



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

EFICÁCIA DO MECANISMO DE TRANSPOSIÇÃO *STAIR PIPE* NA MIGRAÇÃO DE
PEIXES

MATHEUS TEOTÔNIO RAFAEL

BELO HORIZONTE
2015

MATHEUS TEOTÔNIO RAFAEL

EFICÁCIA DO MECANISMO DE TRANSPOSIÇÃO STAIR PIPE NA MIGRAÇÃO DE PEIXES

CEFET-MG

2015

RAFAEL, Matheus Teotônio.

S---

Eficácia do mecanismo de transposição *Stair Pipe* na migração de peixes / Matheus Teotônio Rafael - Registro : 2015.

74 f. : il. ; 31 cm.

Orientador: Hersília de Andrade e Santos.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Engenharia Ambiental e Sanitária, 2015

1. Mecanismo de transposição. 2. Ictiofauna. 3. PIT-telemetria. I. Rafael, Matheus Teotônio. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Engenharia Ambiental e Sanitária. III. Eficácia do mecanismo de transposição *Stair Pipe* na migração de peixes.

MATHEUS TEOTÔNIO RAFAEL

EFICÁCIA DO MECANISMO DE TRANSPOSIÇÃO *STAIR PIPE* NA MIGRAÇÃO DE
PEIXES

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais como requisito
parcial à obtenção do título de Engenheiro
Ambiental e Sanitarista.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Hersília de Andrade e Santos

BELO HORIZONTE
2015

MATHEUS TEOTÔNIO RAFAEL

EFICÁCIA DO MECANISMO DE TRANSPOSIÇÃO *STAIR PIPE* NA MIGRAÇÃO DE
PEIXES

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais como requisito
parcial à obtenção do título de Engenheiro
Ambiental e Sanitarista.

Data de aprovação: ____/____/____

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Hersília de Andrade e Santos – Orientadora (DEC/CEFET-MG)

Prof. D.Sc. Thiago Cotta Ribeiro (DCTA/CEFET-MG)

Prof.^a M^a Isabela Labarrère Vieira Pereira (DEC/CEFET-MG)

AGRADECIMENTOS

Este trabalho de conclusão de curso só foi desenvolvido graças aos contatos multidisciplinares que culminaram na ida do aluno à Bélgica, pelo programa do governo Ciência sem Fronteiras.

Em primeiro lugar, quero agradecer à minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Hersília de Andrade e Santos, pelo suporte pessoal e acadêmico durante toda minha trajetória na graduação. Também agradeço aos pesquisadores Ans Mouton e Etienne Dupont, os quais me apresentaram a essa nova e promissora área de pesquisa em eco-tecnologia para a ictiofauna, e a Faculdade de Engenharia Biociência da Universidade de Ghent, que aceitou a minha inscrição para me tornar um estudante de Erasmus do seu programa de Mestrado.

Em segundo lugar, eu gostaria de agradecer ao Instituto de Pesquisa da Natureza e Floresta (INBO), que ofereceu toda a infraestrutura e área de estudo necessária para realizar os experimentos de campo. Este agradecimento inclui os outros estudantes de mestrado Nick Walraven e Senne Dessers, os quais realizaram as primeiras experiências com a eco-tecnologia estudada.

Finalmente, agradeço aos meus pais e ao meu irmão pelo apoio incondicional em todas as horas de estudo.

RESUMO

MATHEUS TEOTÔNIO RAFAEL. Eficácia do mecanismo de transposição *Stair Pipe* na migração de peixes. 2015. 71f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

Os peixes necessitam migrar para cumprir seu ciclo de vida; portanto, as barreiras de migração podem ameaçar seriamente a sustentabilidade das populações da ictiofauna. Neste contexto estão os cursos d'água que são cruzados por estradas de rodagem e que podem gerar obstáculos e perturbar o padrão migratório das espécies residentes naquela região. Para facilitar a passagem das populações de peixe através dessas estruturas, duas opções são a construção dos bueiros adjacentes àqueles canais existentes ou a construção de um novo bueiro como o canal principal com ajustes feitos para reduzir a velocidade da água. Este trabalho avalia a eficácia do bueiro que é conhecido como "*Stair Pipe*" para facilitar a migração de peixes e que já foi instalado em pequenos riachos na Bélgica. Para a avaliação desta eficácia, foi realizado um trabalho de campo no Instituto de Pesquisa da Natureza e Floresta (INBO) nas dependências localizadas no município de Linkebeek. Os procedimentos dos experimentos envolveram a seleção de espécies com diferentes capacidades natatórias. Elas foram monitoradas por um sistema de telemetria conhecido como PIT-telemetria, que consiste em um leitor de detecção de movimentos e armazenamento de dados com transmissores de peixes. Os peixes foram soltos no reservatório a jusante do *Stair Pipe* e as vazões alteradas de 5,92 L/s, 9,37 L/s, 13,43 L/s e 14,41 L/s proporcionaram uma visão ampla de situações que podem ocorrer durante a travessia dos indivíduos através da estrutura. O período de cada teste foi de 23-24 horas e apresentou melhores resultados para espécies boas nadadoras (Dace e Truta) do que para as más nadadoras (Burbot e Bullhead). No Brasil, foram simuladas numericamente as condições hidráulicas do *Stair Pipe* para as vazões de 5,92 L/s, 9,37 L/s e 13,43 L/s, de acordo com a calibração do modelo estudado em campo. As simulações apresentaram boas condições de velocidade hidráulica para a viabilidade da travessia de espécies migratórias. O desenvolvimento da referente pesquisa na Bélgica e da simulação hidráulica no Brasil irá fornecer conhecimento objetivando melhorar a eco-tecnologia

Stair Pipe para futuras aplicações em campo. Este trabalho também visa expandir a sua implementação nos riachos brasileiros, que são constantemente despercebidos nas necessidades biológicas de seus habitat.

Palavras-Chave: Modelagem Hidráulica. Mecanismo de transposição. Ictiofauna. PIT-telemetria.

ABSTRACT

MATHEUS TEOTÔNIO RAFAEL, Effectiveness of the transposition mechanism's Stair Pipe in fish migration. 2015 71f. Monograph (Environmental and Sanitary Engineering graduate) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

Fish need migration to fulfill their life cycle; therefore, migration barriers may seriously threaten sustainability of fish populations. In this context are the watercourses that are crossed by roads and can generate obstacles and disrupt the migratory pattern of the resident species in that region. To facilitate the passage of fish populations through these structures, two options are the construction of culverts adjacent to the existing channel or built a new culvert as the main channel with adjustments made to reduce the flow velocity. This paper assesses the effectiveness of the culvert that is known as the "*Stair Pipe*" to facilitate fish migration and that was already installed in small streams in Belgium. For the evaluation of the effectiveness of the *Stair Pipe*, fieldwork was done at the Research Institute of Nature and Forest (INBO) dependencies located in the Linkebeek municipality. The test procedures involved the selection of species with different swim ability. They were monitored by a telemetry system known as PIT-telemetry, which consists of a detection reader of movements and data storage with fish's transmitters. The fishes were released in the downstream reservoir linked to the *Stair Pipe* and the altered flows of 5,92 L/s, 9,37 L/s, 13,43 L/s and 14,41 L/s gave a broad overview of situations that may occur during fish migration crossing through the structure. The period of each test was 23-24 hours and showed better results for species with good swimmers (Dace and Trout) than for species with bad swimmers (Burbot and Bullhead). In Brazil, the hydraulic conditions of the *Stair Pipe* were numerically simulated for the flow of 5,92 L/s, 9,37 L/s and 13,43 L/s, according to the model's calibration on field. The simulations showed good hydraulic velocity conditions for the viability of the crossing of migratory species. The research in Belgium and the hydraulic simulation in Brazil will provide knowledge to improve the eco-technology *Stair Pipe* for future applications on the field. This work also aims to expand the implementation of the stairs pipe in the Brazilian streams, which are constantly unnoticed in the biological necessities of their habitat.

Keywords: Hydraulic modeling. Mechanism of transposition. Fish populations. PIT telemetry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bueiro intransponível devido à queda a jusante	23
Figura 2 - Experimentos hidráulicos no bueiro com defletores	25
Figura 3 - Princípio da Telemetria com Pit-tag	27
Figura 4 - INBO Linkebeek	28
Figura 5 - Manilhas com os defletores	29
Figura 6 - Medidor de temperatura	29
Figura 7 – Os tamanhos de um PIT-tag: 12 mm, 23 mm e 32 mm	30
Figura 8 - Antenas A1, A2, A3, A4 e A5	31
Figura 9 - Cabo Twinax	31
Figura 10 - Leitor Multiplexer RFID com vários terminais	32
Figura 11 - Caixa de sintonizador de antena	33
Figura 12 - Fontes de energia (conversor AC / DC, bateria e carregador)	33
Figura 13 - PDA Datalogger	34
Figura 14 - <i>Stair Pipe</i> com o equipamento de configuração dos experimentos	35
Figura 15 - <i>Lota lota</i>	36
Figura 16 - <i>Cottus perifretum</i>	37
Figura 17 - <i>Leuciscus leuciscus</i>	39
Figura 18 - <i>Salmo trutta fario</i>	40
Figura 19 - Malha gerada no modelo numérico (Gridgen)	43
Figura 20 - Os galões da medição e a válvula de abertura	45
Figura 21 - Pontos de medição da velocidade hidráulica (TECPLOT 360)	46
Figura 22 - Posicionamento das Antenas	48
Figura 23 - Planta da simulação com e sem os defletores (TECPLOT 360)	49
Figura 24- Linhas da velocidade da água para vazão de 9,37 L/s (TECPLOT 360)	50
Figura 25 – Jatos do modelo simulado para as três vazões (TECPLOT 360)	51
Figura 26 - Profundidade máxima das piscinas (TECPLOT 360)	52
Figura 27 - Número de tentativas com Burbot para uma vazão de 5,92 L/s	53
Figura 28 - Número de tentativas com Burbot para uma vazão de 9,37 L/s	54
Figura 29 - Número de tentativas com Bullhead para uma vazão de 5,92 L/s	55
Figura 30 - Número de tentativas com Bullhead para uma vazão de 9,37 L/s	55
Figura 31 - Número de tentativas com Dace para uma vazão de 5,92 L/s	56
Figura 32 - Número de tentativas com Dace para uma vazão de 9,37 L/s	56
Figura 33 - Número de tentativas com Dace para uma vazão de 13,43 L/s	57

Figura 34 - Número de tentativas com Dace para uma vazão de 14,41 L/s.....	57
Figura 35 - Número de tentativas com Truta para uma vazão de 5,92 L/s.....	58
Figura 36 - Número de tentativas com Truta para uma vazão de 9,37 L/s.....	58
Figura 37 - Velocidades encontradas no teste com Dace de 5,92 L/s	59
Figura 38 - Velocidades encontradas no teste com Dace de 9,37 L/s	60
Figura 39 - Velocidades encontradas no teste com Dace de 13,43 L/s	60
Figura 40 - Velocidades encontradas no teste com Dace de 14,41 L/s	61
Figura 41 - Velocidades encontradas no teste com Truta de 5,92 L/s	62
Figura 42 - Velocidades encontradas no teste com Truta de 9,37 L/s	63
Figura 43- Velocidades encontradas no teste com Truta de 13,43 L/s	63
Figura 44 - Velocidades encontradas no teste com Truta de 14,41 L/s	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados Hidráulicos do <i>Stair Pipe</i>	28
Tabela 2 - Características das espécies testadas	36
Tabela 3- Configurações dos experimentos com Burbot.....	37
Tabela 4 - Configurações dos experimentos com Bullhead	38
Tabela 5- Configurações dos experimentos com Dace	39
Tabela 6 - Configurações dos experimentos com Truta	40
Tabela 7 - Aberturas da válvula e suas respectivas vazões calculadas	46
Tabela 8 - Configuração dos dois leitores	47
Tabela 9 - Interface final dos dados retirados dos RFID	47
Tabela 10- Velocidades máximas do modelo numérico e do real	52
Tabela 11 - Detecção falso-positiva da antena 4	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANB - Agency for Nature and Forest

AWG - American Wire Gauge

CEFET-MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

CFD - Computational fluid dynamics

DCTA- Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental

INBO - Research Institute of Nature and Forest

IQR - Interquartile range

MW - Megawatt

PDA - Portable handheld device

PIT - Passive integrated transponders

RFID - Radio-Frequency Identification

SD - Secure Digital

SIMPLE - Semi-Implicit Method for Pressure-Linked

VOF - Volume of fluid

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVO GERAL	19
2.1 Objetivos Específicos	19
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
3.1 Migração de peixes	20
3.2 Problemas com barreiras para a migração de peixes	21
3.3 Legislação Brasileira	21
3.4 Bueiros em estradas de rodagem.....	22
3.5 <i>Stair Pipe</i> para os problemas dos cruzamentos de estrada	24
3.6 Modelos Numéricos.....	25
3.7 Sistema de telemetria.....	26
4. METODOLOGIA.....	27
4.1 <i>Stair Pipe</i>	27
4.1.1 Local de estudo.....	27
4.1.2 Equipamento de Telemetria	30
4.1.2.1 <i>PIT-Tags</i>	30
4.1.2.2 <i>Antenas</i>	30
4.1.2.3 <i>Cabo Twinax</i>	31
4.1.2.4 <i>Leitor de Identificação por radiofrequência (RFID)</i>	31
4.1.2.5 <i>Caixa de sintonizador de antena</i>	33
4.1.2.6 <i>Fontes de Energia</i>	33
4.1.2.7 <i>Dispositivo portátil de mão (PDA) Datalogger</i>	34
4.1.3 Espécies belgas estudadas.....	35
4.1.3.1 <i>Burbot (Lota lota)</i>	36
4.1.3.2 <i>Bullhead (Cottus perifretum)</i>	37
4.1.3.3 <i>Dace (Leuciscus leuciscus)</i>	38
4.1.3.4 <i>Truta (Salmo trutta fario)</i>	39
4.1.4 Experimentos com as espécies de peixes	41
4.2 Modelo numérico do <i>Stair Pipe</i>	42
4.2.1 Validação dos resultados do modelo.....	45
4.3 Configuração do sistema de telemetria	46
4.3.1 Ajuste dos leitores RFID.....	46
4.3.2 Montagem das antenas.....	48
5. RESULTADOS	49
5.1 Resultados da modelagem hidráulica.....	49

5.2	Medidas das velocidades de calibração	52
5.3	Resultados do número de tentativas por espécie	53
5.3.1	Experimentos com Burbot (<i>Lota lota</i>)	53
5.3.2	Experimentos com Bullhead (<i>Cottus perifretum</i>)	54
5.3.3	Experimentos com Dace (<i>Leuciscus leuciscus</i>)	56
5.3.4	Experimentos com Truta (<i>Salmo trutta fario</i>).....	57
5.4	Resultados das velocidades por espécie	59
5.4.1	Velocidades do Dace (<i>Leuciscus leuciscus</i>)	59
5.4.2	Velocidades da Truta (<i>Salmo trutta fario</i>).....	62
6.	DISCUSSÃO GERAL	65
6.1	Limitações do Sistema PIT-tag de telemetria	65
6.2	Desempenho dos peixes no estudo e das espécies brasileiras	66
6.3	Ligação entre o modelo numérico e o modelo real.....	67
7.	CONCLUSÃO.....	68
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

1. INTRODUÇÃO

Os peixes apresentam diferentes comportamentos durante seu ciclo de vida. Agindo e reagindo ao ambiente enquanto procuram por comida, temperaturas adequadas e boas condições física, química e biológica locais, os peixes podem realizar migrações tróficas. Outro comportamento é de reprodução: anualmente peixes migratórios migram contra as correntes para se reproduzirem (GODOY, 1985).

O bloqueio dos rios causa intensas modificações nos ambientes aquáticos e nas comunidades afins (SALE, 1985). O ambiente formado por estes bloqueios apresenta características distintas comparadas ao rio original e as comunidades passam por mudanças significativas. Um resultado inevitável é a alteração da abundância e riqueza de espécies, com a proliferação de algumas e redução de outras ou até mesmo a eliminação de certas espécies (AGOSTINHO, 1994).

Muitas alternativas consideradas para minimizar os efeitos adversos das barreiras sobre a migração de peixes foram propostas e implementadas, tais como as escadas para peixes. Estas são basicamente canais hidráulicos (abertos ou fechados), onde obstáculos internos dissipam a energia hidráulica para facilitar a migração dos peixes (SANTOS *et al.*, 2007).

Em geral, qualquer curso d'água é passível de ser modificado em suas características hidráulicas, as quais podem causar problemas para a migração da ictiofauna (MARTINS & TAMADA, 2005) e, conseqüentemente, a adoção de medidas mitigadoras como os mecanismos de transposição para amenizar os impactos decorrentes destas modificações. Neste contexto estão os cursos d'água que são cruzados por estradas e podem gerar obstáculos e interromper o padrão migratório das espécies residentes naquela região (DUPONT, 2004).

Estudos sobre bueiros que permitem a passagem de peixes foram realizados principalmente nos países europeus. Muitos desses mecanismos visam atender às necessidades de Trutas, que têm locais de reprodução em riachos. De acordo com Dupont (2004), a adição de defletores nos bueiros tem como objetivo criar pequenas piscinas para os peixes descansarem durante a sua passagem. Desta forma, uma parceria entre o Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET-MG) e o Instituto

Belga de Pesquisa da Natureza e Floresta (INBO) foi firmada para a avaliação do *Stair Pipe* na Bélgica e, posteriormente, sua aplicabilidade no Brasil.

2. OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo geral avaliar o mecanismo de transposição *Stair Pipe* para fins de migração de peixes.

2.1 Objetivos Específicos

Foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar quais das espécies da ictiofauna da Bélgica abordadas no presente trabalho são capazes de atravessar o *Stair Pipe*;
- Determinar se a eco-tecnologia *Stair Pipe* é eficiente para dar suporte à ictiofauna durante a sua migração a montante em um curso d'água bloqueado por um cruzamento de estrada;
- Simular hidráulicamente o mecanismo de transposição de acordo com a calibração do modelo;
- Realizar a comparação dos dados hidráulicos do *Stair Pipe* com a capacidade natatória das espécies belgas e brasileiras.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Migração de peixes

Por incontáveis gerações, o homem tem se maravilhado com a migração anual de várias espécies de peixes. Estes animais costumam viajar grandes distâncias, encontrando muitos obstáculos e predadores. Ao longo dos anos, o homem tem desenvolvido muitas explicações, teorias e até superstições sobre a migração da ictiofauna. Embora hoje se saiba sobre parâmetros, tais como reprodução, alimentação e refúgio, muitas respostas para várias questões relacionadas à migração ainda não foram encontradas (MCKEOWN, 1984).

As unidades populacionais de peixes são estritamente dependentes das características de seus *habitat* aquáticos, os quais influenciam diretamente as suas funções biológicas, tais como reprodução, nutrição e mobilidade. Esta dependência está marcada em peixes migratórios, que exigem diferentes ambientes para as principais fases de seus ciclos de vida. A migração dos peixes entre estes ambientes é essencial para a sobrevivência destas espécies (NORTHCOTE, 1984).

Heape (1931) considerou que a migração é um processo cíclico que "impele os migrantes a voltar para a região a partir da qual eles migraram" e identificou a migração gamética (para reprodução), a migração alimentar (para localizar comida ou água) e a migração climática (para encontrar condições climáticas mais adequadas). Migrações climáticas têm sido referidas em artigos que tratam principalmente sobre climas temperados como migrações "invernais" (NIKOLSKY 1963; HARDEN JONES, 1968), apesar de Northcote (1978) apontar este termo como inadequado para climas tropicais e subtropicais, onde estações secas e chuvosas são mais importantes para os processos de ciclo de vida.

A capacidade de migração assenta na integração da atividade locomotora e o fornecimento de energia associado combinada com a capacidade para orientar na direção do objetivo global de migração. Estes temas formam grandes áreas de estudo dentro da biologia dos peixes. A capacidade de migrar em direção a montante exige que o peixe nade mais rapidamente do que a velocidade da água, necessitando gasto de energia substancial da atividade locomotora. Para aqueles peixes que desovam ovos flutuantes em sistemas fluviais, como muitos dos

characiformes em regiões tropicais, as correntes proporcionam um meio eficaz de dispersão. No entanto, para que isso seja uma estratégia bem sucedida do ciclo de vida, estes peixes devem retornar normalmente a montante antes ou durante a maturação reprodutora, para assegurar que as larvas cheguem a condições de criação adequadas (NORTHCOTE, 1984). Todavia, a migração para a desova a montante não é obrigatória, e algumas espécies da ordem dos *characiformes* mostram nenhum movimento a montante na desova, ou mesmo algum movimento a jusante, dependendo da distribuição das áreas de alimentação e desova no sistema do curso d'água (LUCAS & BARAS, 2001).

3.2 Problemas com barreiras para a migração de peixes

A instalação de qualquer projeto em um corpo de água inevitavelmente provoca algum tipo de impacto ambiental. Por exemplo, o reservatório de uma usina hidrelétrica cria um lago que muda o leito original. O Lago de Itaipu, no Paraná, Brasil, cobriu a parcela de Mata Atlântica que existia nesta região, juntamente com toda a sua biodiversidade. As águas subiram rapidamente dentro de 15 dias, e de última hora os agentes da usina de Itaipu correram contra o tempo para salvar os animais que vivem na região. As perdas foram enormes, tanto ambientais quanto sociais. Além disso, esses impactos provocam modificações das características do ambiente natural, tais como alterações na hidrologia de ocorrência, perda de *habitat* e da formação de barreiras à migração de certas populações de peixes (LOPES, 2012).

Entre as mudanças que afetam o equilíbrio desses ambientes aquáticos, existem as variações das vazões, não formação de lagoas marginais, as mudanças no transporte de sedimentos e as mudanças na temperatura da água. A interrupção do fluxo de populações ao longo dos rios é apenas uma das diversas alterações provadas pelo bloqueio das águas (BRATRICH *et al.*, 2004).

3.3 Legislação Brasileira

A Resolução nº 1 do CONAMA/86 define o conceito de impacto ambiental e estabelece através da Lista Positiva aqueles empreendimentos cujos impactos são considerados significativos e que requerem a apresentação de Estudo e Relatório de

Impacto Ambiental (EIA) e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). A Resolução CONAMA nº 237 de 1997 acresceu empreendimentos na Lista Positiva e instituiu as regras para o licenciamento de atividades causadoras de impactos ambientais significativos. Dentre os empreendimentos identificados pela resolução, estão as estradas de rodagem com duas ou mais faixas de rolamento, as ferrovias e as obras hidráulicas para exploração de recursos hídricos, tais como: barragem para fins hidrelétricos acima de 10 MW, de saneamento ou de irrigação, abertura de canais para navegação, drenagem e irrigação, retificação de cursos d'água, abertura de barras e embocaduras, transposição de bacias e diques. A edição da resolução CONAMA nº 237 em dezembro, redefiniu os conceitos de licenciamento ambiental, licença ambiental, estudos ambientais e impacto ambiental regional.

No estado de Minas Gerais, a Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) nº 74/04 estabelece e classifica, segundo o porte e potencial poluidor, os empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou licenciamento ambiental. As Superintendências Regionais de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SUPRAM) de Minas Gerais regularizam os empreendimentos através de uma matriz de classificação a qual correlaciona o potencial poluidor ao porte do empreendimento, que podem ser pequeno, médio ou grande, de acordo com as características descritas para cada tipo de atividade na deliberação normativa nº 74/04 (MINAS GERAIS, 2004).

A Lei nº 12.488, de 09/04/1997 de Minas Gerais e a Lei nº 9.798, de 07/10/1997 de São Paulo tornam obrigatória a construção de escadas para peixes de piracema em barragem edificada nestes estados. Desta forma, com a cobertura das legislações na esfera da União e do Estado, os problemas com barreiras para a migração de peixes tornam-se suscetíveis a estudos nivelados de acordo com o grau de impacto no curso d'água. Estes últimos incluem uma abordagem ecossistêmica na qual a ictiofauna local está inserida.

3.4 Bueiros em estradas de rodagem

Barreiras antropogênicas é um fator principal que afeta o movimento dos peixes (FULLERTON *et al.*, 2010). Neste contexto estão os cursos d'água que são

cruzados por estradas e podem gerar obstáculos e interromper o padrão migratório das espécies residentes naquela região (DUPONT, 2004).

Os bueiros são estruturas hidráulicas que permitem a passagem de água através de condutos simples, geralmente retilíneos e de comprimento limitado (Figura 1). Eles são compostos basicamente por três partes: a boca de entrada, o corpo de obra e a boca de saída. Os seus critérios de classificação são quanto ao número de linhas (simples, duplos ou triplos) ou quanto à forma da secção (BAPTISTA e LARA, 2010). Ao projetar um novo bueiro em cruzamentos de córregos, os engenheiros ainda focam na maximização da eficiência hidráulica da estrutura e na minimização dos custos, dando pouca atenção ao habitat e à necessidade de passagem dos peixes e invertebrados (BAKER e VOTAPKA, 1990; WARREN e PARDEW, 1998; BLAKELY *et al.*, 2006).

Figura 1 - Bueiro intransponível devido à queda a jusante



Fonte: Dupont (2004).

A maioria das alterações à ictiofauna está relacionada aos elevados desníveis criados com a construção dos bueiros, ao comprimento destas obras e às altas velocidades do escoamento geradas pela combinação do comprimento e do desnível a ser vencido. A acumulação de sedimentos e detritos também pode inibir a passagem (BATES *et al.*, 2003), assim como o tamanho específico para a natação do peixe alvo (STARRS *et al.*, 2011).

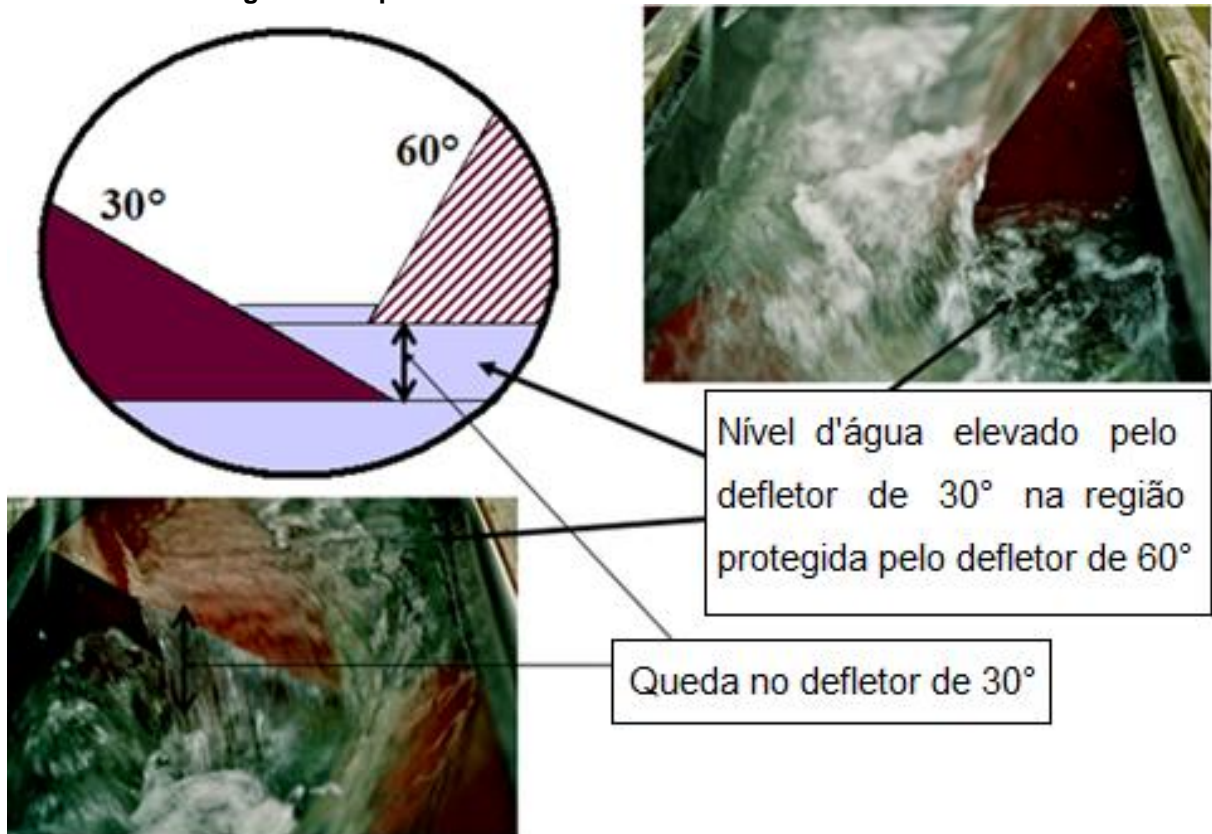
3.5 *Stair Pipe* para os problemas dos cruzamentos de estrada

Pesquisas sobre bueiros que permitem a passagem de peixes têm sido realizadas principalmente em países europeus. Muitos destes mecanismos visam atender às necessidades de Trutas, que têm locais de reprodução em pequenos riachos. De acordo com Dupont (2004), a adição de defletores em bueiros visa à criação de pequenas piscinas de baixo fluxo para o peixe descansar durante a sua passagem.

O modelo *Stair Pipe* é um bueiro que funciona como uma passagem para peixes, composto de módulos unitários conforme exigido pelo comprimento de passagem. Esta concepção foi baseada em duas escadas para peixes já desenvolvidas na época: a escada tipo *Denil* e a escada *Pool and Weir*. Os seus defletores freiam a velocidade da água e fornecem um abrigo a cada metro para os peixes (DUPONT, 2009).

Para o desenvolvimento do *Stair Pipe*, montagens experimentais foram realizadas por Dupont (2009), testando-se diferentes ângulos dos defletores. Eventualmente, observações hidráulicas e biológicas levaram a uma solução melhor, a qual consiste na combinação de dois ângulos diferentes no lado esquerdo e no lado direito do *Stair Pipe*. Nos experimentos biológicos de Dupont (2009), concluiu-se que a melhor configuração dos defletores é obtida fixando os mesmos escalonados alternadamente em 60° e 30° (Figura 2). O defletor de 30° funciona em parte como um açude onde se eleva o nível da água à montante na secção situada atrás do defletor de 60°. O defletor mais vertical de 60° cria, por outro lado, uma circulação horizontal da água com uma corrente de remanso atrás dele.

Figura 2 - Experimentos hidráulicos no bueiro com defletores



Fonte: DUPONT (2006).

3.6 Modelos Numéricos

Há três tipos de métodos que podem ser empregados na solução de um problema: experimentais (equipamentos de medição), analíticos (papel e lápis) e numéricos (computador). Cada um possui vantagens e desvantagens em relação ao outro dependendo do problema e dos recursos disponíveis para resolvê-lo. Os métodos analíticos e numéricos também são denominados de teóricos (MALISKA, 1995) porque ambos trabalham com modelo matemático.

Na área do conhecimento denominada Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD), trata-se da solução de problemas de dinâmica dos fluidos através de métodos numéricos. A dinâmica dos fluidos envolve a modelagem de fenômenos físico-químicos nas áreas de mecânica dos fluidos, transferência de calor e massa e combustão, entre outras, que são representados por modelos matemáticos (OBERKAMPF & BLOTTNER, 1998). Estes modelos são resolvidos através de métodos numéricos que incluem, por exemplo, os métodos de diferenças finitas, volumes finitos e elementos finitos (MINKOWYCZ *et al.*, 1988). CFD é aplicado em

projetos de engenharia, no entendimento da dinâmica dos fluidos, no desenvolvimento de novos modelos matemáticos e de simulação, em decisões políticas, etc. (RIZZI & VOS, 1998).

Simplificadamente, a obtenção de uma solução numérica pode ser dividida em quatro etapas (MARCHI, 2001):

- 1 - formulação do problema: é definido o modelo matemático, ou seja, as equações com suas condições de contorno e iniciais, a geometria do domínio de cálculo e as propriedades dos meios sólidos e fluidos envolvidos no problema;
- 2 - discretização do domínio de cálculo: gera-se a malha, que consiste num conjunto de nós sobre os quais a solução numérica é obtida;
- 3 - discretização do modelo matemático: os termos das equações que constituem o modelo matemático e suas condições de contorno e iniciais são aproximados numericamente através de um método numérico, gerando um sistema de equações algébricas, também denominado de equações discretizadas; e
- 4 - obtenção da solução numérica: as equações discretizadas são resolvidas com algum método direto ou iterativo (FERZIGER & PERIC, 1999; MALISKA, 1995) para solução de sistemas de equações.

A forma específica com que as etapas 2 a 4 são usadas para obter uma solução numérica é denominada neste trabalho de modelo numérico.

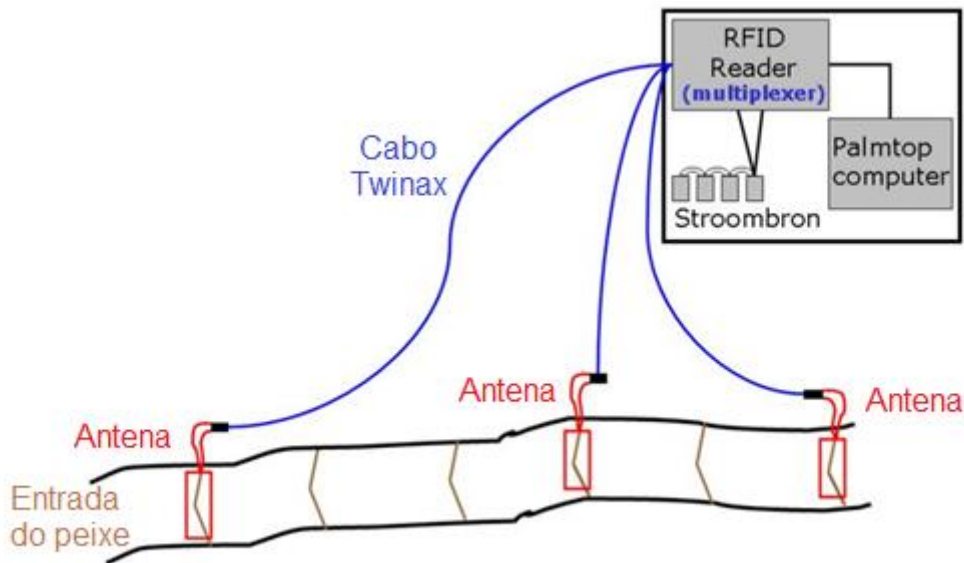
3.7 Sistema de telemetria

O desenvolvimento de marcas eletrônicas provou ser um dos avanços mais importantes para estudar o comportamento dos peixes e da migração (LUCAS & BARAS, 2001). A Figura 3 ilustra um exemplo de telemetria que consiste em um sistema de detecção de identificação e posicionamento dos peixes cujos dados são coletados pelas antenas, onde muitas vezes é de difícil acesso. Depois estes dados são transmitidos para o equipamento de recepção e processados através de um controle apropriado. Existem diferentes tipos de marcas eletrônicas.

Um PIT-tag é um chip de circuito integrado, capacitor, e bobina de antena envolta em vidro (ROUSSEL *et al.*, 2000). PIT-tags variam em tamanho e forma, dependendo do animal em estudo. Em geral, as marcas são de forma cilíndrica, com cerca de 8 a 32 mm de comprimento e 1 a 4 mm de diâmetro; mas também existem

como discos. Os PIT-tags não têm a sua própria fonte de energia para a emissão de um sinal, têm uma vida útil ilimitada e são inseridos internamente através de agulhas de grande calibre ou cirurgicamente, implantadas subcutaneamente ou na cavidade celomática.

Figura 3 - Princípio da Telemetria com Pit-tag



Fonte: Baeyens *et al.* (2009).

4. METODOLOGIA

4.1 *Stair Pipe*

4.1.1 Local de estudo

O Instituto de Pesquisa da Natureza e Floresta (INBO) é uma instituição do governo belga flamengo. O instituto está situado em um ambiente natural e está equipado com 26 lagoas artificiais (Figura 4). O INBO tem uma parceria com a Agência para a Natureza e Floresta (ANB), particularmente com os departamentos de Lozen e Rijkevorsel.

Figura 4 - INBO Linkebeek



Fonte: INBO

O Instituto possui uma equipe formada por cientistas, técnicos, trabalhadores e os responsáveis pela administração. Estas pessoas realizam pesquisas sobre genética e melhoramento de espécies nativas, além de fornecerem espécimes para projetos de recuperação de espécies e estudarem espécies ameaçadas ou extintas na região Flamenga, Bélgica. O instituto também oferta educação e informação para as escolas e visitantes de outras instituições.

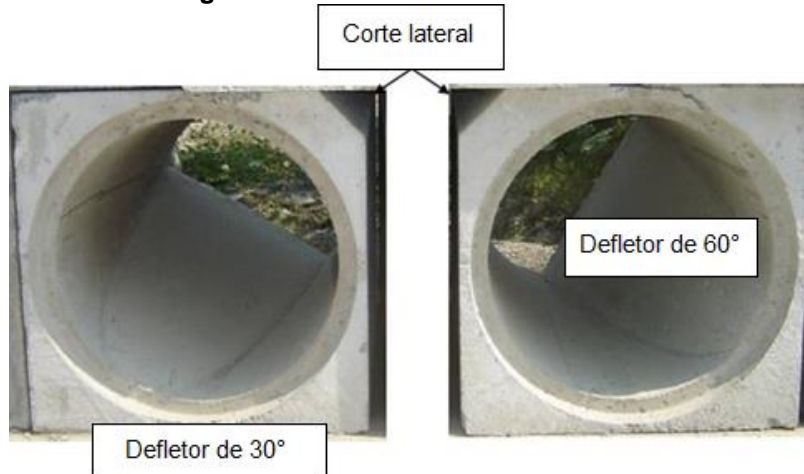
Os experimentos de campo foram feitos no Centro de Piscicultura do INBO, no distrito de Linkebeek. O *Stair Pipe* foi instalado nas dependências do instituto de pesquisa e, desde então, os alunos de mestrado têm usado a estrutura feita de concreto para experimentos com diferentes espécies de peixes.

Tabela 1 - Dados Hidráulicos do *Stair Pipe*

Secção transversal externa ao quadrado	600 mm x 600 mm
Diâmetro do cilindro interno	500 mm
Comprimento da manilha de concreto	1000 mm
Peso da manilha	550 Kg
Número de manilhas	8

Para a montagem do sistema, as manilhas foram colocadas alternadamente de modo que o corte na lateral do concreto ficasse alternado entre o lado direito e o lado esquerdo, sucessivas vezes. Desta forma, a disposição angular dos defletores ao longo do *Stair Pipe* formou ângulos alternados de 30° e 60° (Figura 5). O *Stair Pipe* foi testado com gradiente de inclinação de 5%.

Figura 5 - Manilhas com os defletores



Fonte: Dupont (2009).

A bomba hidráulica distribuiu o volume de água que passará através da estrutura. As vazões médias determinadas foram 5,92 L/s, 9,37 L/s, 13,43 L/s e 14,41 L/s, respectivamente.

Um medidor de temperatura (Figura 6) registrou a temperatura da água durante os dias de experimento. O mesmo estava localizado a montante do *Stair Pipe*.

Figura 6 - Medidor de temperatura



Foto: M. Rafael

4.1.2 Equipamento de Telemetria

4.1.2.1 *PIT-Tags*

O equipamento para a configuração dos experimentos compõe o sistema de telemetria utilizado. Foram implantados PIT-tags cilíndricos de 12 mm, 23 mm e 32 mm, dependendo do tamanho do indivíduo (Figura 7). Ao todo, realizaram-se três períodos de procedimento cirúrgico: primeira semana de fevereiro de 2014, primeira semana de março de 2014 e na última semana de março de 2014.

Figura 7 – Os tamanhos de um PIT-tag: 12 mm, 23 mm e 32 mm



Foto: S. Dessers

Os indivíduos tiveram uma semana para se recuperarem da implantação dos PIT-tags antes de os experimentos começarem. As espécies eram mantidas em tanques de concreto na área externa ao Instituto.

4.1.2.2 *Antenas*

As antenas dos experimentos foram do tipo 4 AWG (diâmetro de 5 mm) e suas configurações formavam uma circunferência onde o peixe atravessava durante sua trajetória dentro do bueiro. Um total de cinco antenas foi instalado, sendo duas antenas em seus extremos, a montante e a jusante, e três espaçadas simetricamente ao longo do comprimento da estrutura de concreto. As antenas foram conectadas aos sintonizadores de antena que regulavam seu alcance de detecção (Figura 8).

Figura 8 - Antenas A1, A2, A3, A4 e A5

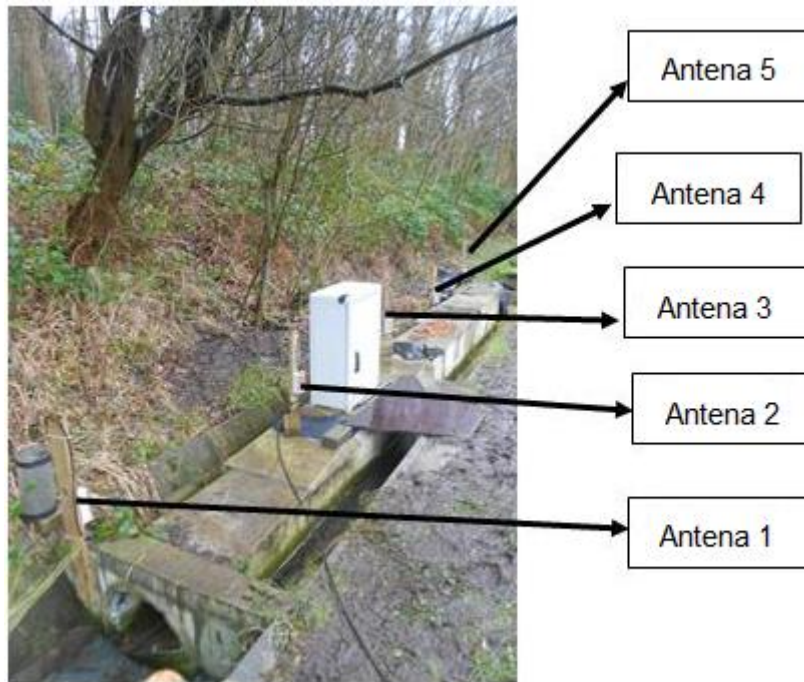


Foto: M. Rafael

4.1.2.3 Cabo Twinax

O Cabo Twinax (Figura 9) conecta o sintonizador de antena ao leitor. Pode ocorrer um superaquecimento do equipamento caso a distância entre o leitor e a caixa do sintonizador seja grande. Outra razão que pode levar ao superaquecimento é o tamanho grande das antenas, o qual não está presente no experimento.

Figura 9 - Cabo Twinax



Foto: S. Dessers

4.1.2.4 Leitor de Identificação por radiofrequência (RFID)

O leitor RFID (Figura 10) é uma das partes mais importantes do sistema de telemetria. Ele contém todos os elementos necessários para a leitura, registro e transmissão de dados. Em outras palavras, o dispositivo é uma estação de monitoramento que detecta os PIT-tags que atravessam a área de alcance da

antena. O leitor também fornece a energia para que a antena possa gerar o campo elétrico para a ativação dos PIT-tags.

Figura 10 - Leitor Multiplexer RFID com vários terminais

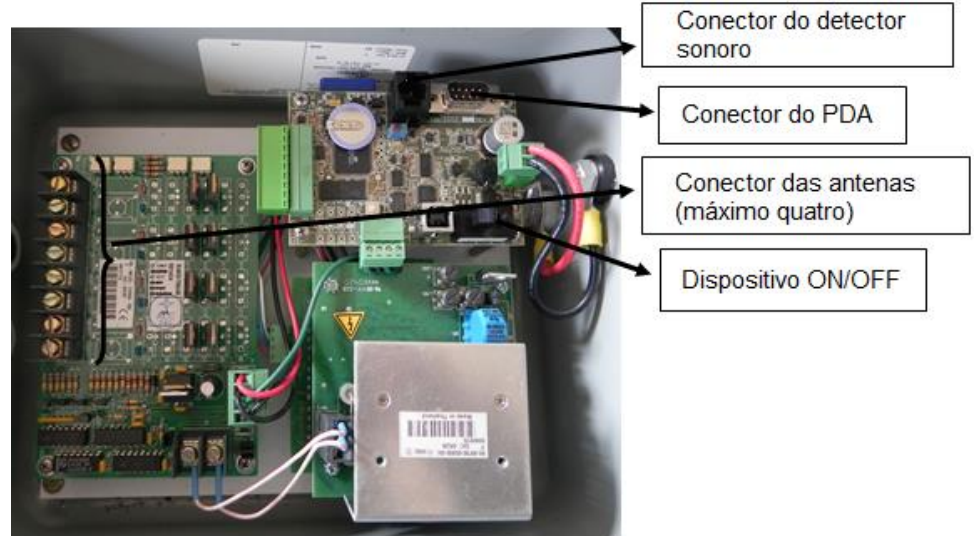


Foto: S. Dessers

Há uma diferença entre um leitor com uma antena e um leitor com múltiplas antenas (Multiplexer), cuja velocidade de leitura é menor e varia de acordo com o número de antenas instaladas. No presente trabalho foram utilizados dois Multiplexers, um com quatro antenas e o outro com uma única antena.

Não obstante, quando em funcionamento, é preciso prestar atenção nas luzes do equipamento. São quatro sinais ao todo:

- **Luz vermelha de erro:** alerta quanto há algum tipo de problema. Também conhecida como Luz de Erro;
- **Luz amarela:** Permite identificar quando existe influência de ruído. Apenas iluminado com interferência intensa. Muito ruído reduz consideravelmente o alcance de leitura e provoca o superaquecimento do leitor.
- **Luz verde:** não indica um problema, mas acende toda vez que um tag é detectado. Esta é a luz a qual é preciso manter a atenção quando se está testando as antenas experimentais e também para checar se a detecção continua funcionando.
- **Luz vermelha:** esta luz está acesa apenas quando o leitor está carregando o pulso. Quando está apagada significa que o leitor está procurando um tag na área.

4.1.2.5 Caixa de sintonizador de antena

Cada antena possui uma caixa de sintonizador (Figura 11). Para sintonizar a antena até uma detecção máxima, você usa as configurações desde equipamento.

Figura 11 - Caixa de sintonizador de antena



Foto: S. Dessers

4.1.2.6 Fontes de Energia

O consumo de energia de um leitor atinge de 0,5 a 3,0 amperes. A antena usada e as configurações determinam o montante final. A quantidade de 7 a 20 volts é requerida para o sistema funcionar de acordo com a sua configuração. Usualmente a operação satisfatória trabalha de 12 a 14 volts e os aparelhos usados estão conectados a fontes de alimentação (Figura 12) que fornecem cerca de 13 volts.

Figura 12 - Fontes de energia (conversor AC / DC, bateria e carregador)



Foto: S. Dessers

4.1.2.7 Dispositivo portátil de mão (PDA) Datalogger

O *datalogger* (Figura 13) é, talvez, a ferramenta mais importante do material de configuração dos experimentos. Os dados do leitor são armazenados em um cartão de memória SD e o *datalogger* mantém uma lista cronológica dos *uploads* fácil de encontrar. O equipamento contém três telas de comando. A primeira corresponde à tela geral onde os dados (scans por segundo, contagem de detecções, tempo desde a última detecção, ruído e o dado do último *upload*) de todas as antenas conectadas são visíveis. A segunda tela é a de configurações que define a taxa de leitura, e a última é a tela de arquivo onde todas as detecções, eventos e dados podem ser encontrados e transferidos do leitor RFID para o PDA Datalogger.

Figura 13 - PDA Datalogger



Foto: S. Dessers

A Figura 14 apresenta uma visão geral do *Stair Pipe* e das localizações do sistema Pit-tag.

Figura 14 - Stair Pipe com o equipamento de configuração dos experimentos



Foto: M. Rafael

4.1.3 Espécies belgas estudadas

Foram escolhidas quatro espécies para os experimentos de campo de acordo com sua disponibilidade em Linkebeek. Foram coletados indivíduos pelágicos de Truta (*Salmo trutta fario*) e de Dace (*Leuciscus leuciscus*) das lagoas artificiais do Instituto, pescados em campo. As espécies bentônicas Bullhead (*Cottus perifretum*) e Burbot (*Lota lota*) usadas nasceram no próprio instituto INBO (piscicultura) e eram mais jovens do que os indivíduos de Truta e Dace. O nicho ecológico de cada espécie influenciou sobre as escolhas das mesmas, presentes na região Flamenga Belga.

Para os indivíduos de menor comprimento (Bullhead e Burbot), o implante de PIT-Tags de 12 mm foi predominante. As espécies Dace e Truta tiveram implantadas PIT-tags de 23 mm e de 32 mm. A Tabela 2 apresenta as características de cada espécie usada nos experimentos, encontradas na literatura.

Tabela 2 - Características das espécies testadas

Espécie	Velocidade de Sprint (m/s)	Período migratório	Temperatura de desova (°C)
Bullhead	1,12	Não migradora	8-11
Burbot	1,97	Nov-mar	1-3
Truta	2-4	Out-dez	3-9
Dace	2,4	Fev-mar	8

(Eens, Humblet, Kobler & Pinxten, 2010; Hop, 2011)

4.1.3.1 *Burbot (Lota lota)*

O *Lota lota* (Figura 15) pertence à família Gadidae, de água doce (BERGERSEN *et al.*, 1993). Avaliado como um peixe bentônico, o *Lota lota* usa da sua morfologia corporal para permanecer em contato com o fundo do corpo d'água. A espécie é mais ativa no período noturno e seu período migratório reprodutivo compreende o final do inverno e o início da primavera, quando os indivíduos nadam dos lagos para os rios tributários (SCOT & CROSSMAN, 1973).

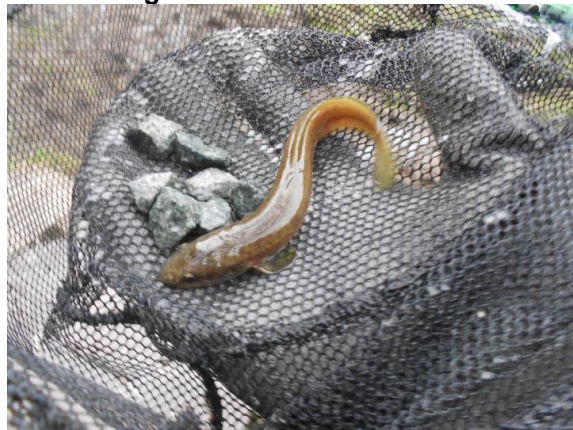
Figura 15 - *Lota lota*

Foto: M. Rafael

O número de indivíduos desta espécie em que se implantaram os PIT-tags foi quarenta e dois. O comprimento e o peso médios corresponderam, respectivamente, a 139,33 mm com desvio padrão de 14,98 e 15,25 g com desvio padrão de 5,36.

A Tabela 3 apresenta a quantidade e o período de experimentos estabelecidos por vazão, o número de indivíduos testado e a temperatura da água. Em função de problemas na configuração do sistema, o teste com a vazão de 5,92 L/s foi feito.

Tabela 3- Configurações dos experimentos com Burbot

Válvula de Abertura (mm)	Vazão média (L/s)	Período do teste	Número de indivíduos	Temperatura da água (°C)
4	5,92	11/03/2014 a 12/03/2014	21	10,45°C
8	9,37	17/02/2014 a 18/02/2014	25	10,14°C
13	13,43	13/02/2014 a 14/02/2014	35	9,36°C
17	14,41	18/02/2014 a 19/02/2014	25	9,98°C

4.1.3.2 Bullhead (*Cottus perifretum*)

O *Cottus perifretum* (Figura 16) é um peixe bentônico territorialista de porte pequeno, o qual até 2003 acreditava-se estar extinto na bacia do rio Demer na Região Flamengo. O Instituto de Pesquisa da Natureza e Floresta (INBO) e a Agência para a Natureza e Florestas (ANB) lançou um projeto de conservação para preservar esta população reintroduzindo a progênie cultivada em Zevenbronnenbeek. Este processo foi cuidadosamente visado e selecionaram-se sete locais potenciais avaliados dentro da bacia do rio Demer baseando-se na qualidade e disponibilidade de alimentos (VUGHT *et al.* 2011).

Figura 16 - *Cottus perifretum*

Foto: M. Rafael

O número de indivíduos desta espécie em que se implantaram os PIT-tags foi dezesseis. O comprimento e o peso médios corresponderam, respectivamente, a 7,67mm com desvio padrão de 1,47 e 81,31g com desvio padrão de 4,81.

A Tabela 4 apresenta a quantidade e o período de experimentos estabelecidos por vazão, o número de indivíduos testado e a temperatura da água. Devido à baixa quantidade de indivíduos desta espécie disponível no Instituto, foram realizados apenas dois experimentos.

Tabela 4 - Configurações dos experimentos com Bullhead

Válvula de Abertura (mm)	Vazão média (L/s)	Período do teste	Número de indivíduos	Temperatura da água (°C)
4	5,92	12/03/2014 a 13/03/2014	14	10,45°C
8	9,37	13/03/2014 a 14/03/2014	12	9,82°C

4.1.3.3 *Dace (Leuciscus leuciscus)*

O comportamento *homing behavior* da espécie pelágica *Leuciscus leuciscus* (Figura 17), um pequeno ciprinídeo, é tão forte em distâncias curtas que eles podem voltar à mesma área de refúgio e ocupar a mesma posição no banco de areia em relação a outros peixes reconhecíveis. Adultos mostram pouca atividade durante o dia e a noite no verão. Eles se movimentam rápido ao amanhecer e entardecer entre distintos habitat noturnos e diurnos (CLOUGH & LADLE, 1997). Os juvenis entram e saem das baías em resposta ao risco de predação em diferentes intensidades de luz (BARAS & NINDABA, 1999).

Figura 17 - *Leuciscus leuciscus*



Foto: M. Rafael

O número de indivíduos desta espécie em que se implantaram os PIT-tags foi vinte e cinco. O comprimento e o peso médios corresponderam, respectivamente, a 96,64mm com desvio padrão de 23,14 e 187,69 g com desvio padrão de 25,95.

A Tabela 5 apresenta a quantidade e o período de experimentos estabelecidos por vazão, o número de indivíduos testado e a temperatura da água. Esta espécie é de origem silvestre e foram capturadas e mantidas dentro das lagoas artificiais do local de estudo antes dos experimentos.

Tabela 5- Configurações dos experimentos com Dace

Válvula de Abertura (mm)	Vazão média (L/s)	Período do teste	Número de indivíduos	Temperatura da água (°C)
4	5,92	02/04/2014 a 03/04/2014	19	12,32°C
8	9,37	04/04/2014 a 05/04/2014	16	11,07°C
13	13,43	01/04/2014 a 02/04/2014	21	11,38°C
17	14,41	03/04/2014 a 04/04/2014	18	11,54°C

4.1.3.4 *Truta (Salmo trutta fario)*

Considerado como um bom nadador e um peixe pelágico, o *Salmo trutta fario* (Figura 18) se reproduz durante o final do inverno e início da primavera. A maioria

dos salmonídeos, no momento em que os alevinos emergem, tem capacidades motoras relativamente bem desenvolvidas e são capazes de movimento dirigido (ROUSSEL & BARDONNET 1999), embora com magnitude limitada (NORTHCOTE, 1984).

Figura 18 - *Salmo trutta fario*



Foto: M. Rafael

O número de indivíduos desta espécie em que se implantaram os PIT-tags foi vinte e dois. O comprimento e o peso médios corresponderam, respectivamente, a 167,05 mm com desvio padrão de 37,98 e 61,93 g com desvio padrão de 55,05.

A Tabela 6 apresenta a quantidade e o período de experimentos estabelecidos por vazão, o número de indivíduos testado e a temperatura da água. Esta espécie é de origem silvestre e permaneceu dentro das lagoas artificiais do local de estudo antes dos experimentos

Tabela 6 - Configurações dos experimentos com Truta

Válvula de Abertura (mm)	Vazão média (L/s)	Período do teste	Número de indivíduos	Temperatura da água (°C)
4	5,92	09/04/2014 a 10/04/2014	15	10,46°C
8	9,37	07/04/2014 a 08/04/2014	16	12,01°C
13	13,43	10/04/2014 a 11/04/2014	15	10,29°C
17	14,41	08/04/2014 a 09/04/2014	16	10,61°C

4.1.4 Experimentos com as espécies de peixes

Para os experimentos em Linkebeek, foram selecionadas as semanas de Fevereiro, Março e Abril do ano de 2014. Previamente, o mês de janeiro de 2014 foi usado para o conhecimento da área onde o *Stair Pipe* está localizado. Todo o equipamento foi checado para avaliar se o mesmo trabalhava apropriadamente.

Em fevereiro de 2014, alguns dias depois da recuperação cirúrgica, os indivíduos de Burbot (*Lota lota*) estavam prontos para os experimentos. Os dias escolhidos foram 12, 13 e 14 de fevereiro; 17, 18 e 19 deste mês (não incluiu-se o final de semana). Os experimentos com a espécie Bullhead (*Cottus perifretum*) foram realizados em março, nos dias 12, 13 e 14. Os experimentos tanto com Dace (*Leuciscus leuciscus*) quanto com Truta (*Salmo trutta fario*) foram realizados em abril, na primeira e segunda semanas, respectivamente.

Os experimentos foram realizados para as quatro vazões médias, por espécie (exceto para a Bullhead, a qual foram duas vazões) com o objetivo de simular as mudanças de vazão provenientes da dinâmica dos rios e riachos. Cada teste durou 23-24 horas, e levaram-se em consideração as diferentes velocidades criadas pelas aberturas da válvula. Os peixes foram colocados a jusante do *Stair Pipe*. É importante considerar que a ordem de cada teste não seguiu a ordem crescente de vazões, para evitar o cansaço dos indivíduos ao final do último teste com a maior vazão.

O *software* Statistica foi usado para a elaboração dos gráficos do tipo Box Plot para avaliar o número de tentativas de transposição entre as antenas e as velocidades associadas ao caminho realizado pelos indivíduos entre as antenas.

Cada experimento gerou um gráfico Box Plot referente ao número de tentativas dos indivíduos ao tentarem nadar em direção a montante, de uma antena para a seguinte (A1 para A2, A2 para A3, A3 para A4 e A4 para A5). O número de tentativas de transposição é um indicativo do comportamento do peixe dentro do bueiro. Desta forma, no presente trabalho são apresentados os principais resultados obtidos para Bullhead, Burbot, e Truta, que foram obtidos com as vazões de 5,92 L/s e 9,37 L/s. Já para Dace os resultados apresentados foram para as vazões de 5,92 L/s, 9,37 L/s, 13,43 L/s e 14,41 L/s.

Para os resultados de velocidade dos peixes, foram utilizados os experimentos com as quatro vazões para Dace e Truta, pois são espécies migradoras e apresentam um padrão de maior movimentação dentro do bueiro. As velocidades foram determinadas através da distância entre as duas antenas sequenciais e do tempo gasto para o indivíduo ser detectado de uma para a outra. Em seguida, dividiu-se a velocidade em m/s pelo comprimento médio dos indivíduos de cada espécie para obter-se a velocidade em comprimento/s. Esta medida é normalmente utilizada em capacidade natatória das espécies de peixes.

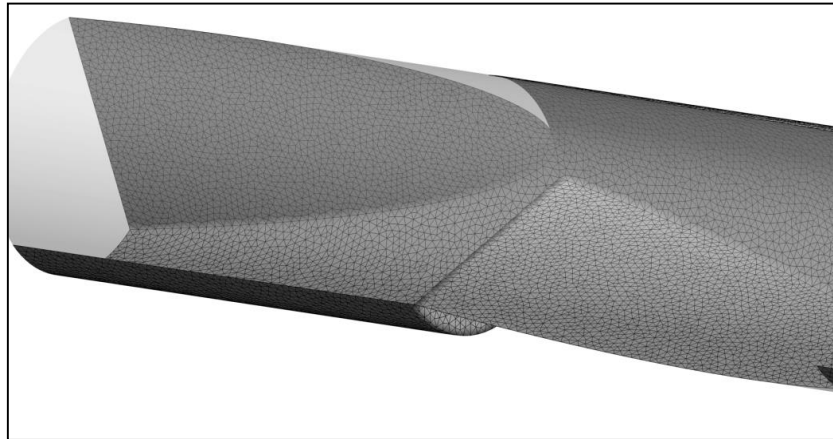
4.2 Modelo numérico do *Stair Pipe*

Neste estudo, um modelo de dinâmica de fluidos computacional (CFD) foi desenvolvido para projetar bueiros cilíndricos com defletores a fim de avaliar as condições de instalação. Simulações numéricas reproduziram o modelo em laboratório e foram avaliados os mesmos parâmetros do *Stair Pipe* para diferentes inclinações e vazões. Os resultados da simulação foram visualizados com o *Software* TECPLOT 360, versão 2009.

O desenvolvimento da geometria para a simulação foi realizada no *Software* Solid Works 2011, o qual atendeu aos seguintes parâmetros utilizados em escala real: inclinação (%), comprimento (m), diâmetro interno (cm) e ângulo de defletores (°). O comprimento total é de 8 metros, distribuídos em oito manilhas de um metro cada e diâmetro de 50 centímetros. Foi mantido o mesmo 5% de inclinação da estrutura física e os defletores alternados de 60° e 30°.

O próximo passo foi a geração da malha no *Software* Gridgen (Figura 19). O tipo de malha usado foi a não estruturada, a qual correspondeu a um total de 1.334.955 células tetraédricas e 251.998 nós. Após a determinação do domínio do novo design com defletores, foram testadas as suas variações no modelo numérico através do simulador numérico tridimensional CFD (*computational fluid dynamics*). Com esta ferramenta é possível computar o campo do fluxo em três dimensões e determinar a elevação da superfície da água com bastante precisão (FEURICH *et al.*, 2012).

Figura 19 - Malha gerada no modelo numérico (Gridgen)



Para as simulações, adotaram-se três diferentes vazões de entrada: 5,92 L/s, 9,37 L/s e 13,43 L/s (não foi simulada a vazão de 14,41 L/s). Estas vazões são a média das vazões encontradas e fornecidas pelo INBO, para os parâmetros de inclinação, diâmetro e comprimento apresentados anteriormente. As mesmas estão associadas às velocidades que variaram de acordo com o medidor de velocidade. Também se criou a condição de contorno de que haveria uma lâmina de água na seção de entrada, dado também mensurado em campo. Todo o sistema estava submetido à ação da gravidade ($g=9,812$).

A simulação foi decorrente de cálculos implícitos que requerem o uso de iterações fundadas em um escoamento de regime transiente, ou seja, variando ao longo do tempo. O *Software* Fluent foi utilizado para a realização destes cálculos aplicados nos centróides de cada volume de controle (célula de malha).

As equações a serem calculadas para cada elemento de malha durante a simulação são:

- Equação da conservação da massa

$$\frac{\delta\rho}{\delta t} + \nabla \cdot (\rho \cdot \vec{u}) = 0 \quad (1)$$

Onde: ρ é a densidade do fluido; u é a velocidade e t é o tempo.

- Equação da quantidade de movimento

$$\sum F = \frac{\delta P}{\delta t} \quad (2)$$

Onde: P é a quantidade de movimento linear e t é o tempo.

- Equação da conservação de energia

$$\rho \frac{\delta u}{\delta t} = \frac{\delta u}{\delta t} + (u \cdot \nabla) \cdot u \quad (3)$$

Onde: ρ é a densidade do fluido; u é a velocidade e t é o tempo.

- Equações do modelo turbulento
 - Equação da energia cinética turbulenta

$$k = \frac{1}{2} u'_i \cdot u'_j \cdot u'_k \quad (4)$$

Onde u' são as flutuações turbulentas ao longo do tempo em relação aos eixos de coordenadas.

- Equação da Taxa de dissipação de energia

$$\varepsilon = \frac{k}{\nu} \quad (5)$$

Onde: k é a energia cinética turbulenta e ν é a viscosidade turbulenta.

O modelo VOF utilizado assumiu dois tipos de fluido: ar e água. Para o tratamento da turbulência foi adotada a abordagem de média de Reynolds com o modelo de fechamento $k-\varepsilon$, tendo $k=10^{-6}$ com método implícito das equações. O modelo VOF também prevê a forma da superfície livre e o regime de fluxo dentro do bueiro.

4.2.1 Validação dos resultados do modelo

O objetivo da validação é determinar em que medida um modelo matemático representa um determinado fenômeno real. Modelos calibrados e validados são ferramentas indispensáveis ao gerenciamento de sistemas ambientais, permitindo otimizar os custos de medições e monitoramento, além de possibilitar a expansão do conhecimento para grandes áreas (RIBAS, 2004).

No presente trabalho, a validação se deu através da comparação e análise das velocidades encontradas no modelo numérico com aquelas encontradas em campo, no INBO. A importância desta calibração do modelo está na possibilidade de criação de novas condições e parâmetros para observar o comportamento hidráulico do *Stair Pipe*, e, conseqüentemente, o comportamento dos peixes.

As vazões médias foram encontradas de acordo com as suas respectivas aberturas da válvula do condutor hidráulico ligado à bomba a qual recalrava a água de um dos lagos presentes no Instituto. Três recipientes de 200 litros foram utilizados para determinar as vazões médias (Figura 20). Foi contado o tempo necessário para preencher todos os três recipientes (600 litros). Finalmente, depois do processo repetido três vezes para cada abertura diferente da válvula, foram obtidas as vazões que seriam aplicadas nos experimentos com peixes.

Figura 20 - Os galões da medição e a válvula de abertura



Foto: M. Rafael

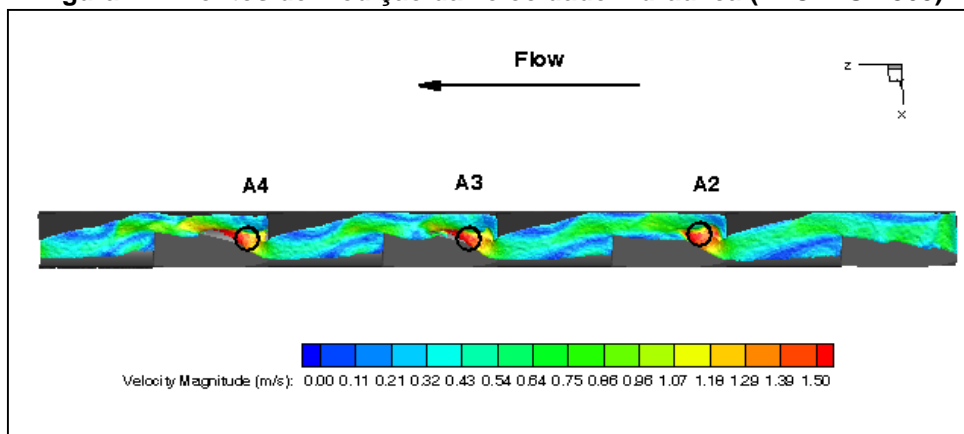
A Tabela 7 mostra quais foram as aberturas da válvula utilizadas para determinar a passagem de água pelo condutor e as vazões correspondentes.

Tabela 7 - Aberturas da válvula e suas respectivas vazões calculadas

Abertura da válvula (mm)	Vazão média (L/s)	Vazão média (m³/h)
4	5,92	21,3
8	9,37	33,7
13	13,43	48,3
17	14,41	51,87

Os resultados da modelagem foram validados com base nas medições de velocidade. Foi usado um medidor de velocidade portátil do tipo FH950 para obter as velocidades máximas da água em três regiões diferentes do *Stair Pipe*. A primeira região localizava-se entre as antenas A1 e A2, o segundo entre as antenas A2 e A3 e o terceiro entre as antenas A3 e A4 (Figura 21).

Figura 21 - Pontos de medição da velocidade hidráulica (TECPLOT 360)



Os valores da velocidade máxima foram identificados durante as medições para todas as vazões, exceto para aquela criada pela válvula de 17 milímetros de abertura porque o modelo numérico não simulou a sua vazão de 14,41 L/s.

4.3 Configuração do sistema de telemetria

4.3.1 Ajuste dos leitores RFID

Há dois Multiplexers RFID na Estação de Linkebeek devido ao número de antenas no *Stair Pipe*. Um único Multiplexer comporta no máximo quatro antenas. Baseado em experimentos anteriores, a melhor configuração testada foi quatro antenas (A1, A3, A4 e A5) conectadas ao leitor 1 e uma antena (A2) conectada ao

leitor 2. A Tabela 8 contém as configurações dos dois leitores no sistema, configurados através do PDA *Datalogger*.

Tabela 8 - Configuração dos dois leitores

	Leitor 1	Leitor 2
Multiplexer sequence	Multiplexer (A1, A2, A3, A4)	Multiplexer (A2)
Listen duration	50 ms	325 ms
Pulse width	50 ms	65 ms
Read rate	10 scans/sec	2.5 scans/sec
Amperage (fine tuner)	1.8	1.8
Volts	12.8	12.8

A Companhia Oregon RFID possui o manual para *download* no seu *website*, para a configuração do sistema de telemetria. A diferença da taxa de leitura (Read rate) de um leitor para o outro consiste no número de antenas em cada. Durante um período, o leitor 2 também foi configurado para 10 *scans* por segundo e isto causou muito ruído devido à falta de sincronia dos leitores.

É extremamente importante a verificação do tempo e data dos dois leitores, pois, para evitar problemas nos resultados de detecção, ambos precisam possuir estes parâmetros idênticos. A Tabela 9 apresenta a interface final das detecções coletadas dos leitores pelo PDA *Datalogger* e transmitidas para o computador.

Tabela 9 - Interface final dos dados retirados dos RFID

Detection date	Time	Duration	Tag type	Tag ID	Antenna num	record count	empty record count
04/03/14	05:50:48.60	00:00:00.98	A	00000_0_900_228000006016	A1	3	14
04/03/14	05:50:50.60	00:00:05.70	A	00000_0_900_228000006011	A4	14	52
04/03/14	05:51:00.09	00:00:47.19	A	00000_0_900_228000006016	A1	104	21
04/03/14	05:51:00.31	00:00:35.24	A	00000_0_900_228000006011	A4	79	12
04/03/14	05:51:10.36	00:00:15.20	A	00000_0_900_228000006012	A5	35	50
04/03/14	05:51:29.99	00:00:10.58	A	00000_0_900_228000006012	A5	23	27
04/03/14	05:51:40.81	00:00:01.38	A	00000_0_900_228000006011	A4	4	52
04/03/14	05:51:44.60	00:00:10.02	A	00000_0_900_228000006012	A5	24	18
04/03/14	05:51:44.99	00:00:13.21	A	00000_0_900_228000006011	A4	30	6
04/03/14	05:51:58.31	00:00:00.89	A	00000_0_900_228000006012	A5	4	18
04/03/14	05:52:03.18	00:00:27.05	A	00000_0_900_228000006012	A5	62	9

- Detection date: data que o PIT-tag foi detectado;
- Time: tempo que o PIT-tag foi detectado;
- Duration: tempo que o indivíduo detectado permanece no alcance da antena;

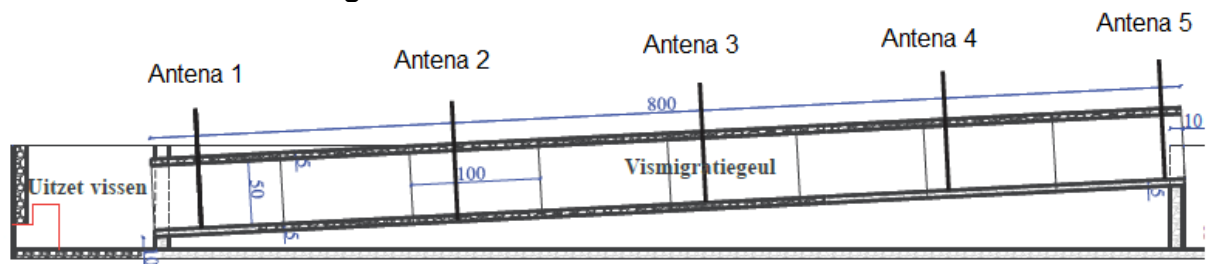
- Tag type: registro de especificidade do PIT-tag;
- Tag ID: identificação do número do PIT-tag;
- Antenna number: antena onde foi detectado o PIT-tag;
- Record count: quantidade de vezes que o PIT-tag foi percebido;
- Empty record count: número de varreduras vazias depois que o PIT-tag foi detectado.

4.3.2 Montagem das antenas

Após a distribuição das cinco antenas (Figura 22) e a configuração dos leitores, alguns experimentos com detecções foram realizados com uma vara de madeira e diferentes tamanhos de PIT-tags. Um padrão foi seguido para verificar se as antenas estavam trabalhando corretamente antes de os experimentos com peixes começarem: da antena 1 para a antena 5, em ordem ascendente. Pelo menos dez detecções por antena.

A antena 1 é a mais próxima do reservatório a jusante onde os indivíduos iniciam seu caminho de travessia no *Stair Pipe*. A antena 2 foi a antena mais complexa para ajustar ao sistema devido ao isolamento da mesma em outro Multiplexer. Após as configurações corretas da segunda antena, não houve problemas relativos às demais. Ao final do caminho, o indivíduo passa pela antena 5 antes de alcançar a gaiola a montante.

Figura 22 - Posicionamento das Antenas

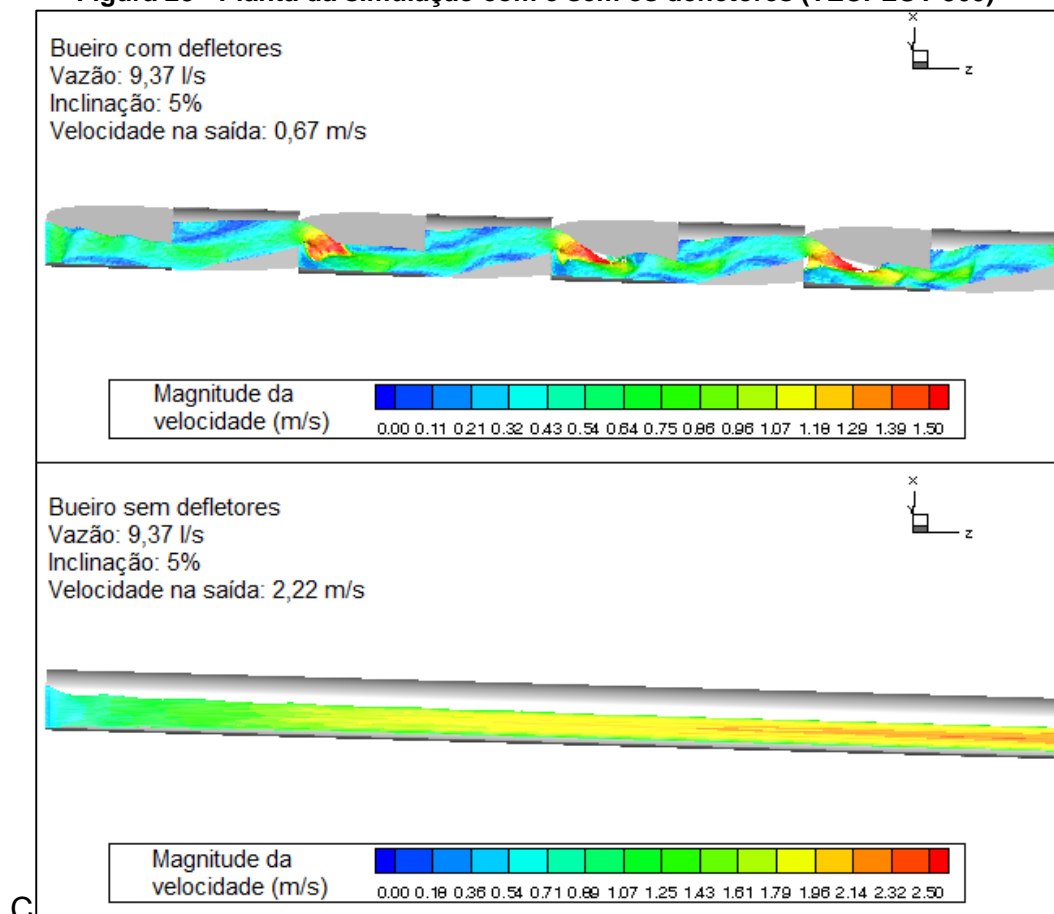


5. RESULTADOS

5.1 Resultados da modelagem hidráulica

Os efeitos dos defletores dentro do bueiro provocaram uma redução da velocidade da água e a criação das piscinas de remanso. Também foi simulada uma condição de ausência destes dispositivos redutores e percebeu-se que, para uma vazão de 9,37 L/s, sua velocidade na saída é consideravelmente mais elevada (2,22 m/s) do que com a presença dos defletores (0,67 m/s), conforme ilustrado na Figura 23.

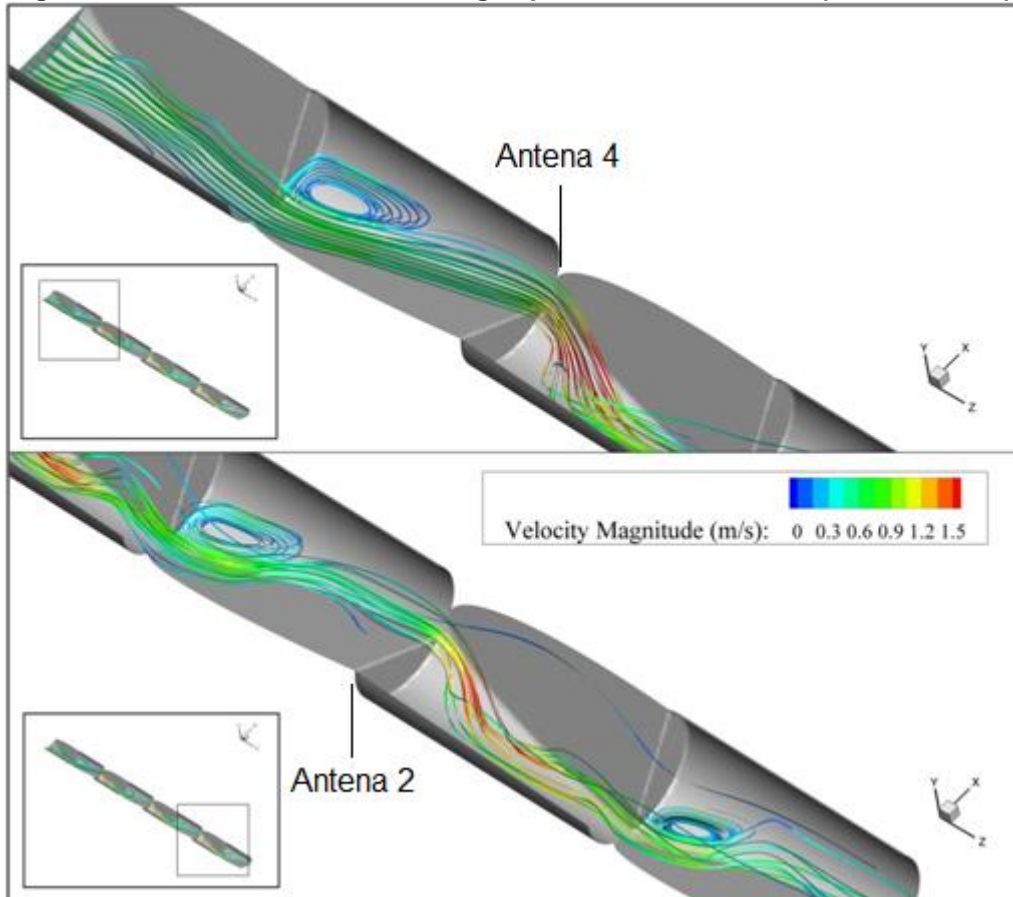
Figura 23 - Planta da simulação com e sem os defletores (TECPLOT 360)



Na Figura 24, as linhas de corrente em azul representam as zonas onde os menores valores de velocidade da água (0,0 m/s a 0,3 m/s). Estas zonas correspondem à região de recirculação de água que permite a criação das piscinas de descanso. As áreas foram localizadas imediatamente atrás dos defletores de 60°,

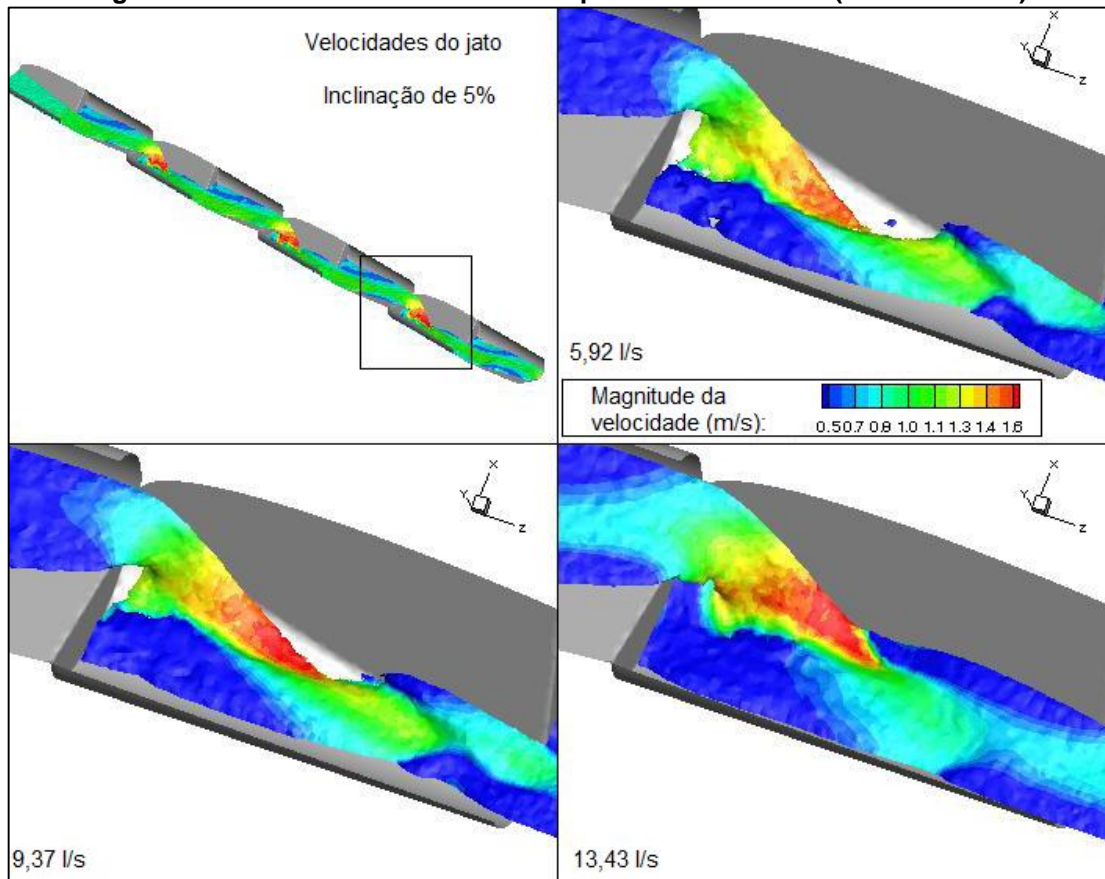
que é o mesmo defletor onde a concentração de indivíduos de todas as espécies testadas escolheu permanecer para evitar áreas com mais turbulência.

Figura 24- Linhas da velocidade da água para vazão de 9,37 L/s (TECPLOT 360)



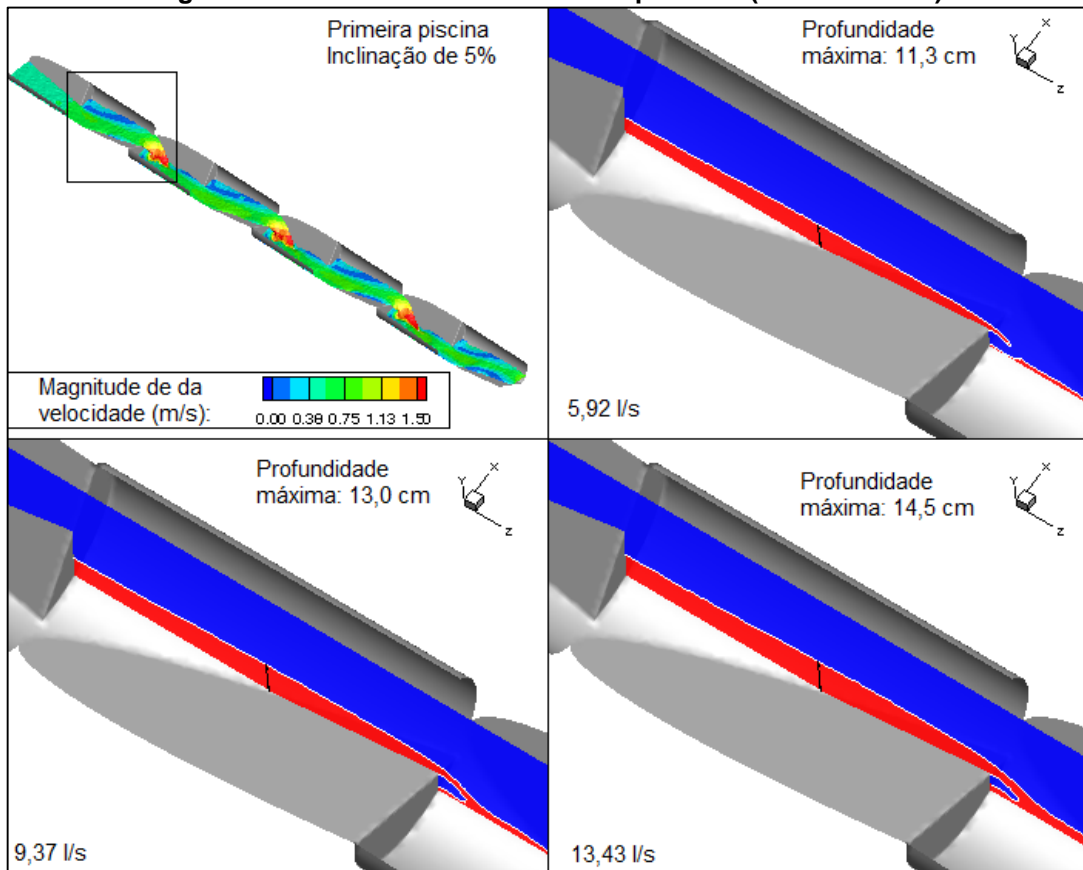
A magnitude das velocidades encontradas nas regiões da piscina de remanso do modelo computacional foi próxima de zero para as três vazões testadas. Os jatos imediatamente a jusante das piscinas atingiram valores maiores de velocidade nas manilhas com defletores de 60° , as quais aumentavam conforme a vazão testada era maior (Figura 25). As vazões maiores podem causar submergência dos jatos e reduzir a região de alta velocidade (por outro lado, irá aumentar a turbulência dentro do *Stair Pipe*).

Figura 25 – Jatos do modelo simulado para as três vazões (TEC PLOT 360)



A profundidade máxima foi determinada nas manilhas com defletores de 30°. A Figura 26 ilustra os diferentes valores de profundidade encontrados para as três vazões simuladas. As áreas onde se localizam as piscinas de remanso possuem maiores profundidades de acordo com o aumento da vazão. O *Stair Pipe* possui defletores que funcionam como degraus que podem influenciar na travessia dos indivíduos, em especial os bentônicos. Na medida em que a lâmina d'água aumenta, estes degraus submergem.

Figura 26 - Profundidade máxima das piscinas (TECPLOT 360)



5.2 Medidas das velocidades de calibração

As velocidades de calibração são apresentadas na Tabela 10, para as vazões de 5,92 L/s, 9,37 L/s e 13,43 L/s nas regiões das antenas A2, A3 e A4.

Tabela 10- Velocidades máximas do modelo numérico e do real

Vazão (L/s)	Fonte do resultado	Velocidade máxima (m/s)			Diferença (%)		
		A2	A3	A4	A2	A3	A4
5,92	Modelo Numérico	1,1	1,1	1,2	5,8%	3,1%	2,7%
	Modelo Real	1,0	1,1	1,1			
9,37	Modelo Numérico	1,2	1,3	1,3	-1,6%	-0,9%	-2,4%
	Modelo Real	1,2	1,3	1,3			
13,43	Modelo Numérico	1,1	1,4	1,4	-7,5%	1,1%	-2,2%
	Modelo Real	1,2	1,4	1,4			

As velocidades máximas encontradas na simulação são muito próximas às encontradas nos experimentos de campo com o medidor de velocidade, com valores variando entre 1,0 m/s (vazão de 5,92 L/s no modelo real) e 1,4 m/s (vazão de 13,43 L/s nos modelos numérico e real).

5.3 Resultados do número de tentativas por espécie

De acordo com Haro *et al.* (2004), o número de tentativas de transposição de um indivíduo está associado aos movimentos migratórios por ele realizados durante experimentos em um mecanismo de transposição. O mesmo conceito foi aplicado no presente trabalho, para designar a quantidade de vezes que a espécie percorreu um determinado caminho dentro do *Stair Pipe*.

5.3.1 Experimentos com Burbot (*Lota lota*)

As Figuras 27 e 28 apresentam o mesmo comportamento da espécie dentro do *Stair Pipe*. A grande maioria dos indivíduos de Burbot tendeu a permanecerem mais próximos do reservatório localizado a jusante, enquanto poucos indivíduos conseguiram fazer a transposição do bueiro. Na gaiola a montante foram encontrados 4,71% dos indivíduos de todos os experimentos somados, que atravessaram completamente o *Stair Pipe*.

Figura 27 - Número de tentativas com Burbot para uma vazão de 5,92 L/s

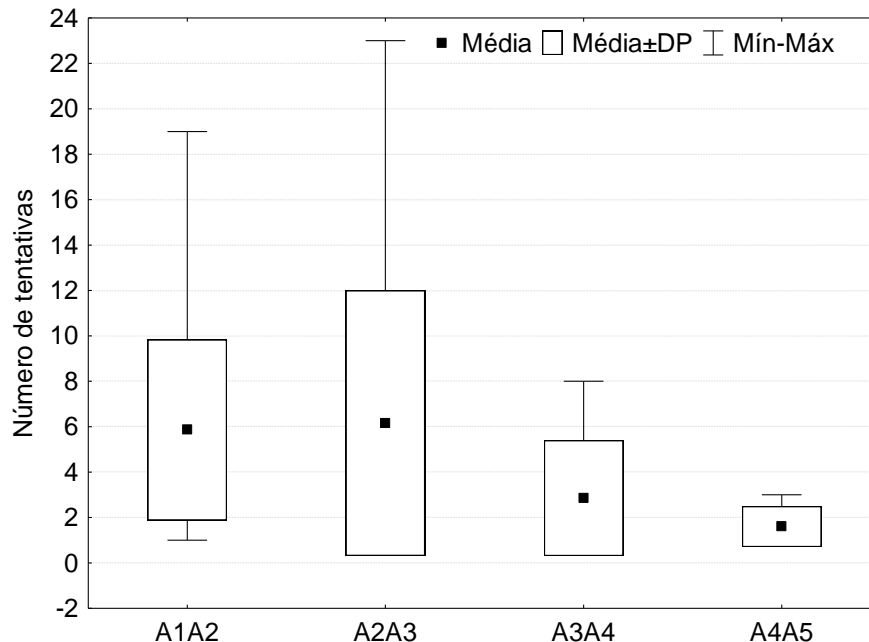
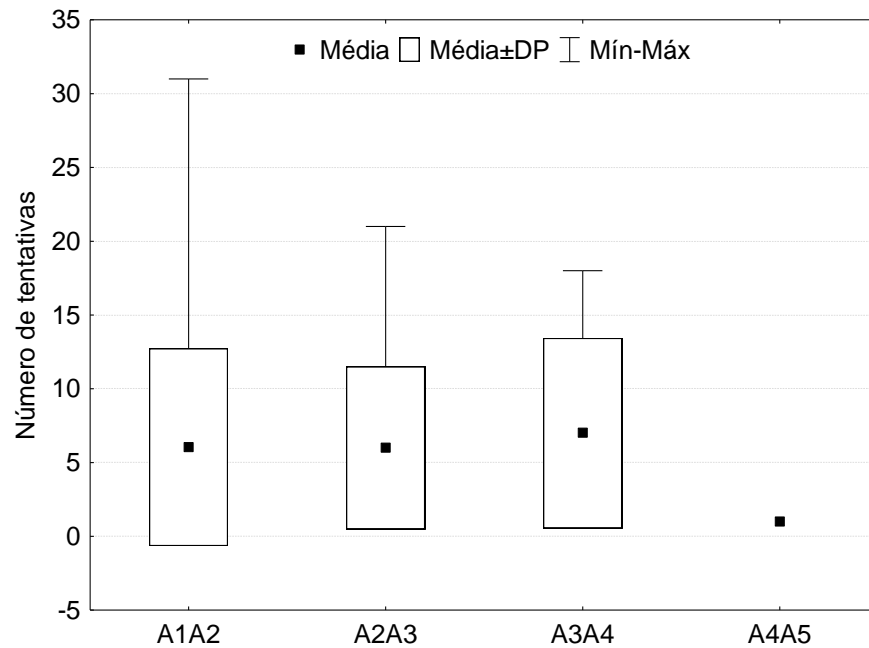
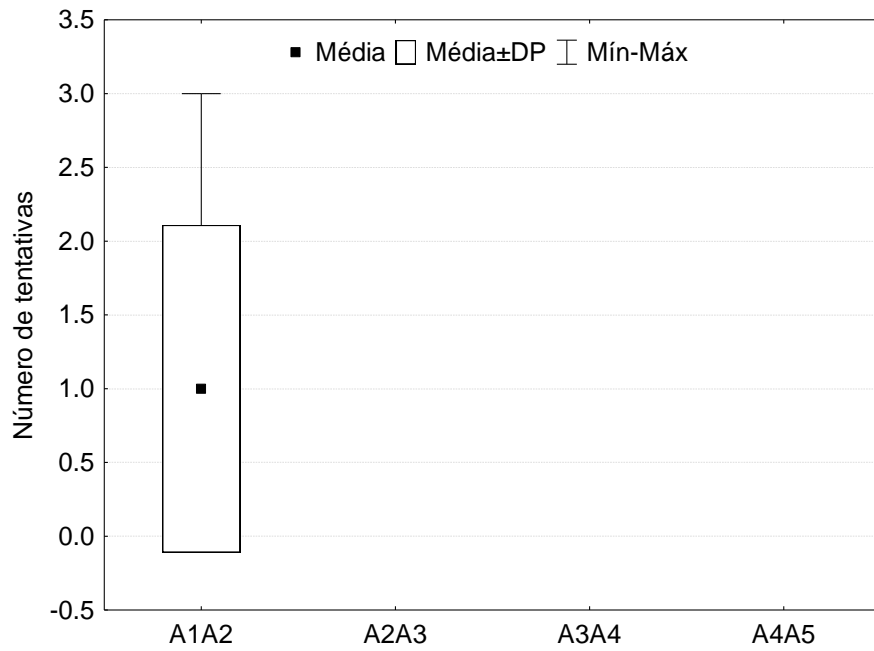
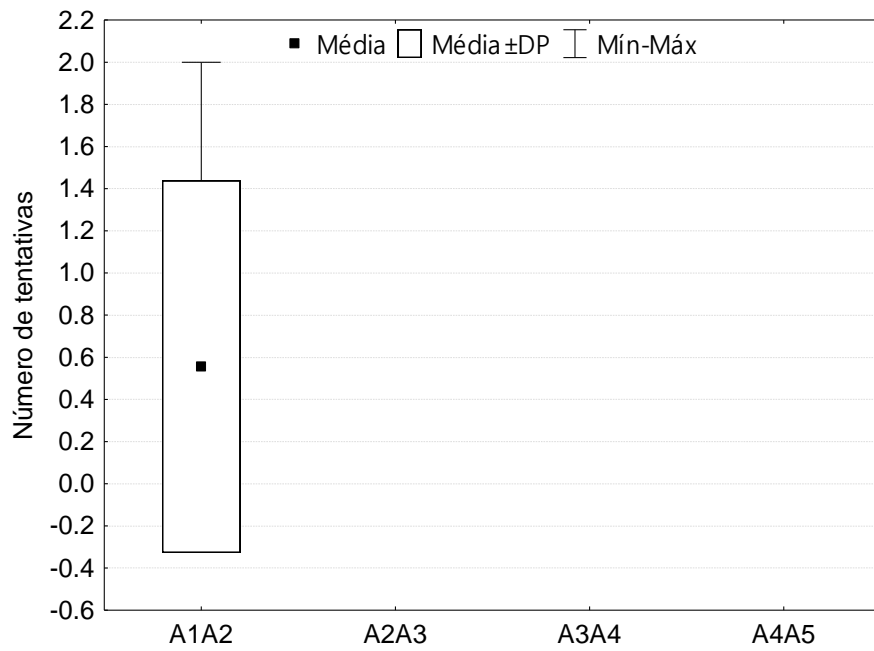


Figura 28 - Número de tentativas com Burbot para uma vazão de 9,37 L/s

5.3.2 Experimentos com Bullhead (*Cottus perifretum*)

Não foi encontrado um padrão natatório para esta espécie, durante os experimentos. A sua tendência em permanecer no fundo do reservatório a jusante é evidenciada nos gráficos das Figuras 29 e 30 cujos números de tentativas fixaram-se somente da antena A1 para a antena A2 (A1A2). Não foi encontrado nenhum indivíduo em nenhum dos experimentos na gaiola a montante.

Figura 29 - Número de tentativas com Bullhead para uma vazão de 5,92 L/s**Figura 30 - Número de tentativas com Bullhead para uma vazão de 9,37 L/s**

5.3.3 Experimentos com Dace (*Leuciscus leuciscus*)

Os experimentos com Dace apresentaram um maior número de tentativas em A4A5, (Figuras 31 a 34). No reservatório a montante foi encontrada uma quantidade considerável correspondente a 83,78% dos indivíduos de todos os experimentos somados, que atravessaram completamente o *Stair Pipe*.

Figura 31 - Número de tentativas com Dace para uma vazão de 5,92 L/s

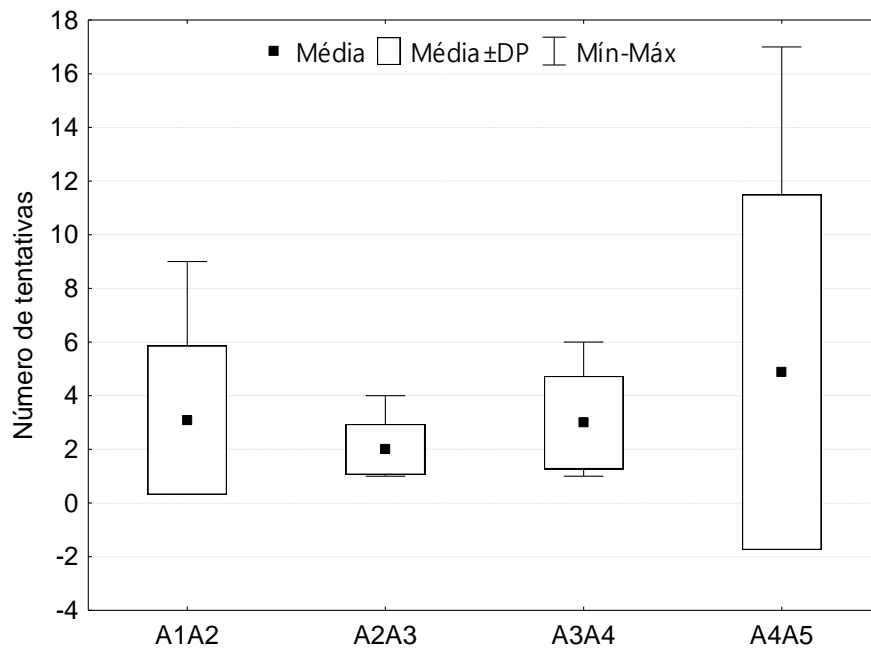


Figura 32 - Número de tentativas com Dace para uma vazão de 9,37 L/s

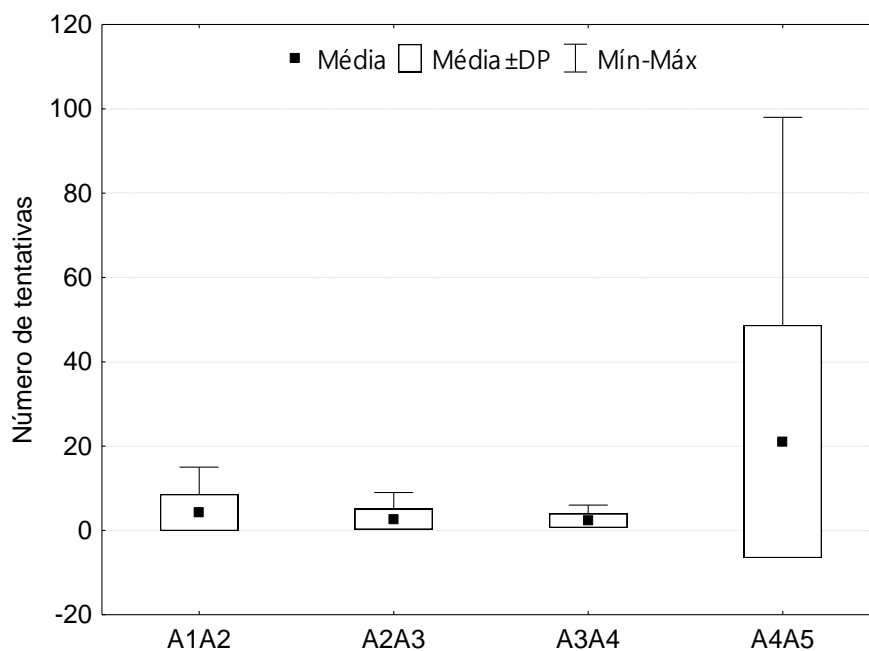


Figura 33 - Número de tentativas com Dace para uma vazão de 13,43 L/s

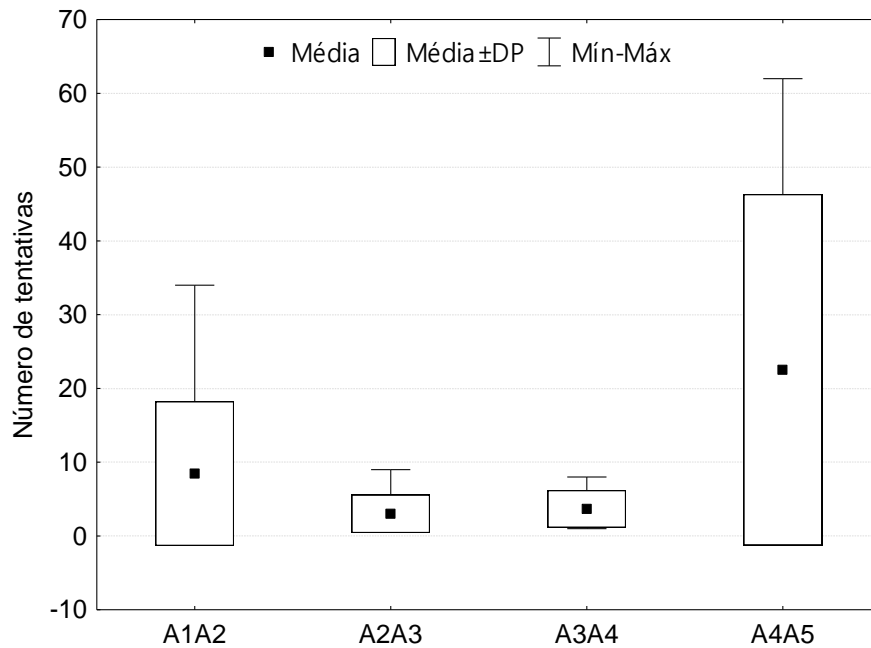
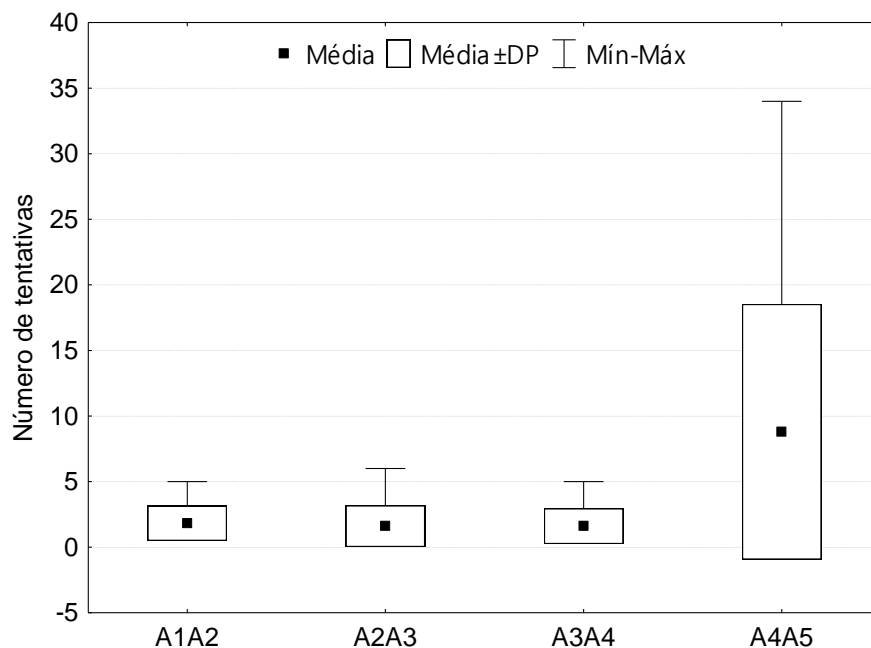


Figura 34 - Número de tentativas com Dace para uma vazão de 14,41 L/s



5.3.4 Experimentos com Truta (*Salmo trutta fario*)

Os experimentos realizados com os indivíduos de Truta não apresentaram um comportamento padrão relativo ao seu bom desempenho dentro do *Stair Pipe* (Figuras 35 e 36). A espécie apresentou uma boa capacidade em cruzar o bueiro,

evidenciada pelo grande número de indivíduos dentro do reservatório a montante (50% dos indivíduos de todos os experimentos somados).

Figura 35 - Número de tentativas com Truta para uma vazão de 5,92 L/s

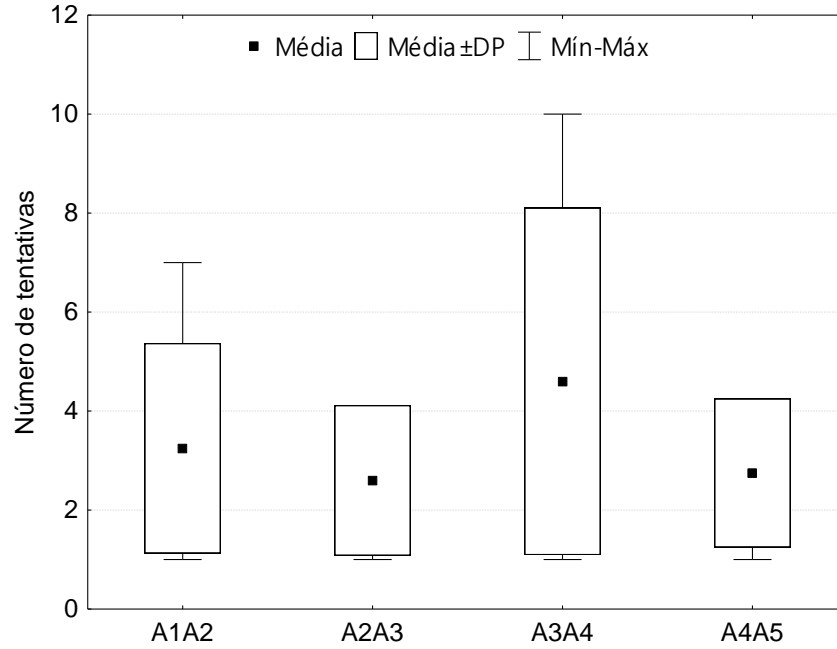
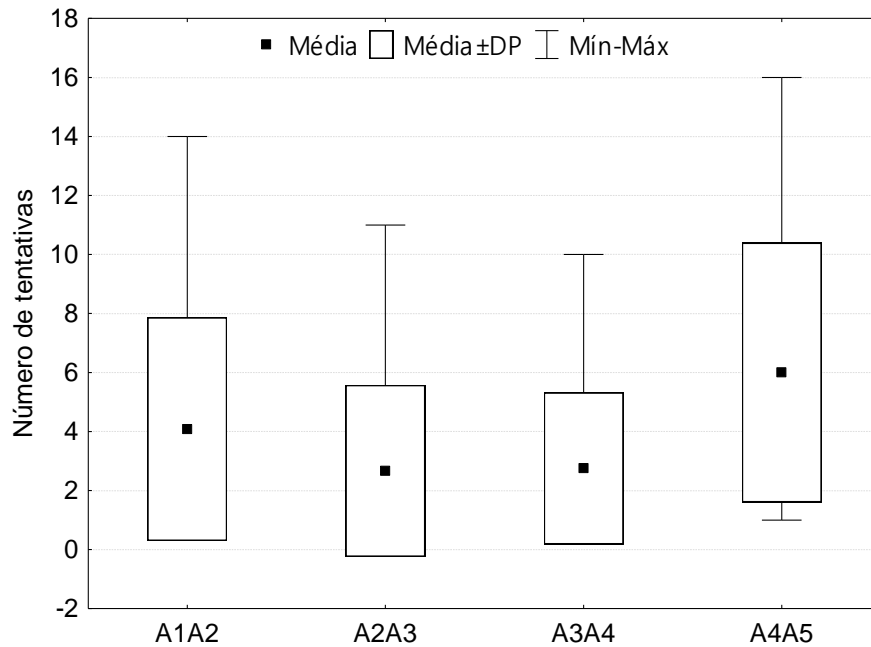


Figura 36 - Número de tentativas com Truta para uma vazão de 9,37 L/s



5.4 Resultados das velocidades por espécie

Os resultados utilizados de velocidade foram dos experimentos com as quatro vazões para as espécies Dace e Truta, pois são migradoras e apresentam um padrão de maior movimentação dentro do bueiro.

5.4.1 Velocidades do Dace (*Leuciscus leuciscus*)

As velocidades desenvolvidas pelos indivíduos desta espécie, conforme mostradas nas Figuras 37, 38, 39 e 40, aumentaram gradativamente conforme o aumento da vazão de cada teste. O valor mínimo da velocidade máxima foi encontrado no teste cuja vazão correspondia a 9,37 L/s (1,21 comprimento/s) e seu valor máximo no teste de 14,41 L/s (5,61 comprimento/s).

Figura 37 - Velocidades encontradas no teste com Dace de 5,92 L/s

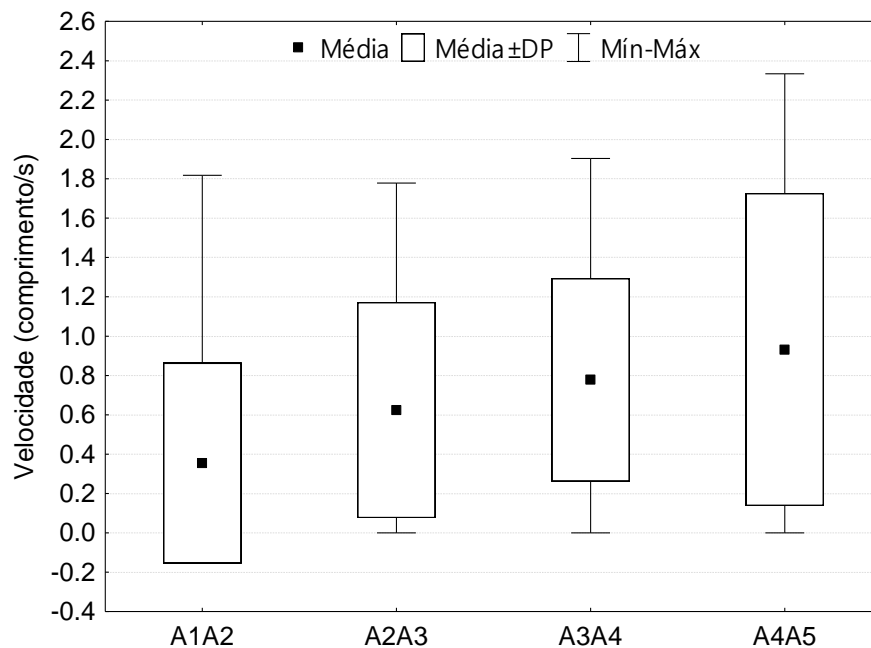


Figura 38 - Velocidades encontradas no teste com Dace de 9,37 L/s

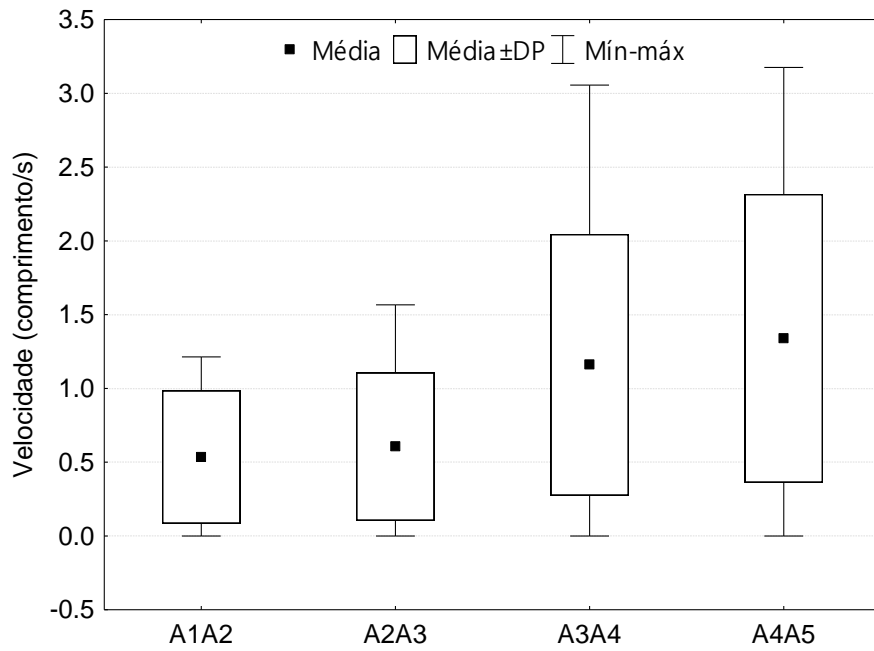


Figura 39 - Velocidades encontradas no teste com Dace de 13,43 L/s

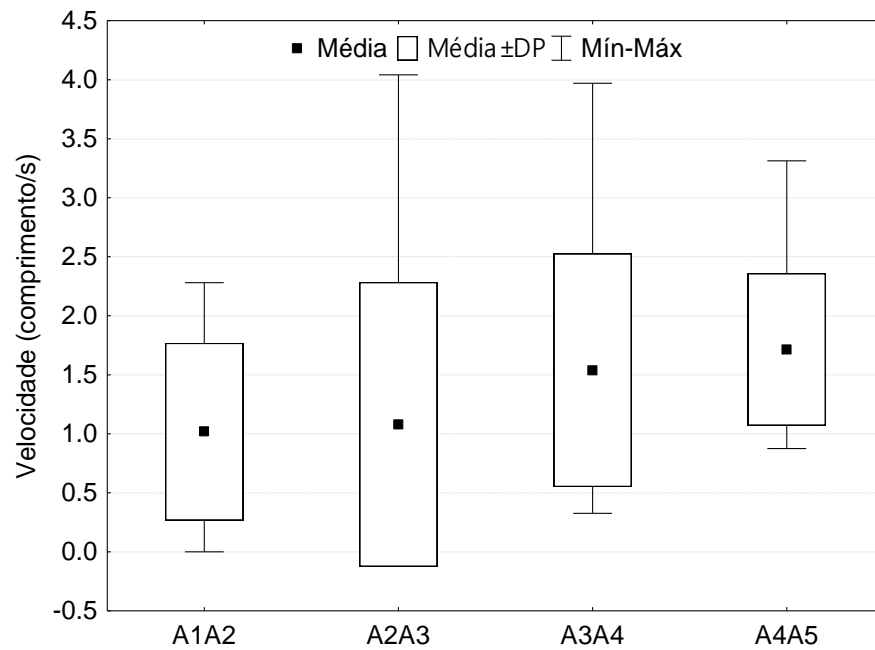
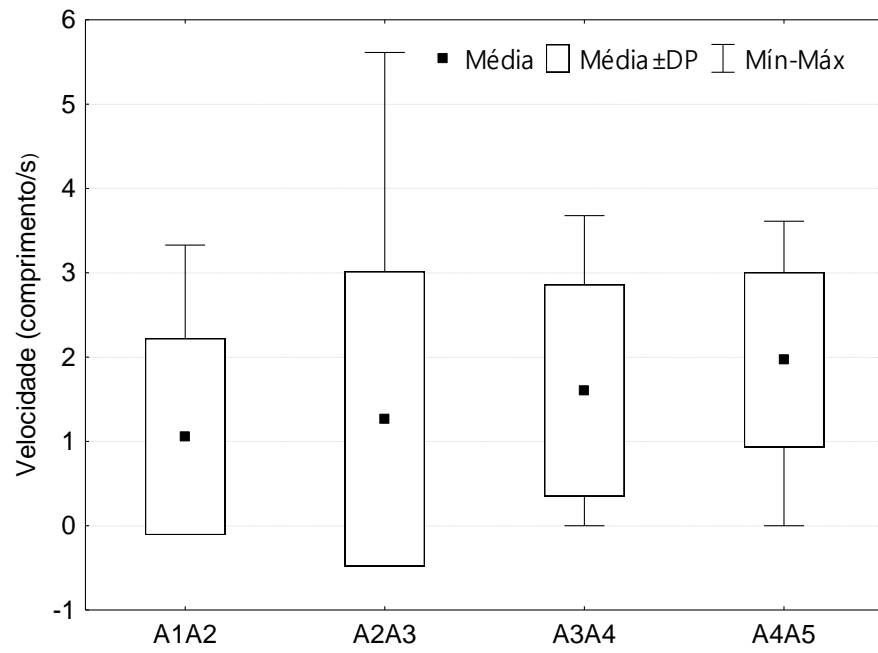


Figura 40 - Velocidades encontradas no teste com Dace de 14,41 L/s

5.4.2 Velocidades da Truta (*Salmo trutta fario*)

As Trutas testadas apresentaram comportamentos de velocidade diferente dos Daces conforme ilustrados nas Figuras 41, 42, 43 e 44. Os indivíduos desta espécie permaneceram em uma faixa de velocidade máxima mais estável entre 1,59 comprimento/s, no teste de 14,41 L/s e 2,98 comprimento/s no teste de 9,37 L/s.

Figura 41 - Velocidades encontradas no teste com Truta de 5,92 L/s

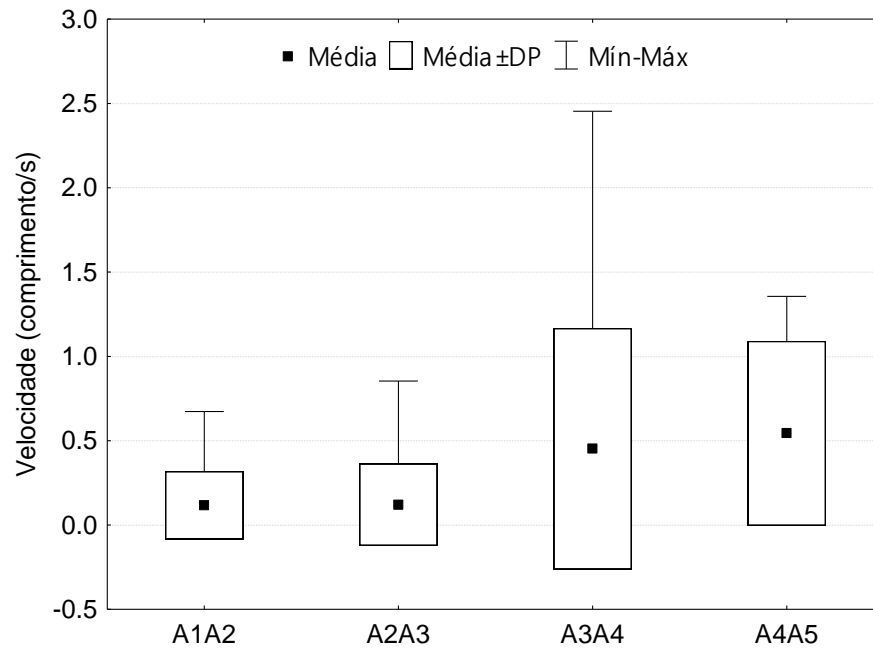


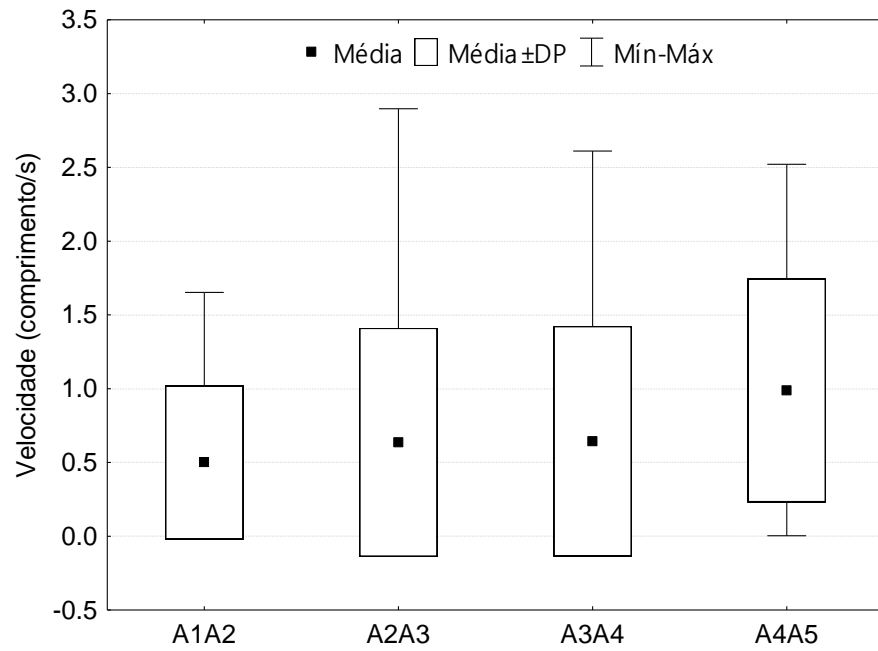
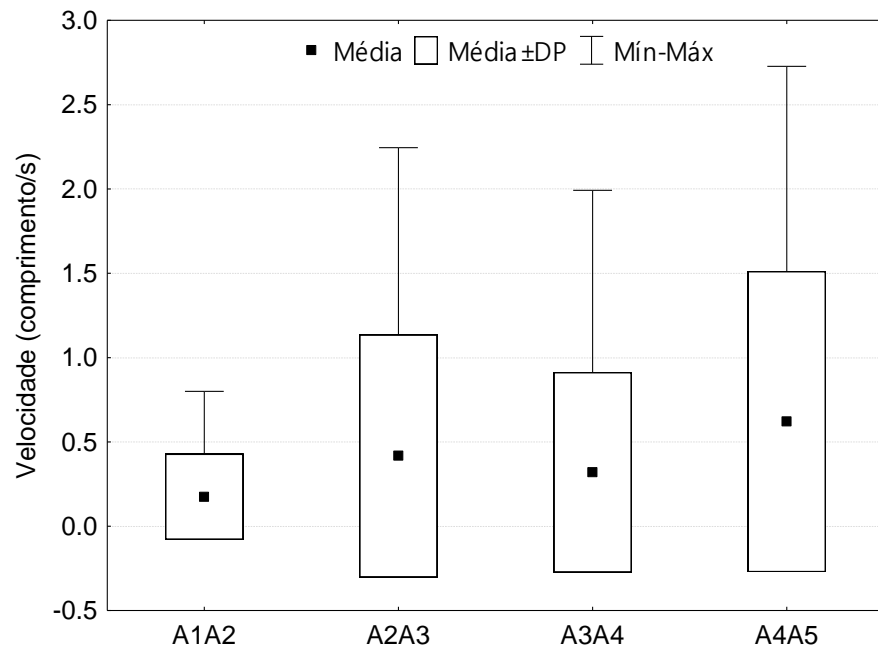
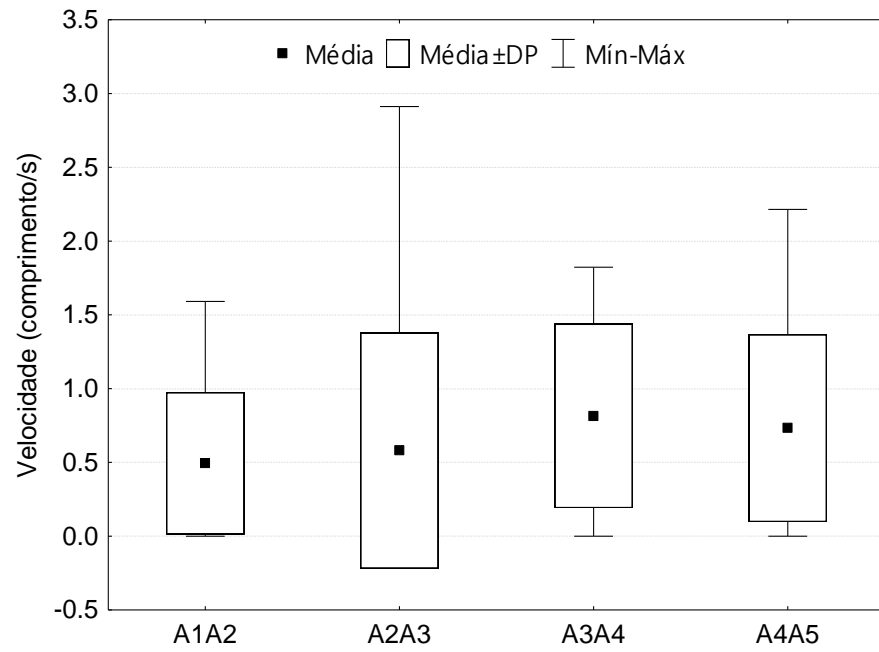
Figura 42 - Velocidades encontradas no teste com Truta de 9,37 L/s**Figura 43- Velocidades encontradas no teste com Truta de 13,43 L/s**

Figura 44 - Velocidades encontradas no teste com Truta de 14,41 L/s

6. DISCUSSÃO GERAL

6.1 Limitações do Sistema PIT-tag de telemetria

Alguns erros ocorreram durante os experimentos de campo. Todavia, as possíveis sobreposições, as detecções falso-positivas ou qualquer outro tipo de falha encontrada representa um percentual muito baixo em comparação com o número de leituras e de registros no total.

Um motivo razoável de erros encontrados em alguns experimentos é o tempo sincronizado entre os dois leitores RFID Multiplexer, que deve ser o mesmo. Se não for checado, um leitor pode funcionar em tempo 00:00:00 enquanto o outro com atraso de alguns segundos. Isto poderia explicar detecções com mesmo tempo em duas antenas distintas e velocidades de natação extremamente elevadas.

A Tabela 11 mostra outro exemplo de erro que pode acontecer com os leitores RFID. Detecções isoladas foram encontradas em alguns dados dos experimentos e a razão não só pode implicar em falta de sincronismo no tempo, como também em detecções falso-positivas.

Tabela 11 - Detecção falso-positiva da antena 4

detection date	time	duration	tag type	tag id	Antenna num	record count	empty record count
04/08/14	13:58:53.77	00:00:00.22	A	00000_0_900_228000006030	A1	2	5
04/08/14	13:59:11.99	00:00:00.00	A	00000_0_900_228000006030	A1	1	6
04/08/14	13:59:17.71	00:00:00.94	A	00000_0_900_228000006030	A1	3	10
04/08/14	13:59:24.35	00:00:00.44	A	00000_0_900_228000006030	A1	2	12
04/08/14	13:59:42.99	00:00:00.00	A	00000_0_900_228000006030	A4	1	9
04/08/14	13:59:43.28	00:00:00.00	A	00000_0_900_228000006030	A1	1	5
04/08/14	13:59:48.20	00:00:01.12	A	00000_0_900_228000006030	A1	4	4
04/08/14	13:59:55.73	00:00:00.00	A	00000_0_900_228000006030	A1	1	0
04/08/14	14:00:03.24	00:00:00.00	A	00000_0_900_228000006030	A1	1	7

Em quase todos os experimentos, ocorreram detecções de movimentos em que uma antena sequencial não registrava uma detecção, como A1A3 (ausência da antena A2), A3A5 (ausência da antena A4), etc. Uma explicação para estas lacunas está na sobreposição de detecções, em que dois peixes identificados entram na zona de leitura da mesma antena ao mesmo tempo, se neutralizando.

6.2 Desempenho dos peixes no estudo e das espécies brasileiras

A maioria dos indivíduos de Bullhead e Burbot não teve intenção de nadar em direção a montante, o que pode ser justificado pelo seu comportamento natural de permanecer em um local durante a maior parte da sua vida. Não obstante, há outras razões para seu comportamento se considerar os outros parâmetros como a temperatura de desova, o período de migração (no caso do Burbot) e a situação real dos indivíduos dessas espécies utilizadas nos experimentos (tamanho, peso e idade). A maioria destes parâmetros não foi seguida durante os experimentos com ambas as espécies, pois os indivíduos eram muito jovens.

Considerada uma boa nadadora, a espécie migradora Dace foi claramente a espécie mais bem-sucedida capaz de atravessar o *Stair Pipe*. Esta situação era esperada e a razão de tal comportamento pode ser a influência da temperatura de água semelhante àquela encontrada na literatura, a estação do ano correspondente à desova e a sua idade de maturação reprodutiva, confirmada pela presença de fêmeas com óvulos em estágio de maturação nos experimentos.

Os experimentos com as Trutas foram marcados por variações contínuas inesperadas em suas velocidades. No entanto, como um peixe pelágico e um ótimo nadador, a razão para menos indivíduos terem atravessado o *Stair Pipe* e atingido a gaiola a montante pode ser devido ao seu período de migração e temperatura de desova, que são, respectivamente, de outubro a dezembro e de 3°C a 9°C. Os experimentos com os indivíduos de Truta foram feitos em março, com temperaturas mais elevadas.

Finalmente, o desempenho das espécies Truta e Dace foi comparado com o desempenho de duas espécies brasileiras, o Mandi (*Pimelodus maculatus*) e o Piau (*Leporinus reinhardti*). Estas duas espécies neotropicais foram estudadas por Santos *et al.* (2012) e apresentavam características similares às da Truta e do Dace relacionadas à sua fisiologia e aos parâmetros dos experimentos, os quais foram realizados em um canal aberto. As velocidades prolongadas determinadas por Santos *et al.* (2012), para o Mandi e o Piau, atingiram valores médios de 5,5 comprimento/s e 9,0 comprimento/s, respectivamente. Uma vez que as velocidades máximas nos experimentos realizados com as espécies Truta e Dace não atingiram

6,0 comprimento/s, pode-se inferir que as espécies brasileiras talvez não encontrariam problemas significativos no que tange a velocidade, para atravessar o *Stair Pipe*. Contudo, é preciso levar em consideração outros parâmetros e o aprofundamento dos estudos.

6.3 Ligação entre o modelo numérico e o modelo real

A ligação entre os experimentos de campo e os resultados da modelagem hidrodinâmica tem como principal objetivo compreender os fluxos d'água dentro do bueiro e compará-los com os experimentos com peixes, permitindo conclusões sobre a eficácia do regime e propor melhorias para o mesmo. É pertinente a realização de novas simulações hidráulicas com maiores vazões para comparar com a realidade dos rios e riachos usados pelas espécies migradoras.

7. CONCLUSÃO

É importante considerar a eficiência das piscinas de descanso criadas pelos defletores de 30° e 60° e visualizadas na modelagem hidráulica, visto que foram nelas onde os peixes predominantemente se localizaram antes de continuar seu caminho. Os indivíduos tenderam a permanecerem na área correspondente ao remanso gerado na modelagem computacional hidrodinâmica.

As espécies consideradas boas nadadoras (Dace - *Leuciscus leuciscus* - e Truta - *Salmo trutta fario* -) possuem um estímulo natural para nadar em direção a montante. As espécies más nadadoras (Burbot - *Lota lota* - e Bullhead - *Cottus perifretum* -) preferem esconder-se e permanecer nas regiões de remanso e de baixa turbulência que encontram. O *Lota lota* provou ser capaz de atravessar o *Stair Pipe*, pois foram encontrados um total de quatro indivíduos dentro do reservatório a montante nos experimentos. O *Cottus perifretum*, por sua vez, não nadou para a montante em nenhum dos testes. Contudo, para todas as quatro espécies testadas, os movimentos foram detectados no meio do bueiro e próximos ao reservatório a jusante.

Ao final de todos os experimentos, indivíduos precisaram ser removidos do interior do *Stair Pipe*. Para as espécies bentônicas Bullhead e Burbot, os resultados apresentam uma elevada concentração ao redor das primeiras antenas (A1, A2 e A3). O oposto ocorreu com as espécies Dace e Truta, as quais foram encontradas com maior frequência nas regiões das últimas antenas (A3, A4 e A5). Desta forma, pode-se inferir que os parâmetros morfológicos e externos dos indivíduos tiveram influência na dinâmica de cada espécie, dentro do bueiro.

Em linhas gerais, o *Stair Pipe* provou sua eficiência no suporte à algumas espécies durante a migração em direção a montante em um curso d'água bloqueado por um cruzamento de estrada.

As comparações das velocidades das espécies Dace e Truta com as das espécies Piau e Mandi refletem a possibilidade de indivíduos migradores da ictiofauna brasileira atravessarem o *Stair Pipe*. Contudo, é preciso ponderar as diferenças comportamentais entre os peixes de clima temperado e dos neotropicais. Desta forma, o estudo apresenta a eco-tecnologia testada e efetivada na Bélgica

como uma alternativa viável para os *habitat* dos rios e riachos do Brasil, os quais são cortados por estradas de rodagem.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, A. A.. 1994. Pesquisas, monitoramento e manejo da fauna aquática em empreendimentos hidrelétricos. Pp. 38-59. In: COMASE. **Seminário sobre fauna aquática e o setor elétrico brasileiro: fundamentos, reuniões temáticas preparatórias: caderno1-Fundamentos**. Rio de Janeiro, ELETROBRÁS, 61p.

BAKER, C. O.; VOTAPKA, F. E.. 1990. **Fish Passage through Culverts**. United States Department of Agriculture, Forest Service Technology and Development Centre, San Dimas, CA. 67pp.

BAPTISTA, M. & LARA, M.. 2010. **Fundamentos de engenharia hidráulica 3a. edição revista e ampliada**. Belo Horizonte: UFMG.

BATES, K. K.; BARNARD, B.; HEINER, B.; KLAVAS, P. & POWERS, P. D.. 2003. **Design of Road Culverts for Fish Passage**. Washington Department of Fish and Wildlife, 110p.

BAEYENS, R.; BUYSSE, D.; MARTENS, S. & COECK, J.. 2009. **Evaluatie van de V-vormige bekkenvistrap aan de Voorste Luysmolen in de Abeek in Bocholt**. INBO.R.2009.33. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

BERGERSEN, E. P.; COOK, M. F. & BALDES, R. J.. 1993. Winter movements of Burbot (*Lota lota*) during an extreme drawdown in Bull Lake, Wyoming, USA. **Ecology of Freshwater Fish**, 2, 141–145.

BLAKELY, T. J.; HARDING, J. S.; MCTINTOSH, A. R.; WINTERBOURN, M. J.. 2006. Barriers to the recovery of aquatic insect communities in urban streams. **Freshw. Biol.**, 51, 1634-1645.

BRATRICH, C., TRUFFER, B., JORDE, K., MARKARD, J., MÉIER, W., PETER, A., SCHNEIDER, M., WEHRLI, B.. 2004. Green hydropower: a new assessment procedure for river management. **River research and applications**, 20, 865-882.

CLOUGH, S. & LADLE, M.. 1997. Diel migration and site fidelity in a stream-dwelling cyprinid, *Leuciscus leuciscus*. **Journal of Fish Biology**, Volume 50, Issue 5, pages 1117–1119

CONAMA. Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de

Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. 1986.

CONAMA. Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. 1997.

DUPONT, E.. 2004. Trout Road crossing problem in Belgium. **Fifth International Symposium on Ecohydraulics**, Madrid, 2, 905-910.

DUPONT, E.. 2009. A new culvert design solves problems passing fish Insufficient goal is to restore normal brown trout *Salmo trutta* migration pattern. **Seventh International Symposium on Ecohydraulics**, Concepcion, Chile.

FERZIGER, J. H.; PERIC, M.. 1999. **Computational Methods for Fluid Dynamics**. 2nd ed. Berlin : Springer.

FEURICH, R., J. BOUBÉE, et al. (2012). Improvement of fish passage in culverts using CFD. **Ecological Engineering** 47(0): 1-8

FLOW SCIENCE, Disponível em: <http://www.flow3d.com/cfd101/cfd101_main.html> Acesso em: 07 de junho de 2015.

FULLERTON, A. H.; BURNETT, K. M.; STEEL, E. A.; FLITCROFT, F. L.; PESS, G. R.; FEIST, B. E.; TORGERSEN, C. E.; MILLER D. J. & SANDERSON, B. L.. 2010. Hydrological connectivity for riverine fish: measurement challenges and research opportunities. **Freshwater Biology**, 55, 2215-2237.

GODOY, M. P. de. 1985. Aquicultura. Atividade multidisciplinar. Escadas o outras facilidades para passagens de peixes. Estações de piscicultura. Florianópolis, Brasil, Eletrosul, 77 p.

HARDEN JONES, F. R., 1968. **Fish Migration**. Arnold, London.

HARO, A., CASTRO-SANTOS, T., NOREIKA, J., e ODEH, M., 2004. Swimming performance of upstream migrant fishes in open-channel flow: a new approach to predicting passage through velocity barriers. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** 61. 1590-1601, 2004.

HEAPE, W.. 1931. *Emigration, Migration and Nomadism*. Heffer, Cambridge.

HUMBLET, Y.; KOBLER, A.; PINXTEN, R.; EENS, M., 2010. Tien jaar onderzoek naar de bedreigde rivierdonderpad (***Cottus perifretum***) in Vlaanderen, met bijzondere aandacht voor de Laarse Beek. *ANTenne: tijdschrift van de Antwerpse Koepel voor Natuurstudie*-issn 2030-4366-4, p. 12-18

LOPES, J. de M., 2012. Peixe vivo confirma que programas ambientais podem funcionar de maneira efetiva. ***Ação Ambiental***, 47, 3-6.

LUCAS, M. C. & BARAS, E.. 2001. *Migration of Freshwater Fishes*. Osney Mead, Oxford.

MARCHI, C. H.. 2001. **Verificação de Soluções Numéricas Unidimensionais em Dinâmica dos Fluidos**. Florianópolis, UFSC.

MALISKA, C. R.. 1995. **Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional**. Rio de Janeiro: LTC.

MARTINS, S. L. & TAMADA, K.. 2005. Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos. ***Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP***, São Paulo, 1 – 20.

MINKOWYCZ, W. J.; SPARROW, E. M.; SCHNEIDER, G. E.; PLETCHER, R.H.. 1988. **Handbook of Numerical Heat Transfer**. New York : Wiley.

MESSAGE, H. J.; BEHREND, R. D. De L.; SANTOS, D. A. dos., GOMES, L. C., 2012. Estudos ecológicos de longa duração: por que são tão relevantes para a ciência ambiental?. ***Ação Ambiental***, 47, 7-11.

MINAS GERAIS. COPAM. 2004. Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 9 de setembro de 2004. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos potencialmente poluidores.

MCKEOWN, B.. 1984. **Fish migration**. Timber Press, London & Sidney.

NIKOLSKY, G. V.. 1963. *The Ecology of Fishes*. **Academic Press**, London.

NORTHCOTE, T. G.. 1978. Migratory strategies and production in freshwater fishes. In: **Ecology of Freshwater Production** (ed. S. D. Gerking), 326–359. Blackwell, Oxford.

NORTHCOTE, T. G.. 1984. Mechanisms of fish migration in rivers. In: McCleave, J. D., Arnold, J. P., Dodson, J. J. & Neil, W. H. **Mechanisms of migration in fishes**: 317-355.

OBERKAMPF, W. L.; BLOTTNER, F. G..1998.Issues in computational fluid dynamics code verification and validation. **AIAA Journal**, v. 36, n. 5, p. 687-695.

POLITANO, M.; CARRIÇA, P.; WEBER, L.. 2009.A multiphase model for the hydrodynamics and total dissolved gas in tailraces. **International Journal of Multiphase Flow**, v. 35, p. 1036–1050.

RIBAS, T. M.. 2004. Implementação de modelo numérico para estudo hidrodinâmico das baías de Antonina e Paranaguá- PR. 121 f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental)** – Setor de Tecnologia – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

RIZZI, A.; VOS, J.. 1988.Toward establishing credibility in computational fluid dynamics simulations. **AIAA Journal**, v. 36, n. 5, p. 668-675.

ROUSSEL, J. M.; HARO, A.; CUNJAK, R. A.. 2000. Field test of a new method for tracking small fishes in shallow rivers using passive integrated transponder technology. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 57, 1326-1339.

ROUSSEL, J. M. & Bardonnnet, A.. 1999. Ontogeny of diel pattern of stream-margin habitat use by emerging brown trout, *Salmo trutta*, in experimental channels: influence of food and predator presence. **Environmental Biology of Fishes**, 56, 253–262.

SALE, M. J., 1985. Aquatic ecosystem response to flow modification: an overview of the issues. Pp. 25-31. In: Olson, F. W. (Ed.). **Proceedings of the symposium on small hydropower and fisheries**. Bethesda, American Fisheries Society, 497p.

SANTOS, H. A.; POMPEU, P. S. & MARTINEZ, C. B.. 2007. Swimming performance of the migratory Neotropical fish *Leporinus reinhardtii* (Characiformes: Anostomidae). **Neotropical Ichthyology**, 5(2):139-146.

SANTOS, H. A.; VIANA, E. M. F.; POMPEU, P. S. & MARTINEZ, C. B.. 2012. Optimal swim speeds by respirometer: an analysis of three neotropical species. **Neotropical Ichthyology**, 10(4):805-811.

SCOTT, W. B., E. J. CROSSMAN. 1973. Freshwater fishes of Canada. **Fisheries Res. Bd. Canada**, Bull. 184. 966 pp.

STARRS, D.; EBNER, B. C.; LINTERMANS, M., FULTON, C. J.. 2011. Using sprint-swimming performance to predict upstream passage of the endangered Macquarie perch in a highly regulated river. **Fish. Manage. Ecol.** 18, 360-374

VUGHT, I.; CHARLEROY, D. De, Van LIEFFERINGE, C.; COENEN, E. & COECK, J., 2011. Conservation of Bullhead *Cottus perifretum* in the Demer River (Belgium) basin using re-introduction. **Journal of Applied Ichthyology**, 27 (Suppl. 3), 60–65.

WARREN, M. L.; PARDEW, M. G., 1998. Road crossings as barriers to small-stream fish movement. **Trans. Am. Fish. Soc.** 127, 637-644.