



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**

**ESTUDO DE SISTEMAS PARA REPULSÃO DE PEIXES**  
**COMO ALTERNATIVAS DE MITIGAÇÃO DE IMPACTO**  
**AMBIENTAL EM USINAS HIDRELÉTRICAS E CANAIS**  
**PARA ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

**LUIZ GUSTAVO MARTINS DA SILVA**

**Belo Horizonte, Março de 2010**

Luiz Gustavo Martins da Silva

**ESTUDO DE SISTEMAS PARA REPULSÃO DE PEIXES  
COMO ALTERNATIVAS DE MITIGAÇÃO DE IMPACTO  
AMBIENTAL EM USINAS HIDRELÉTRICAS E CANAIS  
PARA ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Área de Concentração: Bioengenharia

Orientador: Prof. Dr. Carlos Barreira Martinez

Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2010



**Universidade Federal de Minas Gerais**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**  
Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha - 31.270-901 - Belo Horizonte – MG  
Tel.: +55 31 3499-5145 - Fax.: +55 31 3443-3783  
www.demec.ufmg.br - E-mail: cpgmec@demec.ufmg.br

**ESTUDO DE SISTEMAS PARA REPULSÃO DE PEIXES  
COMO ALTERNATIVAS DE MITIGAÇÃO DO IMPACTO  
AMBIENTAL EM USINAS HIDRELÉTRICAS E CANAIS  
PARA ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

**LUIZ GUSTAVO MARTINS DA SILVA**

Tese defendida e aprovada em 08 de março de 2010, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de " **Doutor em Engenharia Mecânica**", na área de concentração de " **Bioengenharia**".

---

**Prof. Dr. Carlos Barreira Martínez – UFMG – Orientador**

---

**Profa. Dra. Edna Maria de Faria Viana – UFMG – Examinadora**

---

**Prof. Dr. Marco Túlio Corrêa de Faria – UFMG – Examinador**

---

**Prof. Dr. Eduardo Bauzer Medeiros – UFMG – Examinador**

---

**Dr. Fábio Vieira – Acqua Consultoria Ambiental – Examinador**

---

**Prof. Dr. Paulo dos Santos Pompeu – UFLA - Examinador**

Este trabalho é dedicado, especialmente, aos meus pais, Luiz Gonzaga da Silva (*in memoriam*) e Lourdes Martins da Silva.

## AGRADECIMENTOS

Nesse momento de finalização de mais uma etapa de minha formação profissional, nada mais justo do que voltar a atenção à pessoas que compartilharam todas as fases dessa longa jornada científica, educativa e profissional.

Em primeiro lugar, peço licença aos leitores para me desvencilhar da formatação tradicional registradas em teses e/ou dissertações de mestrado para descrever meus agradecimentos em um breve registro histórico de acontecimentos responsáveis pela evolução dessa “subespécie”, chamados por vários amigos de “bioengenheiro”. E o que seria um bioengenheiro? Um biólogo com caracteres de engenheiro ou um engenheiro com caracteres de biólogo? Definir o termo bioengenheiro não é tarefa das mais simples, mas a presença de determinadas pessoas no meu desenvolvimento profissional tornou simples a decisão de mesclar essas duas áreas na minha formação.

Toda essa mudança começa com dois profissionais pelos quais tenho uma grande admiração: o Prof. Carlos Martinez e o Prof. Paulo Pompeu. O primeiro pelas conversas, ainda quando estava terminando o meu mestrado (em Zoologia de Vertebrados, só pra lembrar!!), sobre mortandade de peixes em turbinas. Essas conversas se desenvolveram de tal forma que resultaram em um projeto e no aceite para me orientar em um programa de doutorado. O segundo por ser o primeiro a se arriscar nessa interface “biologia-engenharia” e de certa forma ter aberto as portas para essa nova formação. Além disso, nesse mesmo período me lembro dos amigos do CPH, Edna (naquela época estudante, hoje professora da UFMG), Hersília, Viviane, Paulo Magalhães e Giuseppe, dentre outros que sempre me receberam muito bem e sempre me apoiaram na decisão de realizar doutorado no departamento de Engenharia. Com todo esse apoio, fui aprovado na seleção para o doutorado na Engenharia Mecânica e a nova fase começou.

Ao mesmo tempo, a alguns quarteirões do prédio do CPH, no ICB, os amigos do laboratório de ictiologia “pegavam no meu pé” pela decisão tomada, com a velha frase: “Th, chegou o bioengenheiro”! Obviamente, as brincadeiras não poderiam faltar, ainda mais para esse grupo de ictiólogos, mas agradeço a companhia e as boas conversas na hora do almoço, nos momentos de “stress”, etc, com o Cacá, Fabão, Volney, Luiz Rocha, Chico, Raoni, Jota, Clarissa e Sam. Também não posso deixar de agradecer o

apoio da grande amiga Claudinha, bióloga também infiltrada assim como eu no grupo da engenharia e sempre disposta a ouvir meus desabafos!

Curiosamente, três meses após meu ingresso no programa de doutorado em 2005, fui selecionado em um provimento externo de vagas para contratação de professor do curso de Ecologia e, posteriormente, de Ciências Biológicas, do Centro Universitário de Belo Horizonte – Uni-BH, sendo que um dos fatores positivos para minha contratação foi o fato de ser biólogo e estar inserido em um programa de pós-graduação em Engenharia, trazendo à tona a tão sonhada interdisciplinaridade. Claro, nosso amigo Martinez ficou todo orgulhoso desse fato! Juntamente com a contratação novas responsabilidades surgiram, e certamente, agradeço também a todos os amigos e colegas do Uni, principalmente pelo apoio e compreensão nos momentos de ausência em função do desenvolvimento de atividades relacionadas à tese. Portanto, meus sinceros agradecimentos à Junia, coordenadora do curso de Ciências Biológicas que sempre me apoiou todas as minhas atividades e a todos os colegas que compõem o corpo docente destes dois cursos, em especial Etel, Maisa, José Carlos, Cinthia, Igor, Adriana, Cristiano, Fábio, Juliana Batista, dentre outros que podem não ter tido os nomes citados mas sabem que contribuíram com essa conquista.

Com todas essas mudanças, alunos e estagiários foram aparecendo e dando um grande suporte no desenvolvimento de várias atividades da tese. Parte do que hoje consegui realizar envolvendo experimentos, manutenção de peixes, etc é fruto do esforço, trabalho e dedicação dessas pessoas. Agradeço a Fabiana que deu o pontapé inicial no processo. Agradeço também ao Leandro e ao Brener, pelo apoio indiscutível e fundamental. Certamente, sem a presença dos dois no laboratório, boa parte do que foi desenvolvido não teria sido concretizado. Juntamente com eles, não poderia deixar de agradecer ao Paulinho, técnico do CPH, fundamental para que toda a instalação hidráulica dos aquários de teste e manutenção pudessem ser feitas. Agradeço também a todos os alunos com os quais tive a oportunidade de trabalhar pela compreensão ao longo desses anos.

Após dois anos de desenvolvimento de atividades relativas ao projeto, percebi que precisava buscar informações e tecnologia sobre os sistemas que estavam sendo utilizados e que, infelizmente, no Brasil não encontraríamos nada a respeito, já que o nosso grupo é pioneiro no desenvolvimento de pesquisas sobre o assunto. Nesse momento, o apoio de um grande amigo americano, Mark Bowen, foi de extremo valor para que fosse possível compartilhar tecnologias e experiências sobre barreiras não-

físicas para peixes. Daí, no meio de 2007 parti para os Estados Unidos com o objetivo de conhecer, testar e compartilhar informações acerca dos equipamentos desenvolvidos para uso específico na repulsão de peixes. O período de quase 7 meses em outro país foi de grande valia na minha formação e diversas pessoas foram fundamentais para que eu me sentisse à vontade em um país com cultura e pessoas completamente diferentes do Brasil. Portanto, agradeço a todos os colegas do Fisheries and Wildlife Group do Bureau of Reclamation, Don Portz, Ray Bark, Judy Lions, Cathy Carp, Katherine Zeifhuss, Vivien Maisonneuve, Chelsea Morris, Fred e, especialmente Steve Hiebert pela oportunidade dada. Além disso, o apoio de todo pessoal do Tracy Fish Collection Facility na Califórnia foi indispensável para condução dos testes em campo. Portanto, agradeço ao Brent Bridges, Brandon Wu, René Reyes, e, especialmente ao Ron Silva, por todo apoio e disponibilidade. Agradeço ao Mark e Renata pela hospedagem e por todo o apoio. Por fim, agradeço também aos amigos de Boulder, CO, Treasure, Lee e Jess por contribuírem para fazer com que minha estada fosse a mais tranquila possível.

Certamente, os amigos do dia a dia também fazem parte dessa conquista e não posso deixar de agradecer ao Brunão pelo companheirismo de sempre, ao Bernardo, Vinícius, André, Marina e aos amigos da PUC pelos momentos de descontração durante esse período. Também fazem parte desse grupo os amigos do Olympico, Edson, Max, Lucas, Renato, Lobão, Paraíba e Flávio.

Este documento hoje reflete toda essa história e encerro meus agradecimentos lembrando das pessoas especiais e indispensáveis para toda essa construção. Aos meus pais, Lourdes e Luiz Gonzaga, exemplo de pessoas de caráter e de garra para alcançar objetivos. Esse modelo, indiscutivelmente, norteou e estruturou minha conquista. A eles sou eternamente grato. Além disso, agradeço aos meus familiares, Léo, Andréia, Vaninha, Vander, Nando, Weber, Soraia, Silvana, Rafael, Camila, Ana Paula, Daniel, Débora, Fernanda, Luiz Felipe, Pedro Henrique, etc que a todo tempo estiveram ao meu lado. Por fim, agradeço também à Janaína, com quem compartilho a fase final (e talvez mais desgastante dessa jornada) pelo amor, companheirismo e compreensão nos momentos de ausência.

Obrigado por fazerem parte dessa estória!

Financiamento: Furnas Centrais Elétricas

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	4
LISTA DE GRÁFICOS .....	6
LISTA DE TABELAS .....	13
RESUMO .....	14
1 – INTRODUÇÃO .....	15
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	23
2.1 – As usinas hidrelétricas e a demanda energética brasileira.....	23
2.2 – Tipos de turbinas utilizadas em empreendimentos hidrelétricos .....	25
2.2.1 – Turbinas Francis.....	27
2.2.2 – Turbinas Kaplan.....	27
2.2.3 – Turbinas Pelton .....	28
2.3 – Passagem e mortalidade de peixes em turbinas hidráulicas.....	29
2.3.1 – Passagem de peixes por turbinas durante deslocamento descendente e taxas de mortalidade.....	30
2.3.2 – Entrada e mortalidade de peixes em tubos de sucção.....	32
2.4 – O problema dos canais para abastecimento de água no Oeste dos Estados Unidos, baía de São Francisco, Califórnia. ....	33
2.5 – Desenvolvimento e testes de sistemas para reduzir a passagem ou entrada de peixes em turbinas hidráulicas.....	35
2.5.1 – Luz estroboscópica.....	37
2.5.2 – Cortina de bolhas.....	38
2.5.3 – Substância de alarme .....	40
3 – METODOLOGIA .....	42
3.1 – Biologia e seleção das espécies utilizadas nos testes .....	42
3.1.1 – Piau-três-pintas.....	42
3.1.2 – Mandi-amarelo .....	43
3.1.3 – Delta smelt .....	44
3.1.4 – Splittail.....	44
3.2 – Captura e transporte dos peixes .....	45
3.2.1 – Piau-três-pintas e mandis-amarelos.....	45



3.2.2 – Delta smelt .....	46
3.3 – Sistemas de manutenção dos peixes em laboratório .....	47
3.3.1 – Laboratório de Manutenção de Peixes do CPH/UFMG .....	47
3.3.2 – Laboratório de manutenção de peixes do USBR/Denver Office .....	49
3.4 – Aparatos de teste utilizados em laboratório.....	50
3.4.1 – Luz estroboscópica e cortina de bolhas – testes no CPH e no USBR.....	50
3.4.2 – Substância de alarme .....	54
3.5 – Área de estudo em campo – Tracy Fish Collection Facility.....	55
3.6 – Protocolos experimentais e análise dos dados .....	60
3.6.1 – Luz estroboscópica.....	60
3.6.1.1 – CPH/UFMG .....	60
3.6.1.2 – USBR/Denver .....	63
3.6.1.3 – TFCF.....	66
3.6.2 – Cortina de bolhas.....	77
3.6.3 – Substância de alarme .....	79
4 – RESULTADOS.....	83
4.1 – Luz estroboscópica.....	83
4.1.1 – CPH/UFMG .....	83
4.1.1.1 – Efeitos da luz estroboscópica sobre o piau-três-pintas .....	83
4.1.1.2 – Efeitos da luz estroboscópica sobre o mandi-amarelo .....	90
4.1.2 – USBR/Denver .....	97
4.1.3 – TFCF.....	99
4.1.3.1 – Efeitos da luz estroboscópica sobre o Delta smelt .....	99
4.1.3.2 – Efeitos da luz estroboscópica sobre o Splittail.....	102
4.2– Cortina de Bolhas.....	105
4.3– Substância de alarme.....	106
4.3.1 – Comportamento de mandis-amarelos expostos a concentrações variadas de macerado de pele .....	106
4.3.2 – Comportamento de mandis-amarelos expostos à concentrações iguais de macerado de pele .....	113
4.3.2.1 – Grupo de peixes mantidos há um ano no laboratório .....	113
4.3.2.2 – Grupo de peixes recém-chegados ao laboratório – 1 mês .....	120
5 – DISCUSSÃO .....	127
5.1– Luz estroboscópica.....	127

5.2– Cortina de bolhas .....	137
5.3– Substância de alarme.....	141
6 – CONCLUSÕES .....	150
ABSTRACT .....	152
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	153

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – Potencial tecnicamente aproveitável para geração de energia hidrelétrica no mundo.....	23
FIGURA 2.2 – Número de UHEs, PCHs e CGHs instaladas e em instalação, até o ano de 2003, por região do Brasil (dados obtidos de ANEEL, 2005).....	25
FIGURA 2.3 – Faixas de atuação dos diferentes tipos de turbinas hidráulicas levando-se em consideração a altura da queda e diferentes valores de atuação. ....	26
FIGURA 2.4– Esquema de uma turbina Francis, mostrando detalhe da estrutura do rotor.....	27
FIGURA 2.5– Esquema de uma turbina Kaplan. ....	28
FIGURA 2.6– Rotor de uma turbina do tipo Pelton, mostrando a estrutura das pás.....	28
FIGURA 2.7– Esquema de uma planta de usina hidrelétrica, mostrando os possíveis sentidos de deslocamento dos peixes (Situação A: do reservatório em direção ao canal de fuga ou Situação B: do canal de fuga em direção ao tubo de sucção) para entrada no interior da turbina hidráulica. ....	30
FIGURA 3.1–Tanques para manutenção dos peixes no CPH com 10.000L de volume (A) e tanques circulares de 500L de volume para tratamento de peixes e manutenção de peixes em quarentena (B).....	49
FIGURA 3.2– (A) Vista parcial do laboratório do USBR mostrando os tanques para manutenção dos peixes e (B) o filtro biológico utilizados.....	50
FIGURA 3.3– Esquema do aquário de testes. As setas mostram o sentido do fluxo de água. ....	51
FIGURA 3.4 – Bancada de testes utilizada mostrando o local de instalação da luz estroboscópica e a luminária com luz vermelha. ....	51
FIGURA 3.5 – Desenho esquemático do aquário experimental mostrando a lateral onde foi instalada a cortina de bolhas, a lateral onde foi colocada a ração durante os testes e o posicionamento da câmera para monitoramento da passagem dos peixes.....	52
FIGURA 3.6 – Sistema de cortina de bolhas instalado em uma das seções do aquário experimental mostrando o manômetro utilizado para controle da pressão aplicada ao sistema.....	53

FIGURA 3.7 – (A) Visão geral do modelo do tanque de coleta de peixes que simula o tanque existente no TFCF; (B) Detalhe da tela central que separa o tanque do reservatório utilizado na coleta, mostrando (seta) o sistema hidráulico de içamento da tela.....	54
FIGURA 3.8 – Esquema do aquário experimental utilizado nos testes realizados com mandis-amarelos para avaliação da presença de substância de alarme em sua pele. AE = área enriquecida; CORR = corredor; ANE = área não enriquecida.....	55
FIGURA 3.9 – Localização do Tracy Fish Collection Facility na região do delta dos rios San Joaquin e Sacramento, Central Valley, Califórnia, EUA.....	56
FIGURA 3.10 – Vista aérea da região do Delta Mendota Canal e do rio Old, mostrando as estruturas do Tracy Fish Collection Facility (TFFC). Old River = rio Old; Holding Tanks = tanques de coleta; Primary Louvers = primeira seção de grades; Trash Rack = Rack para conteção de material particulado de grande porte; Debris Boom = estrutura para desvio de material particulado de grande porte. ....	56
FIGURA 3.11 – Figura esquemática do Tracy Fish Collection Facility.....	59
FIGURA 3.12 – Esquema de visão frontal do aquário mostrando o sentido de deslocamento dos peixes, subida – contra o fluxo de água e descida – a favor do fluxo de água. ....	61
FIGURA 3.13 – Desenho esquemático do tanque circular utilizado para realização dos testes de luz estroboscópica com delta smelt .....	64
FIGURA 3.14 – Planta baixa do canal secundário do Tracy Fish Collection Facility mostrando os locais de instalação do equipamento de luz estroboscópica para os testes com Delta smelt (“Local A”) e Splittail (“Local B” e “Local C”) e os locais de soltura $\Delta A$ e $\Delta B$ para Delta smelt e $\Delta A$ para Splittail. Adaptado de Bowen <i>et al.</i> (2004). ....	68
FIGURA 3.15 – Visão frontal (A) e lateral (B) do bulbo de luz estroboscópica instalado junto à primeira grade da seção secundária de grades (louvers) do Tracy Fish Collection Facility (TFCF).....	69
FIGURA 3.16 – Diagrama esquemático das baterias de testes realizadas no Tracy Fish Collection Facility (TFCF) mostrando os períodos de soltura dos três grupos de peixes e os períodos de coleta realizados a cada 20 minutos, totalizando 60 minutos de teste para cada grupo de peixes soltos. O mesmo protocolo experimental foi utilizado para o dia e noite e para o grupo controle (luz estroboscópica desligada) e teste (luz estroboscópica ligada).....	71

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 4.1– Influência da luz estroboscópica em diferentes frequências (92 e 360 flashes/min) no percentual do número de registros de piau-três-pintas <i>Leporinus reinhardti</i> passando pelo visor do aquário experimental em movimento de descida e subida para os experimentos realizados durante o dia. ....	84
GRÁFICO 4.2 – Influência da luz estroboscópica em diferentes frequências (92 e 360 flashes/min) no percentual do número de registros de piau-três-pintas <i>Leporinus reinhardti</i> passando pelo visor do aquário experimental em movimento de descida e subida para os experimentos realizados durante a noite. ....	84
GRÁFICO 4.3 – Média de registros de piau-três-pintas <i>Leporinus reinhardti</i> passando pela janela de observação do aquário experimental em movimento de descida durante o dia (letras diferentes indicam valores com diferenças estatisticamente significativas; Kruskal-Wallis – $p < 0,0001$ ). ....	85
GRÁFICO 4.4 – Média de registros de piau-três-pintas <i>Leporinus reinhardti</i> passando pela janela de observação do aquário experimental em movimento de subida durante o dia (letras diferentes indicam valores com diferenças estatisticamente significativas; Kruskal-Wallis – $p < 0,0001$ ). ....	86
GRÁFICO 4.5 – Média de registros de piau-três-pintas <i>Leporinus reinhardti</i> passando pela janela de observação do aquário experimental em movimento de descida durante a noite (letras diferentes indicam valores com diferenças estatisticamente significativas; Kruskal-Wallis – $p < 0,0001$ ). ....	87
GRÁFICO 4.6 – Média de registros de piau-três-pintas <i>Leporinus reinhardti</i> passando pela janela de observação do aquário experimental em movimento de subida durante a noite (letras diferentes indicam valores com diferenças estatisticamente significativas; Kruskal-Wallis – $p < 0,0001$ ). ....	87
GRÁFICO 4.7 – Comparação entre o número de piau-três-pintas <i>Leporinus reinhardti</i> em movimento de descida e/ou subida durante os 30 minutos iniciais (30i) e finais (30f) dos experimentos com luz estroboscópica realizados durante o dia. ....	89
GRÁFICO 4.8 – Comparação entre o número de piau-três-pintas <i>Leporinus reinhardti</i> em movimento de descida e/ou subida durante os 30 minutos iniciais (30i) e finais (30f) dos experimentos com luz estroboscópica realizados durante a noite. ....	89

GRÁFICO 4.9 – Influência da luz estroboscópica em diferentes frequências (92 e 360 flashes/min) no percentual do número de registros de mandis-amarelos <i>Pimelodus maculatus</i> passando pelo visor do aquário experimental em movimento de descida e subida para os experimentos realizados durante o dia. ....	91
GRÁFICO 4.10 – Influência da luz estroboscópica em diferentes frequências (92 e 360 flashes/min) no percentual do número de registros de mandis-amarelos <i>Pimelodus maculatus</i> passando pelo visor do aquário experimental em movimento de descida e subida para os experimentos realizados durante a noite. ....	91
GRÁFICO 4.11 – Média de registros de mandis-amarelos <i>Pimelodus maculatus</i> passando pela janela de observação do aquário experimental em movimento de descida durante o dia, em diferentes condições experimentais.....	93
GRÁFICO 4.12 – Média de registros de mandis-amarelos <i>Pimelodus maculatus</i> passando pela janela de observação do aquário experimental em movimento de subida durante o dia, em diferentes condições experimentais.....	93
GRÁFICO 4.13 – Média de registros de mandis-amarelos <i>Pimelodus maculatus</i> passando pela janela de observação do aquário experimental em movimento de descida durante a noite, em diferentes condições experimentais (letras diferentes indicam valores com diferenças estatisticamente significativas; Kruskal-Wallis – $p < 0,0001$ )..	94
GRÁFICO 4.14 – Média de registros de mandis-amarelos <i>Pimelodus maculatus</i> passando pela janela de observação do aquário experimental em movimento de subida durante a noite, em diferentes condições experimentais (letras diferentes indicam diferenças (letras diferentes indicam valores com diferenças estatisticamente significativas; Kruskal-Wallis – $p < 0,0001$ ).....	95
GRÁFICO 4.15 – Comparação entre o número de mandis-amarelos <i>Pimelodus maculatus</i> em movimento de descida durante os 30 minutos iniciais (30i) e finais (30f) dos experimentos com luz estroboscópica realizados durante a noite (letras diferentes indicam valores com diferenças estatisticamente significativas; Wilcoxon – $p = 0,01$ ).96	96
GRÁFICO 4.16 – Comparação entre o número de mandis-amarelos <i>Pimelodus maculatus</i> em movimento de subida durante os 30 minutos iniciais (30i) e finais (30f) dos experimentos com luz estroboscópica realizados durante a noite.....	96
GRÁFICO 4.17 – Média do número de peixes registrados durante o dia com a luz estroboscópica ligada e desligada nas áreas do tanque experimental sem influência e com influência direta da luz. ....	97

GRÁFICO 4.18 – Média do número de peixes registrados durante a noite com a luz estroboscópica ligada e desligada nas áreas do tanque experimental sem influência e com influência direta da luz. * indica diferença significativa (Wilcoxon, $p = 0,01$ ).....	98
GRÁFICO 4.19 – Média do número de peixes registrados na área com influência direta da luz estroboscópica durante o dia e noite com a luz ligada em diferentes configurações (120 e 360 flashes/min). * indica diferença significativa (Wilcoxon, $p = 0,04$ ). .....	99
GRÁFICO 4.20 – Média da eficiência de captura de Delta smelt, nos tanques de coleta do Tracy Fish Collection Facility (TFCF), soltos a montante da primeira grade do canal secundário (local $\Delta A$ ) durante o dia e noite, com a luz estroboscópica ligada e desligada. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as variáveis analisadas (ANOVA-dois fatores; graus de liberdade = 3; $p = 0,01$ ). .....	100
GRÁFICO 4.21 – Média da eficiência de captura de Delta smelt, nos tanques de coleta do Tracy Fish Collection Facility (TFCF), soltos entre a primeira e a segunda grade do canal secundário (local $\Delta B$ ), durante o dia e noite, com a luz estroboscópica ligada e desligada. ....	101
GRÁFICO 4.22 – Média da eficiência de captura de Splittail, nos tanques de coleta do Tracy Fish Collection Facility (TFCF), para os experimentos realizados com a luz desligada e ligada, instalada nos locais B e C, durante o dia. ....	102
GRÁFICO 4.23 – Média da eficiência de captura de Splittail, nos tanques de coleta do Tracy Fish Collection Facility (TFCF), para os experimentos realizados com a luz desligada e ligada, instalada nos locais B e C, durante noite. ....	103
GRÁFICO 4.24 – Média da eficiência de captura de Splittail, nos tanques de coleta do Tracy Fish Collection Facility (TFCF), para os experimentos realizados com a luz desligada e ligada, instalada nos locais B e C, durante o dia e noite. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os valores observados (Wilcoxon, $p < 0,01$ ). ..	104
GRÁFICO 4.25 – Média do número de peixes passando pela área da cortina de bolhas para os grupos de peixes mantidos com alimentação normal, interrompida por quatro dias e sete dias, respectivamente, para os experimentos controle (cortina de bolhas desligada) e teste (cortina de bolhas ligada). Letras distintas indicam valores significativamente diferentes (Kruskal-Wallis, graus de liberdade = 4, $p < 0,05$ ). .....	106
GRÁFICO 4.26 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos antes da aplicação de água destilada (experimento controle). Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido e ac = fase do experimento (antes/controle). ....	107

GRÁFICO 4.27– Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos durante a aplicação de água destilada (experimento controle). Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido e dc = fase do experimento (durante/controle). .....	108
GRÁFICO 4.28 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos durante a aplicação de água destilada (experimento controle). Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido e pc = fase do experimento (após/controle).....	108
GRÁFICO 4.29 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos antes da aplicação do macerado de pele (grupo teste). Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido e a = fase do experimento (antes/teste).....	109
GRÁFICO 4.30 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos durante a aplicação do macerado de pele (grupo teste). Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido e d = fase do experimento (durante/teste). .....	110
GRÁFICO 4.31– Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos após a aplicação do macerado de pele (grupo teste). Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido e p = fase do experimento (após/teste). .....	110
GRÁFICO 4.32 – Percentual de registros de mandis-amarelos em cada uma das áreas do aquário experimental para cada experimento realizado, independentemente do comportamento exibido, antes da aplicação do macerado de pele. ....	112
GRÁFICO 4.33 – Percentual de registros de mandis-amarelos em cada uma das áreas do aquário experimental para cada experimento realizado, independentemente do comportamento exibido, durante a aplicação do macerado de pele. ....	112
GRÁFICO 4.34 – Percentual de registros de mandis-amarelos em cada uma das áreas do aquário experimental para cada experimento realizado, independentemente do comportamento exibido, após a aplicação do macerado de pele. ....	113
GRÁFICO 4.35 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, antes da aplicação da água destilada (grupo controle) para os peixes mantidos há um ano no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, ac = fase do experimento	



(antes/control), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. \* indica diferenças estatisticamente siginificativas,  $p < 0,05$ ..... 114

GRÁFICO 4.36 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, antes da aplicação do macerado de pele (grupo teste) para os peixes mantidos há um ano no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, a = fase do experimento (antes/teste), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. \* indica diferenças estatisticamente siginificativas,  $p < 0,05$ ..... 115

GRÁFICO 4.37 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, durante a aplicação da água destilada (grupo controle) para os peixes mantidos há um ano no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, dc = fase do experimento (durante/control), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. \* indica diferenças estatisticamente siginificativas,  $p < 0,05$ ..... 116

GRÁFICO 4.38 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, durante a aplicação do macerado de pele (grupo teste) para os peixes mantidos há um ano no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, d = fase do experimento (durante/teste), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. \* indica diferenças estatisticamente siginificativas,  $p < 0,05$ ..... 116

GRÁFICO 4.39 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, após a aplicação da água destilada (grupo controle) para os peixes mantidos há um ano no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, pc = fase do experimento (após/control), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. \* indica diferenças estatisticamente siginificativas,  $p < 0,05$ ..... 117

GRÁFICO 4.40 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, após a aplicação do macerado de pele (grupo teste) para os peixes mantidos há um ano no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, p = fase do experimento (após/teste), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. \* indica diferenças estatisticamente siginificativas,  $p < 0,05$ ..... 118

GRÁFICO 4.41 – Percentual de registros de mandis-amarelos em cada uma das áreas do aquário experimental para cada experimento realizado, independentemente do comportamento exibido, antes da aplicação do macerado de pele. ....	119
GRÁFICO 4.42 – Percentual de registros de mandis-amarelos em cada uma das áreas do aquário experimental para cada experimento realizado, independentemente do comportamento exibido, durante a aplicação do macerado de pele. ....	119
GRÁFICO 4.43 – Percentual de registros de mandis-amarelos em cada uma das áreas do aquário experimental para cada experimento realizado, independentemente do comportamento exibido, após a aplicação do macerado de pele. ....	120
GRÁFICO 4.44 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, antes da aplicação da água destilada (grupo controle) para os peixes mantidos há um mês no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, ac = fase do experimento (antes/controle), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. * indica diferenças estatisticamente significativas, $p < 0,01$ .....	121
GRÁFICO 4.45 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, antes da aplicação do macerado de pele (grupo teste) para os peixes mantidos há um mês no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, a = fase do experimento (antes/teste), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. * indica diferenças estatisticamente significativas, $p < 0,01$ .....	121
GRÁFICO 4.46 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, durante a aplicação da água destilada (grupo controle) para os peixes mantidos há um mês no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, dc = fase do experimento (durante/controle), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. * indica diferenças estatisticamente significativas, $p = 0,03$ .....	122
GRÁFICO 4.47 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, durante a aplicação do macerado de pele (grupo teste) para os peixes mantidos há um mês no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, d = fase do experimento (durante/teste), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. ....	123

GRÁFICO 4.48– Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, após a aplicação da água destilada (grupo controle) para os peixes mantidos há um mês no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, pc = fase do experimento (após/controle), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. * indica diferenças estatisticamente significativas, $p = 0,01$ .....	124
GRÁFICO 4.49– Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, após a aplicação do macerado de pele (grupo teste) para os peixes mantidos há um mês no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, d = fase do experimento (após/teste), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. ....	124
GRÁFICO 4.50 – Percentual de registros de mandis-amarelos em cada uma das áreas do aquário experimental para cada experimento realizado, independentemente do comportamento exibido, antes da aplicação do macerado de pele. ....	125
GRÁFICO 4.51 – Percentual de registros de mandis-amarelos em cada uma das áreas do aquário experimental para cada experimento realizado, independentemente do comportamento exibido, durante a aplicação do macerado de pele. ....	126
GRÁFICO 4.52 – Percentual de registros de mandis-amarelos em cada uma das áreas do aquário experimental para cada experimento realizado, independentemente do comportamento exibido, após a aplicação do macerado de pele. ....	126

## LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 Intensidades luminosas medidas no tanque experimental durante o dia e noite na área sem influência direta e na área com influência direta da luz estroboscópica. ....	63
TABELA 3.2 Valor médio de turbidez e temperatura nas diferentes áreas experimentais no tanque de teste e comprimento padrão mínimo e máximo dos peixes utilizados. ....	65
TABELA 3.3 Protocolo de soltura e coleta de peixes durante os testes realizados para avaliação da influência da luz estroboscópica na eficiência de coleta de Delta smelt ( <i>Hypomesus transpacificus</i> ) nos tanques de coleta do TFCF.....	72
TABELA 3.4 Protocolo de soltura e coleta de peixes durante os testes realizados para avaliação da influência da luz estroboscópica na eficiência de coleta de Splittail ( <i>Pogonichthys macrolepidotus</i> ) nos tanques de coleta do TFCF. ....	74
TABELA 3.5 Dados biométricos dos peixes utilizados para maceração da pele.....	80

## RESUMO

No presente trabalho foram conduzidos experimentos em laboratório e em campo, no Brasil e Estados Unidos, para se avaliar o potencial uso de luz estroboscópica, cortina de bolhas e substância de alarme como sistemas para repulsão de peixes de áreas de riscos em usinas hidrelétricas e canais para abastecimento de água. As espécies testadas foram o mandi-amarelo (*Pimelodus maculatus*), piau-três-pintas (*Leporinus reinhardti*), Delta smelt (*Hypomesus transpacificus*) e o Splittail (*Pogonichthys macrolepidotus*). Os resultados obtidos demonstram repulsão dos peixes para praticamente todos os sistemas testados, exceto para Delta smelt e Splittail expostos à luz estroboscópica em condições naturais. A luz estroboscópica demonstrou maior eficiência para repelir os peixes em frequência de emissão de flashes de 360 flashes/min. Além disso, para a maioria das espécies testadas a luz causou maior repulsão à noite e o mandi-amarelo pode ser atraído pela luz em frequência de 92 flashes/min durante o dia. Os experimentos conduzidos com cortina de bolhas não foram conclusivos, mas, aparentemente, esse sistema pode ser eficiente para repelir mandis-amarelos. A utilização de substância de alarme como um possível sistema biológico para repulsão de mandis-amarelos apresenta grande potencial, tendo em vista a reação de fuga apresentada pela espécie quando expostas ao macerado de pele. No entanto, uma série de considerações devem ser levadas em conta para utilização dessa substância. Da mesma forma, vários testes ainda precisam ser conduzidos para melhores conclusões acerca da utilização desses sistemas em usinas hidrelétricas, mas uma boa base de informações a respeito do comportamento de duas espécies brasileiras aos estímulos testados foi adquirida.

# 1 – INTRODUÇÃO

O constante crescimento populacional contribui, de forma considerável, para aumentar a demanda por diferentes tipos de recursos em diversos países do mundo. Buscando suprir essas demandas, novas tecnologias são desenvolvidas frequentemente, o que exige um aumento na produção de dois setores primários da economia: o setor elétrico e o minerário. Estes dois ramos da produção de recursos primários são os responsáveis pelo fornecimento de insumos básicos à população, como eletricidade e recursos minerais. Dessa forma, observou-se no século XX um considerável desenvolvimento da tecnologia e da exploração destes dois recursos.

Em se tratando de recursos hídricos, historicamente no Brasil, o desenvolvimento de tecnologias para utilização das águas inicia-se a partir da colonização portuguesa e da necessidade de aumentar a produtividade de açúcar e, posteriormente, de ouro para exportação ao mercado europeu (Memória da Eletricidade, 2000). A água, àquela época, foi utilizada para funcionamento dos engenhos d'água, responsáveis pela moenda da cana-de-açúcar, e as noras ou rosários de ferro para extração do ouro. Neste período, os recursos hídricos ainda não tinham sido explorados como fonte alternativa para geração de energia elétrica, basicamente luz. Assim, as principais fontes de iluminação do Brasil colonial foram a lenha e o óleo animal e vegetal queimado em candeeiros e lamparinas (Memória da Eletricidade, 2000).

O Brasil colonial sustentava sua economia na agricultura. Com o desenvolvimento deste setor e o aumento nas exportações, especialmente de café e borracha, tornou-se necessário a modernização da infra-estrutura responsável pela produção destes insumos no país. Com isso, três fatores foram precursores do desenvolvimento das primeiras experiências no campo da energia elétrica no país, sendo eles a crescente urbanização, aumento na demanda por serviços públicos e o incremento das atividades industriais (Memória da Eletricidade, 2000). Essas primeiras experiências com a energia elétrica foram contemporâneas do desenvolvimento dessa nova forma de energia nos Estados Unidos e Europa.

Inicialmente a energia elétrica foi produzida mecanicamente, utilizando-se dínamos e máquinas motrizes a vapor formando-se algumas usinas termelétricas (Memória da Eletricidade, 2000). Curiosamente, o primeiro empreendimento para

utilização de energia hidrelétrica instala-se no país em 1883 na cidade de Diamantina-MG, no ribeirão do Inferno. A partir daí, o aproveitamento do enorme potencial hidrelétrico do país tornou-se apenas uma questão de tempo e de desenvolvimento de novas tecnologias.

De acordo com Cada & Zadroga (1982) o decréscimo no suprimento e aumento nos custos de combustíveis fósseis para geração de eletricidade levou a uma ampla procura e desenvolvimento de técnicas para exploração dos recursos considerados como renováveis. Dessa forma, a energia hidrelétrica passou a ter papel importante como fonte para a geração de eletricidade em vários países.

A dependência dos países no mundo pela energia elétrica torna-se tão acentuada que, nas últimas décadas, dentre as variáveis para definir o grau de desenvolvimento de um país encontra-se a facilidade de acesso da população à energia. Segundo ANEEL (2008), o consumo de energia torna-se um dos principais indicadores de desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida das sociedades, indicando o poder da população em adquirir bens e serviços tecnologicamente avançados, como eletrodomésticos e eletroeletrônicos. Dessa forma, o consumo de energia no mundo aumenta consideravelmente, tendo sido registrado em 33 anos (1973-2006) aumento de 73% neste consumo (ANEEL, 2008).

Nesta perspectiva, estimativas recentes apontam que, no Brasil, mais de 700 barragens foram construídas para produção de eletricidade (Agostinho *et al.*, 2007), sendo que, em 2006, cerca de 85,6% da energia elétrica gerada no país resultou da hidroeletricidade (ANEEL, 2008). De acordo com estimativas feitas para os anos de 2006 e 2007 o país ocupou a segunda colocação como um dos maiores consumidores de energia hidrelétrica no mundo, perdendo apenas para China e ficando a frente do Canadá, tendo consumido cerca de 371,5 TWh (ANEEL, 2008).

De acordo com a ANEEL (2008) as principais bacias hidrográficas brasileiras para hidrogenação estão localizadas nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, sendo as bacias dos rios Paraná, São Francisco e Araguaia-Tocantins as três primeiras em termos de geração de energia hidroelétrica. Para cada uma delas, 72%, 58% e 44% do potencial hidrelétrico já foram aproveitados, respectivamente. Para Minas Gerais, figuram entre as principais bacias hidrográficas em termos de aproveitamento hidrelétrico as bacias dos rios Paranaíba, Grande, São Francisco e Doce. O grande potencial hidrelétrico do estado levou-o a ser foco de grande expansão de usinas hidrelétricas a partir da década de 1950 (Drummond *et al.*, 2005).

Em função disso, segundo ANEEL (2008), o setor elétrico brasileiro possui uma matriz energética “limpa”, tendo em vista que seu parque instalado concentra-se em usinas hidrelétricas. Apesar de ser considerada “energia limpa” (ANEEL, 2008), a construção de barramentos em cursos d’água gera uma série de impactos sobre a biota e constitui uma das principais ameaças a manutenção da biodiversidade de ecossistemas aquáticos (Agostinho *et al.*, 2005). Talvez, os impactos mais perceptíveis sobre o meio aquático são aqueles gerados pelos barramentos de rios. Atualmente, os impactos causados por hidrelétricas relacionados ao meio ambiente tem sido amplamente discutidos e tornaram-se um dos maiores entraves à expansão deste setor no país, juntamente com problemas de natureza judicial (ANEEL, 2008).

O Brasil apresenta uma biodiversidade de organismos de água doce considerável e, para os peixes, esse número é estimado em 2.122 espécies (Buckup & Menezes, 2003). No entanto, a utilização dos recursos hídricos para os mais diversos fatores, sendo o principal deles o barramento para geração de energia elétrica tem contribuído bastante para a simplificação dessa riqueza existente. Drummond *et al.* (2005) já apontavam a instalação de usinas hidrelétricas no estado de Minas Gerais como um dos grandes fatores contribuintes para o empobrecimento da fauna aquática, especialmente a riqueza ictiofaunística.

Analisando-se a dinâmica da continuidade de ambientes em um sistema lótico, proposta por Vannote *et al.* (1980), torna-se mais compreensível a avaliação dos impactos causados pelos barramentos sobre a biota aquática. Fatores físicos como a vazão, profundidade e turbidez da água regem a distribuição de espécies e nutrientes ao longo de um determinado sistema lótico. Dessa forma, a interrupção da conexão entre diferentes trechos deste sistema altera toda essa dinâmica. Considerando-se os impactos sobre a biota aquática, vários grupos são afetados pela construção de barramentos, dentre eles os peixes.

Os impactos causados por barramentos sobre a ictiofauna podem ser notados tanto a jusante quanto a montante da barragem. Jackson & Marmulla (2001) apontam a substituição do ambiente lótico para lêntico como o impacto mais óbvio da construção de barramentos em rios. A jusante dos barramentos, o controle do regime de cheias (Agostinho *et al.*, 2005), o bloqueio do fluxo de nutrientes para trechos mais baixos da bacia e a concentração de peixes a jusante das barragens (Jackson & Marmulla, 2001) e a interrupção de rotas migratórias (Pelicice & Agostinho, 2007; Godinho & Kynard, 2008) são alguns dos impactos notados. Já a montante do barramento, a reestruturação



das comunidades, inundação de planícies alagáveis, modificações das condições físico-químicas da água, eutrofização e deterioração da qualidade da água (Agostinho *et al.*, 1992) podem ser citados como impactos à ictiofauna.

Outro impacto tão importante quanto os listados anteriormente com relação à ictiofauna, tanto a montante quanto a jusante de um determinado barramento, é a mortalidade de peixes em turbinas de usinas hidrelétricas (Coutant, 2001b). Eventos de mortalidade de peixes em turbinas hidráulicas são relatados mundialmente. O que se altera nos casos avaliados de mortalidade é o sentido de deslocamento dos peixes e a magnitude do problema.

De modo geral, apenas considerando-se grupos geradores em usinas hidrelétricas, as causas de mortalidade e acidentes envolvendo peixes ocorrem em dois cenários distintos:

1 – Quando da passagem de indivíduos no sentido montante- jusante, ou seja, realizando deslocamento descendente;

2 – Quando da entrada em tubos de sucção, deslocando-se no sentido jusante-montante, durante eventos de parada de máquinas.

No Brasil, mortalidade de peixes provocadas por algum tipo de empreendimento é considerada dano à fauna, tanto pela legislação federal (e.g., Lei de Crime Ambientais, Lei 9.605 de 13/02/98) quanto pela estadual (e.g., lei da pesca de Minas Gerais, Lei 14.181 de 17/01/2002) e, portanto, sujeita às penalidades previstas.

Vários autores destacam os problemas causados em função da passagem de peixes por turbinas hidráulicas (Bell & Kynard, 1985; Cada, 1990; Sorenson *et al.*, 1998; Coutant & Whitney, 2000; Cada, 2001). Alguns deles destacam a necessidade de realização de estudos para avaliar o comportamento dos peixes durante a passagem pelas turbinas (Bell & Kynard, 1985; Cada, 1990). Outros sugerem o desenvolvimento de sistemas para se evitar a entrada dos peixes nos tubos de sucção e que experimentos conduzidos em laboratório são fundamentais para somar resultados e experiências acerca do assunto (Sorenson *et al.*, 1998; Coutant & Whitney, 2000; Cada, 2001).

Assim, buscando formas de impedir a entrada dos peixes em áreas de risco nas usinas hidrelétricas para mitigar os impactos causados, inicia-se o uso de sistemas de direcionamento de peixes como alternativa para a proteção de cardumes próximos às barragens existentes (Coutant, 2001b). Barreiras físicas, tais como telas ou grades, ganham uso como forma de impedir a passagem dos peixes, principalmente em áreas sem a influência direta de um grupo gerador. Alguns canais para abastecimento de água

ou irrigação passam a ser estruturados com este tipo de barreira para evitar a passagem dos peixes e o contato direto com as bombas de sucção (Bowen *et al.*, 2004). Em usinas hidrelétricas, no entanto, em função da perda de carga e de geração, as barreiras físicas instaladas na saída dos tubos de sucção das turbinas tornam-se soluções de risco.

Iniciam-se, portanto, estudos para avaliação da utilização de outros dispositivos para solucionar ou minimizar o problema da mortalidade dos peixes. Dentre esses dispositivos podem-se citar as barreiras elétricas, luz estroboscópica, som (infrassom e ultrassom) e cortina de bolhas (Coutant, 2001b). Estes sistemas são conhecidos como barreiras não-físicas ou comportamentais, atuando sobre o comportamento dos peixes expostos ao estímulo dado. O desenvolvimento de sistemas que atuam sobre o comportamento, agindo de forma direta e eficaz na repulsão de peixes de áreas indesejadas constitui, atualmente, alvo de interesse mundial para as concessionárias do setor elétrico. A grande maioria dos trabalhos científicos desenvolvidos para avaliação desses sistemas foram realizados na América do Norte, principalmente nos Estados Unidos (revisão em Coutant, 2001a).

Além destes sistemas testados convencionalmente, estímulos biológicos gerados pelas próprias espécies envolvidas em acidentes em máquinas podem atuar, de modo potencial, como um sistema de repulsão para um determinado grupo de peixes. É sabido que os peixes podem produzir uma substância que atua como mecanismo de defesa contra predadores, chamada de substância de alarme (Reebs, 2001). Esta substância desencadeia reações de fuga nos peixes (Wisenden *et al.*, 2004; Jordão, 2004) e, talvez, possa ser útil para repelir algumas espécies de áreas de risco nas usinas hidrelétricas. Vários estudos foram conduzidos para identificação da presença dessa substância na pele de algumas espécies, visando elucidar alguns aspectos ecológicos de interação entre predador-presa. No entanto, nenhum trabalho foi desenvolvido visando a tentativa de aplicação dessa substância para repelir peixes de áreas de risco.

A perspectiva de se criar sistemas simples, eficazes e de baixo custo para solucionar este tipo de problema ambiental interessa aos mais diversos setores da sociedade. A mortalidade de peixes em turbinas hidráulicas, seja em usinas hidrelétricas ou canais para abastecimento de água, tornou-se um problema a ser enfrentado pelos diferentes setores em diversos países do mundo. Em função disso, observa-se que alguns países têm avançado em linhas de pesquisa buscando o desenvolvimento de barreiras que atuam sobre o comportamento das diferentes espécies de peixes. Já no Brasil, não existe registro na literatura científica a respeito do desenvolvimento de

trabalhos envolvendo as barreiras citadas ou para avaliação científica dos eventos de mortandade. Drummond *et al.* (2005) já alertavam para o fato de que a operação do empreendimento é um dos fatores responsáveis por interferir na ictiofauna, mas que, tanto para o Brasil quando para o estado de Minas Gerais este fato ainda não foi adequadamente avaliado.

Diante de todo esse quadro de problemas ambientais descritos e, a partir do registro realizado por Silva (2004) da passagem de mandis-amarelos pelas turbinas da UHE Igarapava, no rio Grande em Minas Gerais, com mortandade em torno de 70%, iniciaram-se as discussões para o desenvolvimento do presente trabalho. A idéia de realizar experimentos para testar o comportamento de espécies brasileiras de peixes de água doce sustenta-se a partir dos relatos científicos de experimentos demonstrando tanto a eficiência quanto ineficiência de sistemas como luz estroboscópica e cortina de bolhas para a repulsão de peixes (Coutant, 2001b). Na grande maioria dos casos, a ineficiência dos sistemas associava-se à tentativa de evitar que peixes passassem por turbinas no sentido de montante para jusante, principalmente jovens de espécies de salmonídeos deslocando-se em direção ao oceano, altamente motivados do ponto de vista biológico, em função de seu ciclo de vida.

Baseado na literatura científica e nos eventos de mortandade de peixes registrados no Brasil, observa-se que o objetivo principal para o desenvolvimento de barreiras que atuam sobre o comportamento dos peixes (luz estroboscópica, cortina de bolhas, substância de alarme, etc) é a repulsão de peixes ou o seu direcionamento para áreas mais seguras nas usinas hidrelétricas ou em canais para abastecimento de água, evitando sua entrada ou passagem pelas turbinas/bombas hidráulicas. No entanto, observa-se também que o sentido de deslocamento dos peixes a serem repelidos é diferenciado. Ou seja, na grande maioria dos trabalhos disponíveis na literatura, principalmente para peixes de regiões temperadas, busca-se interromper ou alterar o comportamento de peixes deslocando-se de montante para jusante, ao passo que para se evitar os eventos de mortandade registrados no Brasil o objetivo primário é interromper ou alterar o comportamento dos peixes realizando deslocamento de jusante para montante. Portanto, nessas duas condições o fator velocidade da água atua de maneira diferenciada para os peixes, atuando a favor do deslocamento (montante-jusante) ou em sentido oposto ao deslocamento (jusante-montante).

Além disso, a grande maioria dos trabalhos desenvolvidos relatam resultados obtidos em laboratório e poucos foram conduzidos em campo (Coutant, 2001a). Assim,

diante de todo esse contexto, várias perguntas foram levantadas direcionando, portanto, os objetivos deste trabalho como se segue:

- 1) As espécies de peixes de água doce brasileiras, especificamente o mandim-amarelo e piau-três-pintas, apresentam respostas comportamentais à luz estroboscópica?
- 2) Caso apresentem respostas de repulsão, qual a proporção de peixes estima-se repelir de áreas de risco em usinas hidrelétricas?
- 3) Qual(is) a(s) melhor(es) configuração(ões) dos diferentes sistemas para causar repulsão de peixes em maior proporção?
- 4) O período, dia ou noite, pode influenciar a ação da luz estroboscópica?
- 5) Os peixes podem se aclimatar ao estímulo fornecido? Dentro do período de uma hora é possível identificar variações na proporção de peixes repelidos em função da aclimação?
- 6) Qual a eficiência da luz estroboscópica para repulsão de espécies de peixes norte-americanos quando testada em campo e com o objetivo de guiar peixes deslocando-se no sentido montante-jusante?
- 7) Diferentes respostas comportamentais podem ser obtidas em laboratório e em campo?
- 8) Cortina de bolhas pode ser eficiente para repulsão de mandis-amarelos?
- 9) Mandis-amarelos produzem substância de alarme na pele?
- 10) Qual o comportamento de mandis-amarelos expostos à macerados de pele?
- 11) Além dos sistemas físicos testados, é possível a utilização potencial de substância de alarme como potencial sistema biológico para repulsão de peixes?

Buscando-se responder a essas perguntas o presente trabalho foi desenvolvido junto ao Centro de Pesquisas Hidráulicas e de Recursos Hídricos (CPH) da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG e ao Fisheries and Wildlife Group, US Bureau of Reclamation (USBR) – Denver Office, CO, EUA. No CPH foram desenvolvidos testes em laboratório buscando identificar o comportamento de mandis-amarelos diante de luz estroboscópica, cortina de bolhas e substância de alarme e de piau-três-pintas frente à luz. Já nos Estados Unidos, tendo em vista a experiência de

alguns pesquisadores do Fisheries and Wildlife Group e a existência de equipamento de luz estroboscópica para utilização em campo, foram conduzidos testes para se avaliar diferenças comportamentais nas respostas de uma mesma espécie em laboratório e em campo assim como avaliar a influência do sistema para repulsão de peixes em deslocamento de montante para jusante.

Este trabalho está estruturado, portanto, em quatro capítulos, sendo que no Capítulo 2 será apresentada uma extensa revisão da literatura disponível no que diz respeito à impactos ambientais causados por usinas hidrelétricas, a mortalidade de peixes em turbinas hidráulicas, o problema da entrada de peixes nos canais para abastecimento de água e o uso dos sistemas de repulsão para peixes como forma de se minimizar os problemas observados.

## 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 – As usinas hidrelétricas e a demanda energética brasileira.

Diversas são as formas de geração de energia elétrica. As fontes para geração de energia vão desde combustíveis fósseis a renováveis. No grupo de combustíveis fósseis podemos considerar a geração de energia através de carvão, óleo, gases naturais e queima de biomassa. Além disso, a energia nuclear também pode ser citada, porém, existem várias controvérsias quanto a sua viabilidade ambiental, em função dos problemas relacionados ao descarte dos resíduos nucleares gerados. Das fontes naturais, pode-se obter energia através de recursos hídricos (energia hidráulica), ar (energia eólica), energia geotérmica e energia solar. Considerando-se todas as fontes de energia, segundo a ANEEL (2008), a energia hidrelétrica contribui com apenas 16% da geração de energia elétrica no mundo.

De acordo com Elliot *et al.* (1998) e ANEEL (2005), o Brasil está entre os principais países no mundo em termos de potencial aproveitável para a implantação de empreendimentos hidrelétricos, como podemos observar na FIGURA 2.1.

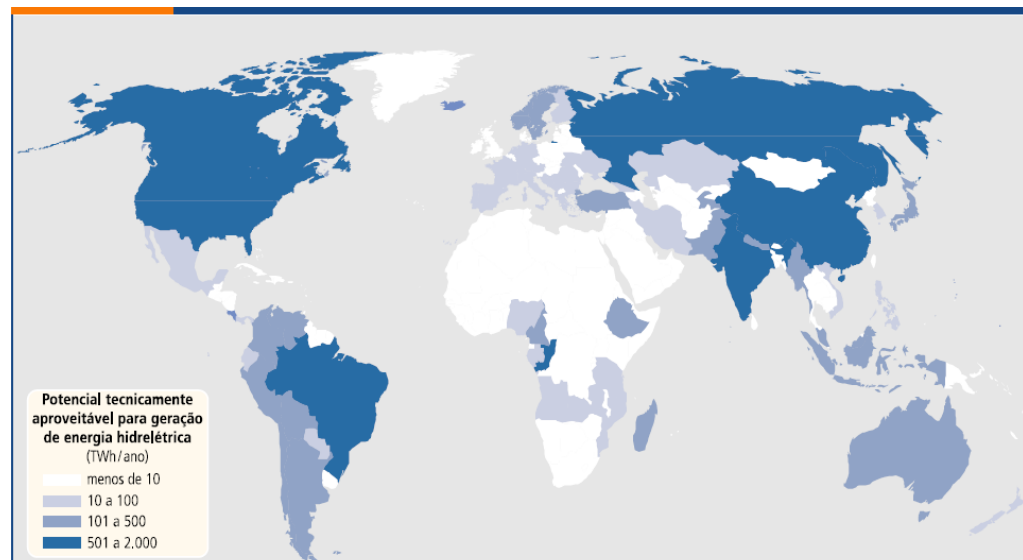


FIGURA 2.1 – Potencial tecnicamente aproveitável para geração de energia hidrelétrica no mundo.

FONTE – ANEEL (2005)

Ainda no Brasil, de acordo com o último censo demográfico, cerca de 80% da população vivem na zona urbana (ANEEL, 2005). Essa alta concentração urbana aumenta, consideravelmente, a demanda por vários recursos, sobretudo o energético. Torna-se necessário, portanto, revisar e ampliar a malha energética do país constantemente e, de modo geral, a fonte de energia mais viável, antiga e cujas tecnologias para exploração já são bem desenvolvidas é a hidrelétrica (Elliot *et.al*, 1998).

Em se tratando de usinas hidrelétricas, segundo a ANEEL (2008) a oferta de energia elétrica aumentou em apenas dois locais do mundo, nos últimos 30 anos, sendo a Ásia e América Latina. Esse aumento se deve a dois países principais: China e Brasil, sendo que no último a hidreletricidade responde pela maior parte da produção de energia elétrica. Ainda assim, segundo a ANEEL (2008), o aproveitamento do potencial hidráulico no Brasil é da ordem de 30%. Da potência instalada no Brasil, as usinas hidrelétricas, independentemente do seu porte, respondem por cerca de 76% da malha energética no país (ANEEL, 2008). Apesar de todo o potencial hidrelétrico e do crescimento apresentado pelo setor nos últimos anos, de acordo com a ANEEL (2008) o parque hidrelétrico já chegou a representar 90% do potencial instalado e a queda de 14% teria três razões principais: i) necessidade de diversificação da matriz elétrica; ii) dificuldade de licenciamento de novos empreendimentos e iii) entraves jurídicos protelando o licenciamento ambiental.

Em função disso o governo lançou o Plano Nacional de Energia 2030 buscando incentivar o desenvolvimento do parque hidrelétrico e aproveitamento de cerca de 126.000MW de potência dos 260.000MW inventariados pela Eletrobrás em 1992 (ANEEL, 2008). Considerando-se o total de 126.000MW, mais de 70% encontram-se inventariados para as bacias do Amazonas e Tocantins/Araguaia. Esse quadro caracteriza-se pelo fato de que o desenvolvimento do parque hidrelétrico se iniciou na bacia do rio São Francisco e se concentrou nas regiões Sul, Sudeste e parte do Nordeste. Dessa forma, as principais bacias hidrográficas destas regiões (São Francisco e Paraná – sub-bacias dos rios Grande, Paranaíba e Iguaçu) já possuem grande concentração de empreendimentos hidrelétricos, sendo que o potencial energético para implantação de grandes usinas encontra-se praticamente esgotado.

Desse modo, iniciam-se investimentos em Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e nas Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) mantendo-se a região Sudeste como principal região para exploração deste tipo de recurso. A FIGURA 2.2 demonstra

que a grande maioria dos empreendimentos hidrelétricos encontram-se nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Sul. Estes dados refletem o aumento pela demanda energética em zonas urbanas

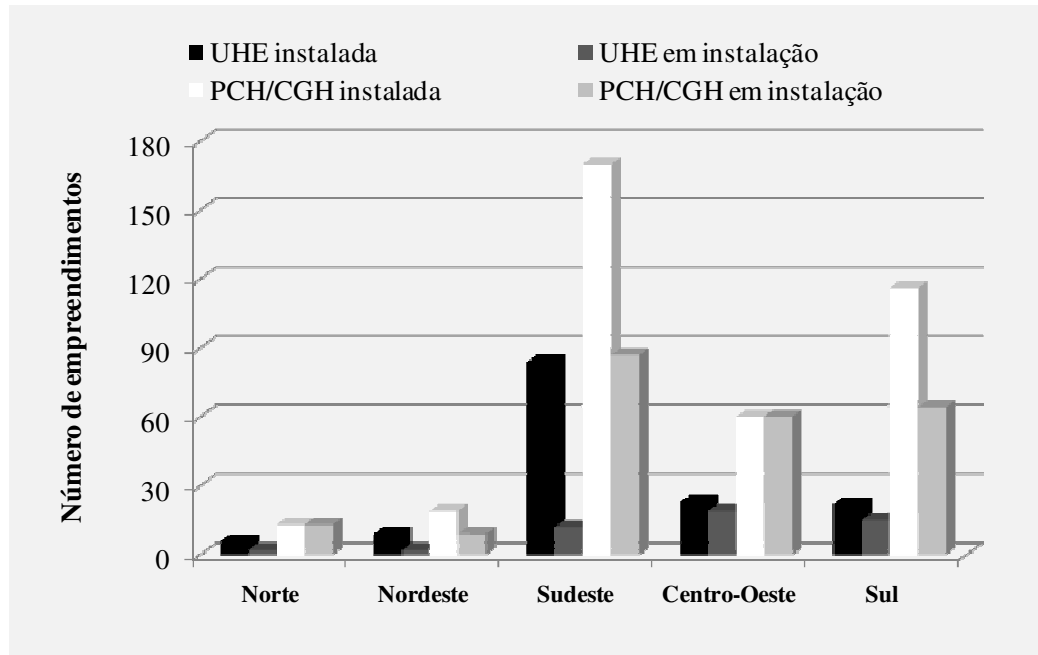


FIGURA 2.2 – Número de UHEs, PCHs e CGHs instaladas e em instalação, até o ano de 2003, por região do Brasil (dados obtidos de ANEEL, 2005).

Com isso, problemas ambientais são amplificados, dependendo do projeto do empreendimento a ser instalado. Certamente, os impactos ambientais advindos da instalação de barramentos para geração de energia elétrica em cursos d'água devem ser avaliados para se determinar a sua viabilidade. Dentre os impactos causados, a mortandade de peixes associada a acidentes com turbinas hidráulicas tem se destacado em diversos países do mundo. No Brasil, estes problemas estão principalmente associados às Usinas Hidrelétricas (UHEs) e podem estar relacionado aos tipos de turbinas hidráulicas utilizadas.

## 2.2 – Tipos de turbinas utilizadas em empreendimentos hidrelétricos

De acordo com Elliot *et al.* (1998) a primeira turbina hidráulica foi construída em 1833 por Benoit Fourneyron. O acoplamento destas turbinas a geradores é o fator necessário para conversão da energia hidráulica em energia elétrica. De modo geral, as



turbinas hidráulicas variam amplamente em tamanho e forma (ANEEL, 2005) e três tipos principais podem ser citados: i) Francis; ii) Kaplan e iii) Pelton. Elliot *et al.* (1998) apontam que a escolha de cada um desses tipos de turbinas é definida com base em uma série de características do ambiente (altura da queda, vazão, condições geológicas, etc), da barragem (arranjo da casa de força) e econômicas. Vários destes fatores se intercomunicam e, até mesmo, definem as características de outros e, em função disso, a área de atuação dos diferentes tipos de turbinas podem se sobrepor (FIGURA 2.3). De modo geral, pode-se definir que as turbinas Francis se adaptam a diferentes amplitudes de queda, Kaplan a regiões de menores quedas (10 a 70 m) e Pelton a maiores quedas (200 a 1500 m) (ANEEL, 2005). Além disso, o fator principal utilizado para diferir estes tipos de turbinas são o tipo de rotor e a configuração da turbina para passagem da água.

Vale salientar que não há valores pré-definidos para classificação de queda (alta ou baixa) e, de acordo com o Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas (CERPCH – Universidade Federal de Itajubá), considera-se de baixa queda um empreendimento com altura de até 15 m. Instalações com altura superior a 150 m são consideradas de alta queda, enquanto aquelas com alturas intermediárias entre 15 e 150 m são consideradas com sendo de queda média. Segundo a ANEEL (2005), a grande maioria dos empreendimentos hidroelétricos no Brasil é considerado de média queda, sendo, portanto, a turbina Francis aquela mais utilizada.

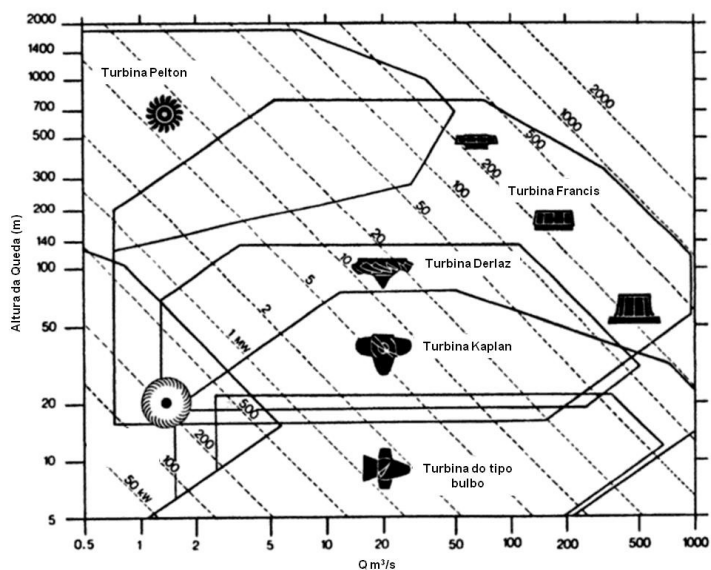


FIGURA 2.3 – Faixas de atuação dos diferentes tipos de turbinas hidráulicas levando-se em consideração a altura da queda e diferentes valores de atuação.

FONTE – Elliot *et al.* (1998)

### 2.2.1 – Turbinas Francis

De modo geral, as turbinas Francis foram inicialmente projetadas para trabalharem em localidades de queda média. De acordo com ANEEL (2005), a grande maioria dos projetos hidráulicos brasileiros são de queda média e, portanto possuem turbinas do tipo Francis em suas instalações. Esse tipo de turbina caracteriza-se por apresentar seu rotor em forma de espiral (Elliot *et al.*, 1998). A FIGURA 2.4 ilustra a estrutura do rotor de uma turbina Francis.

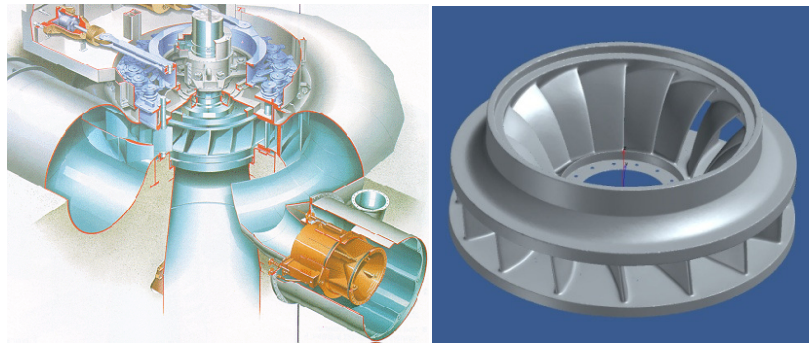


FIGURA 2.4– Esquema de uma turbina Francis, mostrando detalhe da estrutura do rotor.  
FONTE – [www.tfd.chalmers.se/gif](http://www.tfd.chalmers.se/gif); [www.capture3d.com/jpg](http://www.capture3d.com/jpg)

### 2.2.2 – Turbinas Kaplan

As turbinas Kaplan foram desenvolvidas para operarem em situações onde a queda é baixa (ANEEL, 2005). De acordo com a FIGURA 2.5, observa-se que este tipo de turbina caracteriza-se por apresentar um maior espaçamento entre as pás no seu rotor. Além disso, as pás em turbinas Kaplan são móveis, permitindo o seu ajuste de acordo com as condições hidráulicas do local.

A partir deste modelo básico surgiram algumas variações sendo que sua instalação vertical e horizontal (tipo bulbo) são os mais comuns no Brasil (ANEEL, 2005).

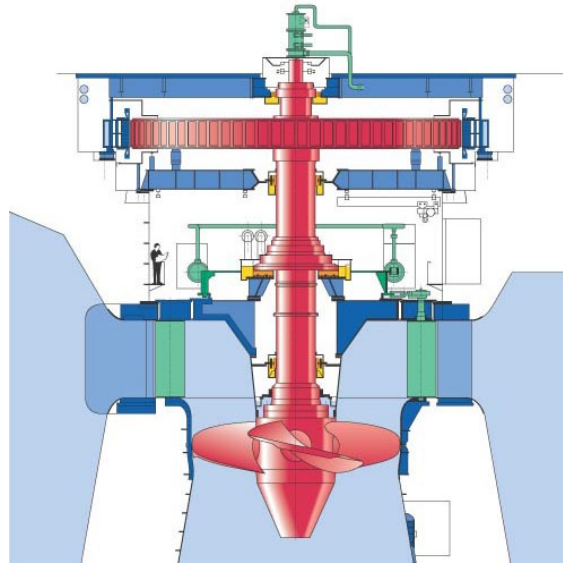


FIGURA 2.5– Esquema de uma turbina Kaplan.  
FONTE – [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

### 2.2.3 – Turbinas Pelton

O princípio do funcionamento da antiga roda-d'água está incorporado à estrutura desse tipo de turbina. De acordo com ANEEL (2005), as turbinas Pelton foram projetadas para operarem em locais de alta queda. Além disso, em função de sua estrutura, as turbinas Pelton demandam menos manutenção se comparado com as turbinas Francis ou Kaplan. A FIGURA 2.6 mostra que suas pás são fixas e em forma de pequenos reservatórios de água, fundamentais para rotação do rotor.



FIGURA 2.6– Rotor de uma turbina do tipo Pelton, mostrando a estrutura das pás.  
FONTE – <http://upload.wikimedia.org/>

### 2.3 – Passagem e mortandade de peixes em turbinas hidráulicas

A sobrevivência de peixes durante a passagem por turbinas de usinas hidrelétricas mantêm-se como um dos principais problemas para o setor elétrico (Becker *et al.*, 2003). A América do Norte e América do Sul figuram entre os continentes que mais utilizam energia hidrelétrica (ANEEL, 2005) sendo, portanto, grande foco de eventos de mortandade de peixes. Além disso, nos Estados Unidos, uma parte dos acidentes ocorre também com turbinas hidráulicas associadas a canais para abastecimento de água (Bowen *et al.*, 2004).

Basicamente, os acidentes com peixes em turbinas de usinas hidrelétricas acabam causando, em sua maior parte, a morte de diversos indivíduos. Esses acidentes podem ocorrer em duas situações distintas envolvendo a passagem ou entrada de peixes em estruturas das turbinas. A FIGURA 2.7 ilustra essas duas situações: a) onde a passagem de peixes ocorre no sentido de montante para jusante durante deslocamentos descendentes e/ou b) entrada de peixes em tubos de sucção e/ou contato com as pás das turbinas durante eventos de parada de máquinas para manutenção.

De acordo com Coutant & Whitney (2000) é importante salientar que a situação A ocorre não só para espécies de peixes que necessitam, obrigatoriamente, de deslocarem-se entre ambientes de água doce e água salgada, mas também entre espécies de peixes consideradas potámodras (que realizam deslocamentos migratórios dentro de ambientes dulcícolas) e que, por acidente, podem ser “sugadas” para dentro das turbinas.

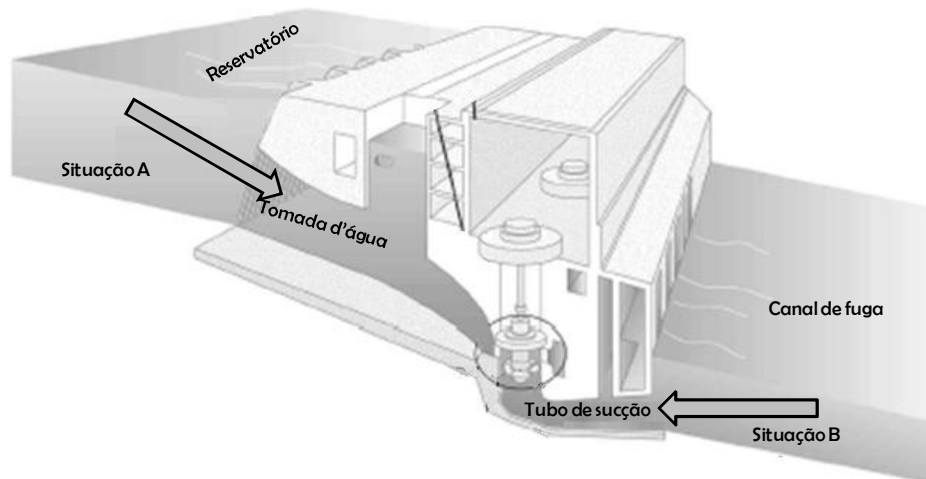


FIGURA 2.7– Esquema de uma planta de usina hidrelétrica, mostrando os possíveis sentidos de deslocamento dos peixes (Situação A: do reservatório em direção ao canal de fuga ou Situação B: do canal de fuga em direção ao tubo de sucção) para entrada no interior da turbina hidráulica.

FONTE – Adaptado de Cada (2001).

Conforme pode ser observado, em usinas hidrelétricas as passagens disponíveis para os peixes no sentido montante-jusante são as turbinas e/ou os vertedouros e altas taxas de mortalidade são observadas quando da passagem por estes dispositivos (Coutant & Whitney, 2000; Cada, 2001). Algumas usinas hidrelétricas instaladas no estado de Minas Gerais registram acidentes com mortandade de até 2 toneladas de peixes (Francisco Neto, com. pess.), devido à entrada em tubos de sucção.

### 2.3.1 – Passagem de peixes por turbinas durante deslocamento descendente e taxas de mortalidade.

Problemas associados à passagem de peixes por turbinas de usinas hidrelétricas durante deslocamentos descendentes são amplificados em regiões onde ocorrem peixes anádromos e catádromos. Esses peixes necessitam, obrigatoriamente, realizar deslocamentos entre os ambientes dulcícolas e marinhos, para completarem seus ciclos de vida (Moyle & Cech Jr, 2000). Nos Estados Unidos, algumas espécies de peixes possuem esse tipo de comportamento e, portanto, são mais afetadas por acidentes em turbinas hidráulicas. Cada (2001) destaca que esses acidentes podem ter sérias consequências para as populações dessas espécies, destacando-se o salmão do Pacífico (*Oncorhynchus* spp.), salmão do Atlântico (*Salmo salar*) e as enguias (*Anguilla*

*rostrata*). Na Polônia, Bartel *et al.* (2002) relatam problemas associados à mortalidade de trutas *Oncorhynchus mykiss* e *Salmo trutta* por passagem em turbinas hidráulicas de diversas barragens instaladas em diferentes rios na região da Pomerania.

Nos Estados Unidos, a mortalidade de peixes por passagem em turbinas começou a ser investigada, inicialmente, na bacia do rio Columbia (Coutant & Whitney, 2000). Diversos estudos foram conduzidos para se avaliar as taxas de mortalidade produzidas em diferentes tipos de turbinas, principalmente Kaplan e Francis. Estimativas feitas para passagem de peixes por turbinas Kaplan em barragens instaladas nas calhas dos rios Columbia e Snake apontaram para perdas em torno de 6 a 32% dos jovens de salmão nesses sistemas (Bell, 1981 *apud* Coutant & Whitney, 2000). Com base em uma revisão da literatura sobre o assunto, Coutant & Whitney (2000) relatam que turbinas Kaplan tendem a ser menos danosas aos peixes. De acordo com esses autores, as taxas de sobrevivência dos peixes que passam por esse tipo de turbina estão diretamente associadas a sua eficiência, sendo maiores as taxas de sobrevivência quanto maior for a eficiência da turbina. Cada (2001) indica taxas de sobrevivência de 70% ou mais para peixes de pequeno porte passando por turbinas do tipo bulbo, Kaplan ou Francis; porém, demonstra que há pouca informação disponível para inferir a respeito dessas taxas para peixes adultos, de médio e grande porte. Em estudos realizados com salmonídeos, Therrien & Bourgeois (2000) indicam que taxas de mortalidade de peixes pela passagem por turbinas Kaplan variam entre 0 a 90% estando, geralmente, entre 5 a 20%.

No Brasil, Silva (2004), em estudos de migração de peixes no rio Grande – MG, observou a passagem de mandis-amarelos por turbinas Kaplan na UHE Igarapava, sendo que a taxa de mortalidade foi estimada em cerca de 70%. Avaliando-se a passagem de peixes para jusante na usina hidrelétrica de Santa Clara, Pompeu & Martinez (2007) observaram que a grande maioria dos peixes marcados durante o estudo realizado utilizaram o vertedouro como rota disponível e que apenas 3,5% passaram pelas turbinas do tipo Kaplan. Esses autores acreditam que a mortalidade de peixes pela passagem por essa estrutura pode ser alta para esse barramento.

Para turbinas Francis, Bell & Kynard (1985) registraram taxas de mortalidade de 21,5% em média para adultos de *Alosa sapidissima* (American shad) em passagem experimental. Já Bartel *et al.* (2002) indicam taxas de mortalidade variando entre 0 e 60,8% para a passagem de espécies de truta por turbinas Francis em barragens instaladas ao longo de rios da região da Pomerania, próximo ao mar Báltico.

De modo geral, diversos fatores estão associados à mortalidade de peixes quando da passagem por turbinas hidráulicas. Esses fatores vão desde a variação de pressão na turbina à turbulência no tubo de sucção. A atuação de cada um desses fatores sobre os peixes varia de acordo com a espécie, o tamanho e o estágio de vida do indivíduo (Coutant & Whitney, 2000). Segundo Cada (2001) a mortalidade pela passagem de peixes em turbinas tem causas diretas (ferimentos graves durante a passagem) ou indiretas (ferimentos leves). As causas indiretas podem causar desorientação dos peixes, tornando-os mais susceptíveis à predação no canal de fuga ou até mesmo a doenças que provocam sua morte.

Para Coutant & Whitney (2000), o comportamento dos peixes próximos à barragem e seu tamanho são fatores que devem ser levados em consideração quando da avaliação da passagem e mortandade nas turbinas. O comportamento, de modo geral, atua criando diferentes maneiras do peixe se deslocar para longe das turbinas e o tamanho favorece diferenças, tanto no comportamento, quanto nas taxas de injúrias. Ou seja, peixes da mesma espécie com tamanhos diferenciados podem ter comportamentos distintos. Por outro lado, peixes de 2 e 20 cm podem, respectivamente, passar pelas turbinas sem sofrerem ferimentos ou serem dilacerados.

### 2.3.2 – Entrada e mortandade de peixes em tubos de sucção

Os problemas associados à mortandade de peixes pela entrada em tubos de sucção são pouco expressivos nos Estados Unidos (Mark Bowen, com. pess.). No Brasil, poucos são os estudos técnico-científicos que relatam passagem ou acidentes com peixes em turbinas de usinas hidrelétricas, mas, diversos relatos indicam morte de peixes associada à entrada no tubo de sucção das usinas. A grande maioria das informações disponíveis estão associadas a comunicações realizadas pela imprensa local ou regional quando da denúncia de acidentes.

Agostinho *et al.* (2007) tentam explicar as causas de mortandade dos peixes pela entrada em tubos de sucção. Segundo esses autores, a jusante de barramentos, condições hidrodinâmicas podem favorecer a atração de cardumes de peixes para essas áreas. Essa atração pode favorecer a ocorrência de eventos de mortandade pela concentração de peixes próximos à área do tubo de sucção o que, durante parada de máquinas pode gerar um confinamento e conseqüente morte dos peixes nos tubos.

Um dos fatores associados a esse acúmulo é a interrupção de rotas migratórias (FAO/DVWK, 2002; Gehrke *et al.*, 2002). Em função deste acúmulo, mortandade de peixes durante as paradas de grupo gerador para a manutenção ou durante as operações do síncrono são fatos corriqueiros em usinas hidrelétricas. A mortandade pode ser causada por asfixia ou pela turbulência excessiva nessa região.

De acordo com as restritas informações obtidas para os acidentes causados em tubos de sucção observa-se que a intensidade dos acidentes está diretamente relacionada com a composição de espécies que se acumulam a jusante. Em algumas usinas hidrelétricas de responsabilidade da CEMIG no estado de Minas Gerais, as espécies frequentemente envolvidas em acidentes com turbinas são o mandi-amarelo *Pimelodus maculatus*, outras espécies de bagres do gênero *Pimelodus*, alguns poucos piaus do gênero *Leporinus* e algumas curimbas do gênero *Prochilodus*.

Os escassos dados acerca de mortandades causadas pela entrada de peixes em tubos de sucção apontam para valores extremamente variáveis, desde alguns peixes mortos a toneladas deles (Agostinho *et al.*, 2007). Para a usina hidrelétrica de Peixe Angical, no estado do Tocantins, peixes foram registrados mortos devido à entrada em tubos de sucção durante parada de máquinas, sendo registradas espécies como surubins, armados, peixes-cachorro, curimbas e jaús (Jessé Pinto Ribeiro, com. pess.).

Um dos problemas apontados por Agostinho *et al.* (2007) para avaliação quantitativa dos eventos de mortandade é a confidencialidade dos dados gerados pelos empreendedores do setor elétrico, tornando sua consulta restrita. Dessa forma, o entendimento dos eventos de mortandade associados à entrada de peixes em tubos de sucção de usinas hidrelétricas torna-se limitado, assim como os esforços que possam ser empreendidos para se evitar o problema.

#### **2.4 – O problema dos canais para abastecimento de água no Oeste dos Estados Unidos, baía de São Francisco, Califórnia.**

O sistema do delta dos rios San Joaquin e Sacramento constitui importante área para abastecimento de água de centros urbanos e rurais na região central do estado da Califórnia nos EUA. Essa região, conhecida como Central Valley destaca-se por apresentar diversos empreendimentos responsáveis pelo bombeamento de água dos sistemas hídricos dessa área para canais de abastecimento de água (Bowen *et al.*, 2004). Portanto, o Central Valley Project tem um importante papel relacionado ao



abastecimento de água para as cidades e zona rural localizadas na região central do estado da Califórnia nos Estados Unidos. Este projeto foi concebido para retirada de água da região de confluência dos rios Sacramento e San Joaquin de modo a abastecer milhares de localidades. A água fornecida por este abastecimento tem diferentes destinações finais para seu uso. Para atender a essa demanda de abastecimento, dois dos maiores sistemas de bombeamento e abastecimento de água foram construídos na região: i) o Central Valley Project e o ii) State Water Project.

Em função do volume de água bombeado, durante determinados períodos do ano a vazão afluente dos rios pode chegar a zero, dependendo do volume de água bombeado pelas estações de bombas (Arthur *et al.*, 1996 *apud* Danley, *et al.*, 2002). Esta alteração na vazão induz a concentração de peixes nas áreas próximas às estações de bombas. Desde então, diversos trabalhos tem relatado declínios populacionais de diversas espécies de peixes nessa região (Bowen *et al.*, 2004).

De fato, autores relatam declínio populacional de espécies estuarinas como o Delta smelt – *Hypomesus transpacificus* (Bennett, 2005; Kimmerer, 2002), peixes anádromos como os salmonídeos de modo geral (Nobriga *et al.*, 2004) e de outras espécies ocorrentes na região (Kimmerer, 2002; Dege & Brown, 2004). De modo geral, atribui-se o declínio dessas populações de peixes em função da atividade das estações de bombeamento de água, seja por atrair peixes para dentro dos canais de abastecimento de água, seja por alterar a dinâmica fluvial da região estuarina e, conseqüentemente, toda a dinâmica de nutrientes e de outros fatores que alteram a qualidade dos habitats.

Danley *et al.* (2002) apontam que diversos estudos foram conduzidos para se avaliar os fatores relacionados ao declínio populacional de peixes na região do delta dos rios San Joaquin e Sacramento, e praticamente todos eles indicam as estações de bombeamento de água como um dos principais fatores associados a esse declínio. Em uma das áreas controladas pelo governo federal, uma estação de bombeamento de água retira água do rio Old em direção ao Delta Mendota Canal. Em função disso, boa parte dos peixes, especialmente as espécies anádromas, entram no Delta Mendota Canal atraídos pela velocidade da água. Dessa forma, boa parte dos peixes que entram no canal acabam em contato com as bombas hidráulicas e eventos de mortalidade foram observados por esse fator (Helfrich *et al.*, 2001).

Dessa forma, visando minimizar os impactos causados pela entrada de peixes no Delta Mendota Canal, o Bureau of Reclamation, US Department of the Interior, construiu nos anos de 1950 uma estação de coleta de peixes no interior do Delta

Mendota Canal, visando interceptar os peixes nessa região (Helfrich *et al.*, 2003). Essa estação, conhecida como Tracy Fish Collection Facility (TFCF), consiste na instalação de uma série de grades (“louvers”) ao longo do canal para guiar os peixes em direção a tanques de coleta onde podem ser capturados e transportados, utilizando caminhão-tanque, de volta a regiões seguras no estuário (Bowen *et al.*, 2004).

Nos anos de 1980, o Bureau of Reclamation iniciou um programa para realização de estudos visando aumentar a eficiência de coleta dos peixes no TFCF (Helfrich *et al.*, 2003). Nesse sentido, recentemente foram conduzidos estudos para avaliação das condições de saúde de peixes passando através das bombas hidráulicas (Helfrich *et al.*, 2003), determinação de condições ótimas de operação da estação para diferentes espécies (Bowen *et al.*, 2004) e de avaliação de possíveis alterações na condição de saúde dos peixes causadas pelo *stress* gerado pela manipulação dentro dos tanques de coleta (Portz *et al.*, 2005). Além disso, alguns estudos foram desenvolvidos para obtenção de informações básicas acerca da biologia de algumas das espécies mais afetadas com estes empreendimentos, como o Splittail – *Pogonichthys macrolepidotus* (Wang & Reyes, 2007). Em laboratório, os projetos conduzidos visaram avaliar e buscar melhoras na eficiência de salvamento das espécies de peixes na estações de coleta do TFCF. Swanson *et al.* (2005), White *et al.* (2007) and Danley *et al.* (2002) avaliaram o comportamento de Delta smelt e Splittail expostos a grades em modelos dos canais de abastecimento de água em laboratórios. De modo geral, todos estes estudos visaram a obtenção de dados para melhorar a eficiência de salvamento dos peixes nestas estações de coleta, buscando auxiliar na conservação da ictiofauna californiana.

O maior objetivo de todos os trabalhos citados consistiu em melhorar a eficiência de coleta dos peixes nos tanques do TFCF, de modo a aumentar o número de peixes relocados para áreas seguras do estuário. Em função disso, o desenvolvimento de estudos que visem aplicar novas técnicas que amplifiquem a eficiência de coleta é de grande interesse por parte dos gerentes do TFCF.

## **2.5 – Desenvolvimento e testes de sistemas para reduzir a passagem ou entrada de peixes em turbinas hidráulicas.**

Ao contrário do Brasil, nos Estados Unidos diversas informações acerca da passagem de peixes por turbinas hidráulicas estão disponíveis em relatórios técnicos ou em artigos científicos publicados. Dessa forma, o entendimento dos fenômenos

associados à passagem de peixes por turbinas hidráulicas tem sido amplamente discutido (Gloss & Wahl, 1983; Coutant & Whitney, 2000; Cada, 2001; Bartel *et al.*, 2002; Becker *et al.*, 2003; Bell & Kynard, 1985; Cada, 1990; Sorenson, *et al.*, 1998; Larinier & Travade, 2002; Martinson *et al.*, 2002), principalmente considerando-se os deslocamentos para jusante.

Diante dessa situação, desde meados de 1950 estudos começaram a ser desenvolvidos buscando-se avaliar sistemas para evitar a passagem de peixes pelas turbinas hidráulicas. Dentre os sistemas testados, luz e bolha se destacaram como fatores físicos utilizados pela grande maioria dos trabalhos para modificação do comportamento dos peixes (Andrew & Geen, 1960; Andrew *et al.*, 1955; Brett & MacKinnon, 1953; Fields, 1966a; Fields, 1966b; Fields & Finger, 1956; Fields *et al.*, 1954; Fields *et al.*, 1956; Grotbeck, 1975 e Hanson *et al.*, 1977). Praticamente todos estes estudos avaliaram o comportamento de diferentes espécies norte-americanas levando-se em consideração a utilização de luz contínua para a repulsão de peixes.

Em outros esforços, Fields *et al.* (1955) buscaram avaliar o comportamento de jovens de salmão diante de uma barreira montada com luz infra-vermelho, sem nenhum sucesso. Mais tarde, Moyle & Cech Jr (2000) indicaram que os olhos dos peixes não são sensibilizados pela espectro infra-vermelho. Haymes (1982) avaliou o uso de lâmpadas de vapor de mercúrio filtradas em conjunto com luz estroboscópica para atrair peixes em direção a uma estação de captura, demonstrando que, aparentemente a lâmpada de mercúrio atuou com boa resposta atrativa sobre os indivíduos, enquanto a luz estroboscópica aparentemente os mantia em movimento constante. Apesar de todos os testes desenvolvidos com outros tipos de sistemas, luz estroboscópica, som e barreira elétrica figuram entre os mais estudados. No Brasil, apenas o grupo do CPH/UFGM tem trabalhado com testes destes sistemas sobre o comportamento de espécies brasileiras de peixes de água doce e, dentre os sistemas mais utilizados, apenas luz estroboscópica e barreira elétrica têm sido testados, além do sistema de cortina de bolhas. Em se tratando de barreiras elétricas, estudos estão sendo conduzidos para se determinar a eletrossensibilidade de mandis-amarelos (Flávio Nakamura, com. pess.).

### 2.5.1 – Luz estroboscópica

De acordo com Königson *et al.* (2002), a luz é um estímulo primário para peixes e várias espécies têm sistemas visuais bem desenvolvidos. Luz constante, luz estroboscópica, e som são fenômenos físicos complexos que têm sido usados por biólogos e pescadores na tentativa de concentrar, redistribuir ou guiar peixes (Ploskey & Johnson, 2001). De acordo com estes autores, luz estroboscópica é definida como um dispositivo capaz de emitir flashes de luz extremamente rápidos, curtos e brilhantes.

É sabido para jovens de salmão e alguns outros peixes que a luz é um estímulo efetivo, porém a natureza da resposta, se de atração ou repulsão, depende do estado de aclimação do peixe à luz do ambiente e da intensidade de luz utilizada nos testes (Nemeth & Anderson, 1992 *apud* Ploskey & Johnson, 2001). Luz estroboscópica tem demonstrado eficácia para repulsão de várias espécies de peixes de ambientes de clima temperado quando utilizada na frequência de emissão de 300 flashes/min (Patrick, *et al.*, 1985; Sager & Hocutt, 1987; Sager, *et al.*, 2000a, Sager *et al.*, 2000b; Johnson *et al.*, 2001; Ploskey & Johnson, 2001).

Patrick *et al.* (2001) avaliaram a resposta de enguias (American eels) à luz estroboscópica, a fim de guiá-las para passagens alternativas em grande barragens hidroelétricas. Isso foi estudado no intuito de reduzir o declínio das populações destes peixes, causado, principalmente, pela falta de condições dos mesmos de transporem as barragens no sentido montante-jusante. Os resultados obtidos indicaram que indivíduos, tanto jovens quanto adultos de enguias, demonstraram comportamento de repulsão frente ao estímulo com luz estroboscópica em diferentes frequências de emissão de flashes (66, 200, 484, 748 e 1090 flashes/min), embora o tempo de resposta para os grupos de enguias tenha variado.

Alguns estudos têm sido desenvolvidos para se avaliar o deslocamento vertical de peixes em função de uma fonte de luz estroboscópica (Johnson *et al.*, 2001; Ploskey & Johnson, 2001). Ou seja, o objetivo dos autores neste tipo de trabalho foi avaliar a repulsão de jovens de salmão à luz estroboscópica e a possibilidade de utilização deste dispositivo para guiar os peixes verticalmente. Dessa forma, seria possível guiá-los na coluna d'água para estruturas que possibilitassem sua passagem no sentido montante-jusante de forma mais segura, diminuindo as taxas de mortalidade quando da passagem por turbinas. Os resultados obtidos indicam que luz estroboscópica

pode ser eficiente para guiar jovens de salmão verticalmente, em diferentes frequências de emissão de flashes (300 e 450 flashes/min).

Fatores importantes que devem ser levados em conta quando da realização de testes com luz estroboscópica e para que o sistema seja considerado como eficiente foram bem levantados por Sager & Hocutt (1987) e Sager *et al.* (2000a). Uma das condições é que o estímulo tem que ser o suficiente para que a reação seja sustentada por longos períodos de tempo, ou seja, o peixe não pode se aclimatar ao estímulo de luz fornecido. Outra condição importante é a realização de teste em diferentes condições de luz natural, ou seja, devem-se avaliar as respostas a serem obtidas com o estímulo de luz estroboscópica durante a noite e também durante o dia, de modo que a iluminação do seu ambiente de teste seja diferenciada. Por último, diferentes frequências de emissão de flashes devem ser testadas para que sejam avaliados os diferentes comportamentos e os tempos de resposta a cada uma das frequências.

De modo geral, o que se observa, com relação aos estudos referentes à utilização de luz estroboscópica para a repulsão de peixes em áreas de risco em usinas hidrelétricas, é que a grande maioria deles ainda se concentra na obtenção de dados em laboratório. Poucos estudos têm relatado o desenvolvimento de trabalhos para se avaliar o uso de luz estroboscópica em campo (Maiolie *et al.*, 1997; Maiolie *et al.*, 2001; Ploskey & Johnson, 2001, Königson *et al.*, 2002). Outro fator importante é a concentração dos estudos para avaliação do comportamento de espécies típicas de ambientes temperados frente aos estímulos de luz fornecidos. Possivelmente, espécies tropicais poderão apresentar comportamentos diferenciados diante dos estímulos.

### 2.5.2 – Cortina de bolhas

De modo geral, o sistema de cortina de bolhas tem sido pouco testado como sistema para repulsão de peixes. Alguns estudos começaram a ser desenvolvidos por volta da década de 1950 e diferentes respostas dos peixes às bolhas foram registradas nos trabalhos. Para diversos autores, a cortina de bolhas atua como uma barreira visual para os peixes, impedindo sua passagem através da barreira criada (Andrew *et al.*, 1955; Enami, 1960; Lieberman & Muessig, 1978). De acordo com Hocutt (1980), embora a maioria dos autores concorde com o fato de que a resposta à cortina de bolhas seja visual, algumas evidências de trabalhos publicados indicam também uma resposta acústica a este estímulo.

O sistema de cortina de bolhas consiste na geração de bolhas na entrada das turbinas formando uma “parede” que impede que os peixes enxerguem através dessa estrutura. McCauley *et al.* (1996) *apud* Coutant (2001b) registraram comportamento de repulsão em peixes utilizando-se cortina de bolhas. Para salmão, Andrew *et al.* (1955) registraram eficiência média do sistema para guiar os peixes de 26% durante o dia e 74% a noite. Já Bates & VanDerwalker (1964) e Brett & Alderdice (1958) registraram que a cortina de bolhas foi efetiva para repulsão de jovens de salmão apenas durante o dia. Ao contrário desses estudos, Grotbeck (1975) e Hanson *et al.* (1977) não tiveram resultados satisfatórios para repulsão de peixes utilizando cortina de bolhas.

Outro fator associado à cortina de bolhas é o período de uso do estímulo. Para diversos autores, a eficiência da cortina de bolhas para repulsão de peixes é maior quando o estímulo é aplicado durante o dia, ou em conjunto com iluminação artificial à noite (Brett & Alderdice, 1958; Brett & MacKinnon, 1953; Enami, 1960; Hanson *et al.*, 1977). De fato, alguns desses autores apontam um aumento na eficiência do sistema de bolhas para repulsão de algumas espécies de peixes quando utilizado em conjunto com a luz (Brett & Alderdice, 1958; Brett & MacKinnon, 1953).

Assim como encontrado em estudos para outras barreiras não-físicas, os resultados relacionados à eficiência da cortina de bolhas para repulsão de peixes é bastante variável e controverso (EPA, 1976; Hoccut, 1980). Hanson *et al.* (1977) avaliaram que a cortina de bolhas não foi eficiente e não seria uma boa opção para utilização na repulsão de peixes da tomada d’água de usinas hidrelétricas. Da mesma forma, Grotbeck (1975) também não encontrou resultados eficientes para este tipo de sistema. Baixa ou nenhuma eficiência também foi registrada nos estudos conduzidos por Lieberman & Muessig (1978), Andrew & Geen (1960). Swain (1979) indica que a cortina de bolhas não é eficiente para repelir truta da região da tomada d’água de turbinas.

Para outros autores, a eficiência da cortina de bolhas para repulsão de peixes pode ser dependente de outros fatores que não apenas a luz, tais como velocidade da água, turbidez e da pressão utilizada no sistema (Enami, 1960; Everhart *et al.*, 1975). Patrick *et al.* (1985) indicam que a eficiência da cortina de bolhas para repulsão de indivíduos de *Alosa pseudoharengus* reduziu, consideravelmente, com o aumento da velocidade da água e da turbidez em experimentos conduzidos em laboratório.

Observa-se que vários fatores estão associados à utilização de cortina de bolhas para repulsão de peixes de áreas de risco. Os resultados de diversos trabalhos e,

assim como colocado por Coutant (1999), devem ser levados em consideração e os sistemas considerados como comportamentais (barreiras não-físicas) devem ser descartadas apenas após a realização de testes com espécies alvo, em laboratório e no campo, com a grande maioria das variáveis que possam interferir na eficiência de sua barreira. Certamente, a utilização desses sistemas pode apresentar uma ótima oportunidade para o setor elétrico, principalmente em se tratando de custos para instalação e manutenção, para reduzir os problemas associados à mortalidade de peixes.

### 2.5.3 – Substância de alarme

Sinais de alarmes podem ser apresentados de diversas formas e, geralmente estão presentes entre os animais de hábitos sociais (Ricklefs, 2003). As reações de alarme são especializações comportamentais adaptativas, visando à proteção contra predadores. Estes sinais podem ser visuais, elétricos, químicos ou físicos (Mirza & Chivers, 2001). Para isso são utilizados vários sentidos como olfato, paladar, audição, visão e linhas laterais. De acordo com Wisenden (2000) sinais químicos, sem dúvida, são muito úteis em ambientes aquáticos, onde se dispersam com certa facilidade. Em função da liberação da substância em águas, as reações de alarme são encontradas desde Cnidaria à Amphibia (Pfeiffer, 1963 *apud* Duboc, 2007).

Na década de 1970, pesquisadores trabalhando com peixes de água doce iniciaram pequenos experimentos para avaliação de seus comportamentos. Dentre os trabalhos realizados, o desenvolvido pelo etólogo Karl von Frisch com cardumes de ciprinídeos europeus ganhou destaque. Nele, Von Frisch detectou acidentalmente, durante estudos sobre atividade auditiva de *Phoxinus phoxinus*, uma nítida reação de fuga (susto) do cardume estudado, ao colocar, no aquário de manutenção dos peixes, um indivíduo que acabara de ser submetido a um procedimento cirúrgico. Nisso, Von Frisch comprovou que alguns grupos de peixes que foram submetidos à injúria na pele, liberam uma substância reconhecida por outros indivíduos da mesma espécie, promovendo uma reação de fuga. Essa substância foi então chamada de substância de alarme (“schreckreaktion”) e passou a ser alvo de diversos estudos que buscavam caracterizar e identificar as reações causadas pela sua liberação (Wisenden & Smith, 1997; Scott *et al.*, 2003; Cashner, 2004; Jordão, 2004; Brown, 2003; Friesen & Chivers, 2006; Wisenden *et al.*, 2004; Hamdani *et al.*, 2000; Kristensen & Closs, 2004; Wisenden *et al.*, 2003).

Peixes neotropicais, pertencentes à superordem Ostariophysi, possuem como característica um sistema peculiar de liberação e/ou reações a substância de alarme, além do Aparato Weber, como uma evolução adaptativa anti predação (Moyle & Cech Jr, 2000). Esse grupo possui cerca de 6.500 espécies descritas, representando, aproximadamente, um quarto de toda a ictiofauna conhecida para água doce (Nelson, 2006). Seu sucesso adaptativo pode ser atribuído ao o desenvolvimento de um sentido de audição consideravelmente mais sensível que em qualquer outro grupo de peixes e de um sistema de alarme, realizado através de comunicação química (Moyle & Cech Jr, 2000). Apesar de todo este aparato capaz de responder à substância de alarme, é interessante salientar que peixes não liberam essa substância, mesmo que ameaçados por predadores, a menos que sua pele sofra algum tipo de dano (Smith, 1992).

Em peixes, a substância de alarme é criada e armazenada em células claviformes especiais da epiderme, as células de substância de alarme, as quais foram identificadas e descritas por Pfeiffer em 1960 (Duboc, 2007). Deduz-se que tal substância é constituída por um conjunto variável de compostos complexos contendo oxido nítrico (Pfeiffer, 1985 *apud* Bosio, 1994). A liberação desta substância na água pode invocar uma série de comportamentos, tais como a busca por refúgios, congelamento e fuga (Chiver & Smith, 1994; Wisenden & Smith, 1997). Comportamentos de desorientação (Duboc, 2007), diminuição da taxa de alimentação (Jachner, 1996), natação rápida (Jachner, 1996; Wisenden *et al*, 2004; Chiver & Smith, 1994), deslocamento para o fundo e diminuição da atividade natatória (Cordi *et al*. 2005) também foram registrados em outros estudos.

Conhecendo-se a natureza da substância de alarme, o modo com que uma determinada espécie reage à liberação dessa substância e qual a influência sobre as diferentes populações em um determinado ambiente, cria-se um banco de informações que pode ser útil para direcionar futuras intervenções ambientais. A tentativa do presente trabalho vem no sentido de se avaliar o uso dessa substância como possível sistema biológico para repulsão de peixes de áreas de risco em usinas hidrelétricas. Dados sobre substância de alarme em peixes no Brasil são escassos, de modo que o presente trabalho gera informações inéditas sobre esse assunto.



## 3 – METODOLOGIA

### 3.1 – Biologia e seleção das espécies utilizadas nos testes

A seleção das espécies utilizadas no presente estudo, tanto nos experimentos realizados no Brasil quanto nos EUA, foi norteada por três condições principais: i) a conveniência para captura e facilidade de manutenção em laboratório, ii) o risco de mortandade em turbinas hidráulicas tendo em vista os relatos de abundância destas espécies em eventos de parada de máquinas ou iii) a importância do grupo em função de seu status de conservação local ou de graus de ameaça, no caso das espécies norte-americanas.

Dessa maneira, quatro espécies foram selecionadas para serem estudadas, sendo duas brasileiras e duas norte-americanas. As espécies brasileiras utilizadas foram o piau-três-pintas *Leporinus reinhardti* e o mandi-amarelo *Pimelodus maculatus*, enquanto as norte-americanas foram o Splittail *Pogonichthys macrolepidotus* e o Delta smelt *Hypomesus transpacificus*.

#### 3.1.1 – Piau-três-pintas

O piau-três-pintas, *Leporinus reinhardti* é um peixe endêmico da bacia do Rio São Francisco, que habita preferencialmente os canais dos rios e contribui para a pesca comercial e esportiva, podendo ser capturado durante todo o ano. É considerada como uma espécie de porte mediano e abundante ao longo da bacia do rio São Francisco e seus tributários (Alves & Pompeu, 2005). Além disso, assim como várias outras espécies do gênero *Leporinus*, realizam migrações reprodutivas (Sato *et al.*, 1987).

Sua escolha para ser utilizada como uma das espécies alvo dos testes com luz estroboscópica baseou-se na facilidade de captura, transporte e manutenção da espécie em laboratório. Santos *et al.* (2007) desenvolveram testes com piau-três-pintas mantendo-os no laboratório do CPH, de modo que a continuidade da manutenção de novos indivíduos capturados foi facilitada. Além disso, a sua ocorrência em eventos de mortandade em turbinas durante parada de máquinas, apesar de ser registrada em menor abundância se comparada com mandis-amarelos, incentivou ainda mais sua utilização.

### 3.1.2 – Mandi-amarelo

Outra espécie utilizada no presente trabalho é o mandi-amarelo *Pimelodus maculatus*. O mandi-amarelo é um Siluriforme, da família Pimelodidae, com ampla distribuição pela América do Sul, nas bacias dos rios Paraná e São Francisco (Lundberg & Littmann, 2003). Em geral, pode alcançar até 36 cm de comprimento padrão e 2 kg de peso. É considerado, portanto, um peixe de pequeno a médio porte, possuindo em sua nadadeira dorsal e peitoral os primeiros raios ósseos duros e com serrilhado retrovertido (Paiva, 2002). Vários estudos têm sido conduzidos na tentativa de elucidar o comportamento reprodutivo dessa espécie (Godinho, 1972; Godinho *et al.*, 1977; Kara, 1991; Bazzoli *et al.*, 1997; Sato, *et al.*, 1999; Braga, 2000; Braga, 2001; Vono *et al.*, 2002; Dei Tos *et al.*, 2002, Ribeiro, 2003) e poucos relatam padrões de deslocamento (Godoy, 1967; Godoy, 1975; Basile-Martins, 1978; Dei Tos, 2002).

Santos & Formagio (2000) destacaram o mandi-amarelo dentre as espécies mais abundantes em reservatórios ao longo do rio Grande, assim como vários outros estudos também relataram a mesma característica para outros reservatórios da bacia do Alto Paraná (Agostinho, 1995 apud Dei Tos *et al.*, 2002; Agostinho *et al.*, 1997; Agostinho, *et al.*, 1999; Braga, 2001; Dei Tos *et al.*, 2002; Vono *et al.*, 2002) e para a bacia do rio Grande, especificamente nos reservatórios das UHEs Volta Grande e Igarapava (Braga, 2000, Vono, 2003). Este fato culmina com a questão do mandi-amarelo ser também a espécie mais abundante em eventos de mortandade de peixes quando da passagem ou quando da entrada nos tubos de sucção de turbinas hidráulicas.

Silva (2004) observou, utilizando-se radiotelemetria, a passagem de mandis-amarelos pelas turbinas da UHE Igarapava, localizada no médio rio Grande, no sentido de montante para jusante, estimando em cerca de 70% a mortalidade dos peixes realizando este tipo de deslocamento. Em função destas informações e do fato dos mandis-amarelos serem encontrados em maior abundância em eventos de mortandade de peixes em turbinas durante procedimentos de parada de máquinas, percebe-se que a escolha desta espécie como alvo para o estudo baseou-se, principalmente, nos problemas e passivos ambientais gerados pelos acidentes causados com a espécie.

### 3.1.3 – Delta smelt

O Delta smelt, *Hypomesus transpacificus*, é uma espécie de pequeno porte, pertencente à família Osmeridae cuja distribuição geográfica é restrita, sendo endêmico a áreas de baixa salinidade e a habitats de água doce ao nordeste do estuário da baía de São Francisco, Califórnia, EUA (Bennett, 2005). É considerada como uma espécie bioindicadora, por ter ciclo de vida curto, de praticamente um ano apenas (Sweetnam, 1999).

A literatura indica que diversos estudos têm sido conduzidos para avaliar o *status* atual da ictiofauna da Califórnia e apontam os empreendimentos para abastecimento de água como uma das principais causas para declínio das populações de espécies estuarinas (Danley *et al.*, 2002). O Delta smelt figura entre essas espécies. Estimativas sugerem que cerca de 25% de toda a população é perdida tanto na região do Central Valley Project como na região do State Water Project (Swanson *et al.*, 2005) em função de mortandades nos canais de abastecimento de água. Atualmente a espécie é listada como ameaçada, tanto de acordo com o Ato Federal de Espécies Ameaçadas (Federal Endangered Species Act) de 05 de março de 1993, como de acordo com o Ato de Espécies Ameaçadas da Califórnia (California Endangered Species Act), de 09 de dezembro de 1993 (Sweetnam, 1999). Baseado em capturas de larvas, Wang (1986) e Moyle *et al.* (1992) sugerem que a desova dessa espécie ocorra em habitats de água doce no período de fevereiro a março. Portanto, esse é o período de deslocamentos migratórios de adultos das regiões estuarinas em direção às áreas de desova. Assim, White *et al.* (2007) relatam a entrada de Delta smelt em canais para abastecimento de água e irrigação durante este período e que, as variações sazonais no volume de peixes entrando nestes canais tem implicação direta com o declínio populacional observado.

Dessa maneira, estudos realizados com essa espécie na baía de São Francisco, nos EUA, têm sido de grande relevância, buscando-se identificar diferentes estratégias para conservação da espécie. Sob este aspecto, definiu-se o Delta smelt como alvo dos experimentos conduzidos nos EUA.

### 3.1.4 – Splittail

O Splittail é um ciprinídeo de grande porte, endêmico das bacias hidrográficas da região central da Califórnia, EUA. Em 1994, a espécie foi listada como

ameaçada de acordo com o Ato de Espécies Ameaçadas dos EUA (U.S. Endangered Species Act), de 1993 (Sommer *et al.*, 1997). Meng & Moyle (1995) sugeriram que, de 1980 a 1992, a abundância de splittail nessa região caiu cerca de 62%. Estes autores apontam diversos fatores associados à redução de sua abundância, tais como um período de 6 anos de seca na região, canais para abastecimento de água e baixo recrutamento de indivíduos em função de perda de habitats para desova. Entretanto, a espécie foi retirada da lista de espécies ameaçadas, sendo incluída como Espécie de Atenção Especial (Species of Special Concern) (Feyer *et al.*, 2005).

Os adultos de Splittail migram rio acima em direção ao delta dos rios Sacramento e San Joaquin durante o inverno e primavera, concentrando sua reprodução e desova em planícies de inundação com condições favoráveis para o desenvolvimento dos ovos e das larvas, bem como o crescimento de jovens (Sommer *et al.*, 1997; Daniels & Moyle, 1983 *apud* Sommer *et al.*, 2002 and Feyer *et al.*, 2005). Durante este deslocamento indivíduos da espécie podem entrar nos canais para abastecimento de água, em função da atratividade criada pelo fluxo de água dentro dos mesmos. Daí, eventos de mortandade podem ocorrer pelo contato destes peixes com as bombas hidráulicas instaladas para bombeamento de água para as estações de distribuição.

Portanto, esta espécie foi escolhida como alvo para o estudo em função do grau de ameaça e de seu status atual de conservação nos EUA.

## **3.2 – Captura e transporte dos peixes**

### 3.2.1 – Piau-três-pintas e mandis-amarelos

Os piaus utilizados nos experimentos realizados foram capturados no rio Paraopeba, imediatamente a jusante da barragem de Igarapé, MG. As capturas foram realizadas utilizando-se tarrafas de 5cm de malha (medida entre nós opostos) e cerca de 20m de roda. Assim que capturados os peixes foram selecionados por tamanho e aparente condição de saúde, sendo avaliadas a presença de sinais de contaminação por fungos na superfície externa do corpo.

Os mandis-amarelos foram capturados no reservatório de Furnas, próximo do município de Areado – MG. A captura ocorreu utilizando-se covo (armadilha para peixes), contendo ração em seu interior. O covo foi armado ao final da tarde e retirado na manhã seguinte. Após a retirada da armadilha, os peixes foram selecionados,

qualitativamente, por tamanho e condições de saúde no momento da coleta (peixes com cortes ou perfurações na pele provocadas pelos raios ósseos das nadadeiras e/ou anomalias foram evitados).

Para transporte dos piaus, os peixes selecionados foram colocados em caixas de fibra de vidro com 160L de capacidade (Transfish E11000, Bernauer®) contendo água do próprio rio. Já para os mandis-amarelos, os peixes selecionados foram transferidos para caixa de transporte de 500L de capacidade (Transfish E-11001, Bernauer®) contendo água do próprio reservatório.

Para ambas as espécies utilizou-se Labcon Protect® (80mL para 160L) para proteção da camada de muco da pele e sal grosso, na proporção de 10g para cada 100L, para estimular a produção de muco. Essas medidas visaram reduzir o estresse causado durante o transporte, uma vez que o muco produzido possui diferentes funções fisiológicas nos peixes, dentre elas a proteção contra microrganismos (Moyle & Cech Jr, 2000).

Durante o transporte a aeração da água foi mantida através da instalação de compressores de ar ligados a um conversor de voltagem (12v-120v) no interior do veículo de transporte. Para os piaus, o tempo de transporte foi de, aproximadamente, 1 hora até o laboratório do Centro de Pesquisas Hidráulicas e de Recursos Hídricos (CPH/UFG). Já os mandis-amarelos foram transportados dentro de um período de aproximadamente cinco horas até o CPH.

Após o transporte os peixes foram transferidos da caixa de transporte para os aquários de manutenção. Antes da transferência dos peixes foram medidas as temperaturas da água da caixa de transporte e do aquário de manutenção, a fim de se evitar mortandade associada a estresse térmico (Portz *et al.*, 2006). Quando registradas variações de temperatura entre a caixa de transporte e o aquário, aquecia-se a água do compartimento com temperatura mais baixa até que fosse alcançado o equilíbrio, aumentando-se em 1°C /hora a temperatura.

### 3.2.2 – Delta smelt

Para os testes realizados com o Delta smelt em laboratório utilizaram-se peixes provenientes de estação de piscicultura localizada no estado da Califórnia próximo ao Tracy Fish Collection Facility (TFCF). Cerca de 700 peixes selecionados na estação de piscicultura foram transportados até o laboratório do US Bureau of

Reclamation, em Denver, no estado do Colorado. Após a seleção os peixes foram transportados em 6 bombonas plásticas de cerca de 100L cada, através de uma minivan. Para reduzir o estresse do transporte foram utilizadas bombonas de cor preta e adicionando-se sal grosso à água, na proporção de 10g para cada 100L. Durante todo o trajeto, que teve duração de cerca de 22 horas, monitorou-se a temperatura da água que foi mantida em torno de 17°C. Para aeração das bombonas foram utilizados balões de oxigênio instalados individualmente para cada bombona.

Ao chegarem ao laboratório do US Bureau of Reclamation (USBR) em Denver, os peixes foram transferidos para tanques circulares de fibra de vidro onde foram mantidos. Durante a transferência, buscou-se equilibrar a temperatura da água das bombonas de transporte com os tanques de manutenção para se evitar a morte dos peixes por estresse térmico.

### **3.3 – Sistemas de manutenção dos peixes em laboratório**

#### 3.3.1 – Laboratório de Manutenção de Peixes do CPH/UFMG

Após o procedimento de transporte dos peixes para o laboratório do Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais (CPH/UFMG), todos foram transferidos para os aquários de manutenção. O sistema de manutenção do CPH consistiu de dois aquários retangulares, um de 1800 L e o outro de 1100 L, ambos com sistema de circulação da água automática e aeração contínua, contendo também um sistema de filtração da água.

Estes aquários foram projetados com sistema de circulação da água automática e aeração contínua, produzida por compressor de ar conectado a tubos plásticos ao longo dos aquários. A circulação da água foi mantida utilizando-se bombas de 0,5cv. A água circulante passava por duas caixas de 200L, montadas junto aos aquários, onde foram montados filtros biológicos. Os filtros foram montados contendo tiras de PVC e feltro de algodão. Portanto, o sistema de filtração do aquário foi estabelecido baseado na recirculação de água (Summerfelt *et al.*, 2001).

Feita a transferência, os peixes permaneceram por cerca de 15 dias no aquário de manutenção para aclimação às condições do novo ambiente. Durante este período os peixes ficaram em observação a fim de se verificar possíveis sinais de doenças causados pela presença de fungos e/ou bactérias, devido à baixa de imunidade causada

pelo estresse, bem como os danos físicos e mortalidade. A mortandade de mandis-amarelos em laboratório exigiu maior atenção e várias adaptações ao sistema de manutenção do CPH, tendo sido realizadas modificações nos aquários e nas medidas de controle de doenças e estresse nos peixes. A baixa imunológica registrada para os mandis-amarelos foi considerável após os primeiros dias em laboratório e, diariamente, peixes morreram infectados por fungos e/ou bactérias. Por três vezes consecutivas, boa parte ou até mesmo a totalidade dos peixes transportados morreram após um período de um a três dias no laboratório. Em função destes problemas, os testes com mandis-amarelos só foram possíveis a partir da segunda metade dos estudos.

Uma das adaptações realizadas foi a instalação de uma cortina escura, feita com lona de cor preta, ao longo das paredes laterais dos aquários, para diminuir a intensidade luminosa e reduzir o estresse, tendo em vista o fato do mandi-amarelo ser considerada espécie de fundo e de hábito noturno. Além desta modificação, outros três tanques circulares de 500L e uma caixa retangular de 10.000L foram projetados e instalados com sistema de recirculação e filtragem de água para manutenção dos peixes (FIGURA 3.1A e B). A construção destes novos sistemas de manutenção permitiu uma melhor redistribuição dos peixes nos aquários de manutenção e a utilização de áreas isoladas para tratamento de peixes infectados, mantendo-os em quarentena nos tanques circulares.

Além disso, para manutenção do bem-estar dos peixes, tratamentos com diferentes produtos responsáveis pelo controle da concentração de cloro da água (Dechlor-Ease, Mydor®), eliminação de fungos e bactérias infecciosas (Fungus-Ease, Mydor®) e proteção da camada de muco da pele (Wound-Ease, Mydor®) dos peixes foram realizados. Assim, nos primeiros dias de manutenção dos peixes utilizaram-se, de acordo com a proporção de diluição recomendada pelo fabricante para o volume de água de cada aquário, aplicações a cada dois dias dos produtos relacionados.

A alimentação foi realizada diariamente com ração pelotizada flutuante Pirá 28 (Guabi®) colocando-se cerca de 50g de ração no aquário. O controle da quantidade de ração oferecida aos peixes foi realizado levando-se em consideração o volume de ração não ingerida e sedimentada no fundo do aquário. Para os testes de substância de alarme, esse controle foi realizado levando-se em conta que a má alimentação pode reduzir as reações de alarmes em certas espécies (Smith, 2000). Para os testes de cortina de bolhas os peixes foram alimentados sempre às 18 horas, tendo em vista que os

experimentos iniciaram-se sempre neste mesmo período e que o alimento foi utilizado como estímulo à passagem dos peixes pela barreira de bolhas no aquário.

Além disso, monitorou-se o aquário de manutenção quanto aos valores de pH, amônia, nitrato e temperatura da água para detecção de alterações nestes parâmetros. Esses dados foram fundamentais para nortear as ações de limpeza dos filtros biológicos e renovação da água do aquário, que em média, ocorreu quinzenalmente.

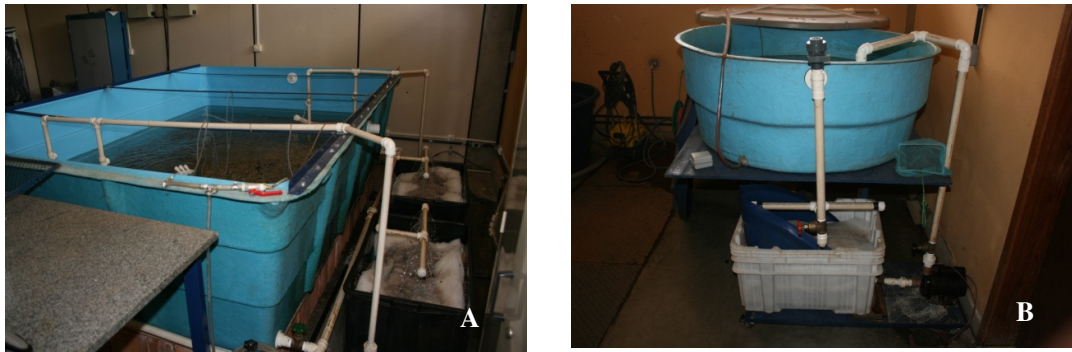


FIGURA 3.1–Tanques para manutenção dos peixes no CPH com 10.000L de volume (A) e tanques circulares de 500L de volume para tratamento de peixes e manutenção de peixes em quarentena (B).

### 3.3.2 – Laboratório de manutenção de peixes do USBR/Denver Office

Os peixes transportados para o laboratório localizado em Denver foram mantidos em tanques circulares de fibra de 500L de volume (FIGURA 3.2A). Ao todo, 12 tanques foram utilizados para manutenção de Delta smelt em laboratório. Todos os tanques foram mantidos através de sistema de recirculação de água, sendo que todo o volume de água foi bombeado para um grande filtro biológico de 1.000L de capacidade (FIGURA 3.2B). Tendo em vista que os tanques encontravam-se conectados no que diz respeito às instalações hidráulicas, toda a água filtrada retornava aos tanques após passagem pelo filtro.

Os peixes foram monitorados diariamente para retirada de indivíduos mortos e verificação da alimentação. A alimentação foi realizada utilizando-se ração pelotizada flutuante em períodos de 12 em 12 horas. A quantidade de ração utilizada e os horários de alimentação foram controlados pelo sistema automatizado do laboratório.





FIGURA 3.2– (A) Vista parcial do laboratório do USBR mostrando os tanques para manutenção dos peixes e (B) o filtro biológico utilizados.

### 3.4 – Aparatos de teste utilizados em laboratório

Diferentes aparatos de teste foram utilizados para realização dos experimentos em laboratório. Para os testes de luz estroboscópica e cortina de bolhas realizados no CPH o aparato experimental foi o mesmo, modificando-se apenas o local de instalação e o tipo de equipamento utilizado para produção da luz ou das bolhas. Para os testes com luz estroboscópica realizados no laboratório do USBR em Denver, EUA, foi utilizado aparato experimental existente no local e que simulava condições de campo. Já para os testes realizados com substância de alarme utilizou-se um modelo de escada de peixe existente no CPH adaptado para as condições específicas deste experimento.

#### 3.4.1 – Luz estroboscópica e cortina de bolhas – testes no CPH e no USBR

Para realização dos testes de luz estroboscópica no CPH foi utilizado aquário experimental com dimensões de 200 x 150 x 50cm e 1.100L de volume, contendo os mesmos sistemas de aeração e filtração descritos para o aquário de manutenção. De acordo com a FIGURA 3.3, observa-se que o aquário possui um vão central, o que possibilitou a aplicação do estímulo a ser testado durante os experimentos de forma restrita a apenas um setor do aquário. Para isso, todo o aquário foi revestido com papel preto fosco para evitar o espalhamento da luz estroboscópica, isolando-se a área em que

o equipamento foi instalado. Apenas uma janela de observação de 80 cm foi mantida em uma das paredes do aquário para que a movimentação dos peixes fosse registrada.

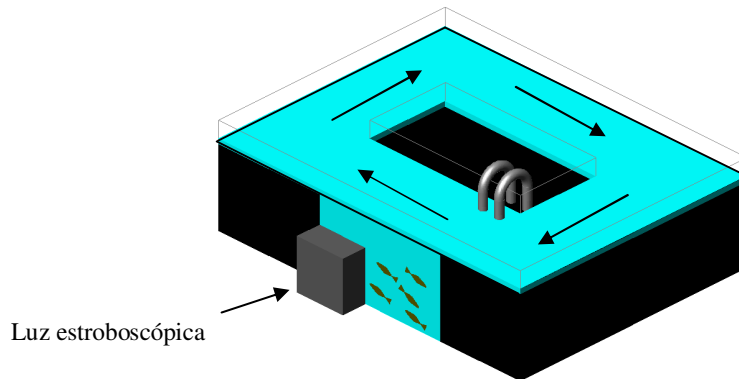


FIGURA 3.3– Esquema do aquário de testes. As setas mostram o sentido do fluxo de água.

No canto esquerdo desta janela foi instalada uma fonte de luz estroboscópica de 750 W de potência e amplitudes mínima e máxima de emissão de flashes de 92-400 flashes/min, respectivamente. Além disso, para iluminação do aquário durante os testes realizados à noite, instalou-se uma luminária com luz vermelha logo acima da janela de observação (FIGURA 3.4).

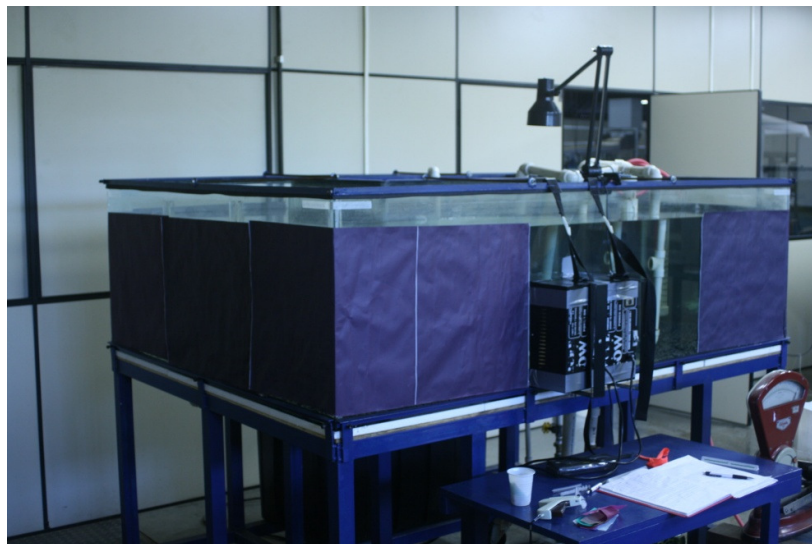


FIGURA 3.4 – Bancada de testes utilizada mostrando o local de instalação da luz estroboscópica e a luminária com luz vermelha.

Já para os testes com cortina de bolhas realizados no CPH o mesmo aquário de teste foi utilizado, alterando-se apenas o sistema de repulsão a ser testado e o seu

local de instalação dentro do aquário. Para melhor aclimatação dos peixes o aquário foi recoberto com papel preto fosco, sendo que apenas a parede do aquário onde encontrava-se instalado o sistema de cortina de bolhas foi mantido sem cobertura para observação dos peixes. Na parede oposta àquela onde foi instalada a cortina de bolhas colocou-se uma tela para impedir a passagem dos peixes por uma das laterais do aquário. Dessa forma, apenas a lateral onde encontrava-se a cortina de bolhas conectava as duas seções de maior comprimento do aquário (FIGURA 3.5).

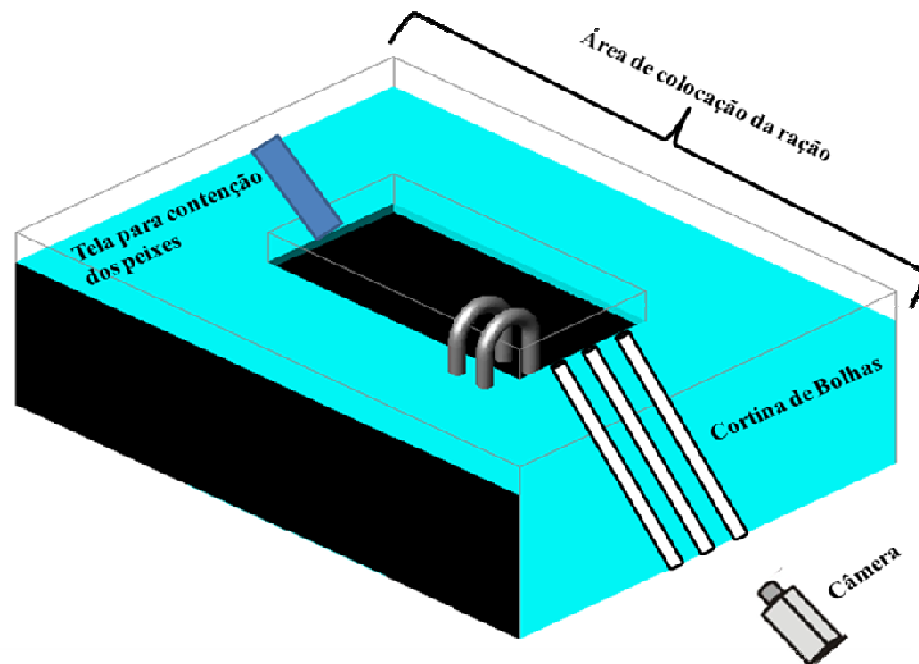


FIGURA 3.5 – Desenho esquemático do aquário experimental mostrando a lateral onde foi instalada a cortina de bolhas, a lateral onde foi colocada a ração durante os testes e o posicionamento da câmera para monitoramento da passagem dos peixes.

O sistema de bolhas utilizado nos experimentos foi montado em tubulação de PVC de  $\frac{3}{4}$  polegadas de diâmetro, conectado por meio de mangueiras plásticas a um compressor de ar de 175L de capacidade e 3 hp de potência. Na tubulação foram feitas pequenas perfurações de 0,5mm de diâmetro. Para controle da passagem do ar para a tubulação foi instalado um registro gaveta. Próximo ao registro instalou-se um manômetro para controle da pressão de ar injetada no sistema. A tubulação foi então fixada a uma base de concreto e colocada em uma das seções do aquário experimental, conforme indicado na FIGURA 3.6.

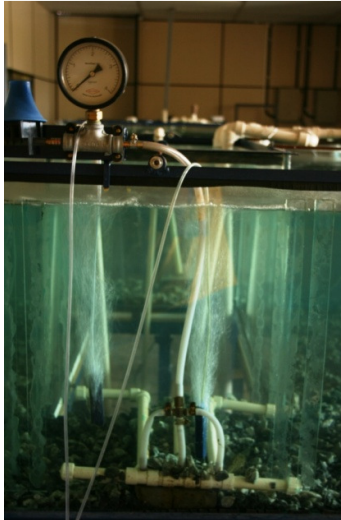


FIGURA 3.6 – Sistema de cortina de bolhas instalado em uma das seções do aquário experimental mostrando o manômetro utilizado para controle da pressão aplicada ao sistema.

Já os testes de luz estroboscópica realizados no USBR, em Denver, foram conduzidos em um aparato experimental já existente no laboratório que foi adaptado para as condições necessárias à realização dos testes com luz. Os testes conduzidos no laboratório localizado no Denver Federal Center foram realizados em um modelo do tanque de coleta de peixes existente no TFCF. Neste modelo é possível simular toda operação real de salvamento de peixes no tanque existente no TFCF em Tracy, Califórnia. O tanque foi construído utilizando-se fibra de vidro revestida com epoxi, tais como aqueles existentes no TFCF. O revestimento com epoxi, no caso dos tanques do TFCF, visa reduzir possíveis injúrias na pele dos peixes em função do contato direto com o concreto. O modelo reduzido do tanque cilíndrico possui dimensões de 6,17m de diâmetro e cerca de 2m de altura, ao passo que no TFCF sua altura alcança 4,7m.

A operação do tanque de coleta no laboratório foi realizada pelo laboratório de engenharia hidráulica do USBR, sendo que o abastecimento do tanque foi realizado bombeando-se água do reservatório subterrâneo e direção ao tanque utilizando-se uma bomba de 100hp. Tal como no tanque existente no TFCF, o modelo construído em laboratório possui em seu centro uma tela de metal anexada a um sistema hidráulico que realiza seu içamento para escoamento do volume de água contido no tanque em direção a um reservatório central. Em laboratório, os peixes coletados no reservatório foram soltos em uma caixa de madeira retangular onde foram coletados e levados novamente aos tanques de manutenção. A FIGURA 3.7 ilustra o modelo do tanque de coleta construído no laboratório e alguns de seus principais componentes.



FIGURA 3.7 – (A) Visão geral do modelo do tanque de coleta de peixes que simula o tanque existente no TFCF; (B) Detalhe da tela central que separa o tanque do reservatório utilizado na coleta, mostrando (seta) o sistema hidráulico de içamento da tela.

### 3.4.2 – Substância de alarme

Os testes realizados para avaliação da produção e resposta de mandis- amarelos à substância de alarme foram conduzidos em aparato experimental contendo duas áreas de acumulação de água e um corredor conectando essas áreas. De acordo com a FIGURA 3.8, considerando-se a visão frontal do aquário, preparou-se uma área enriquecida (AE), contendo pequenos seixos, substrato com pequenas pedras e plantas aquáticas. Esta área, portanto, apresentava regiões de refúgio. A outra área lateral manteve-se desprovida de qualquer tipo de enriquecimento, sendo chamada de área não enriquecida (ANE). Por último, o corredor (CORR) que também permaneceu sem nenhum tipo de enriquecimento.

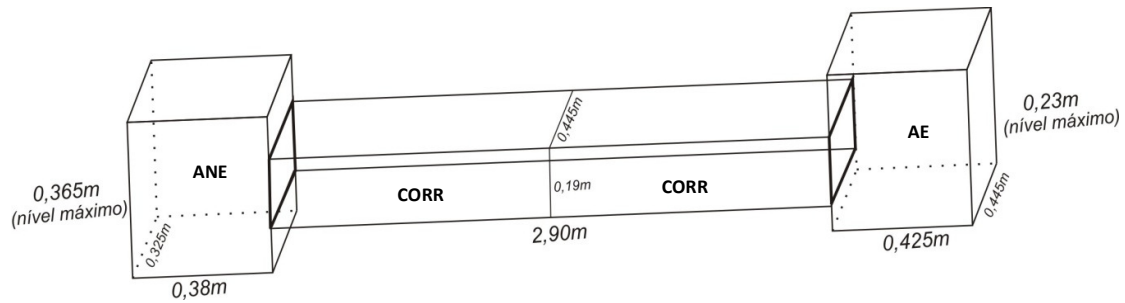


FIGURA 3.8 – Esquema do aquário experimental utilizado nos testes realizados com mandis-amarelos para avaliação da presença de substância de alarme em sua pele. AE = área enriquecida; CORR = corredor; ANE = área não enriquecida.

### 3.5 – Área de estudo em campo – Tracy Fish Collection Facility

Uma das contribuições do intercâmbio internacional realizado durante o presente estudo foi a possibilidade de testar o uso de luz estroboscópica em campo. O desenvolvimento de parte dos experimentos em campo foi fundamental tanto para permitir a aquisição de dados acerca da eficiência do sistema testado para a conservação das espécies norte-americanas como para possibilitar o ganho de experiência sobre instalação e funcionamento do equipamento em campo, buscando-se projetar para o futuro a realização de testes em campo no Brasil. Dessa forma, o local escolhido para realização dos testes foi o Tracy Fish Collection Facility.

O Tracy Fish Collection Facility (TFCF) foi instalado em um dos canais para abastecimento de água existente na região do Central Valley, na Califórnia, próximo à Baía de São Francisco. Esta região caracteriza-se por ser uma área estuarina, próxima ao delta dos rios San Joaquin e Sacramento. Este delta é responsável pela maior parte da água utilizada nos sistemas de abastecimento da Califórnia (FIGURA 3.9).

O TFCF é, basicamente, uma estação de coleta de peixes que consiste em barreiras físicas (grades) instaladas ao longo do Delta Mendota Canal para contenção de lixo e macrófitas aquáticas e para direcionamento dos peixes para tanques de coleta, de modo a tornar possível o retorno desses peixes à regiões seguras do estuário. O Delta Mendota Canal foi construído para escoamento de água do rio Old em direção à estação de abastecimento e bombeamento de água para distribuição às cidades e fazendas nessa região (FIGURA 3.10).



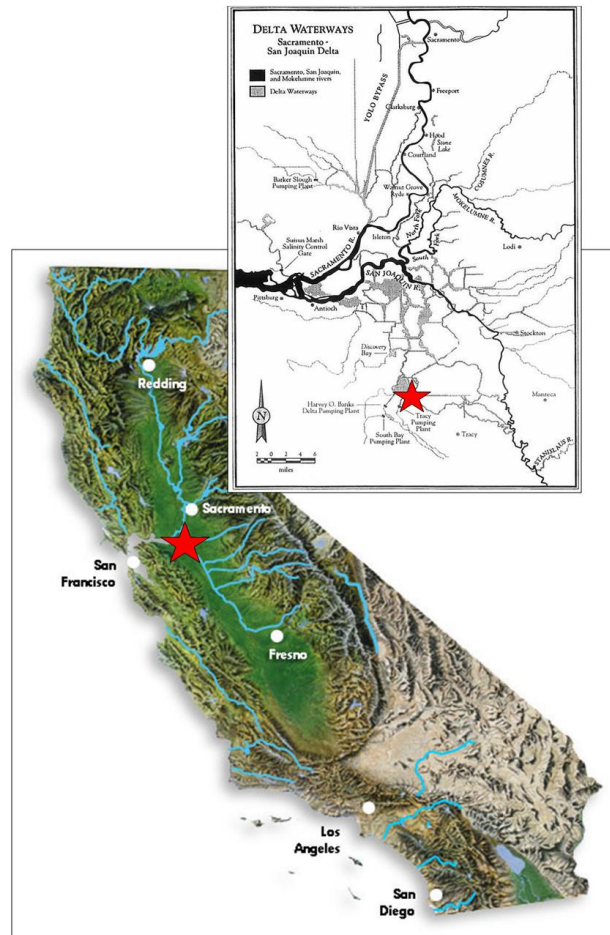


FIGURA 3.9 – Localização do Tracy Fish Collection Facility na região do delta dos rios San Joaquin e Sacramento, Central Valley, Califórnia, EUA  
 Autor: Brian Deason

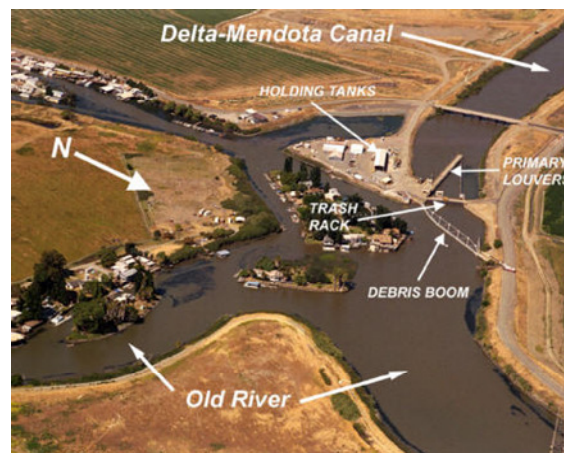


FIGURA 3.10 – Vista aérea da região do Delta Mendota Canal e do rio Old, mostrando as estruturas do Tracy Fish Collection Facility (TFFC). Old River = rio Old; Holding Tanks = tanques de coleta; Primary Louvers = primeira seção de grades; Trash Rack = grade para coleta de material particulado de grande porte; Debris Boom = estrutura para desvio de material particulado de grande porte.  
 Fonte: [http://www.usbr.gov/pmts/tech\\_services/tracy\\_research/tracyfacility/history.html](http://www.usbr.gov/pmts/tech_services/tracy_research/tracyfacility/history.html)

A estação (TFCE) é dividida em dois canais dentro do Delta Mendota Canal, chamados de canal primário e canal secundário. No canal primário, encontra-se a primeira seção de grades (louvers) para guiar os peixes. Essa primeira seção de grades guia os peixes em direção à quatro tubulações que compõem o sistema de bypass. Esse sistema conecta o canal primário ao canal secundário. Cada um dos tubos do bypass possui 91,4cm de diâmetro e, além de fornecerem água, permitem a passagem de peixes para o canal secundário (FIGURA 3.11).

Os peixes guiados através das grades atravessam o bypass e alcançam o canal secundário. No canal secundário, duas seções de grades encontram-se instaladas, paralelamente entre si, em ângulo de 15° em relação ao escoamento. A profundidade máxima no canal secundário é de 4,9m e as grades paralelas atravessam toda a largura do canal, tendo 2,4m de comprimento. A primeira grade foi instalada com o objetivo de guiar os peixes em direção a um bypass retangular de 15,3cm de largura, instalado junto à parede lateral do canal secundário. Esse bypass, chamado de “falso bypass”, se abre novamente no canal secundário 1,7m à frente da entrada para o bypass que se comunica com os tanques de coleta (bypass verdadeiro). A segunda grade neste canal foi instalada com o objetivo de guiar para o bypass verdadeiro os peixes que, porventura, tenham passado através da primeira grade ou que tenham saído do “falso bypass” entrando novamente no canal secundário e não nos tanques de coleta (FIGURA 3.11).

Dessa forma, os peixes guiados pelas grades em direção aos tanques de coleta permanecem ali por várias horas. O tanque de coleta é cilíndrico e contém em seu interior um reservatório, conectado a um pórtico móvel, que pode ser içado e conectado a um caminhão tanque para transferência dos peixes coletados em um determinado ciclo. Uma tela de metal isola o reservatório central do restante do tanque, de modo a possibilitar o armazenamento de água no tanque até o momento da coleta. Durante todo o período de operação do tanque, a água é mantida em circulação, sendo constantemente renovada.

Após certo período e, dependendo do volume de peixes coletados, inicia-se a operação do tanque para transferência dos peixes ao caminhão. Geralmente, os ciclos de coleta são realizados a cada 12 horas. Neste momento, a tela central é içada, de modo a permitir que todo o volume contido no interior do tanque seja transferido para o reservatório central. Em seguida o reservatório central é içado e carregado, através do pórtico, até o caminhão-tanque, para onde todo o conteúdo do reservatório é transferido.



Feito isso, o caminhão parte da estação e leva os peixes de volta à região do estuário, soltando-os em locais seguros.

Os peixes que passam através das duas grades no canal secundário retornam ao Delta Mendota Canal. A jusante das duas grades encontram-se instaladas redes que podem ser colocadas no canal para captura desses peixes.

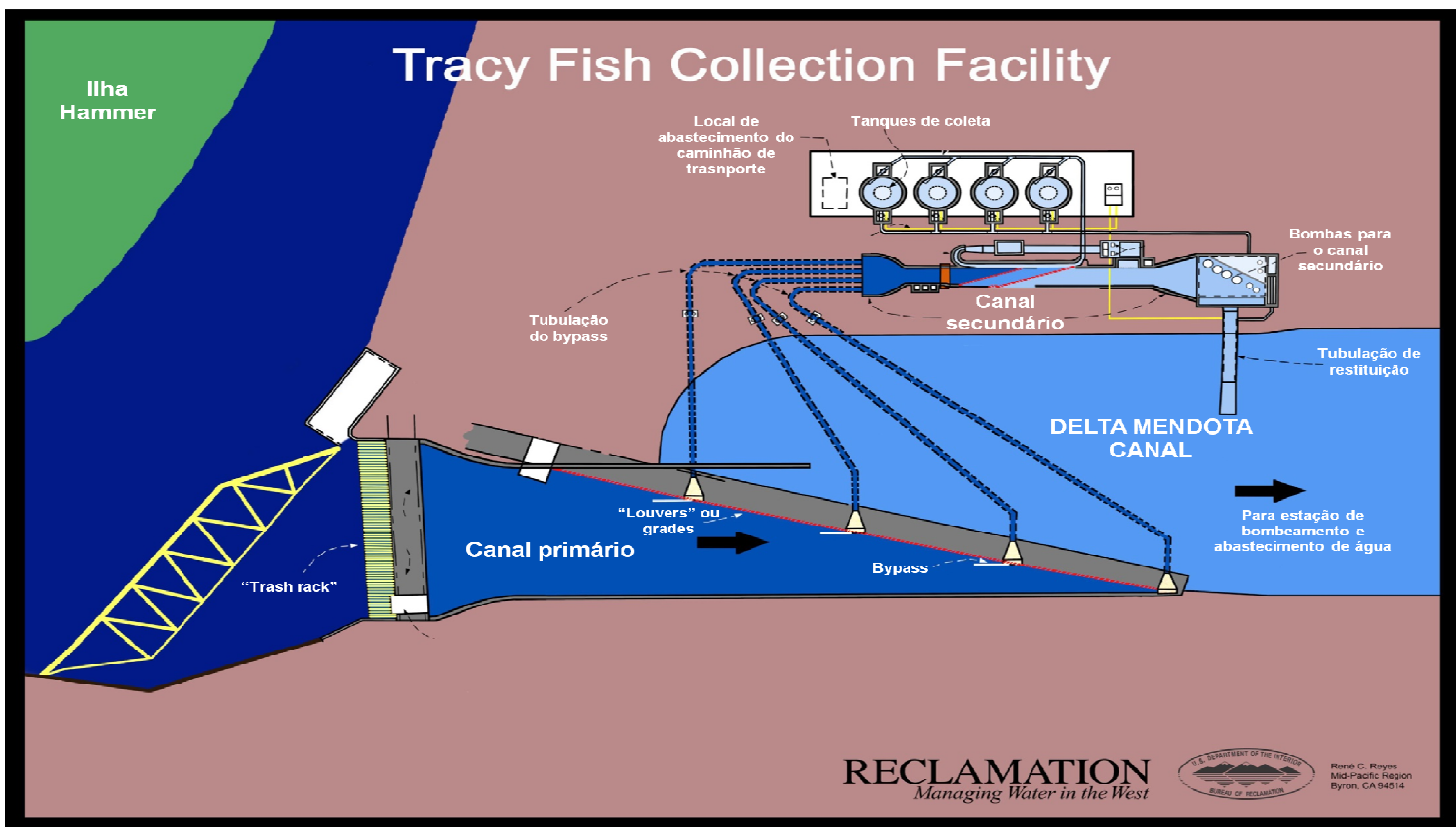


FIGURA 3.11 – Figura esquemática do Tracy Fish Collection Facility.

Adaptado de Rene Reyes.

### **3.6 – Protocolos experimentais e análise dos dados**

#### 3.6.1 – Luz estroboscópica

Os protocolos experimentais para realização dos testes com luz estroboscópica foram desenvolvidos em diferentes situações. Parte dos testes foi realizado em laboratório, no CPH/UFMG e no USBR/Denver, enquanto outra parte foi realizada em campo no TFCF, Califórnia – EUA. As espécies testadas no CPH/UFMG foram o piau-três-pintas e o mandi-amarelo, ao passo que no USBR/Denver utilizou-se o Delta smelt como espécie-alvo. Em campo, duas espécies norte-americanas foram testadas utilizando-se luz estroboscópica, sendo o Splittail e o Delta smelt as espécies alvo. Portanto, a descrição dos protocolos experimentais desenvolveu-se diferentemente em função do local de realização dos testes e dos equipamentos disponíveis.

##### 3.6.1.1 – CPH/UFMG

Os testes com luz estroboscópica realizados no CPH foram executados em dois períodos distintos, levando-se em consideração dia e noite. Independentemente da espécie testada, para cada período (dia ou noite) de realização dos experimentos os grupos experimentais foram definidos como: i) Controle – luz estroboscópica desligada; ii) 92 flashes/min e iii) 360 flashes/min. A intensidade luminosa utilizada nos testes variou entre 360-380 lux. A seleção da máxima frequência e intensidade luminosa utilizada baseou-se no limite gerado pelo equipamento utilizado. A frequência de emissão de flashes foi medida utilizando-se um tacômetro digital, ao passo que a intensidade luminosa foi medida através de luxímetro digital.

Todos os experimentos (controle e teste) tiveram duração de uma hora, sendo que para cada grupo experimental foram realizadas réplicas, de modo que, ao todo, foram realizados 12 experimentos, contabilizando-se 120 horas de observação para o grupo controle e 120 horas para o grupo teste, sendo 60 horas no período da manhã e 60 durante a noite. Durante este período, a passagem de piau-três-pintas pelo visor foi contabilizada por observadores humanos, sendo os peixes contados e discriminados através do sentido de sua movimentação, ou seja, subida ou descida pelo visor do aquário. Já os movimentos de subida e descida de mandis-amarelos foram registrados através de vídeos realizados com uma câmera JVC Everio GZ-MG 130U. Definiu-se

como movimentação de subida a passagem dos peixes pela janela de observação do aquário em movimento contrário ao fluxo de água, enquanto o movimento de descida foi considerado aquele em que o peixe foi registrado na janela de observação deslocando-se no mesmo sentido que o fluxo de água. A FIGURA 3.12 ilustra, esquematicamente, o sentido de passagem dos peixes.

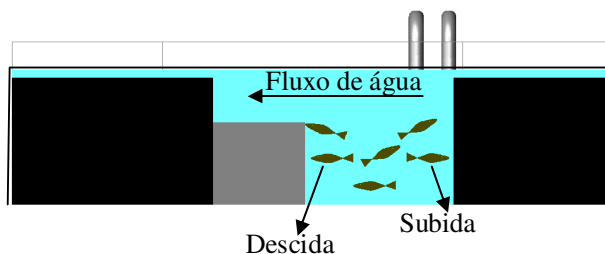


FIGURA 3.12 – Esquema de visão frontal do aquário mostrando o sentido de deslocamento dos peixes, subida – contra o fluxo de água e descida – a favor do fluxo de água.

Dessa forma, a cada 5 minutos durante o período de uma hora foram contabilizados o número de peixes passando pela janela de observação em movimentação de descida ou subida. Foram contabilizados apenas os peixes que cruzavam por completo a janela de observação. Ressalta-se que os peixes contados não foram identificados individualmente, de modo que um mesmo indivíduo pode ter sido contado várias vezes, sendo o valor registrado equivalente ao número de peixes transitando pela área da janela de observação.

Para os testes realizados com piau-três-pintas foram selecionados 30 indivíduos aclimatados no aquário de manutenção. Os 30 peixes foram pesados, medidos e soltos no aquário experimental. Em média, os peixes mediram 13,9cm de comprimento padrão (CP), pesando 45,8g, tendo amplitudes de 11-17,2cm de CP e 16-75g de peso corporal. Após a soltura, os peixes permaneceram por cerca de 1 hora para início da primeira bateria de testes.

Já para os testes realizados com os mandis-amarelos foram selecionados 150 peixes. Os mandis-amarelos utilizados foram medidos e soltos no aquário experimental em grupos de 30 indivíduos por teste. Em média, os peixes mediram em torno de 13,9cm de comprimento padrão, com amplitudes máxima e mínima de 18,4cm e 10,6cm, respectivamente. Em função de maior estresse dos mandis-amarelos devido à manipulação e um considerável período de inatividade dos peixes após a soltura, os experimentos iniciaram-se cerca de 6 horas após todo este processo.

Para cada grupo experimental testado (controle dia e noite; 92 flashes/min dia e noite, 360 flashes/min dia e noite) calculou-se o trânsito médio de peixes passando através da janela de observação a cada 5 minutos, no período de uma hora. Os dados obtidos foram avaliados quanto a normalidade através do teste de Shapiro-Wilk, tendo em vista sua maior aplicação a grupos amostrais pequenos (Sokal & Rohlf, 1995). A aplicação desse teste demonstrou que os dados apresentaram distribuição não normal para praticamente todas as variáveis, sendo, portanto selecionados testes não-paramétricos para análise dos dados.

Aplicou-se a análise de variância de Kruskal-Wallis para testar se: i) a luz estroboscópica reduz o número de peixes em trânsito através da janela de observação, tanto em movimento de descida quanto em movimento de subida e se ii) a frequência de emissão de 360 flashes/min é a mais eficaz para promover a repulsão de piau-três-pintas. Para os mandis-amarelos esse mesmo teste foi utilizado para se verificar i) diferenças significativas no trânsito de peixes na janela de observação e ii) em qual o período do dia em que essas diferenças apresentam-se significativas. Esse teste foi seguido do teste post-hoc de Dunn para análises pareadas das variáveis testadas e foi realizado utilizando-se BioEstat 5.0®.

Para os experimentos com piau-três-pintas, aplicou-se o teste de Wilcoxon para efeitos de comparação entre duas variáveis, buscando-se avaliar se a eficiência de repulsão dos peixes pela luz estroboscópica foi maior durante a noite utilizando-se frequência de 360 flashes/min. Para os testes com mandis-amarelos esse teste foi aplicado para se avaliar qual a melhor frequência de emissão de flashes para repulsão dos peixes durante a noite, ou seja, 92 ou 360 flashes/min. Para ambas as espécies, este teste também foi realizado para verificar se os peixes podem se aclimatar após 30 minutos de exposição à luz estroboscópica. Para realização deste teste, compararam-se os valores médios do trânsito de peixes pelo visor nos 30 minutos iniciais e finais do experimento, para os movimentos de descida e subida, durante o dia ou noite, separadamente, sendo comparado os valores obtidos para 360 flashes/min para o piau-três-pintas e 92 e 360 flashes/min para mandi-amarelo (Sokal & Rohlf, 1995). Estes testes foram realizados através de pacote estatístico do Statistica 7.0®.

Para todos os testes estatísticos realizados utilizou-se intervalo de confiança de 95%.

## 3.6.1.2 – USBR/Denver

Para realização dos testes no modelo em laboratório foram utilizados 600 indivíduos de Delta smelt. Após cerca de uma semana de aclimação dos peixes às novas condições laboratoriais foram iniciados os experimentos.

Para realização dos testes foi utilizado o modelo do tanque de coleta do TFCF construído no laboratório do USBR em Denver. Para adaptação do modelo do tanque de coleta aos testes de luz instalou-se um bulbo de luz estroboscópica, subaquático e omnidirecional (Flash Technology, FH 920), junto à grade central do tanque circular, em apenas um local. Dessa forma, duas diferentes áreas foram determinadas no modelo do tanque circular, sendo: 1) Área com influência direta da luz estroboscópica e 2) Área sem influência direta da luz estroboscópica. Dessa forma, o trânsito de peixes foi observado em cada uma dessas áreas. Colocou-se uma fita branca com quadrados de 10cm<sup>2</sup> de área no fundo do tanque para se criar um contraste a fim de permitir uma melhor visualização dos peixes.

O bulbo de luz estroboscópica foi conectado ao painel de controle digital (Flash Technology, FTC 190) através do qual as configurações de intensidade e frequência de emissão de flashes foram controladas. Para todos os testes realizados foi mantida a mesma intensidade luminosa, sendo esta a máxima possível obtida no painel de controle. Variou-se apenas a frequência de emissão de flashes, sendo 120 e 360 flashes/min aquelas utilizadas nos experimentos. A intensidade luminosa no tanque experimental foi medida utilizando-se um radiômetro digital, durante o dia e a noite, com a luz estroboscópica desligada e ligada. A TABELA 3.1 apresenta os valores registrados em W/cm<sup>2</sup>.

TABELA 3.1

Intensidades luminosas medidas no tanque experimental durante o dia e noite na área sem influência direta e na área com influência direta da luz estroboscópica.

Intensidade luminosa em W/cm <sup>2</sup>				
	Dia		Noite	
	Área sem influência direta da luz	Área com influência direta da luz	Área sem influência direta da luz	Área com influência direta da luz
<b>Luz desligada</b>	5,70 X 10 <sup>0</sup>	5,72 X 10 <sup>0</sup>	0,36 X 10 <sup>0</sup>	0,18 X 10 <sup>0</sup>
<b>Luz ligada</b>	0,65 X 10 <sup>1</sup>	6,82 X 10 <sup>3</sup>	1,06 X 10 <sup>0</sup>	6,10 X 10 <sup>3</sup>

Para contagem do número de peixes em cada uma das áreas durante os testes realizados instalaram-se câmeras (Sony DCR-SR 42A) no alto do tanque para se obter imagens de ambas as áreas experimentais. Além disso, lâmpadas de infravermelho também foram instaladas junto das câmeras para iluminação do tanque durante a noite. Um desenho esquemático de todo o aparato experimental utilizado pode ser visualizado na FIGURA 3.13.

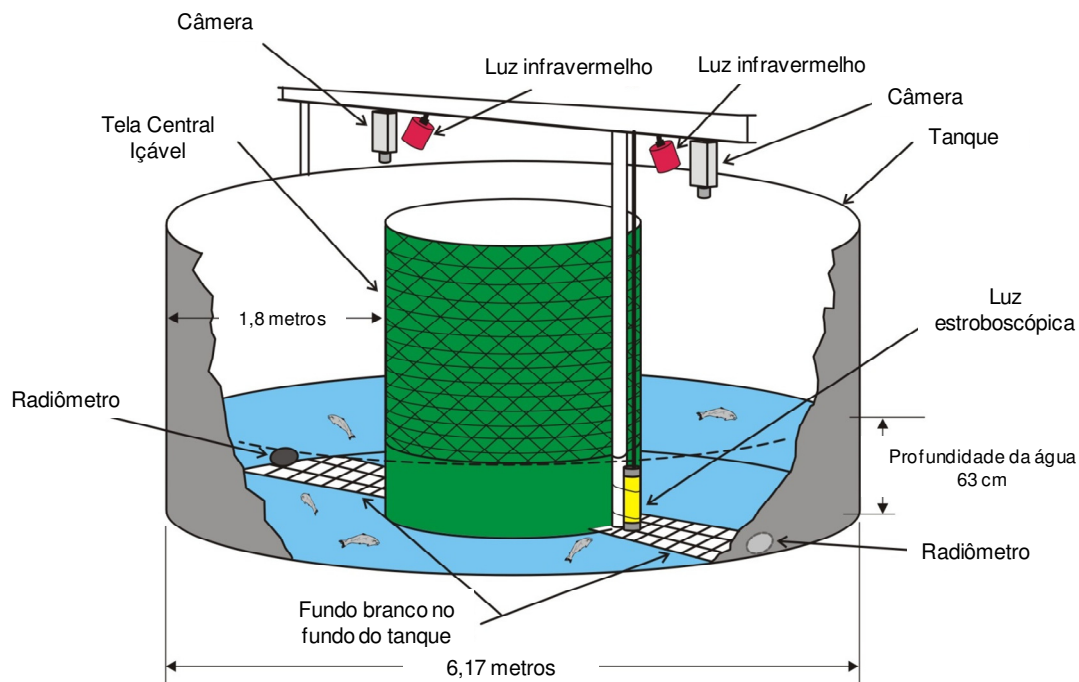


FIGURA 3.13 – Desenho esquemático do tanque circular utilizado para realização dos testes de luz estroboscópica com delta smelt

Para início dos experimentos colocou-se água no tanque até se atingir profundidade de 63 cm, volume suficiente para não ultrapassar a área cega da tela central. Todos os experimentos foram conduzidos com água parada. Para cada teste foram utilizados 50 indivíduos de Delta smelt, liberados no tanque cerca de 15 minutos após seu enchimento. Após esse período, iniciou-se a gravação de imagens pelas câmeras nas diferentes áreas. Foram realizadas 3 repetições para cada grupo de teste, sendo determinados 4 diferentes grupos: 1) 120 flashes/min-dia; 2) 360 flashes/min-dia; 3) 120 flashes/min-noite; 4) 360 flashes/min-noite. Dessa forma, executara-se um total de 12 experimentos.

Os testes conduzidos tiveram duração de 90 minutos, sendo 30 minutos com a luz estroboscópica desligada e 60 minutos com a luz em funcionamento. Durante esse período, avaliou-se a distribuição dos peixes pelas áreas no tanque experimental analisando-se os vídeos dos experimentos. Assim, a cada 5 minutos de vídeo, contou-se o número de peixes em cada uma das áreas experimentais, sendo que só foram contados aqueles presentes na área branca colocada no fundo do tanque. Para avaliação de um mesmo período amostral foram utilizados apenas os 30 minutos iniciais do experimento com a luz estroboscópica ligada para contabilização dos peixes.

Ao final de cada teste mediu-se a turbidez da água, a temperatura em cada uma das áreas e em uma área intermediária no tanque e o comprimento padrão dos peixes utilizados (TABELA 3.2).

TABELA 3.2  
Valor médio de turbidez e temperatura nas diferentes áreas experimentais no tanque de teste e comprimento padrão mínimo e máximo dos peixes utilizados.

Turbidez da água (NTU)	Temperatura da água (°C)			CP mínimo	CP máximo
	Área com a luz estroboscópica	Área sem a luz estroboscópica	Área intermediária		
2,01	21,63	21,65	21,40	36 mm	54 mm

Basicamente, três perguntas foram avaliadas com a realização dos experimentos descritos, sendo:

- Delta smelt é repellido pela luz estroboscópica, se deslocando para áreas sem a influência da luz?
- Durante a noite o efeito de repulsão de Delta smelt pela luz estroboscópica é maior?
- Frequência de 360 flashes/min é mais eficiente para causar repulsão de Delta smelt?

Tendo em vista a distribuição não normal dos dados obtidos, confirmada através da realização do teste de Shapiro-Wilk, utilizou-se o teste não-paramétrico de Wilcoxon para testar todas as hipóteses citadas (Sokal & Rohlf, 1995).

Para a primeira e segunda pergunta o teste realizado comparou o número de peixes na área do tanque experimental sem a influência da luz estroboscópica, durante o



dia e durante a noite. Neste teste buscou-se determinar diferenças significativas entre o número de peixes em cada uma das áreas determinadas no tanque, durante o dia e durante a noite.

Para teste da terceira pergunta comparou-se o número de peixes na área do tanque experimental sob a influência da luz estroboscópica utilizando-se frequências de 120 e 360 flashes/min. Para todos os testes realizados o intervalo de confiança foi de 95% e utilizou-se o pacote estatístico SAS/STAT® 2007.

### 3.6.1.3 – TFCF

Para os testes realizados no TFCF com luz estroboscópica o equipamento utilizado consistiu de um bulbo de luz estroboscópica sub-aquático e omnidirecional, modelo FH 920 (Flash Technology) conectado a um painel de controle digital (Flash Technology, FTC 190) para controle de frequência de emissão de flashes e intensidade luminosa. O bulbo de luz foi instalado no canal secundário do TFCF, sendo que para os testes com Delta smelt a luz estroboscópica foi montada junto à primeira grade neste canal (“Local A”), enquanto para o Splittail o bulbo foi posicionado em dois locais distintos.

Para os testes com o Splittail, o posicionamento do bulbo de luz estroboscópica em locais distintos foi realizado com diferentes objetivos. A localização definida como “Local B” objetivou verificar um possível aumento na eficiência de coleta dos peixes nos tanques de coleta utilizando a luz como instrumento para repelir e guiar os peixes junto à grade em direção ao “bypass verdadeiro”. Já a localização no “Local C” objetivou avaliar se os peixes, em contato com a luz estroboscópica, logo na saída do bypass evitariam essa área e retornariam, portanto, ao canal secundário, reduzindo a eficiência de captura nos tanques de coleta do TFCF. A FIGURA 3.14 mostra um esquema do canal secundário do TFCF indicando os locais de instalação da luz estroboscópica nos diferentes experimentos.

Durante os experimentos realizados com Delta smelt, os peixes foram soltos em em dois locais distintos ( $\Delta A$  e  $\Delta B$ ), sendo o local  $\Delta A$  situado no início do canal secundário e o local  $\Delta B$  logo a jusante da primeira grade desse canal. No ponto  $\Delta A$ , os peixes, imediatamente após a soltura, tiveram contato com a luz estroboscópica, ao passo que no ponto  $\Delta B$  boa parte da energia da luz já havia sido dissipada por reflexão na primeira grade. Tendo em vista que o “falso bypass” localiza-se junto à primeira

grade, buscou-se, dessa maneira, avaliar a efetividade da luz estroboscópica em guiar os peixes para este bypass. Segundo Mark D. Bowen (com. pess.) a eficiência de coleta dos peixes nos tanques é maior quando eles entram no “falso bypass” e torna-se bem reduzida quando eles passam através da primeira grade e tem apenas a segunda grade para guiá-los em direção aos tanques. Daí, os testes realizados com a luz posicionada no ponto  $\Delta B$  buscaram avaliar um possível aumento na eficiência de coleta daqueles peixes que ultrapassaram a primeira grade (FIGURA 3.14). Para o Splittail o ponto  $\Delta A$  foi mantido como ponto de soltura para todos os grupos experimentais.

Para direcionamento da luz instalou-se um defletor de metal junto ao bulbo (FIGURA 3.15 A e B). O bulbo de luz estroboscópica foi conectado ao painel de controle digital, utilizando-se apenas a frequência de 360 flashes/min e máxima intensidade obtida com o painel.



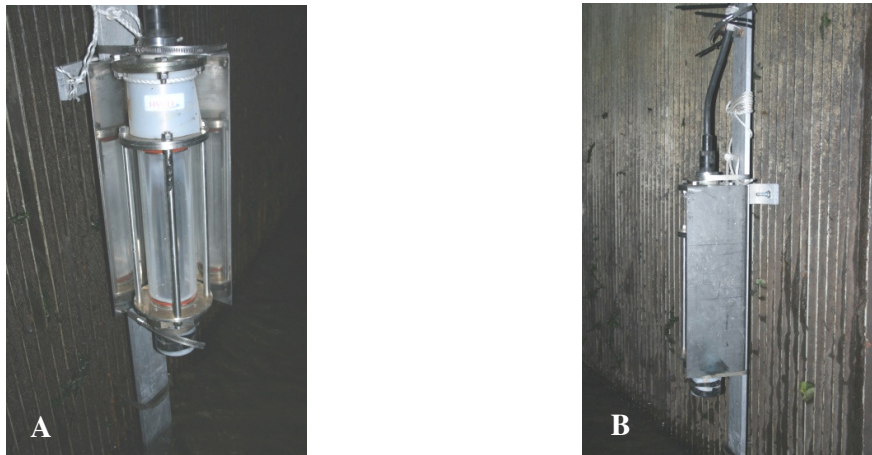


FIGURA 3.15 – Visão frontal (A) e lateral (B) do bulbo de luz estroboscópica instalado junto à primeira grade da seção secundária de grades (louvers) do Tracy Fish Collection Facility (TFCF).

Basicamente, dois grupos experimentais foram definidos para todos os experimentos com as duas espécies-alvo do estudo, sendo esses o grupo controle e o grupo teste. O grupo controle foi considerado como aquele onde foi avaliada a eficiência de coleta dos peixes, nos tanques de coleta, com a luz estroboscópica desligada, ou seja, em condições normais de operação do TFCF. Já o grupo teste foi definido como aquele onde a eficiência de coleta dos peixes nos tanques de coleta foi avaliada com a luz estroboscópica ligada. Para ambos os grupos a eficiência de coleta foi calculada para o dia e noite.

A eficiência de coleta foi calculada utilizando-se a seguinte relação:

$$EFC_i = T_i \cdot (T_i + R_i)^{-1}, (1)$$

onde:

$EFC_i$  = Eficiência instantânea de coleta de peixes no tanque de coleta;

$T_i$  = Número de peixes coletados no tanque;

$R_i$  = Número de peixes coletados na rede localizada ao final do canal da segunda seção de grades.

Para realização dos testes foram utilizados 2.400 indivíduos de Delta smelt e 3.840 de Splittail mantidos nos tanques de manutenção do TFCF. Todos os peixes foram marcados com marcas fluorescentes de diferentes cores injetadas nos raios das nadadeiras utilizando-se um injetor BMX2000 POW'Rject e marcas da NewWest

Technologies®. Apenas os peixes soltos para controle do funcionamento dos tanques de coleta não foram marcados.

Para Delta smelt os peixes foram marcados nas nadadeiras dorsal, anal e caudal com quatro diferentes cores sendo, azul, amarelo, azul claro e branco. Já para o Splittail foram utilizadas apenas três cores, branco, amarelo e rosa. A combinação de cor e nadadeira foi utilizada para identificação de cada grupo de peixes quando coletados nos tanques durante os experimentos. Além disso, para a última espécie indicada, os peixes soltos para controle do funcionamento da rede de coleta tiveram um pequeno fragmento da nadadeira caudal cortado para diferenciá-los dos demais peixes. Definiram-se, aleatoriamente, quais as combinações utilizadas em cada um dos testes.

O protocolo experimental envolvendo as duas espécies foi basicamente o mesmo. Este protocolo mostrando os momentos de soltura e coleta dos peixes nos tanques encontra-se ilustrado na Realizaram-se três solturas a cada 20 minutos durante os primeiros 60 minutos de teste, de modo que para cada experimento foram realizadas três réplicas. Vinte minutos após a primeira soltura de cada grupo de peixes iniciou-se a operação do tanque de coleta para contagem e separação das amostras. A operação do tanque consistiu em transferir o fluxo de água para um outro tanque de coleta, de modo a interromper a coleta de peixes através do bypass naquele a ser manipulado, içar o reservatório interno do tanque e processar os peixes coletados no reservatório. Para cada grupo de peixes soltos repetiu-se esse procedimento três vezes, totalizando 60 minutos de teste.

Simultaneamente à transferência do fluxo de água do bypass de um tanque para o outro, iniciou-se a troca das redes de coleta localizadas após a segunda grade do canal secundário. Desse modo, após 20 minutos da primeira soltura, uma das redes foi içada para processamento dos peixes enquanto outra já se encontrava na água para continuar a coleta de peixes ( FIGURA 3.16).

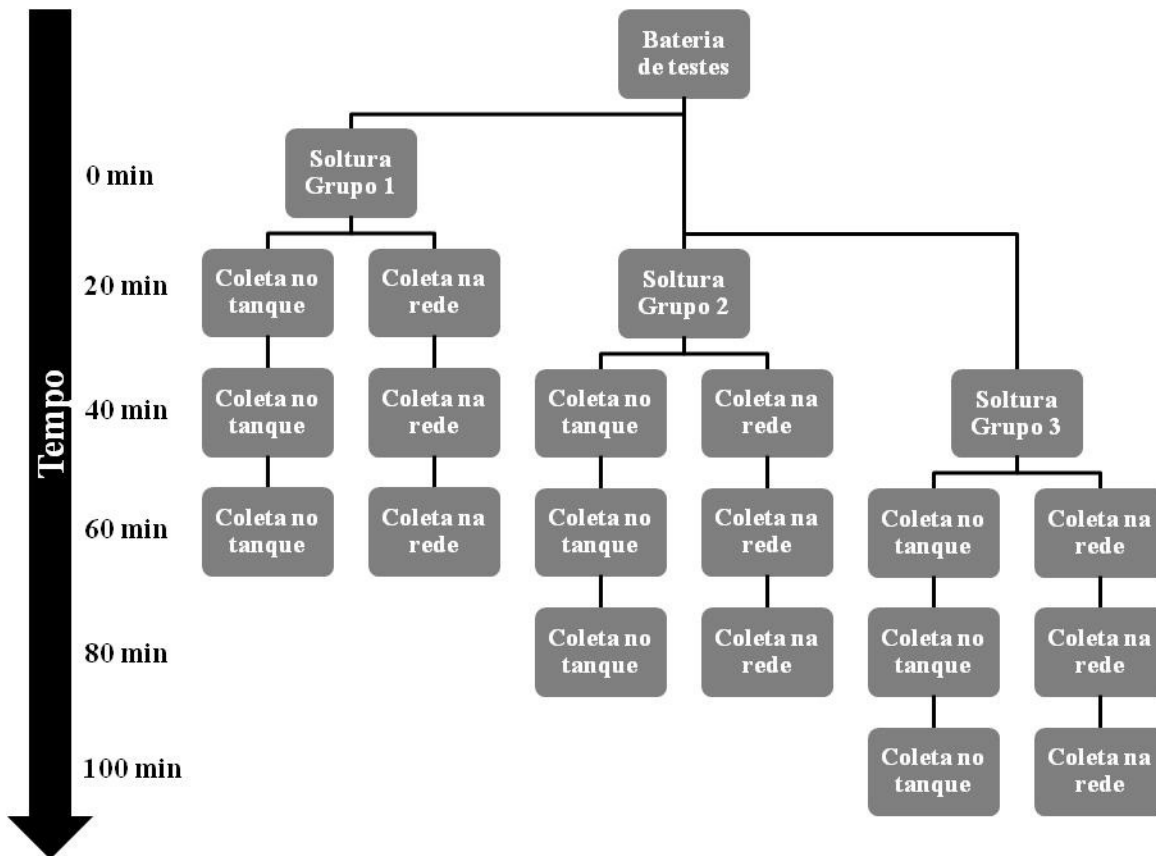


FIGURA 3.16 – Diagrama esquemático das baterias de testes realizadas no Tracy Fish Collection Facility (TFCF) mostrando os períodos de soltura dos três grupos de peixes e os períodos de coleta realizados a cada 20 minutos, totalizando 60 minutos de teste para cada grupo de peixes soltos. O mesmo protocolo experimental foi utilizado para o dia e noite e para o grupo controle (luz estroboscópica desligada) e teste (luz estroboscópica ligada).

Apenas os locais de soltura e número de peixes soltos em cada local, além da posição da luz estroboscópica, variaram para cada uma das espécies testadas. Sendo assim, para cada bateria de experimentos utilizando-se o Delta smelt foram soltos 20 peixes no ponto  $\Delta A$ , 20 peixes no ponto  $\Delta B$  e 10 peixes no tanque de coleta. A TABELA 3.3 apresenta as informações acerca do horário e local de soltura de cada peixe, além do número de indivíduos soltos e os respectivos períodos de coleta de cada tratamento.

Para cada bateria de experimentos com Splittail foram soltos 40 peixes no ponto  $\Delta A$ . Concomitantemente à soltura destes peixes foram soltos 20 peixes sem marcação no tanque de coleta e 20 peixes com um fragmento da nadadeira caudal cortado nas redes de coleta para controle do funcionamento dessas estruturas. Da mesma forma, a TABELA 3.4 apresenta informações detalhadas sobre a soltura.

TABELA 3.3

Protocolo de soltura e coleta de peixes durante os testes realizados para avaliação da influência da luz estroboscópica na eficiência de coleta de Delta smelt (*Hypomesus transpacificus*) nos tanques de coleta do TFCF.

Data	Tratamento*	Horário de Soltura	Número de peixes por local de soltura			Horários de coleta nos tanques	Número de réplicas
			Local A	Local B	Tanque		
26/11/2007	Teste	19:00h	20	20	10	19:20; 19:40; 20:00h	3
	Teste	19:20h	20	20	10	19:40; 20:00; 20:20h	
	Teste	19:40h	20	20	10	20:00; 20:20; 20:40h	
	Controle	22:00h	20	20	10	22:20; 22:40; 23:00h	3
	Controle	22:20h	20	20	10	22:40; 23:00; 23:20h	
	Controle	22:40h	20	20	10	23:00; 23:20; 23:40h	
27/11/2007	Controle	13:00h	20	20	10	13:20; 13:40; 14:00h	3
	Controle	13:20h	20	20	10	13:40; 14:00; 14:20h	
	Controle	13:40h	20	20	10	14:00; 14:20; 14:40h	
	Teste	16:00h	20	20	10	16:20; 16:40; 17:00h	1
	Teste	16:20h	20	20	10	Amostra perdida	
	Teste	16:40h	20	20	10	Amostra perdida	
	Controle	19:00h	20	20	10	19:20; 19:40; 20:00h	3
	Controle	19:20h	20	20	10	19:40; 20:00; 20:20h	
	Controle	19:40h	20	20	10	20:00; 20:20; 20:40h	
	Teste	22:00h	20	20	10	22:20; 22:40; 23:00h	3
	Teste	22:20h	20	20	10	22:40; 23:00; 23:20h	
	Teste	22:40h	20	20	10	23:00; 23:20; 23:40h	
28/11/2007	Teste	13:00h	20	20	10	13:20; 13:40; 14:00h	3
	Teste	13:20h	20	20	10	13:40; 14:00; 14:20h	
	Teste	13:40h	20	20	10	14:00; 14:20; 14:40h	
	Controle	16:00h	20	20	10	16:20; 16:40; 17:00h	3
	Controle	16:20h	20	20	10	16:40; 17:00; 17:20h	
	Controle	16:40h	20	20	10	17:00; 17:20; 17:40h	
	Teste	19:00h	20	20	10	19:20; 19:40; 20:00h	3
	Teste	19:20h	20	20	10	19:40; 20:00; 20:20h	
	Teste	19:40h	20	20	10	20:00; 20:20; 20:40h	
	Controle	22:00h	20	20	10	22:20; 22:40; 23:00h	3
	Controle	22:20h	20	20	10	22:40; 23:00; 23:20h	
	Controle	22:40h	20	20	10	23:00; 23:20; 23:40h	

Continua...

TABELA 3.3

Continuação...

Data	Tratamento*	Horário de Soltura	Número de peixes por local de soltura			Horários de coleta nos tanques	Número de réplicas
			Local A	Local B	Tanque		
29/11/2007	Controle	13:00h	20	20	10	13:20; 13:40; 14:00h	3
	Controle	13:20h	20	20	10	13:40; 14:00; 14:20h	
	Controle	13:40h	20	20	10	14:00; 14:20; 14:40h	
	3	Teste	16:00h	20	20	10	16:20; 16:40; 17:00h
		Teste	16:20h	20	20	10	16:40; 17:00; 17:20h
		Teste	16:40h	20	20	10	17:00; 17:20; 17:40h
	3	Teste	19:00h	20	20	10	19:20; 19:40; 20:00h
		Teste	19:20h	20	20	10	19:40; 20:00; 20:20h
		Teste	19:40h	20	20	10	20:00; 20:20; 20:40h
	3	Controle	22:00h	20	20	10	22:20; 22:40; 23:00h
		Controle	22:20h	20	20	10	22:40; 23:00; 23:20h
		Controle	22:40h	20	20	10	23:00; 23:20; 23:40h
30/11/2007	Teste	13:00h	20	20	10	13:20; 13:40; 14:00h	3
	Teste	13:20h	20	20	10	13:40; 14:00; 14:20h	
	Teste	13:40h	20	20	10	14:00; 14:20; 14:40h	
	3	Controle	16:00h	20	20	10	16:20; 16:40; 17:00h
		Controle	16:20h	20	20	10	16:40; 17:00; 17:20h
		Controle	16:40h	20	20	10	17:00; 17:20; 17:40h

\* Controle = luz estroboscópica desligada; Teste = luz estroboscópica ligada em intensidade máxima e frequência de 360 flashes/min.



TABELA 3.4

Protocolo de soltura e coleta de peixes durante os testes realizados para avaliação da influência da luz estroboscópica na eficiência de coleta de Splittail (*Pogonichthys macrolepidotus*) nos tanques de coleta do TFCF.

Data	Local de instalação da luz	Grupo experimental *	Horário de Soltura	Número de peixes por local de soltura			Horários de coleta nos tanques	Número de réplicas
				Ponto de soltura	Rede de coleta	Tanque de coleta		
26/11/2007	Local A	Teste	19:00h	40	20	20	19:20; 19:40; 20:00h	3
	Local A	Teste	19:20h	40	20	20	19:40; 20:00; 20:20h	
	Local A	Teste	19:40h	40	20	20	20:00; 20:20; 20:40h	
	Local A	Controle	22:00h	40	20	20	22:20; 22:40; 23:00h	3
	Local A	Controle	22:20h	40	20	20	22:40; 23:00; 23:20h	
	Local A	Controle	22:40h	40	20	20	23:00; 23:20; 23:40h	
27/11/2007	Local A	Controle	13:00h	40	20	20	13:20; 13:40; 14:00h	3
	Local A	Controle	13:20h	40	20	20	13:40; 14:00; 14:20h	
	Local A	Controle	13:40h	40	20	20	14:00; 14:20; 14:40h	
	Local A	Teste	16:00h	40	20	20	16:20; 16:40; 17:00h	1
	Local A	Teste	16:20h	40	20	20	Amostra perdida	
	Local A	Teste	16:40h	40	20	20	Amostra perdida	3
	Local A	Controle	19:00h	40	20	20	19:20; 19:40; 20:00h	
	Local A	Controle	19:20h	40	20	20	19:40; 20:00; 20:20h	
	Local A	Controle	19:40h	40	20	20	20:00; 20:20; 20:40h	3
	Local A	Teste	22:00h	40	20	20	22:20; 22:40; 23:00h	
	Local A	Teste	22:20h	40	20	20	22:40; 23:00; 23:20h	
	Local A	Teste	22:40h	40	20	20	23:00; 23:20; 23:40h	
28/11/2007	Local A	Teste	13:00h	40	20	20	13:20; 13:40; 14:00h	3
	Local A	Teste	13:20h	40	20	20	13:40; 14:00; 14:20h	
	Local A	Teste	13:40h	40	20	20	14:00; 14:20; 14:40h	
	Local A	Controle	16:00h	40	20	20	16:20; 16:40; 17:00h	3
	Local A	Controle	16:20h	40	20	20	16:40; 17:00; 17:20h	
	Local A	Controle	16:40h	40	20	20	17:00; 17:20; 17:40h	
	Local B	Teste	19:00h	40	20	20	19:20; 19:40; 20:00h	3
	Local B	Teste	19:20h	40	20	20	19:40; 20:00; 20:20h	
	Local B	Teste	19:40h	40	20	20	20:00; 20:20; 20:40h	
	Local B	Controle	22:00h	40	20	20	22:20; 22:40; 23:00h	3
	Local B	Controle	22:20h	40	20	20	22:40; 23:00; 23:20h	
	Local B	Controle	22:40h	40	20	20	23:00; 23:20; 23:40h	

Continua...

TABELA 3.4

Continuação...

Data	Local de instalação da luz	Grupo experimental*	Horário de Soltura	Número de peixes por local de soltura			Horários de coleta nos tanques	Número de réplicas
				Ponto de soltura	Rede de coleta	Tanque de coleta		
29/11/2007	Local B	Controle	13:00h	40	20	20	13:20; 13:40; 14:00h	3
	Local B	Controle	13:20h	40	20	20	13:40; 14:00; 14:20h	
	Local B	Controle	13:40h	40	20	20	14:00; 14:20; 14:40h	
	Local B	Teste	16:00h	40	20	20	16:20; 16:40; 17:00h	3
	Local B	Teste	16:20h	40	20	20	16:40; 17:00; 17:20h	
	Local B	Teste	16:40h	40	20	20	17:00; 17:20; 17:40h	
	Local B	Teste	19:00h	40	20	20	19:20; 19:40; 20:00h	3
	Local B	Teste	19:20h	40	20	20	19:40; 20:00; 20:20h	
	Local B	Teste	19:40h	40	20	20	20:00; 20:20; 20:40h	
	Local B	Controle	22:00h	40	20	20	22:20; 22:40; 23:00h	3
	Local B	Controle	22:20h	40	20	20	22:40; 23:00; 23:20h	
	Local B	Controle	22:40h	40	20	20	23:00; 23:20; 23:40h	
30/11/2007	Local B	Teste	13:00h	40	20	20	13:20; 13:40; 14:00h	3
	Local B	Teste	13:20h	40	20	20	13:40; 14:00; 14:20h	
	Local B	Teste	13:40h	40	20	20	14:00; 14:20; 14:40h	
	Local B	Controle	16:00h	40	20	20	16:20; 16:40; 17:00h	3
	Local B	Controle	16:20h	40	20	20	16:40; 17:00; 17:20h	
	Local B	Controle	16:40h	40	20	20	17:00; 17:20; 17:40h	

\* Controle = luz estroboscópica Local B desligada; Teste = luz estroboscópica ligada em intensidade máxima e frequência de 360 flashes/min.

Os peixes contidos no tanque e na rede de coleta foram contados e separados por grupo experimental. Cada experimento teve duração de uma hora, sendo que a cada 20 minutos realizaram-se os procedimentos de operação das redes e do tanque de coleta. Durante um dos experimentos com o Delta smelt, realizado durante o dia, duas réplicas foram perdidas em função de problemas com a operação da rede de coleta. Ao todo, para essa espécie, foram realizadas quatro baterias durante o dia e quatro durante a noite, totalizando 12 tréplicas para o grupo controle e teste, respectivamente.

Para o Splittail foram realizadas quatro baterias durante o dia e quatro durante a noite, para os dois locais de instalação da luz estroboscópica. Dessa maneira, totalizaram-se seis tréplicas de cada grupo experimental.

Para os experimentos realizados em campo, no TFCF, buscou-se analisar a eficiência de captura dos peixes nos tanques de coleta em condições normais de operação da estação e com a luz estroboscópica ligada. Basicamente, com a realização dos testes em campo buscou-se avaliar as seguintes perguntas:

- A eficiência de salvamento de Delta smelt nos tanques de coleta é aumentada com a luz estroboscópica ligada, principalmente durante a noite?
- Com a luz estroboscópica ligada, aumenta-se a eficiência de salvamento de Delta smelt nos tanques de coleta para o grupo de peixes soltos junto à primeira grade se comparados com aqueles soltos entre a primeira e segunda grade na seção secundária de grades?
- A luz estroboscópica influencia na eficiência de captura de Splittail nos tanques de coleta durante o dia ou noite?

Testou-se a normalidade dos dados utilizando-se o teste de Shapiro-Wilk. Tendo em vista a distribuição normal dos dados nos experimentos realizados para as duas espécies, para avaliação das perguntas elaboradas realizou-se teste de ANOVA-dois-fatores (Sokal & Rohlf, 1995). Para o Delta smelt esse teste foi realizado para avaliar a influência da luz estroboscópica e do período do dia para cada um dos grupos de peixes soltos na seção secundária de grades, independentemente. Com o mesmo objetivo realizou-se este teste para os dados obtidos com Splittail, sendo utilizados, separadamente, os dados obtidos nos experimentos realizados com a luz instalada no Local B ou Local C. As variáveis analisadas neste teste foram o período do dia (dia e noite) e luz estroboscópica (desligada e ligada). Estes testes foram seguidos do teste

post-hoc de Duncan para análises pareadas das variáveis testadas (Sokal & Rohlf, 1995).

Buscando comparar a eficiência de salvamento de Delta smelt nos tanques de coleta para o grupo de peixes soltos no ponto  $\Delta A$  versus  $\Delta B$  no canal secundário realizou-se o teste T comparando-se as diferenças de valores de eficiência obtidos para cada um desses grupos. Este teste foi realizado para os valores obtidos com os experimentos realizados com a luz estroboscópica ligada durante o dia e noite.

Para os testes realizados com Splittail, a eficiência total de captura dos peixes, independentemente da luz estar ligada ou desligada e do local de instalação do bulbo, foi calculada durante o dia e a noite. Buscando-se avaliar se durante o dia são registradas maiores eficiências de captura foram realizadas análises pareadas dos dados através do teste de Wilcoxon. Este teste busca a comparação da variância entre médias de dois grupos distintos de variáveis, neste caso, dia versus noite. Ainda para esta espécie, utilizando-se a eficiência de captura nos tanques de coleta durante o dia e noite, com a luz estroboscópica ligada no Local B e Local C, foi testada a luz estroboscópica, quando ligada e instalada no Local C, reduz a eficiência de captura de Splittail em função de repelir os peixes da entrada do bypass. Dessa forma, utilizou-se teste T para comparar os valores de média obtidos para cada par de variáveis, ou seja, Local B versus Local C durante o dia e noite (Sokal & Rohlf, 1995).

Todos os testes foram realizados utilizando-se SAS/STAT® levando-se em consideração intervalo de confiança de 95%.

### 3.6.2 – Cortina de bolhas

Os testes com cortina de bolhas foram realizados tendo o mandi-amarelo como espécie-alvo. Para realização dos testes utilizou-se ração como estímulo aos peixes para ultrapassarem a área onde localizava-se a cortina de bolhas. Assim, três grupos experimentais foram definidos para realização dos testes. Um dos grupos foi composto por mandis-amarelos que receberam ração diariamente. Outros dois grupos foram compostos por peixes que tiveram sua alimentação interrompida por quatro e sete dias, respectivamente. Para cada um desses grupos realizaram experimentos controle para avaliação da passagem dos peixes pela área aonde foi instalada a cortina de bolhas com o sistema desligado e experimentos teste, onde a passagem dos peixes foi contabilizada com a cortina de bolhas ligada. Para monitoramento da passagem dos

peixes pela seção do aquário aonde se encontrava a cortina de bolhas, utilizou-se uma câmera JVC Everio sendo o aquário iluminado com luz vermelha (ver FIGURA 3.5).

Os experimentos foram conduzidos durante a noite, assim que a iluminação natural do local onde estava o aquário encontrava-se bastante reduzida. Esse período foi determinado pelo fato de se perceber maior atividade dos peixes. Para realização dos experimentos os peixes foram retirados dos aquários de manutenção e transferidos para o aquário teste, sendo que duas grades mantiveram os peixes em uma das laterais do aquário sem ultrapassarem aquela onde estava instalada a cortina de bolhas. Os testes foram iniciados após 15 minutos decorridos da transferência dos peixes.

Todos os testes foram conduzidos utilizando-se 20 peixes no aquário experimental e tiveram duração de 30 minutos. Decorridos os 15 minutos de aclimação no aquário teste, a grade próxima à cortina de bolhas foi retirada e a ração colocada na lateral oposta àquela onde se encontravam os peixes. Nesse momento a câmera foi ligada para monitorar a passagem dos peixes pela área da cortina de bolhas. Durante o experimento controle a cortina de bolhas permaneceu desligada e no experimento teste a cortina foi ligada mantendo-se pressão de 1atm durante os 30 minutos. Ao final de cada experimento (controle ou teste), os peixes foram retirados do aquário e colocados novamente nos aquários de manutenção, sendo que aqueles expostos à cortina de bolhas foram separados dos demais.

Após a realização dos experimentos os arquivos de imagens gerados para cada um dos experimentos conduzidos foram analisados para contabilização do número de mandis passando pela área da cortina de bolhas. Para a análise, a cada 5 minutos o vídeo foi parado e o número de peixes registrados após a tubulação de PVC do sistema da cortina de bolhas contabilizado. Feito isso calculou-se a média de peixes na área após a cortina de bolhas para os 30 minutos de experimento.

Os dados obtidos foram agrupados em seis blocos, sendo: i) controle e teste para os peixes alimentados diariamente; ii) controle e teste para os peixes sem alimentação por 4 dias; iii) controle e teste para os peixes sem alimentação por 7 dias. Para avaliar a normalidade dos dados obtidos utilizou-se teste de Shapiro-Wilk verificando-se sua distribuição não normal. Em função disso, testes não-paramétricos foram selecionados para se responder a algumas das perguntas levantadas para a realização dos experimentos.

Realizou-se teste de Kruskal-Wallis (Sokal & Rohlf, 1995) para verificação da questão de que a cortina de bolhas interrompe a passagem de peixes em direção à

lateral do aquário onde encontrava-se a ração e que sua eficiência é reduzida a medida que o estímulo para os peixes transporem a barreira é maior (necessidade de alimentação). Este teste foi seguido do teste post-hoc de Dunn para análises pareadas das variáveis testadas. O grupo controle dos peixes mantidos sem alimentação por 7 dias foi excluído da análise dos dados em função de não terem sido registrados peixes passando pela área da cortina de bolhas.

Os testes foram realizados considerando-se 95% de significância, utilizando o pacote estatístico BioEstat 5.0®.

### 3.6.3 – Substância de alarme

Os experimentos para verificação da influência de substância de alarme no comportamento de mandis-amarelos foram realizados em três situações distintas. Primeiramente, testou-se o comportamento dos peixes expostos ao macerado de pele independentemente da concentração de macerado utilizada. Em um segundo momento avaliou-se o comportamento dos peixes expostos à macerados de pele produzidos na mesma concentração utilizando-se peixes mantidos no laboratório há um ano. Um terceiro teste foi conduzido da mesma forma, mantendo-se a concentração do macerado, porém, utilizando-se peixes mantidos há um mês no laboratório.

Para a extração da substância de alarme, tendo em vista sua produção e armazenamento em células claviformes localizadas da epiderme, um indivíduo foi retirado do aquário de manutenção, medido (comprimentos total – CT e padrão – CP), pesado e, então, sacrificado através de decapitação, de acordo com o CETEA/UFMG. Em seguida, a pele dos dois lados foi extraída e pesada. Após a pesagem a pele foi picotada com uma tesoura cirúrgica sem ponta e macerada juntamente com água destilada em almofariz. Após a maceração, o conteúdo do almofariz foi diluído em 200 ml de água destilada e distribuído em 4 tubos Falcon de 50 ml. O macerado de pele foi preparado, no mínimo, duas horas antes de sua utilização nos experimentos, tendo em vista que, segundo Jamazadeh (1988) *apud* Smith (2000), o extrato de pele dos bagres perde a sua potência quando armazenado por período superior a dois dias.

Para maceração da pele foram utilizados 11 mandis-amarelos, sendo 5 para os experimentos iniciais, três mantidos há mais de um ano e três mantidos há um mês. O comprimento padrão médio dos peixes utilizados foi de 17,1 cm e peso médio de 89,7 g. A amplitude de tamanho dos peixes utilizados nos experimentos variou entre 14 e 21

cm de comprimento padrão. Em função do tamanho considera-se que foram utilizados peixes jovens. A TABELA 3.5 apresenta os dados biométricos dos peixes utilizados e o peso das peles maceradas.

TABELA 3.5  
Dados biométricos dos peixes utilizados para maceração da pele.

	CT (cm)	CP (cm)	PC (g)	Peso da pele (g)	Tempo no laboratório
<b>Peixe 1</b>	22,5	17,5	100,5	3,6	1 mês – Concentrações do macerado independentes
<b>Peixe 2</b>	20	16	83	3,5	
<b>Peixe 3</b>	20	16,5	63,5	3,6	
<b>Peixe 4</b>	26,5	21	150	5,5	
<b>Peixe 5</b>	16,5	14	54,8	2,3	
<b>Peixe 6</b>	21,5	17,5	92	3	1 ano – Concentração do macerado padronizada
<b>Peixe 7</b>	22	18	95	3	
<b>Peixe 8</b>	20,5	17	85	3	
<b>Peixe 9</b>	20,7	17,2	88	3	1 mês – Concentração do macerado padronizada
<b>Peixe 10</b>	19,3	16,5	82	3	
<b>Peixe 11</b>	20,3	17,5	93	3	

\*CT – Comprimento total; CP – Comprimento padrão; PC – Peso corporal

Dois tratamentos foram utilizados para realização dos experimentos, sendo um realizado com a liberação de água destilada (grupo controle) e o outro utilizando a solução de macerado de pele (grupo teste). Para cada tratamento realizaram-se cinco repetições, totalizando 10 experimentos com a série de peixes testados utilizando-se concentrações variadas de macerado de pele. Para a série de peixes em que padronizou-se a concentração do macerado de pele foram realizadas três repetições, totalizando-se seis experimentos para o grupo com um ano e para o grupo com 1 mês em laboratório. Foram utilizados 110 mandis ao todo, sendo cinco indivíduos para cada experimento.

Todos os indivíduos utilizados no experimento foram separados em aquários menores, descartando a possibilidade do mesmo peixe ser utilizado novamente, ou seja, tenha passado pelo tratamento. Em cada repetição, os cinco peixes foram transferidos do aquário de manutenção para o aquário experimental, sendo liberados na área enriquecida. Após a soltura, os indivíduos permaneceram no aquário por cerca de 30 minutos, para aclimatação.

Os experimentos foram realizados a partir das 19h. Para observação dos peixes durante os testes foi montada uma cortina opaca para separar o aquário do observador. Além disso, uma lâmpada de luz vermelha foi colocada acima do aquário

para iluminá-lo. Optou-se por luz vermelha para não influenciar nos testes, tendo em vista que a visão dos peixes é deficiente para o espectro de luz vermelho (Moyle & Cech Jr, 2000). Ao longo da cortina foram feitas pequenas janelas de observação, através das quais os observadores avaliaram o comportamento exibido pelos peixes.

Todos os experimentos foram realizados em três fases. A primeira fase consistiu da observação dos peixes durante cinco minutos, antes da aplicação de água destilada (controle) ou solução de macerado de pele (teste). A segunda fase teve duração de 1 minuto e consistiu da observação dos peixes durante a aplicação de água destilada (controle) ou solução de macerado de pele (teste). Por fim, na terceira fase, observou-se o comportamento dos peixes após a aplicação dos estímulos propostos por um período de 14 minutos. Para todas as fases o comportamento dos peixes foi registrado através do método SCAN instantâneo, com intervalos amostrais de 15 segundos. Todo o experimento teve, portanto, duração de 20 minutos. Durante este período, registraram-se o comportamento e a área onde se encontrava cada peixe, individualmente.

Para ambos os tratamentos a água destilada e a solução de macerado de pele foram inseridas no aquário experimental através de um pequeno tubo de PVC, sendo que para aplicação da substância controle (água destilada), lavou-se o tubo cuidadosamente para retirada de resquícios do macerado. As substâncias utilizadas como estímulo (controle ou teste) foram aplicadas sempre na área enriquecida do aquário.

Os comportamentos observados durante a realização dos experimentos foram selecionados através da elaboração prévia de um etograma, sendo portanto: IN – inativo, NR – nadando rápido, ND – nadando devagar e BRIG – brigando. Cada comportamento foi registrado para cada uma das fases do experimento. Dessa forma, para cada sigla indicativa de um comportamento acrescentou-se uma letra correspondente à fase do teste em que ele foi observado, sendo “a” para antes da aplicação da substância de estímulo, “d” durante a aplicação e “p” após a aplicação. À frente das letras “a”, “d” ou “p” acrescentou-se a letra “c” como indicativa de comportamento observado para o grupo controle. Como exemplo, a sigla NRA indica que o comportamento nadando rápido foi observado antes da aplicação da substância de estímulo observando-se o comportamento do grupo teste, ao passo que a sigla NRac indica esse mesmo comportamento observado antes da aplicação do estímulo para o grupo controle. Esse mesmo padrão foi mantido para os demais comportamentos registrados.



Todos os registros de comportamentos foram contabilizados por tratamento (controle e teste), experimento e por fase experimental (antes, durante e após a aplicação das substâncias de estímulo, água ou macerado de pele). Calcularam-se as porcentagens de cada comportamento por área de registro no aquário experimental. O total de registros de comportamentos por fase, para cada experimento, foi contabilizado para análises estatísticas.

Para os cinco primeiros experimentos realizados utilizando-se macerado de pele em diferentes concentrações as análises foram feitas isoladamente. Para os demais experimentos, realizados com concentrações pré-definidas de macerado de pele, foram feitos testes estatísticos para comparação dos registros obtidos para cada variável.

Para analisar a normalidade da distribuição dos dados para cada uma das variáveis dos experimentos (comportamentos), realizou-se o teste de Shapiro–Wilk (Sokal & Rohlf, 1995). Todas as variáveis que não apresentaram registro de valores foram excluídas das análises. O teste realizado demonstrou que os dados apresentaram distribuição não normal.

Em função disso foram feitos testes não-paramétricos de Friedman seguido do teste post-hoc de Wilcoxon para análises pareadas dos comportamentos (Sokal & Rohlf, 1995). O teste de Friedman foi realizado buscando-se identificar diferenças significativas entre os comportamentos exibidos em cada uma das fases do experimento (antes, durante e após). Uma vez detectada diferenças significativas, o teste de Wilcoxon foi realizado para identificação das variáveis responsáveis pela diferença observada. Assim, buscou-se avaliar se: i) os peixes expostos ao extrato de pele apresentaram variações comportamentais e se ii) os peixes reagiram quando expostos ao macerado de pele, apresentando natação rápida e desorientação no aquário. Para todas as análises considerou-se nível de significância de 95% ( $p < 0,05$ ).

Outra questão encontrava-se associada à movimentação dos peixes em função da exposição ao macerado de pele, ou seja, será que o contato com o macerado gera uma maior distribuição dos peixes entre as áreas do aquário experimental, buscando evitar a área de aplicação da substância? Para avaliar essa questão foi realizado o teste de Friedman. Este teste foi realizado com os dados brutos dos registros de peixes, independente do comportamento, em cada uma das áreas do aquário experimental, para cada fase do experimento (antes, durante e após a aplicação do macerado de pele), utilizando-se apenas o tratamento teste. Todos os testes foram realizados utilizando-se pacote estatístico do Statistica 7.0, adotando-se nível de significância de 95% ( $p < 0,05$ ).

## 4 – RESULTADOS

### 4.1 – Luz estroboscópica

Os resultados obtidos para os testes com luz estroboscópica serão apresentados de acordo com os locais onde foram desenvolvidos. Assim, os dados englobam os testes feitos no CPH/UFMG, no USBR/Denver e no TFCF.

#### 4.1.1 – CPH/UFMG

##### 4.1.1.1 – Efeitos da luz estroboscópica sobre o piau-três-pintas

O trânsito de piau-três-pintas pela janela de observação durante os experimentos controle, onde a luz estroboscópica permaneceu desligada, apresentou valores médios de 71 registros de peixes em movimento de descida durante o dia e 41 durante a noite, e de 75 e 62 registros em movimento de subida para o dia e noite, respectivamente. Comparando-se com o grupo controle os valores registrados para os grupos teste de 92 e 360 flashes/min para o dia foram de 26 e 6 registros para movimento de descida e de 41 e 10 registros para movimento de subida, respectivamente. Já durante a noite, os valores registrados foram de 9 e 0,5 para movimento de descida e 15 e 3 para movimento de subida utilizando-se frequência de 92 e 360 flashes/min, respectivamente.

Dessa forma, de acordo com o GRÁFICO 4.1, observa-se uma redução percentual de 63 e 90% do trânsito de peixes pela janela de observação do aquário experimental em movimento de descida e 45 e 86% em movimento de subida durante o dia. Para o período da noite, também foram registradas reduções no trânsito de peixes pela janela de observação do aquário experimental. O GRÁFICO 4.2 mostra que em movimento de descida, observaram-se reduções de 81 e 99% quando aplicados estímulos de luz estroboscópica em frequências de 92 e 360 flashes/min, respectivamente, ao passo que em movimento de subida, as reduções observadas chegaram a valores percentuais de 75 e 95% para 92 e 360 flashes/min, respectivamente.

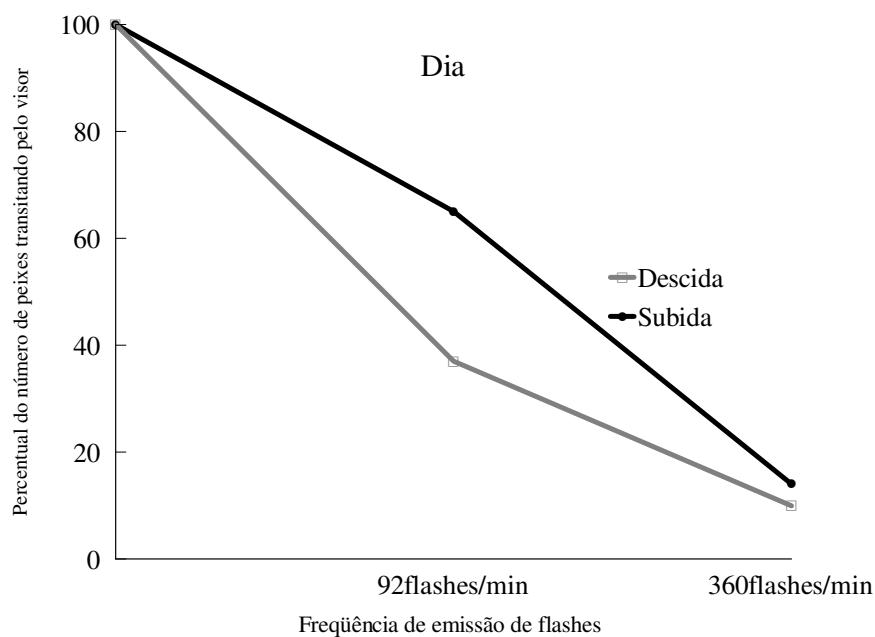


GRÁFICO 4.1– Influência da luz estroboscópica em diferentes frequências (92 e 360 flashes/min) no percentual do número de registros de piau-três-pintas *Leporinus reinhardti* passando pelo visor do aquário experimental em movimento de descida e subida para os experimentos realizados durante o dia.

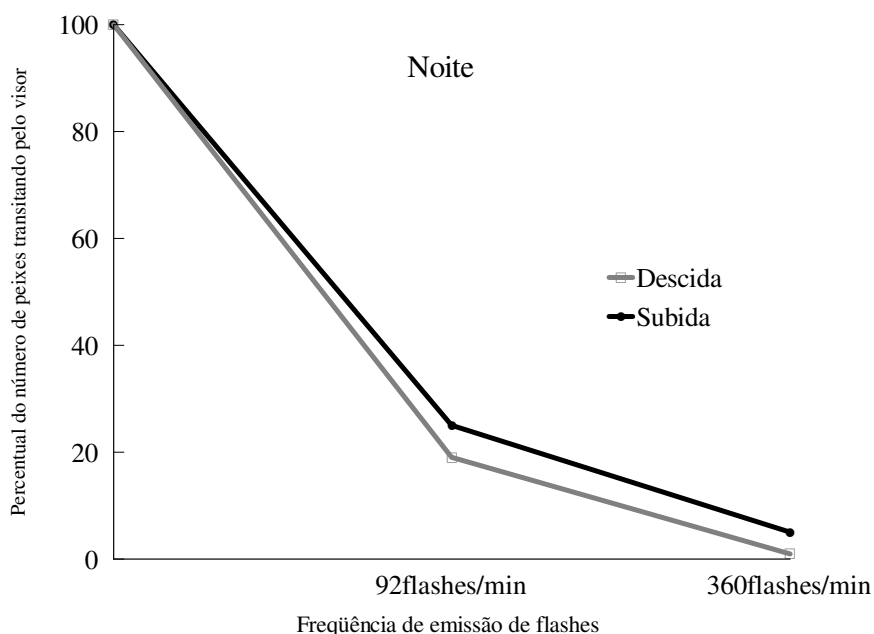


GRÁFICO 4.2 – Influência da luz estroboscópica em diferentes frequências (92 e 360 flashes/min) no percentual do número de registros de piau-três-pintas *Leporinus reinhardti* passando pelo visor do aquário experimental em movimento de descida e subida para os experimentos realizados durante a noite.

Os valores percentuais observados indicam uma possível reação de repulsão de piau-três-pintas quando expostos à luz estroboscópica. De modo geral, observa-se que os peixes tendem a não se movimentarem pela região em que o estímulo está sendo

gerado. De fato, a análise de variância dos dados indica que há diferenças significativas entre os grupos experimentais testados durante o dia em movimento de descida (Kruskal-Wallis,  $H = 60,0772$ , graus de liberdade = 2;  $p < 0,0001$ ). De acordo com o GRÁFICO 4.3 observa-se que as análises pareadas indicam que para todos os grupos (controle, 92 e 360 flashes/min) há uma redução significativa ( $p < 0,05$ ) do número de peixes registrados em trânsito na janela de observação. Da mesma forma, de acordo com o GRÁFICO 4.4 observa-se que esse mesmo padrão foi observado para o movimento de subida durante o dia (Kruskal-Wallis;  $H = 41,4401$ ; graus de liberdade = 2;  $p = < 0,0001$ ; Dunn:  $p < 0,01$ ).

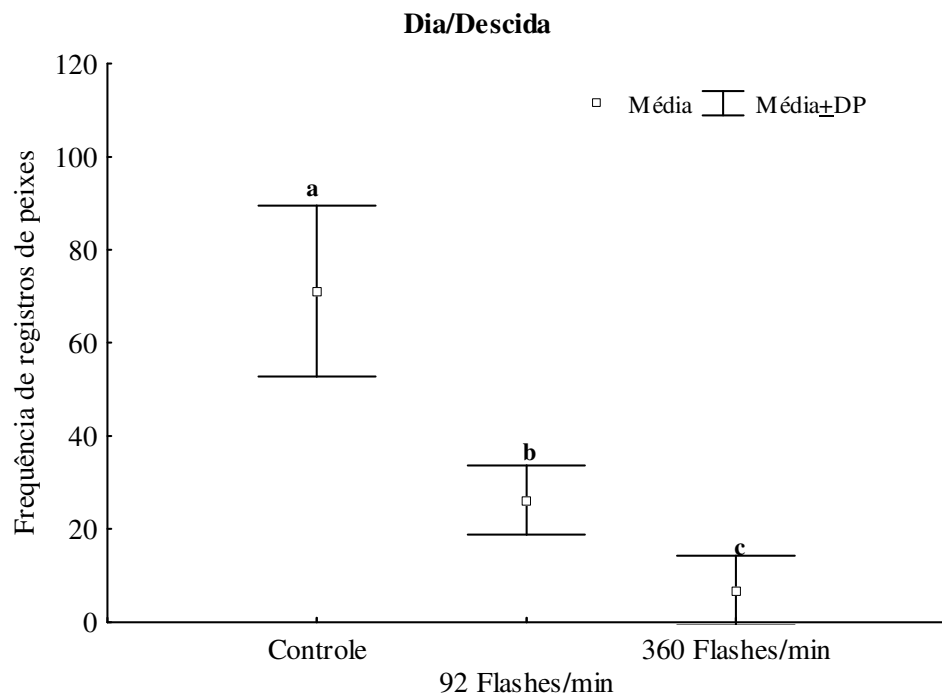


GRÁFICO 4.3 – Média de registros de piau-três-pintas *Leporinus reinhardtii* passando pela janela de observação do aquário experimental em movimento de descida durante o dia (letras diferentes indicam valores com diferenças estatisticamente significativas; Kruskal-Wallis –  $p < 0,0001$ ).

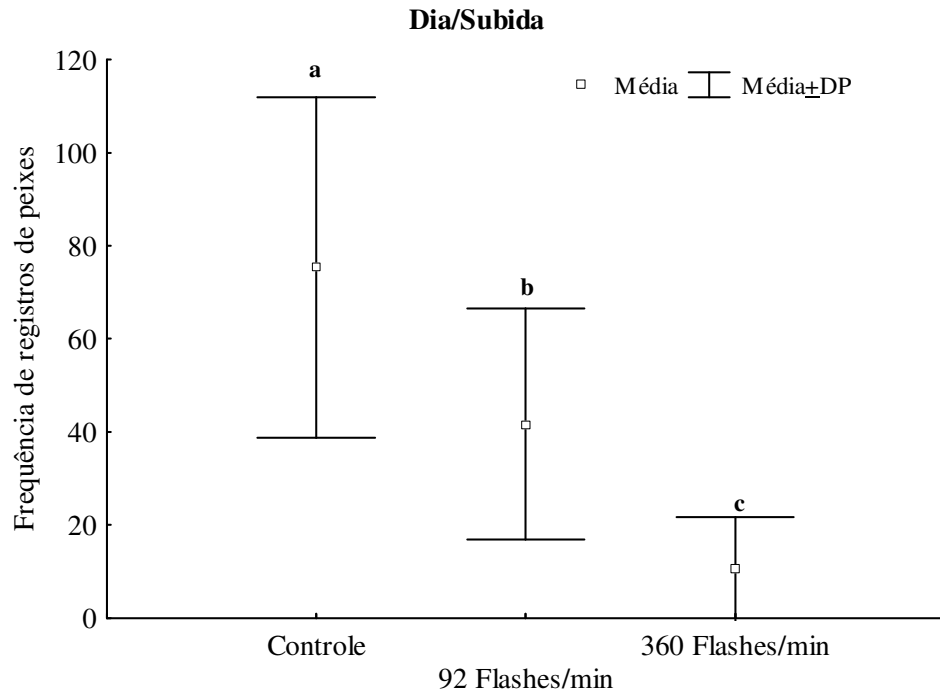


GRÁFICO 4.4 – Média de registros de piau-três-pintas *Leporinus reinhardtii* passando pela janela de observação do aquário experimental em movimento de subida durante o dia (letras diferentes indicam valores com diferenças estatisticamente significativas; Kruskal-Wallis –  $p < 0,0001$ ).

Durante a noite, o trânsito de piau-três-pintas em movimento de descida e subida na janela de observação também é reduzido significativamente entre os grupos experimentais apresentando valores de  $p < 0,0001$  para ambas as fases de experimento (Kruskal-Wallis,  $H = 44,3066$ ; graus de liberdade = 2 e  $H = 58,4065$ ; graus de liberdade = 2, descida e subida, respectivamente). Da mesma forma que o observado para os experimentos realizados durante o dia, a análise pareada registrou diferenças significativas no trânsito de peixes pela janela de observação do aquário experimental entre todos os grupos testados (controle, 92 e 360 flashes/min;  $p < 0,05$ ). O GRÁFICO 4.5 e GRÁFICO 4.6 apresentam a distribuição média dos registros observados, indicando, conforme descrito, os grupos com diferenças significativas para os valores contabilizados.

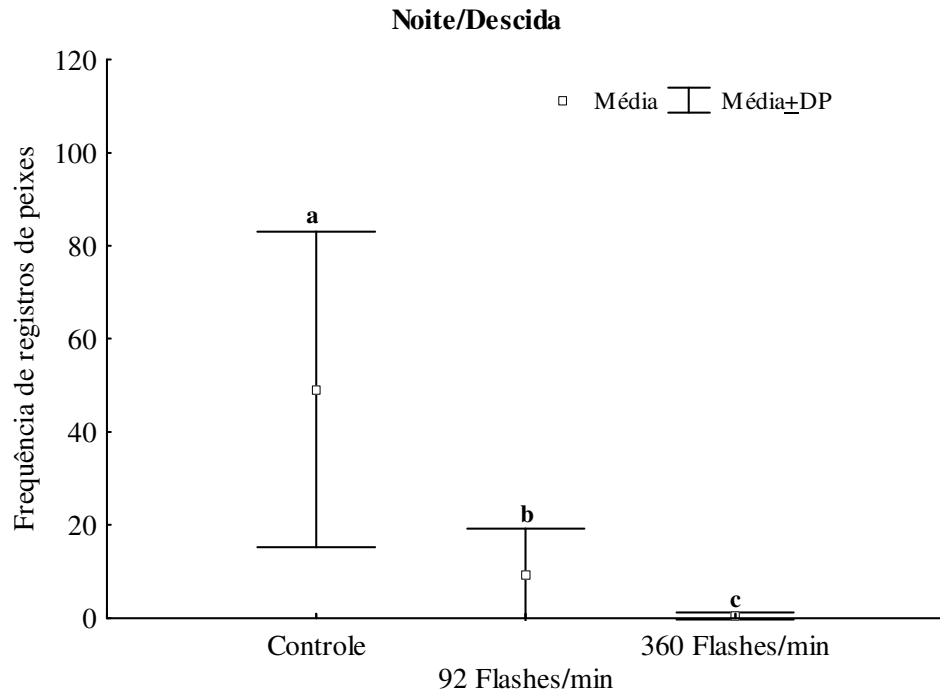


GRÁFICO 4.5 – Média de registros de piau-três-pintas *Leporinus reinhardtii* passando pela janela de observação do aquário experimental em movimento de descida durante a noite (letras diferentes indicam valores com diferenças estatisticamente significativas; Kruskal-Wallis –  $p < 0,0001$ ).

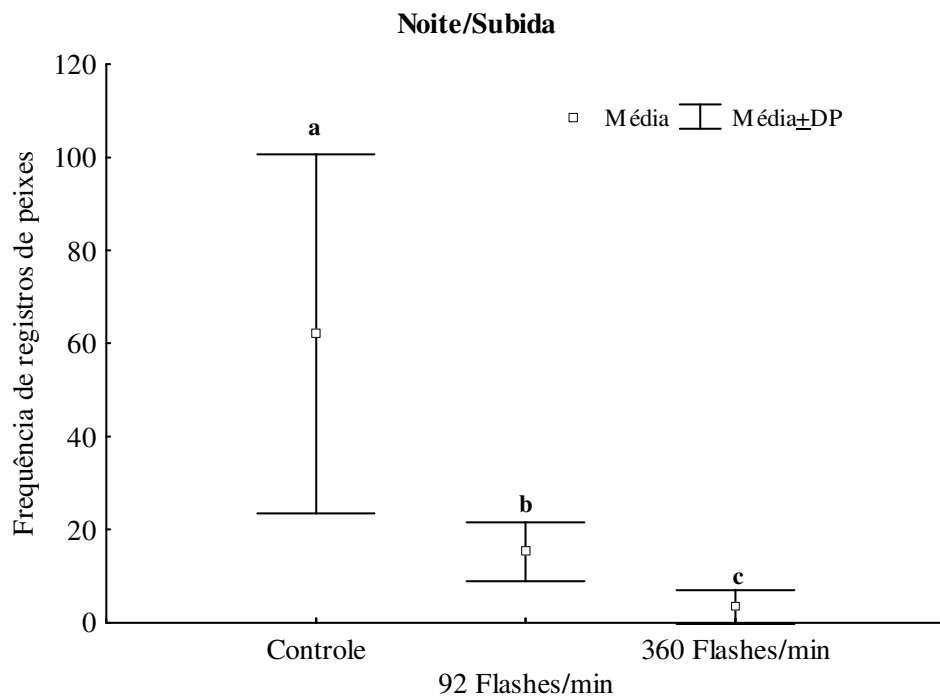


GRÁFICO 4.6 – Média de registros de piau-três-pintas *Leporinus reinhardtii* passando pela janela de observação do aquário experimental em movimento de subida durante a noite (letras diferentes indicam valores com diferenças estatisticamente significativas; Kruskal-Wallis –  $p < 0,0001$ ).

Observa-se, portanto, que os peixes tendem a evitar a área com aplicação da luz estroboscópica. De acordo com os dados obtidos, esse comportamento é mais acentuado, para ambos os períodos do dia, quando os peixes foram expostos à luz estroboscópica na frequência de 360 flashes/min. Nesta mesma frequência de emissão de flashes, as análises pareadas de Wilcoxon demonstraram haver diferenças significativas no trânsito de peixes pela janela de observação durante o dia e noite. Quando em movimento de descida, ocorre uma redução significativa do número de peixes passando pela janela de observação durante a noite, se comparado com dia (Wilcoxon,  $p = 0,001$ ). O mesmo padrão foi também observado para o registro de peixes em movimento de subida, ocorrendo uma redução significativa no número de peixes passando pela janela de observação durante a noite quando comparado com o dia (Wilcoxon,  $p = 0,007$ ).

Já as análises pareadas para avaliação do tempo de duração da reação de repulsão em piau-três-pintas não apresentaram diferenças significativas para os grupos testados. De acordo com o GRÁFICO 4.7 e GRÁFICO 4.8 observa-se que a reação de repulsão de piau-três-pintas causada pela luz estroboscópica em frequências de 360 flashes/min durante o dia e noite perdura por pelo menos uma hora, já que os valores registrados para o trânsito de peixes entre os 30 minutos iniciais e finais do experimento foram muito próximos. Isso indica que, aparentemente, o piau-três-pintas não se acostumou com a luz estroboscópica quando exposto ao período de uma hora.

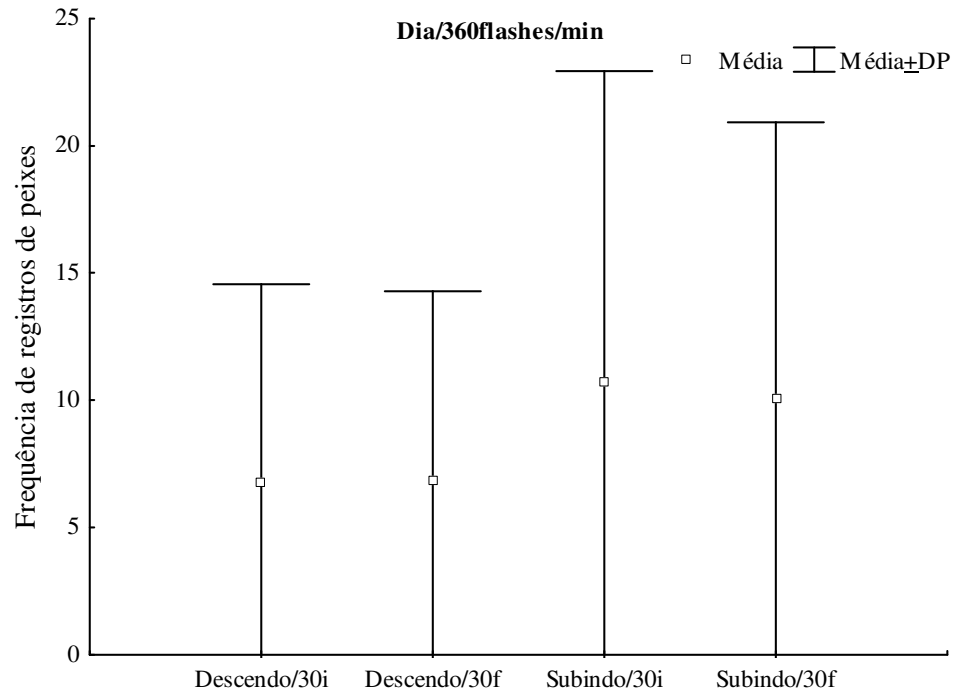


GRÁFICO 4.7 – Comparação entre o número de piau-três-pintas *Leporinus reinhardti* em movimento de descida e/ou subida durante os 30 minutos iniciais (30i) e finais (30f) dos experimentos com luz estroboscópica realizados durante o dia.

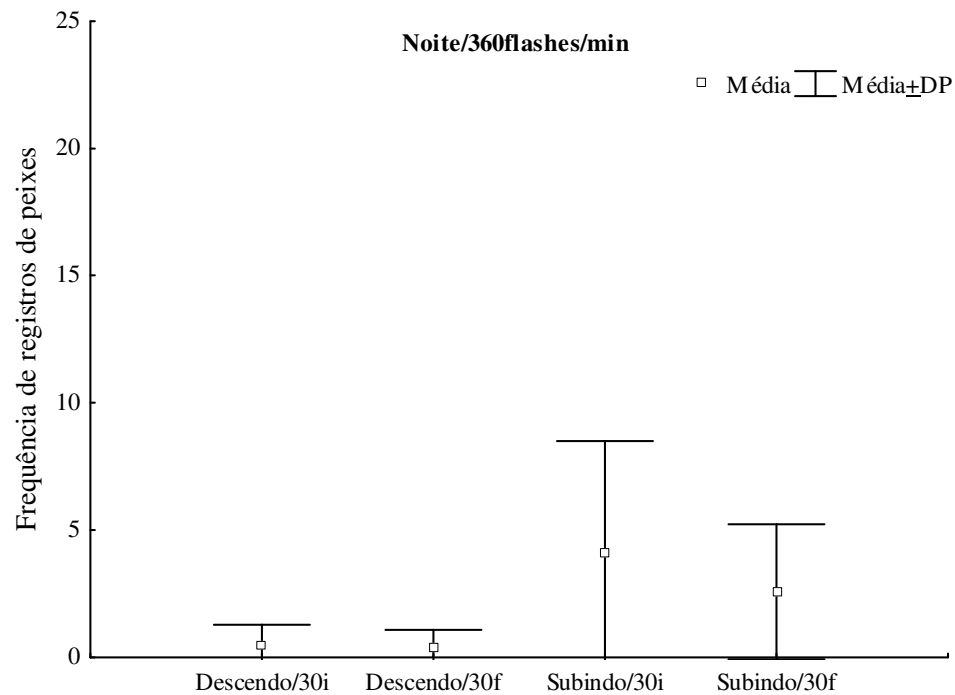


GRÁFICO 4.8 – Comparação entre o número de piau-três-pintas *Leporinus reinhardti* em movimento de descida e/ou subida durante os 30 minutos iniciais (30i) e finais (30f) dos experimentos com luz estroboscópica realizados durante a noite.



#### 4.1.1.2 – Efeitos da luz estroboscópica sobre o mandi-amarelo

O deslocamento dos mandis-amarelos pelo visor do aquário experimental durante os testes realizados variou durante o dia e durante a noite. Dos 30 peixes soltos no aquário para cada grupo experimental, a maior parte foi registrada em movimento de subida, ou seja, nadando contra o fluxo de água criado no aquário, principalmente durante a noite. Para o grupo controle durante o dia o trânsito médio de peixes pelo visor do aquário experimental foi de um peixe a cada cinco minutos em movimento de descida e de dois a três peixes em movimento de subida. Durante a noite, o trânsito de peixes variou entre dois peixes a cada cinco minutos em movimento de descida e até quatro peixes em movimento de subida.

O efeito da luz estroboscópica sobre os mandis-amarelos testados mostrou-se bem diferenciado para o grupo de peixes testado durante o dia quando comparado com aquele testado durante a noite. Em relação ao grupo controle, os testes durante o dia (92 e 360 flashes/min) mostraram uma pequena variação no número de peixes transitando pela janela do aquário experimental, sendo de praticamente dois peixes em movimento de descida e três peixes em movimento de subida, a cada cinco minutos.

Durante a noite, tanto para o movimento de descida quanto para o movimento de subida observaram-se variações no número médio de peixes transitando pelo visor a cada cinco minutos. Comparando-se com o grupo controle, para os peixes em movimento de descida, esse número variou de dois para um peixe em média. Já para aqueles em movimento de subida, a variação foi de quatro para menos de um peixe em média.

Avaliando-se a variação percentual do trânsito de peixes pelo visor do aquário de teste, o GRÁFICO 4.9 indica que para todos os grupos experimentais testados durante o dia, exceto aquele de 360 flashes/min em movimento de descida, a variação percentual elevou-se, ou seja, o número de peixes transitando pela janela de observação aumentou. Esse aumento foi maior para o grupo testado em 92 flashes/min em movimento de subida, tendo sido registrada variação percentual de 90%.

Já para os peixes testados durante a noite, percebe-se redução percentual do número de peixes transitando pela janela de observação do aquário experimental. De acordo com o GRÁFICO 4.10 observa-se que para os peixes em movimento de subida a redução do número de peixes transitando pelo visor foi de cerca de 90%, tanto para frequência de 92 flashes/min quanto para 360 flashes/min. Já para os peixes em

movimento de descida registraram-se reduções percentuais do número de peixes transitando pelo visor na ordem de 86% e 59% para as frequências de 92 e 360 flashes/min, respectivamente.

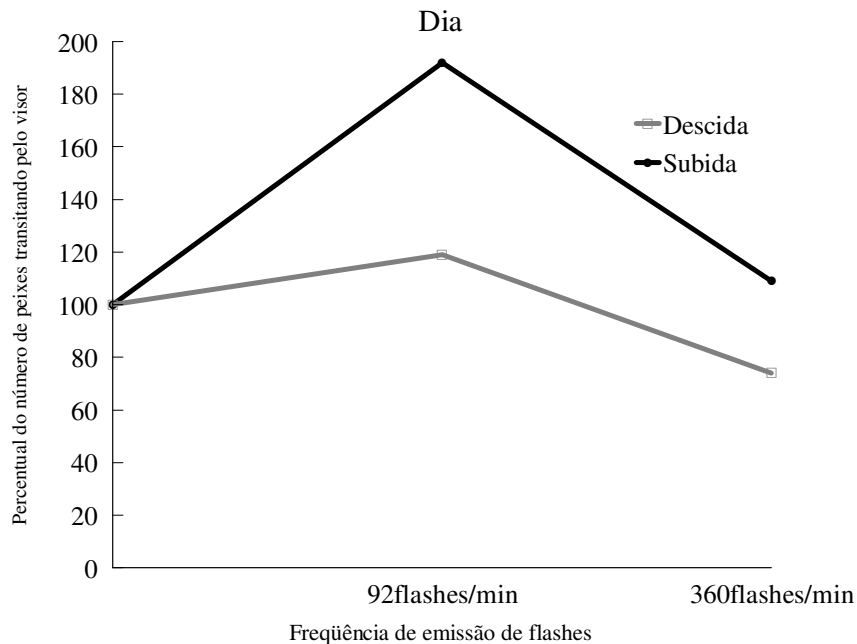


GRÁFICO 4.9 – Influência da luz estroboscópica em diferentes frequências (92 e 360 flashes/min) no percentual do número de registros de mandis-amarelos *Pimelodus maculatus* passando pelo visor do aquário experimental em movimento de descida e subida para os experimentos realizados durante o dia.

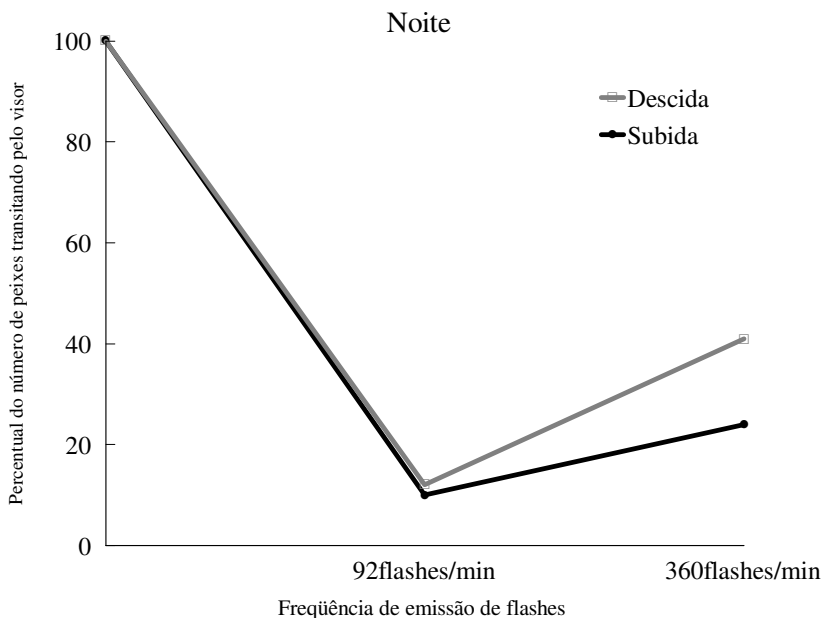


GRÁFICO 4.10 – Influência da luz estroboscópica em diferentes frequências (92 e 360 flashes/min) no percentual do número de registros de mandis-amarelos *Pimelodus maculatus* passando pelo visor do aquário experimental em movimento de descida e subida para os experimentos realizados durante a noite.

As variações percentuais mostram que os mandis-amarelos exibiram tanto comportamentos de repulsão quanto de atração quando expostos à luz estroboscópica. Essas variações, aparentemente, apresentaram-se maiores para os experimentos realizados durante a noite. De fato, as análises de variância dos dados, levando-se em consideração todos os grupos experimentais em conjunto, indicam diferenças estatisticamente significativas (Kruskal-Wallis,  $H = 157,9460$ , graus de liberdade = 15;  $p < 0,0001$ ). No entanto, conforme observado no

GRÁFICO 4.11 e GRÁFICO 4.12, as análises pareadas indicam que, para os grupos experimentais testados durante o dia, não foram detectadas diferenças significativas no número de peixes transitando pelo visor, tanto em movimento de descida quanto de subida.

Avaliando-se ainda os deslocamentos dos peixes durante o dia percebe-se, de acordo com o

GRÁFICO 4.11, que o número médio de peixes em deslocamento de descida aumentou, ligeiramente, durante os testes com luz estroboscópica ligada em 92 flashes/min. Para o movimento de subida, o GRÁFICO 4.12 mostra que o número de peixes transitando pelo visor também teve um pequeno aumento, para ambas as frequências de emissão de flashes testadas.

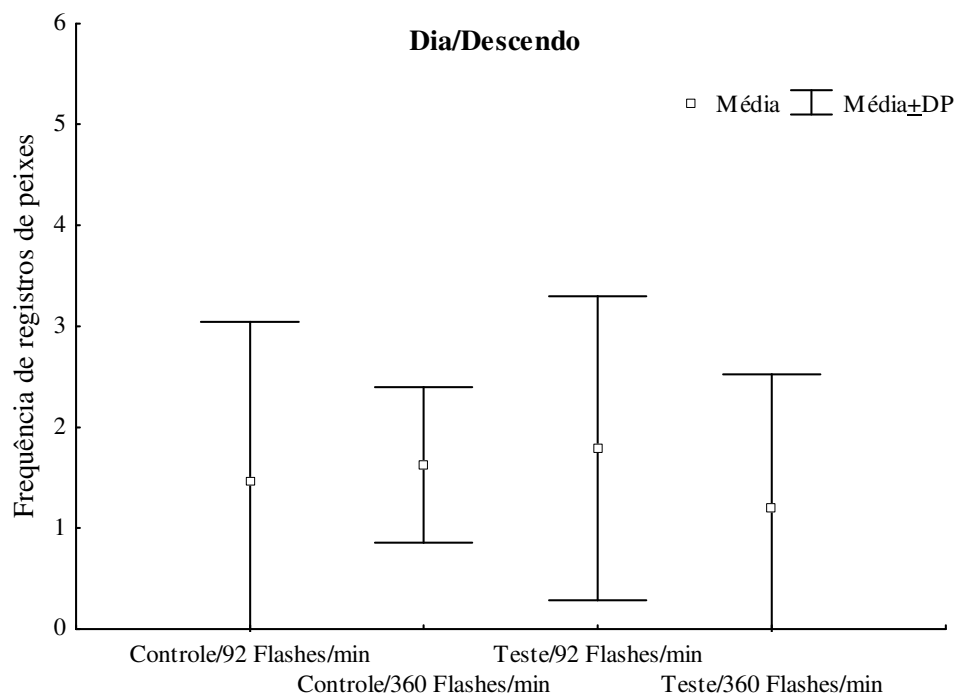


GRÁFICO 4.11 – Média de registros de mandis-amarelos *Pimelodus maculatus* passando pela janela de observação do aquário experimental em movimento de descida durante o dia, em diferentes condições experimentais.

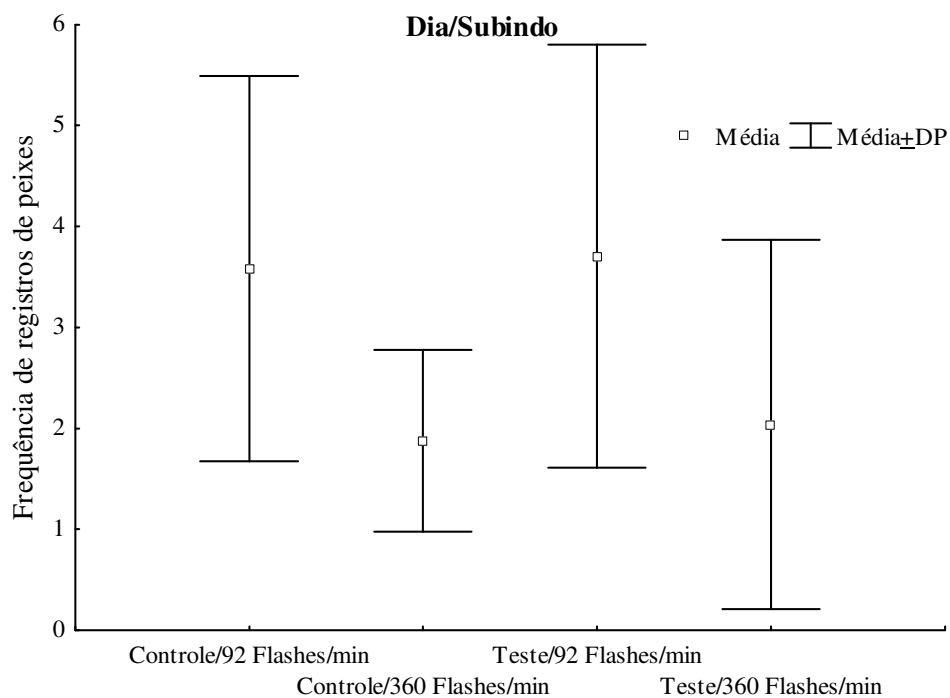


GRÁFICO 4.12 – Média de registros de mandis-amarelos *Pimelodus maculatus* passando pela janela de observação do aquário experimental em movimento de subida durante o dia, em diferentes condições experimentais.

Para os testes realizados durante a noite, diferenças significativas no número de peixes transitando pelo visor do aquário experimental foram observadas. O GRÁFICO 4.13 mostra o número de peixes deslocando-se pelo visor em movimento de descida e pode-se observar que esse número decresce com a luz ligada, para ambas frequências de emissão de flashes selecionadas (92 ou 360 flashes/min). A maior redução foi registrada para os testes com 92 flashes/min. Para os peixes em movimento de subida, observou-se a mesma variação, sendo o número de peixes deslocando-se pelo visor do aquário experimental menor em ambas as frequências de emissão de flashes. O GRÁFICO 4.14 mostra que não foram registradas diferenças significativas no número médio de peixes transitando pelo visor quando testados nas frequências de 92 ou 360 flashes/min.

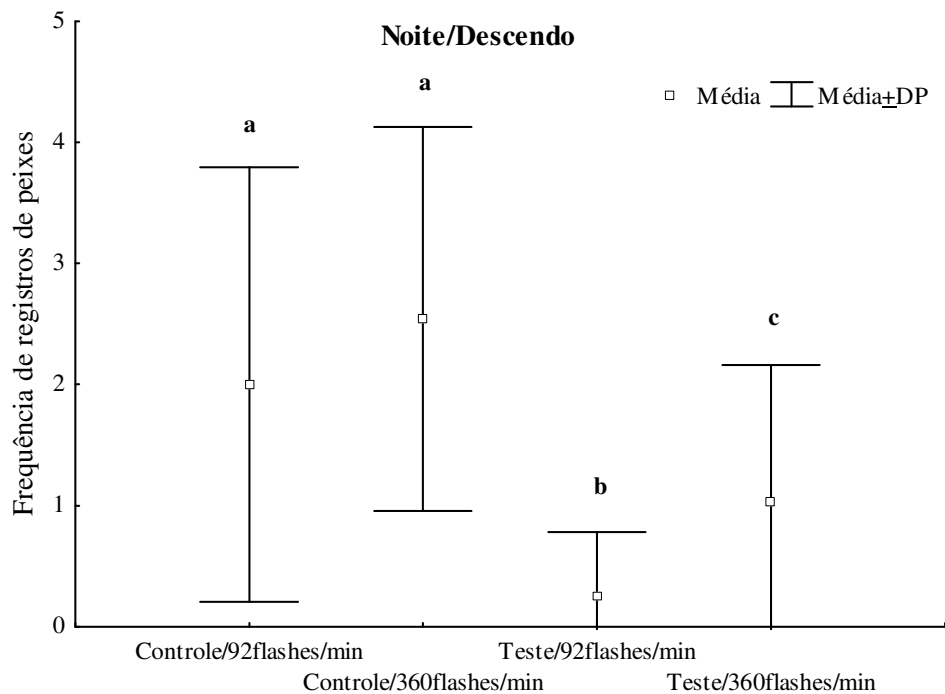


GRÁFICO 4.13 – Média de registros de mandis-amarelos *Pimelodus maculatus* passando pela janela de observação do aquário experimental em movimento de descida durante a noite, em diferentes condições experimentais (letras diferentes indicam valores com diferenças estatisticamente significativas; Kruskal-Wallis –  $p < 0,0001$ ).

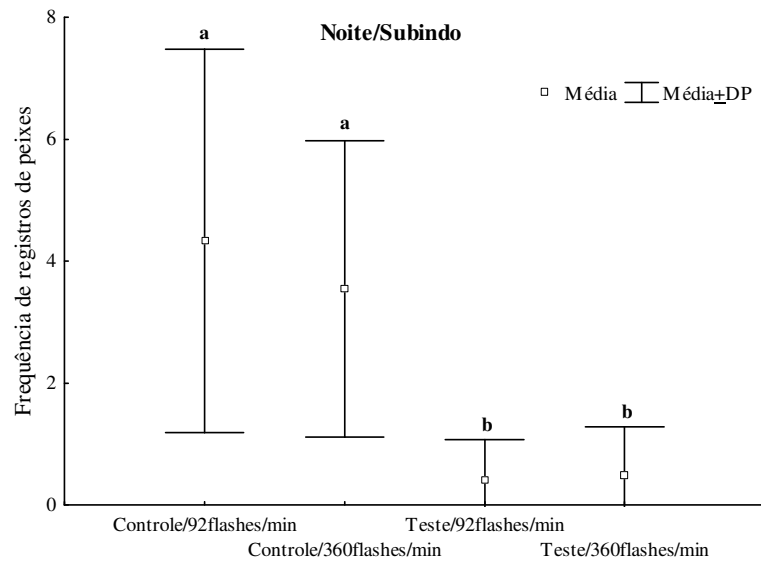


GRÁFICO 4.14 – Média de registros de mandis-amarelos *Pimelodus maculatus* passando pela janela de observação do aquário experimental em movimento de subida durante a noite, em diferentes condições experimentais (letras diferentes indicam diferenças (letras diferentes indicam valores com diferenças estatisticamente significativas; Kruskal-Wallis –  $p < 0,0001$ ).

Como pode-se observar, a luz estroboscópica causou repulsão dos mandis-amarelos durante o período da noite. Sendo assim, as análises pareadas entre os grupos experimentais com diferentes frequências de emissão de flashes (92 e 360 flashes/min) durante a noite indicaram diferenças significativas apenas para o grupo de mandis-amarelos em movimento de descida. Para este grupo de peixes, aparentemente, a frequência de 92 flashes/min apresenta maior eficiência para interromper o deslocamento neste sentido (Wilcoxon,  $n = 24$ ,  $z = 2,41$ ;  $p = 0,01$ ). Para o grupo em deslocamento de subida não foram registradas diferenças significativas entre as duas configurações de frequências utilizadas nos testes (Wilcoxon,  $n = 24$ ,  $z = 0,26$ ;  $p = 0,78$ ).

Avaliando-se a duração do efeito de repulsão da luz estroboscópica sobre os peixes durante o período de 1 hora, o GRÁFICO 4.15 mostra que as análises pareadas entre os 30 minutos iniciais de teste e os 30 minutos finais para cada grupo (92 e 360 flashes/min) apresentaram diferenças significativas apenas para aquele testado com a luz configurada para emissão de 360 flashes/min. Nesta condição, o número médio de peixes transitando em deslocamento de descida reduziu, significativamente, durante os 30 minutos finais de teste, passando-se menos de um peixe a cada 5 minutos de contagem. Para as demais frequências e sentidos de deslocamento nenhuma diferença foi observada (GRÁFICO 4.16).

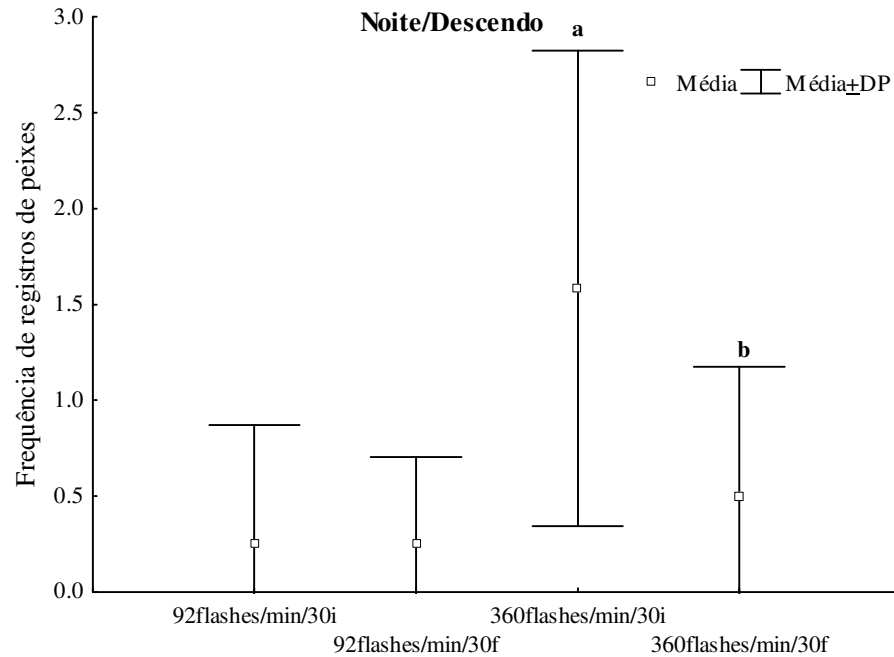


GRÁFICO 4.15 – Comparação entre o número de mandis-amarelos *Pimelodus maculatus* em movimento de descida durante os 30 minutos iniciais (30i) e finais (30f) dos experimentos com luz estroboscópica realizados durante a noite (letras diferentes indicam valores com diferenças estatisticamente significativas; Wilcoxon –  $p = 0,01$ ).

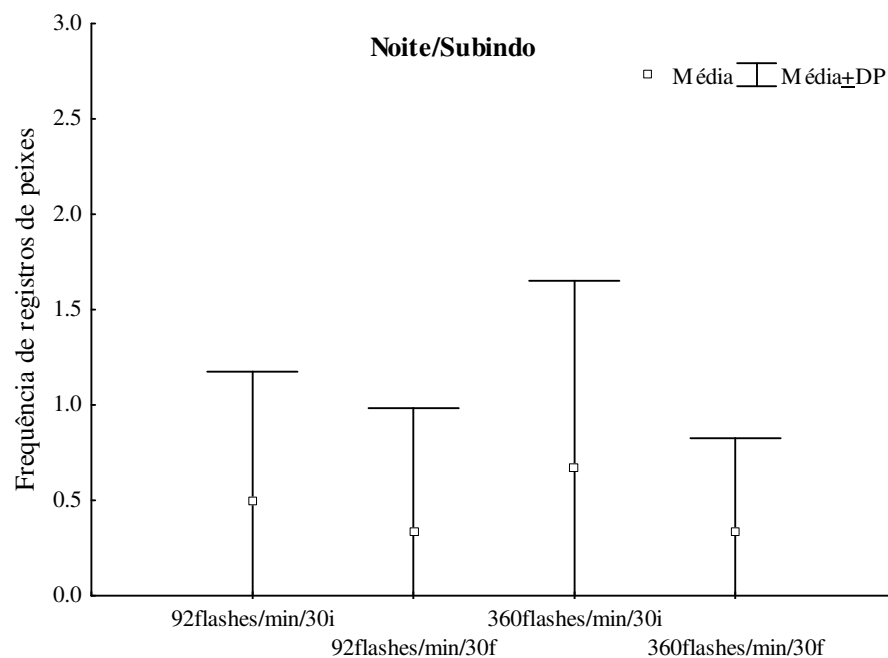


GRÁFICO 4.16 – Comparação entre o número de mandis-amarelos *Pimelodus maculatus* em movimento de subida durante os 30 minutos iniciais (30i) e finais (30f) dos experimentos com luz estroboscópica realizados durante a noite.

#### 4.1.2 – USBR/Denver

Os testes desenvolvidos em laboratório mostraram que o Delta smelt apresenta comportamento de repulsão frente à luz estroboscópica em determinadas situações. Durante o dia, assim como para a noite, a distribuição dos peixes foi mais homogênea entre as áreas do tanque experimental quando a luz estroboscópica encontrava-se desligada. Para o dia, o GRÁFICO 4.17 mostra que o número médio de peixes registrados para cada uma das áreas foi de 0,75 e 0,55 para a área sem influência direta da luz estroboscópica e com influência direta da luz, respectivamente. Já com a luz estroboscópica ligada esses valores se alteraram, sendo registrado maior número médio de peixes na área sem influência direta da luz (1,5 peixes). No entanto, os testes estatísticos indicam que essas diferenças não foram significativas entre os valores registrados durante o dia.

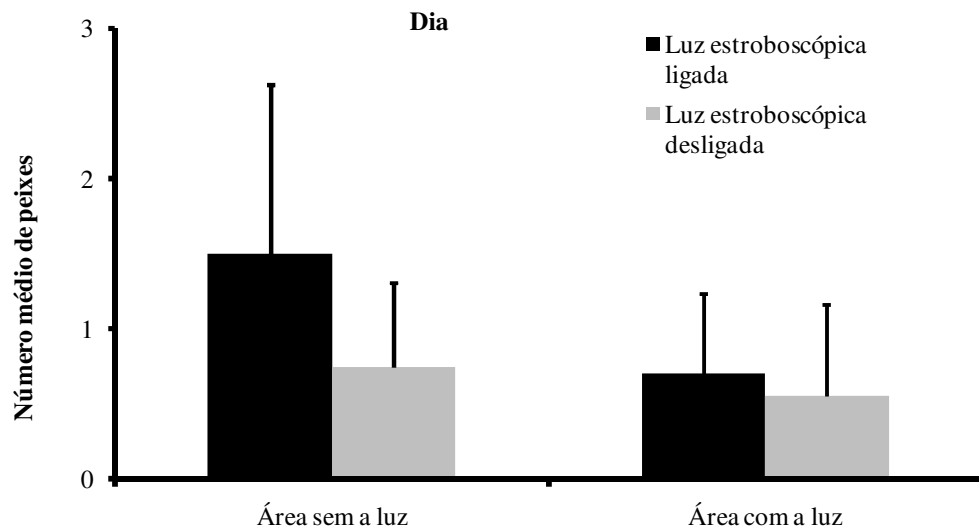


GRÁFICO 4.17 – Média do número de peixes registrados durante o dia com a luz estroboscópica ligada e desligada nas áreas do tanque experimental sem influência e com influência direta da luz. Barras verticais indicam o desvio padrão.

Durante a noite, de acordo com o GRÁFICO 4.18, quando a luz encontrava-se desligada, registraram-se valores médios de 0,60 e 1,08 peixes para área sem influência direta e para a área com influência direta da luz estroboscópica, respectivamente. Com a luz ligada, um maior número de peixes deslocou-se para a área sem a influência direta da luz estroboscópica, registrando-se valores médios de 2,83



peixes. Esse número também aumentou para a área com influência direta da luz, sendo registrados valores médios de 1,97 peixes em 30 minutos. Comparando-se o número médio de peixes registrados em cada uma das áreas com a luz estroboscópica ligada e desligada, observam-se diferenças significativas no número de peixes na área sem influência direta da luz durante a noite ( $p = 0,01$ ).

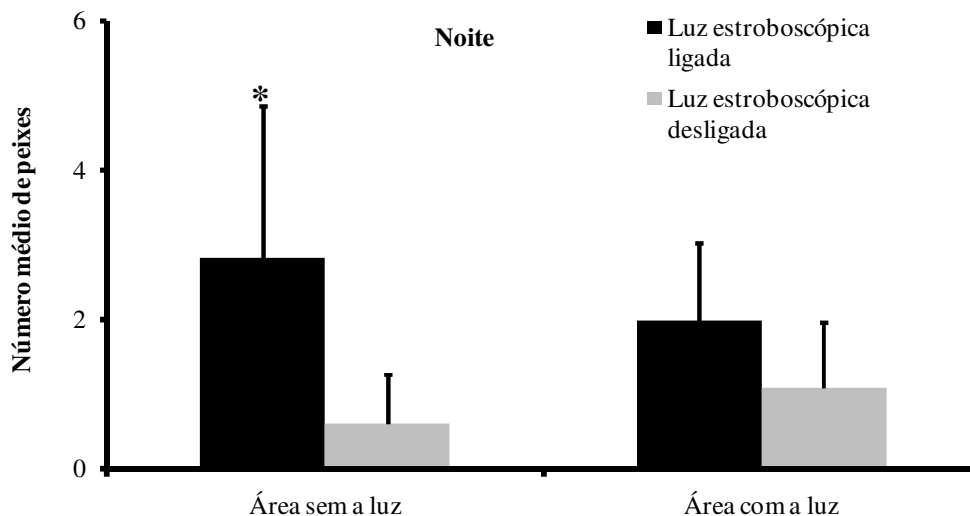


GRÁFICO 4.18 – Média do número de peixes registrados durante a noite com a luz estroboscópica ligada e desligada nas áreas do tanque experimental sem influência e com influência direta da luz. \* indica diferença significativa entre o experimento com luz estroboscópica ligada e desligada (Wilcoxon,  $p = 0,01$ ). Barras verticais indicam o desvio padrão.

Observa-se que o efeito de repulsão dos peixes fazendo com que eles se desloquem em direção à área sem influência da luz estroboscópica foi mais pronunciado durante a noite. Além disso, observa-se também maior deslocamento dos peixes ao longo do tanque experimental, tendo em vista que para ambos os períodos (dia e noite) o registro de peixes foi maior nas áreas demarcadas quando a luz estroboscópica encontrava-se ligada.

Tendo em vista a tendência à repulsão de Delta smelt registrada diante da exposição à luz estroboscópica, avaliou-se qual a configuração de emissão de flashes seria melhor para gerar respostas de repulsão nessa espécie. De acordo com o GRÁFICO 4.19 as análises realizadas indicam que um menor número médio de peixes tende a se deslocar pela área com influência direta da luz estroboscópica com emissão de flashes de 360 flashes/min ( $p = 0,04$ ) durante a noite, quando comparado com a

freqüência de 120 flashes/min. Já durante o dia o número de peixes registrados foi semelhante independentemente da freqüência utilizada. Dessa forma, aparentemente, a freqüência de emissão de 360 flashes/min durante a noite demonstrou ser mais eficiente para repulsão de Delta smelt, pelo menos por um período de 30 minutos.

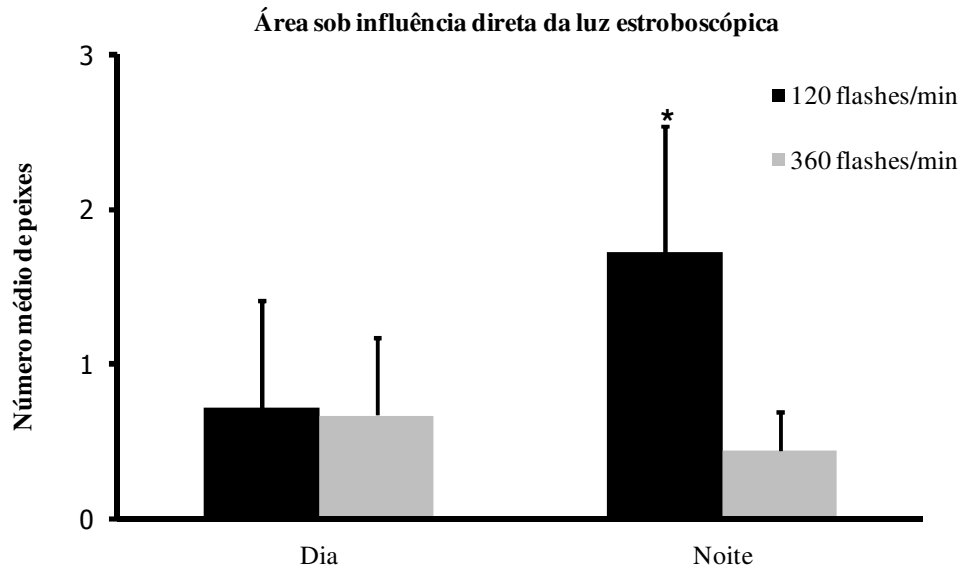


GRÁFICO 4.19 – Média do número de peixes registrados na área com influência direta da luz estroboscópica durante o dia e noite com a luz ligada em diferentes configurações (120 e 360 flashes/min). \* indica diferença significativa (Wilcoxon,  $p = 0,04$ ). Barras verticais indicam o desvio padrão.

#### 4.1.3 – TFCF

##### 4.1.3.1 – Efeitos da luz estroboscópica sobre o Delta smelt

Com os resultados obtidos em laboratório nos testes com o Delta smelt foram conduzidos os testes no Tracy Fish Collection Facility (TFCF) buscando avaliar variações na eficiência de coleta de Delta smelt nos tanques do TFCF, utilizando-se luz estroboscópica configurada para emitir 360 flashes/min, tendo em vista que essa freqüência foi aquela que promoveu maior repulsão dessa espécie. Para os peixes soltos antes da primeira grade no canal secundário (ponto  $\Delta A$ ), a análise de variância dos dados apontou diferenças significativas na eficiência de coleta de Delta smelt nos tanques (ANOVA-dois fatores; graus de liberdade = 3;  $p = 0,01$ ). De acordo com o GRÁFICO 4.20 a análise pareada dos dados indica que essa diferença foi significativa para os peixes coletados durante o dia e com a luz estroboscópica ligada. No geral, para

os peixes soltos no ponto  $\Delta A$ , a eficiência de coleta girou em torno de 67% durante o dia e 50% a noite com a luz estroboscópica ligada.

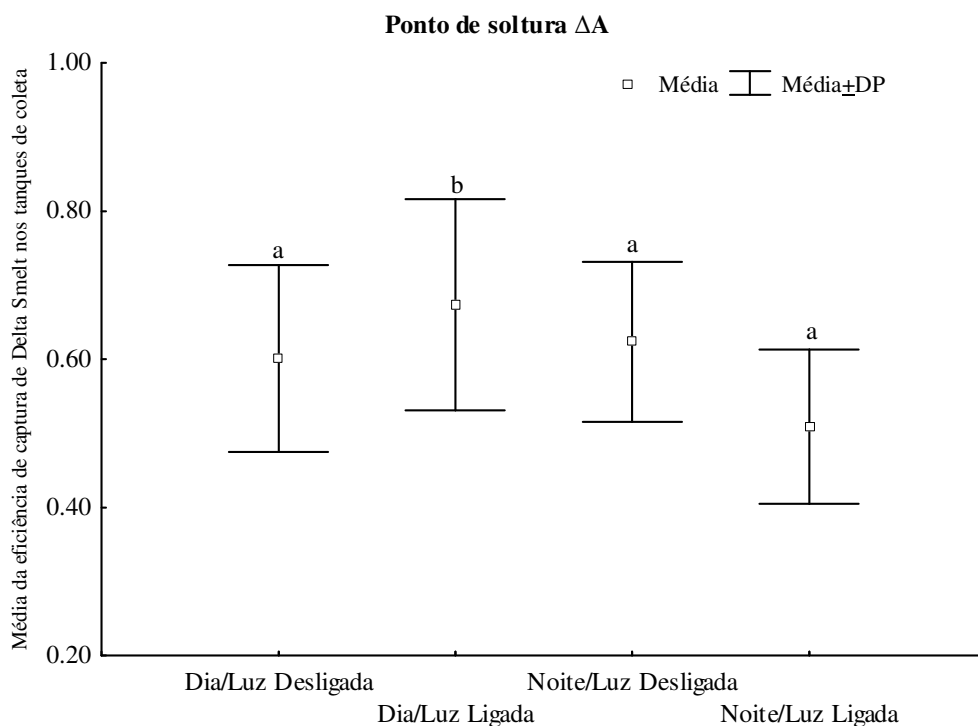


GRÁFICO 4.20 – Média da eficiência de captura de Delta smelt, nos tanques de coleta do Tracy Fish Collection Facility (TFCF), soltos a montante da primeira grade do canal secundário (local  $\Delta A$ ) durante o dia e noite, com a luz estroboscópica ligada e desligada. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as variáveis analisadas (ANOVA-dois fatores; graus de liberdade = 3;  $p = 0,01$ ).

Para os peixes soltos no local  $\Delta B$  não foram registradas diferenças significativas para nenhuma das variáveis testadas (ANOVA-dois fatores; graus de liberdade = 3;  $p = 0,12$ ). Como mostrado pelo GRÁFICO 4.21 em geral a eficiência de coleta dos peixes soltos neste local girou em torno de 34% para o dia e 43% para a noite, com a luz estroboscópica ligada.

De modo geral, os dados obtidos apontam valores médios de eficiência maiores durante o período do dia do que a noite. Além disso, observa-se que para os peixes soltos antes da primeira grade do canal secundário (local  $\Delta A$ ), a eficiência também foi maior do que para aqueles soltos entre a primeira e a segunda grade (local  $\Delta B$ ).

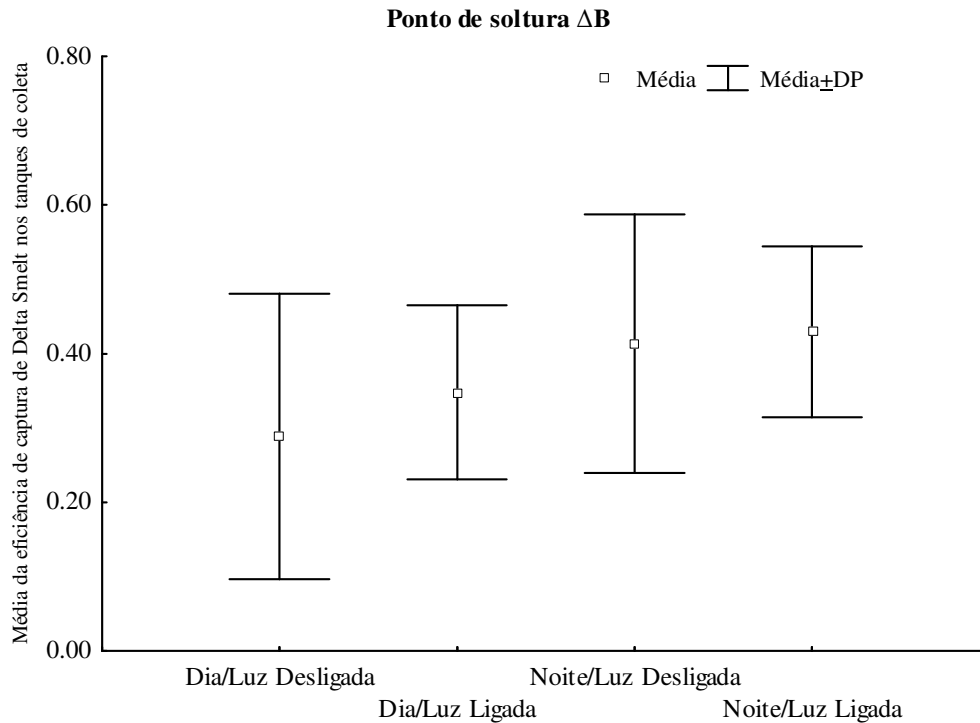


GRÁFICO 4.21 – Média da eficiência de captura de Delta smelt, nos tanques de coleta do Tracy Fish Collection Facility (TFCF), soltos entre a primeira e a segunda grade do canal secundário (local  $\Delta B$ ), durante o dia e noite, com a luz estroboscópica ligada e desligada.

Durante o dia, para luz estroboscópica ligada, a eficiência de captura dos peixes soltos no ponto de soltura  $\Delta A$  foi significativamente maior do que o registrado para os peixes soltos no ponto  $\Delta B$  (Teste T; graus de liberdade = 9;  $p < 0,01$ ). Já durante o período da noite, não registraram-se diferenças significativas na eficiência de salvamento de Delta smelt em função dos diferentes locais de soltura (Teste T; graus de liberdade = 9;  $p = 0,10$ ).

A eficiência de coleta de Delta smelt no TFCF foi maior durante o dia do que a noite, sendo que essa eficiência foi aumentada durante o dia utilizando-se luz estroboscópica em frequência de 360 flashes/min. De fato, observou-se que os peixes que passam pela primeira grade e alcançam o “falso bypass” tem maiores probabilidades de alcançarem os tanques de coleta.

#### 4.1.3.2 – Efeitos da luz estroboscópica sobre o Splittail

Para todos os experimentos realizados a eficiência de captura de Splittail nos tanques de coleta foi superior a 90%. Com a luz instalada no Local B a eficiência de captura chegou a 100% durante o dia com a luz estroboscópica desligada. O GRÁFICO 4.22 mostra essas relações e indica que a eficiência de captura foi alta com a luz estroboscópica desligada, porém instalada no Local C, sendo de 93% durante o dia. Nos experimentos conduzidos com a luz ligada observou-se uma variação mínima na eficiência de salvamento de Splittail nos tanques de coleta do TFCF, sendo de 97% e 98% para a luz instalada nos locais B e C, respectivamente.

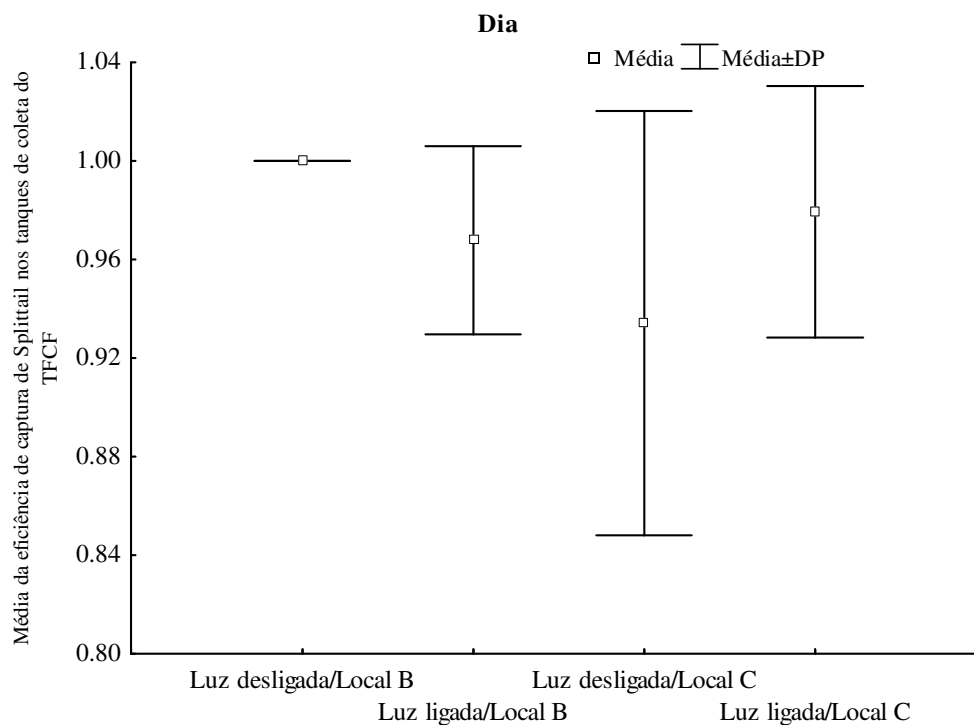


GRÁFICO 4.22 – Média da eficiência de captura de Splittail, nos tanques de coleta do Tracy Fish Collection Facility (TFCF), para os experimentos realizados com a luz desligada e ligada, instalada nos locais B e C, durante o dia.

Durante a noite, conforme observado no GRÁFICO 4.23 a eficiência de captura de Splittail nos experimentos com a luz estroboscópica desligada variou entre 94 e 91% para a luz instalada no Local B e C, respectivamente. Com a luz estroboscópica ligada, as variações na eficiência de captura foram mínimas, sendo que,

para a luz instalada no Local B registraram-se 91% de eficiência e para a luz instalada no Local C 92%.

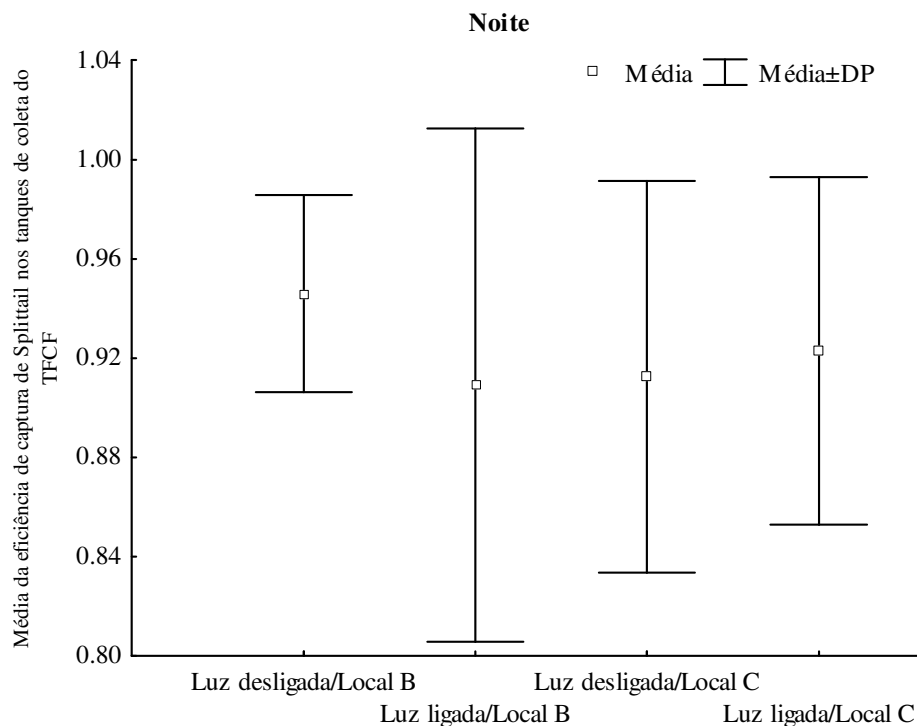


GRÁFICO 4.23 – Média da eficiência de captura de Splittail, nos tanques de coleta do Tracy Fish Collection Facility (TFCF), para os experimentos realizados com a luz desligada e ligada, instalada nos locais B e C, durante noite.

De modo geral, observa-se que, durante o dia ou noite, a eficiência de captura não apresentou grandes variações, independentemente do local de instalação do bulbo de luz e do fato da luz estar desligada ou ligada. De fato, para os experimentos realizados com a luz instalada no Local B, os testes de ANOVA-dois-fatores não indicaram diferenças significativas na eficiência de captura quando comparados os valores obtidos durante o dia, com a luz ligada e desligada, com aqueles obtidos durante a noite ( $p = 0,08$ ). Do mesmo modo, para os experimentos realizados com a luz instalada no Local C, também não verificaram-se diferenças significativas quando comparados os valores de eficiência de captura ( $p = 0,40$ ).

O teste de ANOVA-dois-fatores detectou diferenças significativas na eficiência de captura de Splittail apenas quando comparados os valores obtidos durante o dia e noite, independentemente da luz estroboscópica estar ligada ou desligada, para os experimentos realizados com a luz instalada nos locais B e C ( $p = 0,02$ ). De fato, a

análise pareada de Wilcoxon entre dia e noite para o Local B e Local C, registrada no GRÁFICO 4.24, confirmou que, durante o dia, maior eficiência de captura de Splittail foi observada ( $p < 0,01$ ).

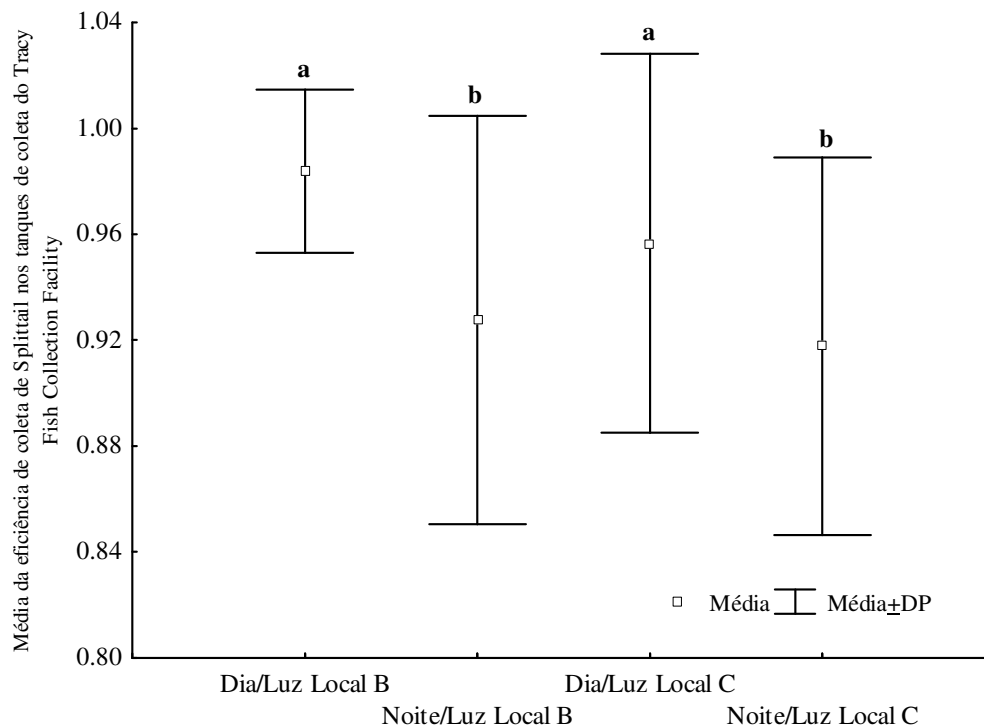


GRÁFICO 4.24 – Média da eficiência de captura de Splittail, nos tanques de coleta do Tracy Fish Collection Facility (TFCF), para os experimentos realizados com a luz desligada e ligada, instalada nos locais B e C, durante o dia e noite. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os valores observados (Wilcoxon,  $p < 0,01$ ).

A instalação da luz estroboscópica no Local C foi realizada buscando-se avaliar um possível comportamento de repulsão de Splittail através da redução da eficiência de captura nos tanques de coleta, uma vez que a luz encontrava-se direcionada para a saída do “falso bypass” e entrada do “bypass verdadeiro”. Dessa forma, compararam-se os valores de eficiência de captura dessa espécie com a luz ligada nos diferentes locais de instalação (B e C). De acordo com o teste T realizado, não foram observadas diferenças significativas na eficiência de captura para nenhum dos experimentos ( $p = 0,66$  durante o dia e  $p = 0,79$  durante a noite). Dessa forma, observa-se que o Splittail não apresentou comportamento de repulsão pela luz estroboscópica, tendo em vista que se este fato fosse registrado esperava-se uma redução na eficiência de captura quando da luz ligada na posição C.

#### 4.2– Cortina de Bolhas

Os dados obtidos para os experimentos realizados com cortina de bolhas indicaram que a média de peixes registrados passando pela área da cortina de bolhas no aquário experimental variou de 0,38 a 2,16, sendo registrados para os experimentos teste e controle, respectivamente, relativo ao grupo de peixes mantidos sem a alimentação interrompida, o que pode ser observado pelo GRÁFICO 4.25. No geral, excetuando-se os testes realizados para o grupo com a alimentação interrompida por 7 dias, a comparação dos dados obtidos entre o grupo com alimentação diária demonstra redução de cerca de 82% na passagem de peixes pela cortina de bolhas com o sistema ligado (média de 2,16 e 0,38 peixes para o controle e teste, respectivamente). Para o grupo de quatro dias com a alimentação interrompida essa diferença foi de cerca de 48% (média de 1,05 e 0,55 para o controle e teste, respectivamente), conforme o GRÁFICO 4.25. Quando comparados os dados do controle e teste dos grupos com alimentação normal e interrompida por quatro dias com o teste do grupo sem alimentação por sete dias essas diferenças foram de 95 e 89%, respectivamente.

Percebe-se que não foram apresentados resultados para o grupo experimental com alimentação interrompida por sete dias, tendo em vista que não foi registrado trânsito desses peixes pelo visor do aquário experimental durante o período de teste. Analisando-se os dados obtidos para todos os grupos experimentais em conjunto foram registradas diferenças significativas no número de peixes passando pela área da cortina de bolhas quando o sistema encontrava-se ligado (Kruskal-Wallis, graus de liberdade = 4,  $p < 0,01$ ). No entanto, o mesmo GRÁFICO 4.25 mostra que as análises pareadas indicaram que essas diferenças foram significativas apenas para comparação entre o controle e teste do grupo de peixes mantidos com alimentação normal ( $p < 0,05$ ) e do controle do grupo de peixes mantidos com alimentação diária com o teste do grupo com alimentação interrompida por 7 dias ( $p < 0,05$ ).



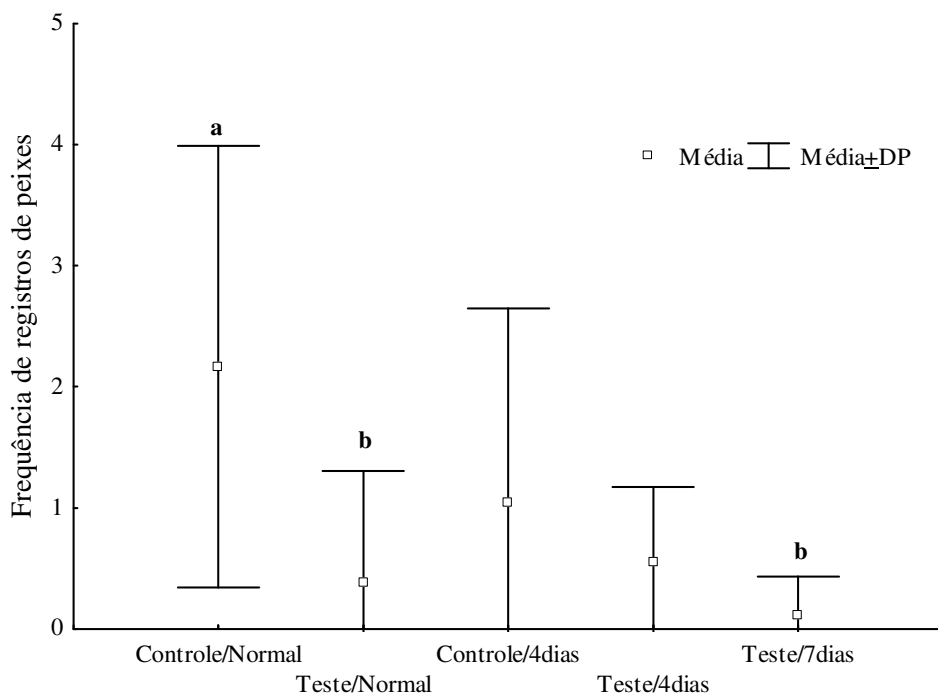


GRÁFICO 4.25 – Média do número de peixes passando pela área da cortina de bolhas para os grupos de peixes mantidos com alimentação normal, interrompida por quatro dias e sete dias, respectivamente, para os experimentos controle (cortina de bolhas desligada) e teste (cortina de bolhas ligada). Letras distintas indicam valores significativamente diferentes (Kruskal-Wallis, graus de liberdade = 4,  $p < 0,05$ ).

### 4.3– Substância de alarme

#### 4.3.1 – Comportamento de mandis-amarelos expostos a concentrações variadas de macerado de pele

Para os testes realizados com os mandis-amarelos expostos ao macerado de pele em diferentes concentrações registraram-se comportamentos distintos para cada uma das fases dos experimentos. Os diferentes comportamentos observados foram bons indicativos da possível presença da substância de alarme na pele destes peixes. Isso porque, para cada experimento, comparando-se o grupo controle com o teste (água destilada X macerado de pele, respectivamente) foi possível registrar uma grande variação de comportamento relacionada ao estímulo dado. De modo geral, observou-se para os cinco experimentos realizados, que os peixes do tratamento controle, ou seja, expostos à água destilada, não apresentaram reações consideráveis a este estímulo, sendo predominante o registro de inatividade em praticamente todas as fases (antes,

durante ou após a aplicação do estímulo). De fato, o GRÁFICO 4.26 mostra que antes da aplicação da água destilada alguns poucos peixes exibiram comportamento registrado como nadando devagar, nadando rápido ou brigando, sendo o comportamento inativo aquele predominante. O mesmo fato pode ser observado no GRÁFICO 4.27 e GRÁFICO 4.28, para as fases durante e após a aplicação da água destilada.

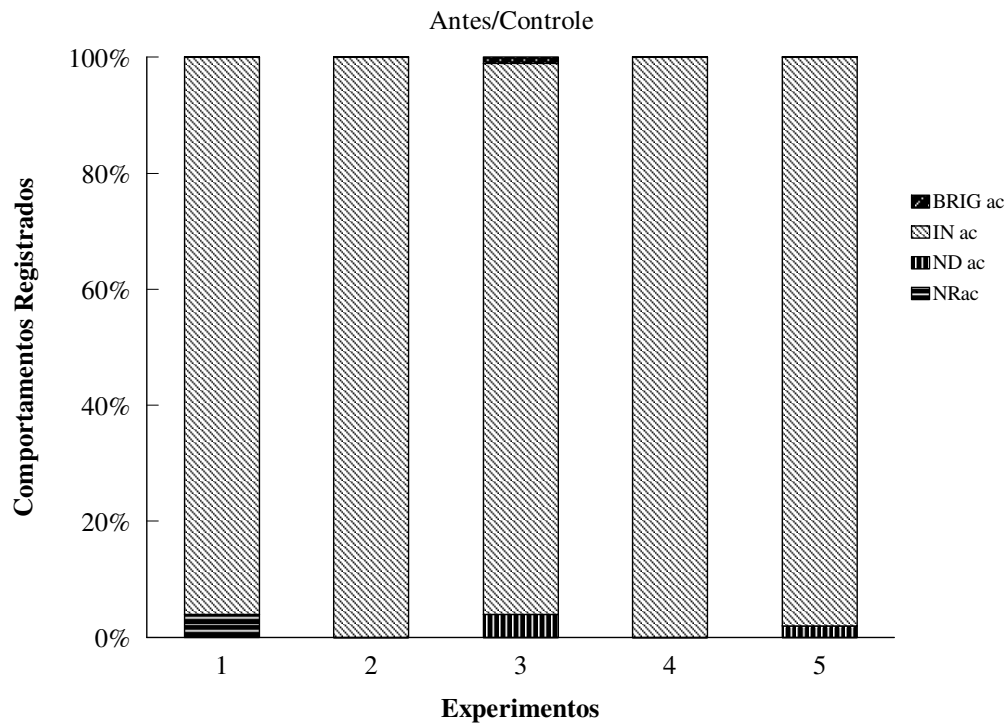


GRÁFICO 4.26 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos antes da aplicação de água destilada (experimento controle). Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido e ac = fase do experimento (antes/controle).

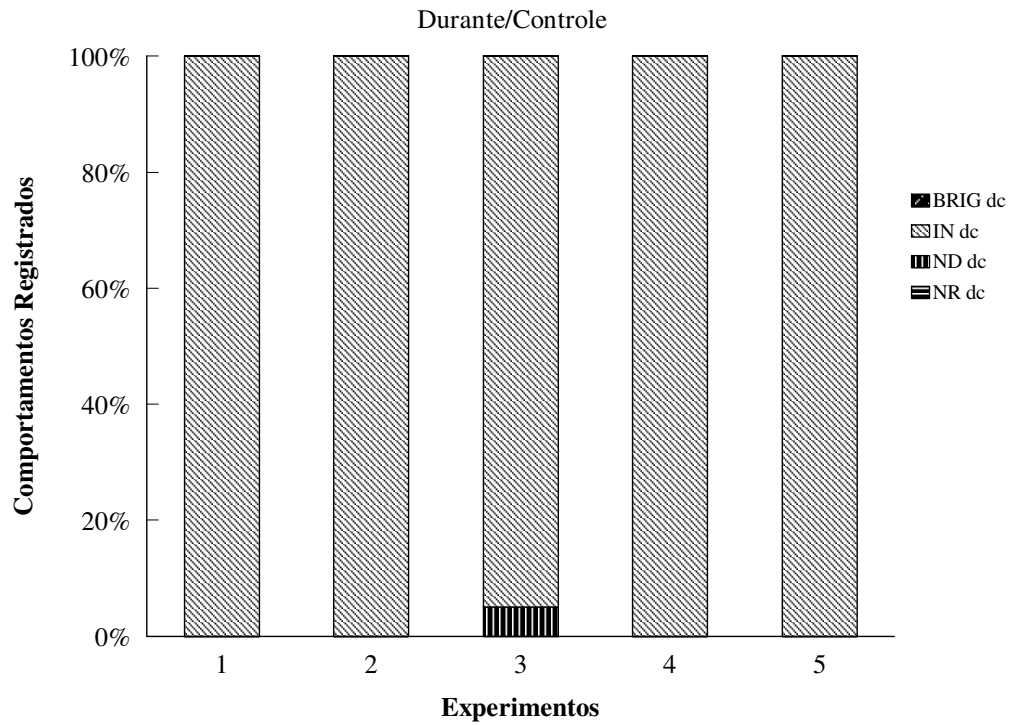


GRÁFICO 4.27– Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos durante a aplicação de água destilada (experimento controle). Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido e dc = fase do experimento (durante/controlado).

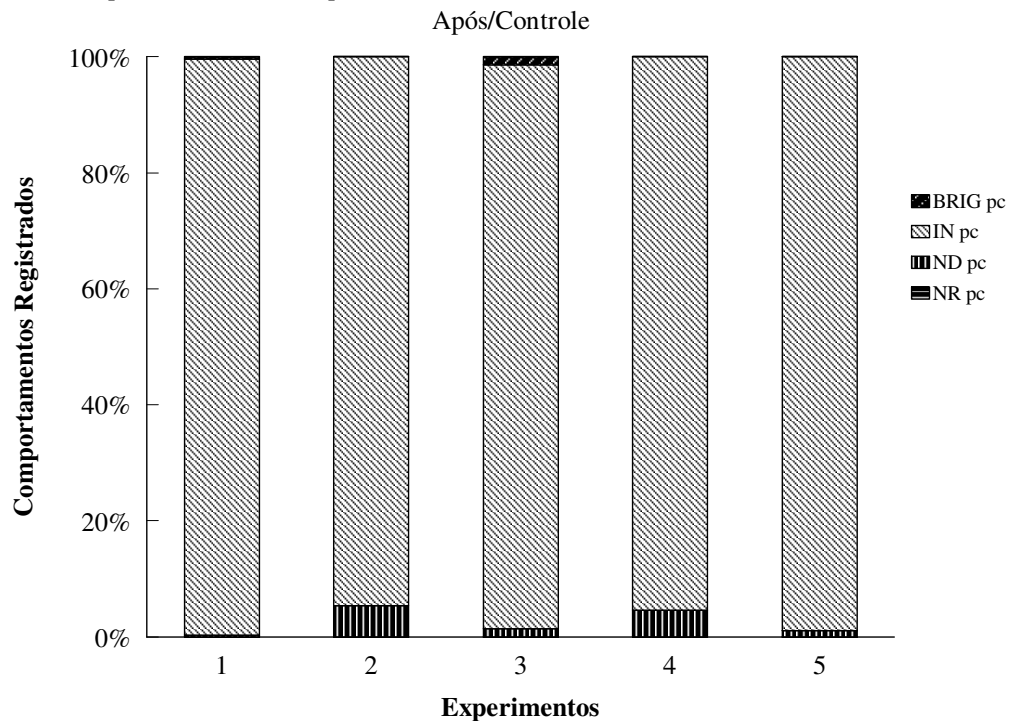


GRÁFICO 4.28 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos durante a aplicação de água destilada (experimento controle). Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido e pc = fase do experimento (após/controlado).

Já para os peixes expostos à solução de macerado de pele foram observadas variações comportamentais consideráveis entre as fases de realização do experimento. Observa-se, de acordo com o GRÁFICO 4.29 que antes da aplicação do macerado de pele no aquário experimental, a maioria dos peixes permaneceu em inatividade, sendo que em alguns experimentos foram registrados indivíduos brigando, nadando devagar e nadando rápido. O GRÁFICO 4.30 mostra que durante a aplicação do macerado de pele as variações comportamentais foram intensas em todos os experimentos, sendo que apenas para o experimento 3 cerca de 40% dos peixes permaneceram inativos. Nos demais experimentos, a proporção de peixes inativos variou até 20%. Nessa fase, um maior número de peixes foi registrado nadando rápido em todos os experimentos, seguido do comportamento brigando e nadando devagar. Já para a fase após a aplicação do macerado de pele, observa-se de acordo com o GRÁFICO 4.31, que o comportamento inativo foi o mais registrado em todos os experimentos, com alguns poucos registros de peixes nadando devagar, nadando rápido e brigando.

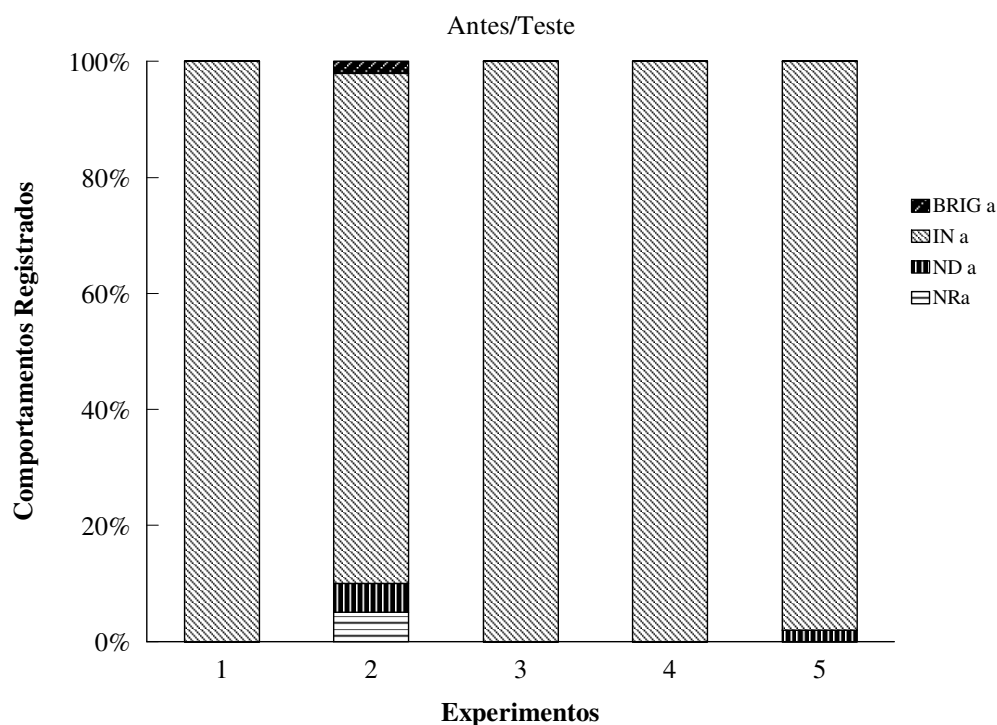


GRÁFICO 4.29 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos antes da aplicação do macerado de pele (grupo teste). Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido e a = fase do experimento (antes/teste).

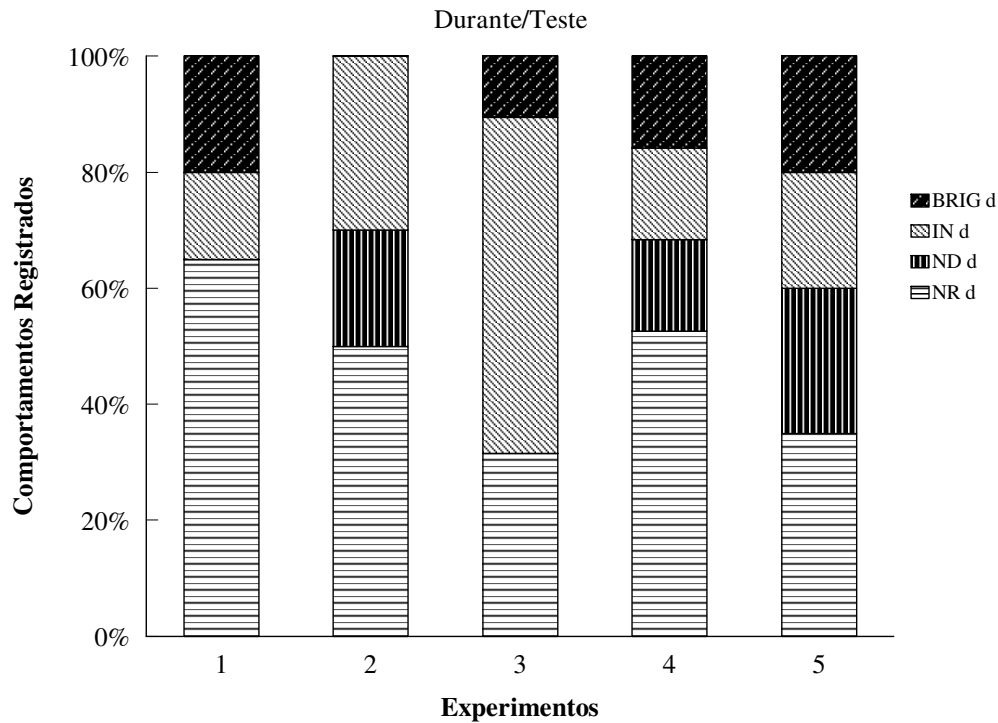


GRÁFICO 4.30 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos durante a aplicação do macerado de pele (grupo teste). Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido e d = fase do experimento (durante/teste).

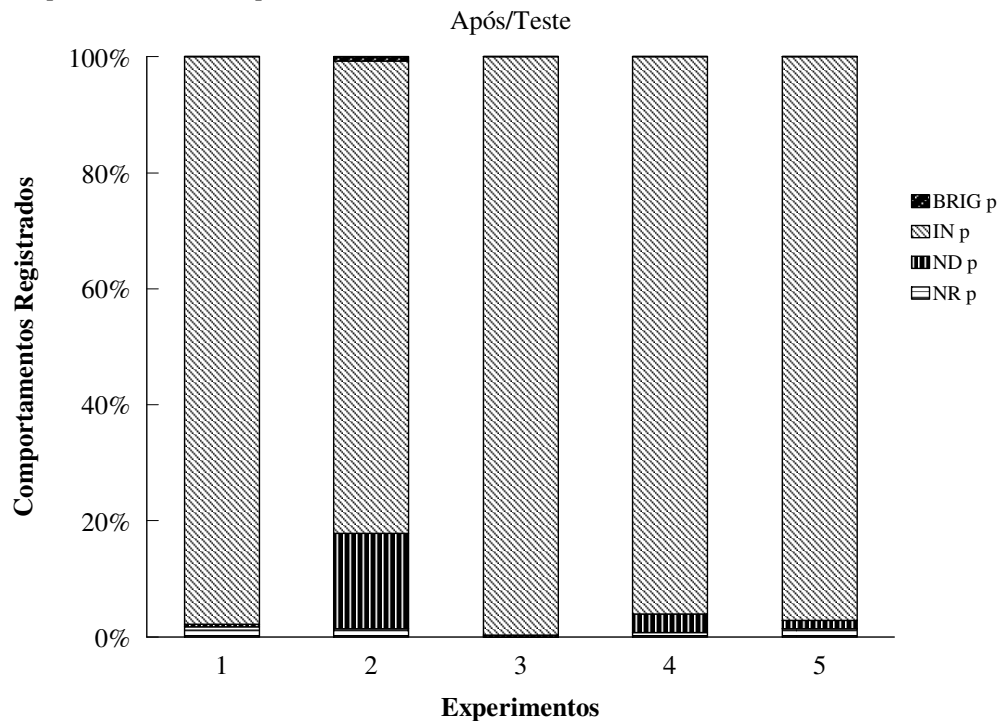


GRÁFICO 4.31– Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos após a aplicação do macerado de pele (grupo teste). Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido e p = fase do experimento (após/teste).

Analisando-se a distribuição dos peixes entre as áreas do aquário experimental, independentemente do comportamento exibido, observa-se pelo GRÁFICO 4.32 que antes da aplicação do macerado de pele 100% dos peixes encontravam-se na área enriquecida do aquário, local onde foram soltos no início do experimento. Apenas no experimento 2 alguns peixes se deslocaram em direção à área não enriquecida do aquário e nenhum peixe foi registrado no corredor.

Já durante a fase de aplicação do macerado de pele o que observou-se, de acordo com o GRÁFICO 4.33, foi uma maior agitação dos peixes no aquário e uma tendência a sair da área onde o estímulo foi aplicado (macerado de pele). Pode-se observar uma tendência ao longo dos experimentos realizados de serem registrados peixes em todas as áreas do aquário experimental, apesar da maior parte dos registros ter sido feita na área enriquecida. Exceto para o experimento 5, onde o percentual de peixes registrados no corredor superou aquele da área enriquecida. Um menor número de peixes foi registrado na área não enriquecida, porém, percebeu-se uma movimentação considerável dos peixes entre as áreas.

A última fase, após a aplicação do macerado de pele, demonstrou, conforme observado no GRÁFICO 4.34, registro de peixes em todas as áreas do aquário experimental, exceto para o experimento 1 onde 100% dos peixes se encontravam na área enriquecida. Assim como observado para a fase de aplicação do macerado o trânsito dos peixes pelas áreas do aquário foi considerável, sendo que no experimento 5 nenhum peixe foi registrado na área enriquecida do aquário, estando distribuídos entre o corredor e a área não enriquecida (80 e 20%, respectivamente).

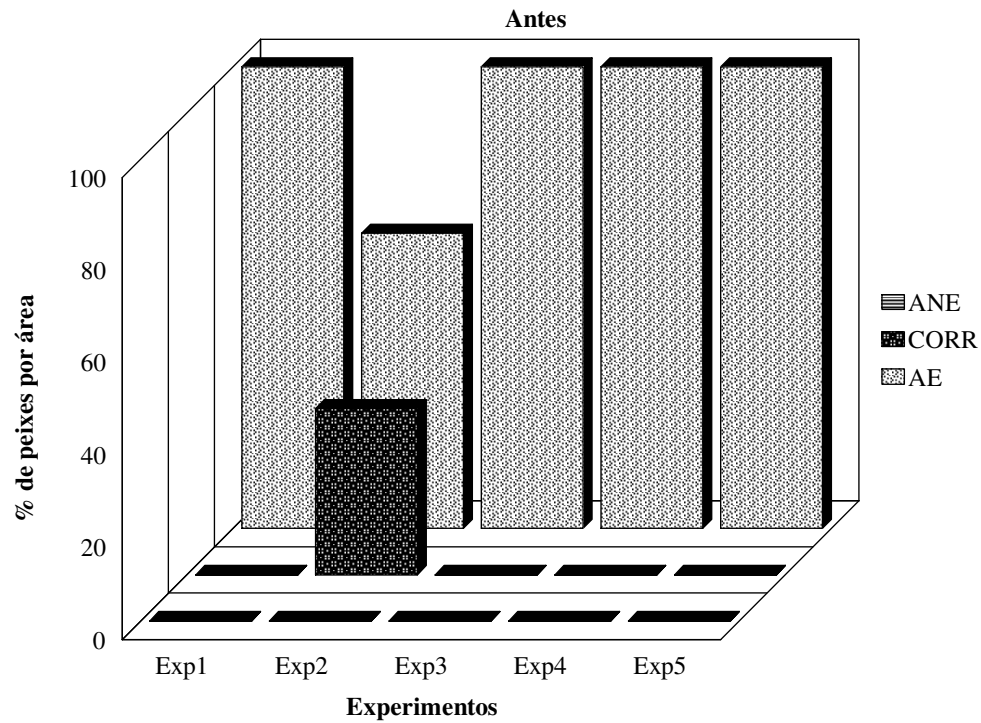


GRÁFICO 4.32 – Percentual de registros de mandis-amarelos em cada uma das áreas do aquário experimental para cada experimento realizado, independentemente do comportamento exibido, antes da aplicação do macerado de pele.

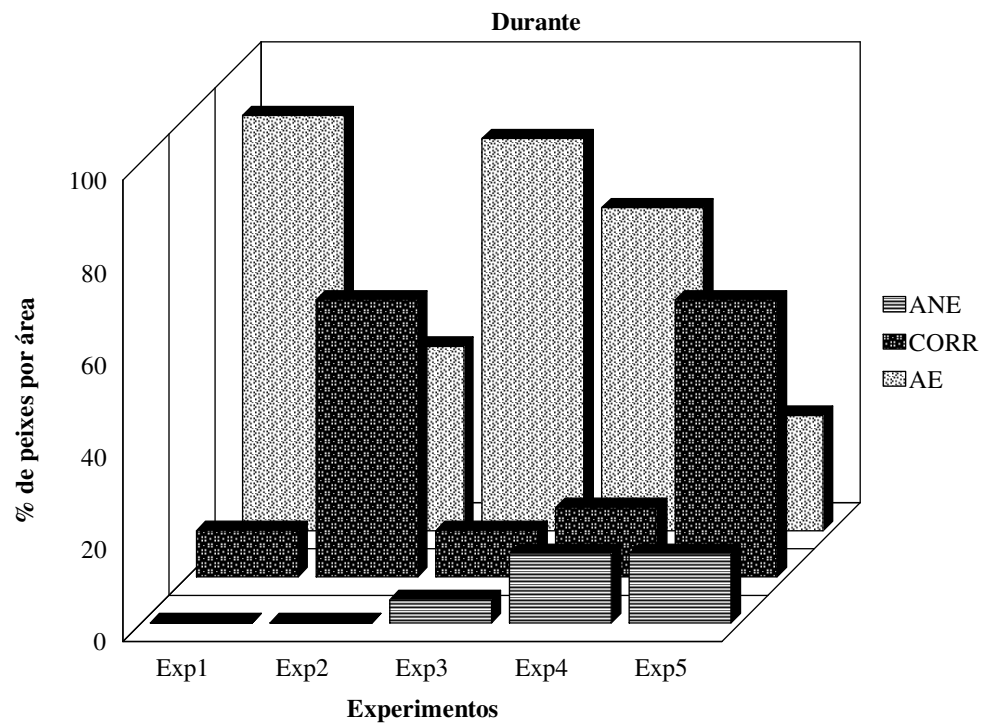


GRÁFICO 4.33 – Percentual de registros de mandis-amarelos em cada uma das áreas do aquário experimental para cada experimento realizado, independentemente do comportamento exibido, durante a aplicação do macerado de pele.

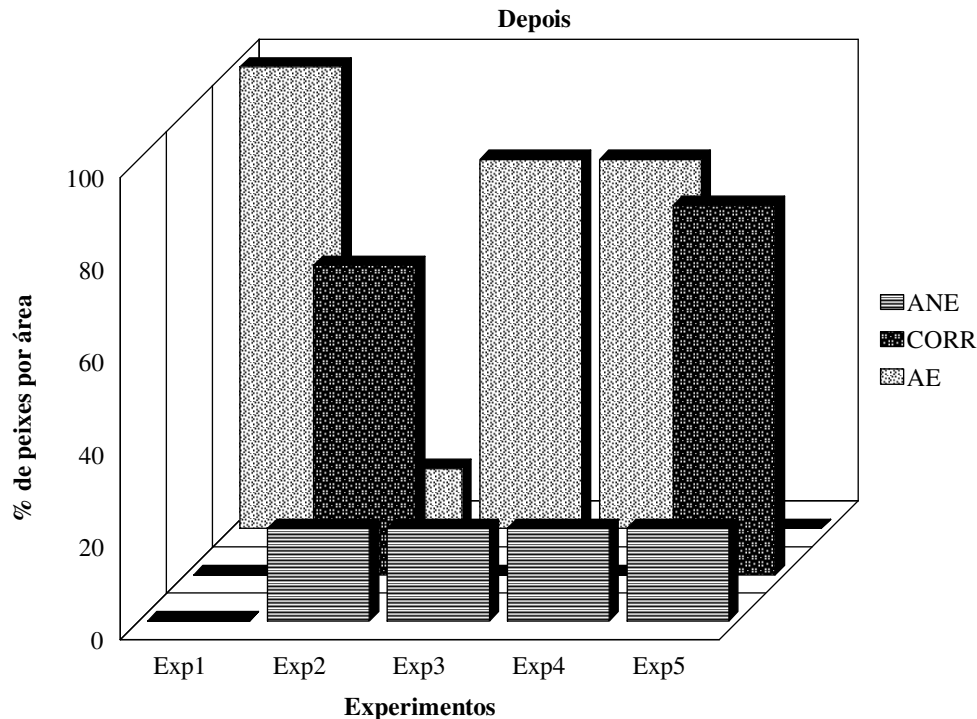


GRÁFICO 4.34 – Percentual de registros de mandis-amarelos em cada uma das áreas do aquário experimental para cada experimento realizado, independentemente do comportamento exibido, após a aplicação do macerado de pele.

#### 4.3.2 – Comportamento de mandis-amarelos expostos à concentrações iguais de macerado de pele

##### 4.3.2.1 – Grupo de peixes mantidos há um ano no laboratório

Tendo em vista o registro de alteração do comportamento dos peixes em função do estímulo fornecido com o macerado de pele foram realizados testes visando a comparação entre grupos experimentais mantendo-se a mesma concentração de macerado de pele. O primeiro grupo de peixes testado pertenceu a um lote de peixes que se encontravam aclimatados aos aquários de manutenção do CPH há cerca de um ano.

Pode-se observar com este grupo de peixes que os resultados obtidos com os dois estímulos aplicados (água destilada e macerado de pele) foram bastante semelhantes entre si e bem diferentes quando comparados com os experimentos realizados com concentrações diferenciadas de macerado de pele. Antes da aplicação do estímulo, o que foi observado, de acordo com o GRÁFICO 4.35 e GRÁFICO 4.36, é que o maior número de registros de comportamento dos peixes foi de inatividade, sendo



297 para o experimento controle e 291 para o grupo teste. Alguns peixes foram registrados nadando devagar nessa fase. De fato, foi observada diferença significativa entre os comportamentos exibidos, sendo predominante o comportamento inativo (Friedman, graus de liberdade = 7,  $p = 0,01$ ). Levando-se em consideração apenas o grupo teste, percebe-se também uma diferença significativa no número de peixes ao longo das áreas do aquário, sendo maior o número de registros de peixes na área enriquecida do aquário (Friedman, graus de liberdade = 2,  $p = 0,04$ ).

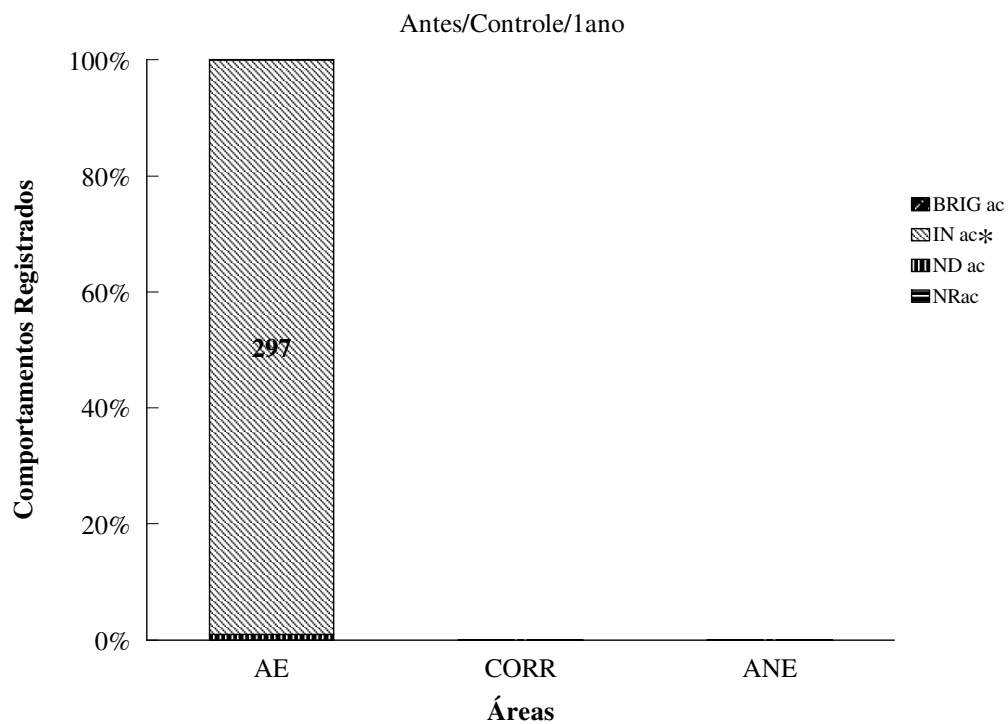


GRÁFICO 4.35 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, antes da aplicação da água destilada (grupo controle) para os peixes mantidos há um ano no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, ac = fase do experimento (antes/controlado), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. \* indica diferenças estatisticamente significativas,  $p < 0,05$ .

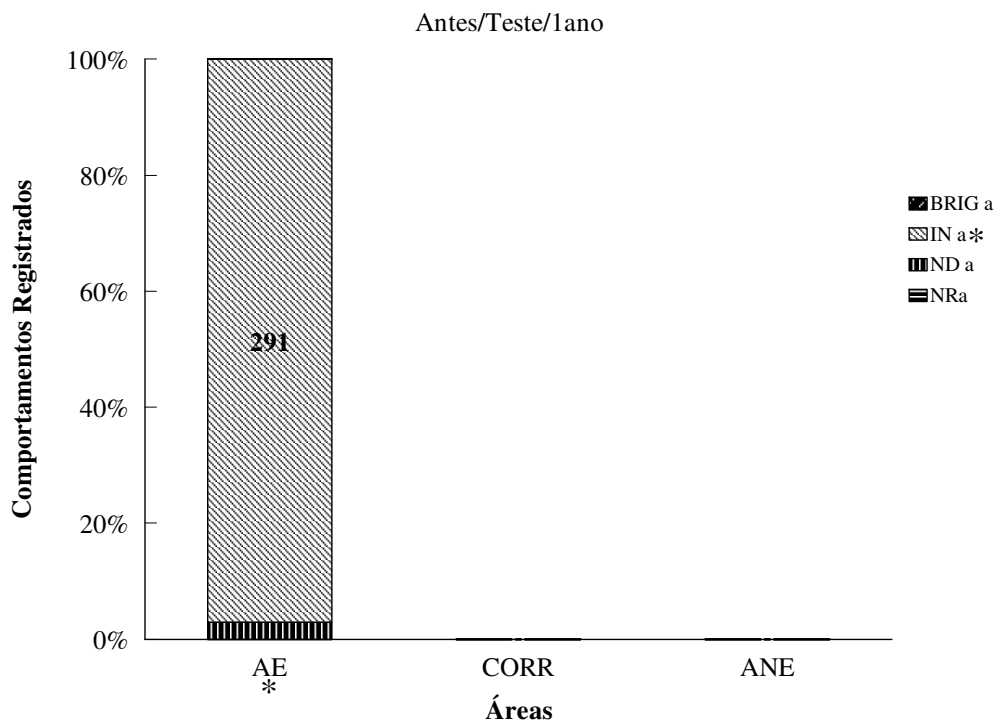


GRÁFICO 4.36 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, antes da aplicação do macerado de pele (grupo teste) para os peixes mantidos há um ano no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, a = fase do experimento (antes/teste), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. \* indica diferenças estatisticamente significativas,  $p < 0,05$ .

Mesmo padrão foi observado quando da aplicação da água destilada ou macerado de pele. Nessa fase o que observa-se no GRÁFICO 4.37 e GRÁFICO 4.38 é que os peixes se mantiveram inativos, permanecendo esse comportamento como o mais significativo entre aqueles exibidos (Friedman, graus de liberdade = 7,  $p = 0,02$ ), tanto para o grupo controle quanto para o grupo teste. Pela mesma forma, analisando-se o grupo teste apenas percebeu-se que a maior parte dos peixes foi registrada na área enriquecida do aquário (Friedman, graus de liberdade = 2,  $p = 0,04$ ).

Apenas quatro registros foram feitos de peixes no corredor na fase durante a aplicação do estímulo para o grupo controle. Ainda assim, destes três deles foram para o comportamento inativo.

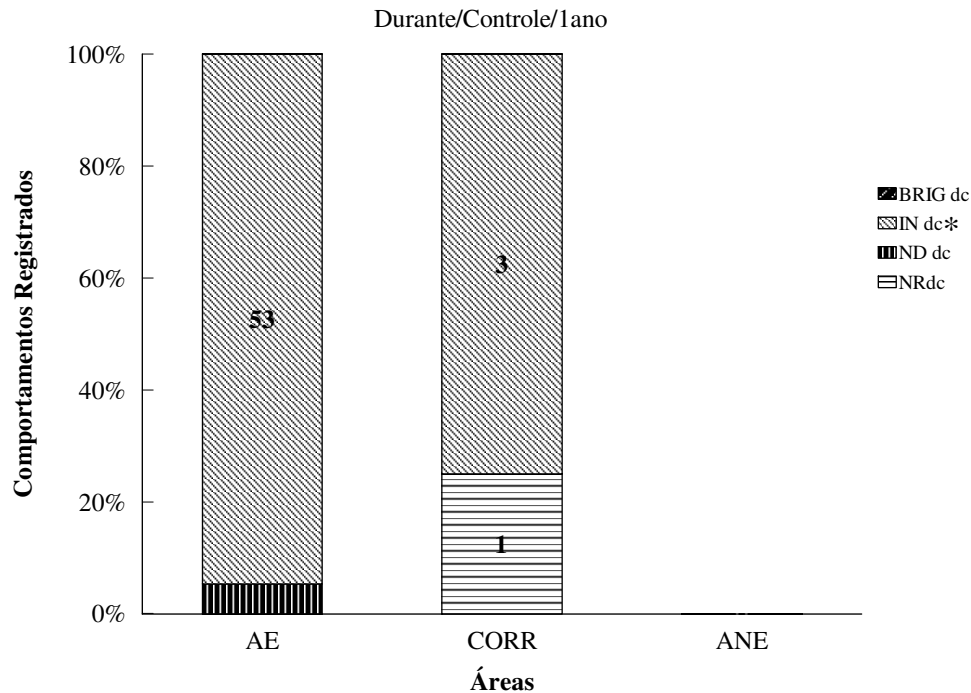


GRÁFICO 4.37 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, durante a aplicação da água destilada (grupo controle) para os peixes mantidos há um ano no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, dc = fase do experimento (durante/controle), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. \* indica diferenças estatisticamente significativas,  $p < 0,05$ .

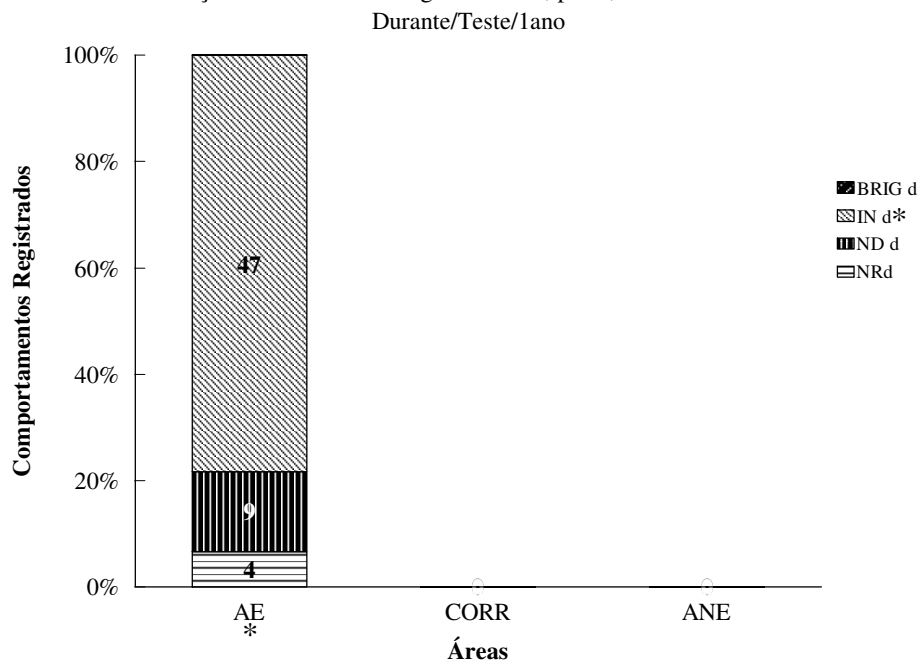


GRÁFICO 4.38 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, durante a aplicação do macerado de pele (grupo teste) para os peixes mantidos há um ano no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, d = fase do experimento (durante/teste), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. \* indica diferenças estatisticamente significativas,  $p < 0,05$ .

Após a aplicação da água destilada ou macerado de pele para o grupo de peixes há cerca de um ano no laboratório observou-se, de acordo com o GRÁFICO 4.39 e GRÁFICO 4.40, que o comportamento inativo continuou prevalecendo sobre todos os outros (Friedman, graus de liberdade = 7,  $p = 0,01$ ), sendo que no grupo teste alguns poucos peixes foram registrados nadando devagar e nadando rápido (16 e 5 registros, respectivamente). Para essa fase observou-se também que alguns peixes se distribuíram ao longo do aquário experimental, tendo sido feito alguns registros de peixes localizados no corredor do aquário. Apesar de ser baixo o número de registros em outras áreas do aquário experimental que não seja a área enriquecida, nenhuma diferença significativa entre os registros por área foi observada.

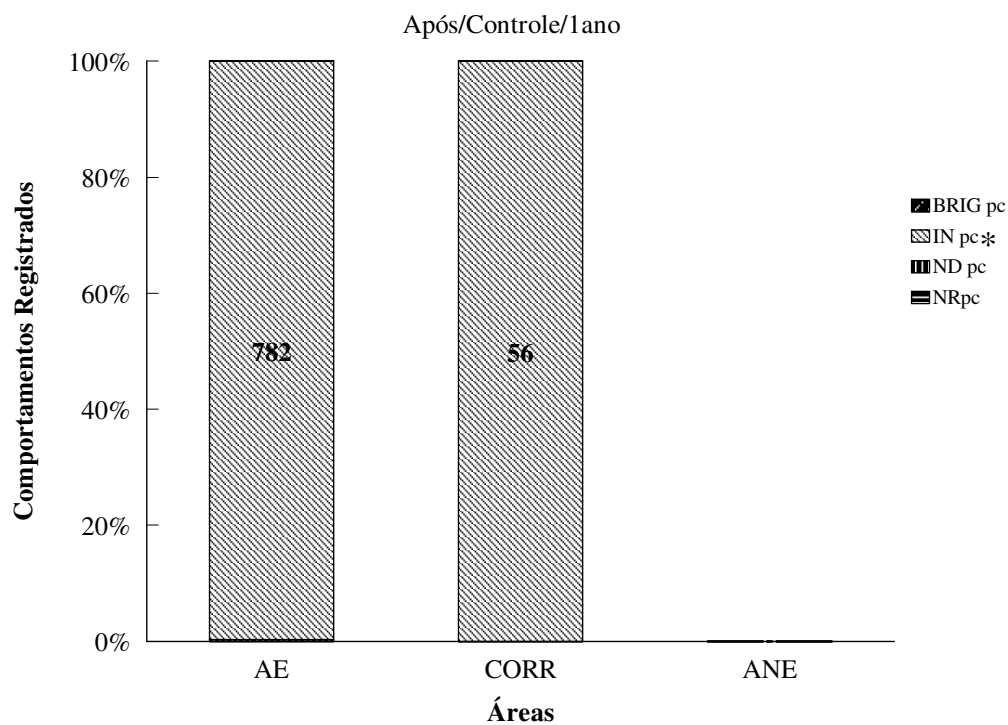


GRÁFICO 4.39 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, após a aplicação da água destilada (grupo controle) para os peixes mantidos há um ano no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, pc = fase do experimento (após/controle), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. \* indica diferenças estatisticamente significativas,  $p < 0,05$ .

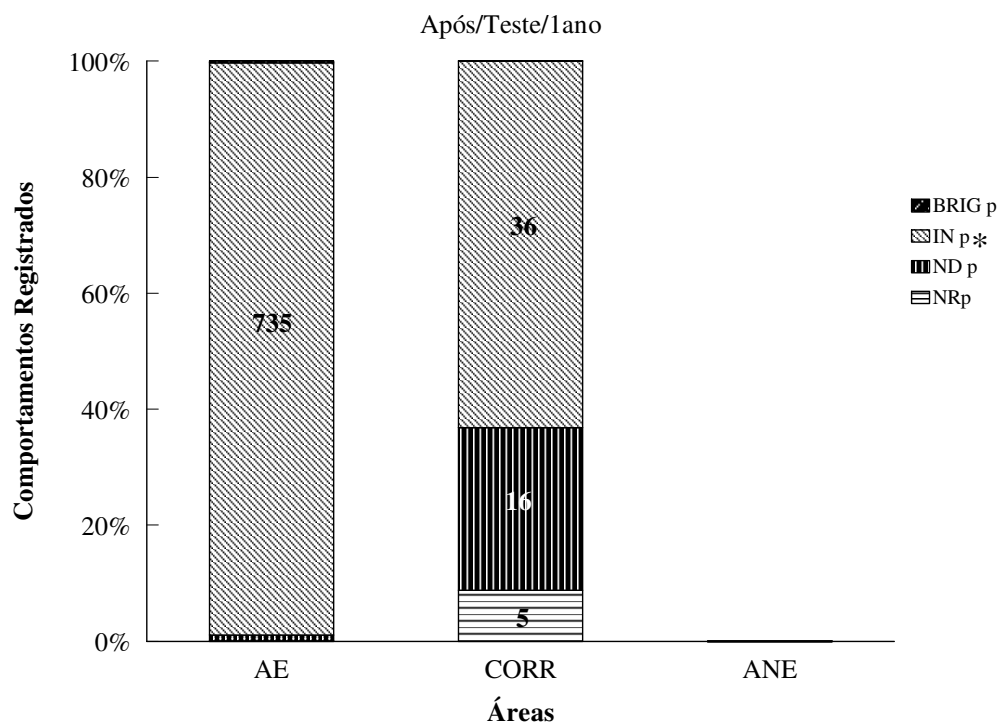


GRÁFICO 4.40 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, após a aplicação do macerado de pele (grupo teste) para os peixes mantidos há um ano no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, p = fase do experimento (após/teste), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. \* indica diferenças estatisticamente significativas,  $p < 0,05$ .

Observa-se, portanto, que para o grupo de peixes mantido por cerca de um ano em laboratório o macerado de pele não apresentou nenhum resultado no sentido de alterar o comportamento dos peixes e fazê-los se deslocarem entre as áreas do aquário. De fato, o GRÁFICO 4.41 e o GRÁFICO 4.42 mostram que para as fases antes e durante a aplicação do macerado, 100% dos peixes permaneceram na área enriquecida do aquário e apenas para a fase após a aplicação do estímulo alguns peixes foram registrados no corredor, sendo a variação de apenas 20% (GRÁFICO 4.43).

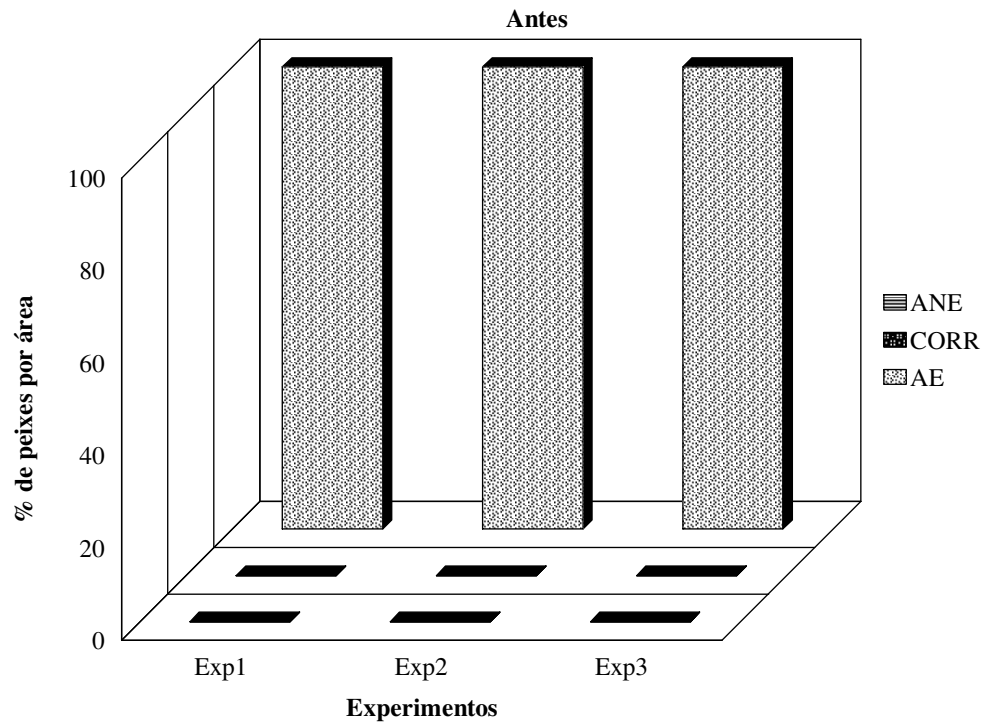


GRÁFICO 4.41 – Percentual de registros de mandis-amarelos em cada uma das áreas do aquário experimental para cada experimento realizado, independentemente do comportamento exibido, antes da aplicação do macerado de pele de peixe mantido há um ano no laboratório.

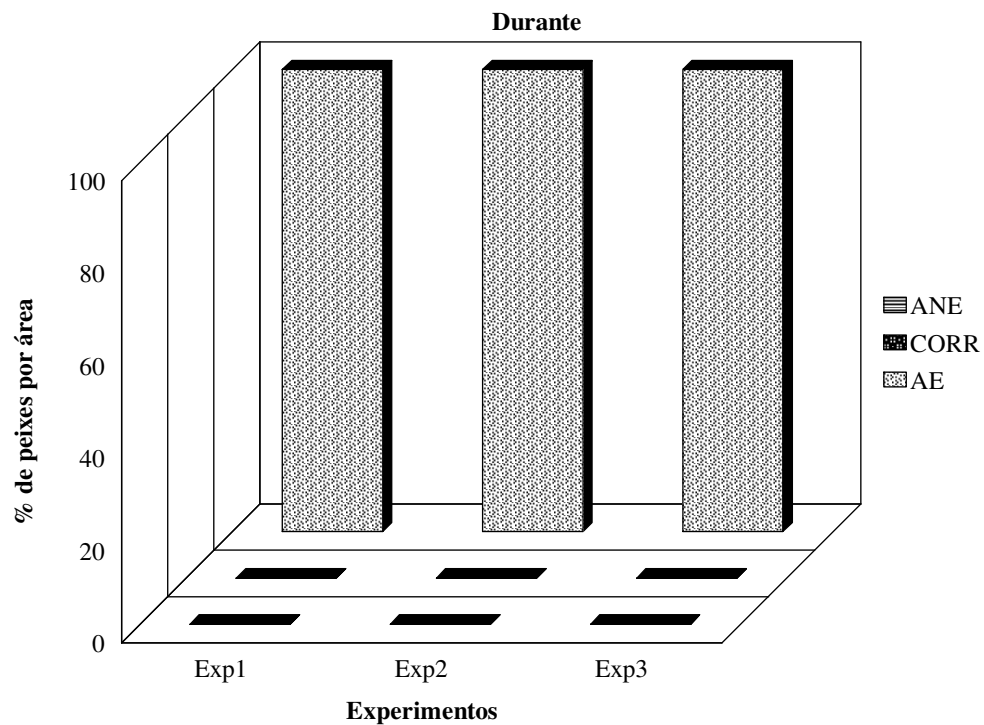


GRÁFICO 4.42 – Percentual de registros de mandis-amarelos em cada uma das áreas do aquário experimental para cada experimento realizado, independentemente do comportamento exibido, durante a aplicação do macerado de pele de peixe mantido há um ano no laboratório.

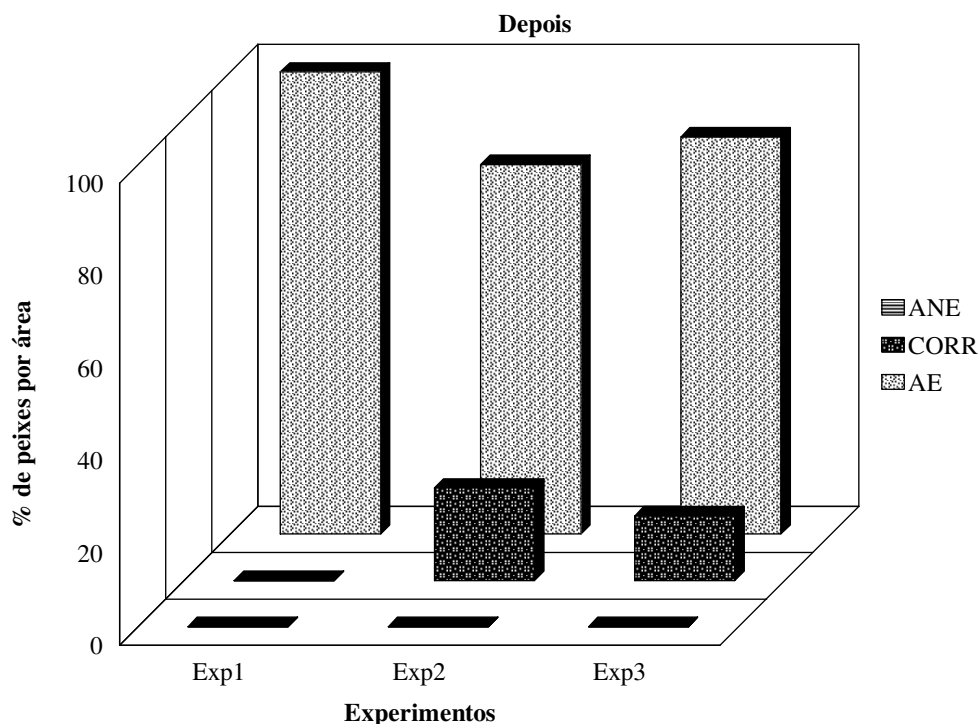


GRÁFICO 4.43 – Percentual de registros de mandis-amarelos em cada uma das áreas do aquário experimental para cada experimento realizado, independentemente do comportamento exibido, após a aplicação do macerado de pele de peixe mantido há um ano no laboratório.

#### 4.3.2.2 – Grupo de peixes recém-chegados ao laboratório – 1 mês

O segundo grupo de peixes testado quanto à influência do macerado de pele sobre o comportamento foi um grupo de mandis-amarelos mantidos há apenas 1 mês no CPH. Para este grupo de peixes os resultados obtidos, padronizando-se a concentração de macerado de pele utilizada em cada experimento, foi bastante similar aquele obtido com os experimentos realizados com concentrações diferenciadas.

Para este grupo observou-se que para a fase antes da aplicação da água destilada ou do macerado de pele a grande maioria dos peixes também permaneceu inativa, sendo este comportamento o mais significativo (Friedman, graus de liberdade = 7,  $p < 0,01$ ). O GRÁFICO 4.44 e o GRÁFICO 4.45 mostram que alguns peixes foram observados nadando devagar ou nadando rápido no aquário de testes, porém, conforme avaliado anteriormente, o comportamento inativo prevaleceu.

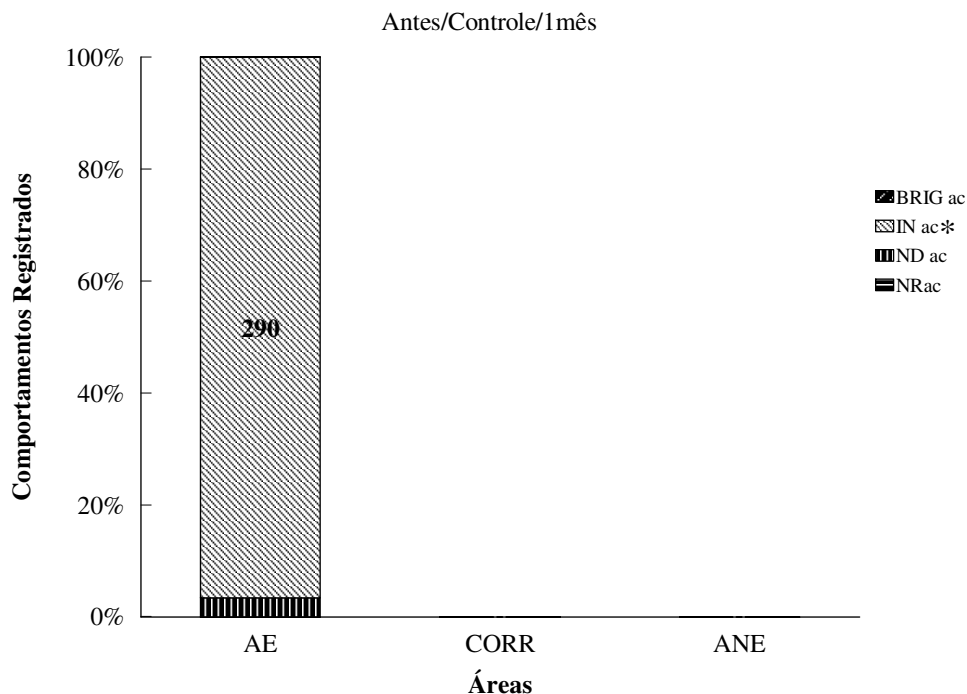


GRÁFICO 4.44 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, antes da aplicação da água destilada (grupo controle) para os peixes mantidos há um mês no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, ac = fase do experimento (antes/controle), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. \* indica diferenças estatisticamente significativas,  $p < 0,01$ .

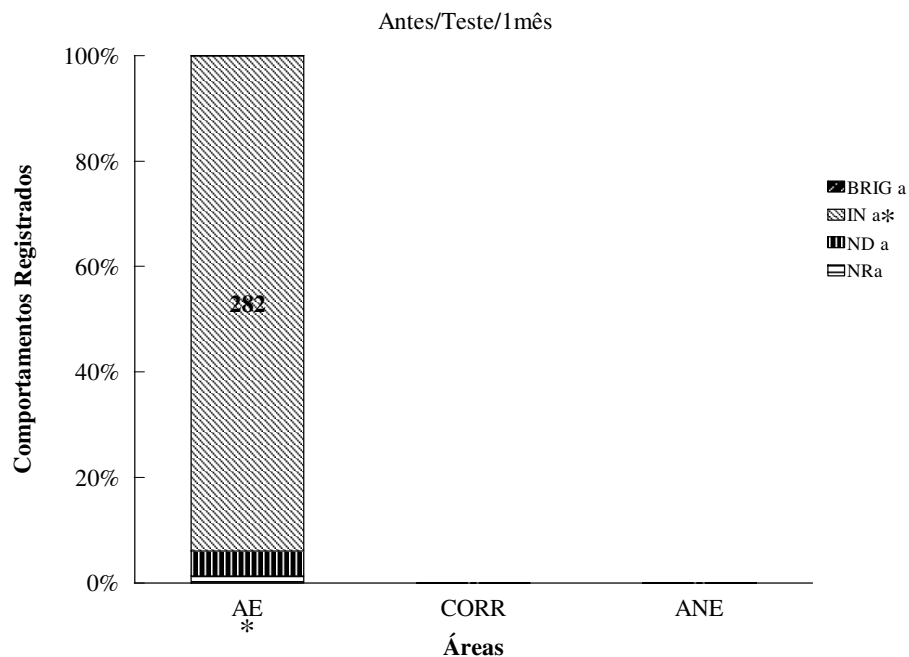


GRÁFICO 4.45 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, antes da aplicação do macerado de pele (grupo teste) para os peixes mantidos há um mês no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, a = fase do experimento (antes/teste), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. \* indica diferenças estatisticamente significativas,  $p < 0,01$ .



Já para as observações realizadas durante a aplicação da água destilada ou macerado de pele diferentes comportamentos foram registrados. Para o grupo controle (água destilada) o GRÁFICO 4.46 mostra que a maioria dos peixes permaneceu inativa, tendo sido registrados alguns peixes nadando rápido pelo corredor. No entanto, a análise de variância de Friedman demonstrou que o comportamento inativo ainda foi predominante (graus de liberdade = 7,  $p = 0,03$ ).

Os comportamentos se apresentaram bastante diversificados quando os peixes foram expostos ao macerado de pele e, como pode-se observar pelo GRÁFICO 4.47, os registros realizados para cada comportamento não foram estatisticamente diferentes. Portanto, nenhuma diferença significativa foi observada e vários peixes foram registrados nadando rápido, brigando e nadando devagar.

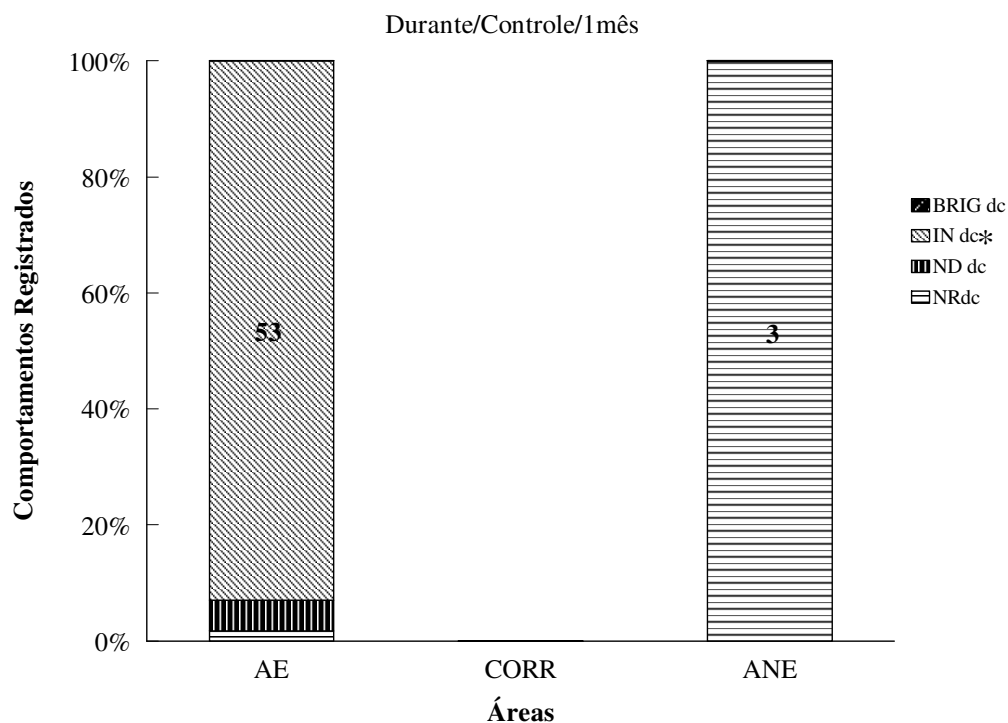


GRÁFICO 4.46 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, durante a aplicação da água destilada (grupo controle) para os peixes mantidos há um mês no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, dc = fase do experimento (durante/controle), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. \* indica diferenças estatisticamente significativas,  $p = 0,03$ .

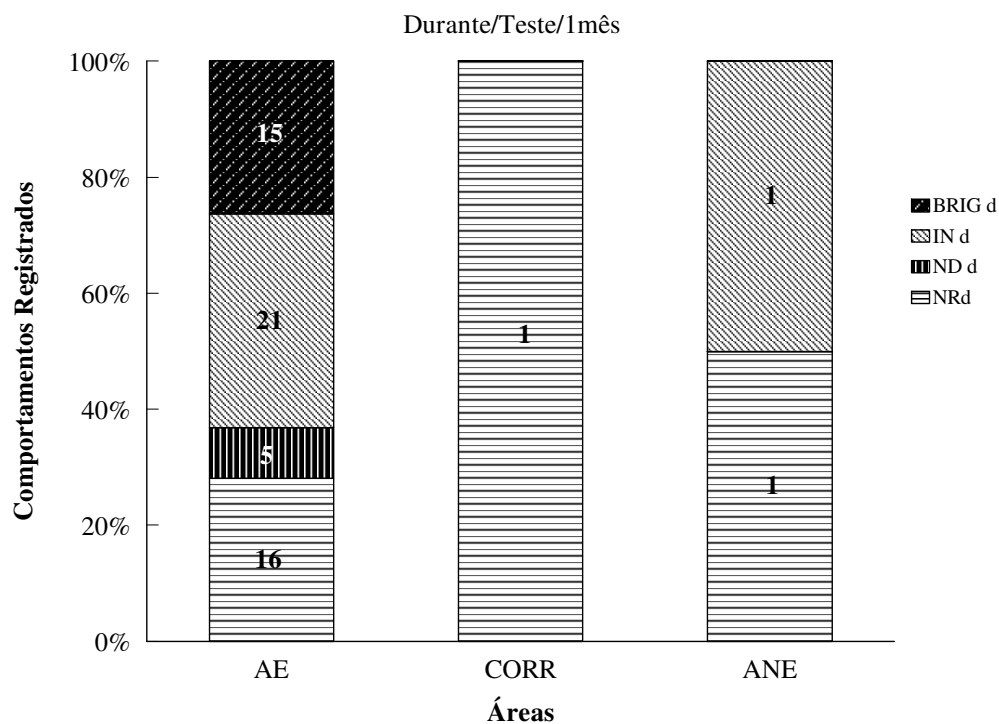


GRÁFICO 4.47 – Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, durante a aplicação do macerado de pele (grupo teste) para os peixes mantidos há um mês no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, d = fase do experimento (durante/teste), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida.

Após a aplicação da água destilada ou macerado de pele os peixes tenderam a permanecer inativos novamente, fazendo com que esse comportamento tenha sido registrado em maior percentual que os demais. Para ambos os grupos experimentais (controle e teste), as diferenças registradas foram estatisticamente significativas (Friedman, graus de liberdade = 7,  $p = 0,01$ ), mostrando que o comportamento inativo se sobressaiu em relação aos demais. De fato, o GRÁFICO 4.48 mostra que nessa fase, para o grupo controle, 14 registros de peixes nadando devagar foram feitos no corredor do aquário experimental, sendo praticamente todos os outros registros de peixes inativos. Pela mesma forma, o GRÁFICO 4.49 mostra o comportamento inativo predominando sobre os demais para os peixes do grupo teste.

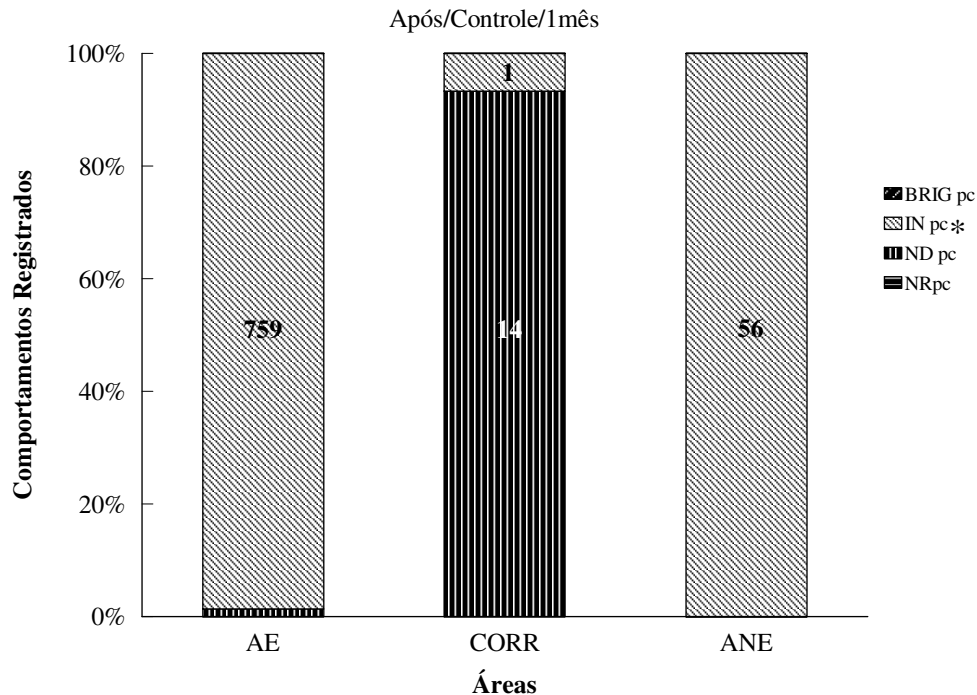


GRÁFICO 4.48– Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, após a aplicação da água destilada (grupo controle) para os peixes mantidos há um mês no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, pc = fase do experimento (após/controlado), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida. \* indica diferenças estatisticamente significativas,  $p = 0,01$ .

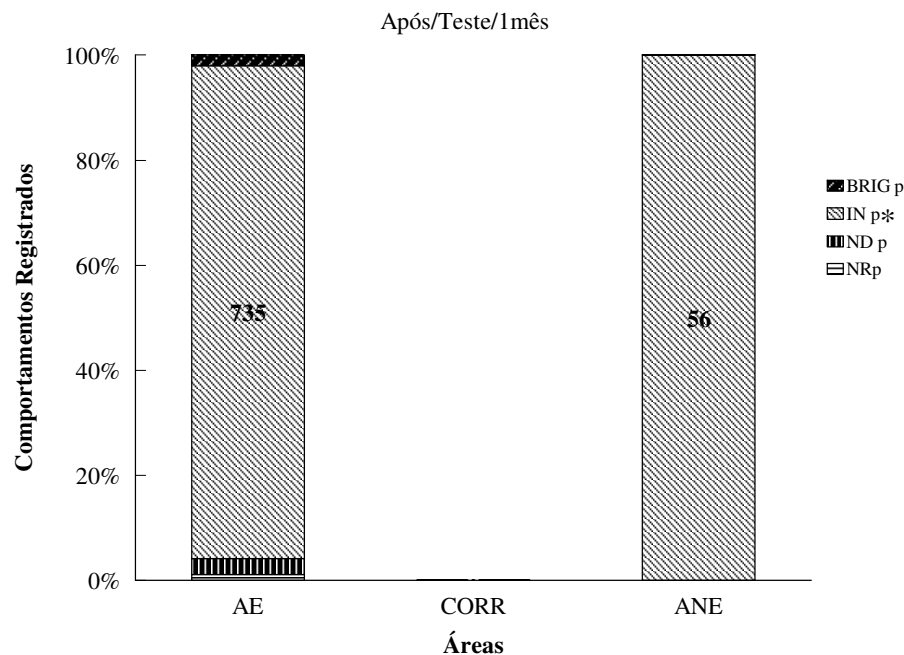


GRÁFICO 4.49– Percentual de registros de comportamentos de mandis-amarelos por área do aquário experimental, após a aplicação do macerado de pele (grupo teste) para os peixes mantidos há um mês no laboratório. Legenda: BRIG = brigando, IN = inativo, ND = nadando devagar, NR = nadando rápido, d = fase do experimento (após/teste), AE = área enriquecida, CORR = corredor e ANE = área não enriquecida.

Quanto à movimentação dos peixes ao longo das áreas experimentais devido à influência do macerado de pele o que observou-se foi uma tendência à concentração dos peixes na área enriquecida na fase antes da aplicação do estímulo. Nessa fase, o GRÁFICO 4.50 indica que 100% dos peixes foram registrados na área enriquecida, sendo significativo o número de registros nessa área (Friedman, graus de liberdade = 2,  $p = 0,04$ ).

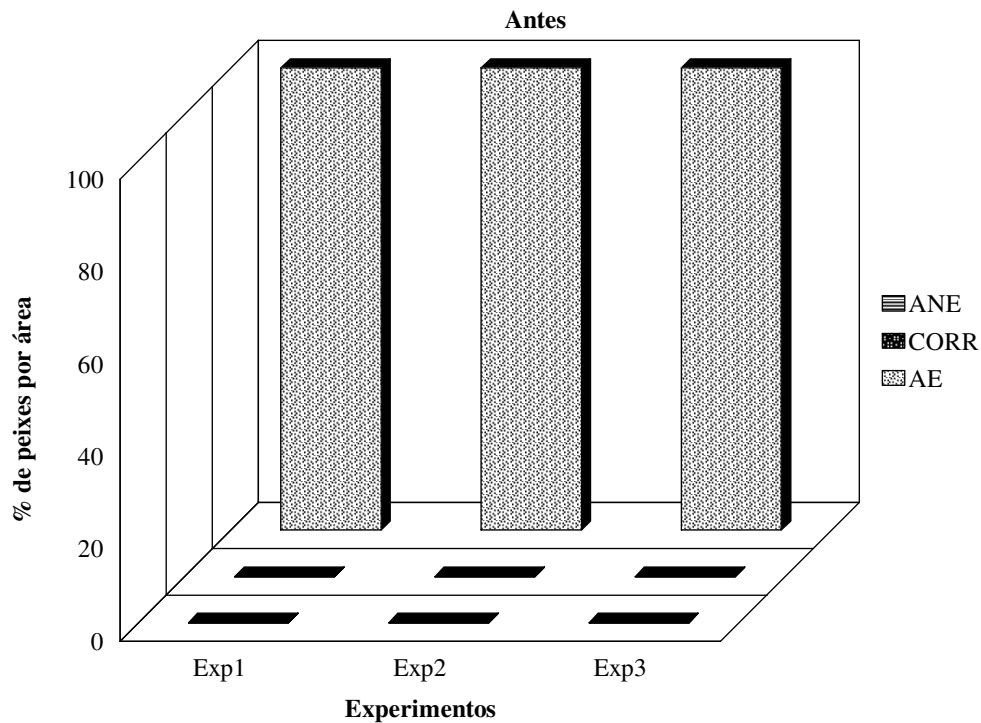


GRÁFICO 4.50 – Percentual de registros de mandis-amarelos em cada uma das áreas do aquário experimental para cada experimento realizado, independentemente do comportamento exibido, antes da aplicação do macerado de pele de peixe mantido há um mês no laboratório.

Já durante e após a aplicação do macerado de pele pode-se observar, de acordo com o GRÁFICO 4.51 e GRÁFICO 4.52, uma tendência dos peixes a deixarem a área enriquecida do aquário, ou até mesmo permanecer no local buscando refúgios. Apesar da leve movimentação dos peixes entre as áreas do aquário experimental, para essas fases não foram observadas diferenças significativas entre o registro de peixes na área enriquecida e nas demais áreas (corredor e não enriquecida), o que indica que os mandis-amarelos tendem a se deslocar para outros locais fora da área de aplicação do macerado de pele, demonstrando alguma reação de fuga.

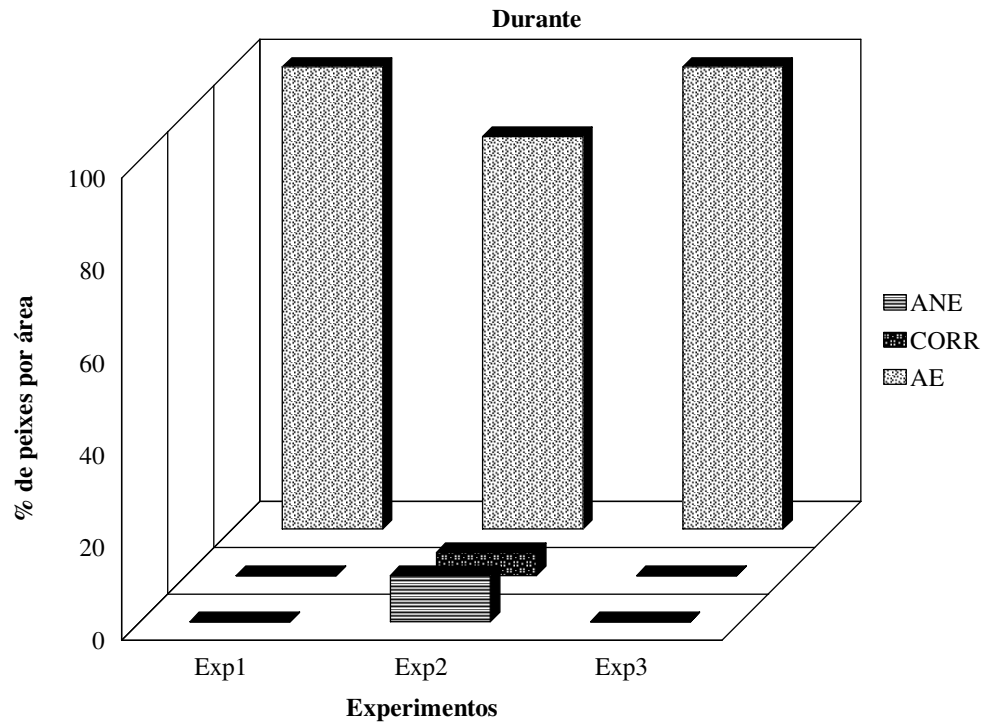


GRÁFICO 4.51 – Percentual de registros de mandis-amarelos em cada uma das áreas do aquário experimental para cada experimento realizado, independentemente do comportamento exibido, durante a aplicação do macerado de pele de peixe mantido há um mês no laboratório.

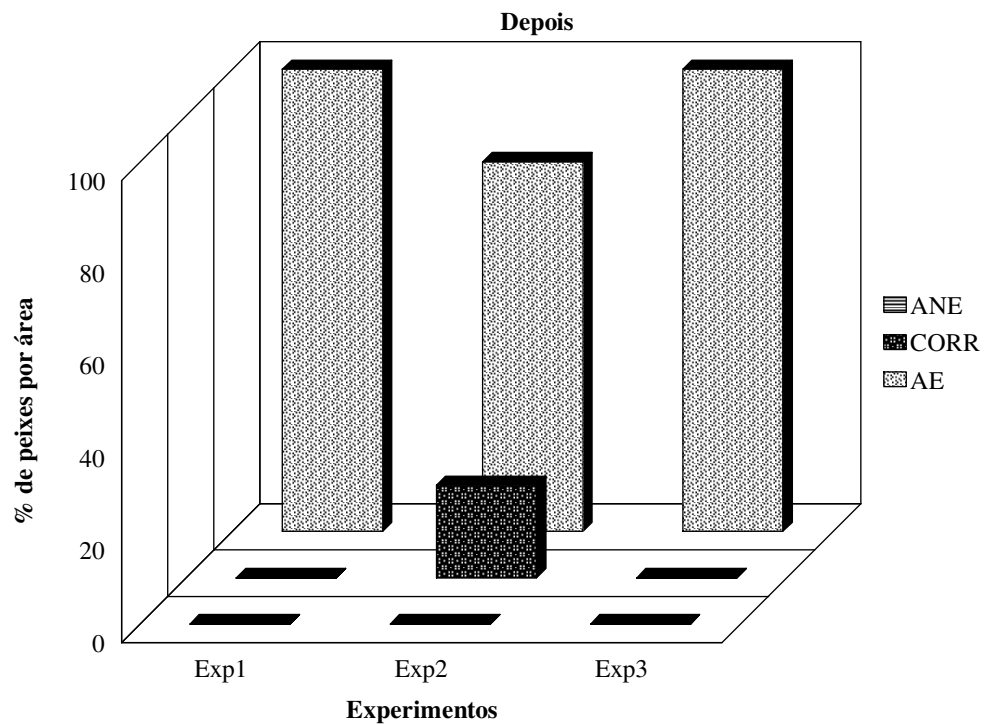


GRÁFICO 4.52 – Percentual de registros de mandis-amarelos em cada uma das áreas do aquário experimental para cada experimento realizado, independentemente do comportamento exibido, após a aplicação do macerado de pele de peixe mantido há um mês no laboratório.

## 5 – DISCUSSÃO

### 5.1– Luz estroboscópica

É sabido que vários tipos de sistemas que atuam sobre o comportamento dos peixes podem ser utilizados como barreiras em determinadas áreas. Além das barreiras comportamentais, as físicas, tais como grades/telas também apresentam boa eficiência para guiar peixes para fora de áreas de risco, porém, não são recomendadas para uso na saída dos tubos de sucção em função das alterações que podem causar no escoamento hidráulico e conseqüentes perdas de carga das máquinas.

As barreiras, que incluem luz estroboscópica, cortina de bolhas e som, tendem a atuar de maneira diferenciada sobre os diferentes sistemas sensoriais dos peixes e, assim, acabam criando diferentes tipos de respostas comportamentais. A natureza da resposta dos peixes, segundo Coutant (2001b), pode ser de atração ou repulsão, dependendo do estímulo. Estímulos considerados “não naturais” como luz estroboscópica e som em faixas de frequência muito altas ou baixas, por exemplo, podem ser um gatilho para desencadear respostas de repulsão abruptas. Portanto, conhecer a diversidade de adaptações dos sistemas sensoriais dos peixes pode contribuir para o desenho de sistemas de repulsão mais eficientes.

Diante disso, uma pergunta a ser feita estaria relacionada com a motivação para o uso de luz estroboscópica no presente trabalho em detrimento dos demais sistemas, principalmente pelo fato de que a luz atua como estímulo visual para os peixes e espécies de couro (Siluriformes), tais como o mandi-amarelo, tendem a ter hábito noturno e, teoricamente, terem uma baixa acuidade visual. É válido, então, discutir alguns dos fatores motivadores para a seleção desse sistema nos testes realizados. Pode-se avaliar essa questão sobre três pilares: i) quantidade de informações científicas sobre a eficiência da luz estroboscópica; ii) custos de implantação do sistema em laboratório e, eventualmente, em campo e iii) possível influência sobre os peixes testados.

Embasado no conhecimento científico, observa-se que a luz estroboscópica tem uma ampla aplicação nos estudos para avaliar a repulsão de peixes em função desse estímulo e, conforme dito por Taft (2000), tem demonstrado ser eficiente repelindo de forma consistente espécies de peixes lacustres, riverinas e anádromas, tanto em

laboratório quanto em campo. Brown (2000) faz uma revisão apontando diversos estudos em que a luz estroboscópica foi implantada com sucesso para a repulsão de peixes de áreas de risco, tanto para espécies de salmonídeos como não salmonídeos. Em um simpósio organizado pela American Fisheries Society no ano de 1999, cujo objetivo foi discutir o uso dos sistemas para guiar peixes, em torno de 65% dos trabalhos publicados envolviam estudos avaliando o uso de luz estroboscópica, seja de forma isolada ou em conjunto com outros sistemas (Coutant, 2001a). Ou seja, muita informação já foi gerada sobre esse sistema e, certamente, o avanço no ganho de informações torna-se mais fácil quando se possui uma base de conhecimento prévio. Ainda assim, Taft (2000) coloca que o potencial uso de luz estroboscópica para repelir peixes requer avaliações local-específica e espécie-específica.

Pensando-se em custo, o sistema de luz estroboscópica apresenta um custo efetivo de instalação e operação mais baixo do que aqueles para utilização de som, por exemplo (Brown, 2000; Schilt, 2007). Principalmente, pelo fato de que as melhores respostas com som foram obtidas com sistemas trabalhando em baixas ou altas frequências (infrasom e ultrasom, respectivamente). Esses custos, teoricamente, só não seriam mais baixos do que aqueles para implantação de cortina de bolhas (Smith, 2000). Além disso, até a década de 1990, apenas o sistema de luz estroboscópica encontrava-se disponível para comercialização (Taft, 2000). Dessa maneira, os custos para desenvolvimento, aquisição e preparação dos equipamentos para os testes foram cruciais para o uso de luz estroboscópica no presente estudo.

A terceira vertente associada à escolha do sistema a ser utilizado estaria relacionada à sensibilização das espécies pela luz estroboscópica. Levando-se em consideração que o sistema de luz atua, primariamente, sobre o sentido da visão, teoricamente, ele teria boa eficiência para peixes que se orientam visualmente (piautês-pintas, Splittail e Delta smelt) e baixa eficiência para repulsão de grupos de peixes de baixa acuidade visual (Siluriformes em geral). Em função disso, dentre as espécies testadas, o mandi-amarelo poderia não ser sensibilizado pela luz, uma vez que pertence ao grupo dos Siluriformes e tem, preferencialmente, hábito noturno. De fato, especialistas de empresas responsáveis pela fabricação de sistemas de repulsão indicam, quando o alvo a ser repellido são espécies de Siluriformes, o uso de som (Andy Turnpenny, com. pess.). No entanto, pode-se observar que os olhos dos mandis-amarelos são grandes se comparados aquele de jaú, o que leva a crer que a acuidade visual dessa espécie deva ser considerável e, portanto, sensível à luz. Possivelmente,

outros Siluriformes que apresentam olhos com tamanho semelhante ao do mandi-amarelo tenha a mesma resposta ao estímulo luminoso. Seguindo a linha dessa hipótese, Brown (2000) e Richards *et al.* (2007) relataram em estudos conduzidos com uma espécie de bagre norte-americano (Channel catfish – *Ictalurus punctatus*), com olhos bem desenvolvidos como o mandi-amarelo, reação de repulsão considerável quando expostos a luz estroboscópica.

Guthrie & Muntz (1993) comentam que a grande maioria dos peixes possuem olhos bem desenvolvidos e que os peixes dependem em grande parte da visão como fonte de informação sensorial, mesmo o ambiente aquático não sendo favorável para a formação de imagens. Nesse aspecto, deve-se ficar atento ao fato de que diversos comportamentos de peixes, desde simples sinais de alerta a complexos sinais de coloração, etc, que podem ser utilizados durante a corte, são dependentes da visão (Guthrie & Muntz, 1993). Os sinais de alerta podem, portanto, serem desencadeados por um estímulo novo, não específico ao ambiente, tal como a luz estroboscópica. Isso pode ocorrer devido ao fato da luz estroboscópica emitir flashes com pulsos variados, o que pode causar reações de alerta (Königson *et al.*, 2002).

A percepção e a intensidade da luz com a qual os peixes terão os olhos sensibilizados dependem do caminho que o feixe irá percorrer até o olho do animal. Dessa forma, sinais luminosos laterais e diretamente acima ou abaixo da cabeça, que atinjam diretamente os olhos dos peixes com menor reflexão em partículas suspensas na água, tendem a gerar maior sensibilização (Guthrie & Muntz, 1993). Esse pode ter sido um dos motivos pelos quais os resultados obtidos com luz estroboscópica para as espécies testadas no CPH (piauí-três-pintas e mandi-amarelo) terem sido satisfatórios (redução do número de peixes em trânsito pelo visor do aquário experimental), sugerindo comportamento de repulsão ao estímulo dado. Nos experimentos conduzidos a luz foi afixada junto à parede lateral do aquário e os feixes luminosos atingiam os peixes lateralmente, na grande maioria dos casos e em distância máxima de 50cm. Soma-se a isso o fato da água em laboratório ter uma alta transparência e baixo número de partículas suspensas, a reflexão e/ou atenuação da intensidade luminosa antes de sensibilizar o olho do peixe torna-se mínima. Da mesma forma, os bons resultados obtidos para os testes realizados com Delta smelt em laboratório também podem estar relacionados às condições ótimas criadas para a experimentação no ambiente artificial.

O fato de se obter condições ótimas para realização de testes em laboratório tornar-se ainda mais evidente quando realizam-se comparações com testes feitos em



campo. Brown (2000) destaca que quando não se possui uma base de informações prévia sobre o comportamento de uma determinada espécie ao estímulo que se pretende utilizar para causar repulsão, testes conduzidos em laboratório são fundamentais e prioritários àqueles em campo. Königson *et al.* (2002) demonstraram, em testes com *Coregonus lavaretus*, respostas de repulsão bem nítidas quando expostos à luz estroboscópica, tanto em campo quanto em laboratório. Outros estudos também demonstram boa eficiência da luz estroboscópica para repulsão de diferentes espécies de peixes em campo em diferentes condições ambientais (Maiolie *et al.*, 1997; Brown, 2000; Coutant, 2001a; Maiolie *et al.*, 2001; Johnson *et al.*, 2001; Taft *et al.*, 2001).

Por outro lado, alguns estudos demonstram a baixa eficiência de luz estroboscópica para causar repulsão de peixes quando testados em campo. Michaud & Taft (2000) não recomendam o uso de luz estroboscópica para repelir espécies de peixes riverinas de áreas de risco da usina hidrelétrica White Rapids. De mesma forma, Taft *et al.* (2001) citam que a luz não foi eficiente para repelir American shad (*Alosa sapidissima*) em áreas de risco na barragem de Hadley Falls e Smallmouth bass, espécies de Sunfishes e Rainbow trout na barragem de Kingsford. Nesse mesmo sentido, os testes com Delta smelt demonstram reação à luz estroboscópica em laboratório, mas nenhuma resposta efetiva ao estímulo no ambiente natural, assim como para o Splittail (testes no TFCF). Certamente a posição em que o bulbo de luz estroboscópica foi instalado, associado a outros fatores como a velocidade da água podem ter contribuído para mascarar o efeito da luz. Maiolie *et al.* (2001), em seus estudos com *Oncorhynchus nerka*, já salientavam o fato de que a habilidade dos peixes em se deslocarem para áreas distantes da fonte de luz estroboscópica poderia ser comprometida caso fosse necessário nadar contra o fluxo de água. Sager *et al.* (2000b) também alertam para o fato de que a velocidade da água pode influenciar a resposta de repulsão dos peixes, indicando em seus testes que quanto maior a vazão aplicada ao aparato de testes menor a resposta dos peixes à luz estroboscópica.

De fato, para os experimentos realizados no TFCF não foi possível detectar qualquer influência da luz estroboscópica sobre as duas espécies testadas, seja durante o dia ou durante a noite. A eficiência de captura Delta smelt nos tanques de coleta durante o dia em torno de 67% foi praticamente a mesma obtida por Bowen *et al.* (2004) para experimentos realizados no TFCF. Em seus experimentos, Bowen *et al.* (2004) demonstraram que a velocidade da água no canal secundário do TFCF foi a variável crítica para se determinar a eficiência de coleta de três espécies de peixes locais,

incluindo-seo Delta smelt e Splittail. Baseado nesses resultados esses autores determinaram um regra operativa para o canal secundário do TFCF visando a otimizar a captura de determinadas espécies. Levando-se em consideração que em todos os testes conduzidos as condições hidráulicas do canal secundário foram mantidas dentro do recomendado para cada espécie testada, a velocidade da água pode, de fato, ter contribuído para mascarar qualquer tipo de efeito que a luz estroboscópica viesse a ter. Apenas para o Splittail o percentual de captura foi maior que aquele determinado por Bowen *et al.* (2004), sendo acima de 90% contra 71%, respectivamente. No entanto, esse aumento, aparentemente, não se relaciona à luz estroboscópica, uma vez que não foram detectadas variações na eficiência nos tratamentos com a luz ligada ou desligada.

Nesse aspecto, aparentemente, o fluxo d'água gerado no aquário experimental durante os testes realizados com mandi-amarelo e piau-três-pintas não influenciaram a resposta dessas espécies à luz estroboscópica. Isso porque as reduções percentuais no número de peixes passando pela janela do aquário foram muito próximas tanto para os peixes se deslocando a favor do fluxo de água (movimento de descida) quanto para aqueles se deslocando contra o fluxo de água (movimento de subida), exceto para o grupo de mandis-amarelos testados durante o dia, onde o estímulo de luz parece ter gerado atração para os peixes. Possivelmente, variações na velocidade da água dentro do aquário poderiam trazer respostas diferenciadas.

Certamente, regiões de risco com altas velocidades de água, tais como tomadas d'água e canais para abastecimento de água podem dificultar a saída dos peixes desses locais e, talvez, em função disso, possíveis efeitos de sistemas que atuam sobre o comportamento ficam mascarados. Isso talvez explique o baixo sucesso de alguns sistemas quando utilizados nessas condições e a utilização de barreiras físicas nesses locais. Ou seja, repelir ou guiar peixes de regiões onde eles têm que nadar contra o fluxo de água pode ser um problema para os sistemas comportamentais. Por outro lado, repelir ou guiar peixes de áreas em que o objetivo seja fazê-los se deslocarem a favor do fluxo, como em áreas próximas aos tubos de sucção a jusante de barragens, utilizando sistemas comportamentais pode ser eficiente. Nessa situação, a ação de repulsão poderá colocar os peixes a favor do fluxo, de modo que o deslocamento para locais distantes daquele da origem do estímulo seja mais fácil e rápido.

Outra condição diferenciada para testes realizados em campo é a turbidez. Em condições de maior turbidez a quantidade de partículas em suspensão na água é maior e, conseqüentemente, a reflexão e dispersão da luz reduz a sua intensidade de

sensibilização de determinados organismos à medida que a distância da fonte do estímulo aumenta. Vários autores apontam para a necessidade de realização de testes em áreas com turbidez considerável para realmente determinar a eficiência da luz estroboscópica para repulsão de peixes (Maiolie *et al.*, 1997; Michaud & Taft, 2000; Sager *et al.*, 2000b; Brown, 2000; Coutant, 2001b; Maiolie *et al.*, 2001; Schilt, 2007). Portanto, tendo em vista a transparência da água utilizada nos testes com mandi-amarelo e piauí-três-pintas, deve-se salientar que é extremamente recomendável a realização de novos experimentos incluindo-se essa variável, para de fato determinar as melhores condições para uso desse sistema buscando a repulsão de peixes. Pode ser que as eficiências registradas no presente estudo sejam menores para as duas espécies em função da redução na transparência da água.

Vários autores discutem a eficiência da luz estroboscópica e a intensidade da resposta dos peixes em função da direção de iluminação e da intensidade de luz no ambiente em segundo plano (Amaral *et al.*, 2001; Johnson *et al.*, 2001; Maiolie *et al.*, 2001; Patrick *et al.*, 2001; Ploskey & Johnson, 2001). Em função disso, Flamarique *et al.* (2006) discutem o fato de que, para a maioria dos trabalhos, a eficiência da luz estroboscópica aparenta ser maior durante à noite. De fato, nos trabalhos conduzidos pelos autores citados acima, as melhores respostas à luz estroboscópica ocorreram no período noturno. Durante a noite, a quantidade de luz nos ambientes em segundo plano é menor e a sensibilidade dos bastonetes é maior que a dos cones nos olhos, criando uma maior sensibilidade à luz (Douglas e Djamgoz, 1990 *apud* Flamarique *et al.*, 2006; Sager *et al.*, 2000b). Portanto, de acordo com Nemeth & Anderson (1992) *apud* Ploskey & Johnson (2001) peixes aclimatados durante o dia tendem a ter respostas com menores intensidades que aqueles aclimatados a noite. Os resultados obtidos demonstram que piauí-três-pintas, mandi-amarelo e Delta smelt apresentaram maior repulsão à luz estroboscópica durante a noite e, possivelmente, isso se deveu à maior sensibilização dos olhos dessas espécies nessas condições. Aliás, o fato de que a luz estroboscópica promove boas respostas dos peixes em condições de pouca iluminação também torna esse sistema vantajoso quando comparado com outros sistemas comportamentais. Isso porque nessas condições os peixes podem perceber o estímulo mas não detectarem a origem/fonte do mesmo e, conseqüentemente, têm dificuldades para se orientarem ou localizarem a barreira (Sager *et al.*, 2000b). Esse fato leva à conclusão de que o uso de luz para repelir essas espécies deva ser mais eficiente durante a noite e que, portanto, os eventos de parada de máquinas deveriam ser realizados ao entardecer e início da noite,

onde, teoricamente, o número de peixes repelidos da entrada dos tubos de sucção poderia ser maior. Sob o aspecto logístico, cria-se um problema a realização de paradas de máquinas no início da noite relacionado à pessoal disponível para operação. Isso porque esse período se insere fora do horário regular de trabalho (08:00 às 17:00h) e, conseqüentemente, durante a noite ocorre uma redução no número de pessoas trabalhando nas usinas hidrelétricas. Desde que a parada seja programada, esse fica mais fácil de ser contornado, mas, para aquelas não programadas a situação requer melhor análise.

Para os experimentos realizados, observa-se que os mandis-amarelos tiveram um comportamento de atração à luz estroboscópica quando utilizada durante o dia e frequência de 92 flashes/min. Sager *et al.* (2000b) comentam que os peixes podem ser atraídos para áreas mais claras desde que a intensidade luminosa no local seja favorável à sua orientação e não ultrapassem o limiar de sensibilização para causar repulsão. Esses autores ainda citam diversos trabalhos que apontam o uso de luz para atrair peixes e aumentar a captura na pesca comercial. Tendo em vista que o aquário experimental encontrava-se revestido por papel preto fosco, especula-se que a intensidade de luz gerada pelo equipamento criou uma melhor condição para orientação e deslocamento dos peixes sem ultrapassar o limiar de sensibilização dos cones, não gerando respostas de repulsão pelos mandis-amarelos. Sager *et al.* (2000b) já apontavam para o fato de que a relação cone/bastonetes no olho dos vertebrados possa controlar essas reações, uma vez que os cones são funcionais durante o dia e os bastonetes durante a noite, podendo refletir na habilidade do peixe em perceber maiores ou menores intensidades de luz. No entanto, poucos trabalhos existem para comprovar essa relação.

Isso é o que pode também influenciar a resposta dos peixes em se tratando de frequência de emissão de flashes. A luz estroboscópica tende a causar repulsão porque os flashes emitidos podem saturar os cones/bastonetes e acabam criando um sinal aversivo (Sager *et al.*, 2000b). Percebe-se que, para piau-três-pintas e Delta smelt, a maior frequência (360 flashes/min) gerou respostas de repulsão mais intensas. Vários trabalhos destacam que maiores frequências de emissão de flashes tendem a causar maior efeito repulsivo (Sager *et al.*, 2000b; Brown, 2000; Patrick *et al.*, 2001; Johnson *et al.*, 2001; Amaral *et al.*, 2001) por criar um maior estímulo aversivo em função da não aclimatação dos cones e/ou bastonetes.

Por outro lado, alguns estudos apontam para o fato de que existe uma frequência máxima que pode causar maior repulsão dos peixes e que a partir desse valor

máximo os resultados não se alteram. Em estudo com Kokanee *Oncorhynchus nerka*, Maiolie *et al.* (2001) que diferenças mínimas foram observadas no percentual de peixes repelidos de uma determinada área com freqüências de emissão de flashes variando de 300 a 450 flashes/min. Da mesma forma, Michaud & Taft (2000), em testes realizados em ambiente confinado, demonstraram respostas dos peixes de forma semelhante à freqüências de emissão de flashes variando entre 400 a 600 flashes/min. Para mandis-amarelos ambas as freqüências utilizadas (92 ou 360 flashes/min) causaram efeito de repulsão nas mesmas proporções durante a noite. Aparentemente, para reduzir o número de mandis-amarelos deslocando-se em movimento de subida durante a noite tanto 92 quanto 360 flashes/min apresentam boa eficiência. Esse fato por ser explicado em função das células sensitivas da retina (cone e/ou bastonetes) possuem um limite para distinguir as velocidades com que os flashes são emitidos. Caso a freqüência de emissão de flashes ultrapasse esse limite, essas células perdem a capacidade de distinguir os flashes e o aumento na freqüência não causa alteração na sensibilização da retina. Portanto, os resultados obtidos sugerem que freqüência de 92 flashes/min aparentam ser aquela máxima freqüência para sensibilização das células da retina em mandis-amarelos para que o estímulo seja aversivo. Daí, pouca ou nenhuma alteração comportamental deve ser obtida aumentando-se a freqüência de emissão de flashes para essa espécie, pelo menos em condições de alta transparência da água. Certamente, aumentando-se a turbidez do local, a utilização maiores intensidades luminosas e freqüências de emissão de flashes devam ser necessárias para sensibilizar o olho do animal e gerar estímulo aversivo.

Outro fato que deve ser levado em consideração é que a luz estroboscópica pode trazer danos à estrutura ocular do animal e, dessa forma, acabar amplificando os impactos causados pelos empreendimentos. Infelizmente, pouco se sabe a respeito dos possíveis danos que podem ser causados aos olhos de diferentes espécies de peixes em função da exposição à luz estroboscópica. Flamarique *et al.* (2006) indicam que, em seus testes expondo os olhos de *Oncorhynchus nerka* à luz em curto prazo (1 a 3 minutos) ou longo prazo (3 horas), nenhum dano à morfologia do olho pode ser observada. No entanto, esses autores indicam que quanto maior tempo de exposição à luz, maior o período de torpor exibido pelos peixes. Isso talvez explique o fato de alguns mandis-amarelos permanecerem praticamente sem movimento em frente a área exposta a luz estroboscópica no aquário experimental. Vale ressaltar esse tipo de comportamento uma vez que, de acordo com Flamarique *et al.* (2006) esse

comportamento pode não ser favorável para repelir os peixes das áreas próximas à tomada d'água em barragens, podendo criar uma situação em que os peixes possam ser facilmente sugados pelo fluxo de água. Por outro lado, pensando-se na entrada dos peixes no tubo de sucção, esse possível estado de torpor pode favorecer a saída dos peixes da área, uma vez que eles poderão ser carreados com o fluxo d'água.

Quanto ao tempo de resposta de repulsão, Sager & Hocutt (1987) e Sager *et al.* (2000a) apontam que uma das condições para considerar a luz estroboscópica como eficiente na repulsão de peixes é que o estímulo tem que ser o suficiente para que a reação seja sustentada por longos períodos de tempo, ou seja, o peixe não pode se aclimatar à fonte de luz. Para os testes realizados, observa-se que as respostas de repulsão do piau-três-pintas e do mandi-amarelo quando expostos à luz estroboscópica mantiveram-se inalteradas por, pelo menos, o período de uma hora, já que quando comparado o número de peixes passando pelo visor do aquário experimental nos 30 minutos iniciais e 30 minutos finais dos experimentos não detectaram-se diferenças significativas. Vários autores discutem a possível aclimação dos peixes quando expostos à luz estroboscópica (Sager *et al.*, 2000b; Amaral *et al.*, 2001; Taft *et al.*, 2001; Maiolie *et al.*, 2001; Richards *et al.*, 2007). Richards *et al.* (2007) indicam que as espécies de peixes testadas, dentre elas o *Ictalurus punctatus*, bagre semelhante ao mandi-amarelo, tenderam a aclimação após 7 horas de exposição à luz. Sager *et al.* (2000b) obtiveram respostas semelhantes àquelas do presente estudo, sendo que para experimentos realizados num período de 1 hora, as espécies estuarinas testadas não se aclimataram à luz. O mesmo fato é relatado por Taft *et al.* (2001) para os testes realizados com *Alosa sapidissima* em campo. Já Maiolie *et al.* (2001) nos testes realizados com *Oncorhynchus nerka* sugerem que essa espécie mantém as mesmas respostas de repulsão à luz em períodos de até 6 horas de exposição.

Levando-se em consideração que em paradas de máquinas uma hora é o tempo, em média, para isolamento dos tubos de sucção de turbinas hidráulicas com a colocação das comportas dos stop logs, desde que o estímulo com a luz estroboscópica seja capaz de manter reações de repulsão nos peixes durante esse período, certamente ele poderá ser eficiente para reduzir o número de peixes que venham a entrar na tubulação.

Percebe-se, portanto, que inúmeras são as variáveis envolvidas em trabalhos associados ao uso de sistemas de repulsão que promovam alterações no comportamento de diferentes espécies de peixes. O trabalho desenvolvido aponta uma boa perspectiva

para a utilização do sistema de luz estroboscópica para a repulsão de pelo menos duas espécies de peixes, o mandi-amarelo *Pimelodus maculatus* e o piau-três-pintas. Mesmo assim, há de se chamar atenção que as informações obtidas formam uma base de conhecimento e que, a partir dela, pode-se desenvolver uma série de outros testes para comprovar a eficiência desse sistema em circunstâncias variadas. Aliás, pode-se considerar alguns testes como indispensáveis e prioritários para melhores definições acerca do potencial de utilização da luz estroboscópica em usinas hidrelétricas, tais como:

- i) Ampliar o espectro de espécies testadas mantendo-se a base de informação da composição de espécies envolvidas em acidentes nas paradas de máquinas;
- ii) Testar a utilização do sistema de luz estroboscópica em diferentes condições de vazão e turbidez da água;
- iii) Ampliar o tempo de realização dos testes para verificação da real aclimação dos peixes ao estímulo após 1 hora;
- iv) Realizar testes em campo e em menor escala, tais como ambientes confinados (tanques-rede projetados para esse fim) em reservatórios de usinas hidrelétricas e em trechos de rio localizados imediatamente a jusante de barragens;
- v) Realizar testes para avaliar o efeito do sistema de luz estroboscópica em conjunto com outros sistemas.

Aliás, pensando-se em testes a serem realizados em campo, um grande desafio emerge estando diretamente relacionado à necessidade de aquisição de equipamento para essa utilização. É sabido que nos testes realizados no CPH o equipamento de luz estroboscópica não permitia sua instalação sub-aquática, de modo que o bulbo de luz permaneceu anexado ao vidro do aquário experimental em seu lado externo, ao passo que aquele utilizado no laboratório do USBR – Denver, permitia sua utilização sendo imerso na água. Certamente, para testes a serem realizados em maior escala a utilização de bulbos de luz estroboscópica imersos na água é fundamental.

Sabe-se que duas empresas, sendo uma americana e outra inglesa, produzem e comercializam sistemas de luz estroboscópica para esse fim, sendo que aquele utilizado nos testes com Delta smelt e Splittail realizados nos Estados Unidos foi fabricado pela Flash Technology, empresa norte-americana. No entanto, os custos para a produção e importação desse tipo de equipamento podem inviabilizar seu uso em grande

escala, como no caso das usinas hidrelétricas. Assim, um dos grandes desafios para a engenharia seria projetar sistemas passíveis de serem usados em grande escala e fabricados nacionalmente. Obviamente, esses sistemas devem ser projetados de modo a se conseguir obter as configurações mínimas de frequências de emissão de flashes e intensidade luminosa que possam gerar estímulos de repulsão nas diferentes espécies de peixes. Torna-se fundamental, portanto, a agregação de informações básicas sobre o comportamento das espécies de peixes alvo para a repulsão juntamente com o conhecimento do funcionamento físico do sistema, para obtenção resultados otimizados.

Determinando-se a real eficiência da luz estroboscópica em campo, outro grande desafio do ponto de vista da engenharia seria o de projetar esse sistema para ser utilizado em tubos de sucção de usinas hidrelétricas já em operação. Definições acerca de estruturas possíveis de serem utilizadas para sustentar os bulbos de luz estroboscópica logo na saída dos tubos de sucção, forma de instalação estando a usina em operação e portabilidade do equipamento para utilização em várias máquinas são algumas das questões que se pode levantar e que envolvem projetos de engenharia. Para novas usinas em construção os projetos dos sistemas de repulsão podem ser incluídos dentro das definições da obra e, portanto, serem um pouco mais simples de serem elaborados.

## **5.2– Cortina de bolhas**

O desenho experimental preparado para os experimentos realizados com cortina de bolhas visaram fornecer algum tipo de estímulo para os mandis-amarelos atravessarem a área onde estava localizada a cortina bolhas. Partindo do princípio que algum estímulo físico/biológico existe para que os peixes se desloquem em direção ao tubo de sucção, a idéia em laboratório foi de se gerar um estímulo conhecido para fazer com que os peixes ultrapassassem a barreira de bolhas. O estímulo utilizado, portanto, foi trófico, ou seja, grupos de peixes foram mantidos em condições diferenciadas de alimentação, de modo que esperava-se que aqueles grupos não alimentados por sete dias fossem altamente estimulados a passarem pela área da barreira quando a ração fosse fornecida a eles.

No entanto, o que foi observado é que o grupo de peixes privado de alimentação por sete dias apresentou pouquíssimo deslocamento durante o período do experimento, tendo um ligeiro aumento no número de peixes se deslocando para o



grupo sem alimentação por quatro dias e um maior deslocamento para os peixes sem alimentação interrompida. Em função disso, acredita-se que o estresse alimentar pode ter sido um fator que prejudicou o deslocamento dos peixes e essa variável pode ter mascarado algumas respostas comportamentais, principalmente para o grupo com alimentação interrompida por sete dias.

De acordo com Barrows & Hardy (2001) a necessidade fisiológica por nutrientes é definida pelo mínimo necessário para se manter uma boa resposta a crescimento, saúde, sobrevivência, atividade enzimática ou função imunológica. Ou seja, alterações no estado nutricional do animal pode levá-lo a alterações drásticas na fisiologia de determinados sistemas e, por conseguinte, reduzir uma série de atividades. Portanto, é plausível se pensar que os peixes testados com sete dias sem alimentação podem não ter tido a mesma resposta que os demais grupos em função de não terem reservas energéticas necessárias para vencerem a barreira.

De toda forma, torna-se válido avaliar os resultados obtidos com a cortina de bolhas para os grupos experimentais alimentados normalmente e com quatro dias de interrupção. Observa-se que cerca de 82% dos mandis-amarelos deixaram de atravessar a área da barreira com a cortina de bolhas ligada. Essa diferença caiu praticamente pela metade (48%) para os peixes do grupo com alimentação interrompida por quatro dias. Poucos são os estudos realizados para se testar a eficiência de cortina de bolhas de forma isolada como barreira para o deslocamento de peixes. Sager *et al.* (2000b) avaliaram o comportamento de três espécies distintas expostas à cortina de bolhas. Apenas para indivíduos da espécie *Brevoortia tyrannus* a cortina de bolhas, isoladamente, produziu repulsão dos peixes, tendo sido registradas variações no número de peixes se deslocando pela barreira na ordem de 9-81%, valores máximos bem próximos do obtido no presente estudo. Patrick *et al.* (1985) também registraram repulsão para a espécie *Dorosoma cepedianum* utilizando barreira de bolhas, exceto para os experimentos realizados durante a noite.

Em testes realizados em campo, Sprott (2001) relata um boa eficiência da cortina de bolhas para repelir peixes da área de um dock submersível localizado na “Cascade General Inc Facility” (Portland, Oregon, EUA). Em seu estudo Sprott observou um total de 866 peixes na área do dock, sendo 99 quando a cortina estava ligada e 767 com a cortina desligada, o que representa uma redução percentual de 87% de peixes nessa área. Esse autor ainda destaca que para salmão essa redução foi de 77%, sendo ainda maior para o “American shad” com 92% de redução observada.

Certamente, as condições experimentais foram bem diferenciadas se comparadas com o presente trabalho, mas a redução percentual manteve-se próxima àquela observada para mandis-amarelos.

Em trabalhos precursores, Andrew *et al.* (1955) observaram redução percentual no deslocamento de indivíduos de “Sockeye” numa média de 26% durante o dia e 74% durante a noite. Brett & Alderdice (1958) relatam a repulsão de até 75% de indivíduos de “sockeye” utilizando cortina de bolhas, sendo mais efetivas durante o dia.

Para indivíduos de “White perch”, Sager *et al.* (2000b) observaram atração de 9-35% pela cortina de bolhas em velocidade de água de 0,5m/s, ao passo que para a espécie “Spot” os resultados foram inconsistentes, sendo indicados até 10% de repulsão e de 8-19% de atração dependendo do experimento.

Michaud & Taft (2000) testaram cortina de bolhas isoladamente e em conjunto com outros sistemas (luz estroboscópica e som) para repelir peixes na região da White Rapids Hydroelectric Project. Para esses autores os resultados foram desanimadores e o uso desses sistemas não recomendados. Brett & MacKinnon (1953) também relatam ineficiência da cortina de bolhas para repelir jovens de salmão em deslocamento migratório, exceto quando utilizada em conjunto com luz.

Um dos pontos interessantes sobre o uso da cortina de bolhas é a forma com que esse tipo de barreira estimula os peixes. De acordo com Coutant (2001b) o estímulo dado pela cortina de bolhas é visual e, portanto, torná-la mais visível otimizará sua eficiência enquanto sistema de repulsão. Os resultados obtidos para o mandi-amarelo foram obtidos em experimentos realizados durante a noite, onde teoricamente, a visibilidade da cortina de bolhas pelos peixes estaria comprometida. No entanto, bons resultados de no que diz respeito ao número de peixes passando pela região da barreira foram obtidos.

Na literatura os resultados encontrados são variados no que diz respeito a eficiência da cortina considerando-se o período do dia. De acordo com Welton *et al.* (2002), melhores resultados utilizando-se cortina de bolhas foram obtidos durante a noite e, segundo estes autores, em condições sem iluminação os peixes não conseguem enxergar espaços entre as bolhas e portanto não ultrapassam aquele limite. Andrew *et al.* (1955) também observaram melhores resultados durante a noite, assim como Enami (1960). Já Patrick *et al.* (1985) relatam maiores eficiências durante o dia, assim como Brett & Alderdice (1958) e Hanson *et al.* (1977).

No caso dos mandis-amarelos acredita-se que, conforme discutido para os resultados obtidos com luz estroboscópica, a visão seja um dos sentidos bem desenvolvidos na espécie, tendo em vista o tamanho dos olhos do animal. Os bagres em geral tendem a ter hábito noturno (Smith, 2000) e, por esse fato, os mandis-amarelos devem ter uma boa acuidade visual mesmo em condições de baixa iluminação. Em função disso acredita-se que o uso do sistema de bolhas pode ter um bom resultado na repulsão de mandis-amarelos tanto durante o dia quanto a noite.

Apesar destes esforços é nítido a necessidade de maiores experimentos para verificação da eficiência de barreiras de bolhas para repulsão de mandis-amarelos e outras espécies de peixes de água doce envolvidas em acidentes com paradas de máquinas no Brasil. Devem ser realizados testes em diferentes horários do dia e com pressões diferenciadas para injeção de ar no sistema. Certamente, o tamanho, frequência de formação das bolhas e a profundidade onde o equipamento seja instalado podem influenciar a sensibilização dos peixes a esse estímulo. Além disso, para alguns autores, a cortina de bolhas, isoladamente, não constitui um bom sistema para repelir peixes (Taft, 2000; Sager *et al.*, 2000b; Michaud & Taft, 2000; Welton *et al.*, 2002). Aliás, de acordo com Salomon (1992) *apud* Welton *et al.* (2002) o uso de cortina de bolhas pode ser potencial, mas, as variações são grandes nos resultados, dependendo da situação onde é aplicada e das espécies que se quer repelir.

Em função disso, a utilização desse sistema em conjunto com outros, tais como luz estroboscópica e som, tem sido apoiada em diversas situações. Coutant (2001b) aponta para o fato de que um único sistema em funcionamento não deve ter eficiência muito elevadas, até porque o meio físico e biológico apresentam-se bem dinâmicos, de modo que o sistema também deve ser dinâmico para ter um bom funcionamento. Por exemplo, turbidez, temperatura, concentração de gases, deslocamentos migratórios, forrageamento, etc são algumas variáveis físicas e biológicas que podem influenciar o funcionamento de um único sistema.

Nessa linha, alguns trabalhos têm dado destaque à utilização destes sistemas em combinação. Em sua revisão sobre tecnologias para proteção de peixes Taft (2000) aponta para melhores resultados na utilização da cortina de bolhas em conjunto com luz. Sager *et al.* (2000b) testaram a eficiência da cortina de bolhas isoladamente e em conjunto com luz estroboscópica, verificando melhores resultados para a repulsão de três espécies (*Morone americana*, *Leiostomus xanthurus* e *Brevoortia tyrannus*) quando da combinação dos dois sistemas. Welton *et al.* (2002) também obtiveram melhores

resultados quando combinaram cortina de bolhas com som, gerado através do chamado BAFF (Bio-Acoustic Fish Fence). Utilizando o mesmo sistema (BAFF) incluindo ainda luz estroboscópica em conjunto com som e cortina de bolhas, Mark Bowen (com. pess.) obteve bons resultados para repelir uma espécie de salmão da entrada do canal para abastecimento de água no rio Old (Califórnia, EUA). Companhias norte-americanas e inglesas têm investido esforços na elaboração de projetos de engenharia que contemplem o uso em conjunto destes sistemas para a repulsão de peixes.

Nesse caso, novamente a interação entre a engenharia e a biologia torna-se fundamental, tendo em vista que para a elaboração de projetos para instalação destes sistemas em campo é fundamental ter conhecimento do funcionamento físico destes sistemas e de como os peixes podem ser sensibilizados em função desse conjunto de fatores físicos.

Assim, tendo em vista o caso dos mandis-amarelos, pode ser interessante a realização de experimentos integrando dois dos sistemas testados no presente trabalho, ou seja, luz estroboscópica e cortina de bolhas. Acredita-se que a combinação desses dois sistemas pode gerar melhores resultados pensando-se em repulsão dessa espécie.

### **5.3– Substância de alarme**

Uma das preocupações para o desenvolvimento dos testes para avaliação da possível produção de substância de alarme por mandis-amarelos foi a de garantir que os indivíduos utilizados no teste estivessem aptos a produzir essa substância. Isso porque, de acordo com Smith (1992), a idade dos peixes influencia na produção da substância e na reação de alarme. Em estudo realizado por Waldan (1982) foi comprovado que um indivíduo só começa a desenvolver a substância de alarme dez dias antes de ser capaz de responder a tal estímulo. De acordo com este autor, a espécie *Brachydanio rerio* não apresenta reações à substância de alarme de 48 a 52 dias após o nascimento. O tempo para o desenvolvimento e percepção da substância varia de acordo com cada espécie. Dessa forma, buscou-se utilizar no presente trabalho mandis com tamanhos mínimos dentro daquele de primeira maturação (Vono *et al*, 2002), onde, teoricamente, os peixes utilizados seriam jovens/adultos e, portanto, já teriam desenvolvido todas as suas funções sensoriais, sendo capazes de responder a possíveis reações de alarme.

Os resultados obtidos para os testes com mandi-amarelo demonstram um bom indicativo da presença de substância de alarme na pele dessa espécie. As variações

comportamentais observadas durante os momentos de aplicação do macerado de pele tornam bem evidentes o fato de que algo incômodo exigiu dos indivíduos presentes no aquário experimental uma movimentação e busca por um melhor local entre as áreas enriquecida, não enriquecida e corredor. Esses dados sugerem, portanto, que os mandis-amarelos produzem e reagem à substância de alarme.

Nem todos os peixes reagem ou produzem substância de alarme. Duboc (2007) cita o exemplo de que peixes de ambientes cavernícolas ou predadores vorazes estariam menos expostos às pressões seletivas para manutenção da reação de alarme e, portanto, perderiam ou reduziriam essa atividade. Essa substância seria produzida por um grupo de peixes pertencentes à Superordem Ostariophysi (Rosen & Greenwood, 1970 *apud* Smith, 2000) na qual inserem-se os mandis-amarelos. No entanto, Smith (2000) relata que alguns peixes pertencentes a essa Superordem podem não apresentar reações à substância de alarme e os bagres com espinhos desenvolvidos nas nadadeiras, tal como os mandis-amarelos, fariam parte desse grupo. Isso porque os espinhos desenvolvidos nas nadadeiras atuariam como uma boa forma de defesa e, essas espécies teriam perdido, de maneira secundária, sua habilidade em responder à substância de alarme, cujo objetivo é despertar uma reação desenvolvida como mecanismo anti-predação. Esse fato, portanto, seria contrastante com os resultados obtidos com os mandis-amarelos no presente trabalho, onde, pode-se observar claramente alguma reação ao macerado de pele.

No entanto, em seu estudo com um bage marinho (*Arius felis*) Smith (2000) demonstrou um claro aumento na atividade natatória dessa espécie quando exposta ao macerado de pele, tal como pode-se observar nos mandis-amarelos. Esse autor também aponta para um aumento na atividade natatória de outra espécie de bage com espinhos nas nadadeiras (*Ictalurus punctatus*) quando exposto à macerado de pele.

Tendo em vista a relação da substância de alarme com as interações predador-presa entre diferentes espécies, estudos foram conduzidos para demonstrar e caracterizar as reações de alarme de determinadas espécies (Chiver & Smith, 1994; Jachener, 1996; Jachener, 1997; Nordell, 1998; Yunker *et al.*, 1999; Smith, 2000; Ide *et al.*, 2003; Kristensen & Closs, 2004; Wisenden *et al.*, 2004; Sunardi *et al.*, 2007; Duboc, 2007) ou a atração de predadores expostos a macerado de pele de espécies consideradas como suas presas (Cashner, 2004). Alguns destes trabalhos discutem a aplicação destes estudos em programas de condicionamento dos peixes para responderem de forma mais eficiente à reação de alarme ou concentram-se nos aspectos ecológicos da interação

predador-presa. A discussão que se pretende no presente trabalho gira em torno da aplicação dos conhecimentos obtidos acerca da produção e reação de alarme em mandis-amarelos como forma de proteger cardumes da entrada em turbinas de usinas hidrelétricas.

Dentre os comportamentos observados para os mandis-amarelos nos testes conduzidos percebe-se que a maioria dos peixes não apresentou nenhum tipo de estímulo quando expostos à substância controle (água destilada) ou antes de serem expostos ao macerado de pele. De fato, esse resultado é corroborado por uma série de outros trabalhos, onde o grupo controle (aquele em que os peixes não foram expostos ao macerado de pele) não apresentou praticamente nenhuma reação (Jachner, 1996; Smith, 2000; Friesen & Chivers, 2006; Duboc, 2007).

Fato interessante é que além do comportamento predominante de inatividade exibido pelos mandis-amarelos antes da exposição ao macerado de pele, esses peixes permaneceram na área enriquecida e no fundo do aquário. Esse comportamento também foi observado por Kristensen & Closs (2004), onde os indivíduos da espécie *Gobiomorphus cotidianus* permaneceram inativos no fundo do aquário experimental, antes da introdução da substância de alarme. Smith (2000) estudando uma espécie de bagre também observou índices de atividade não significativos para o grupo controle.

Já quando expostos ao macerado de pele as reações e os comportamentos exibidos por mandis-amarelos foram bem distintos. Observa-se para essa espécie que, durante a exposição ao macerado de pele, os peixes apresentaram mais intensa a resposta de natação rápida. Esta observação também foi registrada em outros experimentos, tais como o de Jachner (1996) que registrou natação rápida em *Alburnus alburnus* quando expostos a macerados de pele. Smith (2000) detectou o aumento da atividade em *Aurius felis*, espécie de bagre marinho, quando exposto ao macerado de pele. Yunker *et al.* (1999) trabalharam com *Pimephales promelos* registrando para esta espécie que a substância de alarme provocou alteração comportamental, sendo a natação rápida o principal comportamento.

Durante a exposição à solução de macerado de pele observou-se que os mandis-amarelos apresentaram variações individuais das respostas. Vários peixes começaram a nadar rápido pelo aquário, enquanto outros permaneceram inativos ou deslocaram-se lentamente ou brigaram. Ao contrário dessa observação, Chiver & Smith (1994) demonstraram em testes realizados com *Pimephales promelas* (Fathead minnows) que o comportamento foi o mesmo para todos os indivíduos após a exposição

à substância de alarme, sendo que todos exibiram maior busca por abrigo. Além disso, esses autores demonstram uma certa capacidade de aprendizado dos peixes e associação do estímulo a predadores. Duboc (2007) observou o mesmo para duas espécies do gênero *Mimagoniates* e relacionou esse comportamento à formação de cardumes mais coesos para fuga de predadores.

Ide *et al.* (2003) observaram o mesmo padrão de comportamento exibido pelos mandis-amarelos em matrinxãs (*Brycon cephalus*) expostos à substância de alarme, sendo que 66% dos peixes responderam com natação rápida ao estímulo. Para a mesma espécie, estes autores também detectaram que a reação à substância de alarme teve curta duração, sendo de no máximo 2 minutos. Os mandis-amarelos também apresentaram reação rápida à exposição a solução de macerado de pele, tendo em vista que o registro de comportamentos variados ocorreu apenas durante a fase de aplicação do macerado, com um minuto de duração.

Após a exposição ao macerado de pele, os mandis exibiram, significativamente, o comportamento de inatividade. Este mesmo fato também foi observado por Ide *et al.* (2003) em matrinxãs, onde detectaram períodos de inatividade após a exposição ao extrato de pele variando de 5 a 30 minutos. A princípio, de acordo com Ide *et al.* (2003), o propósito desta reação bifásica (agitação seguida de inatividade) observada seria uma forma de burlar o predador. Ou seja, o indivíduo (ou grupo) exposto à substância de alarme reagiria, rapidamente, como resposta ao estímulo fornecido, criando uma agitação e aumento na velocidade de natação para evitar a área considerada como sendo de risco. Após essa rápida agitação os peixes permaneceriam imóveis buscando evitar a atenção do predador.

Outro fato interessante é que nota-se no estudo de Duboc (2007) que os peixes tenderam a formar cardumes mais agregados durante a fase de aplicação da substância. Já no trabalho apresentado nessa mesma fase nota-se uma grande movimentação individual. A formação de cardumes é de extrema importância na proteção de algumas espécies e, exemplares isolados ou em pequenos grupos (menos que cinco indivíduos), podem demonstrar comportamentos muito distintos de quando observado em cardumes. Dentre estes comportamentos, observa-se que os peixes tendem a ser mais ariscos e permanecerem inativos (Duboc, 2007). Este fato nos direciona para a hipótese de que, talvez, mandis-amarelos em grupos maiores do que cinco peixes possam exibir comportamentos diferenciados do que o observado no presente trabalho.

De acordo com Chiver & Smith (1994), estudando o comportamento de *Pimephales promelos*, esta espécie quando exposta ao extrato de pele, aumenta, significativamente, o uso de refúgio e a velocidade de natação dentro do aquário. Jachner (1997) também percebeu que os peixes da espécie *Alburnus alburnus* quando expostos a substância de alarme permaneceram até 2 dias próximos da área com enriquecimento. Wisenden *et al.* (2004), estudando *Hermigrammus erythoroszonus* notou uma grande movimentação dos indivíduos entre as áreas do aquário experimental na presença da substância de alarme. Outros trabalhos, como o de Nordell (1998) estudando “guppies”, relatam que antes de serem submetidos ao tratamento do extrato de pele, os peixes nadavam livremente por todo o aquário experimental e, logo após serem expostos ao macerado de pele, alteraram significativamente seu deslocamento criando uma maior coesão entre os indivíduos e nadando de maneira errática ao longo do aquário.

Os mandis-amarelos estudados também apresentaram movimentação entre as áreas do aquário experimental, aparentemente buscando refúgio, durante a fase de exposição à solução de macerado de pele. Este fato é sugerido pela diferença significativa observada para a concentração de mandis-amarelos na área enriquecida do aquário antes da aplicação do macerado. Depois, logo na fase após a inserção da solução de macerado de pele observa-se que os indivíduos se encontravam melhores distribuídos entre as áreas, não sendo possível detectar diferenças significativas na concentração de peixes entre as áreas do aquário experimental, indicando uma dispersão dos mesmos ao longo das áreas.

Percebe-se de acordo com os resultados, que um maior número de peixes tende a se concentrar na área enriquecida do aquário, o que pode ser entendido como uma busca por refúgio após a ocorrência da reação de alarme em função da presença da substância de alarme. Em se tratando de bagres, Smith (2000) encontrou o mesmo padrão de resposta em termos de deslocamento e de velocidade de natação para o bagre marinho *Arius felis*, onde animais expostos ao macerado de pele apresentaram natação de explosão, principalmente aqueles que se localizavam mais próximos da fonte de inserção da substância de alarme.

É interessante discutir também que, conforme apontado por Smith (2000) a reação e produção da substância de alarme em bagres pode ter um componente ontogenético, de modo que indivíduos jovens podem produzir e exibir uma reação mais intensa à substância e adultos da mesma espécie podem reduzir a produção e intensidade da reação. Essa modificação no comportamento e produção da substância de



alarme poderia se relacionar, do ponto de vista evolutivo, a uma dieta basicamente piscívora para indivíduos adultos e, conseqüentemente, menor exposição à predação.

Os resultados obtidos também mostram que os mandis-amarelos que permaneceram durante um ano no laboratório não apresentaram respostas de alarme quanto expostos ao macerado de pele. Aparentemente, por algum motivo biológico, esse grupo de peixes pode ter deixado de produzir a substância ou perdido a condição de sensibilização à substância na água. De acordo com Duboc (2007) a reação de alarme é produto de dois fatores, isto é, a presença de células produtoras e da substância de alarme na epiderme mais a capacidade de resposta do receptor. Este mesmo autor relata que alterações de pH da água podem inibir ou bloquear os receptores olfativos e causar uma grande perda na percepção da substância, tendo em vista que Hamdani *et al.* (2000) deixa claro que a reação de alarme é mediada pela estimulação do trato olfatório dos peixes.

Sob o aspecto evolutivo, Wisenden & Smith (1997) e Brown (2003) deixam claro que a produção de substância de alarme e a reação desencadeada pela sua percepção geram um gasto energético considerável para os peixes e reduz o tempo e energia que poderia ser disponibilizada para outras atividades, como alimentação, por exemplo. Wisenden & Smith (1997) demonstraram que *Pimephales promelas* mantidos em diferentes condições de dieta desenvolvem números diferenciados de células de substância de alarme na epiderme. Ou seja, para essa espécie, indivíduos bem alimentados possuem um número bem maior de células de substância de alarme do que aqueles com deficiência nutricional.

Tendo em vista o custo energético para a produção de substância de alarme nos peixes uma hipótese aceita para a não reação exibida pelos mandis-amarelos mantidos há um ano no laboratório é de que, em função da não exposição a riscos e predadores e manutenção em aquários apenas com indivíduos da mesma espécie, esses peixes deixaram de produzir a substância de alarme em suas células e, portanto, o macerado da pele destes animais não gerou reação de alarme para os mesmos.

De acordo com o observado portanto, percebe-se que os mandis-amarelos tendem a apresentar natação rápida seguida de inatividade (reação bifásica) e podem se dispersar ao longo de uma determinada área, buscando refúgio ou se distanciarem da fonte de onde se detectou a substância. Diante de todo esse repertório de comportamentos e reações de alarme observadas nos mandis-amarelo e em outras espécies descritas na literatura, um dos desafios deste trabalho é de avaliar a

potencialidade de utilização dessa substância como um mecanismo biológico de repulsão dos peixes de áreas de risco em usinas hidrelétricas.

Sob esse aspecto, algumas considerações devem ser feitas, iniciando-se pela qual podemos considerar como a mais crítica dentre todas elas que seria a maneira como a substância de alarme seria produzida para utilização em campo. Obviamente, pensando-se nas dimensões de tubos de sucção de turbinas hidráulicas em usinas hidrelétricas não dá pra se pensar na produção de macerado de pele de indivíduos de mandi-amarelo para ser utilizado como fonte de substância de alarme, uma vez que o volume de macerado e o número de peixes que deveriam ser sacrificados para produção da substância inviabilizam essa condição. Dessa forma, uma das soluções para esse problema seria a síntese e utilização de substância de alarme produzida artificialmente.

Um dos desafios associados a essa questão seria, então, caracterizar do ponto de vista químico, a composição da substância de alarme e verificar sua possibilidade de síntese. A natureza da substância de alarme é conhecida como sendo derivada de um conjunto variável de compostos complexos contendo óxido nítrico como grupo funcional (Duboc, 2007) e teria como principal constituinte a base púrica 3(N)-Óxido de hipoxantina (Jachner, 1996). Deve-se, então, entender essa variação para mandis-amarelos, de modo a se caracterizar a substância. Certamente, outras ciências, como a química, poderia contribuir sobremaneira nesse quesito.

Definindo-se a possibilidade de síntese da substância de alarme um próximo passo seria caracterizar o comportamento dos peixes quando expostos à substância de alarme em campo, ou seja, no ambiente natural. Segundo Friesen & Chivers (2005), a grande maioria dos testes são realizados em condições laboratoriais, onde o controle de variáveis tais como, alimentação dos peixes, ótima qualidade e controle químico da água, acabam criando uma condição ótima para os experimentos e podem mascarar a real reação das espécies na natureza. Os mesmos autores apontam para o fato de que, em condições naturais, deve ser necessário o uso de concentrações maiores da substância de alarme para desencadear as reações. Além disso, fatores químicos no ambiente natural podem interromper as respostas de alarme por bloquear o mecanismo sensorial dos peixes para percepção da substância, tais como o Cádmio e pH ácido (Scott *et al.*, 2003; Duboc, 2007). Apesar dessas particularidades, poucos estudos foram realizados no campo e descritos na literatura (Wisenden *et al.*, 2003; Wisenden *et al.*, 2004; Friesen & Chivers, 2006).

Em se tratando de concentração da substância de alarme, uma nova demanda de estudos envolve a necessidade de se realizar testes de níveis de concentração em que a substância pode ser utilizada, já que altas concentrações demonstram ser tóxicas para os peixes e podem até causar a morte de indivíduos expostos (Smith, 2000). Ide *et al.* (2003) detectaram mortalidade de matrinxãs num período de 12 horas após os experimentos em que foram expostos ao macerado de pele concentrado, sem diluição. Certamente, a reação de alarme é um fator que gera um alto estresse nos peixes e, conseqüentemente, causa alterações fisiológicas consideráveis (Ide *et al.*, 2003; Sunardi *et al.*, 2007). De acordo com Sunardi *et al.* (2007) essas alterações em *Pseudorasbora parva* vão desde variações nas taxas metabólicas a mudanças dramáticas na taxa de ventilação das branquias, fatores que podem causar a morte do indivíduo. Dessa forma, para uso em campo deve-se estar atento a este fato.

Além disso, sabe-se que a natureza da resposta à substância de alarme tende a ser, na maioria dos casos, intra-específica, mas Friesen & Chivers (2005) demonstram a possibilidade de ocorrerem entre espécies, ou seja, de modo inter-específico. De acordo com esses autores espécies mais próximas do ponto de vista filogenético ou que participam de uma mesma guilda trófica como presas, ou seja, compartilhando predadores, possuem maior probabilidade de exibirem respostas de alarme inter-específicas. As respostas inter-específicas tendem a ter intensidade mais baixa que aquelas intra-específicas, de modo que, para uso em campo deve-se entender a ação da substância de alarme produzida por mandis-amarelos em outras espécies filogeneticamente próximas, principalmente aquelas pertencentes ao gênero *Pimelodus*.

Caso os mandis-amarelos exibam em campo comportamento semelhante ao observado em laboratório quando expostos ao macerado de pele podemos sugerir algumas hipóteses para a sua aplicação como forma de repelir os peixes de áreas de risco. Uma primeira hipótese seria relacionada a busca por refúgio, comportamento possível quando estimulados pela substância de alarme. Pensando-se no tubo de sucção essa busca poderia levar os peixes a entrarem na tubulação, uma vez que a falta de iluminação pode ser entendida como boa área de refúgio, tendo em vista que a orientação do predador para atacar a presa é visual e nesse caso os peixes perderiam esse contato.

Por outro lado, uma segunda hipótese aponta para o fato de que a resposta de natação rápida associada à velocidade da água durante o período em que a máquina está parando e reduzindo a rotação pode contribuir para que os peixes saiam do tubo, já que

a tendência seria desses peixes nadarem a favor do fluxo de água e não contra. Soma-se a isso o fato de que a reação é bifásica e logo em seguida tem-se um longo período de inatividade, o fluxo de água contribuiria para arrastar os peixes do interior do tubo.

Enfim, essas hipóteses devem ser testadas e, preferencialmente em laboratório, onde a menor escala pode contribuir para um melhor entendimento desses comportamentos. O desenvolvimento desses testes em laboratório exigem uma interação entre a biologia e engenharia, uma vez que o entendimento dos processos comportamentais dos peixes é área de atuação dos ictiólogos e o desenvolvimento de projetos e construção de modelos reduzidos de turbinas hidráulicas é competência dos engenheiros. Certamente, a atuação dessas duas áreas em conjunto pode contribuir de forma considerável para a minimização dos impactos causados por empreendimentos hidrelétricos sobre a ictiofauna.

## 6 – CONCLUSÕES

Em suma, conclui-se com o trabalho realizado que luz estroboscópica, cortina de bolhas e substância de alarme apresentam grande potencial para uso como sistemas para repulsão de peixes em áreas de risco de usinas hidrelétricas. Em se tratando de luz estroboscópica, seu estímulo demonstrou causar reação de repulsão nas três espécies testadas, mandi-amarelo, piau-três-pintas e Delta smelt, principalmente em frequências de 360 flashes/min e durante a noite. Mandis-amarelos aparentam ser atraídos pela luz estroboscópica durante o dia e em frequência de 92 flashes/min. Vale ressaltar que os comportamentos observados foram obtidos utilizando-se a luz estroboscópica em condições laboratoriais, onde diversas variáveis como turbidez e velocidade da água, não foram inseridas nos experimentos. Pode ser que em condições de águas mais turvas e velocidades mais altas de água a resposta dos peixes se altere.

Ainda sobre a luz estroboscópica foi possível observar que esse sistema não contribui para aumentar a eficiência de salvamento de Delta smelt e Splittail no Tracy Fish Collection Facility, localizado no Delta Mendota Canal, construído para levar água a estações de tratamento responsáveis por abastecer a região do Central-Valley na Califórnia, EUA. Aparentemente, as grades existentes para guiar os peixes em direção ao bypass nessa estação de coleta possuem boa eficiência, desde que a velocidade da água no canal secundário seja mantida em condições favoráveis para o funcionamento dessa barreira física. Nesse sentido, a velocidade da água parece ser a principal variável nesse sistema e que, talvez, essa variável tenha mascarado o possível efeito da luz sobre os peixes. Para esse local, sugere-se então que novos experimentos sejam conduzidos em situações que a velocidade da água no canal secundário não esteja sendo operada em condições ótimas para guiarem Delta smelt e Splittail para os tanques de coleta.

Quanto à cortina de bolhas, pode-se concluir que os dados obtidos ainda não são conclusivos sobre o potencial de uso desse sistema para repelir mandis-amarelos. De toda forma, analisando-se os dados obtidos para os peixes alimentados diariamente, percebe-se que um número considerável de peixes não ultrapassou a área da barreira, sendo detectadas reduções percentuais de até 82% no número de peixes transitando pela janela de observação do aquário experimental. No entanto, mais repetições devem ser realizadas e os grupos experimentais devem estar nas mesmas condições de

alimentação, evitando-se, dessa forma, possíveis resultados adversos em função do estresse alimentar.

Por fim, os testes com substância de alarme demonstraram potencial de uso desse sistema biológico para repulsão de mandis-amarelos, dado a forte reação de fuga observada quando os peixes foram expostos ao macerado de pele. Essa reação de fuga tende a ser rápida, caracterizando-se por uma natação rápida seguida de imobilidade dos peixes. Considera-se a reação observada como sendo bifásica. O rápido deslocamento quando em contato com o macerado de pele fez com que os peixes se deslocassem entre as diferentes áreas do aquário experimental, levando a crer que, na natureza, esse estímulo possa ser útil para evitar com que eles entrem dentro dos tubos de sucção de turbinas hidráulicas. Há de se ressaltar que o uso da substância de alarme só será recomendável caso seja possível identificar e caracterizar do ponto de vista bioquímico e químico a natureza da substância e que seja possível sintetizá-la para uso. Caso contrário, certamente esse sistema biológico perderá seu valor, tendo em vista que é necessário sacrificar e macerar a pele de peixes para que a substância seja lançada no meio.

Apesar da aquisição de informações básicas a respeito do comportamento dos peixes expostos aos diferentes estímulos, vários testes ainda são recomendados e devem ser realizados prioritariamente à utilização desses sistemas em campo. Abre-se, portanto, um vasto campo de pesquisa, tanto para a engenharia quanto para a biologia, e a interação entre as duas áreas é fundamental para desenvolvimento de sistemas cada vez mais eficientes, tendo em vista que seu bom funcionamento depende de conhecimento acerca dos sistemas físicos utilizados e do comportamento dos peixes.

## ABSTRACT

Laboratory and field experiments have been performed to evaluate the potential use of strobe lights, bubble curtain and alarm substance as non-physical barriers to deter fish entrainment and impingement at Brazilian power plants and irrigational canals in the US. Among the tested species were mandi-amarelo (*Pimelodus maculatus*), piau-três-pintas (*Leporinus reinhardti*), Delta smelt (*Hypomesus transpacificus*) and Splittail (*Pogonichthys macrolepidotus*). Results indicate that fish showed strong avoidance responses to almost all experiments, except for Delta smelt and Splittail exposed to strobe lights in the field at Tracy Fish Collection Facility. Strobe light had elicited strongest avoidance responses at flash rate of 360 flashes/min. More than that, for the majority of the tested species strobe light had a significant effect at night. Flash rate of 92 flashes/min seems to attract mandi-amarelo during the daytime experiments. Although bubble curtain experiments had not been extensively conducted apparently this behavioral system could be useful to elicit avoidance response in mandi-amarelo. Alarm substance showed a potential use as a non-physical barrier for fish, at least for mandi-amarelo, due to the strong escape reaction showed by that species when exposed to a con-specific skin extract. Perhaps it could be used as a biological barrier for fish. However, one has to consider various different issues in the use of this biological substance in the field. Similarly, one should be aware that a lot of experiments to test the efficiency of these systems at different site conditions should be conducted to gather more conclusive data related to the use of strobe light, bubble curtain and alarm substance as non-physical barriers for fish at power plants. Nevertheless, first information about Brazilian's fish behavior related to non-physical barriers was gathered with this study.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Agostinho, A.A.; Gomes, L.C. & Pelicice, F.M. 2007. *Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil*. Maringá, EDUEM, 501p.
- 2 Agostinho, A. A.; Júlio-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, n.14 (suplemento), out., p.89-107.
- 3 Agostinho, A.A. & Júlio Jr, H.F. 1999. Peixes da bacia do alto rio Paraná. p. 374-400. *In: Lowe-McConnell, R.H. (Ed.). Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais*. São Paulo, EDUSP, 535 p.
- 4 Agostinho, A.A.; Júlio Jr., H.F.; Gomes, L.C; Bini, L.M. & Agostinho, C.S. 1997. Composição, abundância e distribuição espaço-temporal da ictiofauna. p. 179-208. *In: Vazzoler, A.E.A.M.; Agostinho, A.A. & Hahn, N.S. (Eds.). A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos*. Maringá, EDUEM, 460 p.
- 5 Agostinho, A.A.; Thomaz, S.M. & Gomes, L.C. 2005. Conservação da biodiversidade em águas continentais do Brasil. *In: Conservation International. Megadiversidade: desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade no Brasil*, v.1, n.1, junho, p.1-216.
- 6 Alves, C. B. M. & Pompeu, P. S. 2005. *Historical changes in the Rio das Velhas fish fauna- Brazil*. American Fisheries Society Symposium, 45: 587-602.
- 7 Amaral, S. V.; Winchell, F.C. & Pearsons, T.N. 2001. Reaction of Chinook Salmon, Northern Pikeminnow, and Smallmouth Bass to behavioral guidance stimuli. 125-144p. *In: Coutant, C.C. Editor. Behavioral technologies for fish guidance*. American Fisheries Society, Symposium 26, Bethesda, Maryland, 193p.



- 8 Andrew, F.J. & Geen, G.H. 1960. Sockeye and pink salmon production in relation to proposed dams in the Fraser river system. *Bull. Int. Pac. Sal. Fish. Comm.*, n.11, 259p.
- 9 Andrew, F.J.; Kersey, L.R. & Johnson, P.C. 1955. An investigation of the problem of guiding downstream migrant salmon at dams. *Bull. Int. Pac. Sal. Fish. Comm.*, n.8, 65p.
- 10 ANEEL. 2005. *Atlas da energia elétrica no Brasil*. Agência Nacional de Energia, Brasília, 2Ed, 243p.
- 11 ANEEL. 2008. *Atlas da energia elétrica no Brasil*. Agência Nacional de Energia, Brasília, 3Ed, 236p.
- 12 Barrows, F.T. & Hardy, R.W. 2001. Nutrition and Feeding. 483-558p. In: Wedemeyer, G.A. Editor. *Fish hatchery management*. 2<sup>nd</sup> Edition. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- 13 Bartel, R.; Bieniarz, K. & Epler, P. 2002. Fish passing through the turbines of Pomeranian River hydroelectric plants. *Archives of Polish Fisheries*, v.10, n.2, p.275-280.
- 14 Basile-Martins, M.A. 1978. *Comportamento e alimentação de Pimelodus maculatus Lacépède, 1803 (Osteichthyes, Siluriformes, Pimelodidae)*. Tese (Doutorado), Instituto de Biociências, USP, São Paulo, 143 p.
- 15 Bates, D.W. & VanDerwalker, J.G. 1964. Exploratory experiments on the deflection of juvenile salmon by means of water and air jets. *Fish Passage Research Program*, U.S. Bur. Comm. Fish. v.3, n.14, 6p.

- 16 Bazzoli, N.; Cangussu, L.C.V.; Rizzo, E. & Santos, G.B. 1997. Reprodução e desova de mandis *Pimelodus maculatus* e *Iheringichthys labrosus* (Pisces, Pimelodidae) nos reservatórios de Furnas, Marimbondo e Itumbiara. *Bios, Cadernos do Departamento de Ciências Biológicas da PUC Minas*, dezembro, v.5, n.5, p. 7-15.
- 17 Becker, J.M.; Abernethy, S. & Dauble, D.D. 2003. Identifying the effects on fish of changes in water pressure during turbine passage. *Hydro review*, September, p. 1-5.
- 18 Bell, C.E. & Kynard, B. 1985. Mortality of adult American shad passing through a 17-megawatt Kaplan turbine at a low-head hydroelectric dam. *North American Journal of Fisheries Management*, v. 5, p. 33-38.
- 19 Bennett, W.A. 2005. Critical Assessment of the Delta Smelt population in the San Francisco estuary, California. *San Francisco Estuary and Watershed Science*. v. 3, n.2, September, p. 1-71.
- 20 Bosio, C. 1994. *Alarm Pheromones in Fish: Functional and Evolutionary Aspects*. Colorado State University. Spring.
- 21 Bowen, M.D.; Baskerville-Bridges, B.B.; Frizell, K.W; Hess, L.; Carp, C.A.; Siegfried, S.M. & Wynn, S.L. 2004. *Empirical and Experimental Analyses of Secondary Lower Efficiency at the Tracy Fish Collection Facility: March 1996 to November 1997*. US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Tracy Studies California, p.1-33.
- 22 Braga, F.M.S. 2000. Biologia e pesca de *Pimelodus maculatus* (Siluriformes, Pimelodidae), no reservatório de Volta Grande, rio Grande (MG/SP). *Acta Limnol. Bras.*, v.12, p. 1-14.
- 23 Braga, F.M.S. 2001. Reprodução de peixes (Osteichthyes) em afluentes do reservatório de Volta Grande, rio Grande, Sudeste do Brasil. *Iheringia*, Ser. Zool., Porto Alegre, nov., v. 91, p. 67-74.

- 24 Brett, J.R. & Alderdice, D.F. 1958. Research on guiding young salmon at two British Columbia field stations. *Fish Res. Bd. Canada Bull.*, n.117, 75p.
- 25 Brett, J.R. & MacKinnon, D. 1953. Preliminary experiments using lights and bubbles to deflect migrating young spring salmon. *J. Fish. Res. Board Can.*, n.10, p.548-559.
- 26 Brown, R. 2000. The potencial use of strobe lighting as a cost-effective means for reducing impingement and entrainment. *Environmental Science & Policy*, v.3, p. 405-416.
- 27 Brown, G.E. 2003. Learning about danger: chemical alarm cues and local risk assessment in prey fishes. *Fish and Fisheries*. v.4, p. 227-234.
- 28 Buckup, P.A. & Menezes, N.A. (Eds). 2003. Catálogo dos peixes marinhos e de água doce do Brasil. 2ªEd. Disponível em: <http://www.mnrj.ufrj.br/catalogo/>(acessado em 20 de março de 2009).
- 29 Cada, G.F. 1990. A review of studies relating to the effects of propeller-type turbine passage on fish early life stages. *North American Journal of Fisheries Management*, v. 10, p. 418-426.
- 30 Cada, G.F. 1998. Efforts to reduce the impacts of hydroelectric power production on reservoir fisheries in the United States. *Internat. Rev. Hydrobiol.*, n.83, p. 43-50.
- 31 Cada, G.F. 2001. The development of advanced hydroelectric turbines to improve fish passage survival. *Fisheries*, v. 26, n. 9, September, p. 14-23.
- 32 Cada, G.F. & Zadroga, F. 1982. Small-scale hydroelectric power for developing countries: methodology of site-selection based on environmental issues. *Environmental Conservation*, vol. 9, n. 4, p.329-338.

- 33 Cashner, M.F. 2004. Are Spotted Bass (*Micropterus punctulatus*) attracted to Schreckstoff? A test of the predator attraction hypothesis. *Copeia*, v.3, p. 592-598.
- 34 Chivers, D.P. & R.J.F. Smith. 1994. Fathead minnows, *Pimephales promelas*, acquire predator recognition when alarm substance is associated with the sight of unfamiliar fish. *Anim. Behav*, 48, p.597-605.
- 35 Cordi, V.; Ortubay, S.; Lozada, M. 2005. Visual cues during the alarm reaction of *Gymnocharacinus bergi* (Pisces, Characidae). *J. Appl. Ichthyol.* v.21, p.487-491.
- 36 Coutant, C.C. 1999. Think like a fish! Emphasizing the “behavior” in behavioral guidance systems. *Hydro Review*, June, p. 18-25.
- 37 Coutant, C.C. 2001a. Behavioral Technologies for Fish Guidance. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 193p.
- 38 Coutant, C.C. 2001b. Integrated, multi-sensory, behavioral guidance systems for fish diversions. p. 105-114. *In: Coutant, C.C. (Ed.). Behavioral technologies for fish guidance.* American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 193p.
- 39 Coutant, C.C. & Whitney, R.R. 2000. Fish behavior in relation to passage through hydropower turbines: a review. *Transactions of the American Fisheries Society*, v. 129, p. 351-380.
- 40 Danley, M.L.; Mayr, S.D.; Young, P.S. & Cech Jr, J.J. 2002. Swimming performance and physiological responses of splittail exposed to a fish screen. *North American Journal of Fisheries Management.* v.22, p.1241-1249.
- 41 Dege, M. & Brown, L.R. 2004. Effect of Outflow on Spring and Summertime Distribution and Abundance of Larval and Juvenile Fishes in the Upper San Francisco Estuary. *American Fisheries Society Symposium.* v. 39, p.49-65.

- 42 Dei Tos, C.; Barbieri, G.; Agostinho, A.A.; Gomes, L.C. & Suzuki, H.I. 2002. Ecology of *Pimelodus maculatus* (Siluriformes) in the Corumbá reservoir, Brazil. *Cybium*, v.26, n.4, p. 275-282.
- 43 Drummond, G.M.; Martins, C.S.; Machado, A.B.M.; Sebato, F.A. & Antonini, Y. 2005. *Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação*. Fundação Biodiversitas, Belo Horizonte-MG, 2ªEd, 222p.
- 44 Duboc L.F. 2007. Análise comparativa e aspectos ecológicos da reação de alarme em duas espécies de *Mimagoniates* (ostariophysi, Characidae, Glandulocaudinae). *Revista Brasileiro de Zoologia*, v.24, n.4, p.1163-1185.
- 45 Elliot, T.C.; Chen, K. & Swanekamp, R.C. 1998. *Standard handbook of powerplant engineering*. McGraw Hill Professional, 2Ed., 1248p.
- 46 Enami, S. 1960. Studies on the bubble net. II. Experiments on some sea water fishes performed on the driving and intercepting effects. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, v.26, n.3, p.269-272.
- 47 Environmental Protection Agency. 1976. *Development document for best technology available for the location, design, construction and capacity of cooling water intake structures for minimizing adverse environmental impact*. U.S. EPA – EPA 440/1-76/015-a. 263p.
- 48 Everhart, W.H; eipper, A.W. & Youngs, W.D. 1975. *Principles of fisheries science*. Cornell University Press, Ithaca and London, 219-227p.
- 49 FAO/DVWK/DVWK. 2002. *Fish passes – Design, dimensions and monitoring*. Rome, FAO/DVWK, 119 p.

- 50 Feyer, F.; Sommer, T.R.; Baxter, R.D. 2005. Spatial-temporal distribution and habitat associations of age-0 Splittail in the lower San Francisco estuary watershed. *Copeia*, v.1, p.159-168.
- 51 Fields, P.E. 1966a. Final report on migrant salmon light guiding studies. *Fisheries Engineering Research Program*. U.S. Army Corps Engineers, North Pacific Division, Portland, OR, 266p.
- 52 Fields, P.E. 1966b. Diverting downstream migrants from McNary dam turbines into the trash sluiceway and emergency gate slots. *University of Washington College of Fisheries Tech. Rept.*, n. 55, 31p.
- 53 Fields, P.E. & Finger, G.L. 1956. The effectiveness of constant and intermittently flashing light barriers in guiding young silver salmon. *University of Washington College of Fisheries Tech. Rept.*, n. 22, 22 p.
- 54 Fields, P.E.; Finger, G.L.; Adkins, R.J. & Pike, R. 1954. Factors influencing the efficiency of light barriers in the guidance of young salmonidae. *University of Washington College of Fisheries Tech. Rept.*, n. 8, 37p.
- 55 Fields, P.E.; Johnson, D.E.; Finger, G.L.; Adkins, R.J. & Carney, R.E. 1955. A field test of the effectiveness of two intensities of shaded and unshaded lights in guiding downstream migrant salmon. *University of Washington College of Fisheries Tech. Rept.*, n. 21, 33p.
- 56 Flamarique, I.N.; Hiebert, S. & Sechrist, J. 2006. Visual performance and ocular system structure of Kokanee and Sockeye salmon following strobe light exposure. *North American Journal of Fisheries Management*, v.26, 453-459p.
- 57 Friesen, R.G. & Chivers, D.P. 2006. Underwater video reveals strong avoidance of chemical alarm cues by prey fishes. *Ethology*, v. 112, p. 339-345.

- 58 Gehrke, P.C.; Gilligan, D.M. & Barwick, M. 2002. Changes in fish communities of the Shoalhaven River 20 years after construction of Tallowa dam, Australia. *River Res. Applic.*, n. 18, p. 265-286.
- 59 Gloss, S.P. & Wahl, J.R. 1983. Mortality of Juvenile Salmonids Passing through Ossberger Crossflow Turbines at Small-Scale Hydroelectric Sites. *Transactions of the American Fisheries Society*, v. 112, n. 2a, p.194–200.
- 60 Godinho, H.M. 1972. *Contribuição ao estudo do ciclo reprodutivo do Pimelodus maculatus Lacépède, 1803 (Pisces, Siluroidei) associado a variações morfológicas do ovário e a fatores abióticos*. São Paulo, Tese (Doutorado), Instituto de Ciências e Biomédicas, USP, São Paulo – SP, 94 p.
- 61 Godinho, H.M.; Basile-Martins, M.A.; Fenerich, N.A. & Narahara, N.Y. 1977. Fecundidade e tipo de desova do mandí, *Pimelodus maculatus* Lacépède, 1803 (Pisces, Siluroidei). *Rev. Brasil. Biol.*, nov., v.37, n.4, p. 737-744.
- 62 Godinho, A.L. & Kynard, B. 2008. Migratory fishes of Brazil: life history and fish passage needs. *River Research and Applications*. DOI: 10.1002/rra.1180.
- 63 Godoy, M.P. 1967. Dez anos de observações sobre a periodicidade migratória de peixes do rio Mogi Guassu. *Rev. Brasil. Biol.*, maio, v. 27, n. 1, p. 3-12.
- 64 Godoy, M.P. 1975. *Peixes do Brasil – subordem Characoidei. Bacia do rio Mogi Guassu*. v. 1, 216 p.
- 65 Grotbeck, L.M. 1975. Evaluation of an air curtain as a fish deterrent device at the Prairie Island Nuclear Generating Plant cooling water intake. Section 2.8, p. 1-25. *In: Northern States Power 1975 Annual Report, Envir. Ecol. Stud. Prog. Prairie Island Nuclear Generating Plant*.

- 66 Guthrie, D.M. & Muntz, W.R. 1993. Role of vision in fish behavior. 89-128p. In: Pitcher, T.J. Editor. Behaviour of teleost fishes. 2<sup>nd</sup> Edition, Chapman & Hall, 703p.
- 67 Hamdani, El-H.; Stabell, O.B.; Alexander, G. & Doving, K.B. 2000. Alarm reaction in the Crucian Carp is mediated by the medial bundle of the medial olfactory tract. *Chem. Senses*, v.25, pp.103-109.
- 68 Hanson, C.H.; White, J.R. & Li, H.W. 1977. Entrapment and impingement of fishes by power plant cooling-water intakes: an overview. *Mar. Fish. Rev.*, v.39, n.10, p.7-17.
- 69 Haymes, G.T. 1982. Use of filtered mercury vapour lights in association with a modified fish handling pump at Nanticoke TGS. *Ontario Hydro Research Division Report*, n.82-165-K.
- 70 Helfrich, L.A.; Bark, R.C.; Liston, C.R.; Mefford, B. 2003. *Survival and Condition of Striped Bass, Steelhead, Delta Smelt, and Wakasagi Passed through a Hidrostral Pump at the Tracy Fish Collection Facility*. US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Tracy Studies California, v. 24, p.1-25.
- 71 Helfrich, L.A.; Liston, C.R.; Mefford, B. & Bark, R. 2001. Survival and injury of splittail and Chinook salmon passed through a large hidrostral pump. *North American Journal of Fisheries Management*. v. 21, p.616-623.
- 72 Hocutt, C.H. 1980. Behavioral barriers and guidance systems. In: Hocutt, C.H.; Stauffer Jr, J.R; Edinger, J.E.; Hall Jr, L.W. & Maogan, R.P. (Eds). *Power plants: effects on fish and shellfish behavior*. Academic Press, New York, p.183-205.
- 73 Ide, L.M.; Urbinati, E.C.; Hoffmann, A. 2003. The role of olfaction in the behavioural and physiological responses to conspecific skin extract in *Brycon cephalus*. *Journal of Fish Biology*, n.63, p. 332-343.



- 74 Jachner, A. 1996. Alarm reaction in bleak (*Alburnus alburnus* (L.), Cyprinidae) in response to chemical stimuli from injured conspecifics. *Hydrobiologia*, v.325, p.151-155.
- 75 Jachner, A. 1997. The response of bleak to predator odour of unfed and recently fed pike. *Journal of Fish Biology*, n.50, 878-886p.
- 76 Jackson, D.C. & Marmulla, G. 2001. The influence of dams on river fisheries. In: Marmulla, G. *Dams, fish and fisheries: opportunities, challenges and conflict resolution*. FAO, Rome, p. 1-44.
- 77 Johnson, P.N.; Goetz, F.A.; Ploskey, G.R. 2001. Evaluation of strobe lights for vertically displacing juvenile salmon near a filling culvert intake at the Hiram M. Chittenden locks, Seattle, Washington. p. 13-25. In: Coutant, C.C. Editor. Behavioral technologies for fish guidance. American Fisheries Society, Symposium 26, Bethesda, Maryland.
- 78 Jordão, L.C. 2004. Disturbance chemical cues determine changes in spatial occupation by the convict cichlid. *Archocentrus nigrofasciatus*. *Behavioural Processes*, n.67, p.453-459.
- 79 Kara, S. 1991. *Morfologia ovariana e reprodução dos mandis Iheringichthys labrosus e Pimelodus maculatus* (Siluriformes, Pimelodidae) em duas represas da bacia do Paraná Superior. Dissertação (Mestrado), Instituto de Ciências Biológicas, UFMG, Belo Horizonte – MG, 129 p.
- 80 Kimmerer, W.J. 2002. Effects of freshwater flow on abundance of estuarine organisms: physical effects or trophic linkages? *Mar Ecol Prog Ser*. v. 243, p.39-55.
- 81 Königson, S.; Fjälling, A. & Lunneryd, S.G. 2002. Reactions in individual fish to strobe light. Field and aquarium experiments performed on whitefish (*Coregonus lavaretus*). *Hydrobiologia*, v. 483, p. 39-44.

- 82 Kristensen, E.A. & Closs, G.P. 2004. Anti-predator response of naive and experienced common bully to chemical alarm cues. *Journal of Fish Biology*, v.64,p.643-652.
- 83 Larinier, M & Travade, F. 2002. Downstream migration: problems and facilities. *Bull. Fr. Pêche Piscic*, 364 suppl., p.181-207.
- 84 Lieberman, J.T. & Muessig, P.H. 1978. Evaluation of an air bubbler to mitigate fish impingement at an electric generating plant. *Estuaries*, v.1, p.129-132.
- 85 Lundberg, J.G. & Littmann, M.W. 2003. Family Pimelodidae (Long-whiskered catfishes), p. 432-446. In: Reis, R.E.; Kullander, S.O. & Ferraris Jr., C.J. (Eds.). *Check list of the freshwater fishes of South and Central America*. EDIPUCRS, Porto Alegre, 729 p.
- 86 Maiolie, M.A.; Harryman, B.; Ament, B. 1997. Strobe light testing and kokanee population monitoring dworshak dam impacts assessment and fisheries investigation project, 87-99. *Annual progress report period cover: January-December 1997*. Report to Bonneville Power Administration, Contract N° 1987BP35167, Project N° 198709900, 26 electronic pages (BPA Report DOE/BP-35167-8).
- 87 Maiolie, M.A.; Harryman, B. & Ament, B. 2001. Response os free-ranging Kokanee to strobe lights. p. 13-25. *American Fisheries Society, Symposium 26*, Bethesda, Maryland, 193p.
- 88 Martinson, R.; Kamps, J.; Kovalchuk, G. & Ballinger, D. 2002. *Monitoring of Downstream Salmon and Steelhead at Federal Hydroelectric Facilities*. Project No. 1987-12700, 78 electronic pages, (BPA Report DOE/BP-00003992-1).
- 89 Memória da Eletricidade. 2000. *Energia elétrica no Brasil, 500 anos*. Centro da Memória da Eletricidade no Brasil. Rio de Janeiro, 284p.

- 90 Meng, L. & Moyle, P.B. 1995. Status of Splittail in the Sacramento-San Joaquin estuary. *Transactions of the American Fisheries Society*. v.124, p.538-549.
- 91 Michaud, D.T. & Taft, E.P. 2000. Recent evaluations of physical and behavioral barriers for reducing fish entrainment at hydroelectric plants in the upper Midwest. *Environmental Science & Policy*, n.3, 499-512p.
- 92 Mirza, R.S. & Chivers, D.P. 2001. Learned recognition of heterospecific alarm signals: the importance of a mixed predator diet. *Ethology*, v.107, p.1007-1018.
- 93 Moyle, P.B. & Cech Jr., J.J. 2000. *Fishes – an introduction to Ichthyology*. Prentice Hall, Upper Saddle River. 612 p.
- 94 Moyle, P.B.; Herbold, B.; Stevens, D.E. & Miller, L.W. 1992. Life history and status of Delta smelt in the Sacramento-San Joaquin estuary, California. *Transactions of the American Fisheries Society*. v. 121, p.67-77.
- 95 Nelson, J.S. 2006. *Fishes of the world*. Hoboken, John, Wiley and Sons, 4<sup>th</sup> Ed, 624p.
- 96 Nobriga, M.L.; Matica, Z. & Hymanson, Z.P. 2004. Evaluating entrainment vulnerability to agricultural irrigation diversions: a comparison among open-water fishes. *American Fisheries Society Symposium*. v.39, p.281-295.
- 97 Nordell, S. E. 1998. The response of female guppies, *Poecilia reticulata*, to chemical stimuli from injured conspecifics. *Environmental Biology of Fishes*, n.51, 331-338p.
- 98 Paiva, M.P.; Andrade-Tubido, M.F; Godoy, M.P. 2002. *As represas e os Peixes Nativos do Rio Grande*. Rio de Janeiro: Interciência, p.63-65.

- 99 Patrick, H.P.; Christie, A.E.; Sager, D.R.; Hocutt, C.H. & Stauffer Jr, J.R. 1985. Responses of fish to a strobe light/air bubble barrier. *Fisheries Research*, v.3, p. 157-172.
- 100 Patrick, P.H.; Poulton, J.S. & Brown, R. 2001. Responses of American eels to strobe light and sound (preliminary data) and introduction to sound conditioning as a potential fish passage technology. p. 1-12. *American Fisheries Society, Symposium 26*, Bethesda, Maryland, 193p.
- 101 Pelicice, F.M. & Agostinho, A.A. 2007. Fish passage facilities as ecological traps in large neotropical rivers. *Conservation Biology*, DOI: 10.1111/j.1523-1739.2007.00849.x, p.1-9.
- 102 Ploskey, G.R. & Johnson, P.N. 2001. Effectiveness of strobe lights and an infrasound device for eliciting avoidance by juvenile salmon. p. 37-56. *American Fisheries Society, Symposium 26*, Bethesda, Maryland, 193p.
- 103 Pompeu, P.S. & Martinez, C.B. 2007. Efficiency and selectivity of a trap and truck fish passage system in Brazil. *Neotropical Ichthyology*, v.5, n.2, p.169-176.
- 104 Portz, D.E.; Woodley, C.M.; Cech Jr, J.J & Liston, C.R. 2005. *Effects of Short-Term Holding on Fishes: A Synthesis and Review*. US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Tracy Studies California, v. 29, p.1-77.
- 105 Portz, D.E.; Woodley, C.M. & Cech Jr, J.J. 2006. Stress-associated impacts of short-term holding on fishes. *Rev. Fis. Biol. Fisheries*. v.16, p.125-170.
- 106 Reeb, S. 2001. *Fish Behavior in the aquarium and in the wild*. London, Ed. Cornell University Press, 252p.

- 107 Ribeiro, S.M.S. 2003. *Biologia reprodutiva do mandi-amarelo Pimelodus maculatus Lacépède, 1803 (Siluriformes, Pimelodidae) no reservatório e escada da UHE Igarapava, rio Grande, bacia do Paraná*. Dissertação (Mestrado). Mestrado em Zoologia de Vertebrados da PUC Minas. Belo Horizonte, 57 p.
- 108 Richards, N.S.; Chipps, S.R. & Brown, M.L. 2007. Stress response and avoidance behavior of fishes as influenced by high-frequency strobe lights. *North American Journal of Fisheries Management*, n.27, 1310-1315p.
- 109 Ricklefs, R.E. 2003. *A economia da natureza* 5. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara/Koogan, p. 503.
- 110 Sager, D.R. & Hocutt, C. 1987. Estuarine fish responses to strobe light, bubble curtains and strobe light/bubble curtain combinations as influenced by water flow rate and flash frequencies. *Fisheries Research*, v.5, p. 383-399.
- 111 Sager, D.R.; Hocutt, C.H. & Stauffer Jr., J.R. 2000a. Base and stressed ventilation rates for *Leiostomus xanthurus* Lácèpde and *Morone americana* (Gmelin) exposed to strobe lights. *J. Appl. Ichthyol.* v. 16, p. 89-97.
- 112 Sager, D.R.; Hocutt, C.H. & Stauffer Jr., J.R. 2000b. Avoidance behavior of *Morone americana*, *Leiostomus xanthurus* and *Brevoortia tyrannus* to strobe light as a method of impingement mitigation. *Environmental Science & Policy*, v.3, p. 393-403.
- 113 Santos, G.B. & Formagio, P.S. 2000. Estrutura da ictiofauna dos reservatórios do rio Grande, com ênfase no estabelecimento de peixes piscívoros exóticos. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, mar/abr, v.21, n.203, p. 98-106.
- 114 Santos, H.A.; Pompeu, P.S. & Martinez, C.B. 2007. Swimming performance of the migratory Neotropical fish *Leporinus reinhardtii* (Characiformes: Anostomidae). *Neotropical Ichthyology*, n.5, v.2, 139-146p.

- 115 Sato, Y.; Cardoso, E.L. & Amorim, J.C.C. 1987. *Peixes das lagoas marginais do São Francisco a montante da represa de Três Marias (Minas Gerais)*. Brasília, CODEVASF, 42 p.
- 116 Sato, Y.; Fenerich-Verani, N.; Verani, J.R.; Godinho, H.P. & Sampaio, E.V. 1999. Reproductive traits of the yellow-mandi catfish *Pimelodus maculatus* Lacépède (Osteichthyes, Siluriformes) in captive breeding. *Revta. Bras. Zool.*, v.16, n.4, p. 981-986.
- 117 Schilt, C. R. 2007. Developing fish passage and protection at hydropower dams. *Applied Animal Behaviour Science*, n.104, 295-325p.
- 118 Scott, G.R.; Sloman, K.A.; Rouleau, C. & Wood, C. M. 2003. Cadmium disrupts behavioural and physiological responses to alarm substance in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Experimental Biology*. v.206, p.1779-1790.
- 119 Silva, L.G.M. 2004. *Migração de mandis-amarelos-amarelos Pimelodus maculatus e curimbas Prochilodus lineatus no rio Grande, bacia do Alto Paraná*. Belo Horizonte, PUC Minas. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Zoologia de Vertebrados. 63p.
- 120 Smith, M. 2000. *Alarm response of arius felis to chemical stimuli from injured conspecifics*. The University of Texas at Austin, Marine Science Institute 750 Channel View Drive, Port Aransas, Texas 78373 March 8.
- 121 Smith, R.J.F. 1992. Alarm signals in fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, v.2, p. 33-63.
- 122 Sokal, R.R. & Rohlf, F.J. 1995. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. 3<sup>rd</sup> Edition. W.H. Freeman and Company, New York, 887p.

- 123 Sommer, T.; Baxter, R. & Herbold, B. 1997. Resilience of Splittail in the Sacramento-San Joaquin estuary. *Transactions of the American Fisheries Society*. v.126, p.961-976.
- 124 Sommer, T.R.; Conrad, L.; O'Leary, G.; Feyer, F. & Harrell, W.C. 2002. Spawning and rearing of Splittail in a model floodplain wetland. *Transactions of the American Fisheries Society*. v.131, p.966-974.
- 125 Sorenson, K.M.; Fisher, W.L. & Zale, A.V. 1998. Turbine passage of juvenile and adult fish at a warmwater hydroelectric facility in Northeastern Oklahoma: monitoring associated with relicensing. *North American Journal of Fisheries Management*, v. 18, p. 124-136.
- 126 Sprott, T.A. 2001. *Preliminary report on the field testing of an air-curtain screen to minimize fish passage onto submerged floating drydocks*. NSRP Environmental studies and testing panel, SP – 1, Project N1-98-1. 9p.
- 127 Summerfelt, S., Bebak-Williams, J. & Tsukuda, S. 2001. Controlled systems: Water reuse and recirculation, Pages 285-396. *In: Wedemeyer, G.A. (Ed). Fish hatchery management*. 2<sup>a</sup>Ed. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- 128 Sunardi; Asaeda, T. & Manatunge, J. 2007. Physiological responses of topmouth gudgeon, *Pseudorasbora parva*, to predator cues and variation of current velocity. *Aquat. Ecol*, n.41, 111-118p.
- 129 Swain, D.P. 1979. *A literature review on methods of controlling the movement of fishes*. Manitoba Dept. Mines, Natural Resources and Environment, MS Rep. n.79-74, 23p.

- 130 Swanson, C.; Young, P.S. & Cech Jr., J.J. 2005. Close encounters with a fish screen: integrating physiological and behavioral results to protect endangered species in exploited ecosystems. *Transactions of the American Fisheries Society*. v.134, p.1111-1123.
- 131 Sweetnam, D.A. 1999. Status of Delta smelt in the Sacramento-San Joaquin estuary. *California Fish and Game*. v.85, n.1, p.22-27.
- 132 Taft, E.P. 2000. Fish protection technologies: a status report. *Environmental Science and Policy*, n.3, 349-359p.
- 133 Taft, E.P.; Dixon, D.A. & Sullivan, C.W. 2001. Electric Power Research Institute's (EPRI) research on behavioral technologies. 115-124p. In: Coutant, C.C. (Ed.). *Behavioral technologies for fish guidance*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 193p.
- 134 Therrien, J. & Bourgeois, G. 2000. *Fish Passage at Small Hydro Sites*. Report by Genivar Consulting Group for CANMET Energy Technology Centre, Ottawa.
- 135 Vanotte, R.L.; Wayne Minshall, G.; Cummins, K.W.; Sedell, J.R.; Cushing, C.E. 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* v.37, p.130-137.
- 136 Vono, V. 2003. Monitoramento da ictiofauna no reservatório da UHE Igarapava ano de 2003. Consórcio da UHE Igarapava / Leserpa. *Relatório técnico*. 30 p.
- 137 Vono, V.; Silva, L.G.M.; Maia, B.P.; Godinho, H.P. 2002. Biologia reprodutiva de três espécies simpátricas de peixes neotropicais: *Pimelodus maculatus* (Siluriformes, Pimelodidae), *Leporinus amblyrhynchus* e *Schizodon nasutus* (Characiformes, Anostomidae) no recém-formado reservatório de Miranda, Alto Paraná. *Revta Bras. Zool.*, Curitiba, v. 19, n. 3, set., p.819-826.



- 138 Waldan, B. 1982. Quantitative and developmental analysis of the alarm reaction in the Zebra Danio, *Brachydanio rerio*. *Copeia*, n.1, 1-9p.
- 139 Wang, J.C.S. 1986. Fishes of the Sacramento-San Joaquin Estuary and adjacent waters, California: a guide to the early life histories. *Interagency Ecological Study Program, Sacramento-San Joaquin Estuary Technical Report 9*, Sacramento, California. 626 p.
- 140 Wang, J.C.S. & Reyes, R. 2007. Early Life Stages and Life Histories of Cyprinid Fish in the Sacramento-San Joaquin Delta, California: with Emphasis on Spawning by Splittail, *Pogonichthys macrolepidotus*. US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Tracy Studies California, v. 32, p.1-92.
- 141 Welton, J.S.; Beaumont, W.R.C. & Clarke, R.T. 2002. The efficacy of air, sound and acoustic bubble screens in deflecting Atlantic salmon, *Salmo salar* L., smolts in the River Frome, UK. *Fisheries Management and Ecology*, n.9, 11-18p.
- 142 White, D.K.; Swanson, C.; Young, P.S.; Cech Jr, J.J.; Chen, Z. & Kavvas, M.L. 2007. Close encounters with a fish screen II: Delta smelt behavior before and during screen contact. *Transactions of the American Fisheries Society*. v. 136, 528-538p.
- 143 Wisenden, B.D. & Smith, R.J. 1997. The effect of physical condition and shoalmate familiarity on proliferation of alarm substance cells in the epidermis of fathead minnows. *Journal of Fish Biology*, v. 50, p. 799-808.
- 144 Wisenden, B.D. 2000. Olfactory assessment of predation risk in the aquatic environment. *Phil. Trans. R. Soc. Lond B*, v.355, p.1205-1208.
- 145 Wisenden, B.D.; Pollock, M.S.; Tremaine, R.J.; Webb, J.M.; Wismer, M.E. & Chivers, D.P. 2003. Synergistic interactions between chemical alarm cues and the presence of conspecific and heterospecific fish shoals. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, v.54, pp.485-490.

146 Wisenden, B.D.; Vollbrecht, K.A. & Brown, J.L. 2004. Is there a fish alarm cue? Affirming evidence from a wild study. *Animal Behaviour*, v.67, p.59-67.

147 Yunker, W.K.; Wein, D.E. & Wisenden, B.D. 1999. Conditioned alarm behavior in Fathead minnows (*Pimephales promelas*) resulting from association of chemical alarm pheromone with a nonbiological visual stimulus. *Journal of Chemical Ecology*, n.12, v.25, 2677-2685p.