

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**ESTUDO COMPARATIVO DOS INTERVALOS DE
TEMPO PARA MEDIÇÃO DE VELOCIDADE
CRÍTICA DE PEIXES: ESTUDO DE CASO COM O
“Pimelodus maculatus”.**

Mila Correa Sampaio

Belo Horizonte

2013

**ESTUDO COMPARATIVO DOS INTERVALOS DE
TEMPO PARA MEDIÇÃO DE VELOCIDADE CRÍTICA
DE PEIXES: ESTUDO DE CASO COM O “*Pimelodus
maculatus*”.**

Mila Correa Sampaio

S192e

Sampaio, Mila Correa.

Estudo comparativo dos intervalos de tempo para medição de velocidade crítica de peixes [manuscrito]: estudo de caso com o *Pimelodus maculatus* / Mila Correa Sampaio. – 2013. ix, 69 f., enc.: il.

Orientadora: Edna Maria de Faria Viana.

Coorientador: Carlos Barreira Martinez.

Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Bibliografia: f. 65-69.

1. Engenharia sanitária - Teses. 2. Meio ambiente - Teses. 3. Recursos hídricos - Desenvolvimento - Teses. 4. Peixe - Locomoção - Teses. 5. Turbinas - Teses. I. Viana, Edna Maria de Faria. II. Martinez, Carlos Barreira. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 628(043)

Mila Correa Sampaio

ESTUDO COMPARATIVO DOS INTERVALOS DE TEMPO PARA MEDIÇÃO DE VELOCIDADE CRÍTICA DE PEIXES: ESTUDO DE CASO COM O “*Pimelodus maculatus*”.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Sistemas de Recursos Hídricos

Orientador: Profa. Dra. Edna Maria de Faria Viana

Co-Orientador: Prof. Dr. Carlos Barreira Martinez

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2013



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos
Avenida Antônio Carlos, 6627 - 4º andar - 31270-901 - Belo Horizonte – BRASIL
Telefax: 55 (31) 3409-1882 - posgrad@desa.ufmg.br
<http://www.smarh.eng.ufmg.br>

FOLHA DE APROVAÇÃO

ESTUDO COMPARATIVO DOS INTERVALOS DE TEMPO PARA MEDIÇÃO
DE VELOCIDADE CRÍTICA DE PEIXES: ESTUDO DE CASO COM O
"Pimelodus maculatus".

MILA CORREA SAMPAIO

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:


Profª EDNA MARIA DE FARIA VIANA - Orientadora


Prof. CARLOS BARREIRA MARTINEZ - Coorientador


Prof. JORGE LUIS ZEGARRA TARQUI


Profª HERSÍLIA DE ANDRADE E SANTOS

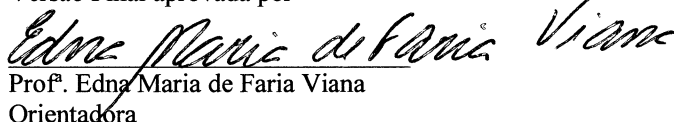

Prof. LUIZ GUSTAVO MARTINS DA SILVA


Profª DANIELA GUZZON SANAGIOTTO

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Profª. Juliana Calábria de Araújo
Coordenadora

Versão Final aprovada por


Profª. Edna Maria de Faria Viana
Orientadora

Belo Horizonte, 08 de julho de 2013.

DEDICATORIA

*Aos meus pais, Adriana e Leonardo, ao meu
irmão Caio e ao Erlan, pelos ensinamentos
e dedicação durante este trabalho.*

"Depois de algum tempo você aprende a construir todas suas estradas no hoje, porque o terreno do amanhã é incerto demais para os planos e o futuro tem o costume de cair em meio ao vão, e que o tempo não é algo que possa voltar atrás, portanto, plante seu jardim e decore sua alma, ao invés de esperar que alguém lhe traga flores".

William Shakespeare

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela força de lutar por meus objetivos.

Aos meus pais, fontes de amor, carinho, dedicação e aprendizado, por acreditarem em mim e sempre me ensinarem a conquistar meus objetivos com a cabeça erguida. Ao meu irmão Caio pela amizade e amor incondicionais, mesmo quando estive ausente.

Aos professores Carlos Barreira Martinez e Edna Maria de Faria Viana, não só pela orientação na elaboração deste trabalho, como também pelo carinho, amizade e apoio nos momentos difíceis tanto na vida profissional como pessoal.

Aos meus avós, minhas fontes de inspiração, e à toda minha família pelo amor concedido e confiança em mim depositada durante todos os momentos da minha vida.

Ao Erlan pela compreensão, dedicação, amor e apoio em todas as fases deste projeto, principalmente nos momentos de ausência, e mais ainda pelo incentivo quando tudo isso parecia longe demais para se concretizar. À tia Myriam por fazer de mim uma nova filha na vida de toda a família e por tudo que fez/faz por mim.

Aos colegas do mestrado por fazerem essa caminhada se tornar muito mais prazerosa.

Aos funcionários Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos, especialmente o Paulinho, o qual fez tudo se tornar muito mais fácil. Aos alunos de Iniciação Científica que tanto me ajudaram nos testes, Camila, Gustavo, Ana Carolina e Míriam, meu muito obrigada.

Agradeço também à Hersília e ao Luiz Gustavo pela ajuda e pelos conhecimentos transmitidos, pela paciência em ensinar e pelos bons momentos durante as “pescarias”.

A todos meus amigos pela amizade, carinho e confiança depositados, e principalmente pelos momentos de distração, onde todas as forças pra continuar eram renovadas. Em especial, à Ana Letícia, amiga, companheira de casa e de sala, pela ajuda tanto nas aulas, como nos testes e na vida.

A todos aqueles que, de alguma forma, estiveram presentes durante esta etapa da minha vida, torcendo e apoiando.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos, e à CEMIG e FAPEMIG, financiadores deste projeto.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a interferência de fatores temporais sobre os resultados de ensaios de capacidade natatória de peixes. Para isso desenvolveu-se um estudo variando-se os incrementos de tempo utilizados para realização dos ensaios de capacidade natatória. Após se identificar qual o impacto dos incrementos de tempo nos ensaios escolheu-se o menor tempo que permitisse a realização dos ensaios e que não apresentasse diferenças estatísticas significativas com o tempo usualmente utilizado na literatura internacional (10 minutos). Em seguida, utilizando-se esse tempo escolhido, fez-se uma comparação entre os resultados de ensaios realizados com peixes recém capturados e peixes que ficaram confinados em ambiente de laboratório durante um ano (doze meses). Os resultados obtidos indicaram que é possível realizar os ensaios com peixes neotropicais com incrementos de tempo de 5 minutos. Também foi possível verificar que os peixes confinados durante um ano em ambiente de laboratório apresentaram uma maior capacidade natatória do que foram os capturados e imediatamente ensaiados. Ao final do trabalho, frente os resultados obtidos, fez-se uma avaliação da capacidade que a espécie estudada (*Pimelodus maculatus* – mandi amarelo) possui de adentrar ao tubo de sucção de uma turbina hidrelétrica utilizada como estudo de caso.

Palavras chave: Capacidade natatória; entrada de peixes em turbinas hidrelétricas; velocidade de peixes .

ABSTRACT

This paper presents a study of the interference of temporal factors on the results of the testing of swimming performance of fish. For this study we developed a varying time increments used for testing of swimming performance. After identifying the impact of time increments trials chose the smallest time allowing the tests and did not present statistically significant differences with time usually used in the literature (10 minutes). Then, using this time chosen, made a comparison between the results of tests performed with freshly caught fish and fish that were confined in a laboratory environment for one year (twelve months). The results indicated that it is possible to perform tests on neotropical fish with time increments of 5 minutes. It was also observed that the fish caged for a year in a lab environment showed greater swimming ability than were captured and immediately tested. At the end of the study, the opposite results, made an assessment of the ability of the species studied (*Pimelodus maculatus* - mandi amarelo) can enter the pipe in a hydroelectric turbine used as a case study.

Keywords: Capacity swimming; entrance of fish in hydroelectric turbines, speed of fish.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	IX
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA.....	4
2.1 OBJETIVO GERAL.....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
2.3 JUSTIFICATIVA	4
3 REVISÃO DA LITERATURA	6
3.1 ESTRUTURAS DE TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES.....	6
3.1.1 <i>Tipos de Mecanismos de Transposição dCae peixes</i>	9
3.2 ESTUDO DA CAPACIDADE NATATÓRIA DE PEIXES.....	13
3.2.1 <i>Tipos de velocidades desenvolvidas pelos peixes</i>	13
3.3 DETERMINAÇÃO DAS VELOCIDADES NATATÓRIAS	15
3.4 OS APARATOS UTILIZADOS NO CENTRO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E RECURSOS HÍDRICOS DA UFMG (CPH) PARA MEDIÇÃO DA CAPACIDADE NATATÓRIA DE PEIXES	18
3.5 ESPÉCIE ESTUDADA	20
3.6 ESTUDOS RELACIONADOS AOS DIFERENTES INCREMENTOS DE TEMPO	21
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.1 MEDIÇÃO DA VELOCIDADE CRÍTICA.....	24
4.1.1 <i>Escolha da espécie</i>	24
4.1.2 <i>Coleta</i>	25
4.1.3 <i>Sistema de Manutenção</i>	27
4.1.4 <i>Preparação para os ensaios</i>	28
4.1.5 <i>Aparatos experimentais</i>	28
4.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA TESTES DE VELOCIDADE CRÍTICA COM DIFERENTES INCREMENTOS DE TEMPO.....	34
4.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA TESTES DE VELOCIDADE CRÍTICA COM PEIXES CONFINADOS EM LABORATÓRIO E PEIXES RECÉM COLETADOS.....	36
4.4 VERIFICAÇÃO DO POSICIONAMENTO DOS PEIXES NO TUBO DE SUÇÃO DE UMA TURBINA HIDRÁULICA....	37
5 RESULTADOS.....	39
5.1 RESULTADOS DOS TESTES DE VELOCIDADE CRÍTICA COM FINALIDADE DE COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES INCREMENTOS DE TEMPO.....	39
5.2 RESULTADOS DOS TESTES DE VELOCIDADE CRÍTICA A FIM DE COMPARAÇÃO ENTRE PEIXES RECÉM COLETADOS E PEIXES CONFINADOS EM LABORATÓRIO POR UM PERÍODO DE UM ANO	46
5.3 RESULTADOS DO COMPARATIVO ENTRE A VELOCIDADE DESENVOLVIDA PELO PIMELODUS MACULATUS E AS VELOCIDADES QUE OCORREM NO TUBO DE SUÇÃO DA TURBINA HIDRELÉTRICA	58
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	61
6.1 CONCLUSÕES	61
6.2 RECOMENDAÇÕES	62
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Passagem por bacias sucessivas convencional.	10
Figura 3.2 – Representação de uma passagem do tipo “Denil”	11
Figura 3.3 – Esquema de mecanismo de transposição do tipo elevador de peixes	12
Figura 3.4 – Funcionamento de uma eclusa.	13
Figura 3.5 – Ábaco indicando as velocidades de sustentação, prolongada e de explosão das espécies <i>Oncorhynchus nerka</i> e <i>Salmo gairdneri</i>	15
Figura 3.6 – Canal circular para testes de capacidade natatória – vista em corte	177
Figura 3.7 – Aparato tipo câmara desenvolvido por Brett em 1964.	18
Figura 3.8 – Exemplar do <i>Pimelodus maculatus</i>	20
Figura 4.1 – Exemplar do <i>Pimelodus maculatus</i>	24
Figura 4.2 – Caixa de fibra de vidro utilizada no traslado	25
Figura 4.3 – Bomba de aquário utilizada para aeração da caixa de transporte.	25
Figura 4.4 – Aquário utilizado para manutenção dos indivíduos	27
Figura 4.5 – Filtro biológico do sistema de manutenção	27
Figura 4.6 – Esquema do aparato experimental.	29
Figura 4.7 – Sistema de bombeamento do aparato	30
Figura 4.8 – Seção de teste acrílico	30
Figura 4.9 – Cruzeta utilizada para introdução e retirada do peixe.	31
Figura 4.10 – Registro borboleta utilizado para controle da pressão interna.	31
Figura 4.11 – Painel de acionamento das bombas.	32
Figura 4.12 – Esquema do aparato DN 150 mm.	33
Figura 4.13 – Esquema da tubulação rígida do aparato de DN 150 mm	34
Figura 4.14 – Diagrama das dimensões corporais relevantes no mandi-amarelo	36
Figura 4.15 – a) Esquema de uma instalação com uma turbina Francis; b) Velocidades no tubo de sucção dessa máquina	38
Figura 5.1 – Resultado dos testes de capacidade natatória de peixes com incremento de tempo igual a 5 minutos no túnel de 250 mm.	40
Figura 5.2 – Resultado dos testes de capacidade natatória de peixes com incremento de tempo igual a 10 minutos no túnel de 250 mm.	41
Figura 5.3 – Resultado dos testes de capacidade natatória de peixes com incremento de tempo igual a 15 minutos no túnel de 250 mm.	42
Figura 5.4 – Resultado dos testes de capacidade natatória de peixes com incremento de tempo igual a 20 minutos no túnel de 250 mm.	43
Figura 5.5 – Comprimento dos indivíduos testados com os incrementos de tempo de 5, 10, 15 e 20 minutos no túnel de 250 mm.	45
Figura 5.6 – Velocidade crítica dos indivíduos para os incrementos de tempo de 5, 10, 15 e 20 minutos no túnel de 250 mm.	46
Figura 5.7 – Velocidade relativa dos indivíduos para os incrementos de tempo de 5, 10, 15 e 20 minutos no túnel de 250 mm.	46
Figura 5.8 – Resultados dos testes de capacidade natatória de peixes com um ano de permanência no laboratório no túnel de 150 mm	49
Figura 5.9 – Resultados dos testes de capacidade natatória de peixes recém-chegados no túnel de 150 mm.	48
Figura 5.10 – Correlação dos comprimentos dos peixes testados no túnel de 150 mm.	49
Figura 5.11 – Resultados dos testes de velocidade crítica dos indivíduos com um ano e recém-chegados no túnel de 150 mm.	51

Figura 5.12 – Resultados dos testes de velocidade relativa dos indivíduos com um ano e recém-chegados no túnel de 150 mm.....	53
Figura 5.13 – Resultados dos testes de capacidade natatória de peixes com um ano de permanência no laboratório no túnel de 250 mm.	54
Figura 5.14 – Resultados dos testes de capacidade natatória de peixes recém-chegados no túnel de 250 mm.	52
Figura 5.15 – Correlação dos comprimentos dos peixes testados no túnel de 250 mm.	55
Figura 5.16 – Resultados dos testes de capacidade natatória dos indivíduos com um ano e recém-chegados no túnel de 250 mm.....	56
Figura 5.17 – Correlação entre o comprimento do peixe e a velocidade relativa no túnel de 250 mm.....	57
Figura 5.18 – Correlação entre os resultados de velocidade crítica dos peixes recém-coletados nos dois aparatos.....	58
Figura 5.19 – Correlação entre os resultados de velocidade relativa dos peixes recém coletados nos dois aparatos..	Erro! Indicador não definido.
Figura 5.20 – Correlação entre os resultados de velocidade crítica dos peixes confinados nos dois aparatos.	58
Figura 5.21 – Correlação entre os resultados de velocidade relativa dos peixes confinados nos dois aparatos.	59
Figura 5.22 – Posicionamento do <i>Pimelodus maculatus</i> sob a condição de carga nominal da máquina.	59
Figura 5.23 – Posicionamento do <i>Pimelodus maculatus</i> sob a condição de 70% da carga da máquina.	601

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CEA – Canadian Electricity Association

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

CNP – Capacidade Natatória de Peixes

CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CPH – Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos da UFMG

DN – Diâmetro Nominal

FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais

PM – *Pimelodus maculatus*

PNDPA – Programa Nacional de Desenvolvimento da Pesca Amadora

POP – Procedimento Operacional Padrão

PVC – Cloreto de Polivinila

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UHE – Usina Hidrelétrica

1 INTRODUÇÃO

A natureza caracteriza-se pela rica diversidade encontrada em suas comunidades, tanto no que diz respeito às espécies quanto no modo de vida destas espécies. Essas diversidades implicam em características próprias que foram evoluindo ao longo de milhões de anos e se constituem em uma das principais estratégias de sobrevivência no mundo natural. Os peixes desenvolveram então várias formas de locomoção tais como nado, salto, voo, deslizamento ou arraste pelo solo (LINDSEY, 1978).

Segundo Godinho e Godinho (1994), a implantação de barragens interrompendo rotas migratórias de peixes é um grave problema para as populações. No que diz respeito à região a jusante das barragens, um dos maiores efeitos sofridos pelas populações de peixes é o declínio das espécies anádronas. São ditas anádronas as espécies que se deslocam no sentido contrário ao escoamento do curso d'água na época de reprodução. Assim as barragens impedem as migrações reprodutivas ascendentes, podendo levar à extinção de espécies, quando não houver sítios de desova no rio ou em seus tributários a jusante da barragem (LARINIER, 2001).

Outro efeito causado pelas barragens é a modificação do regime hidrológico a jusante, onde a redução do regime de cheias pode acabar privando muitas espécies de sítios de desova e de fontes de alimentos, o que pode causar uma mudança na composição das espécies com perdas das espécies que desovam em planícies de inundação. Por outro lado, a regularização das vazões pode alterar a dinâmica sazonal ou diária da migração, podendo induzir algumas espécies à migração para afluentes situados a jusante, e não afetados pela regularização. As flutuações diárias nos níveis de água a jusante da barragem também podem inibir o comportamento reprodutivo de algumas espécies (JUNHO, 2008).

Mudanças na temperatura da água a jusante das barragens têm sido frequentemente identificadas como causa da redução de espécies nativas. Os reservatórios com tomadas d'água de superfície funcionam armazenando nutrientes e liberando águas mais quentes, enquanto os reservatórios com tomadas d'água mais profundas liberam nutrientes e águas mais frias. Em grandes reservatórios, a captação e liberação de águas com baixos teores de oxigênio ou supersaturadas com oxigênio e nitrogênio podem levar a eventos de mortandade de peixes. Outro efeito que pode ocorrer a jusante do barramento é a mortandade de peixes

devido à incorporação de gases atmosféricos à água vertida, uma vez que um longo período de exposição dos peixes à águas com níveis gasosos acima do suportado pelo animal leva à morte por embolia gasosa (AGOSTINHO *et. al.*, 1992).

Segundo Junho (2008), é comum a concentração de peixes a jusante de barragens, incluindo indivíduos desorientados por escoamentos turbulentos dos vertedouros ou pela passagem pelas turbinas, o que aumenta sua exposição e os torna vulneráveis à predação por pássaros ou outros peixes.

Larinier (2001) afirma que um dos principais efeitos a montante das barragens é a formação de reservatórios transformando ambientes lóticos, ou seja, de água corrente, em lênticos, águas com baixas velocidades, que podem afetar de forma dramática o habitat de espécies migradoras, podendo eliminar espécies que desovam em águas correntes, devido à perda de áreas de desova por alagamento. Outro efeito que ocorre a montante é a significativa redução das chances de ovos e larvas provenientes da desova alcançarem os sítios de alimentação localizados a jusante. O aumento da exposição à predação, ou mesmo da deposição no substrato do reservatório pela redução da velocidade do escoamento e pelo aumento da transparência das águas também dificulta a conclusão do ciclo de vida das espécies, (AGOSTINHO, 2007).

Devido ao fato de estar situado em uma zona tropical e possuir um dos maiores mananciais de água doce do mundo, o Brasil apresenta um elevado número de espécies de peixes que vivem em rios (LOWE-MCCONNEL, 1999). A bacia do rio São Francisco é uma das principais bacias do país e será foco do estudo apresentado neste trabalho.

A bacia do rio São Francisco drena uma área de aproximadamente 640.000 km² e ocupa cerca de 8% do território nacional, sendo a única totalmente brasileira e a terceira maior bacia hidrográfica do Brasil. Foram identificadas cerca de 152 espécies de peixes nativos da bacia, das quais será estudada neste trabalho o *Pimelodus maculatus*, mais conhecido como mandi-amarelo (PNDPA, 2011).

Esta espécie ocorre em grande parte da América do Sul, especialmente na bacia platina (sistema Paraná/Paraguai e afluentes). Em Minas Gerais, observa-se a presença desta espécie nos rios Grande e Paranaíba e em grande parte de seus afluentes, e ocorre em abundância na

bacia do rio São Francisco, sendo encontrado inclusive nos afluentes mais à montante, como os rios das Velhas e Paraopeba (VICENTINI, 2005).

A característica que interessa para este estudo é a velocidade desenvolvida pelo mandi-amarelo. Segundo Beamish (1978) existem três tipos de velocidades de peixes: a velocidade sustentável, a prolongada e a de explosão. A velocidade sustentável é aquela mantida por longos períodos (maiores que 200 minutos) sem resultar em fadiga, e é subdividida em velocidade sustentável de cruzeiro e de cardume. A velocidade prolongada é aquela mantida por um período compreendido entre 20 segundo e 200 minutos, resultando progressivamente em fadiga muscular, e a velocidade de explosão é aquela sustentada por um período de tempo inferior a 20 segundos.

Para tal estudo, será contemplada a velocidade prolongada crítica desses animais, sendo realizados testes com indivíduos recém coletados, utilizando incrementos de tempo de 5, 10, 15 e 20 minutos, além de peixes confinados em laboratório por um período de um ano e indivíduos recém chegados. Além disso, foram feitas comparações entre as velocidades médias alcançadas pelo mandi-amarelo com as velocidades médias que ocorrem dentro do tubo de sucção de uma turbina hidrelétrica, a fim de verificar até que ponto esta espécie pode adentrar no tubo de sucção.

Este trabalho encontra-se estruturado da seguinte forma: o primeiro capítulo se apresenta com a introdução, ao qual este texto está inserido. No capítulo seguinte, se apresentam os objetivos do trabalho bem como uma justificativa para realização do mesmo. Em seguida, no capítulo três, tem-se uma revisão bibliográfica enfocando a espécie estudada, os tipos de velocidade desenvolvidas, as tipologias dos aparatos utilizados para o desenvolvimento do trabalho e os estudos já realizados dentro desse tema. No capítulo quatro, apresenta-se a metodologia utilizada para realização do estudo, seguida do capítulo cinco ao qual se apresentam os resultados encontrados. No capítulo seis apresenta-se a conclusão dos estudos desenvolvidos nesse trabalho. Em seguida, no capítulo sete tem-se sugestões para trabalhos futuros. Finalizando este texto, no capítulo oito apresenta as referências bibliográficas utilizadas.

2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral verificar as variações ocorridas devido a mudanças no procedimento operacional, ou correlações de tempo, na capacidade natatória do peixe da espécie *Pimelodus maculatus* (mandi-amarelo).

2.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral a pesquisa conta com os seguintes objetivos específicos:

- Formalizar procedimentos operacionais padrão (POP) para a captura e transporte de indivíduos (peixes) em campo;
- Formalizar procedimentos operacionais padrão (POP) para os ensaios de capacidade natatória de peixes;
- Verificar a existência de diferenças significativa nos resultados de capacidade natatória para testes realizados com diferentes incrementos de tempo;
- Estudar a capacidade natatória de peixes recém-coletados do ambiente natural;
- Estudar a capacidade natatória de peixes residentes em laboratório (um ano de residência);

Avaliar até que ponto a espécie estudada consegue adentrar ao tubo de sucção de uma turbina hidrelétrica.

2.3 Justificativa

Os cursos d'água têm sofrido diversas intervenções antrópicas, como, por exemplo, a implantação de barragens. Essas intervenções vêm ocasionando danos à biota local, especialmente ao grupo de peixes classificados como migradores. Esses tipos de peixes possuem sua sobrevivência diretamente ligada à sua capacidade de locomoção, uma vez que esta permite a perseguição a presas, fuga de predadores e a mudança de ambientes menos favoráveis para outros mais propícios à vida, à alimentação e/ou à reprodução. Assim, quando uma barreira é implantada em curso d'água bloqueando a subida dos peixes, estes são forçados a encontrar outra forma de subida, a fim de garantir sua sobrevivência. É assim que, mesmo com mecanismos de transposição de peixes eficientes, eles adentram nos sistemas de sucção das turbinas hidrelétricas, podendo vir a causar eventos de mortandade desses

indivíduos em operações de manutenção das máquinas ou em operações de reversão do modo de operação das máquinas de síncrono para geração (CEA, 2001 *apud* JUNHO, 2008).

Um questionamento que se observa ao se tratar de testes de capacidade natatória diz respeito ao incremento de tempo que deve ser utilizado para os testes. Brett propôs, em 1964, que os testes de capacidade natatória de peixes fossem realizados utilizando-se um incremento de tempo de 10 minutos. Porém, ao se somar o tempo gasto com os testes individuais, tem-se um período longo. Ao se expandir os ensaios para outras espécies ter-se-á um longo tempo de testes em laboratório. Além disso, qual a influencia do incremento na capacidade de nado do peixe. Paralelamente a esse questionamento tem-se um questionamento sobre a influencia da permanência do peixe por longos períodos de tempo em laboratório e a perda de capacidade de nado do mesmo. Assim, através do trabalho proposto, será possível avaliar se um período longo de confinamento, bem como a variação no incremento de tempo utilizado nos ensaios interferem significativamente nas avaliações de capacidade natatória dos peixes. Com os resultados dessa pesquisa será possível propor um Procedimento Operacional Padrão (POP) que permita padronizar a captura e manutenção dos peixes em laboratório antes de se iniciarem os estudos. Também será possível propor a adoção de um incremento de tempo de ensaio que reduza a duração dos testes sem comprometer os resultados obtidos.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Estruturas de Transposição de Peixes

Grandes barragens têm sido cada vez mais construídas com finalidades diversas, tais como conter enchentes, irrigar fazendas e gerar grandes quantidades de energia. Entretanto, essas barragens vêm, cada vez mais, interferindo drasticamente no meio ambiente, provocando inundações em imensas áreas de matas, causando destruição de espécies vegetais, prejudicando a fauna e interferindo na ocupação humana e no fluxo de rios (INATOMI & UDAETA, 2005). Esses impactos oriundos da crescente construção de barragens são sentidos diretamente pelas comunidades aquáticas do sítio em que são instaladas, especialmente pelos peixes, e têm sido alvo de inúmeros estudos e ações, com o objetivos de compatibilizar os empreendimentos e as medidas de conservação do ambiente (SOARES, 2012).

A existência de algumas espécies de peixes pode estar condicionada à capacidade de se locomover no curso d'água, visto que estas dependem da correnteza para que possam se orientar, alimentar e reproduzir. Outras espécies são de ambientes onde a mudança constante da água é fundamental para que se mantenham as condições físico-químicas ideais (JAPAN COMMISSION ON LARGE DAMS, 2009).

Segundo Chagas (1994), entre os impactos causados por barramentos a comunidades pesqueiras podem ser citados a modificação na estrutura da comunidade, favorecendo o desenvolvimento de espécies com características de ambientes lênticos em detrimento das espécies características de ambientes lóticos; redução da densidade de espécies em decorrência da diminuição da diversidade de ambientes; perturbação dos sistemas aquáticos e hidrológicos a jusante, incluindo estuários; redução generalizada da biomassa pesqueira a jusante e, o principal foco do estudo deste trabalho, a interrupção do fluxo migratório de algumas espécies, comprometendo a ocorrência das mesmas na região.

Para que os impactos ocasionados pela implantação de barragens sejam minimizados, existe uma série de medidas mitigadoras que são adotadas. Entre elas, podem ser citados os mecanismos de transposição de peixes, amplamente utilizados em usinas hidrelétricas.

No Brasil, alguns Estados Brasileiros apresentam legislação específica que regulamentam a necessidade de construção de mecanismos de transposição de peixes, podendo ser citados, por

exemplo, os Estados de Minas Gerais, com a Lei nº 12.488, de 09/04/1997, obrigando a construção de mecanismos de transposição de peixes em todos os barramentos a serem construídos a partir da data de homologação, São Paulo, com a Lei nº 9.798 de 07/10/1997, obrigando a construção de mecanismo de transposição de peixes em barragens edificadas ou a serem implantadas nos cursos de água de domínio do Estado, entre outros.

De acordo com Santo (2005), há uma série de fatores que devem ser analisados antes da decisão pela implantação de um Mecanismo de Transposição de Peixes (MTP). Santo alega que esta instalação é condicionada ao estado em que o trecho do rio se encontra antes da construção da barragem, e, para isso, deve-se conhecer a comunidade de peixes existente, analisando alguns pontos tais como: i) a existência de populações de peixes e, no caso de não existirem, a causa da não existência e se trata de uma causa definitiva ou não; ii) a composição da comunidade de peixes eventualmente existente, tendo em conta a importância tanto do ponto de vista ecológico quanto do ponto de vista econômico; iii) a existência de atividades de pesca desportiva e/ou profissional no curso em questão ou associadas a populações eventualmente postas em risco; iv) a existência, a montante desse local, de habitats necessários para a manutenção das populações de peixes e a relevância desses habitats, tendo em vista que poderão existir outros semelhantes a jusante que possam satisfazer as necessidades das populações ou ainda; v) a preexistência de obstáculos, naturais ou não, que de alguma forma já impeçam a chegada de peixes ao local de construção da barragem.

O conhecimento do comportamento das espécies de peixes em relação ao MTP é de fundamental importância para a implantação e bom funcionamento destes (KYNARD, 1993 apud VIANA, 2005), o que vem acarretando em diversos estudos acerca desta característica em diferentes espécies.

Mitigar o impacto de transposição de peixes é de fundamental importância, sendo necessários tanto conhecimentos acerca das estruturas hidráulicas quanto sobre as características biológicas e comportamentais das espécies. Ao construir um MTP, a proposta é que o menor peixe no rio em particular possa ser apto a transpor o sistema sem nenhum prejuízo, daí a necessidade de conhecimentos hidráulicos e biológicos (KURDISTANI e BAJESTAM, 2002).

De acordo com Viana (2005), os Mecanismos de Transposição de Peixes devem incluir cinco importantes aspectos gerais para o design e a construção de eficientes passagens de peixes, sendo eles:

- Otimizar as velocidades e funcionamento do mecanismo no intuito de minimizar o tempo de transposição, estresse e os danos ao peixe;
- A descarga através do mecanismo tem de ser adaptada as necessidades da espécie alvo e negociada de acordo com o potencial ou existência de reserva de água usada, com a avaliação do volume de água que pode ser utilizado para o sistema funcionar com eficiência;
- O mecanismo deve ser otimizado para funcionamento na mais larga faixa possível de escoamento que pode ser esperado no momento de migração das espécies nativas;
- Recursos para construção, operação e manutenção devem ser alocados de modo a garantir o melhor funcionamento do mecanismo de transposição;
- Preocupação com a migração de montante para jusante.

Ainda segundo Viana (2005), os dispositivos de transposição de peixes podem ser agrupados em três categorias gerais, sendo elas eclusas, elevadores e escadas.

Quando falamos de eclusas, falamos de mecanismos constituídos por canais que ligam o reservatório de jusante com o de montante, controlados por comportas. É lançado um jato de atração para atrair os peixes à câmara inferior, situada a jusante do barramento, onde são confinados por uma comporta. No momento em que esta comporta se fecha, uma válvula é aberta permitindo o enchimento da câmara até atingir o nível do reservatório superior, momento em que a comporta superior, localizada a montante do barramento, se abre permitindo o acesso aos peixes. Finalizada a transposição dos peixes, há o fechamento da comporta superior e abertura da inferior, dando início ao processo novamente.

Podemos ter dois tipos de elevadores para transposição de peixes. O primeiro modelo é aquele sem o auxílio de um caminhão tanque, onde os peixes são atraídos até uma câmara que apresenta uma comporta que se fecha, confinando-os. Esses peixe são conduzidos até uma

caçamba que, com o auxílio de um guindaste, é elevada até o reservatório de montante. O segundo modelo apresenta o mesmo funcionamento, entretanto, a locomoção da caçamba é realizada através de um caminhão tanque, que a deságua no reservatório de montante.

Já as escadas de transposição são, geralmente, constituídas de uma série de tanques em desníveis que conduzem água do reservatório para o canal de fuga. Estes tanques são separados por defletores, cujo objetivo é dissipar a energia do escoamento, permitindo o deslocamento dos peixes de jusante para montante, seja através do nado ou do salto de um tanque para outro, de acordo com a construção da escada (MARTINEZ *et. al.*, 2000).

Os principais dispositivos de passagens para peixes são apresentados a seguir.

3.1.1 Tipos de Mecanismos de Transposição de peixes

3.1.1.1 Escadas de peixes ou bacias sucessivas, “fish ladder” e “Weir & orifice”

Dispositivo capaz de atender diferentes espécies sendo, por isso, escolhido com maior frequência para os pequenos aproveitamentos hidrelétricos. Construído com a finalidade de permitir deslocamentos de jusante a montante, podendo também ser utilizado no sentido inverso (SANTO, 2005).

Seu funcionamento consiste, basicamente, na divisão do desnível criado pela barragem em uma série de reservatórios ou tanques escalonados sequencialmente em degraus, criando um canal por onde os peixes possam nadar ou saltar de bacia em bacia. A função dos degraus é dissipar a energia de forma localizada e manter o nível de água a fim de favorecer a ascensão dos peixes com um cansaço reduzido. Algumas escadas possuem orifícios na soleira, entre as passagens, para favorecer peixes que realizam a migração pelo fundo dos rios. Sua construção e manutenção são relativamente simples, necessitando de pouca ou nenhuma manutenção (SOARES, 2012). A Figura 3.1 exemplifica este tipo de mecanismo.

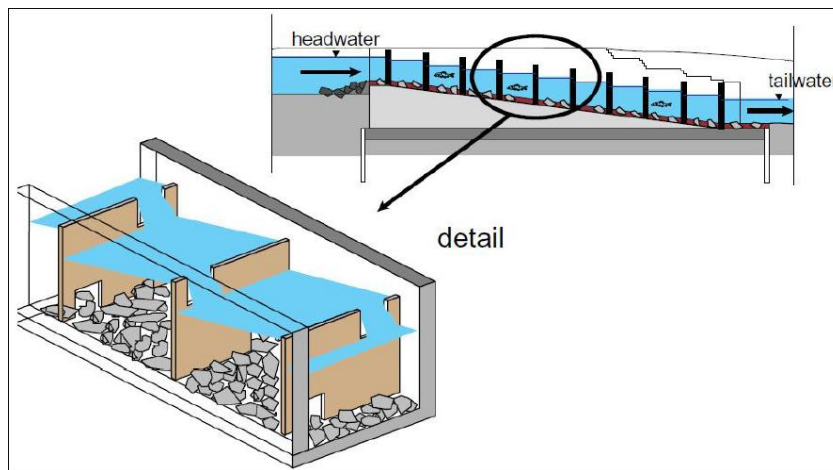


Figura 3.1 – Passagem por bacias sucessivas convencionais. (Fonte: SOARES, 2012).

3.1.1.2 Ranhuras verticais, “vertical slot”

Consistem em canais retangulares em declive, onde tanques são formados por partições centrais, entre os compartimentos, permitindo a passagem do fluxo por aberturas laterais, que podem ser de uma ou duas ranhuras (RAJARATNAM *et. al.*, 1986) e variar entre 30 e 40 cm de largura (CALTRANS, 2007). Este parâmetro depende das dimensões das espécies que serão transpostas.

A energia do jato de água em cada ranhura é dissipada quando mistura na água tanque abaixo (RAJARATNAM *et. al.*, 1991). A profundidade dos tanques acompanha a declividade do canal, assim a diferença do nível de água se mantém constante. Por causa disso, esse tipo de escada é considerada autorreguladora (SOARES, 2012).

3.1.1.3 Passagens por defletores, “Denil”

São formadas por um canal retilíneo de declive relativamente acentuado e seção retangular, com defletores sobre o fundo e sobre as paredes laterais. Seu princípio de funcionamento se baseia na redução da quantidade de movimento através da formação de correntes helicoidais. Este equipamento limita as espécies atendidas, uma vez que para transpô-la é necessário grande capacidade natatória e somente pode ser aplicada em barragens de pequeno desnível (SANTO, 2005). A Figura 3.2 representa esquematicamente este sistema.

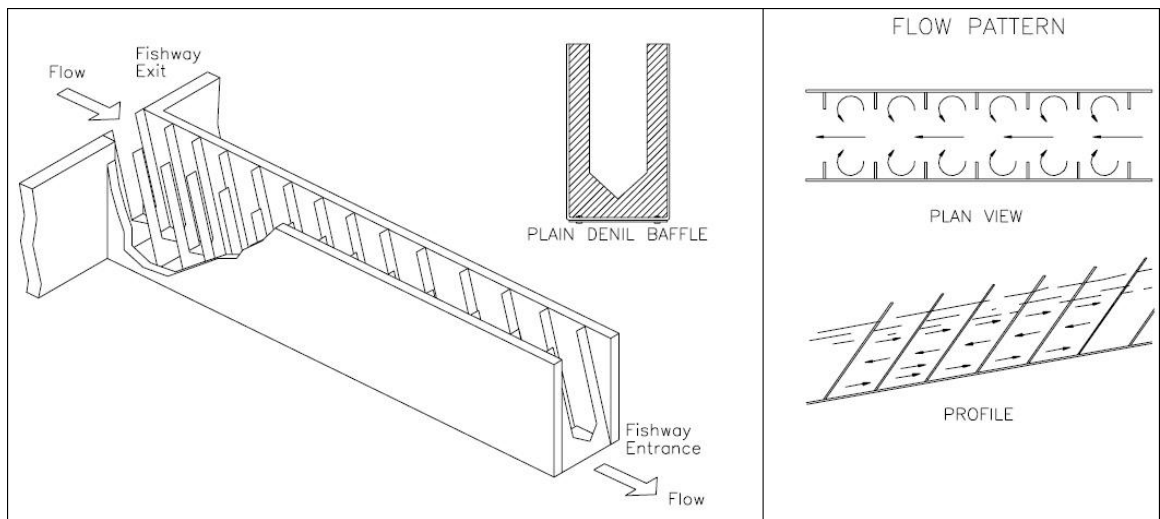


Figura 3.2 – Representação de uma passagem do tipo “Denil”. (Fonte: KATAPODIS, 1992).

3.1.1.4 Elevadores para peixes

Dispositivos adaptados a grandes desníveis, porém, pode ser utilizado em condições de desníveis pequenos dependendo da necessidade do sistema. Seu funcionamento consiste em atrair os peixes até uma caçamba localizada no reservatório inferior da obstrução. Quando um cardume entra na caçamba, existe uma comporta na entrada da mesma que se fecha confinando os indivíduos, que são transportados até o nível superior por elevação, onde são descarregados (TRAVADE e LARINIER, 2002).

As principais vantagens dos elevadores de peixes são: custo de implantação praticamente não apresenta ligação com a altura da barragem; apresentam baixa sensibilidade à variação de nível d’água a montante e; são considerados mais eficientes para aquelas espécies que têm dificuldade de transpor por mecanismos tradicionais. Em contrapartida, apresenta elevado custo de operação e manutenção e apresenta baixa eficiência para espécies pequenas uma vez que, por razões operacionais, telas muito finas não podem ser utilizadas (LARINIER, 2001). A Figura 3.3 apresenta um esquema dos elevadores para peixes.

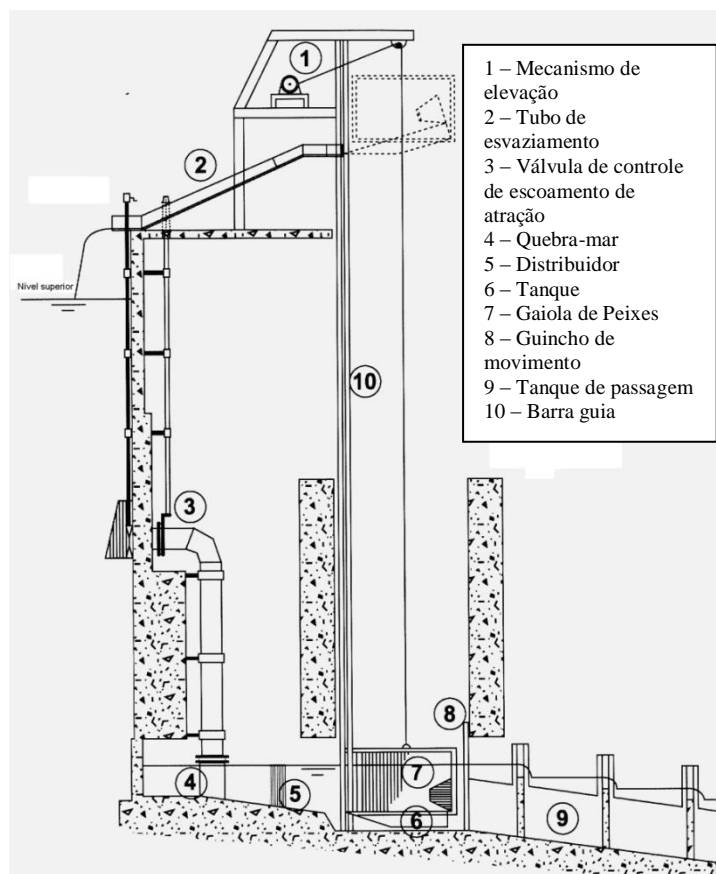


Figura 3.3 – Esquema de mecanismo de transposição do tipo elevador de peixes. (Fonte: TRAVADE e LARINIER, 2002 apud Viana, 2005).

3.1.1.5 Eclusas

Assim como os elevadores, as eclusas não proporcionam um caminho pelo qual os peixes possam se deslocar para vencer o desnível. Operam utilizando o mesmo princípio das eclusas para navegação. Os peixes são atraídos para uma câmara localizada no nível inferior, a jusante do barramento, onde são confinados por uma comporta. Após o fechamento desta comporta, começa o processo de enchimento da comporta, por onde os peixes são forçados a subir, até alcançar o reservatório superior, a montante do barramento. Ao serem libertados, a comporta localizada no nível superior se fecha e tem-se o esvaziamento da eclusa, para dar início ao processo novamente (SOARES, 2012). A Figura 3.4 representa este mecanismo.

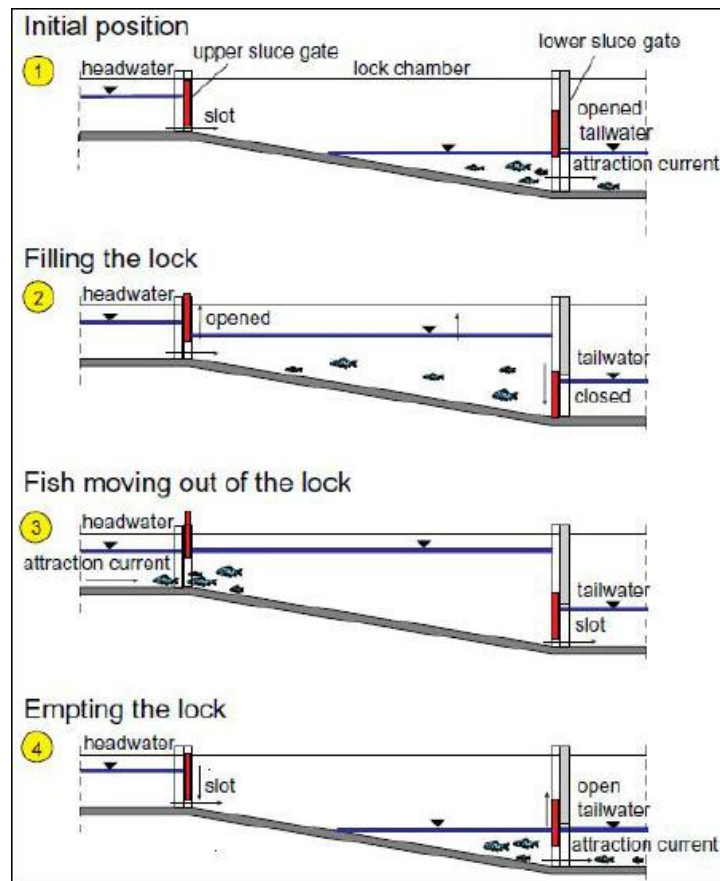


Figura 3.4 – Funcionamento de uma eclusa. (Fonte: FAO/DVWK, 2002).

3.2 *Estudo da capacidade natatória de peixes*

3.2.1 Tipos de velocidades desenvolvidas pelos peixes

De acordo com Beamish (1978), os peixes são capazes de desenvolver três tipos de velocidades:

- Sustentável: mantida por longos períodos, maiores que 200 minutos, sem resultar em fadiga do animal. Pode ser subdividida em:
 - Velocidade de cruzeiro: representa a velocidade mais econômica para o peixe quanto ao gasto de energia, considerando a distância percorrida;
 - Velocidade de cardume: desenvolvida quando o grupo se encontra em um arranjo regular. Nela, os vórtices formados pela batida da cauda do peixe, na parte posterior do escoamento, anulam os vórtices desfavoráveis à propulsão do animal. Assim, alguns peixes se aproveitam do vórtice já produzido por um outro espécime posicionado no cardume, de maneira análoga ao que se observa

para aves voando em formação ou mesmo aeronaves dispostas em esquadrilhas.

- Prolongada: mantida por um período compreendido entre 20 segundos e 200 minutos, resultando, progressivamente, em fadiga muscular do animal, com acúmulo de ácido lático nos tecidos musculares. A produção desse ácido decorre da respiração anaeróbia, realizada quando a atividade física do músculo é tão intensa que a insuficiência de oxigênio torna necessária outra fonte de oxidação (Beamish, 1978). A velocidade prolongada é a mais medida em laboratórios. De acordo com (Santos, 2007) sua principal subcategoria é:
 - Velocidade crítica (U_{crit}): primeiramente empregada e definida por Brett (1964), Essa velocidade representa a Velocidade máxima (U_{max}) que um peixe pode manter num escoamento cuja velocidade é aumentada (ΔU) num período de tempo pré-determinado (t_i). Como a fadiga do peixe muitas vezes não ocorre nesse período, uma interpolação é feita com o tempo (t_f) que o mesmo nadou dentro do intervalo. Dessa forma, a velocidade crítica é representada pela Equação 1:

$$U_{crit} = U_{max} + \frac{t_i}{t_f} \times \Delta U \quad (\text{Eq. 1})$$

- De explosão: é aquela mantida por períodos de tempo geralmente inferiores a 20 segundos, e corresponde à maior velocidade desenvolvida pelos peixes. É utilizada em situações extremas, como fuga de predadores, perseguição a presas e/ou superação de obstáculos, e resulta na fadiga do animal. A capacidade de explosão é, para muitas espécies, um pré-requisito para sobrevivência, uma vez que o sucesso de migração para desova, em que devem transpor trechos rápidos dos rios, depende dessa capacidade (BEAMISH, 1978).

Uma vez conhecidas essas velocidades, é possível confeccionar ábacos como o da Figura 3.5, onde nota-se que, cada vez que ocorre uma transição de um tipo de velocidade para outro, a “curva” sofre uma descontinuidade semelhante a uma inflexão, originando outras retas. A

obtenção dessas curvas de velocidade é o principal resultado de um estudo de capacidade natatória.

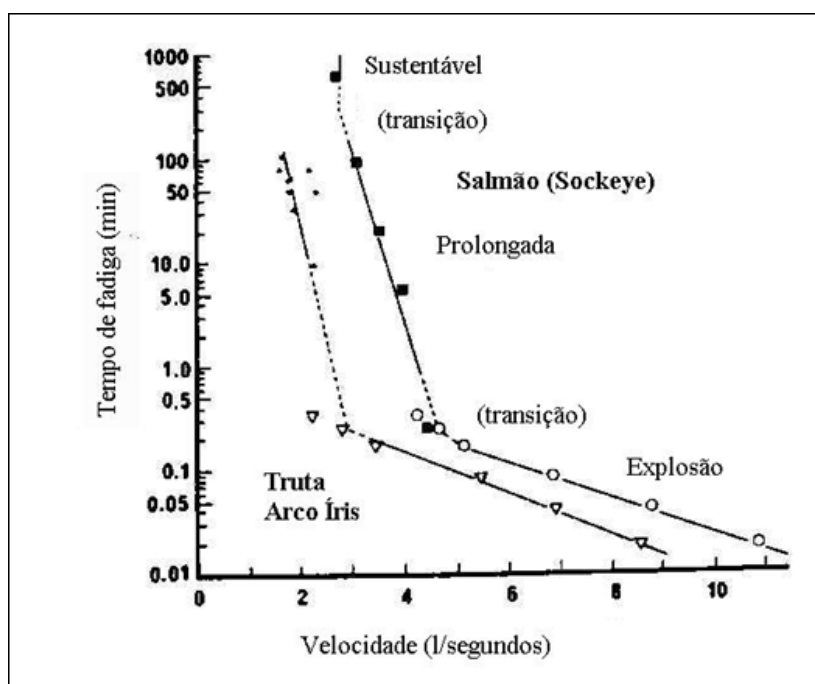


Figura 3.5 – Ábaco indicando as velocidades de sustentação, prolongada e de explosão das espécies *Oncorhynchus nerka* e *Salmo gairdneri*. (Fonte: BEAMISH, 1978, apud SANTOS, 2004).

3.3 Determinação das velocidades natatórias

Os métodos de medição de velocidades natatórias evoluíram de descrições empíricas baseadas em observações qualitativas para resultados oriundos de pesquisa científica estruturada, em testes quantitativos, com metodologias bem definidas. Para essas medições científicas faz-se experimentos em ambiente natural ou em laboratórios, dependendo do tipo de velocidade que se quer conhecer. Para medições das velocidades de cruzeiro utilizam-se experimentos e observações realizadas na própria natureza. Enquanto que, para medição das velocidades de explosão e prolongada, experimentos em laboratório são mais representativos. Estabelecendo escoamentos com condições semelhantes ao meio natural, os cientistas simulam em laboratório o comportamento dos peixes para vasta gama de experimentos. Neste ambiente de trabalho, também tornou possível incrementar a qualidade dos dados coletados, submetendo-os ao crivo de instrumentos de precisão muitas vezes indisponíveis em campo (BEAMISH, 1978).

Na natureza, as medidas de capacidade natatória de peixes (CNP) variam de formas que exigem poucos recursos até experimentos que exigem alta tecnologia e representam a pesquisa de ponta sobre vários comportamentos dos indivíduos em seu habitat natural. As principais modalidades (BEAMISH, 1978) são: a) fotografia e filmagens, onde através de fotos sucessivas ou particionamento de filmagens - conhecendo-se o intervalo de tempo - é possível determinar a velocidade atingida; b) observação direta e marcação convencional, onde se compara a velocidade do peixe com a de um objeto conhecido ou toma-se as medidas pela observação da natação do peixe entre distâncias conhecidas; c) processos acústicos, marcação com etiquetas ultra-sônicas e rádio-transmissores; d) carretilhas e molinetes de pesca esportiva adaptados a velocímetros de motocicletas ou acoplados a aparelhos de mensuração de tensão na linha; f) transdutores de pressão.

Já em laboratório, as pesquisas são mais extensas. O primeiro registro foi de Aristóteles, onde foi discutido a respeito do número de nadadeiras que os peixes possuíam, comparando os propulsores dos animais aquáticos com os órgãos locomotores apresentados pelas aves e pelo homem. Aristóteles também estudou as brânquias de forma aprofundada, porém, mesmo sabendo da existência da bexiga natatória, este assunto só foi abordado em 1554, com Guillame Rondelet (ALEXANDER, 1983).

No século XVII houve uma explosão de estudos sobre a hidrodinâmica dos peixes, impulsionados pelo desenvolvimento da física Newtoniana e das técnicas de pesquisa com base na observação experimental, propiciando estudos mais aprofundados da estabilidade do peixe e do seu principal órgão gerador de empuxo, a bexiga natatória (ALEXANDER, 1983).

Depois de mais progressos na mecânica e na hidrodinâmica clássica, George Cayley (1809) tentou descobrir a forma hidrodinâmica ideal. Para isso, ele mediu as espessuras de uma truta ao longo do seu comprimento e desenhou um sólido em revolução com a mesma distribuição das espessuras. Um ano depois, ele publicou uma discussão sugerindo que as formas das trutas seriam uma indicação de um sólido que sofre baixa resistência quando submetido a escoamentos em fluidos (ALEXANDER, 1983).

Segundo Beamish (1978), o conjunto de variáveis intervenientes, sejam elas ambientais ou biológicas, é mais facilmente investigado em testes de laboratório, embora se encontrem

grandes dificuldades durante as fases de projeto, execução e operação de uma câmara natatória eficiente.

As metodologias de medição de velocidades natatórias de peixes em laboratório são implantadas com aparatos de geração de fluxo tanto em canais abertos como em túneis hidrodinâmicos constituídos por condutos forçados. Esses aparatos podem ser instalados em câmaras móveis ou estacionárias, sendo que nas câmaras móveis o deslocamento para geração de fluxo é feito pelo duto que contém o fluido de teste, enquanto nas câmaras estacionárias o que se movimenta é o fluido de teste, impelido por um propulsor mecânico (VICENTINI, 2005).

O primeiro aparato registrado pertence a Fry e Hart (1948), tendo sido posteriormente adaptado e melhorado por Bainbridge e Brown (1957). Dentre os aparatos mais bem sucedidos, destacam-se os de Bishai (1960), Blazca-Volf-Cepala (1960), Brett (1964), Thomas-Burrows-Chenoweth (1964) e Hammond-Hickman (1966). A Figura 3.6 apresenta o aparato de Bainbridge e Brown, adaptado e melhorado do projeto de Fry e Hart (1948), cujo funcionamento baseia-se na colocação do canal em movimento de rotação, estabilizando-se a uma velocidade igual à velocidade de nado do peixe, de tal maneira que o animal pareça estar sem deslocamento para um observador externo, muito embora esteja em plena atividade natatória (VICENTINI, 2005).

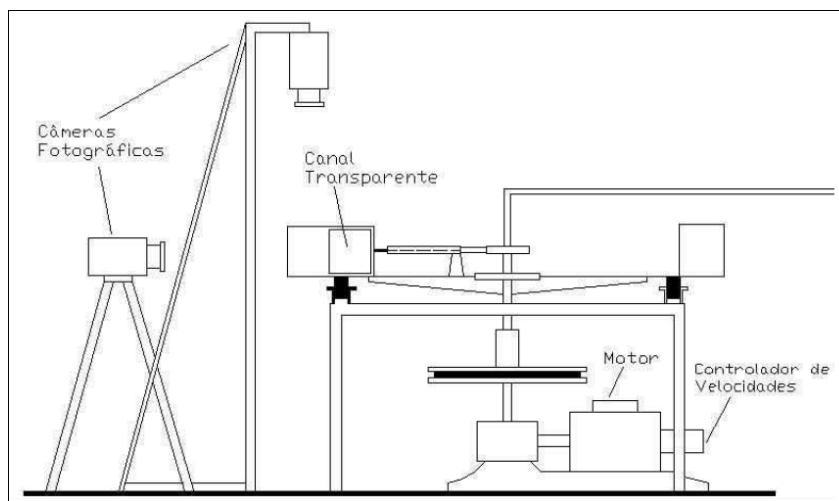


Figura 3.6 – Canal circular para testes de capacidade natatória – vista em corte. (Fonte: adaptado de BAINBRIDGE e BROWN, 1957, apud VICENTINI, 2005).

Os aparatos foram evoluindo, novas alternativas foram sendo testadas até que, em 1964, Brett desenvolveu um aparato constituído de uma seção de testes, de maior diâmetro, isolada do resto do sistema por telas. A montante e a jusante foram posicionadas transições de diâmetro para conectar a seção de testes ao sistema motriz do aparato, que é constituído por uma bomba centrífuga e dutos ligados à seção de testes tanto pela sucção quanto pelo recalque da bomba, formando um circuito fechado para circulação de água. Devido a qualidade do escoamento obtido na seção de testes e por sua facilidade de construção e operação, este modelo foi escolhido como base para os aparatos construídos no CPH (SANTOS, 2007). Um esquema do aparato também conhecido como “respirômetro de Brett” pode ser visto na Figura 3.7.

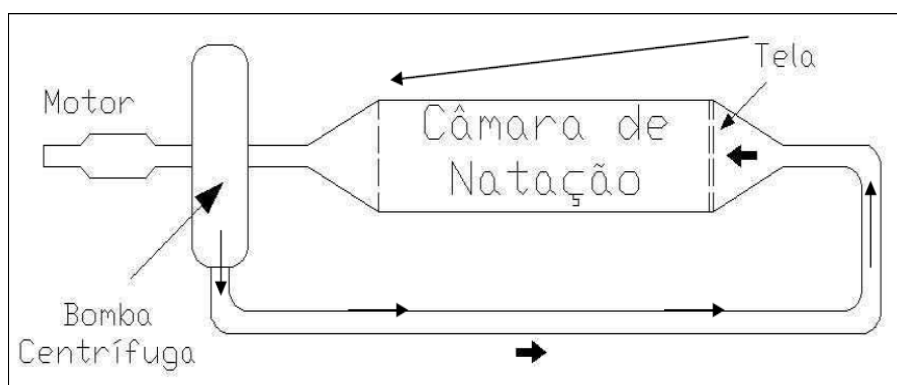


Figura 3.7 – Aparato tipo câmara desenvolvido por Brett em 1964. (Fonte: adaptado de BEAMISH, 1978, apud VICENTINI, 2005).

A partir de então, diversos experimentos foram realizados, para a determinação de capacidade natatória, usando aparatos com princípios similares, como pode ser observado em SANTOS (2004 e 2007) e VICENTINI (2005).

3.4 Os aparatos utilizados no Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos da UFMG (CPH) para medição da capacidade natatória de peixes

Durante o desenvolvimento dos estudos de Santos em 2004, em que se buscava adaptar uma metodologia de medição de capacidades natatórias de peixes brasileiros, foram feitas três tentativas de montagens para realização dos testes.

A primeira tentativa foi feita em canal aberto, com escoamento em lâmina livre. Para esta montagem, foi feita uma adaptação no canal principal de acrílico do CPH. Para isso, foram

confeccionadas duas telas de proteção para impedir que os peixes deixassem a seção de teste e entrassem no reservatório do aparato ou nos difusores de fluxo (na extremidade da linha de recalque). Essas telas eram compostas de molduras em compensado naval e malha de pesca na região central, tendo exatamente a largura e a altura do canal. Porém, com essa configuração, as molduras das telas causavam grande perda de carga, pois reduziam a seção transversal do canal ao escoamento afluyente. Além disso, tornava-se difícil controlar a altura do escoamento em função das mudanças de regime de escoamento, induzidas pelas próprias obstruções geradas pelos componentes. Observava-se a formação de ondas estacionárias, quando em regime supercrítico e o aparecimento de remansos (ou ressaltos) quando se manifestava algum trecho subcrítico. Esses problemas levaram os pesquisadores a optarem por outra configuração do aparato (VICENTINI, 2005).

A segunda tentativa foi construída sob a forma de conduto forçado em acrílico transparente, com seção transversal retangular e uma chaminé de acesso por onde entrariam os peixes. Nas extremidades foram colocados bocais de entrada e saída de água para conexão direta com a bomba, ou indireta através de um reservatório de carga. Acoplado ao tubo de entrada de água foi instalado um pressurizador com manômetro para testes de resistência. Durante os testes percebeu-se a grande facilidade com que surgiam pontos de vazamento, chegando-se mesmo à ruptura das placas de acrílico quando sob pressão. Com a finalidade de reduzir a possibilidade de fratura foram instaladas gravatas de latão em torno das seções retangulares. Esta tentativa não se mostrou bem sucedida, o que levou os pesquisadores a optar por uma nova concepção, ainda em conduto forçado, mas com seção circular, montada com tubos de PVC, e com a seção de teste em tubo de acrílico para a visualização do peixe (VICENTINI, 2005). Esta última alternativa foi bem sucedida, e o aparato foi utilizado para as pesquisas de SANTOS (2004) e VICENTINI (2005).

Mais tarde, em 2007, Santos desenvolveu um novo aparato, com as mesmas premissas da terceira alternativa, porém com diâmetro maior e com mobilidade para ser utilizado em campo. Este último aparato foi utilizado na presente pesquisa, e será detalhado mais adiante, no capítulo da Metodologia.

3.5 *Espécie estudada*

Para o presente trabalho, devido a questões que serão discutidas no capítulo da Metodologia, foi escolhida a espécie *Pimelodus maculatus*, mais comumente conhecido como mandi-amarelo (Figura 3.8).



Figura 3.8 – Exemplar do *Pimelodus maculatus*. (Fonte: Eletrobrás, 2012)

O mandi-amarelo foi descrito por Lacepède, em 1803, e é um peixe teleósteo, gnatostomata da ordem dos silurídeos, integrante e um dos representantes característicos da família Pimelodidae (LUETKEN, 2001).

Apresenta o ventre achatado e coloração clara, opostamente ao dorso e ao restante do corpo, que apresenta, geralmente, coloração amarelo-sujo ou amarelo-cinza com brilho dourado e quatro fileiras laterais de manchas pretas. Sua cabeça é revestida de placas ósseas que se prolongam até a base da nadadeira dorsal. Apresenta barbilhões que têm função sensorial, sendo dois pares mais curtos (atingindo a região das brânquias) e dois mais longos, que chegam até a região da nadadeira anal (LUETKEN, 2001). Possui ainda ferrões serrilhados junto à raiz das nadadeiras peitorais e compoem a primeira (e maior) raia da nadadeira dorsal, num total de três ferrões (VICENTINI, 2005).

As nadadeiras peitorais apresentam ferrões mais robustos que o da nadadeira dorsal, mas todos são recobertos por um muco que contém bactérias capazes de conduzir o agressor a uma infecção, podendo por vezes causar febre. Essas estruturas são usadas como instrumento de defesa pelos mandis. Quando ameaçados, seu comportamento frequentemente é de alongar ao

máximo na direção vertical o ferrão da nadadeira dorsal. Ao mesmo tempo abre e fecha as nadadeiras peitorais, juntamente com seus respectivos acúleos, de maneira ritmada. Ao atingir o corpo do agressor, o ferrão penetra causando uma perfuração profunda, aberta pela ponta afiada e alargada pela face convexa do ferrão, a qual é lisa. Opostamente, a face interna do ferrão é serrilhada e quando sai do ferimento acaba dilacerando os tecidos do corpo atingido, potencializando a ação séptica do muco. O processo de dilaceração acontece pelo fato de que as serrilhas são afiadas no sentido oposto à entrada do ferrão pela abertura do ferimento (VICENTINI, 2005).

A raiz da nadadeira caudal é robusta e está assentada sobre potentes músculos natatórios. Segundo a descrição de Reinhardt (1851) o mandi-amarelo apresenta sete raias na dorsal, dez raias nas peitorais, seis raias nas ventrais e onze ou doze na anal (LUETKEN, 2001).

Esta espécie está presente em grande parte da América do Sul, especialmente na bacia platina, englobando os rios Grande e Paranaíba em Minas Gerais, bem como grande parte dos afluentes desses últimos. Ocorre em abundância também na bacia do rio São Francisco, especialmente nos afluentes Velhas e Paraopeba. Relatos históricos revelam a presença desses indivíduos no município de Lagoa Santa, região metropolitana de Belo Horizonte, onde foram descritas grandes migrações tanto no lago quanto no riacho a jusante, fato já não mais observado atualmente, caracterizando uma das extinções ocorridas no lago em consequência da ação antrópica ao longo de 150 anos (POMPEU & ALVES, 2003).

3.6 Estudos relacionados aos diferentes incrementos de tempo

São encontrados na literatura diversos estudos, principalmente ligados à capacidade natatória de peixes de clima temperado, onde se podem encontrar diversos incrementos de tempo utilizados.

Em 1982, Schneider e Connors publicaram um artigo onde estudaram os efeitos da elevação da temperatura da água na velocidade crítica de natação da truta arco-íris, até então com nome científico *Salmo gairdneri*, hoje com nome científico *Oncorhynchus mykiss*. Neste trabalho, a espécie foi aclimatada a 10°C e depois submetida a temperaturas de 10, 15, 20 e 25°C enquanto nadava e descansava. A velocidade inicial do teste de velocidade crítica foi de 20 cm/s, sendo incrementada em 10 cm/s a cada 20 minutos.

Grøttum e Sigholt (1997) estudaram um modelo para o consumo de oxigênio do salmão do Atlântico (*Salmo salar*), com base em medições de cada peixe em um respirômetro de túnel hidrodinâmico. Os exemplares em fase de 3ª maturação foram confinados em um tanque por um período de um ano antes de serem testados. Antes dos testes iniciarem os indivíduos eram sedados e medidos, onde tiravam-se as dimensões de peso, altura, largura e espessura, e, após, passavam por um período de 24 horas de aclimação. Durante os testes, eram feitas 9 medições diárias com velocidades diferentes (0.5, 1.0 e 1.5 comp/s) escolhidas aleatoriamente. No total, foram feitas 157 medições de 6 exemplares, sendo que cada período durava de 5 a 20 minutos, dependendo do comportamento do animal e do consumo de oxigênio.

Um trabalho mais atual envolvendo testes com velocidade crítica foi realizado em 2008 por Guan, Snelgrove e Gamperl. Este trabalho objetivou analisar o papel da temperatura nas mudanças ontogenéticas na velocidade crítica de nado de alevinos das espécies *Gadus morhua* e *Myoxocephalus scorpius*. Os autores examinaram a influência da temperatura de aclimação com o desenvolvimento da maturação e a velocidade crítica desenvolvida. Para este teste foram utilizados 10 exemplares para cada temperatura testada, sendo incrementado 1 cm/s a cada 2 minutos de teste.

Além destes testes, alguns estudos foram realizados acerca da influência do incremento de tempo utilizado nos testes de velocidade crítica.

Brett (1964 e 1967), inicialmente, realizou testes com 75 minutos de intervalo de tempo, porém, após os resultados, recomendou implantar um intervalo de tempo padrão igual a 60 minutos, de modo a permitir a comparação em uma base de tempo uniforme (HAMMER, 1995).

Em 1968, Dahlenberg sugeriu que fossem usados 10 minutos de intervalo de tempo, caso o que se objetiva com os testes for somente o valor de velocidade crítica (HAMMER, 1995).

Mais tarde, em 1971, Jones testou a truta salmão aplicando velocidades de 1/6 a 1/9 da velocidade crítica, onde não foram encontradas diferenças significativas nos resultados de velocidade crítica encontrados. Beamish (1978) suporta que não há diferença para esta espécie quando o incremento de tempo utilizado for de 20 a 60 minutos (HAMMER, 1995).

Beamish (1980) realizou um estudo com a espécie *Salvelinus alpinus*, realizando testes com incrementos de tempo iguais a 5, 10 e 75 minutos. Seus resultados não mostraram diferenças quando o intervalo de tempo foi modificado (HAMMER, 1995).

Uma pesquisa foi realizada em 1991 por Hartwell e Otto, com a espécie de *Menidia menidia* de aproximadamente 6,3 mm. Foram realizados testes com intervalos de tempo de 2, 5, 10, 15, 20, 30, 45 e 60 minutos com incremento de velocidade de 0,5 comp/s. Os resultados dos testes de velocidade crítica encontrados apresentaram um decréscimo de 9,7 comp/s nos testes de 2 minutos para 8,5 comp/s nos testes de 30 e 45 minutos, apresentando, em seguida, um aumento para 9,25 comp/s nos testes com 60 minutos de incremento de tempo (HAMMER, 1995).

Devido a esses resultados surge o questionamento sobre a influência do incremento de tempo utilizado nos testes de capacidade natatória de peixes para cálculo da velocidade crítica, quando estes testes forem aplicados para peixes neotropicais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O objetivo deste capítulo é detalhar o procedimento realizado para determinação do procedimento operacional padrão (POP) de medição da velocidade crítica da espécie estudada, em relação ao passo de tempo do teste, ao tempo de confinamento em tanques e a magnitude da seção transversal de teste. Além disso, detalha-se a análise do comportamento da espécie no interior do tubo de sucção de turbinas hidráulicas.

4.1 Medição da velocidade crítica

4.1.1 Escolha da espécie

Por se tratar de um país de clima tropical, o Brasil apresenta uma rica variedade de espécies de peixes. Dentre estas, encontram-se as espécies ditas migradoras, que migram no curso d'água para se alimentar e reproduzir, foco do estudo. Um dos critérios para escolha da espécie contemplou o fato dessa ser de um gênero de característica migradora, com grande representatividade nas bacias do país. Assim, foi escolhida a espécie *Pimelodus maculatus* (mandi-amarelo) (Figura 4.1), pertencente à ordem Siluriforme.

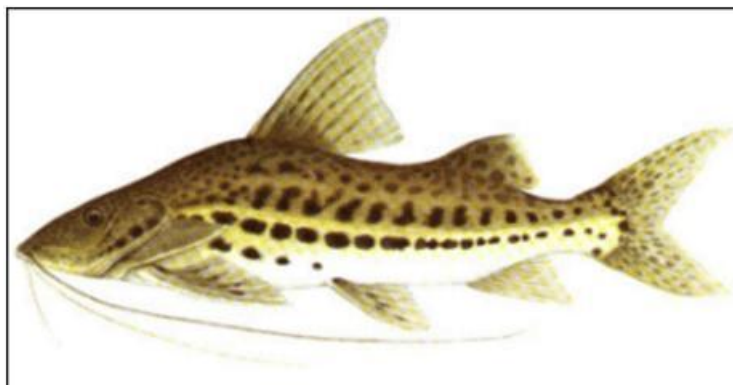


Figura 4.1– Exemplar do *Pimelodus maculatus* (fonte: PESCA BRASIL, 2004).

Outro critério se deve à localização de Belo Horizonte, município onde são realizados os testes, que propicia maior facilidade de trabalho com espécies da bacia do Rio São Francisco, uma vez que grande parte da bacia se encontra nas proximidades da região, facilitando as coletas. Por fim, foi levada em consideração a experiência do grupo de pesquisa em manter a espécie em laboratório pelo tempo necessário como realizado por Santos, (2004 e 2007) e VICENTINI (2005).

4.1.2 Coleta

A coleta desses indivíduos se deu em dois locais diferentes. A maior parte dos indivíduos foi coletada na proximidade da UHE de Três Marias. Estes foram capturados por pescadores da região, cerca de 1 ou 2 dias antes da coleta, e mantidos em gaiolas feitas de tela de plástico dentro do curso do rio, até o dia em que a equipe de coleta chegava para fazer o transporte. O transporte desses indivíduos durava cerca de 4 horas, e foi feito em caixas de fibra de vidro (Figura 4.2), com volume aproximado de 100 L, que era cheia com água do próprio rio, aerada por uma bomba de aquário, de 4 saídas, capaz de aerar cerca de 12 L/min (Figura 4.3).



Figura 4.2– Caixa de fibra de vidro utilizada no traslado (Fonte: VICENTINI, 2005).



Figura 4.3 – Bomba de aquário utilizada para aeração da caixa de transporte.

Parte dos indivíduos foi coletada no município de Igarapé, região metropolitana de Belo Horizonte, próximo à Usina Termelétrica de Igarapé, no rio Paraopeba, afluente do rio São Francisco. A captura dos indivíduos, neste caso, era feita também por pescadores da região juntamente com a equipe de coleta, no mesmo dia em que era realizado o transporte. O transporte destes animais, neste caso, durava cerca de 2 horas, e era realizado da mesma maneira descrito anteriormente.

O procedimento de captura e transporte desses animais desencadeia um processo de estresse ao animal, tornando-os mais susceptíveis à doenças causadas por fungos e bactérias. Por esse motivo, foi necessária a adoção de algumas medidas de segurança.

Inicialmente fez-se a adição de sal à água de transporte dos peixes, na concentração de 3 gramas de sal por litro de água. Esse procedimento faz com o peixe produza um muco que o reveste deixando-o mais protegido. Além disso, também é adicionado à água um condicionador usado para transporte de peixes ornamentais. Neste caso, foram usados o “Bag Buddies”, da marca Jungle®, ou o “Aqualife”, da marca Labcon®. Esses produtos estimulam a produção de muco e protegem contra fungos e parasitas que porventura estejam contidos na água de transporte.

Após a chegada dos peixes ao laboratório, fez-se a dessalinização da água vagarosamente por diluição. Após a dessalinização, acondicionam-se os peixes no sistema de manutenção preparado para recebê-los. Durante este processo, toma-se uma precaução especial com relação à temperatura da água da caixa de transporte e do sistema de manutenção. Assim, concomitante com o processo de dessalinização, faz-se a adequação dos peixes à temperatura do sistema de manutenção, sendo a transferência feita somente após a aproximação das duas temperaturas.

Após a chegada ao laboratório, os peixes são submetidos a um período de aclimação de 24 horas, antes da execução do primeiro teste, com temperatura da água em torno de 26°C.

O tempo máximo de permanência destes peixes no laboratório é de 15 dias. Após esse período, os peixes são submetidos a um processo de eutanásia. Esse procedimento consiste na imersão dos indivíduos em solução de Eugenol (anestésico) por mais de 2 minutos, com a

concentração de 1 ml para cada 40 litros de água. Após imobilização e perda da respiração pelo efeito do anestésico os peixes foram sacrificados e enterrados.

4.1.3 Sistema de Manutenção

Fez-se a manutenção dos indivíduos em dois aquários de vidro (Figura 4.4), com volumes de 1800 litros e 1100 litros. Ambos apresentam sistema de recirculação de água, aeração contínua e um sistema de filtros biológicos (Figura 4.5) para retirada de resíduos da água.



Figura 4.4 – Aquário utilizado para manutenção dos indivíduos



Figura 4.5 – Filtro biológico do sistema de manutenção

Para evitar o surgimento de fungos e/ou outros parasitas, trata-se a água dos sistemas de manutenção com o “Dechlor-Ease”, da marca Mydor[®], para controle da concentração de cloro na água, o “Fungus-Ease”, também da marca Mydor[®], para eliminação de fungos e bactérias infecciosas e o “Wound-Ease”, de mesma marca, para proteção da camada de muco da pele. Mantém-se a temperatura da água em torno de 26° C.

Faz-se o manejo das espécies nos aquários de manutenção de forma que os indivíduos já testados sejam separados daqueles ainda não testados. Assim garante-se que cada indivíduo seja testado uma única vez. Utiliza-se, nesse procedimento de manutenção de peixes, alguns aquários menores que funcionam como quarentena e isolamento para indivíduos doentes.

4.1.4 Preparação para os ensaios

Para a execução dos ensaios faz-se uma escolha aleatória entre os indivíduos disponíveis que é separado do grupo através de telas e capturado com o auxílio de um “puçá” de náilon. Em seguida o indivíduo é depositado em um balde contendo água do próprio aquário ao qual estava inserido. Transporta-se o indivíduo até o local onde se encontra o aparato. Em seguida faz-se a homogeneização da água do balde com a água do aparato, a fim de evitar choques térmicos, de salinidade e/ou de pH. Feita a homogeneização, insere-se o indivíduo no aparato para início do teste.

4.1.5 Aparatos experimentais

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados dois aparatos anteriormente desenvolvidos por Santos em 2004 e 2007 com base no respirômetro descrito por Brett (1964).

4.1.5.1 – Aparato de 250 mm

O primeiro aparato consiste de um túnel hidrodinâmico com diâmetro nominal de 250 mm (Figura 4.6) e é alimentado por duas bombas centrífugas de 20 cv (Figura 4.7), instaladas em paralelo (SANTOS, 2007). Esse aparato possibilita o estudo de indivíduos com comprimento entre 2 e 50 cm.

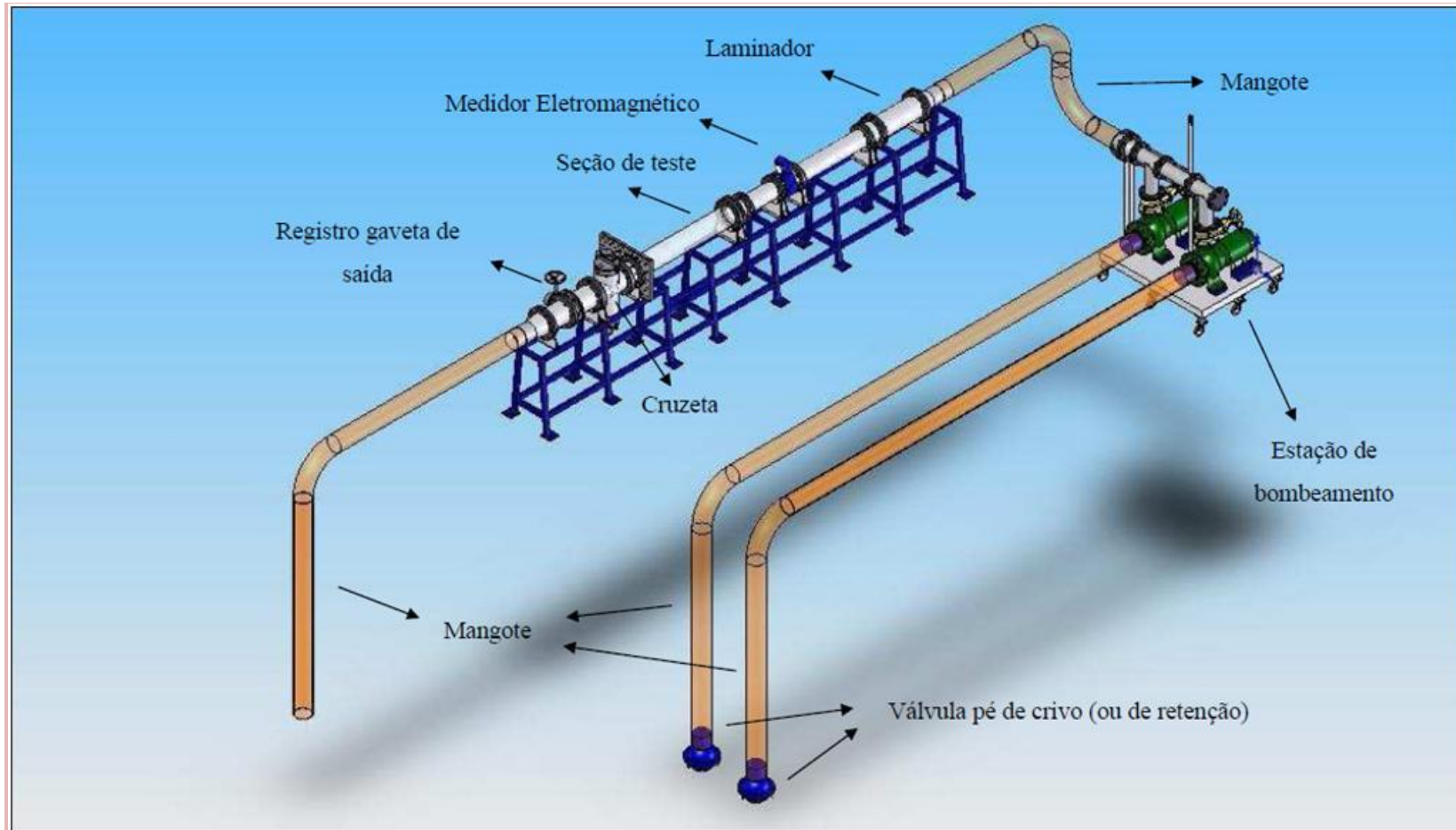


Figura 4.6 – Esquema do aparato experimental (Fonte: SANTOS, 2007).



Figura 4.7 – Sistema de bombeamento do aparato

Logo no início do túnel foi construído um laminador, com a finalidade de reduzir os movimentos helicoidais do fluxo gerados pelas bombas (SANTOS, 2007).

Após a passagem pelo laminador, o escoamento é conduzido por um trecho de tubulação reta, com diâmetro nominal igual a 8", até chegar a um medidor eletromagnético de vazão. Logo após, o diâmetro é aumentado para 10" (250 mm), através de uma ampliação, que é o início da seção de teste, delimitada por uma tela, que evita a saída do peixe da área visível. A partir daí, tem-se uma tubulação de acrílico com comprimento de 1500 mm, que é a seção de teste propriamente dita (Figura 4.8) (SANTOS, 2007).



Figura 4.8 – Seção de teste acrílico

Após a seção de teste, tem-se outra tela móvel, que permite a entrada do peixe na seção de teste e impede que ele saia durante o ensaio. Após esta seção, tem-se uma cruzeta para introdução e retirada do peixe no aparato (Figura 4.9), seguido por um registro borboleta colocado no final da tubulação rígida, para controle da vazão e da pressão do escoamento dentro do aparato (Figura 4.10) (SANTOS, 2007).



Figura 4.9 – Cruzeta utilizada para introdução e retirada do peixe.



Figura 4.10 – Registro borboleta utilizado para controle da pressão interna.

Para acionamento das bombas tem-se um painel com 2 conversores de frequência (Figura 4.11), que permite a variação da rotação das bombas e, conseqüentemente da vazão que passa na seção de teste (SANTOS, 2007).



Figura 4.11 – Painel de acionamento das bombas.

4.1.5.2 – Aparato de 150 mm

O segundo aparato também é um túnel hidrodinâmico alimentado por duas bombas centrífugas com baixa altura de recalque. Possui seção transversal circular e funciona como conduto forçado (SANTOS, 2004). Possui um reservatório com capacidade de 2500 litros e está conectado a duas bombas de 7,5 cv cada, que alimentam o túnel hidrodinâmico por meio de tubulação flexível de 4” e de uma conexão do tipo Y. Após a bifurcação o fluido é dirigido por meio da tubulação de PVC, com 150 mm de diâmetro, a seção de teste em acrílico. Essa possui um diâmetro interno de 144 mm, espessura da parede de 4 mm e 1120 mm de extensão. A seção de teste apresenta também conexões de PVC do tipo Tê nas duas extremidades, vedadas por tampas e com soquetes responsáveis pela condução do peixe e pela conformidade da confluência. Esse sistema de soquete evita locais de recirculação do escoamento na seção de inserção e de retirada dos peixes ensaiados. A seção de acrílico é confinada por telas colocadas entre as conexões Tê e os tubos de PVC. O esquema geral do aparato pode ser observado na Figura 4.12.

Após a seção de testes tem-se o medidor eletromagnético de vazão, com diâmetro interno igual a 150 mm. O retorno do fluido ao reservatório se dá por meio de uma tubulação de PVC com diâmetro de 150 mm. A Figura 4.13 apresenta um esquema indicando as dimensões da tubulação de PVC e da seção de testes.

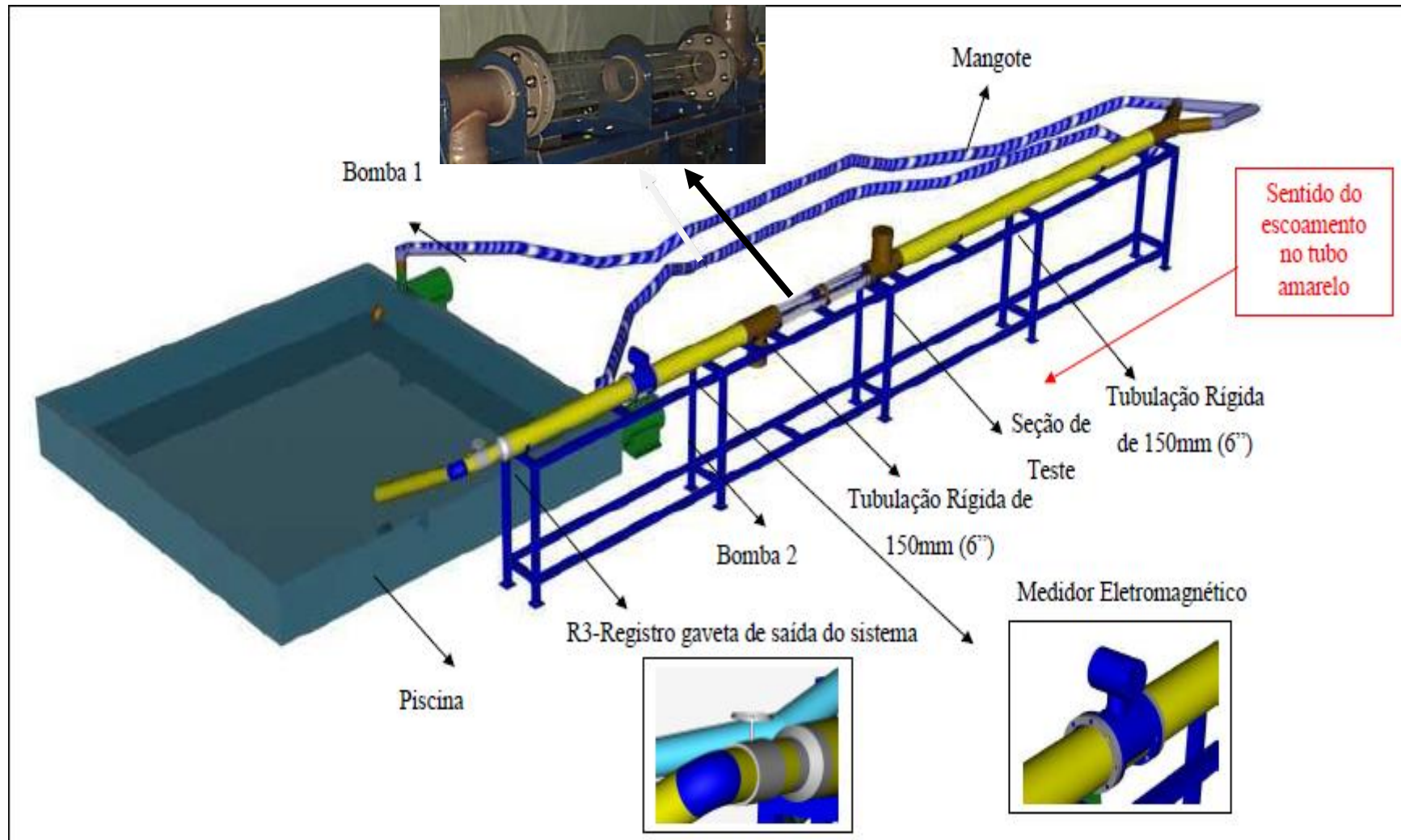


Figura 4.12 – Esquema do aparato DN 150 mm (Fonte: SANTOS, 2007).

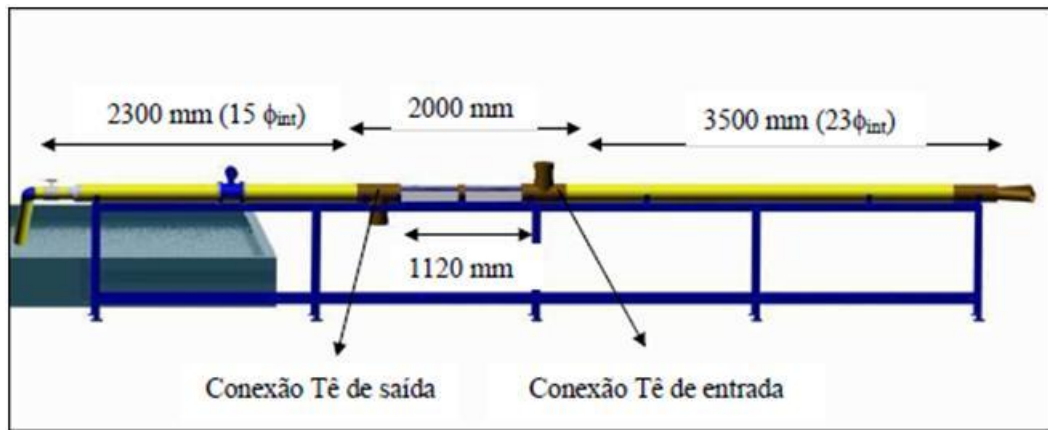


Figura 4.13 – Esquema da tubulação rígida do aparato de DN 150 mm (fonte: SANTOS, 2007).

O aparato é equipado com três registros de gaveta responsáveis pelo controle da entrada e saída da água no aparato. Dois estão localizados nas saídas da bomba e um localizado próximo ao final da tubulação de PVC. Estes registros são essenciais para manutenção de água dentro do sistema durante o processo de introdução e retirada do peixe, uma vez que este procedimento é executado com as bombas desligadas (SANTOS, 2007).

O acionamento das bombas é feito por meio de inversores de frequência que estão que tem a função de manter a vazão / velocidade na seção de teste do aparato.

4.2 Procedimento experimental para testes de velocidade crítica com diferentes incrementos de tempo

Os testes foram realizados de acordo com o procedimento experimental descrito por Brett (1964). A partir desse procedimento testaram-se quatro incrementos de tempo distintos. Cada amostra foi constituída por 20 indivíduos.

Os testes ocorreram entre dezembro de 2011 e julho de 2012. Para este estudo, os testes foram realizados utilizando-se quatro incrementos de tempo diferente, quais sejam: 5, 10, 15 e 20 minutos. Os testes com o incremento de tempo igual a 5 minutos, possibilitaram a execução de quatro (4) ensaios por dia. Os testes com incremento de tempo igual a 10 e 15 minutos, permitiram a realização de até dois (2) testes por dia. Finalmente os testes com incremento de tempo igual a 20 minutos permitiram a realização de apenas um (1) teste por dia.

Para se iniciar o teste de capacidade natatória procede-se a escorva do aparato que consiste na retirada de ar de dentro da tubulação mediante o enchimento da mesma com água. Para isso aciona-se uma bomba auxiliar que permite preencher o sistema com água. Em seguida aciona-se uma das bombas na posição de máxima rotação. Após a escorva, reduz-se a rotação da bomba e se promove o fechamento do registro de saída. Essa manobra permite manter a tubulação escorvada durante o procedimento de inserção do peixe, a ser testado, no aparato.

Após a inserção do peixe na seção de teste, inicia-se o mesmo colocando as bombas em uma rotação que permita o escoamento a uma vazão que corresponde à velocidade inicial de 0,2 m/s. A partir daí, para cada incremento de tempo correspondente, faz-se um incremento de 0,05 m/s por meio do aumento da rotação da bomba. Esse intervalo de velocidade foi escolhido em função das análises de Farlinger e Beamish (1977). Esses pesquisadores constataram que se o incremento de velocidade for maior que 0,1 m/s obtém um valor de velocidade crítica maior do que para os ensaios realizados com incrementos de velocidade entre 0,05 m/s e 0,1 m/s. Devido a isso considera-se mundialmente que o intervalo a ser adotado deva estar dentro dessa faixa. De forma a se manter uma coerência com os testes efetuados anteriormente (Santos 2004 e 2007 e Vicentini, 2005) optou-se por adotar o incremento de 0,05 m/s. Faz-se a contagem de tempo com um cronômetro regressivo, onde a cada intervalo de tempo procede-se ao incremento de velocidade de 0,05 m/s. Após sucessivos incrementos, chega-se a uma condição de nado em que o peixe não resiste mais ao escoamento, ficando bem próximo à grade de jusante. Esse posicionamento junto a grade é evitado pelo peixe enquanto ele tem capacidade de nado suficiente para se opor ao escoamento. Considera-se que o peixe alcança a condição de fadiga quando o mesmo não consegue permanecer longe da grade de jusante por um intervalo de tempo superior a 5 minutos.

Durante todo o ensaio fez-se o monitoramento de parâmetros de qualidade da água, tais como oxigênio dissolvido, temperatura e pH.

Após a retirada do peixe do aparato, procede-se a pesagem do mesmo e a medição de suas medidas características quais sejam: comprimento total, comprimento padrão, altura máxima e largura máxima (Figura 4.14).

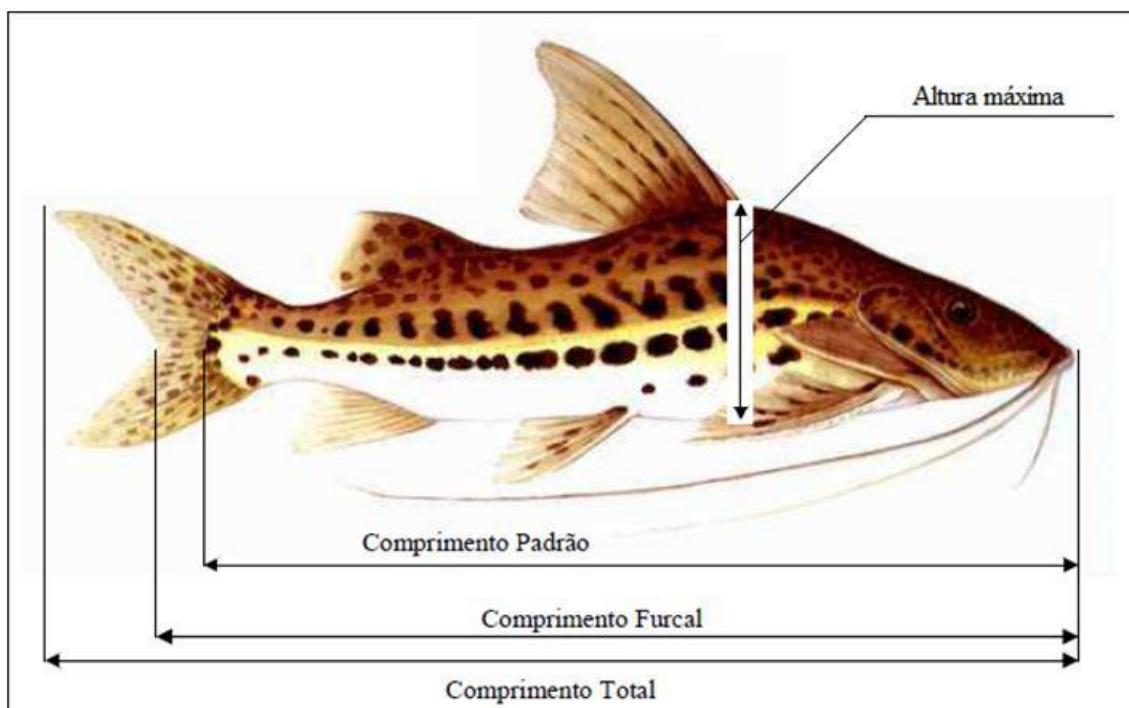


Figura 4.14 – Diagrama das dimensões corporais relevantes no mandi-amarelo (fonte: adaptado de VICENTINI, 2005).

Encerrado o teste, retorna-se o peixe ao sistema de manutenção, tomando-se os mesmos cuidados com aclimatação da água descritos para as condições de início do teste.

Os valores da velocidade crítica são obtidos a partir da Equação 1, descrita anteriormente.

Os resultados encontrados, depois de tratados, são dispostos em planilhas do Excel, onde se constroem os ábacos de Velocidade Total x Comprimento Total, para cada incremento de tempo, bem como um ábaco geral apresentando os resultados para os tempos de incremento variando de 5, 10, 15 e 20 minutos .

4.3 Procedimento experimental para testes de velocidade crítica com peixes confinados em laboratório e peixes recém coletados.

Estes testes foram realizados com base no procedimento experimental descrito por Brett (1964). Testaram-se, no aparato de 150 mm de diâmetro, 18 peixes que se encontravam confinados no laboratório há um ano (doze meses) e 25 indivíduos recém-chegados no laboratório. No aparato de 250 mm de diâmetro testaram-se 17 indivíduos confinados e 20

indivíduos recém coletados. A quantidade de indivíduos testados foi definida a partir do número disponível de peixes aptos a serem submetidos a testes nos dias de ensaio.

Os testes ocorreram entre dezembro de 2011 e janeiro de 2012. Foram realizados 4 testes com incremento de 5 minutos por dia que foram executados da forma descrita anteriormente.

Durante todo o ensaio fez-se o monitoramento de parâmetros de qualidade da água, tais como oxigênio dissolvido, temperatura e pH.

Após a retirada do peixe do aparato, procede-se a pesagem do mesmo e a medição de suas medidas características quais sejam: comprimento total, comprimento padrão, altura máxima e largura máxima

A partir dos resultados dos testes, calculou-se os valores de velocidade crítica de acordo com a Equação 2, apresentada no item anterior.

Os resultados encontrados, depois de tratados, foram dispostos em planilhas do Excel, onde foram construídos os gráficos de Velocidade Total x Comprimento Total para os resultados dos peixes confinados e dos recém-chegados. Foram feitos comparativos entre peixes recém-chegados x peixes confinados para os aparatos de 150 e 250 mm.

Com os resultados dos testes foram elaborados ábacos correlacionando o ensaio do mesmo grupo de peixes nos dois aparatos, o de seção correspondente a um diâmetro de 150 mm e outro de seção correspondente a um diâmetro de 250 mm. Essa comparação foi efetuada a fim de identificar se existe influência da seção transversal sobre o resultado da capacidade natatória do mandi-amarelo.

Os ábacos estão apresentados mais adiante, no capítulo de resultados. Os documentos operacionais padrão para transporte e para os ensaios estão apresentados no anexo 1.

4.4 Verificação do posicionamento dos peixes no tubo de sucção de uma turbina hidráulica

A verificação de posicionamento dos peixes focou o “*Pimelodus maculatus*”(PM), objeto desse trabalho. Utilizou-se para isso os valores médios de velocidade crítica encontrados, para o incremento de tempo de 5 minutos.

Para a comparação da capacidade natatória do PM fez-se o cálculo das velocidades médias que ocorrem no interior do tubo de sucção de uma turbina do tipo Francis. Optou-se por esse tipo de equipamento pois ele é o mais comumente utilizado em Usinas Hidrelétricas no país. Assim optou-se por estudar a condição operacional de uma Turbina FRANCIS Normal cujas características são apresentadas a seguir:

- a) Altura bruta de trabalho = 50 m.
- b) Vazão de projeto = 50 m³/s.
- c) Potência nominal = 22400 kW.
- d) Rotação específica = 200 rpm.
- e) Rotação real = 180 rpm.

Os parâmetros dimensionais da turbina foram obtidos a partir das orientações contidas no Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas (Eletrobrás, 2007). Na Figura 4.15, temos um esquema de uma instalação com uma turbina Francis e as velocidades no tubo de sucção dessa máquina.

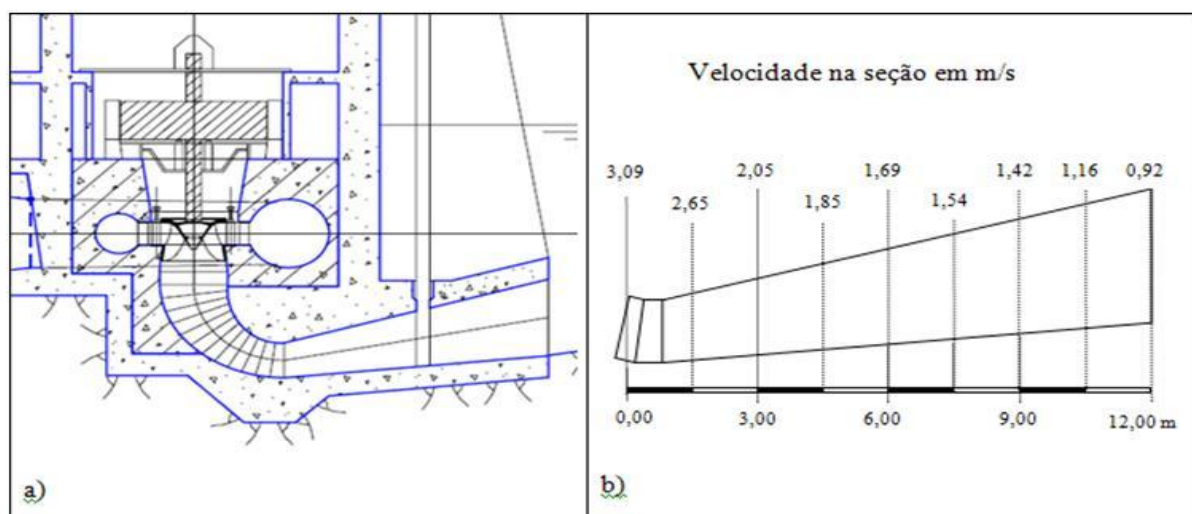


Figura 4.15 – a) Esquema de uma instalação com uma turbina Francis; b) Velocidades no tubo de sucção dessa máquina. (Fonte: adaptado de ELETROBRÁS, 2007, pg. 232).

Com as velocidades encontradas no interior do tubo de sucção e as velocidades médias encontradas para o *Pimelodus maculatus*, é possível analisar até onde esses indivíduos conseguem adentrar na turbina hidráulica. Os resultados serão apresentados no capítulo que segue.

5 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os testes realizados neste estudo para: a) comparação da relação entre a velocidade crítica do mandi-amarelo e o incremento de tempo utilizado para sua determinação; b) relação entre o tempo de confinamento e a capacidade natatória dessa espécie; c) as possíveis regiões de entrada dos peixes dentro do tubo de sucção em duas condições de operação.

5.1 Resultados dos testes de velocidade crítica com finalidade de comparação entre diferentes incrementos de tempo

Os testes foram realizados no período compreendido entre Dezembro de 2011 e Julho de 2012, onde foram testados 80 exemplares no total, sendo 20 exemplares para cada incremento de tempo. Durante os ensaios, a cada incremento de velocidade coletou-se os seguintes parâmetros físico-químicos da água: i) oxigênio dissolvido, que esteve na faixa compreendida entre 2,5 e 8,3; ii) temperatura, variando entre 18,1 °C e 28,5 °C; iii) e pH, compreendido entre 6,3 e 7,5. Ao final dos testes, coletou-se também as medidas do indivíduo ensaiado (peso, largura, altura e comprimentos total e padrão).

O objetivo desta etapa do trabalho foi realizar uma comparação entre a capacidade de nado do *Pimelodus maculatus* quando o incremento de tempo utilizado nos testes for de 5, 10, 15 e 20 minutos. Para melhor interpretação e visualização dos resultados, foram construídos gráficos representando a correlação entre os comprimentos total dos indivíduos e a velocidade máxima atingida por eles. Para essa correlação buscou-se utilizar peixes, em sua maioria, com comprimento total entre 20 e 35 cm. A Figura 5.1 apresenta os resultados levantados quando o incremento de tempo utilizado foi de 5 minutos.

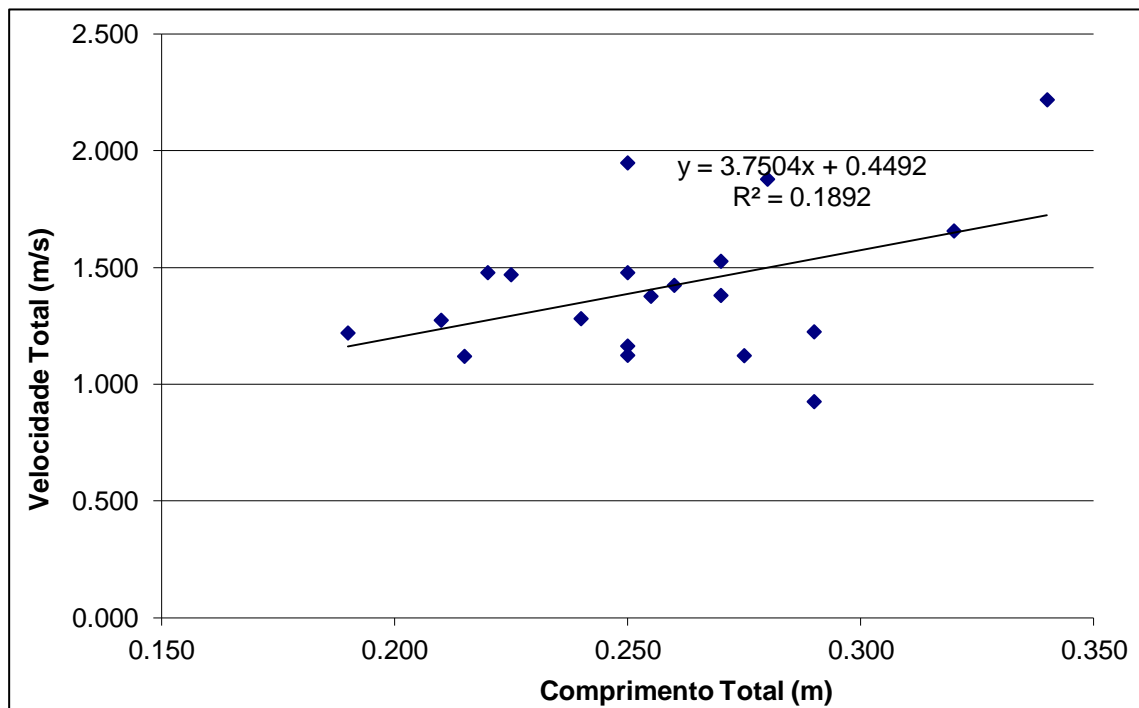


Figura 5.1 – Resultado dos testes de capacidade natatória de peixes com incremento de tempo igual a 5 minutos no túnel de 250 mm.

A partir da Figura 5.1 é possível concluir que a maioria dos indivíduos nadou entre 1,0 e 1,5 m/s, com uma relação ascendente entre a velocidade crítica e o comprimento total.

Em seguida foi correlacionado a velocidade crítica com o comprimento total para ensaios com 10 minutos de incremento de tempo. Neste caso (Figura 5.2), nota-se que a maioria dos indivíduos, também, atingiu a velocidade crítica entre 1,0 e 1,5 m/s, havendo apenas dois indivíduos que conseguiram superar este valor. Pode ser observado, ainda, uma relação ascendente entre a velocidade crítica e o comprimento total.

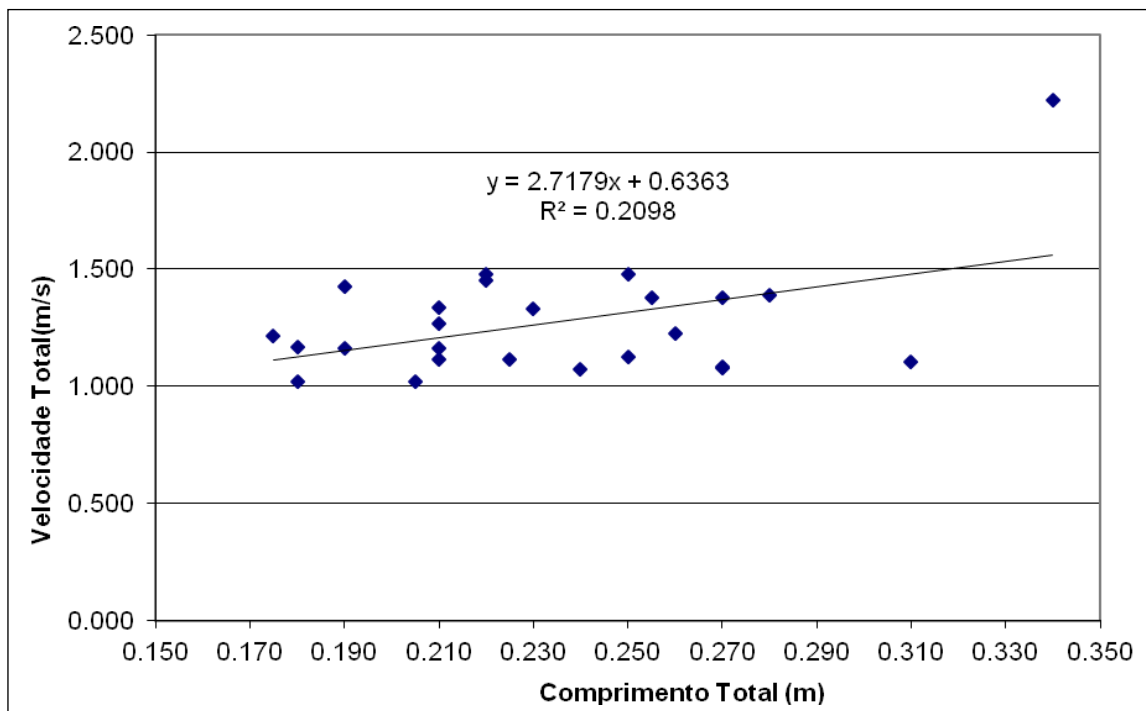


Figura 5.2 – Resultado dos testes de capacidade natatória de peixes com incremento de tempo igual a 10 minutos no túnel de 250 mm.

Com relação aos testes realizados com incremento de tempo igual a 15 minutos, foi construído o gráfico da Figura 5.3, mostrando uma maior concentração entre as velocidades 1,0 e 1,2 m/s.

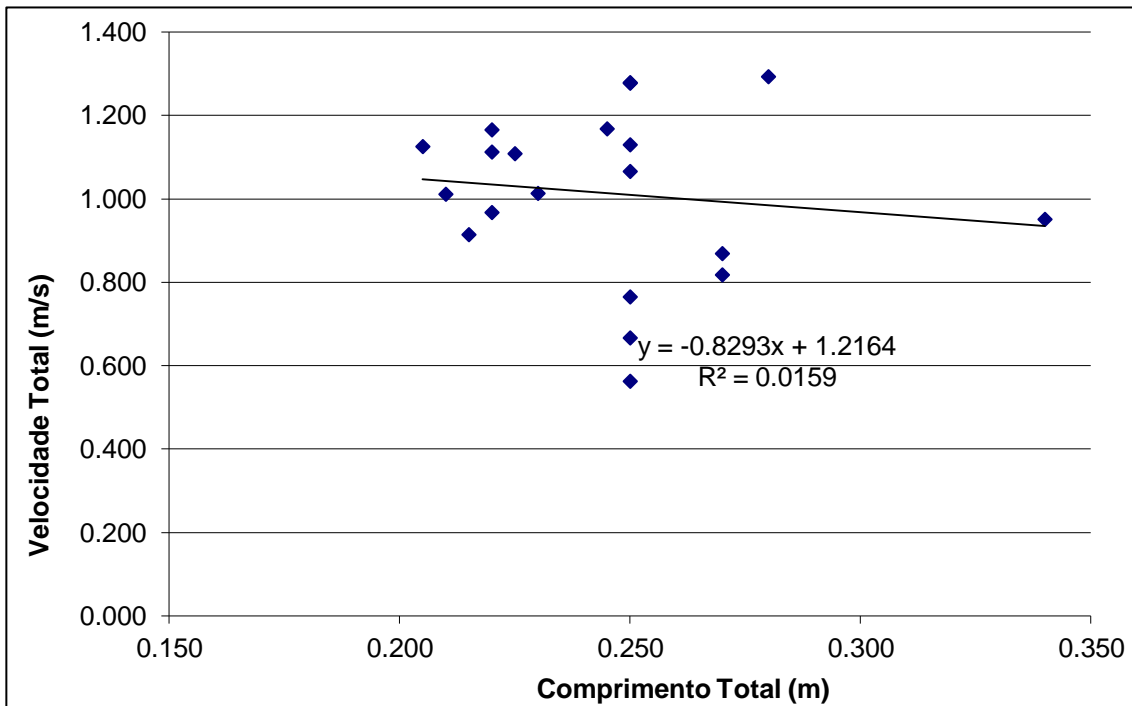


Figura 5.3 – Resultado dos testes de capacidade natatória de peixes com incremento de tempo igual a 15 minutos no túnel de 250 mm.

Pela análise da Figura 5.3 pode-se observar que a correlação entre a velocidade crítica e o comprimento total é descendente. Nota-se, ainda, que as velocidades são inferiores as observadas para tempo de incremento de 5 e 10 minutos para peixes com dimensões similares.

Foi gerado, também, o ábaco da Figura 5.4 que apresenta os resultados encontrados com o incremento de tempo igual a 20 minutos. Nesse ábaco pode-se observar que houve uma grande variação da capacidade de nado dos indivíduos, gerando um ábaco com pontos bastante dispersos, sendo que a maior parte dos indivíduos nadou entre 0,6 e 1,2 m/s.

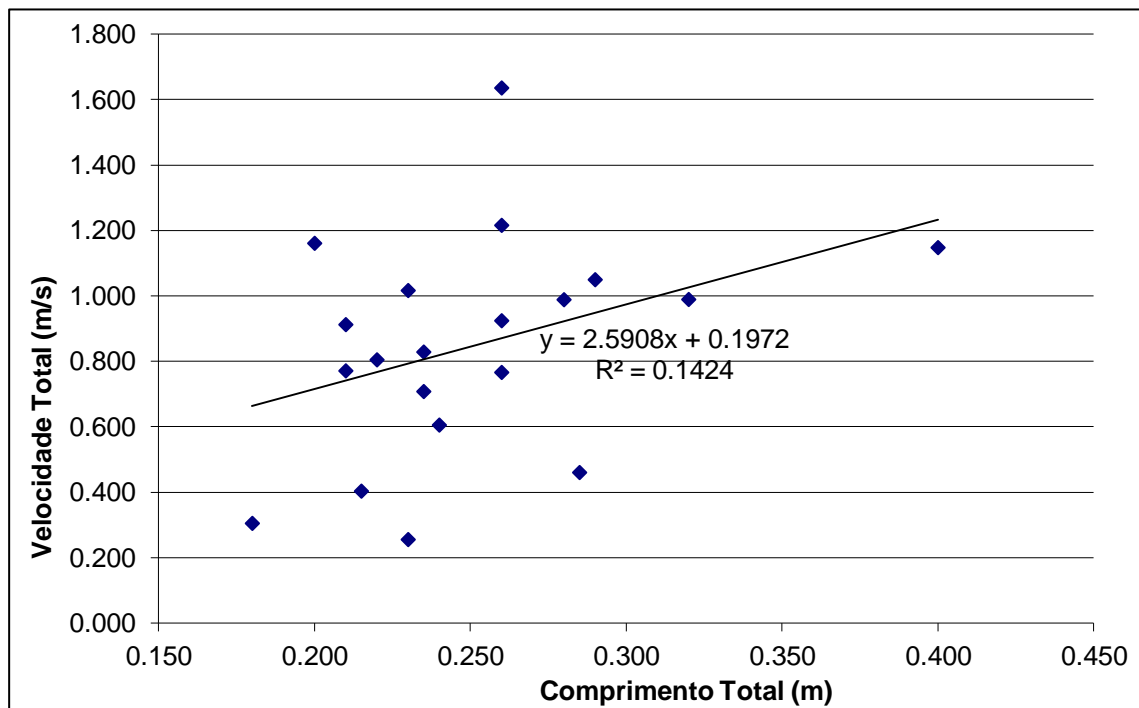


Figura 5.4 – Resultado dos testes de capacidade natatória de peixes com incremento de tempo igual a 20 minutos no túnel de 250 mm.

Pela análise da Figura 5.4 observa-se que a relação entre a velocidade crítica e o comprimento total é ascendente novamente, sendo semelhante a condição encontrada nas correlações dos incrementos de 5 e 10 minutos e diferindo da observação para o incremento de 15 minutos. No entanto, as velocidades são inferiores, para peixes de mesmo comprimento, quando comparado aos outros incrementos de tempo.

A Figura 5.5 representa os comprimentos das espécies testadas para os quatro incrementos de tempo. Já a Figura 5.6 traz uma análise comparativa dos resultados encontrados para velocidade crítica com os quatro incrementos de tempo utilizados.

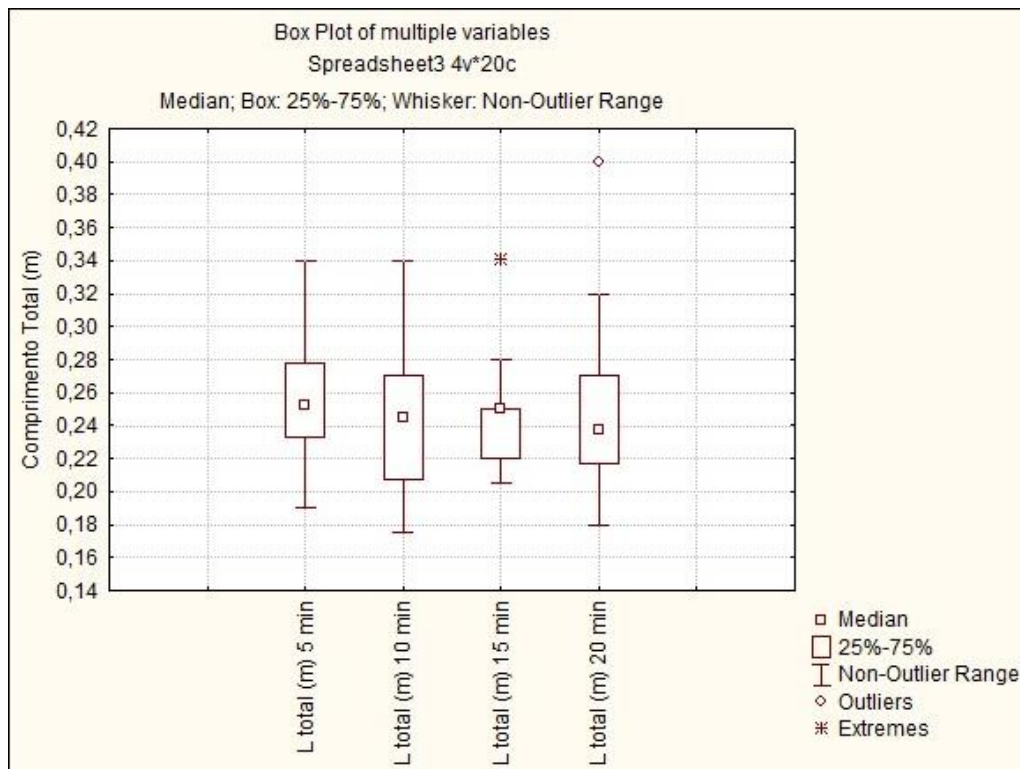


Figura 5.5 – Comprimento dos indivíduos testados com os incrementos de tempo de 5, 10, 15 e 20 minutos no túnel de 250 mm.

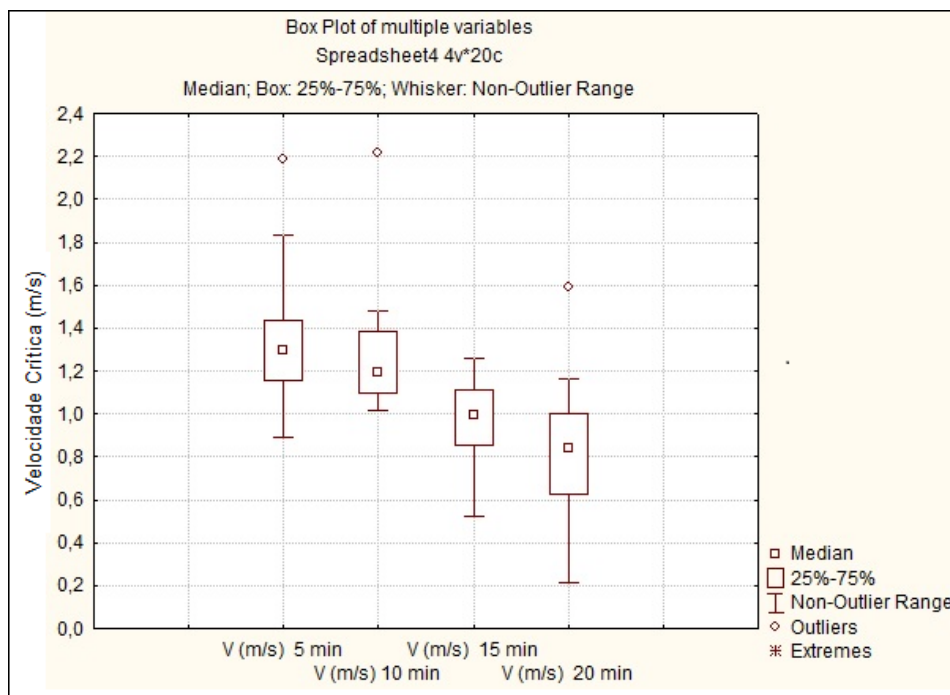


Figura 5.6 – Velocidade crítica dos indivíduos para os incrementos de tempo de 5, 10, 15 e 20 minutos no túnel de 250 mm.

Como é possível ver na Figura 5.5, os indivíduos testados apresentam tamanhos variados. Para que esta diferença não interfira no resultado de capacidade natatória da espécie, foram encontradas as velocidades relativas que os indivíduos alcançaram, expressas em comprimento (L) por segundo (s). Estes resultados estão expostos na Figura 5.7

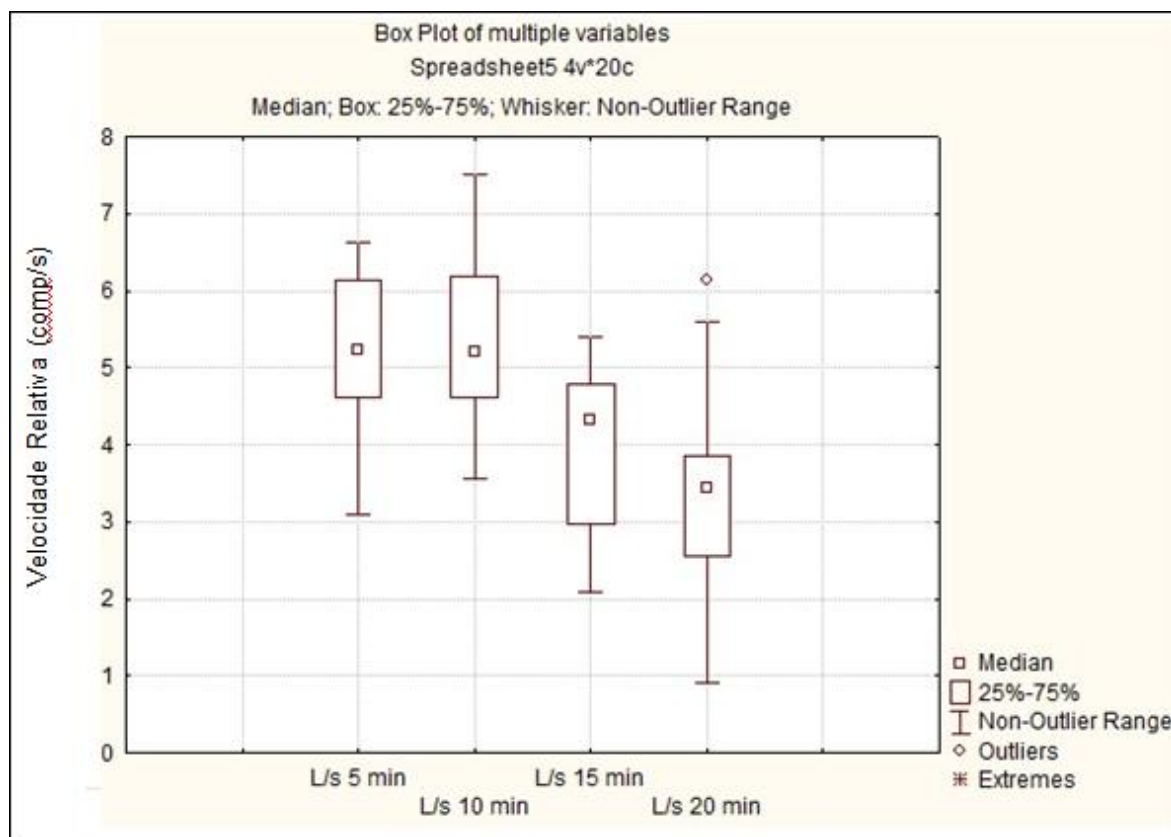


Figura 5.7 – Velocidade relativa dos indivíduos para os incrementos de tempo de 5, 10, 15 e 20 minutos no túnel de 250 mm.

Analisando a Figura 5.7 fica perceptível que, ao realizar ensaios com incrementos de tempo de 5 minutos e 10 minutos, não há perda ou ganho significativos na capacidade de nado dos indivíduos. O que não ocorre quando o incremento de tempo é aumentado, podendo-se perceber que os indivíduos testados com 15 minutos de incremento de tempo apresentam capacidade de nado menor que aqueles testados com incrementos de tempo menores. Essa redução na capacidade de nado torna-se mais perceptível ainda ao analisar os resultados encontrados com 20 minutos de incremento de tempo, onde a maior parte dos indivíduos testados atingiu a mesma velocidade crítica que os indivíduos com pior desempenho nos testes de 5 e 10 minutos.

5.2 Resultados dos testes de velocidade crítica a fim de comparação entre peixes recém coletados e peixes confinados em laboratório por um período de um ano

Para estes testes foram utilizados peixes que estavam confinados em laboratório por um período de 1 ano (doze meses) e peixes recém coletados, a fim de avaliar se existe uma diferença significativa na capacidade de nado dos indivíduos a medida que estes se adaptam ao ambiente de confinamento. Para melhor visualização, também foram construídos ábacos representando a correlação entre os comprimentos total dos indivíduos e a velocidade máxima atingida por eles nos túneis hidrodinâmicos de 150 mm e 250 mm. A Figura 5.8 apresenta os resultados de velocidade crítica (m/s) levantados com peixes que permaneceram durante um ano em laboratório, testados no aparato de 150 mm. A Figura 5.9 apresenta os resultados de velocidade crítica encontrados com peixes recém chegados de seu ambiente natural.

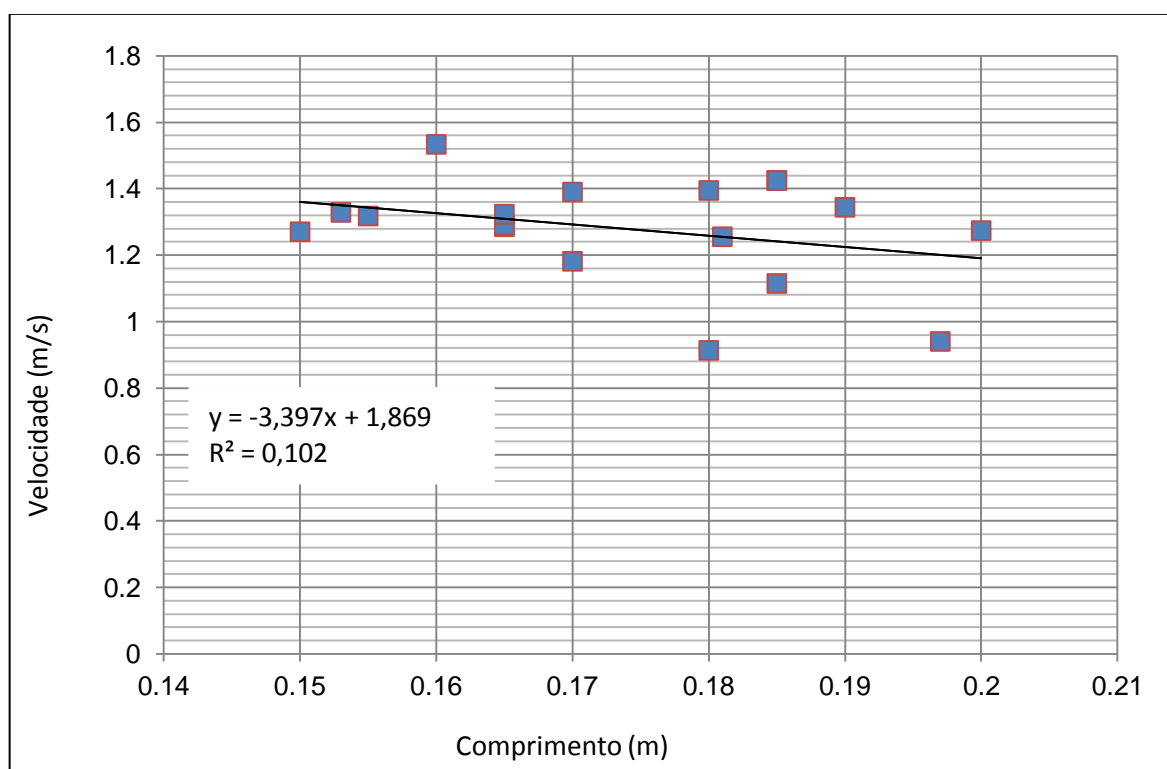


Figura 5.8 – Resultados dos testes de capacidade natatória de peixes com um ano de permanência no laboratório no túnel de 150 mm.

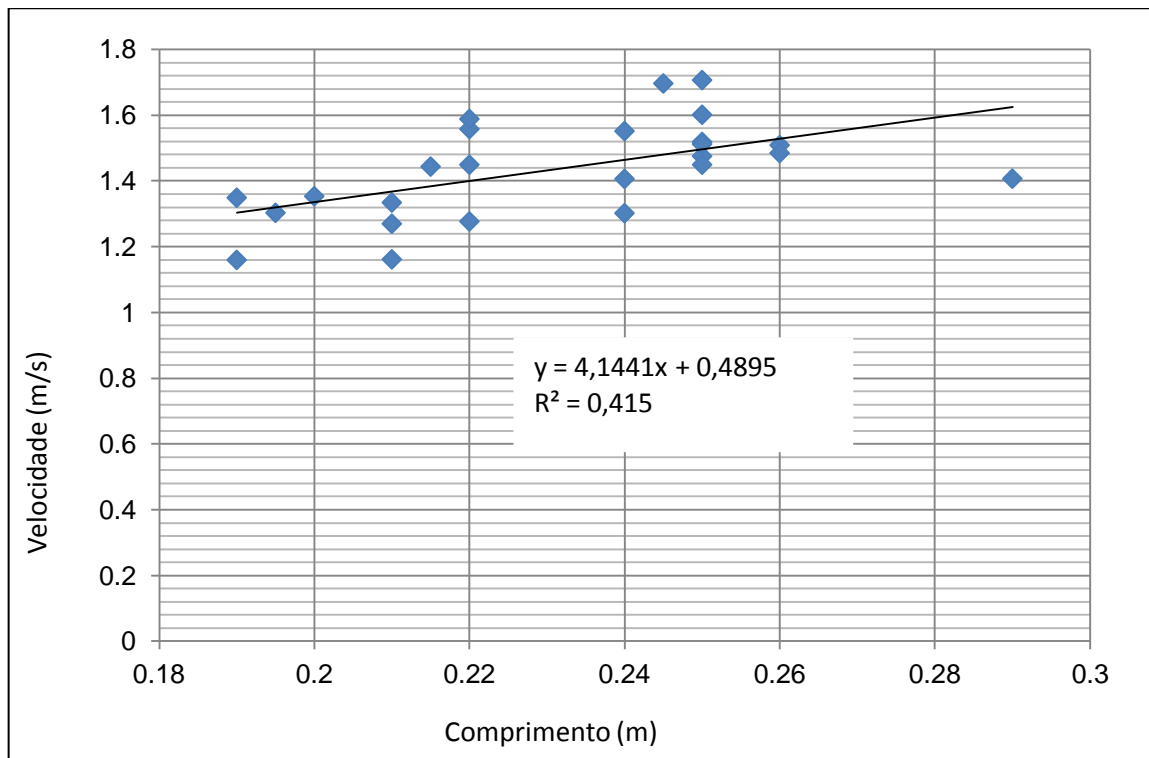


Figura 5.9 – Resultados dos testes de capacidade natatória de peixes recém-chegados no túnel de 150 mm.

Analisando a Figura 5.8 podemos notar uma perda de velocidade à medida em que o comprimento vai aumentando, o oposto do que ocorre com os indivíduos recém coletados (Figura 5.9), onde a velocidade crítica dos indivíduos (m/s) aumenta junto com o comprimento dos mesmos, mostrando comportamentos diferentes. Para fins de comparação, foi construído um gráfico mostrando o comprimento dos indivíduos recém coletados e dos indivíduos confinados que foram testados (Figura 5.10)

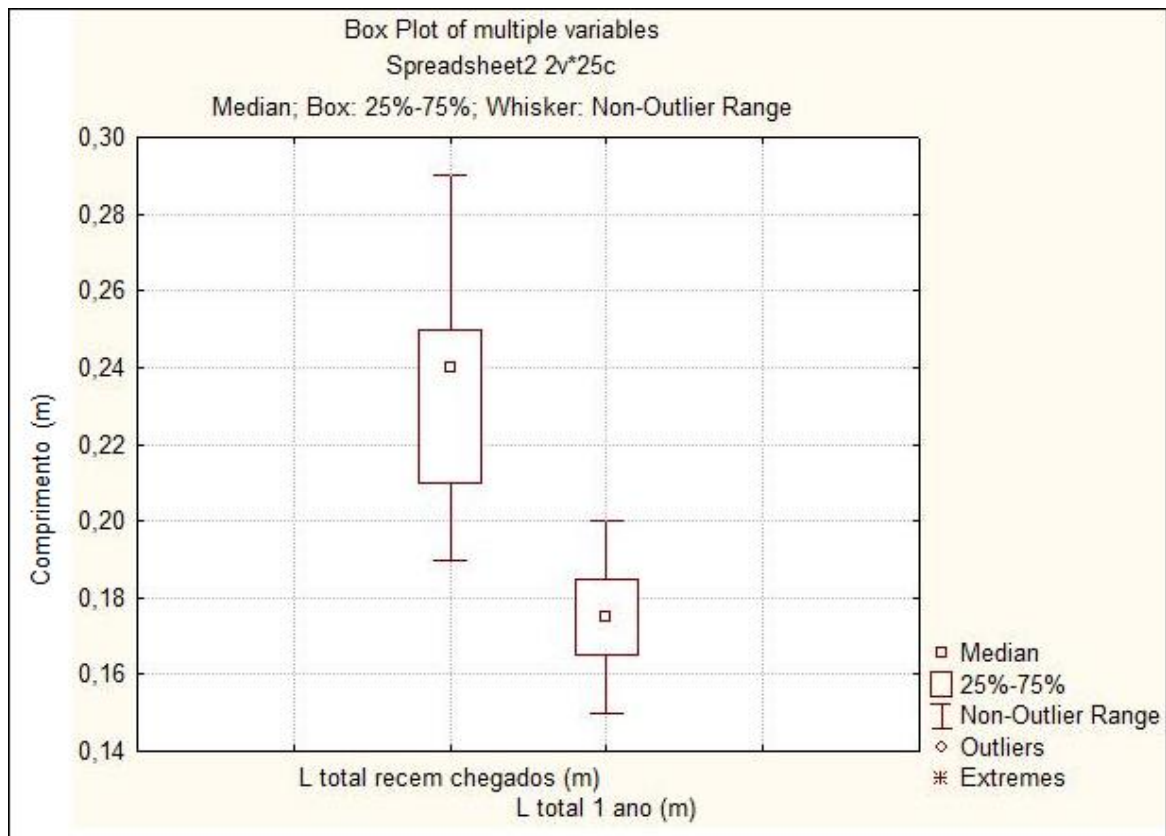


Figura 5.10 – Correlação dos comprimentos dos peixes testados no túnel de 150 mm.

A partir da Figura 5.10, pode-se perceber que os indivíduos recém coletados apresentavam comprimento relativamente maior que os indivíduos confinados, sendo que, o maior indivíduo confinado apresentava aproximadamente o comprimento do menor indivíduo recém chegado ao laboratório.

Para efeito comparativo, foram lançados os resultados de velocidade crítica em um único ábaco (Figura 5.11) onde observa-se que alguns indivíduos recém-chegados (comprimento total entre 170 e 190 mm) apresentam velocidade de nado menor que aqueles que permaneceram em laboratório durante um ano. Já os indivíduos com mais de 190 mm de comprimento total, se observa que não houve uma mudança significativa na redução da capacidade de nado.

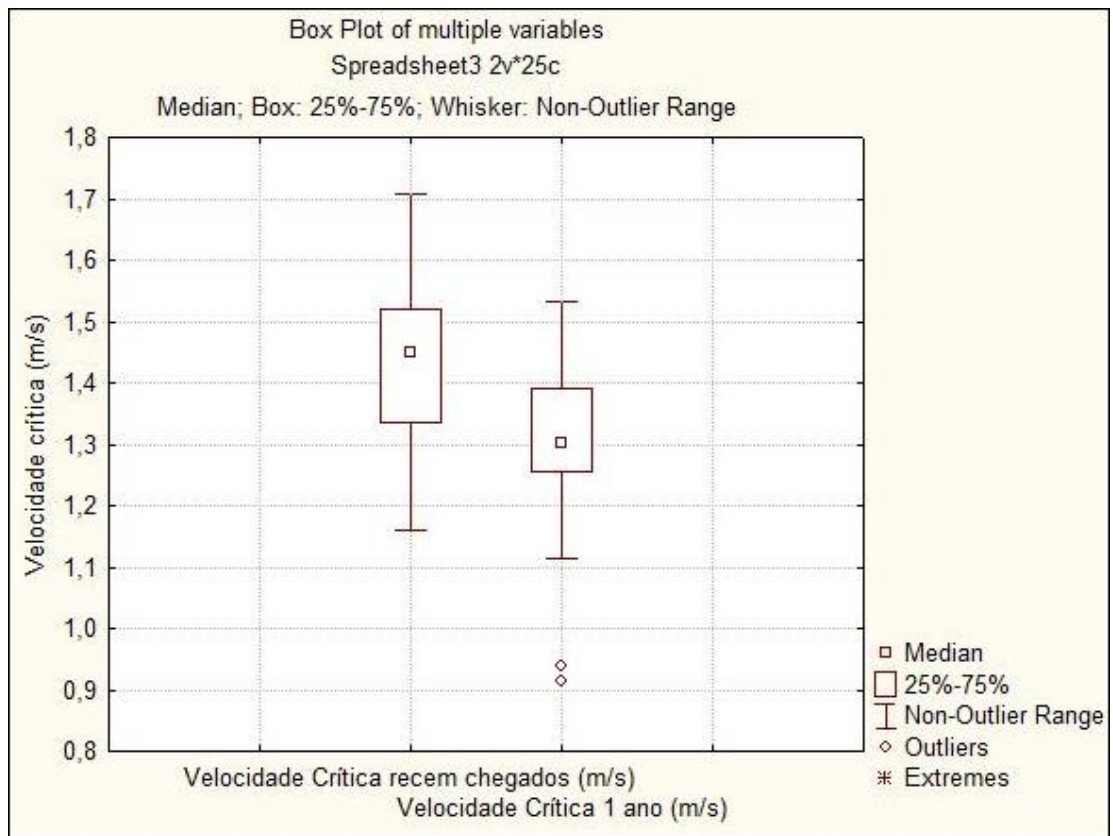


Figura 5.11 – Resultados dos testes de velocidade crítica dos indivíduos com um ano e recém-chegados no túnel de 150 mm.

No entanto, como a faixa de tamanho é bem variada, não é possível a correlação exata. Para eliminar o fator comprimento dos indivíduos, buscou-se também a relação entre a velocidade máxima de nado dos indivíduos testados pelo comprimento do mesmo. Assim, chegou-se à condição de velocidade relativa em comprimentos por segundo, apresentada na Figura 5.12.

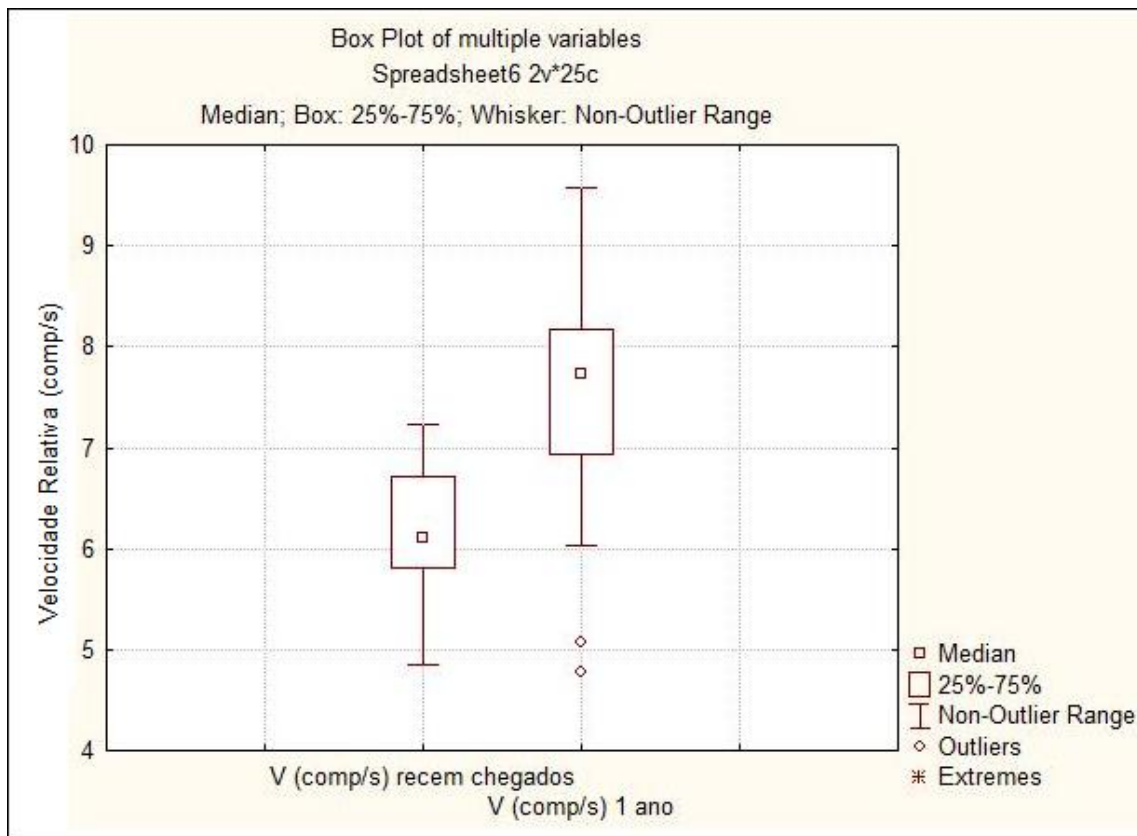


Figura 5.12 – Resultados dos testes de velocidade relativa dos indivíduos com um ano e recém-chegados no túnel de 150 mm.

A partir deste resultado pode-se concluir que os peixes mantidos em laboratório por um período de tempo de aproximadamente um ano, aparentemente, não sofreram perda de capacidade natatória quando comparada com os recém-chegados, visto que a velocidade relativa (comp/s) desenvolvida por eles é superior àquela desenvolvida pelos peixes recém-chegados.

O mesmo procedimento foi realizado com o aparato de teste de 250 mm de diâmetro da seção. Os resultados de velocidade crítica encontrados estão apresentados nas Figuras 5.13, apresentando os resultados levantados com os peixes já confinados em laboratório e na Figura 5.14, com os resultados dos peixes recém coletados.

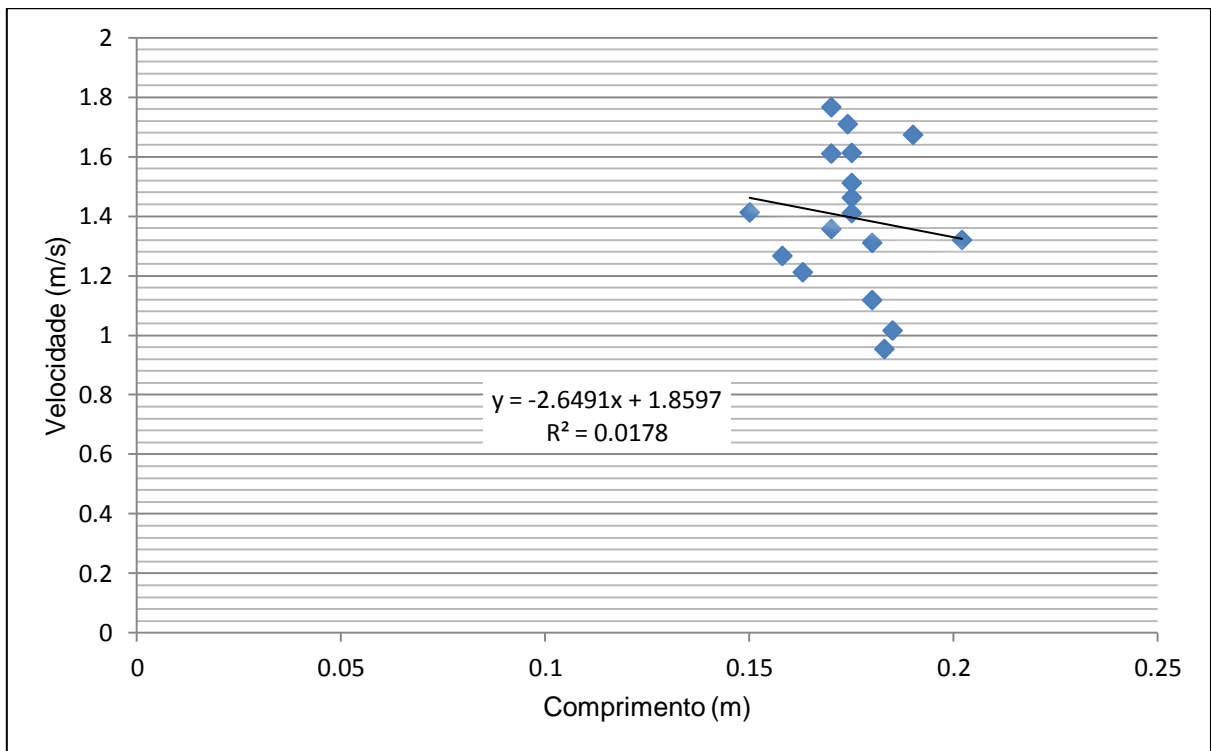


Figura 5.5 – Resultados dos testes de capacidade natatória de peixes com um ano de permanência no laboratório no túnel de 250 mm.

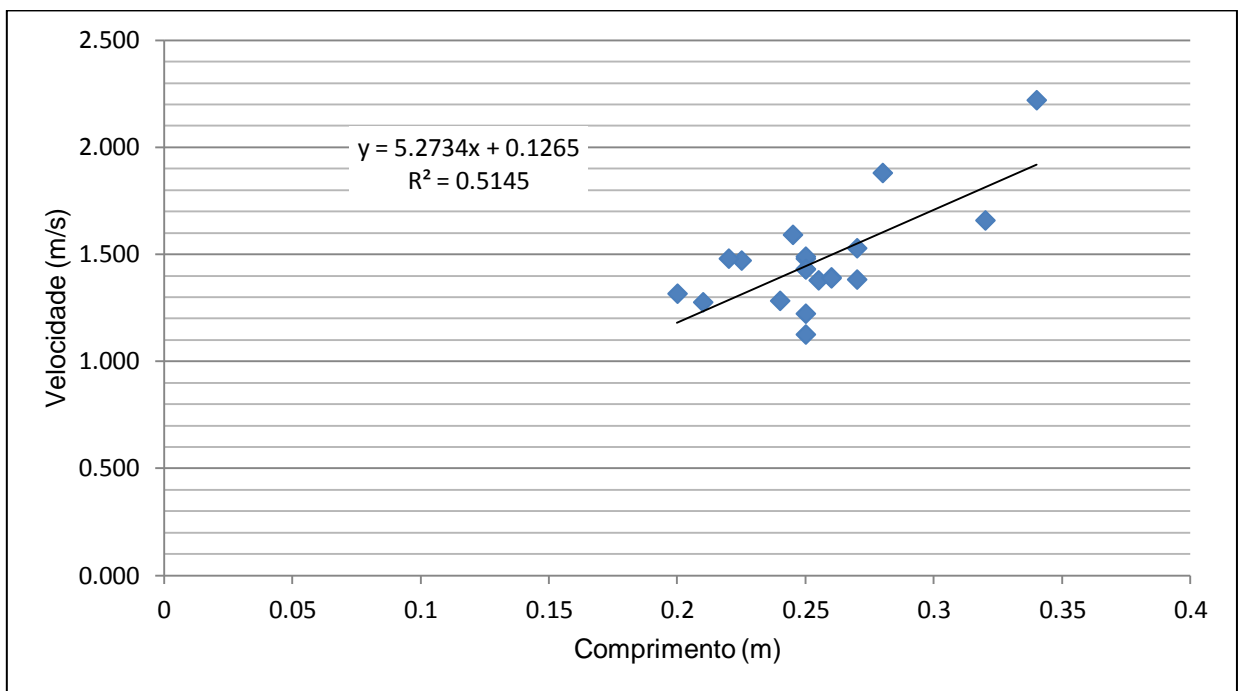


Figura 5.6 – Resultados dos testes de capacidade natatória de peixes recém-chegados no túnel de 250 mm.

Assim como no aparato de 150 mm, pode-se notar que, para os indivíduos recém coletados, a velocidade crítica desenvolvida pelos indivíduos diminui à medida em que o comprimento dos mesmos aumenta. O oposto ocorre quando analisamos os resultados dos indivíduos recém coletados, onde a velocidade crítica desenvolvida pelos indivíduos aumenta a medida em o comprimento aumenta. Pode-se observar, pelas figuras 5.13 e 5.14, que a faixa de velocidades desenvolvidas pelos peixes está entre 1,0 m/s e 1,8 m/s. A Figura 5.15 traz os comprimentos dos indivíduos recém chegados e com um ano de confinamento que foram testados.

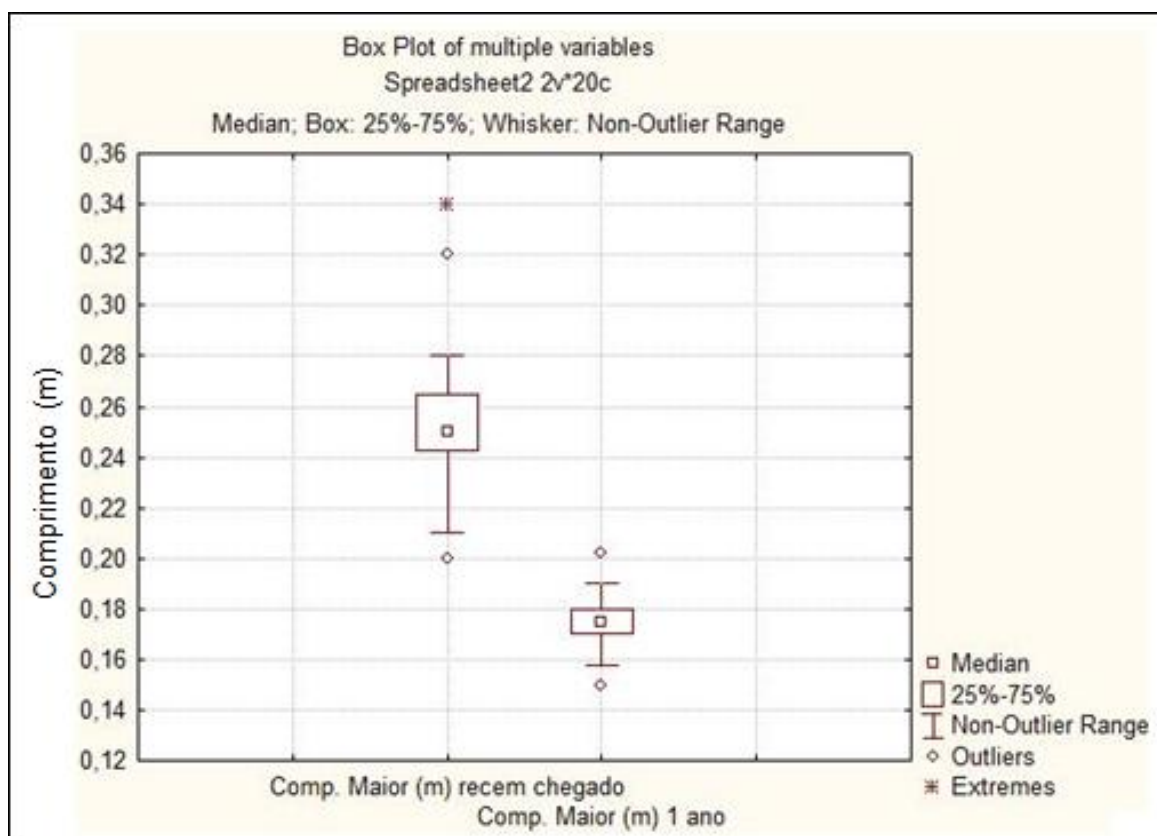


Figura 5.7 – Correlação dos comprimentos dos peixes testados no túnel de 250 mm.

Pela figura 5.15 pode-se observar que os peixes com 1 ano de permanência são bem menores quando comparado com os peixes com um ano de permanência em laboratório.

Os resultados também foram lançados em um único ábaco (Figura 5.16), comparando a velocidade crítica (m/s) encontrada para os indivíduos recém coletados e os indivíduos confinados por um ano.

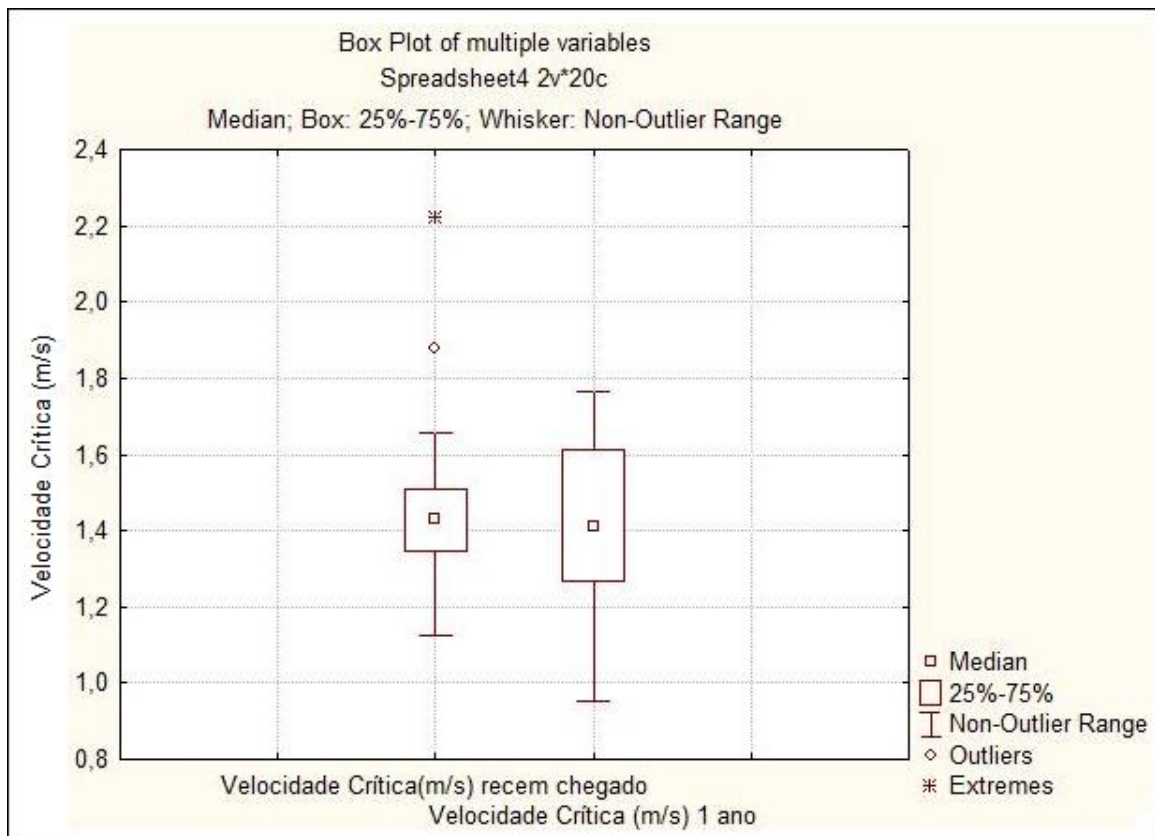


Figura 5.8 – Resultados dos testes de capacidade natatória dos indivíduos com um ano e recém-chegados no túnel de 250 mm.

Pela análise da Figura 5.16 pode-se observar que os indivíduos com um ano de permanência não apresentaram a condição de relação ascendente entre o comprimento e a velocidade crítica, como pode ser visto para os peixes recém-chegados.

Em seguida foi feito a correlação entre relação da velocidade máxima de nado dos indivíduos testados pelo comprimento do mesmo, chegando à condição de velocidade relativa em comprimentos por segundo, para eliminar o efeito do comprimento sobre a velocidade desenvolvida pelos mesmos, resultado apresentado na Figura 5.17.

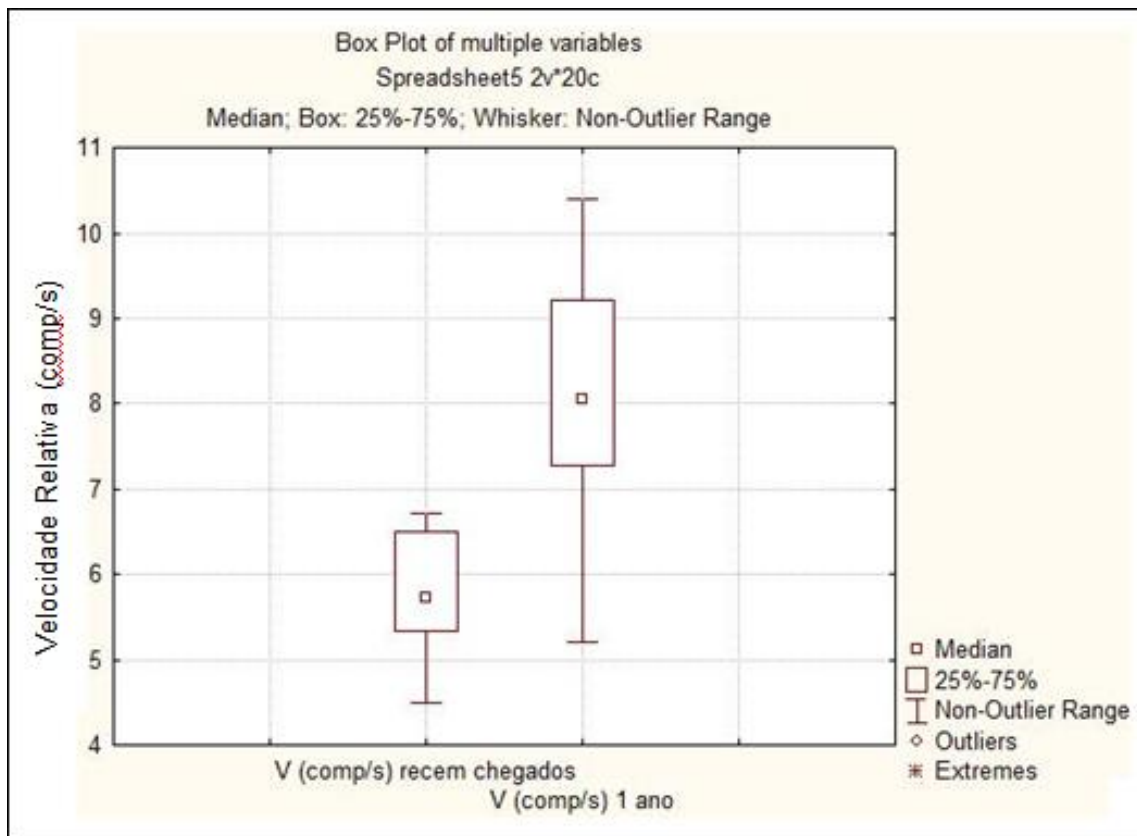


Figura 5.9 – Correlação entre o comprimento do peixe e a velocidade relativa no túnel de 250 mm.

Neste caso (Figura 5.17) pode-se observar que, não houve indicação de perda de capacidade natatória dos indivíduos confinados por um ano ao comparar com os indivíduos recém coletados, sendo que a velocidade relativa (comp/s) por eles desenvolvida é superior à velocidade desenvolvida pelos indivíduos recém coletados.

Outra relação analisada foi a verificação da influência da velocidade crítica com a seção transversal do túnel hidrodinâmico. Assim, foram construídos gráficos representando a correlação entre os resultados encontrados para os diferentes diâmetros do aparato. A Figura 5.18 apresenta os resultados dos testes dos peixes recém-chegados no aparato de 150 mm e no aparato de 250 mm.

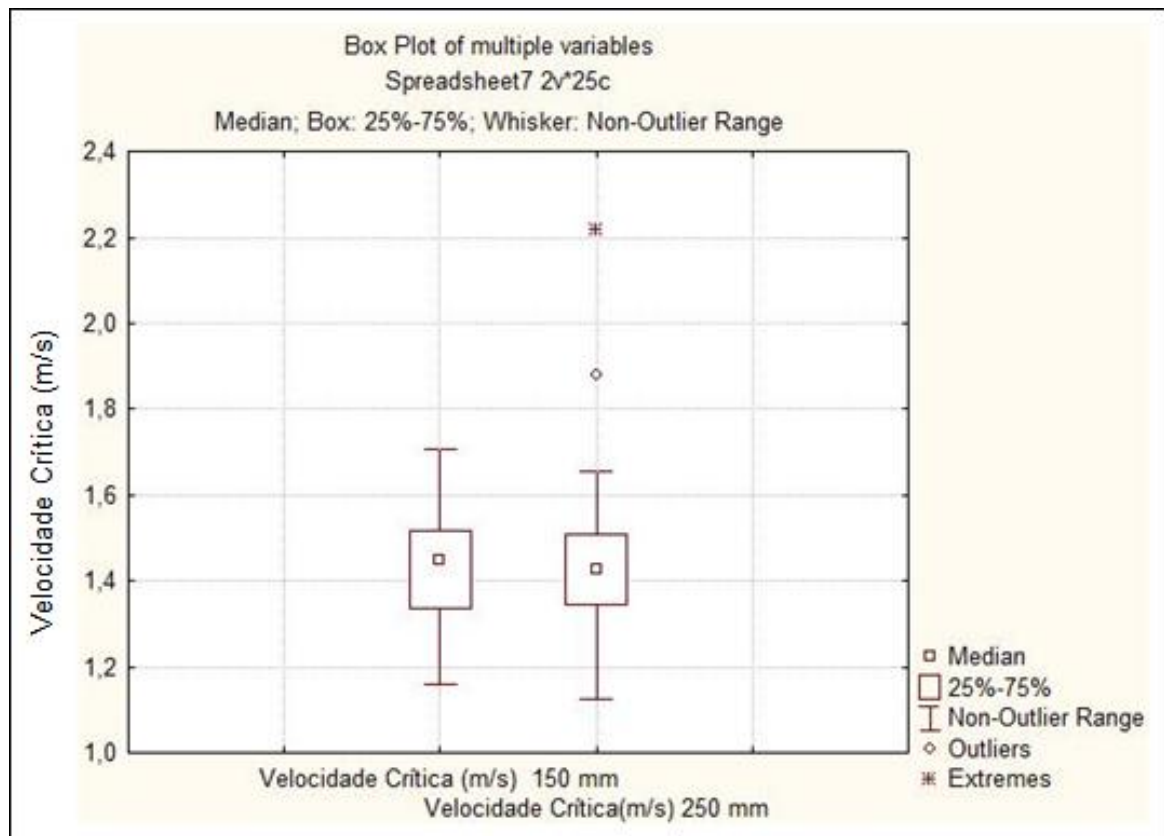


Figura 5.10 – Correlação entre os resultados de velocidade crítica dos peixes recém-coletados nos dois aparatos.

A partir deste gráfico pode-se inferir que não houve diferenças significativas na capacidade de nado dos indivíduos, em termos de velocidade crítica, ao mudar o diâmetro do aparato de teste. Em termos de velocidade relativa, foi construído o ábaco da Figura 5.19, mostrando que o diâmetro do aparato de teste não interfere significativamente na capacidade de nado do peixe.

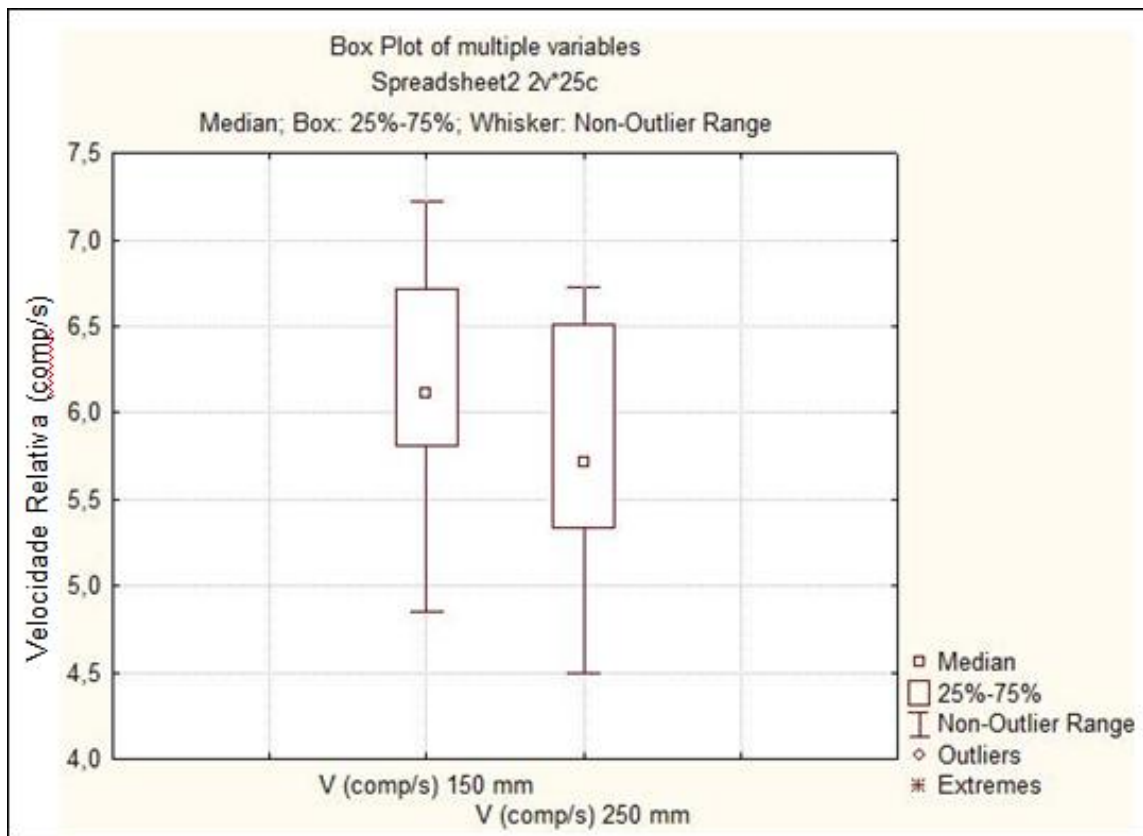


Figura 5.11 – Correlação entre os resultados de velocidade relativa dos peixes recém coletados nos dois aparatos.

Assim como na velocidade crítica, pode-se perceber analisando a Figura 5.19 que a geometria do aparato de testes apresenta pouca, ou quase nenhuma influência na capacidade natatória de peixes recém coletados.

Da mesma forma, foram construídos gráficos comparativos entre os diferentes aparatos, com os resultados dos testes dos peixes confinados em laboratório. O ábaco da Figura 5.20 mostra o comparativo em termos de velocidade crítica.

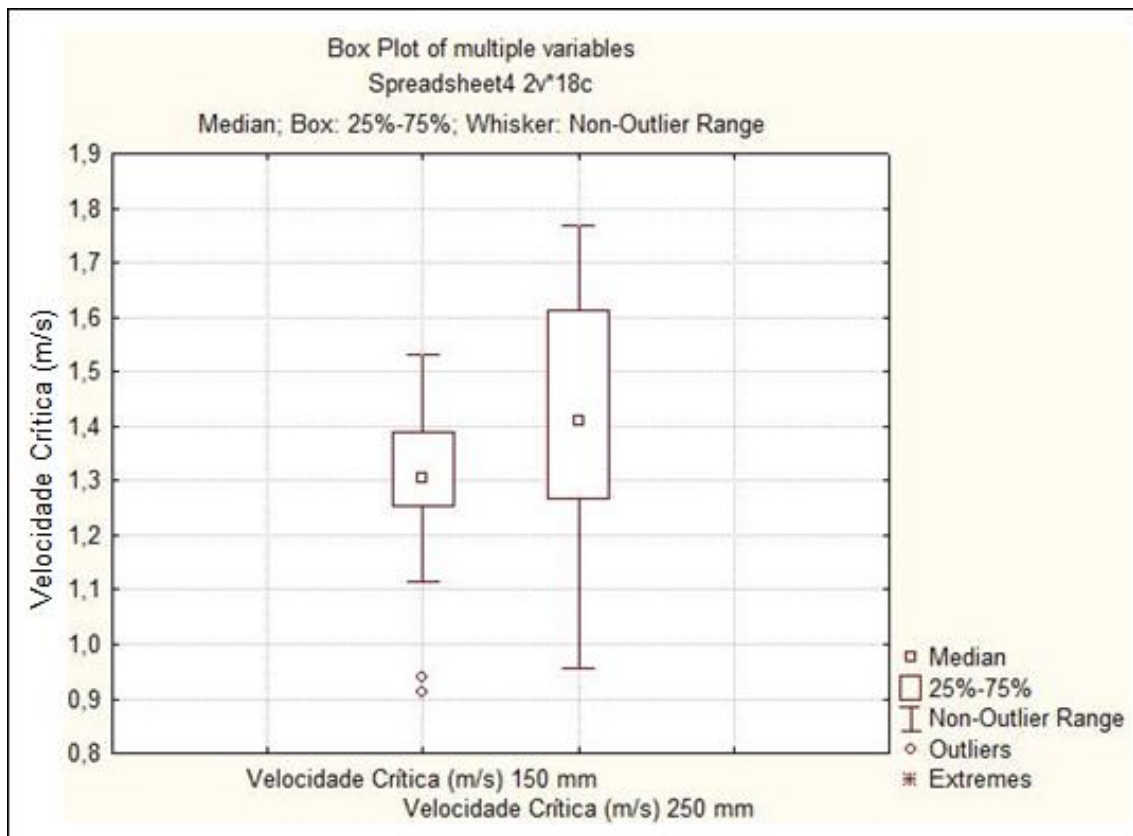


Figura 5.20 – Correlação entre os resultados de velocidade crítica dos peixes confinados nos dois aparatos.

Pela análise da Figura 5.20 pode-se notar a baixa interferência do diâmetro do aparato na capacidade de nado do peixe, onde os resultados encontrados no aparato de 150 mm encaixam-se perfeitamente nos resultados encontrados quando os testes foram realizados no aparato de 250 mm de diâmetro.

O ábaco da Figura 5.21 apresenta o comparativo em termos de velocidade relativa, comprovando que o diâmetro do aparato apresenta pouca influência na velocidade de nado da espécie estudada.

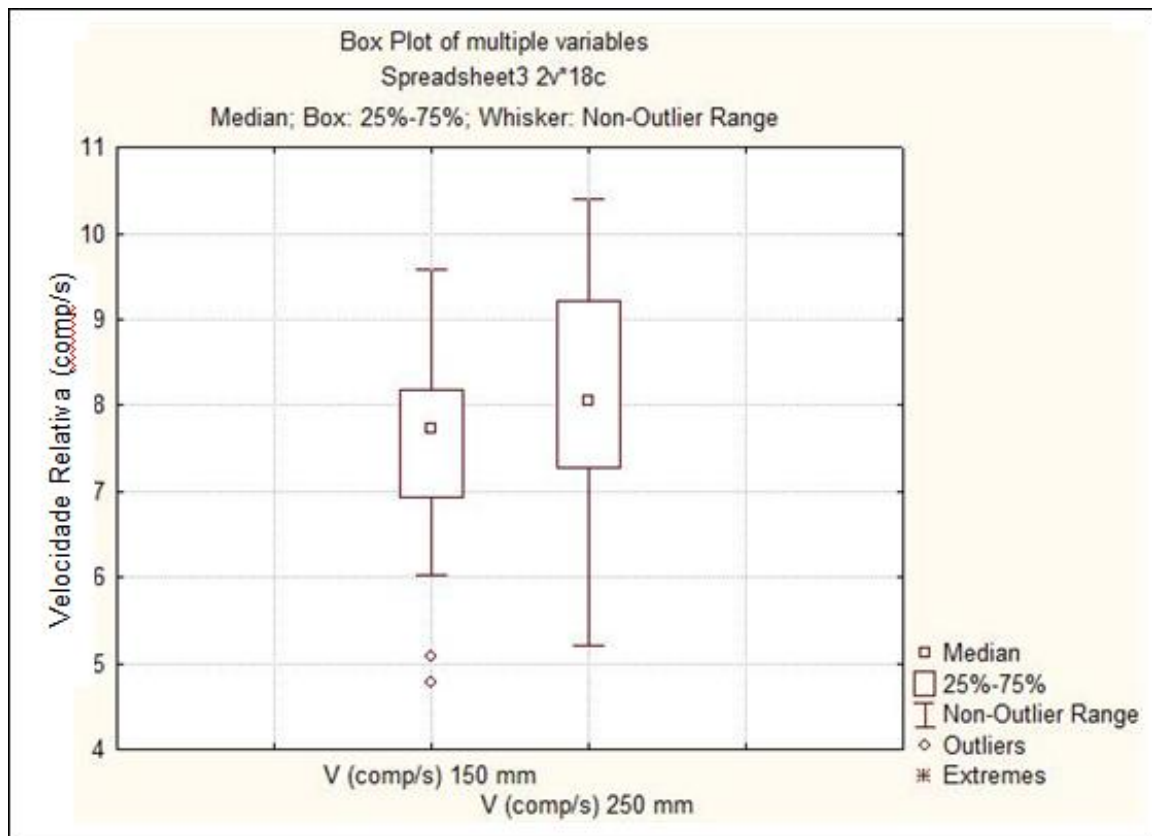


Figura 5.12 – Correlação entre os resultados de velocidade relativa dos peixes confinados nos dois aparatos.

Pela figura 5.21 observa-se que houve uma pequena diferença das velocidades relativas levantadas nos dois aparatos de diâmetros diferentes. O aparato de 150 mm possui valor de velocidade média relativa em torno de 7,8 comp/s, comparando com o aparato de 250 mm que possui valor aproximado de 8,2 comp/s.

5.3 Resultados do comparativo entre a velocidade desenvolvida pelo Pimelodus maculatus e as velocidades que ocorrem no tubo de sucção da turbina hidrelétrica

A partir da velocidade crítica desenvolvida pelo mandi-amarelo e da comparação com as velocidades médias que ocorrem no tubo de sucção da turbina descrita no capítulo da metodologia, pode-se inferir a posição que esta espécie pode adentrar ao tubo de sucção durante a operação da máquina. A Figura 5.22 mostra esquematicamente o posicionamento dos indivíduos sob a condição de carga nominal da máquina.

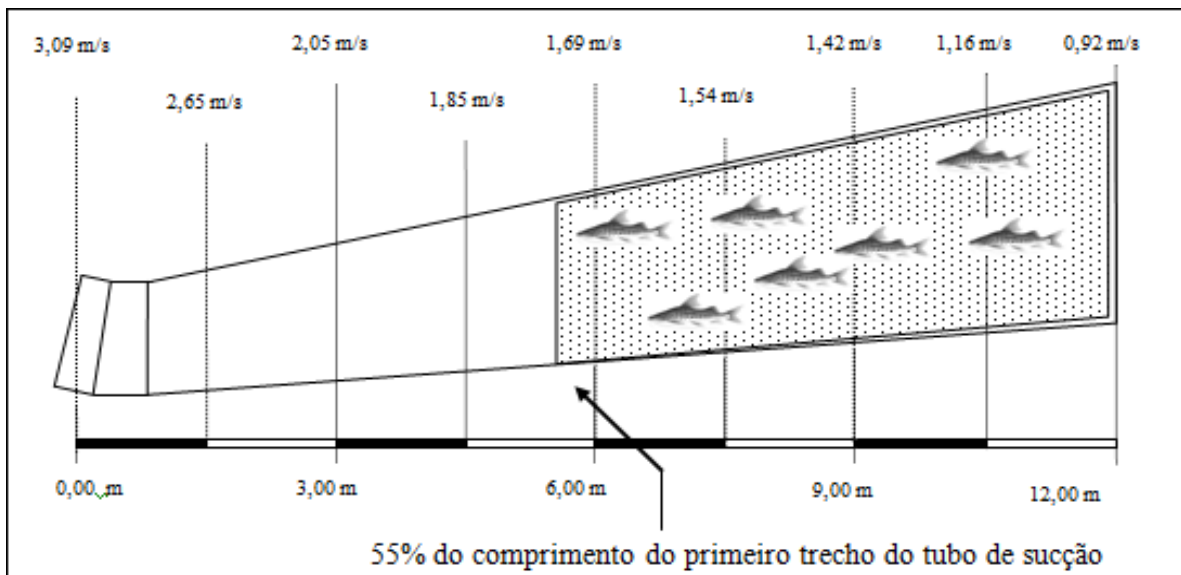


Figura 5.13 – Posicionamento do *Pimelodus maculatus* sob a condição de carga nominal da máquina.

Pela Figura 5.22 observa-se que os peixes conseguem vencer a velocidade média que ocorre em 55% da parte final do tubo de sucção.

Já quando essa comparação é feita para uma condição de operação da turbina sob carga parcial de, por exemplo, 70% da vazão, tem-se uma condição de escoamento dentro do tubo de sucção com menores velocidades. Diante desta situação, os indivíduos terão mais facilidade de adentrar ao tubo de sucção até próximo ao limite de sua velocidade crítica, indicando que, em condições de cargas menores de 70%, onde as velocidades no interior do tubo de sucção são menores ainda, os indivíduos conseguem aproximar-se bastante da turbina hidráulica. A Figura 5.23 apresenta um esquema do posicionamento dos indivíduos sob condição de 70% da carga da máquina.

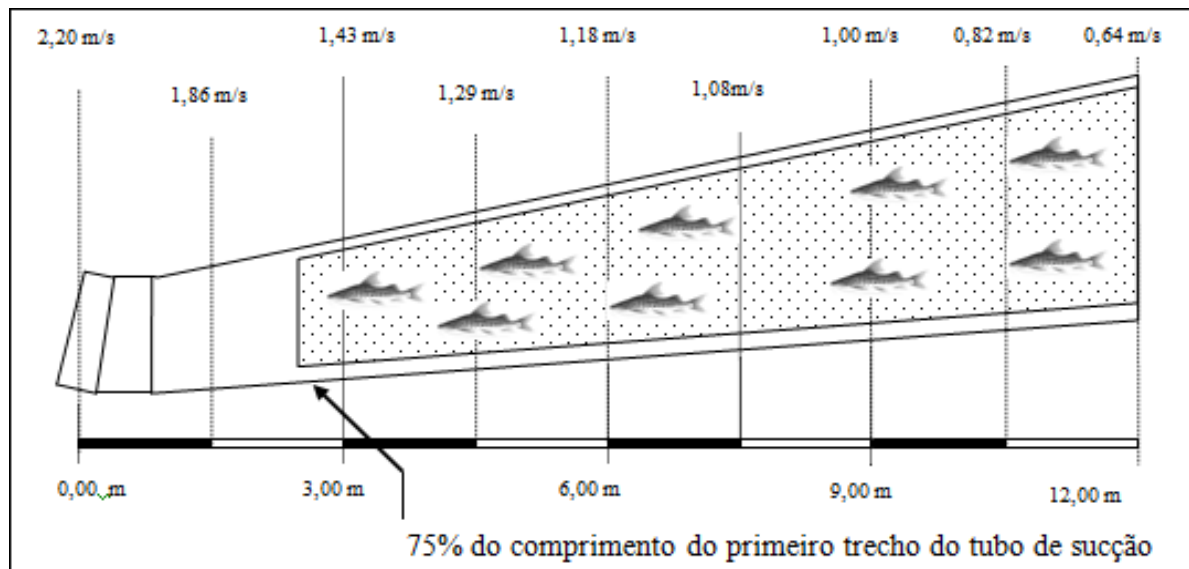


Figura 5.14 – Posicionamento do *Pimelodus maculatus* sob a condição de 70% da carga da máquina.

Pela Figura 5.23 nota-se que os peixes conseguem vencer a velocidade média dentro do tubo de sucção de 75 % de seu comprimento, para a condição de operação reduzida.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 *Conclusões*

A partir dos resultados encontrados, a cada segundo de incremento no teste há uma redução de velocidade de aproximadamente 0,04 m/s. Desta forma, ao comparar a curva de velocidade encontrada utilizando 5 minutos de incremento de tempo com a curva de velocidade com 10 minutos de incremento de tempo, há um redução de 12,5% de velocidade. O mesmo ocorre ao comparar os resultados de 10 minutos com os de 15 minutos, e os de 15 minutos com os de 20 minutos. Recomenda-se, então, que os testes sejam realizados com um incremento de tempo igual a 5 minutos, uma vez que, a partir desse trabalho se tem possibilidade de correção da velocidade. Isso apresenta a vantagem de reduzir o tempo de ensaio, o que encurta o processo como um todo, viabilizando o levantamento da capacidade natatória de um maior número de espécies em um menor tempo de ensaio. Essa metodologia possibilita a correlação com outros incrementos de tempo permitindo a comparação de resultados obtidos com diferentes incrementos de tempo.

Da análise da influência do tempo de residência do animal em laboratório na sua capacidade natatória pode-se inferir que as velocidades relativas dos peixes (comprimento/segundos) não sofrem mudanças significativas em função do tempo de permanência no laboratório, visto que os peixes confinados apresentaram uma velocidade de nado maior que aqueles recém capturados da natureza. Isso pode ser resultado de uma série de fatores que vão desde a configuração do aparato de manutenção de vida, que possui um sistema de recirculação de água, até a forma de alimentação dos indivíduos que é feita com ração balanceada e ofertada periodicamente. Por outro lado, os indivíduos capturados na natureza representam as condições que serão encontradas nos cursos d'água, as quais terão que utilizar para transpor as barreiras. Assim, recomenda-se que os testes com os peixes sejam feitos em um período de tempo curto e necessário apenas para a aclimação desses peixes nos laboratórios.

Por fim, pode-se verificar que as velocidades que ocorrem no tubo de sucção de uma turbina hidrelétrica, quando comparadas com a velocidade crítica do mandi-amarelo possibilitam que esses peixes adentrem na máquina (objeto de estudo de caso) em operação. A posição possível de ser alcançada está diretamente relacionada com a carga que a máquina está operando. Assim, para o caso estudado pode-se ver que o mandi amarelo chega a 55% do comprimento

do primeiro trecho do tubo de sucção sob condição de operação a plena carga. Para uma carga parcial de 70 % ele chega a aproximadamente 75% do comprimento do primeiro trecho do tubo de sucção. Para cargas menores essa espécie pode chegar bem próxima ao rotor. Entretanto é importante dizer que esses resultados se basearam apenas nas velocidades médias do escoamento e não levaram em consideração efeitos de vórtices de núcleo / turbulência que tendem a impedir o avanço dos peixes.

6.2 *Recomendações*

Ao final desse trabalho pode-se verificar que existem ainda um conjunto de incógnitas a serem respondidas . Assim recomenda-se que sejam desenvolvidos estudos complementares relacionados com os seguintes itens:

- Ampliação dos estudos de capacidade natatório para mais espécies de peixes neotropicais;
- Traçar as curvas de velocidade para incrementos de tempo inferiores à 5 minutos, a fim de verificar o comportamento para pequenos incrementos de tempo;
- Verificar as velocidades ocorrentes nos tubos de sucção de outros tipos de turbinas hidrelétricas;
- Verificação do escoamento dentro do tubo de sucção, de forma a identificar velocidades, turbulência e existência de vórtices de núcleo em função da faixa operativa da máquina e da rotação específica da mesma;
- Teste de diversas espécies de peixes com intuito de identificação do efeito de turbulência sobre a capacidade de nado dos peixes;
- Comparação da capacidade natatória dos peixes neotropicais com as características das turbinas hidráulicas existentes no Brasil e verificação da posição que os peixes alcançam dentro do mesmo sob diversas condições de carga.

- Pesquisa sobre a influencia do tempo de permanência em laboratório de forma a se obter uma equação de correção que permita que os ensaios sejam comparáveis entre si independentemente do tempo de captura.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, A. A.; JULIO JR, H. F.; BORGHETTI, J. R., 1992. Considerações Sobre os Impactos dos Represamentos na Ictiofauna e Medidas Para Sua Atenuação. Um Estudo de Caso: Reservatório de Itaipu. Revista UNIMAR, Maringá 14 (Suplemento): 089-107 (Brasil, Maringá).

AGOSTINHO, A. A. Fish passages as a fish conservation tool. Universidade Federal de Lavras, Lavras. Palestra proferida no International Symposium on Fish Passages in South America, Lavras, 2007.

ALEXANDER, R. McN. The history of fish mechanics In: WEBB, P. W. ; WEIHS, D. Fish biomechanics, 1. ed. Nova York: Praeger Publishers, 1983, cap. 1, p. 1 – 35.

BAINDRIGDE, R.; BROWN, R. H. J. An apparatus for the study of the locomotion of fish. Journal of experimental biology, v. 35, p. 134-137, 1958.

BEAMISH, F. W. H.- Swimming capacity. In: HOAR, W. S. ; RANDALL D. J., 1978, Fish Physiology , 1. ed. Londres: Academic Press, 1978. v. 7, cap. 2, p. 101-187.

BEAMISH, F. W. H.- Swimming capacity. In: HOAR, W. S. ; RANDALL D. J., 1978, Fish Physiology , 1. ed. Londres: Academic Press, 1978. v. 7, cap. 2, p. 101-187.

BRETT, J. R. The respiratory metabolism and swimming performance and sustained swimming speed of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). Journal Fish. Res. Board Can., v. 23, p. 1183-1226, 1964.

BRETT, J. R. Swimming performance of Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*) in relation to fatigue time and temperature. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, v. 21, vol. 8, p. 1731-1741, 1967.

CALTRANS PROJECTS. Fish Passage Design For Road Crossings. Fish Passage Design Guidance. Estados Unidos, 2007.

CANADIAN ELECTRICITY ASSOCIATION. Considering Fish and Fish Habitat in Existing Hydroelectric Operations and Maintenance: Electricity Industry Practices. Ottawa, 2001. 70 p. Disponível em: <http://www.canelect.ca/en/Pdfs/RevCEA.pdf>

CHAGAS, A. L. de G. A. Pesca de Águas Internas. Em: Seminário Sobre Fauna Aquática E O Setor Elétrico Brasileiro. COMASE – Comitê Coordenador das Atividades de Meio Ambiente do Setor Elétrico. Rio de Janeiro. Eletrobrás, 1994.

ELETROBRÁS. Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas. Brasília, 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION of the United Nations and Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e V (FAO/DVWK). Fish Passage – Design, Dimensions and Monitoring. Roma. FAO. 119 p., 2002.

GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L. Ecology and conservation of fish in southeastern Brazilian river basins submitted to hydroelectric impoundments. Acta Limnologica Brasiliensia, 5: p. 187-197, 1994.

GUAN, L.; SNELGROVE, P. V. R.; GAMPERL, A. K., Ontogenic Changes in the Critical Swimming Speed of *Gadus morhua* (Atlantic cod) and *Myoxocephalus scorpius* (shorthorn sculpin) Larvae and the Role of Temperature. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 360, p. 31-38, março 2008.

GRÖTTUM, J. A.; SIGHOLT, T. A Model for Oxygen Consumption of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) based on Measurements of Individual Fish in a Tunnel Respirometer. Aquae. Eng 17, p. 241-251, 1997.

HAMMER, C. Fatigue and exercise tests with fish. Comparative Biochemistry and Physiology, v.112, n.1, p. 1-20, 1995.

INATOMI, T. A. H. & UDAETA, M. E. M. Análise dos Impactos Ambientais na Produção de Energia dentro do Planejamento Integrado de Recursos. Em: III Workshop Internacional Brasil - Japão: Implicações Regionais e Globais em Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Campinas - Brasil. Anais do III Workshop Internacional Brasil

- Japão: Implicações Regionais e Globais em Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2005.

JAPAN COMMISSION ON LARGE DAMS (JCD). Dams in Japan: Past, Present and Future. Londres. Taylor & Francis Group. 226 p., 2009.

JUNHO, R. A. C. Migrações Ascendentes de Peixes Neotropicais e Hidrelétricas: Proteção a Jusante de Turbinas e Vertedouros e Sistemas de Transposição, tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008, 235 p.

KATOPODIS, C. Introduction to Fishway Design. Winnipeg: Freshwater Institute, 67p. 1992.

KYNARD, B.E. Anadromous fish behaviour important for fish passage. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences, 1905: 95-104, 1993.

KURDISTANI, S.M., BAJESTAN, M.S., Experimental Investigation of Hydraulic Criteria In the Fishways, CSCE/EWRI of ASCE Environmental Engineering Conf Niagara, 2002.

LARINIER, M. Environmental Issues, Dams and Fish Migration. In: MARMULLA, Gerd (ed.) Dams, fish and fisheries: Opportunities, challenges and conflict resolution. FAO Fisheries Technical Paper 419, p. 45-89, 2001.

LINDSEY, C. C. Form, function and locomotory habits in fish. In: HOAR, W. S.; RANDALL D. J., 1978, Fish Physiology, 1. ed. Londres: Academic Press, 1978. v. 7, cap.1, p. 1-100.

LOWE-MCCONNEL, R. H. Estudos Ecológicos de Comunidades de Peixes Tropicais, 1ed., São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1999, 534 p.

LUETKEN, C.F. Peixes do rio das Velhas: Uma contribuição para a ictiologia do Brasil. In: ALVES, C. B .M. & POMPEU, P. S. (Orgs). Peixes do Rio das Velhas: passado e presente. Belo Horizonte, SEGRAC 2001. cap. 2, p. 23-164.

MARTINEZ, C. B., JUNHO, R. A. C., GODINHO, A. L., MACEDO, A. A., Mecanismo de Transposição de Peixes, II Simpósio Brasileiro Sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas. Canela, Rio Grande do Sul, Brasil 2000.

PESCA BRASIL 2004 –figuras pág.33 <http://www.pescabrasil.com.br/especies/aguadoce.htm>

PNDPA – Programa Nacional de Desenvolvimento da Pesca Amadora. Bacia do São Francisco: Disponível em: Http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua/locais_de_pesca/bacia_do_sao_francisco.html.

POMPEU, P. S. & ALVES, C. B. M. Local fish extinction in a small tropical lake in Brazil. *Neotropical Ichthyology* . v.1, n. 2, p. 133-135, 2003.

RAJARATNAM, N., VAN DER VINNE, G. & KATAPODIS, C. Hydraulics of Vertical Slot Fishways. Em: *Journal of Hydraulic Engineering*, vol 112, Nº 10. Reston, VA. 19 p. 56, 1986.

RAJARATNAM, N., KATAPODIS, C. E SOLANKI, S. New Designs for Vertical Slot Fishways. Em: *Canadian Journal of Civil Engineering*. Volume 19, 1992. Canada.13 p., 1991.

SANTO, M. Dispositivos de Passagem para Peixes em Portugal. Lisboa. Direcção-Geral dos Recursos Florestais. 140 p., 2005.

SANTOS, Hersília A. Metodologia de Medição de Capacidade Natatória de Peixes Brasileiros, dissertação de mestrado – Programa de Pós Graduação em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 2004, 218 p.

SANTOS, H. de A. A Influência da capacidade natatória de peixes neo-tropicais no projeto hidráulico de mecanismos de transposição. Defesa: 30/03/2007. 201 páginas. Tese – Universidade Federal de Minas Gerais.

SCHNEIDER, M. J.; CONNORS, T. J., Effects of Elevated Water Temperature on the Critical Swim Speeds of Yearling Rainbow Trout, *Salmo Gairdneri*. *J. therm Biology*, v. 7, p. 227-229, june 1982.

SOARES, L. M. C. Sistemas de Transposição para Peixes: Medida mitigatória para barragens, dissertação de mestrado – Programa de Pós Graduação em Ciências e Tecnologia do Ambiente, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto - FCUP, Porto, 2012, 76 p.

TRAVADE, F.; LARINIER, M. Fish Locks and Fish Lifts. In: LARINIER M.; TRAVADE F.; PORCHER J. P., 2002, Fishways: biological basis, design criteria and monitoring. Bulletin Fr. Pêche Piscic., n°364, cap7, 102 a 118p.

VIANA, E. M. F. Mapeamento do campo de velocidade em mecanismos de transposição de peixes do tipo ranhura vertical em diferentes escalas. Tese (Doutorado) em Recursos Hídricos), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 226f. 2005.

VICENTINI, Giuseppe Campos. Levantamento da Velocidade Prolongada de Peixes: Um Estudo de Caso com o Mandi (*Pimelodus maculatus*). Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.