

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

**LEANDRO FERNANDES CELESTINO**

Movimentação de duas espécies de Loricariidae através de bueiro em riacho neotropical: desempenho na passagem e comportamento diário

Toledo  
2013

**LEANDRO FERNANDES CELESTINO**

Movimentação de duas espécies de Loricariidae através de bueiro em riacho neotropical: desempenho na passagem e comportamento diário

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: Manejo e Conservação de Recursos Pesqueiros de Águas Interiores

Orientador: Prof. Dr. Sergio Makrakis  
Co-orientadora: Profa. Dra. Elaine A. L. Kashiwaqui

Toledo

2013

Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca Universitária  
UNIOESTE/Campus de Toledo.  
Bibliotecária: Marilene de Fátima Donadel - CRB – 9/924

C392m Celestino, Leandro Fernandes  
Movimentação de duas espécies de Loricariidae através de  
bueiro em riacho neotropical : desempenho na passagem e  
comportamento diário / Leandro Fernandes Celestino. -- Toledo, PR  
: [s. n.], 2013.  
29 f. ; il., tabs., figs.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Makrakis  
Coorientador: Profa. Dra. Elaine A. L. Kashiwaqui  
Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Engenharia de  
Pesca) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Campus de  
Toledo. Centro de Engenharias e Ciências Exatas.

1. Ictiofauna neotropical 2. Loricarídeos (Loricariidae,  
Siluriformes) "cascudo" 3. Peixes - Migração - Passagem 4. Escada  
para passagem de peixes - Migração 5. Peixes neotropicais -  
Capacidade natatória 6. Peixes migradores - Deslocamento 7.  
Marcação eletrônica de peixes (Passive integrated transponder) (PIT-  
tag) 8. Bueiros (Estruturas de transposição do talvegue) I. Makrakis,  
Sergio, Orient. II. Kashiwaqui, Elaine A. L. Orient.. III. T

CDD 20. ed. 639.977  
597.52

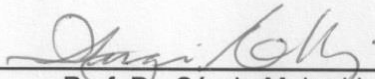
FOLHA DE APROVAÇÃO

LEANDRO FERNANDES CELESTINO

“Movimentação de duas espécies de Loricariidae através de bueiro em riacho neotropical:  
desempenho da passagem e comportamento diário”

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 Examinadora composta pelos membros:

COMISSÃO EXAMINADORA



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



Profª Drª Maristela Cavicchioli Makrakis  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná



Dr. Hélio Martins Fontes Júnior  
ITAIPU Binacional

Aprovada em: 30 de julho de 2013.

Local de defesa: Auditório da UNIOESTE *campus* de Toledo.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família e namorada que sempre me motivaram a continuar lutando independentemente do oponente.

“O amor é paciente, o amor é bondoso. Não inveja, não se orgulha. Não maltrata, não procura seus interesses, não se ira facilmente, não guarda rancor. O amor não se alegra com a injustiça, mas se alegra com a verdade. Tudo sofre, tudo crê, tudo espera, tudo suporta”.

1 Coríntios 13:4-7

## AGRADECIMENTO

Nesta página muito especial deste trabalho, gostaria de agradecer a todos, que contribuíram diretamente ou indiretamente nesta jornada.

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus pela existência e pela capacidade de pensamento dos seres humanos.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Sergio Makrakis, que sempre acreditou em nossa pesquisa e contribuiu maciçamente com a fundamentação teórica e a realização deste trabalho, e que mais do que um orientador um amigo, que sempre me incentivou e ainda continua incentivando a pesquisa e a vida acadêmica.

Agradeço a minha co-orientadora Prof. Dra. Elaine Antoniassi Luiz Kashiwaqui, que mesmo às vezes distante, sempre contribuiu em minha formação acadêmica e a qual admiro como profissional e ser humano.

Gostaria de agradecer a minha família: Meu pai Valdemar celestino, mãe, Luzia Fernandes Celestino, irmã, Érica Fernandes Celestino, os quais sempre me apoiaram e me mostraram que o caminho da educação é o caminho do desenvolvimento humano. E em especial, minha irmã a bióloga Msc. Elaine Fernandes Celestino, a qual é minha parceira na realização deste trabalho.

Outra pessoa especial a qual não posso deixar de lembrar é minha namorada Camila de Andrade Silva, uma mulher especial que me apoia em minha jornada, e por todo amor que temos. Obrigado.

Agradeço a minha grande amiga bióloga Msc. Viviane Fagundes de Mattos que mesmo distante sempre contribuiu com sua amizade.

Gostaria de agradecer, a todos meus amigos de laboratório e a todos que me ajudaram durante o monitoramento, Lucileine, Paty, Ariane, Fernanda, Michele, Dimas, Karane, Regis (Pescoço), Thiago (Milico) e Fábio.

Gostaria de agradecer ao meu grande amigo Biólogo Dhonatan Oliveira dos Santos que sempre me ajudou, se mostrando um companheiro para todas as horas.

Agradeço aqui também a Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maristela Cavicchioli Makrakis um exemplo de profissional a ser seguido e um doce de pessoa, líder do grupo de pesquisa GETECH que ofereceu todo apoio logístico para realização desta pesquisa.

Ao programa de Pós graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca/ UNIOESTE. Por ultimo, mas, não menos importante, agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Profissional de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

Dissertação elaborada e formatada conforme as normas da publicação científica *River Research and Applications*. Disponível em: <[http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/\(ISSN\)1535-1467/homepage/ForAuthors.html](http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/(ISSN)1535-1467/homepage/ForAuthors.html)>\*

# SUMÁRIO

<b>1 Introdução</b> .....	3
<b>2 Materiais e Métodos</b> .....	4
2.1 <i>Área de estudo</i> .....	4
2.2 <i>Captura e Marcação dos peixes</i> .....	5
2.3 <i>Monitoramento</i> .....	6
2.4 <i>Análise de dados</i> .....	8
<b>3 Resultados</b> .....	9
<b>4 Discussão</b> .....	13
<b>5 Conclusão</b> .....	17
<b>6 Referências</b> .....	18



## **Movimentação de duas espécies de Loricariidae através de bueiro em riacho Neotropical: desempenho na passagem e comportamento diário**

### **RESUMO**

Os riachos neotropicais apresentam uma rica e importante ictiofauna, no entanto, em muitos destes riachos encontram-se bueiros em seu curso, provenientes da construção de estradas de rodagem. Esses bueiros possuem o potencial de permitir a livre passagem dos peixes como também podem restringir os movimentos, principalmente ascendentes. O objetivo deste estudo foi avaliar a movimentação de duas espécies de loricariídeos, *Ancistrus* sp. e *Hypostomus acistroides* com o sistema RFID, em um riacho Neotropical com um bueiro em seu curso. O desempenho na passagem destas espécies pelo bueiro e o comportamento diário de movimentos foram comparados. Os resultados indicam possíveis dificuldades de acesso ao bueiro: *Hypostomus acistroides* aparentemente possui maior sucesso de movimentações ascendentes em relação à *Ancistrus* sp., demonstrando que além dos baixos índices de transposição, o bueiro ainda possa ser uma barreira seletiva a movimentação. As duas espécies apresentaram maior atividade noturna, no entanto, seus comportamentos diferiram entre os períodos: para *Ancistrus* sp. a maior atividade ocorreu de madrugada (00:00-05:59) e para *Hypostomus acistroides* os movimentos foram mais intensos a noite (18:00-23:59), o que indica possível segregação temporal de comportamento.

**Palavras chave:** *Passagem para peixe. Bueiro. Cascudo. PIT-telemetria.*

## **Movement of two species of Loricariidae through culvert in Neotropical stream: performance in the passage and daily behavior**

### ***ABSTRACT***

The Neotropical streams have a rich and important ichthyofauna, nevertheless, in many of these streams there are culverts in his course from the construction of highways. These culverts have the potential to enable the free passage of fish and even restrict the movements, especially upstream. The aim of this study was to evaluate the movement of two Loricariidae species, *Ancistrus* sp. and *Hypostomus acistroides*, with the RFID system in a Neotropical stream with a culvert in his course. The passage performance of these species and the daily behavior of the movements on culverts were compared. The results indicated possible difficulty in accessing the culvert: *Hypostomus ancistroides* has apparently most successful upstream movements relative to *Ancistrus* sp., demonstrating that besides the low levels of transposition, the culvert can still be a selective barrier to movement. The two species showed greater nocturnal activity, nevertheless, their behaviors differ between periods: the highest activity to *Ancistrus* sp. occurred dawn (0:00 to 5:59) and to *Hypostomus ancistroides* the movements were more intense at night (18:00 to 23:59) indicating possible temporal segregation of behavior.

***Keywords:*** Fish passage. Culvert. Cascudo. PIT-telemetry.

## 1 Introdução

Riachos são sistemas abertos que se inter-relacionam com o ambiente terrestre adjacente (Silveira, 2004), entretanto em seu eixo longitudinal apresentam formas lineares, fluxo d'água contínuo e unidirecional, alternância de habitats e leitos instáveis (Uieda & Castro, 1999). Estes sistemas também apresentam características distintas de outros sistemas aquáticos continentais de grande porte, principalmente em relação à variação nos componentes físicos e químicos da água ao longo do tempo (Krupek *et al.*, 2010). Por suas menores dimensões, respondem através de rápidas flutuações e ações de diferentes fatores inter-relacionados a estes ecossistemas (Neiff, 1990), caracterizados por grande variabilidade e complexidade de parâmetros bióticos e abióticos (Meffe *et al.*, 1997).

Esses pequenos corpos aquáticos ao serem interceptados por estradas ou ferrovias, geralmente são canalizados em curtos trechos com a implantação de bueiros (Forman & Alexander, 1998; Stevenson *et al.*, 2008), que causam alteração do trecho natural e consequentemente mudanças bioecológicas (Forman & Deblinger, 2000). Os bueiros tem a capacidade de alterar as condições de movimentação e o livre acesso entre os trechos à jusante e montante, afetando principalmente a ictiofauna (Langill & Zamora, 2002; Benton *et al.*, 2008). Bueiros concebidos somente para canalizar a vazão de água ou instalados inadequadamente possuem potencial de bloquear o livre movimento de peixes (Park *et al.*, 2008), impedindo-os de alcançar importantes áreas para alimentação, refúgio e reprodução (Forman & Alexander, 1998; Fairfull & Witheridge, 2003) em canais e áreas alagáveis (Katopodis *et al.*, 1993).

Precauções técnicas e biológicas são recomendadas pela bioengenharia quando há instalação de bueiros e medidas deverão ser adotadas para minimizar os impactos sobre a ictiofauna e seus habitats (Chilibeck *et al.*, 1992; Makrakis *et al.*, 2012). Em regiões temperadas a concepção de bueiros depende da compreensão do funcionamento físico, ecológico e biológico do sistema natural (Katopodis, 2005). Na região Neotropical esta preocupação é recente, com escassez de informações sobre o tema. Especificamente no Brasil, a implantação de bueiros em riachos não leva em consideração a necessidade da movimentação das espécies de peixes, possuindo apenas o propósito de drenagem, escoamento e condução de água dos riachos abaixo de estradas (DNIT 2004a; Makrakis *et al.*, 2012).

Estudo pioneiro realizado por Makrakis *et al.* (2012) em 40 bueiros em riachos brasileiros diagnosticou a maioria dos bueiros analisados, quanto às características

morfológicas e hidráulicas, com elevado potencial de impedir a livre movimentação dos peixes. A assembleia de peixes investigada nos trechos de montante e jusante de dois daqueles 40 bueiros (Celestino *et al.*, 2012; Mariano *et al.*, 2012) apresentou variações na abundância, riqueza e diversidade entre os trechos montante e jusante em um dos bueiros estudados (Mariano *et al.*, 2012). Restrições ao movimento de peixes são sugeridas (Mariano *et al.*, 2012), porém sem testar as passagens, especialmente para espécies que não tem a capacidade de saltar e/ou limitada performance natatória, como é o caso dos Siluriformes (principalmente Loricariidae).

Considerando que a conectividade longitudinal em riachos é essencial para a manutenção de ambientes saudáveis (Mariano *et al.*, 2012), estudos em riachos Neotropicais interceptados por bueiros focados no movimento dos peixes são imprescindíveis, já que estes tem potencial para desconectar habitats a montante e jusante. Assim, este estudo avaliou a movimentação de duas espécies de Loricariidae, *Ancistrus* sp. e *Hypostomus ancistroides*, através de bueiro em um riacho Neotropical, com o intuito de investigar o desempenho na passagem e o comportamento diário das espécies, reportando a possível influência da interceptação do bueiro, proveniente da construção de estrada de rodagem. Esses estudos podem ajudar os setores responsáveis pela implementação de estradas, a fim de propor possíveis soluções para melhorar as condições do habitat dos peixes.

## **2 Materiais e Métodos**

### *2.1 Área de estudo*

O riacho Pindorama, micro bacia hidrográfica de segunda ordem, possui 12,2 km de extensão e área de bacia com 41,0 km<sup>2</sup>, e é afluente do rio São Francisco Verdadeiro, que deságua no reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu, alto rio Paraná. Possui um bueiro em seu curso, proveniente da construção da estrada PR 317, que liga os municípios de Toledo e Ouro Verde do Oeste (Figura 1), Estado do Paraná, Brasil. O bueiro foi construído em 1979, localizado nas coordenadas 24°44'44,6"S/53°50'48,5"W (Mariano *et al.*, 2012), com 9,0 m de largura, separadas por paredes divisórias, formando três seções quadradas, com 3,0 m de largura e altura de cada seção, comprimento aproximado de 26,6 m, construído sobre uma base de concreto caracterizando-se como um bueiro quadrado múltiplo (*multiple Box*) (Figura 1A, B).

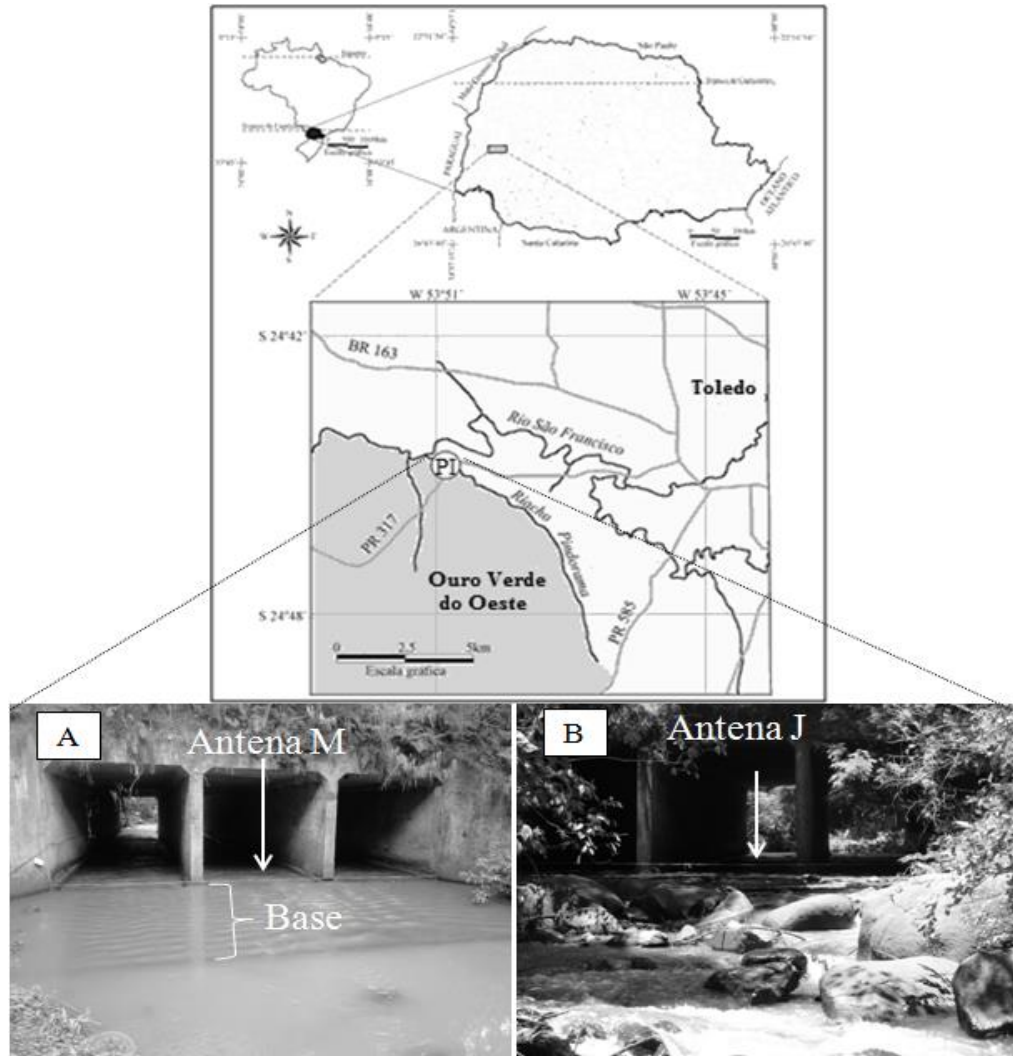
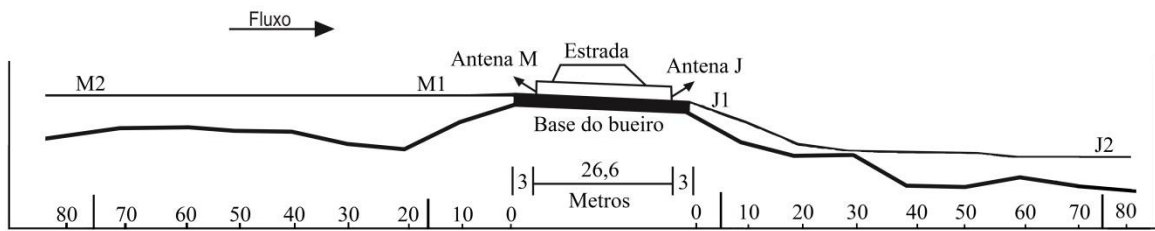


Figura 1. Mapa da área de estudo: círculo PI indica local da interceptação do riacho pela rodovia PR 317 e posição do bueiro. A) Entrada do bueiro, antena M (montante) de monitoramento e respectiva base de concreto. B) Saída de água do bueiro e antena J (jusante) de monitoramento.

## 2.2 Captura e Marcação dos peixes

As coletas dos peixes a serem marcados foram realizadas durante os primeiros 15 dias de monitoramento, com utilização de redes de emalhar e tarrafa conforme descrito em Celestino *et al.* (2012), sendo capturados nos trechos entre os 75 m a montante e a jusante do bueiro (Figura 2).

No total, foram capturados 78 cascudos, sendo 44 *Ancistrus* sp. e 34 *Hypostomus ancistroides*, com comprimento total médio de 8,2 e 11,1 centímetros, respectivamente (Tabela 1). Após as capturas os indivíduos foram mantidos em tanques redes do tipo hapas com raio de 25 cm e 60 cm de altura, para posteriormente serem marcados.



**Figura 2.** Altimetria do riacho no trecho estudado. Posição do bueiro no riacho, base de concreto e posicionamento das antenas M e J. Pontos de soltura dos peixes M1, M2, J1 e J2.

Tabela 1. Valores médio, mínimo, máximo e desvio padrão do comprimento total (CT) em centímetros e comprimento padrão (CP) dos peixes marcados e liberados das duas espécies estudadas.

Espécies	Média		Mínimo		Máximo		Desvio Padrão	
	CT	CP	CT	CP	CT	CP	CT	CP
<i>Ancistrus</i> sp.	8,1	6,4	5,8	4,5	11	8,9	1,2	1,0
<i>Hypostomus ancistroides</i>	11,1	8,4	7	5,4	15,3	12,4	2,5	2,0

Os peixes foram marcados com PIT-tag (*Passive Integrated Transponder*) não programáveis, da marca Texas Instruments, modelo TRPGP40TGC 12 mm - *Low-Frequency Glass-Encapsulated Transponder* CCT (Figura 3 A), previamente anestesiados com benzocaína, na proporção de 75mg/L diluída em álcool etílico 92,8° (Gomes *et al.*, 2001). As marcas foram introduzidas com o auxílio de um aplicador específico, no interior da cavidade peritoneal de cada indivíduo (Figura 3 B).

### 2.3 Monitoramento

Os peixes foram monitorados entre os dias 23 de janeiro a 26 de fevereiro de 2012, totalizando 35 dias (840 horas), com uso do sistema RFID (*Radio Frequency Identification* - marca Texas Instruments, modelo TIRIS Series 2000) (Haro, 2002), com uma placa tipo *Multiplex* (marca Oregon RFID) (Figura 3 C).

Duas antenas detectoras estacionárias foram montadas, uma na entrada (antena M) e outra na saída (antena J) do bueiro, a montante e jusante respectivamente (Figura 3 D). As antenas foram construídas com cabos de cobre multifilamento flexível de espessura de 4 mm de diâmetro, em apenas uma única volta. As antenas possuíam comprimento de 9 m e altura de 45 cm, correspondendo a área de 4,05 m<sup>2</sup>, com indutância de 38,5 µH.

Após a marcação, os peixes foram acondicionados em hapas, localizadas próximo ao local de soltura, permanecendo por 30 minutos com a finalidade de recuperação. Assim que recuperados, os peixes capturados a montante foram liberados em dois pontos à montante (M1 e M2), e aqueles coletados à jusante foram liberados em dois pontos à jusante (J1 e J2).

O ponto M1 corresponde ao local de soltura distante a 14 m da antena instalada a montante do bueiro onde foram liberados 18 *Ancistrus* sp. e 12 *H. ancistroides*; M2 corresponde ao local de soltura distante 75 m a montante da antena instalada a montante do bueiro onde foram liberados 04 *Ancistrus* sp. e 05 *H. ancistroides*; J1 corresponde ao local distante 8 m da antena instalada a jusante do bueiro onde foram liberados 07 *Ancistrus* sp. e 10 *H. ancistroides*; J2 corresponde ao local distante 75 m da antena instalada à jusante, foram liberados 15 *Ancistrus* sp. e 7 *H. ancistroides* (Figura 2).

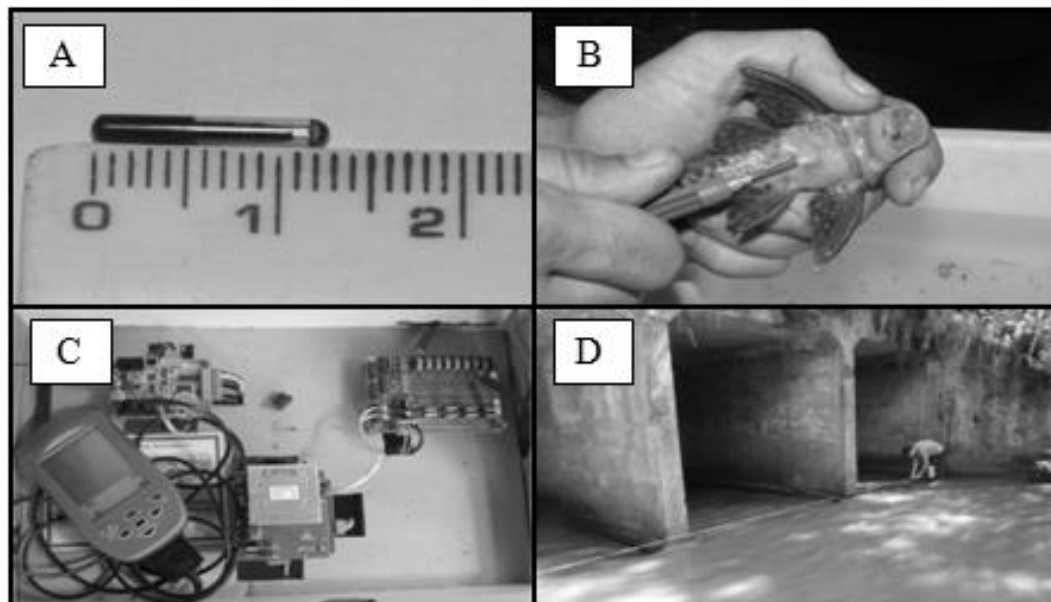


Figura 3. A) PIT-tag de 12mm utilizada para marcar os peixes monitorados. B) Inserção da marca na cavidade peritoneal, com a utilização de aplicador de PIT-tag. C) Sistema RFID-Multiplex utilizado no monitoramento. (D) Posicionamento da antena detectora na entrada do bueiro.

Após a detecção da marca pelas antenas estacionárias, o código de cada marca identificada pelo leitor, era transmitido a um *datalogger* para decodificação e encaminhamento para um banco de dados em um cartão de memória tipo SD, salvando os dados em arquivos de texto (.txt) (Figura 3 C).

#### 2.4 Análise de dados

O percentual de peixes que foram detectados nas antenas em relação ao total de peixes liberados por pontos de soltura, foram quantificados utilizando a tabela de sumarização de censura da Análise de Sobrevivência e seus respectivos tempos de soltura a detecção. Os peixes que não foram detectados pelas antenas de jusante (J) e montante (M) foram censurados (censura do tipo 1 à direita), pois interpretamos que o tempo de evento (detecção) está além do tempo de monitoramento estabelecido (Colosimo & Giolo, 2006).

Para verificar as diferenças nos tempos de movimentação ascendente e descendente das duas espécies, bem como os períodos diários de maiores movimentações, foi utilizada a Análise de Sobrevivência, método não paramétrico de Kaplan-Meier, reportando o teste de Log-rank (Mantel, 1966) ao nível de significância de  $p < 0,05$ , com a interpretação de hipótese nula de que as duas espécies possuem a mesma função de sobrevivência (Allison, 2010). Para distinguir o tempo de movimentação e o sentido do movimento (ascendente ou descendente) no interior do bueiro foi usado o teste de Tukey-Kramer a posteriori, com nível de significância de  $p < 0,05$  (Allison, 2010). O modelo gráfico não-paramétrico de Kaplan-Meier (Curva de depleção) foi utilizado para representar a função de sobrevivência acumulada, onde foi realizada a distribuição dos eventos ao longo do tempo (variável quantitativa) para cada variável categórica (espécie e sentido de movimento) (Kaplan & Meier, 1958; Castro-Santos & Haro, 2003).

Para avaliar o movimento no interior do bueiro, adotamos como variável resposta o tempo de evento (detecção) em minutos, ou seja, tempo de movimento gasto entre as antenas de montante e jusante para as duas espécies (Castro-Santos & Haro, 2003; Allison, 2010; Wagner *et al.*, 2012). Para esta análise não consideramos os peixes censurados, ou seja, foram avaliados apenas as movimentações (transposições) concluídas e todos os movimentos ascendentes e descendentes, mesmo que estes movimentos tenham sido realizados mais de uma vez pelo mesmo indivíduo.

Para a análise do comportamento diário de movimentação, consideramos o número total de detecções das duas espécies nas antenas de montante e jusante, distribuindo-as entre as 24 horas diárias, utilizando como referência o GMT – 3:00 (Greenwich Mean Time minus 3 hours). As detecções foram agrupadas em 02 períodos: Diurno (06:00-17:59) e Noturno (18:00-05:59), como também, categorizamos em quatro subperíodos diários - Madrugada, Manhã, Tarde e Noite, considerando os intervalos entre: 00:00-05:59, 06:00-11:59, 12:00-



17:59 e 18:00-23:59 , respectivamente, reportando as quantidades de detecções como índice de atividade das espécies.

Todas as análises foram conduzidas utilizando o programa SAS (SAS 9.3).

### 3 Resultados

Dos 78 peixes marcados e liberados, 35 indivíduos foram detectados pelas antenas instaladas no bueiro, correspondendo a 44,87% do total, sumarizando 55,13% de censura (peixes que não foram detectados pelas antenas). Foram detectados 19 indivíduos de *Ancistrus* sp., correspondendo a 43,18%, e 25 indivíduos censurados, representando 56,8%. Para *H. ancistroides*, o número de peixes detectados foi de 16 (47,05%) e 18 indivíduos censurados (52,95%).

Com relação aos peixes detectados por ponto de liberação, constatou-se que houve mais detecções dos indivíduos liberados nos pontos próximos do bueiro (M1 e J1), para as duas espécies com menores porcentagens de censura. O número de peixes detectados nos pontos M2 e J2 foram bem inferiores aos demais, ressaltando que, no ponto J2, nenhum *H. ancistroides* foi detectado pela antena, totalizando 100% de censura desta espécie para o ponto J2 (Tabela 2).

Tabela 2. Total de peixes marcados e liberados, detectados e censurados, a montante (M1 e M2) e a jusante (J1 e J2) por espécie.

Espécie	Pontos	Liberados	Detectados	Censurados	Censura (%)
<i>Ancistrus</i> sp.	M1	18	11	7	38,9
	M2	4	1	3	75,0
	J1	7	5	2	28,6
	J2	15	2	13	86,7
<i>Hypostomus ancistroides</i>	M1	12	9	3	25,0
	M2	5	1	4	80,0
	J1	10	6	4	40,0
	J2	7	0	7	100,0
<b>Total</b>		<b>78</b>	<b>35</b>	<b>43</b>	<b>55,1</b>

O elevado tempo médio gasto pelos peixes para se movimentar do ponto de soltura até a antena de detecção assemelharam-se entre as duas espécies. Os indivíduos de *Ancistrus* sp. liberados em M1, gastaram em média de 9,91 dias (287,34 horas) para serem detectados, sendo que o primeiro despendeu apenas 1,55 horas. Do ponto M2 apenas um *Ancistrus* sp. foi detectado, despendendo 1,9 dias (45,6 horas). Para o ponto de jusante, J1, o tempo médio e

mínimo foi de 3,5 dias (84 horas) e de 1,23 horas, respectivamente. Para J2 o tempo médio foi de 8,1 dias (194,4 horas) e mínimo de 53,26 horas. Os *H. ancistroides* liberados em M1 que foram detectados, levaram em média 9,49 dias (227,76 horas), com mínimo de 8,9 horas. Já do ponto M2 o único *H. ancistroides* levou 26,05 dias (625,2 horas) até a detecção. Para o ponto J1, a média e mínimo foi de 4,28 dias (34,72 horas) e 5,65 horas respectivamente.

Dos 35 peixes detectados nas antenas M e J, 25 se movimentaram efetivamente entre as antenas instaladas no bueiro, caracterizando assim, uma transposição (movimentação). Esses peixes que transpuseram o bueiro correspondem a 32,05%, do total de peixes liberados nos 4 pontos e 71,42% dos peixes detectados nas duas antenas. Os 25 peixes das duas espécies estudadas, que se deslocaram através do bueiro, sumarizaram 90 transposições em todo período de estudo, sendo 9 descendentes (entre antenas M-J) para *Ancistrus* sp. e 13 ascendentes (entre antenas J-M), totalizando 22 movimentações para esta espécie (24,44%). Para *H. ancistroides*, foram sumarizadas 33 movimentações descendentes (M-J) e 35 ascendentes (J-M), totalizando 68 movimentações, o que corresponde a 75,55% do total de todas as movimentações entre as antenas.

Os tempos de movimentação no interior do bueiro entre as espécies diferiram significativamente, indicado teste de Log-Rank ( $\chi^2=11,6021$  e  $p=0,0089$ ). Posteriormente com o teste de ajuste de Tukey-Kramer, constatou-se que houve diferença significativa entre os tempos de movimentação ascendente (J-M), entre as duas espécies ( $\chi^2=10,0417$  e  $p=0,0083$ ) (Figura 4 A). No entanto, os tempos de movimentação descendentes não diferiram para as duas espécies ( $\chi^2=0,1005$  e  $p=0,9890$ ) (Figura 4 B).

O tempo médio, mínimo e máximo de movimento ascendente (J-M) para *Ancistrus* sp. foi de 468,62 minutos (7,81 horas), 19 minutos e 1310 minutos (21,8 horas), respectivamente. Para *H. ancistroides* o movimento ascendente apresentou tempo médio 100,11 minutos (1,67 horas), mínimo de 20 minutos e o máximo de 980 minutos (16,33 horas) (Figura 4 A). O tempo médio de movimentação descendente (M-J) de *Ancistrus* sp. foi de 399,33 minutos (6,7 horas), sendo que o tempo mínimo de 3 minutos e o máximo de 1164,0 minutos (20,98 horas). Para os movimentos descendentes (M-J) de *H. ancistroides*, o tempo médio foi de 396,61 minutos (6,61 horas), mínimo e máximo de 16 segundos e 1415 minutos (23,53 horas) respectivamente (Figura 4 B).

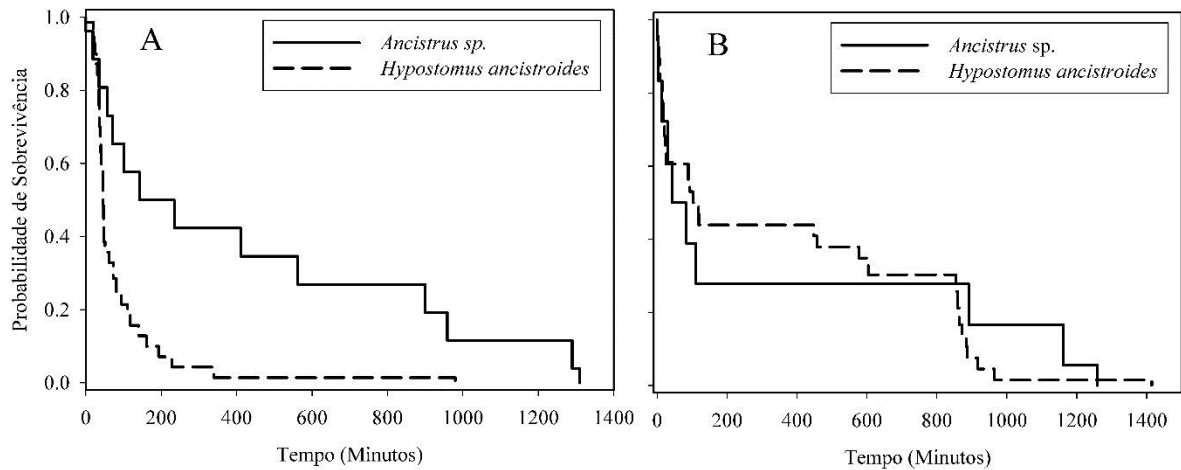


Figura 4. Curva de Kaplan-Meier para os tempos de movimentos ascendentes (J-M) (A) e descendentes (M-J) (B) das espécies no bueiro.

Durante o estudo foram constatadas 258 detecções de *Ancistrus* sp. e 280 detecções de *H. ancistroides* nas duas antenas, distribuídas em várias horas do dia. Do total de detecções da espécie *Ancistrus* sp., apenas 53 (20,54%) ocorreram durante o dia com pico de atividade na hora inicial do período diurno, entre as 6 e 7 horas da manhã, enquanto que no período noturno foram 205 detecções (79,49%) (Figura 5). Comportamento semelhante foi encontrado para *H. ancistroides*, com 60 detecções (21,43%) durante o dia, também com grande atividade entre as 6 e 7 horas da manhã, e 220 detecções (78,57%) noturnas com pico de atividade entre as 22 e 23 horas, caracterizando maior atividade noturna para as duas espécies (Figura 5).

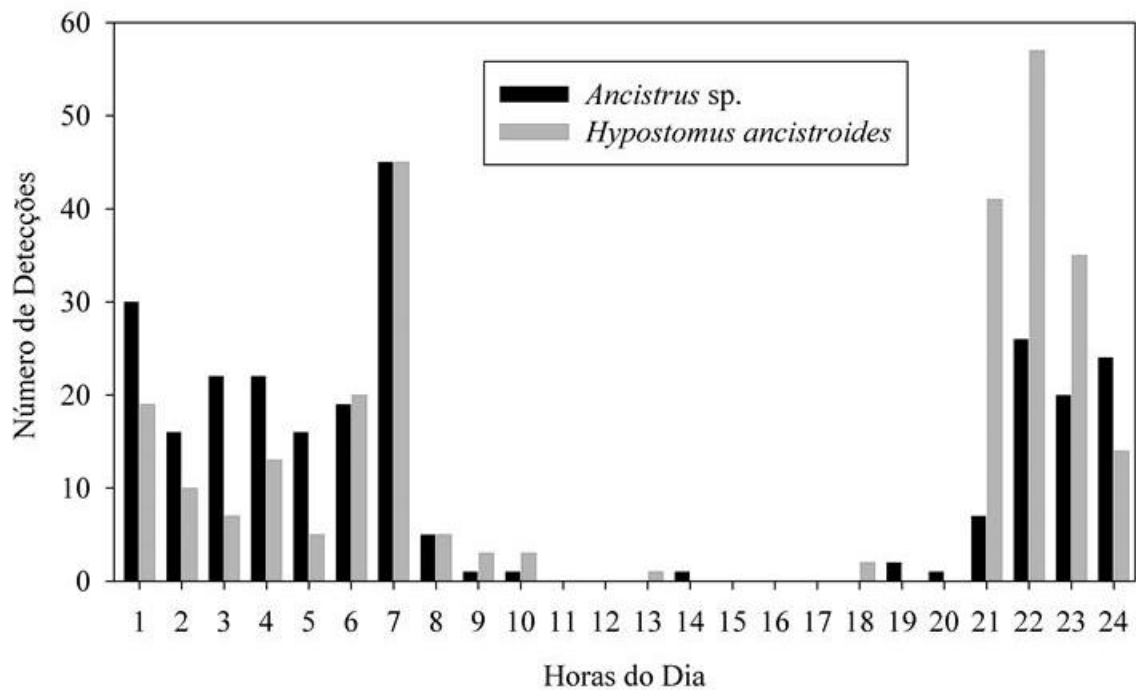


Figura 5 Distribuição das detecções (atividade) das duas espécies ao longo das 24 horas do dia.

As horas de detecções (atividade) submetidas à análise de sobrevivência, utilizando o teste de Log-Rank foram significativamente diferentes entre as duas espécies e seus respectivos horários de maiores detecções ( $\chi^2=4,3743$  e  $p=0,03565$ ), demonstrando diferenças entre os períodos de maior atividade de movimentação no bueiro entre as duas espécies (Figura 6).

No período noturno, as duas espécies apresentaram resultados diferentes em subperíodos. *Ancistrus sp.* demonstrou maior atividade, cerca de 125 detecções (48,45%) no subperíodo Madrugada, e apenas 80 detecção (31,01%) durante o subperíodo Noite. Para a espécie *H. ancistroides* os valores praticamente se invertem, com maior atividade no subperíodo Noite apresentando 174 detecções (52,50%), enquanto que no período Madrugada foram apenas 73 (26,07%). Esta distinção de atividade entre as espécies não foi encontrada durante o período diurno, onde as detecções de *Ancistrus sp.* no subperíodo Manhã foi 52 (20,16%), e de apenas 1 (0,39%) no subperíodo Tarde. Proporções semelhantes foram encontradas para *H. ancistroides* com 56 detecções (20%) e 04 (1,43%) para os subperíodos Manhã e Tarde, respectivamente (Figura 6).

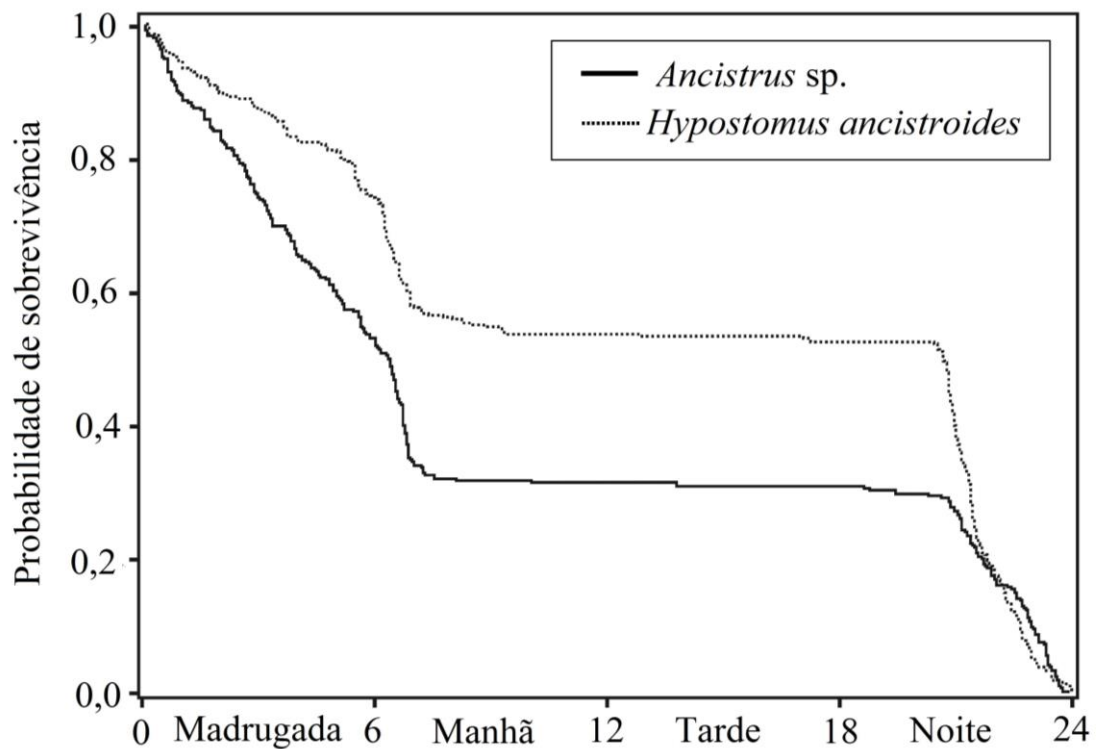


Figura 6. A) Curva de Kaplan-Meier representando o comportamento (atividade) das duas espécies em subperíodos diários.

#### 4 Discussão

Os bueiros em sua maioria atuam como um agente fragmentador dos ambientes onde inseridos, dificultando ou impedindo a livre movimentação dos indivíduos entre trechos a montante e jusante de bueiros, principalmente por suas características de engenharia, que proporcionam condições que desfavorecem a movimentação dos peixes (Langill & Zamora, 2002; Benton *et al.*, 2008; Makrakis *et al.*, 2012).

A declividade do canal e baixa rugosidade geram um acréscimo de velocidade, que associada aos baixos níveis fluviométricos são características que geram problemas para a movimentação dos peixes no interior do bueiro (Fairfull & Witheridge, 2003; Nukurangi *et al.*, 1999). Mas, este acréscimo na velocidade e em especial na saída do bueiro aumenta a energia potencial da água, que ao sair da base do bueiro, despeja-se no leito do riacho proporcionando o carreamento do substrato, dando início ao empoleiramento, ou seja, o desnível entre a base de sustentação e o nível de água do riacho a jusante do bueiro (*oulet perch*) (Makrakis *et al.*, 2012).

Do total de 78 peixes liberados, apenas 35 (32,05%) foram detectados, no entanto, 25 (71,42%) do total de peixes detectados nas antenas de montante e jusante foram os que se

movimentaram entre as duas antenas instaladas no bueiro. Estes percentuais demonstram possíveis problemas de acesso a serem superados pelos peixes até serem detectados pelas antenas, que podem ser provocados pelo pequeno empoleiramento à jusante e o represamento a montante, proporcionados pela base de concreto do bueiro. Pois, todos os peixes que foram detectados nas duas antenas já haviam transposto as barreiras de acesso ao bueiro, geradas pela base de concreto tanto em jusante, quanto em montante, considerando que as antenas detectoras foram instaladas interiormente a 3 m após a borda da base de concreto (Figura 1A).

Vários fatores em bueiros quadrados e múltiplos podem gerar barreiras a movimentação de peixes como, a declividade, a velocidade de fluxo, o comprimento dos bueiros e o empoleiramento (Bouska & Paukert, 2010). O problema do trecho a montante é o represamento proporcionado pelo desnível entre a base do bueiro e o fundo do riacho, que subtrai as características naturais do riacho (Celestino *et al.*, 2012). O desnível entre a base de sustentação e o nível de água do riacho a jusante do bueiro é uma importante variável que pode comprometer o índice de conectividade (Makrakis *et al.*, 2012).

Ao entrarem no bueiro os peixes encontram outro problema, pois, necessitam superar o fluxo de água em seu interior para atingirem as áreas desejadas (Cahoon *et al.*, 2007). Este fluxo, muitas vezes atinge altas velocidades que podem se tornar uma barreira para a movimentação ascendente para algumas espécies de peixes (Castro-Santos, 2004). Contudo, existe a necessidade de se conhecer as capacidades natatórias das espécies, além da manutenção da vazão ecológica, para que possa haver a maior proximidade dos sistemas de transposição com as características naturais, anteriormente encontradas no riacho (Santos *et al.*, 2007).

A movimentação descendente entre as duas espécies não se diferenciou, pois ambas se movimentaram a favor do fluxo, possivelmente atuando de forma homogênea para as duas espécies. No entanto, *H. ancistroides* apresentou melhor desempenho da movimentação ascendente comparada com *Ancistrus* sp. no bueiro estudado, onde aquela espécie gastou menor tempo para a movimentação ascendente. A distinção nos tempos de movimentação ascendente entre as duas espécies podem ser justificadas pelos potenciais natatórios, relacionada a características morfológicas das espécies estudadas como tamanho corporal (Webb, 1984; Videler & Wardle, 1991) e fatores abióticos como temperatura de água e velocidade de fluxo (Haro *et al.*, 2004). Segundo Assumpção *et al.* (2012) a forma do corpo pode determinar diferenciação no tempo de movimento ascendente de *Leporinus elongatus* e *Prochilodus lineatus* em um sistema de transposição Neotropical (escada para peixes). No entanto, para certificar-se da real superioridade da capacidade natatória de *H. ancistroides*,

seriam necessários testes em canais abertos, pois se aproximam mais dos leitos naturais apresentando melhores resultados (Santos & Martinez, 2012).

Para favorecer a livre movimentação da maior quantidade de espécies em bueiros, uma medida que pode ser adotada é a utilização de chicanas (Baker & Votapka 1990; Kapitzke, 2007). Chicanas vem sendo amplamente utilizadas em bueiros instalados na região da australásia (Kapitzke, 2006; Kapitzke, 2010) para aumentar a rugosidade hidráulica, reduzindo assim a velocidade média do fluxo de água, inserindo áreas de descanso e controle de turbulência, facilitando a livre passagem do maior número de espécies de peixes (McKinley & Webb, 1956; Bates, 1999; Morrison *et al.*, 2009). Os modelos de chicanas utilizadas no hemisfério norte e australásia podem ser uma ferramenta eficiente em bueiros neotropicais, desde que haja estudos prévios para avaliar seu desempenho e necessárias adaptações para espécies nativas. Ressalta-se, que as espécies de regiões temperadas possuem capacidades natatórias diferentes das espécies neotropicais (Santos & Martinez, 2012; Santos *et al.*, 2012).

As duas espécies (*H. ancistroides* e *Ancistrus* sp) apresentaram maiores detecções (atividade) durante o período noturno e apenas algumas detecções diurnas, ainda assim, grande parte das detecções diurnas ocorreram nas primeiras horas da manhã, ou seja, ao iniciar o período diurno, o que caracteriza o hábito noturno das espécies de siluriformes, em especial da família Loricariidae (Burguess, 1989). Resultados semelhantes são encontrados em outros sistemas de transposição neotropicais para outras espécies de siluriformes. Pompeu & Martinez (2006) relatam o comportamento noturno de Loricariideos ao utilizar o elevador para peixes na Usina Hidrelétrica de Santa Clara. Fernandez *et al.* (2007) também encontraram comportamento de movimentação noturna para siluriformes em uma escada experimental no reservatório de Itaipu, rio Paraná. Comportamento semelhante foi descrito por Bizzotto *et al.* (2009), que observaram maior atividade de siluriformes durante a noite, na escada para peixes da Usina de Igarapava, no Rio grande, tributário do rio Paraná.

No entanto, dentro do período noturno, os índices de atividades das duas espécies diferiram. *Ancistrus* sp. apresentou maior atividade no subperíodo da Madrugada, enquanto que *H. ancistroides* apresentou maior atividade no subperíodo Noite. Esse comportamento de segregação pode ser com a finalidade de evitar interações agonísticas. Em riachos temperados, interações de competição por alimentação e territorialidade são facilmente encontradas entre juvenis de salmões selvagens e estocados (Weber & Fausch, 2003). Este modelo de competição intraespecífica também é encontrado entre juvenis de trutas (*Oncorhynchus mykiss*) (Tatara *et al.*, 2008; Reeves *et al.*, 2009). Essas competições podem

ser evitadas com segregação temporal entre populações ou espécies (Carothers & Jaksié, 1984). Duas espécies de lambaris, *Astyanax fasciatus* e *Astyanax bimaculatus*, em interação competitiva (agonística), podem diminuir o efeito desta competição com a segregação de habitats (Arcifa *et al.*, 1991). No caso do elevador para peixes do rio Mucuri, as diferenças de atividades entre espécies do gênero *Astyanax*, podem ser oriundas da segregação comportamental (Pompeu & Martinez, 2006). Segundo Costa-Pereira *et al.* (2012), em riacho *H. ancistroides* possui capacidade de segregação espaço-temporal a fim de evitar competição por alimento.

Bueiros ao serem considerados como passagens para peixes necessitam de estudos para se conhecer o real efeito da estrutura no ambiente a ser instalado. Para avaliação de um sistema de transposição é necessário o conhecimento do representativo da população que passa pela estrutura (ovos, larvas, juvenis e adultos) bem como, avaliar os habitats a montante e jusante, verificando existências de importantes áreas de reprodução e alimentação (Makrakis *et al.*, 2007; Pompeu *et al.*, 2012). No entanto, os órgãos responsáveis pelas instalações de bueiros no Brasil e suas referidas normativas (DNIT, 2004a; DNIT, 2004b; DNIT, 2004c; Brasil, 2006), não levam em consideração a necessidade de transposição de peixes em bueiro e seus respectivos sítios de alimentação e reprodução.

Visto que, barreiras como os bueiros, podem intensificar a fragmentação dos habitats da ictiofauna (Noss, 1995), estes podem propiciar isolamento reprodutivo e o consequente deplecionamento do intercâmbio genético nas populações (Wofford *et al.*, 2005). As elevadas abundâncias de loricariídeos a jusante de bueiros podem ser indicativo do efeito de fragmentação proporcionado pelos bueiros em regiões neotropicais (Mariano *et al.*, 2012). Neste estudo, os 02 pontos de liberação mais próximos (M1 e J1) apresentaram maiores porcentagens de detecções dos peixes, em relação aos outros pontos (M2 e J2), possivelmente pela maior proximidade do ponto de soltura com a antena. No entanto, os tempos de movimentação entre soltura e detecção são elevados entre todos os pontos. Estes elevados tempos podem ser indícios da atenuação a livre movimentação pelo bueiro, possivelmente proporcionado pela base de sustentação de concreto. Segundo Makrakis *et al.* (2012) o bueiro do riacho Pindorama apresenta alto risco de restrição a movimentação ascendente, comprometendo assim o índice de conectividade entre habitats a jusante e montante. Contudo, ainda necessita-se de mais estudos para o comparativo do efeito destas estruturas para outras espécies e seu comportamento em uma maior escala temporal.



## 5 Conclusão

O bueiro quadrado múltiplo existente no riacho Pindorama é uma estrutura que pode estar restringindo parcialmente o movimento das duas espécies de loricariídeos estudadas, especialmente para *Ancistrus* sp. Essa restrição pode ser provocada pelas velocidades de fluxo no interior do bueiro, bem como, problemas de acesso dos indivíduos ao bueiro propiciado pela base de sustentação. As duas espécies apresentam comportamentos de movimentação durante o período noturno, no entanto, possuem segregação temporal em suas atividades de movimentação em subperíodos: Madrugada para *Ancistrus* sp. e Noite para *Hypostomus ancistroides*. A compreensão da movimentação das espécies de peixes, bem como, seus períodos de maiores atividades, são informações importantes para auxiliar nas estratégias de conservação das espécies em riachos sob influência de bueiros.

## 6 Referências

- Allison PD. 2010. *Survival Analysis Using SAS®: A Practical Guide, Second Edition*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Arcifa MS, Northcote TG, Froehlich O. 1991. Interactive ecology of two cohabiting characin fishes (*Astyanax fasciatus* and *Astyanax bimaculatus*) in an eutrophic brazilian reservoir. *Journal of Tropical Ecology* **7**: 257-268.
- Assumpção L, Makrakis MC, Makrakis S, Wagner RL, Silva PS, Lima AF, Kashiwaqui, EAL. 2012. The use of morphometric analysis to predict the swimming efficiency of two Neotropical long-distance migratory species in fish passage. *Neotropical Ichthyology* **10**: 797-804.
- Baker CO, Votapka FE. 1990. *Fish passage through culverts*. FHWA-FL-09-006.USDA Forest service- technology and development center. San Dimas, California.
- Bates K, Barnard R, Heiner B, Klavas P, Powers P. 1999 *Fish Passage Design at Road Culverts: A design manual for fish passage at road crossings*. Washington Department of Fish and Wildlife, Habitat and Lands Program, Environmental Engineering Division. Olympia, A.
- Benton PD, Ensign WE, Freeman BJ. 2008. The effect of road crossings on fish movement in small Etowah basin streams. *Southeastern Naturalist* **7**: 301-310.
- Bizzotto PM, Godinho AL, Vono V, Kynard B, Godinho HP. 2009. Influence of seasonal, diel, lunar, and other environmental factors on upstream fish passage in the Igarapava Fish Ladder, Brazil. *Ecology of Freshwater Fish* **18**: 461–472.
- Bouska WW, Paukert CP. 2010. Road Crossing Designs and Their Impact on Fish Assemblages of Great Plains Streams. *Transactions of the American Fisheries Society* **139**: 214-222.
- Brasil. Departamento Nacional de Infra estrutura de Transportes – DNIT. 2006. *Manual de Pavimentação*. 3 ed. Rio de Janeiro 274p.
- Burguess WE. 1989. *An Atlas of freshwater and marine catfishes*. Neptune city, TFH, 785p.
- Cahoon JE, McMahon T, Solcz A, Blank M, Stein O. 2007. *Fish Passage in Montana culvert: Phase II- Passage goals*, FHWA,MT,07,010,8181, Final Report.
- Carothers JH, Jaksié FM. 1984. Time as a time difference: the role os interference competition. *Oikos* **42**: 403-406.
- Castro-Santos T. 2004. Quantifying the combined effects of attempt rate and swimming capacity on passage through velocity barriers. *Canadian Journal of Fisheries and aquatic sciences* **61**: 1602-1615.

- Castro-Santos T, Haro A. 2003. Quantifying migratory delay: a new application of survival analysis methods. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **60**: 986-996.
- Celestino EF, Kashiwaqui EAL, Mariano JR, Makrakis S, Makrakis MC. 2012. Métodos de coleta para avaliação longitudinal da ictiofauna em riachos interceptados por tubulações. In: Bager, A. *Ecologia de estradas: Tendências e Pesquisa*. Lavras: Ed. UFLA. 115-136.
- Chilibeck B, Chislett G, Norris G. 1992. *Land Development Guidelines for the Protection of Aquatic Habitat*. Department of Fisheries and Oceans & Ministry of Environment Lands and Parks. 129p.
- Colosimo EA, Giolo SR. 2006. Análise de sobrevivência aplicada. São Paulo, Edgard Blüncher, 367p.
- Costa-Pereira R, Rosa FR, Resende EK. 2012. *Estrutura trófica da comunidade de Ppeixes de riachos da porção oeste da bacia do alto Paraná*. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Pantanal.
- DNIT–Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. 2004a. *Drenagem - bueiros metálicos executados sem interrupção do tráfego*. NORMA DNIT 024/2004 - ES, 8p.
- DNIT–Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. 2004b. *Drenagem - bueiros celulares de concreto*. NORMA DNIT 025/2004 - ES, 8p.
- DNIT–Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. 2004c. *Drenagem - bueiros tubulares de concreto*. NORMA DNIT 023/2006 - ES, 8p.
- Fairfull S, Witheridge G. 2003. *Why do Fish Need to Cross the Road? Fish Passage Requirements for Waterway Crossings*. NSW Fisheries, Cronulla. 16p.
- Fernandez DR, Agostinho AA, Bini LM, Pelicice FM. 2007. 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**: 215-222.
- Forman RTT, Alexander LE. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics* **29**: 207-231.
- Forman RTT, Deblinger RD. 2000. The ecological road-effect zone of a Massachusetts (USA) suburban highway. *Conservation Biology* **14**: 36-46.
- Gomes LC, Chippari-Gomes AR, Lopes NP, Roubach R, Araujo-Lima CARM. 2001. Efficacy of benzocaine as an anesthetic in juvenile Tambaqui *Colossoma macropomum*. *Journal of the World Aquaculture Society* **32**: 426-431.
- Haro A. 2002. *Manual of operation of tinfid PIT-tag Systems*. USGS, S.O Conte Anadromous Fish Research Center - Biological Resources Division, US Geological Survey. Turners Falls, MA. 04-08.

- Haro A, Castro-Santos T, Norelka TJ, Odeh M. 2004. Swimming performance of upstream migrant fishes in open-channel flow: a new approach to predicting passage through velocity barriers. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **61**: 1590-1601.
- Kaplan EL, Meier P. 1958. Nonparametric estimation from incomplete observations. *Journal of the American Statistical Association* **53**: 457-481.
- Kapitzke R. 2006. *Discovery Drive Offset Baffle Fishway for Box Culverts (Prototype #1) Case Study Project Design and Prototype Monitoring Report to April 2005*. Department of Main Roads and James Cook University. 92p.
- Kapitzke R. 2007. *Discovery Drive Corner Baffle Fishway for Box Culverts (Prototype #4) Case Study Project Design and Prototype Monitoring Report to April 2006*. Department of Main Roads and James Cook University University Creek Prototype Culvert Fishways. 56p.
- Kapitzke, R. 2010. *Culvert Fishway Planning and Design Guidelines Part B – Fish Migration and Fish Species Movement Behaviour*. James Cook University School of Engineering and Physical Sciences. 28p.
- Katopodis C. 1993. *Fish Passage at Culvert Highway Crossings. Presentation notes at the conference on "Highways and the Environment"*. Department of Fisheries and Oceans, Freshwater Institute, Winnipeg.
- Katopodis C. 2005. Developing a toolkit for fish passage, ecological flow management and fish habitat works. *Journal of Hydraulic Research* **43**: 451-467.
- Krupek RA, Branco CCZ, Peres CK. 2010. Variação sazonal das variáveis físicas e químicas em riachos de duas bacias da região centro-sul do estado do Paraná, sul do Brasil. *Ambiência* **6**: 297-310.
- Langill DA, Zamora PJ. 2002. *An audit of small culvert installations in Nova Scotia: habitat loss and habitat fragmentation*. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences. 2422.43p.
- Makrakis S, Gomes LC, Makrakis MC, Fernandez DR, Pavanelli CS. 2007. The Canal da Piracema at Itaipu as a fish pass system. *Neotropical Ichthyology* **5**: 185-195.
- Makrakis S, Castro-Santos T, Makrakis MC, Wagner RL, Adames MS. 2012. Culverts in paved roads as suitable passages for Neotropical fish species. *Neotropical Ichthyology* **10**: 763-770.
- Mantel N. 1966. Evaluation of survival data on two new rank order statistic arising in its consideration. *Cancer Chemotherapy Reports* **50**: 163-170.
- Mariano JR, Makrakis MC, Kashiwaqui EAL, Celestino EF, Makrakis S. 2012. Longitudinal habitat disruption in Neotropical streams: fish assemblages under the influence of culverts. *Neotropical Ichthyology* **10**: 771-784.
- Meffe GK, Carroll CR. 1997. *Principles of Conservation Biology*. Second edition. Sinauer and Associates Inc., Sunderland, MA. 729 p.

- Mckinley WR, Webb RD. 1956. *A proposed correction of migratory fish problems at box culverts*. Wash. Dept. Fish. Fish Res. Pap. 1(4):33-45, Olympia, WA.
- Morrison RR, Hotchkiss RH, Stone M, Thurman D, Horner-Devine AR. 2009. Turbulence characteristics of flow in a spiral corrugated culvert fitted with baffles and implications for fish passage. *Ecological Engineering* **35**: 381-392.
- Neiff JJ. 1990. Aspects of primary productivity in the lower Paraná and Paraguay riverine system. *Acta Limnologica Brasiliensia* **3**: 77-113.
- Noss RF. 1995. *The ecological effects of roads, or the road to destruction*. Wildlands CPR, U.S.A. 11-21.
- Nukurangi T, Boubée J, Jowett I, Nichols S, Williams E. 1999. *Fish Passage at Culverts. A review, with possible solutions for New Zealand indigenous species*. Department of Conservation Te Papa Atawhai. Wellington, New Zealand. 29p.
- Park D, Michael S, Bayne E, Scrimgeour G. 2008. Landscape-level stream fragmentation caused by hanging culverts along roads in Alberta's boreal forest. *Canadian Journal Forest Research* **38**: 566-575.
- Pompeu PS, Martinez CB. 2006. Variações temporais na passagem de peixes pelo elevador da Usina Hidrelétrica de Santa Clara, Rio Mucuri, leste brasileiro. *Revista Brasileira de Zoologia* **23**: 340-349.
- Pompeu PS, Agostinho AA, Pelicice, F. M. 2012. Existing and future challenges: the concept of successful fish passage in South America. *River Research and Applications* **28**: 504 - 512. DOI: 10.1002/rra.1557
- Reeves GH, Grunbaum JB, Lang DW. 2009. Seasonal variation in diel behaviour and habitat use by age 1 + steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) in Coast and Cascade Range streams in Oregon, U.S.A. *Environmental Biology of Fishes* **87**: 101-111.
- Santos HA, Martinez CB. 2012. Estudo da capacidade natatória de peixes neotropicais. In: Série Peixe Vivo: *Transposição de Peixes*. Lopes JM, Silva FO. Belo Horizonte. CEMIG.172p.
- Santos HA, Pompeu PS, Martinez CB. 2007. A importância do estudo da capacidade natatória de peixes para a conservação de ambientes aquáticos neotropicais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* **12**: 141-149.
- Santos HA, Viana EM F, Pompeu OS, Martinez CB. 2012. Optimal swim speeds by respirometer: an analysis of three Neotropical species. *Neotropical Ichthyology*. **10** :805-811.
- Silveira MP. 2004. *Aplicação do biomonitoramento para avaliação da qualidade da água em rios*. Embrapa Meio Ambiente. 68 P.
- Stevenson C, Kopeinig T, Feurich R, Boubée J. 2008. *Culvert Barrel Design to Facilitate the Upstream Passage of Small Fish*. Auckland Regional Council. Technical Publication. 44p.

- Tatara CP, Riley SC, Scheurer JA. 2008. Environmental enrichment in steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) hatcheries: field evaluation of aggression, foraging, and territoriality in natural and hatchery fry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **65**: 744-753.
- Uieda VS, Castro RMC. 1999. Coleta e fixação de peixes de riachos. Pp. 1-22. In: Caramaschi, E. P., R. Mazzoni & P. R. Peres-Neto (Eds.). *Ecologia de peixes de riachos*. Oecologia Brasiliensis, 260p.
- Videler JJ, Wardle CS. 1991. Fish swimming stride by stride: speed limits and endurance. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **1**: 23-40.
- Wagner RL, Makrakis S, Castro-Santos T, Makrakis MC, Dias JHP, René Fuster Belmont RF. 2012. Passage performance of long-distance upstream migrants at a large dam on the Paraná River and the compounding effects of entry and ascent. *Neotropical Ichthyology* **10**:785-795.
- Webb PW. 1984. Body form, locomotion and foraging in aquatic vertebrates. *American Zoologist* **24**: 107-120.
- Weber ED, Fausch KD. 2003. Interactions between hatchery and wild salmonids in streams: differences in biology and evidence for competition. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **60**: 1018–1036.
- Wofford JEB, Gresswell RE, Banks MA. 2005. Influence of barriers to movement on within-watershed genetic variation of coastal cutthroat trout. *Ecological Applications* **15**: 628-637.