2002a. Fishways: general considerations. Pp. 21-27 In: Larinier, M.; Travade, F.; Porcher, J. P. (Eds.). Fishways: Biological Basis, Design Criteria and Monitoring, Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture. Conseil Supérieur de la Pêche. Paris, 364p.
- Larinier, M. 2002b. Biological factors to be taken into account in the design of fishways, the concept of obstruction to upstream migration. Pp. 28-38. In: Larinier, M., F. Travade, J. P. Porcher (Eds.). Fishways: Biological basis, design criteria and monitoring. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 364 p.
- Lucas, M. C., E. Baras, T. J. Thom, A. Duncan, O. Slavik. 2001. Migration of freshwater fishes. Oxford, Blackwell Science Ltd, 420p.
- Makrakis, S. 2007. O Canal da Piracema como sistema de transposição de peixes. Ph.D. Dissertação, Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 60p.
- Makrakis, S., L. E. Miranda, L. C. Gomes, M. C. Makrakis and H. M. F. Junior. 2010. Ascent of Neotropical Migratory Fish in the Itaipu Reservoir Fish Pass. *River Research and Applications*. John Wiley & Sons, Ltd. DOI: 10.1002/rra.1378.
- Martins, S. L. 2005. Sistemas para a transposição de peixes neotropicais potamódromos. Ph.D. Dissertação. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 468p.
- McFarlane, G. A.; R. S. Wydoski & E. D. Prince. 1990. Historical review of the development of external tags and marks. *American Fisheries Society Symposium*, 7:9-29.
- Nilsen, L. A. 1992. Methods of Marking Fish and Shellfish. *American Fisheries Society Special Publication*, 23.

- Northcote, T. G. 1978. Migratory strategies and production in freshwater fishes. In: S. D. Gerking (Eds.). *Ecology of Freshwater Fish Production*. Oxford, Blackwell Science Ltd, 326p.
- Northcote, T. G. 1984. Mechanisms of fish migration in rivers. In: J. D. Mclave, G. P. Arnold, J. J. Dodson and W. H. Neill (Eds.). *Mechanisms of Migration in Fishes*. Plenum, New York, 317p.
- Parker, N. C., A. E. Giorgi, R. C. Heidinger, D. J. Douglas, E. D. Prince, and G. A. Winans. 1990. Fish-marking techniques. *American Fisheries Society Symposium*, 879p.
- Prentice, E. F., T. A. Flaag, and S. Mccutcheon. 1990. Feasibility of using implanted passive integrated transponder (PIT) tags en salmonids. *American Fisheries Society Symposium*, 7: 317-322.
- Petts, G. E. 1984. *Impounded Rivers. Perspectives for Ecological Management*. Chichester, U. K., Wiley, 326p.
- Prosser, N. S. 1986. An overview of reservoir fishes problems and opportunities resulting from hydropower. Pp. 238-246 In: G. E. Hall and M. J. Van Den Avyle (Eds.). *Reservoir fishes management: strategies for 80's*. Reservoir Committee, Southern Division American Fishes Society. Bethesda, Maryland.
- Quiròs, R. 1988. *Structure Assisting Migrations of Fish Other than Salmonids: Latin America*. FAO-COPESCAL Tech. Doc. N° 5, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 50p.
- Resende EK. 2003. Migratory fishes of the Paraguay–Paraná Basin excluding the Upper Paraná River. In ,Carolsfeld J, Harvey B, Ross C, Baer A (eds). *Migratory Fishes of South America: Biology, Fisheries and Conservation Status*. World Bank: Victoria; 99–155.
- Ringuelet, R. A.; Aramburu, R. H.; Aramburu, A. A., 1967: *Los peces argentinos de agua dulce*. Comision de Investigacion Cientifica. La Plata, 602p.
- SAS Documentation. 2009. The Lifetest Procedure. Pp. 3098-30183. In: *SAS/Stat 9.2 User's Guide the Lifetest procedure (Book Excerpt)*. Cary, North Carolina, SAS Institute Inc.
- Stasko, A. B., and D. G. Pincock. 1977. Review of underwater biotelemetry, with emphasis on ultrasonic techniques. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 34(9): 1261-1285.
- Suzuki HI, Vazzoler AEAM, Marques EE, Lizama MLAP, Inada P. 2004. Reproductive ecology of fish assemblages. In Thomaz SM, Agostinho AA, Hahn NS (eds). *The Upper Paraná River Floodplain: Physical Aspects, Ecology and Conservation*. Backhuys Publishers: Leiden; 271–292.
- Vazzoler, A. E. A. de M., H. I. Suzuki, E. E. Marques, and M. de Los A. P. Lizama. 1997. Primeira maturação gonadal, períodos e áreas de reprodução. Pp. 249-265. In: Vazzoler, A. E. A. de M., A. A. Agostinho and N. S. Hahn (Eds.). *A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos*. Maringá, EDUEM, 460p.

Winter, E. 2007. A fisheye view on fishways. Ph.D. Dissertation, University the Netherlands, Wageningen.

Wisniewolski, W. & J. Nabeliek. 1993. Tag retention and survival of fish tagged in controlled pond experiment. *Aquatic Sciences*, 55(2): 143 – 152.

Zar, J. H. 1999. *Biostatistical Analysis*. Upper Saddle River, NJ, Prentice-Hall Inc. 663p.