



**XX SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
XXX.YY  
22 a 25 Novembro de 2009  
Recife - PE

**GRUPO - XI**

**GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS - GIA**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA ESCADA PARA PEIXES DA UHE ENGENHEIRO SERGIO MOTTA – CESP,  
RIO PARANÁ (ROSANA – SÃO PAULO)**

**Sergio Makrakis\***  
**UNIOESTE**

**Sergio Issao Fukushima**  
**UNIOESTE**

**Ricardo Luiz Wagner**  
**UNIOESTE**

**Pitágoras Augusto Piana**  
**UNIOESTE**

**João Henrique Pinheiro Dias**  
**CESP**

**RESUMO**

O presente estudo avaliou a eficiência de ascensão de peixes migradores, na escada para peixes da UHE Engenheiro Sergio Motta – CESP, de outubro/06 a setembro/07, aplicando a análise de sobrevivência, através das funções de ascensão e de risco. Foram amostrados 4.350 peixes de sete espécies, em três degraus-tanques. As quantidades amostradas foram de 36% no tanque Foz, 38% no Meio e 26% no Tomada. Das espécies analisadas, *Pimelodus maculatus* e *Rhinelepis aspera*, apresentaram a menor taxa da Função de Ascensão, em torno de 10% no tanque Tomada, enquanto que *Prochilodus lineatus* obteve maiores resultados, atingindo 40% no sucesso de ascensão.

**PALAVRAS-CHAVE**

Peixes migradores, escada para peixes, análise de sobrevivência, função de ascensão, função de risco

**1.0 - INTRODUÇÃO**

No Brasil, com o desenvolvimento econômico no início do século XX, gerado por indústrias e o crescimento de cidades brasileiras, houve grande demanda de energia elétrica (VALENCIO; GONÇALVES; VIDAL; MARTINS; RIGOLIN; LOURENÇO; MENDONÇA; LEME, 1999 *apud* AGOSTINHO *et al.*, 2007). Com o incentivo do governo e o aprimoramento tecnológico a partir da década de 70, foram construídos grandes reservatórios destinados a geração hidrelétrica, sendo que a maior parte dos represamentos para os mesmos fins está localizada na região sul e sudeste (AGOSTINHO *et al.*, 2007).

A bacia do Paraná compreende cerca de 150 grandes reservatórios, sendo 104 destinados a usinas hidrelétricas (AGOSTINHO *et al.*, 2007) e, dentre as maiores, está a UHE Engenheiro Sergio Motta – CESP, no município de Rosana/SP, precisamente no distrito de Porto Primavera, que apresenta dois sistemas de transposição para peixes (escada e elevador). A escada foi construída com o intuito de permitir o acesso dos peixes migradores para montante, visto que nesse reservatório existem tributários que podem ser propícios à reprodução e desenvolvimento inicial de espécies migradoras.

Com o represamento de rios, os peixes migradores não têm o livre acesso para áreas de reprodução e/ou alimentação a jusante ou montante (MARMULLA, 2001), podendo ocorrer a redução de estoques ou mesmo a extinção local pela falha no recrutamento (MARTINS, 2000). Para minimizar tais impactos é preciso conhecer as características e necessidades fisiológicas de peixes potamódromos brasileiros, que possam fazer o uso de sistemas de transposição.

As escadas para peixes são sistemas de transposição, sendo concebidas para reduzir a velocidade da água e o gradiente, de maneira que eles possam ascender e passar pela barragem de forma eficiente (AGOSTINHO *et al.*,

(\*) Rua da Faculdade, n° 645 – Jardim La Salle – CEP 85.903-000 - TOLEDO, PR, – Brasil  
Tel: (+55 45) 3379-7080 – Fax: (+55 45) 3379-7002 – Email: makrakis@terra.com.br

2007). Para que isso ocorra é necessário atraí-los para um ponto específico, onde possam encontrar o sistema de transposição (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. A utilização da análise de sobrevivência para avaliação de escadas para peixes, através das funções de ascensão e de risco, pode ser um instrumento adequado para detectar possíveis pontos ou locais da escada, que estejam dificultando a passagem ou mesmo impedindo a ascendência dos peixes (MAKRAKIS, 2007). Uma vez identificados os locais de risco, podemos otimizar as variáveis hidrológicas que possam estar impondo limitações e melhorar a ascensão de peixes migradores, permitindo que esses possam alcançar os tributários a montante, para a reprodução e desenvolvimento inicial, contribuindo para a manutenção dos estoques de peixes para este trecho da bacia do rio Paraná.

Assim o presente estudo tem como objetivo avaliar a eficiência de ascensão de peixes migradores, na escada para peixes da UHE Engenheiro Sergio Motta – CESP, aplicando a análise de sobrevivência, através das funções de ascensão e de risco.

## 2.0 - MATERIAIS E MÉTODOS

A UHE Engenheiro Sergio Motta com potência instalada de 1.800 MW, pertencente a 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 Porto Primavera. O represamento do rio Paraná, com total 13 km de comprimento, é composto por uma barragem de terra de 12 km, complementando aquela distância pelo vertedouro e a casa de força em concreto.

Com uma extensão total de 520 m para vencer um desnível de 20 m, o projeto da escada para peixes na UHE Engenheiro Sergio Motta, se inicia na cota 255,50 m (tomada d'água do dispositivo) e termina na cota 235,50 m, desaguando no lado esquerdo do canal de fuga da casa de força, onde mergulha com um ângulo horizontal de 45° em relação ao fluxo do leito principal do rio Paraná. É constituída de uma calha inclinada de seção retangular, com 5 m de largura e 2 m de altura. Os degraus da escada são formados por 50 paredes transversais, com espaçamento de 8 m 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.

### 2.1 Coleta de dados

Para realização deste trabalho, as coletas foram realizadas mensalmente, resultando em 10 coletas, nos meses de outubro a dezembro de 2006 e nos meses de janeiro a março, e de junho a setembro de 2007. As coletas foram realizadas na escada para peixes da UHE Engenheiro Sergio Motta-CESP, através de monitoramentos a cada 8 horas (8:00, 16:00 e 24:00 horas), durante 2 dias consecutivos; sendo executadas em 3 degraus-tanques da escada, (próximo a foz da escada, o segundo no setor intermediário e o terceiro próximo a tomada de água), aqui denominados tanques Foz, Meio e Tomada, respectivamente. Anteriormente a contagem dos peixes nesses degraus-tanques, os orifícios das entradas e saídas foram fechados com o uso de telas de metal, para evitar o escape e/ou retorno dos indivíduos já amostrados. As amostragens foram feitas através dos seguintes procedimentos:

- Redução gradativa da vazão da escada e retenção dos peixes nos pontos selecionados através do fechamento das portas móveis das paredes transversais dos degraus-tanques;
- Captura dos peixes retidos através de redes de arrasto, tarrafa e de puçás; os peixes capturados foram colocados em recipientes, tipo engradado, que permitia a total renovação/oxigenação da água;
- Os peixes capturados foram identificados e contados;
- Após o procedimento anterior os peixes foram soltos novamente no degrau-tanque superior e a adução retomada.

### 2.2 Análise de dados

Para as análises de dados, foram consideradas apenas as espécies migradoras, com amostragem acima de 50 indivíduos.

#### 2.2.1 Função de ascensão

Para quantificar a eficiência na ascensão dos peixes na escada, foi utilizada a análise de sobrevivência (ALLISON, 1995). Para análise, foi adotada como variável resposta a ocorrência de peixes, assumindo o movimento dos peixes no sentido ascendente da escada para peixes da UHE Engenheiro Sergio Motta, devido ao período das

coletas concentrar na estação reprodutiva (piracema). Para os cálculos, foram utilizadas quantidades de espécies de peixes migradoras amostradas, conforme a coleta de dados e das técnicas estatísticas descritas a seguir. As funções de ascensão foram estimadas com o Procedimento Tabela de Vida (SAS, 1999) e representa a verossimilhança (*likelihood*) de ascensão dos peixes para os sucessivos degraus-tanques da escada para peixes.

A probabilidade ( $\hat{Q}$ ) de um peixe, ascendendo para o degrau-tanque  $i$  ( $t_i$ ) ou além é:

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

onde  $q_j$  representa a probabilidade de falhar na ascensão além do degrau-tanque  $j$ . Para  $t_i = 0$ , a probabilidade de ascensão foi definida como 1,0. Os eventos foram considerados como censos aleatórios, devido as observações serem terminadas por razões não controláveis (isto é, o peixe pode escolher em parar o movimento ascendente, retornar descendente, morrer ou outras possibilidades).

### 2.2.2 Função de risco

Para dados contínuos de ascensão, a Função de falha ou risco (Hazard function), quantifica o risco instantâneo que um evento irá ocorrer em determinado degrau-tanque ( $t$ ). Como os degraus-tanques são contínuos, a probabilidade de ocorrência de um evento em um determinado degrau-tanque  $t$  é necessariamente zero, ou a probabilidade de que o evento ocorra em um pequeno intervalo entre  $t$  e  $t+\Delta t$ . Porém, o interesse na falha (Hazard) é que ela fornece estimativas para a Função de Risco no ponto médio entre cada degrau-tanque amostrado da escada. Isto é calculado de acordo com a seguinte equação (SAS, 1999):

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

onde, para o  $i$ ésimo degrau-tanque,  $t_{im}$  é o ponto médio,  $d_i$  é o número de evento (número de evento de peixes capturados no degrau-tanque),  $n_i$  é o número ainda em falha no início do degrau-tanque. A forma do gráfico de risco pode mostrar se o risco é constante, aumenta ou diminui ao longo da Escada para Peixes. O aumento do risco, num determinado ponto ou trecho da escada, significa diminuição na eficiência da ascensão dos peixes, ou seja, é uma relação inversa da função de ascensão.

### 2.2.3 Velocidades do fluxo

As velocidades do fluxo de água foram medidas com o uso de medidor com bulbo magnético. Foram mensuradas velocidades nos tanques 3, 8, 11, 18, 23, 29, 36, 43, 48 e 49, anteriormente escolhidos aleatoriamente. Foram considerados os três primeiros tanques 3, 8, 11 e relacionados ao tanque Foz. Para o tanque do Meio, os degraus-tanques 18, 23, 29, e 36, 43, 48 e 49 para o tanque Tomada. Em cada degrau-tanque também foram medidas as velocidades nos orifícios superior direito, inferior direito, superior meio, inferior meio, superior esquerdo e nas margens direita acima, direita meio, direita abaixo, esquerda acima, esquerda meio, esquerda abaixo. As velocidades foram obtidas conforme os trechos considerados, respectivamente para os tanques Foz, Meio e Tomada. Para avaliar o efeito das velocidades sobre a ascensão, entre as Ordens Characiformes e Siluriformes, foi utilizada a análise de covariância (ANCOVA).

## 3.0 - RESULTADOS

Foram amostrados 4.350 peixes das sete espécies (*Leporinus elongatus*, *Leporinus friderici*, *Prochilodus lineatus*, *Leporinus obtusidens*, *Schizodon borellii*, *Pimelodus maculatus* e *Rhinelepis aspera*), sendo 36% dos peixes amostrados no tanque Foz, 38% no tanque Meio e 26% no tanque Tomada (Tabela 1).

TABELA 1 – Quantidade de peixes amostrados nos degraus tanque Foz, Meio e Tomada.

<b>Espécies</b>	<b>Foz</b>	<b>Meio</b>	<b>Tomada</b>	<b>Total</b>
<i>Leporinus elongatus</i>	63	38	33	134
<i>Leporinus friderici</i>	395	428	347	1170
<i>Leporinus obtusidens</i>	37	11	25	73
<i>Pimelodus maculatus</i>	644	125	97	866
<i>Prochilodus lineatus</i>	28	794	517	1339
<i>Rhinelepis aspera</i>	349	237	65	651
<i>Schizodon borellii</i>	60	22	35	117

Para a espécie *L. elongatus* ver Figura 1 - (a), houve declínio em relação à movimentação ascendente, sendo que dos 134 *L. elongatus*, menos de 25% chegaram ao tanque Tomada. Já na função de risco observou-se aumento desde a Foz até a Tomada, com uma diminuição do risco da seção central da escada até a tomada de água; provavelmente os indivíduos que chegaram até o meio tiveram uma maior facilidade de alcançar o reservatório.

Para *L. friderici* foi observado um comportamento semelhante, onde 30% chegaram ao tanque tomada, constatados no gráfico de Análise de Sobrevivência Figura 1 - (b). Para a função de risco, o aumento foi gradativo a medida que se aproximava da tomada de água, indicando diminuição da ascensão para esta espécie.

Em relação a *L. obtusidens* ver Figura 1 - (c), observou-se aproximação do seu comportamento com os demais *Leporinus* estudados. Desses, 34% chegaram ao tanque tomada enquanto a Função de Risco diminuiu da metade até o final da escada, podendo esta espécie ter usufruído dos tanques de descansos.

A análise de sobrevivência de *P. lineatus* evidencia o maior sucesso de ascensão entre todas as espécies analisadas. Cerca de 40% dos indivíduos conseguiram vencer o sistema de transposição. Esta espécie apresentou menor dificuldade até a metade do sistema (tanque Meio), observado no gráfico de função de risco, Figura 1 - (d). De posse deste resultado, pressupõe-se que *P. lineatus* tem maior dificuldade em ascender do trecho da seção intermediária até a Tomada de água.

*S. borellii* teve comportamento similar a *L. obtusidens*, resultando em ascensão menor que 30%, ver Figura 1 - (g) com a Função de Risco diminuindo a partir da parte central do sistema.

Chamam atenção *R. aspera*, Figura 1 - (f) e *P. maculatus*, Figura 1 - (e), ambas Siluriformes, que apresentaram resultados semelhantes quanto a eficiência em transpor a escada, e inferiores as demais espécies, ou seja, menos de 10% conseguiram ascender até o tanque Tomada.

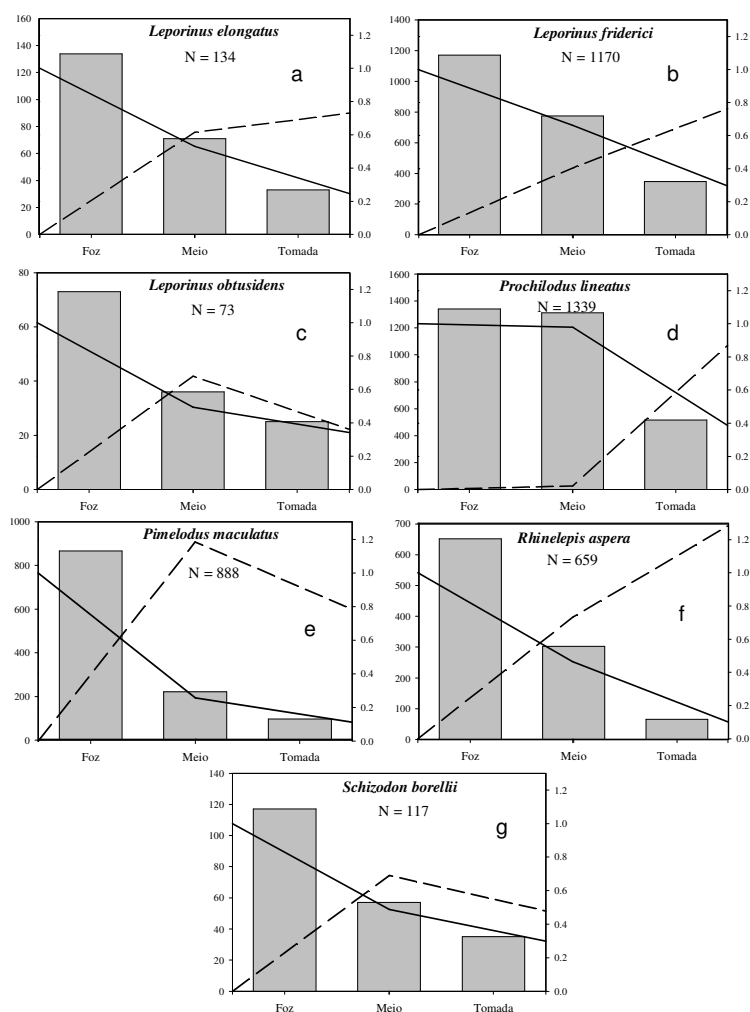


FIGURA 1 - Função de ascensão (linha contínua), Função de Risco (linha tracejada); Eixo y direito, número de indivíduos; Eixo y esquerdo, taxa de sobrevivência e risco; Eixo x, local de amostragem.

Em relação a velocidade de fluxo foram registradas as velocidades média, máxima e mínima de cada localidade (Tabela 2). Em cada degrau-tanque obteve-se diferentes velocidades do fluxo. Os melhores resultados das correlações lineares ( $R^2$ ) foram para as velocidades médias, referentes aqueles degraus-tanque relacionados com os tanques Foz, Meio e Tomada (Figura 2).

TABELA 2 - Velocidades média, máxima e mínima nos degraus-tanque.

Tanque	Média	Máxima	Mínima
Tomada	1,52	3,56	0,05
Meio	1,44	3,10	0,12
Foz	1,42	3,23	0,05

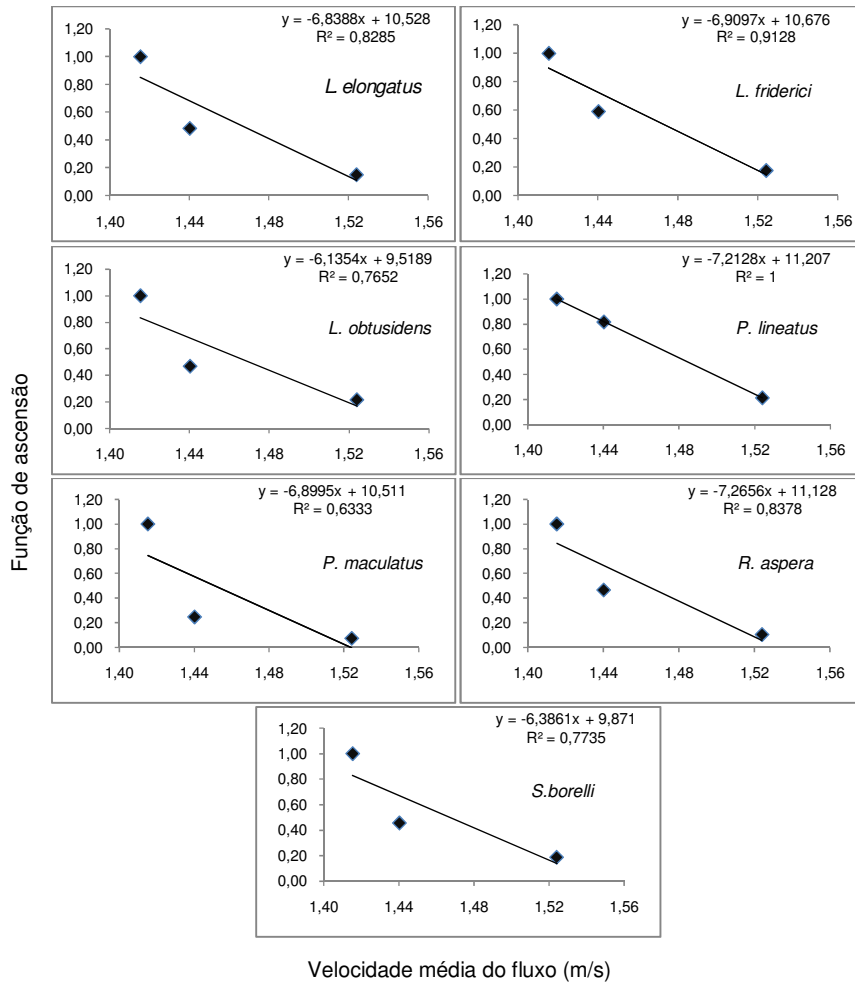


FIGURA 2 – Correlações da função de ascensão com a velocidade média do fluxo entre os tanques Foz, Meio e Tomada.

As correlações resultaram em valores elevados de  $R^2$ , sendo o menor valor de 0,63 para *P. maculatus* e o maior valor de 1,0 para *P. lineatus*. Nota-se que as espécies estudadas variaram no resultado final, ao correlacionar com a velocidade média do fluxo, ou seja, algumas espécies apresentam maiores dificuldades em ascender do que outras. A movimentação ascendente diminuiu com o aumento da velocidade. A magnitude deste efeito, observou-se variações entre os Characiformes (*L. obtusidens*, *L. friderici*, *L. elongatus*, *P. lineatus* e *S. borelli*) e Siluriformes (*P. maculatus* e *R. aspera*). Os resultados da Análise de Covariância (ANCOVA) mostrou para Characiformes serem mais eficientes em ascender a escada em relação aos Siluriformes ( $F_{(1, 17)} = 10,5585$ ,  $p = 0,004718$ ) (Figura 3).

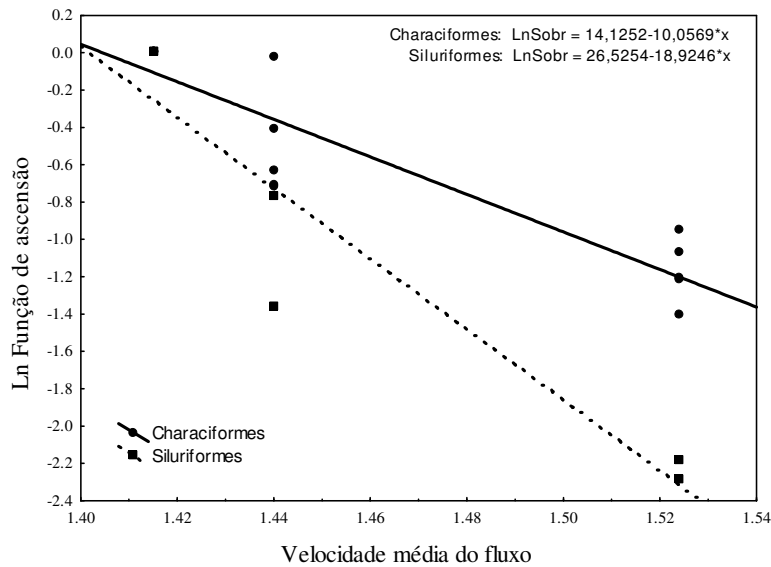


Figura 3 - Diferença entre Characiformes e Siluriformes, com correlação do Ln da Função de ascensão e a velocidade de fluxo nos Tanques Foz, Meio e Tomada.

#### 4.0 - DISCUSSÃO

Os resultados devem ser considerados como valores estimados, pelo fato dos peixes amostrados terem sofrido influências da manipulação, quando da redução da descarga de água, necessária para a efetivação das capturas, conforme a metodologia. A redução do fluxo pode acarretar perdas da atração na entrada (Foz) e ao longo da escada. Ainda, as constantes reduções e retomadas do fluxo, a cada 8 horas, para realização das amostragens, podem ter efeitos sobre os peixes, resultando em erros cumulativos, como eles ficarem parados na Foz, ou ao longo da escada, ocasionando redução da abundância da Foz a Tomada.

A função de risco mostrou que para a maioria das espécies estudadas houveram aumentos crescentes do risco, ao longo da escada, possivelmente devido ao desenho da escada, impondo restrições de ascensão da maioria das espécies, como altas velocidades do fluxo e excesso de turbulência. Para algumas espécies como *L. obtusidens*, *S. borellii* e relativamente *L. elongatus*, nos trechos intermediários, o risco cai, possivelmente devido aos tanques de descanso existentes nos trechos intermediários permitirem uma ligeira recuperação dos peixes e consequente aumento do sucesso na ascensão da escada. Já para os Siluriformes *R. aspera* e *P. maculatus* foi observado um aumento da função de risco desde a Foz até o tanque Tomada, o que pode ser devido estas espécies, que apresentam a característica de natação de fundo, terem capacidades limitadas em nadar e/ou saltar, principalmente aquelas altas velocidades do fluxo, existentes nos orifícios dos degraus-tanques da escada. Em relação a velocidade, Haro *et al.* (2004) e Castro-Santos (2004) conduziram experimentos com fluxos d'água para diferentes espécies de peixes, e obtiveram resultados variáveis de acordo com a temperatura da água e com o tamanho do corpo do indivíduo. Santos *et al.* (2007) obtiveram resultados semelhantes, onde as espécies com maiores comprimentos totais detinham maior capacidade natatória.

A escada de peixes da UHE Engenheiro Sergio Motta foi concebida para que espécies migradoras de diferentes tamanhos pudessem alcançar o reservatório. Os testes foram realizados em meses distintos, o que pode ocorrer variações na temperatura da água, podendo contribuir para diminuição no sucesso da transposição. Desta forma, o estudo realizado por Piana (2008) sugere que as relações interespecíficas, num processo evolutivo, conduzam as espécies de peixes a apresentarem estímulos de movimentação diferenciados quanto aos fatores regionais e locais, em especial o nível de água e as condições atmosféricas. Assim, é necessário a continuidade nos estudos levando em consideração o tamanho dos indivíduos, e outras covariáveis relacionadas a capacidade natatória para melhor avaliar a eficiência da escada para peixes.

Estudos realizados por Santos *et al.* (2007) mostraram que *L. frederici* para ascender um sistema de transposição deve permanecer em uma velocidade abaixo de 2m/s, sendo que na escada estudada, em alguns pontos, o fluxo ultrapassou os 3m/s o que pode ter corroborado para a diminuição no sucesso da ascensão para esta espécie. Esse mesmo autor, estudando *Leporinus reinhardtii* e *P. maculatus* verificou que indivíduos com 15cm apresentaram velocidades críticas de 1,28m/s e 1,10m/s, respectivamente. Neste mesmo estudo, observou-se valores não uniformes para as velocidades. Medidas maiores que 1,10m/s foram mensuradas e essas podem ser um fator que determinou a ascensão de *P. maculatus* pelo sistema. Considerando que as duas espécies que obtiveram menores resultados em movimentos ascendentes são Siluriformes, pode ser que as duas espécies *P.*

*maculatus* e *R. aspera* tenham comportamentos semelhantes e estejam sendo desfavorecidas pelo desenho da escada, que proporciona uma velocidade de água elevada. Deste modo, estudos mais abrangentes de capacidade natatória, com as espécies migratórias de interesse são pertinentes, já que essas espécies necessitam alcançar as áreas favoráveis à reprodução, sem atrasos durante o período reprodutivo, além de serem importantes para a pesca comercial.

Apesar de o sistema sofrer as manipulações para redução do fluxo e a conseqüente influência para os peixes, os resultados nos sugere que possa haver problemas na eficiência ao longo da escada para peixes, para a maioria das espécies avaliadas. Estudos com marcas eletrônicas do tipo PIT-tag e radiotelemetria se fazem necessário para melhor avaliação da eficiência na ascensão das espécies de interesse, por este sistema de transposição.

## 5.0 - CONCLUSÃO

Os resultados da eficiência da ascensão das espécies analisadas, através do uso da análise de sobrevivência, mostraram relativa seletividade deste sistema de transposição, bem como o aumento do risco, até a porção central para algumas espécies analisadas. A velocidade do fluxo mostrou ser uma covariável responsável na redução da ascensão para a maioria das espécies estudadas, com maior eficiência constatada para Characiformes na ascensão da escada para peixes da UHE Engenheiro Sergio Motta.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) AGOSTINHO, A. A; GOMES, L. C; PELICICE, F. M. *Ecologia e Manejo de Recursos Pesqueiros em Reservatórios do Brasil*. 0. ed. Maringá - Paraná: EDUEM, 2007. v. 1. 501 p.
- (2) ALLISON, P.D.. *Survival analysis using the SAS system: a practical guide*. 1995. SAS Institute Inc., Cary, N.C.
- (3) CASTRO-SANTOS, T. Quantifying the combined effects of attempt rate and swimming capacity on passage through velocity barriers. *NRC Research Press. Can J. Fish. Aquat. Sci.* 2004 V. 61. 1602-1615 p.
- (4) CLAY, C. H. *Design of Fishways and other Fish Facilities*, 1995. 2a ed. Lewis Publishers: Boca Raton.
- (5) HARO, A.; CASTRO-SANTOS, T.; NOREIKA, J.; ODEH, M. Swimming performance of opstream migrant fishes in open – channel flow: a new approach to predicting passage through velocity barriers. *NRC Research Press. Can J. Fish. Aquat. Sci.* 2004 V. 61. 1590-1601 p.
- (6) MAKRAKIS, S. O Canal da Piracema como sistema de transposição de peixes. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais), 2007. Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 80p.
- (7) MARMULLA, G. (Edt.) *Dams, fish and fisheries – opportunities, challenges and conflict resolution. FAO Fisheries Technical Paper*, 2001. Rome n. p. 45.
- (8) MARTINS, S. L. Sistemas para a transposição de peixes. 2000. São Paulo,. II. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000. São Paulo, 184f.
- (9) PIANA, P. A. A movimentação de peixes em um mecanismo de transposição do alto Rio Paraná: Influencia dos fatores locais e regionais. Exame Geral de Qualificação (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Universidade Estadual de Maringá, 2008. Paraná, 34f.
- (10) SANTOS, H. A.; POMPEU, P. S.; MARTINEZ, C. B. Swimming performance of the migratory Neotropical fish *Leporinus renhardti* (Characiformes: Anostomidae) *Neotropical Ichthyology*. 2007. v, 5. n, 2. p. 139-146.