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

JOSIAS BATISTA NEVES

Eletrosensibilidade em peixes: fundamentos para o desenvolvimento de uma alternativa para repulsão de peixes no tubo de sucção de turbinas de Usinas Hidrelétricas

Toledo
2016

JOSIAS BATISTA NEVES

Eletrosensibilidade em peixes: fundamentos para o desenvolvimento de uma alternativa para repulsão de peixes no tubo de sucção de turbinas de Usinas Hidrelétricas

Dissertação apresentada ao Programa de PósGraduação *Stricto Sensu* em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Nível de Mestrado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Gilmar Baumgartner
Co-orientador: Prof. Dr. Dirceu Baumgartner

Toledo

2016

Neves , Josias Batista
Eletrosensibilidade em peixes: fundamentos para o desenvolvimento de uma alternativa para repulsão de peixes no tubo de sucção de turbinas de Usinas Hidrelétricas / Josias Batista Neves ; orientador Gilmar Baumgartner ; coorientador Dirceu Baumgartner . -- Toledo, 2018.
31 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Toledo) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, 2018.

1. Eletrocomportamental. 2. Barreira comportamental. 3. Migração. 4. Reofílicas. I. Baumgartner , Gilmar , orient. II. Baumgartner , Dirceu , coorient. III. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

JOSIAS BATISTA NEVES

Eletrosensibilidade em peixes: fundamentos para o desenvolvimento de uma alternativa para repulsão de peixes no tubo de sucção de turbinas de Usinas Hidrelétricas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Nível de Mestrado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

_____

Prof. Dr. Gilmar Baumgartner
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Presidente)

_____

Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Cascavel)

_____

Prof. Dr. Luciano Caetano de Oliveira
Universidade Federal do Paraná (Palotina)

Local de defesa: Mini auditório do GERPEL/ Unioeste/*Campus* de Toledo.

AGRADECIMENTO(S)

Primeiramente quero agradecer a Deus, que me foi gracioso e me permitiu o fôlego de vida a todas manhãs, me dando a oportunidade de continuar nesse caminho tão importante da ciência.

Agradeço a minha esposa Alini Cristini Pedrini Neves, por todo o seu companheirismo, paciência e o mais importante por nunca ter desistido de me apoiar, não só nesses dois anos de mestrado, mas em toda a graduação, minha fonte de inspiração e amor.

Ao meu pai Jerson de Paula Neves (*in memorian)* e a minha mãe Jael Batista da Silva Neves, que sempre acreditaram que investindo na educação dos filhos, o restante é tudo fruto do trabalho.

À meus irmãos que sempre supriram minha ausência na Soft.

À família Baumgartner, primeiramente pelo meu orientador Gilmar, por ser uma referência de professor e de pessoa e ao meu coorientador Dirceu, que muitas vezes brigou por mim quando apenas a força de um mestrando não era suficiente, obrigado.

À todo o grupo de docentes do programa de pós graduação e mestrado em recursos pesqueiros e engenharia de pesca - PREP que não mediram esforços para compartilhar todo seu conhecimento e profissionalismo.

Ao Grupo de Pesquisa em Recursos Pesqueiros e Limnologia – GERPEL, pelo empréstimo de laboratórios, estruturas, objetos e demais auxílios na pesquisa, bem como a gratidão pela grande amizade dos componentes do grupo desde a graduação.

Aos amigos do mestrado que contribuíram substancialmente com a realização da pesquisa, sem eles não haveria resultados.

Aos professores da UNIOESTE do *campus* de Cascavel da área de energia na agricultura, Jair Antonio Cruz Siqueira, Carlos Eduardo Camargo Nogueira e Vander Fabio Silveira, que contribuíram muito para a realização dessa pesquisa, com valiosas sugestões e empréstimos de equipamentos, sem os quais este estudo não seria possível. Muito Obrigado!

Ao professor Luciano Caetano de Oliveira, da UFPR de Palotina, por ter aceito participar da banca de defesa compartilhando seus conhecimentos e contribuindo em muito para a melhoria do trabalho.

À agência CAPES, pela bolsa de estudos pelo período de 24 meses, a qual auxiliou financeiramente ao desenvolvimento da pesquisa.

Eletrosensibilidade em peixes: fundamentos para o desenvolvimento de uma alternativa para repulsão de peixes no tubo de sucção de turbinas de Usinas Hidrelétricas

RESUMO

Os represamentos exercem impactos consideráveis sobre as populações de espécies de peixes nativas e, particularmente das espécies migradoras. Entre as grandes causas de impactos sobre a ictiofauna estão os procedimentos rotineiros de operação a jusante da barragem de usinas hidrelétricas, quando o fluxo de água pelas turbinas é reduzido, e então quantidade significativa de peixes avança pelo canal de fuga, adentrando o tubo de sucção onde podem se ferir gravemente por choques com os componentes da turbina ou devido as reduzidas concentrações de oxigênio. O uso de sistemas de repulsão e direcionamento de peixes é uma alternativa para minimizar os impactos das barragens sobre as populações de peixes. Dentre tais sistemas as barreiras comportamentais são estratégias muito promissoras, pois são construídas no intuito de alterar o comportamento de certas espécies, fazendo-as evitar áreas de risco. Para tanto luz estroboscópica, infrasom, cortina de bolhas e campo elétrico tem sido considerados como alternativas para a repulsão. Entre essas alternativas a formação de campo elétrico. Esse trabalho buscou avaliar as respostas eletrocomportamentais em adultos de *Prochilodus lineatus, Brycon cephalus e Leporinus macrocephalus* com intuito de se conhecer os níveis de eletrosensibilidade de cada espécie e possíveis diferenças nesses níveis dentro da espécie e entre as espécies estudadas. Os valores de eletrosensibilidade foram avaliados através de um teste de Ancova, onde foi possível observar que não houve relação significativa entre os comprimentos e pesos dos indivíduos testados e as suas eletrosensibilidades, sendo que curimba foi mais sensível aos campos elétricos e se mostrou significativamente diferente de matrinxã e piauçú para os limiares de sensibilidade, agitação e paralisia. Apesar dos tempos de recuperação não apresentarem diferenças estatísticas entre as espécies, piauçú se mostrou mais tolerante as correntes elétricas, pois apresentou os menores tempos de recuperação entre as espécies. Resultados esses fundamentais para o entendimento das reações dos peixes frente à aplicação de campos elétricos e para a fundamentação de futuros projetos de construção de barreiras comportamentais elétricas.

Palavras-chave: Eletrocomportamental. Barreira comportamental. Migração. Reofílicas. Eletrosensibilidade.

Electrosensitivity on fish: basis for the development of an alternative to fish repulsion in the suction tubes of turbines of hydroelectric plants

SUMMARY

The impoundments have considerable impacts on populations of native fish species, particularly migratory species. One of the major causes of impacts on ichthyofauna are routine operating procedures downstream of the dam of hydroelectric power plants, when the flow of water through the turbines is reduced, and then significant amount of fish advances the tailrace entering the pipe where they can be seriously injured by clashes with the components of the turbine or due to low concentrations of oxygen. The use of repulsion and targeting fish systems is an alternative to minimize the impacts of dams on fish populations. Among these systems, behavioral barriers are very promising strategies, as they are built in order to change the behavior of certain species, causing them to avoid risk areas. Therefore strobe light, infrasound, bubble curtains and electric field are used. Thus, since the fish are sensitive to electric fields, this study aimed to evaluate the electrobehavioral responses in adult *Prochilodus lineatus, Brycon cephalus* and *Leporinus macrocephalus* in order to get to know the electrosensitivity levels of each species and possible differences in these levels within the species and between species. The results of electrosensitivity tests were evaluated through an ANCOVA test, where it was observed that there was no significant relationship between the lengths and weights of the tested individuals and their electrosensitivities, and curimba was more sensitive to electric fields and was significantly unlike matrinxã and piauçu to the sensitivity, agitation and paralysis thresholds. In spite of the fact that the recovery times do not show statistical differences between species, piauçu showed itself more tolerant to electric currents, as it had the lowest recovery times between species. Such results were fundamental to the understanding of fish reactions involving the application of electric fields and for future projects on the construction of electrical behavioral barriers.

Keywords: Electrobehavioral. Behavioral barrier. Migration. Rheophilic. Electrosensitivity.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....06
2. MATERIAL E MÉTODOS ..... **Erro! Indicador não definido.**
2.1. Delineamento experimental.....12
2.2. Escolha das espécies.....14
2.3.Características das espécies alvo.....14
2.3.1. Curimba (Prochilodus lineatus) 14
2.3.2. Matrinxã (Brycon cephalus) 15
2.3.3. Piauçú (Leporinus macrocephalus).....16
2.4. Manejo dos peixes durante o experimento 17
2.5. Testes de Eletrosensibilidade.....18
2.5.1. Corrente elétrica e frequência aplicada aos peixes 18
2.5.2. Eletrosensibilidade.....19
2.6. Metodologia aplicada aos ensaios 19
2.7. Análise dos dados 20
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....20
3.1. Variáveis físicas e químicas.....20
3.2. Limiares de Eletrosensibilidade.....21
3.3. Tempo de Recuperação.....21
3.4. Comportamento da eletrosensibilidade segundo os comprimentos e pesos dos espécimes.....22
4. CONCLUSÃO 26
5. REFERÊNCIAS.....27
ANEXO A – Parecer do comitê de ética.....31

1) INTRODUÇÃO

Os represamentos constituem a maior fonte pontual de interferência humana nos regimes hídricos naturais (Agostinho et al., 1992), exercendo impactos consideráveis sobre as populações de espécies nativas e, particularmente, das altamente especializadas às condições lóticas, ou seja, as reofílicas (Petts, 1984). Determinadas espécies de peixes, ao longo de seu processo evolutivo, desenvolveram como estratégia de vida a migração, a qual propiciou a elas sucesso reprodutivo e alimentar, frente às condições adversas que conduziram outras a extinção.

A migração é um comportamento que consiste no deslocamento dos adultos entre dois sítios principais: o de alimentação e o de reprodução, sendo que muitas espécies percorrem centenas de quilômetros durante o processo migratório, buscando o local mais adequado para realização da atividade reprodutiva (Northcote, 1978). A direção com que ocorre a migração reprodutiva, se para jusante (descendente) ou para montante (ascendente), depende das condições locais e da espécie envolvida (Bell, 1991).

No Brasil, a piracema é o fenômeno mais comum de migração reprodutiva e se caracteriza pela migração ascendente ao rio. Sendo assim os peixes de piracema são os que mais sofrem com a construção de barragens. A interrupção da migração reprodutiva das espécies pode levar a um declínio acentuado de peixes de uma população e até mesmo à extinção de algumas espécies (Larinier, 2001).

A piracema se caracteriza pelo deslocamento dos peixes contracorrente, esse comportamento dos peixes neotropicais reofílicos de se orientarem contra o escoamento (reotaxia), é denominado por Pavlov (1989) de reoreação (rheoreaction) que, inclui os componentes locomotores e de orientação nos peixes, compostos de órgãos sensoriais táteis, visuais, da linha lateral e órgãos de equilíbrio.

Com o barramento ocorre a interrupção de rotas migratórias das espécies reofílicas, e os indivíduos que se deslocam rio acima realizando o processo migratório, encontram em seu caminho a barragem, sendo impedidos de seguir em frente e acessarem seus sítios reprodutivos. Isso promove um aglomerado de peixes no sopé da barragem (Agostinho et al., 1993).

Não obstante ao impacto do barramento às rotas migratórias e acúmulo de peixes a jusante da barragem, há ainda a problemática dos peixes que são atraídos pelo escoamento proveniente das turbinas, fazendo com que indivíduos se concentrem no interior dos tubos de sucção (Figura 1). Tal duto, por manter um fluxo contínuo de água e

por representar uma região de abrigo semelhante a uma caverna na estrutura da barragem, é o ambiente preferencial de diversas espécies de peixes que se acumulam no sopé da barragem (Silva et al., 2009). A identificação das principais manobras que impactam os peixes é muito importante para que medidas específicas sejam adotadas a fim de reduzir o risco de acidentes ambientais. Uma das grandes causas de impactos sobre a ictiofauna são as manobras de drenagem das unidades geradoras e partida das máquinas, correspondendo a 52,5% e 20,8% dos acidentes com peixes (Lopes et al, 2011).

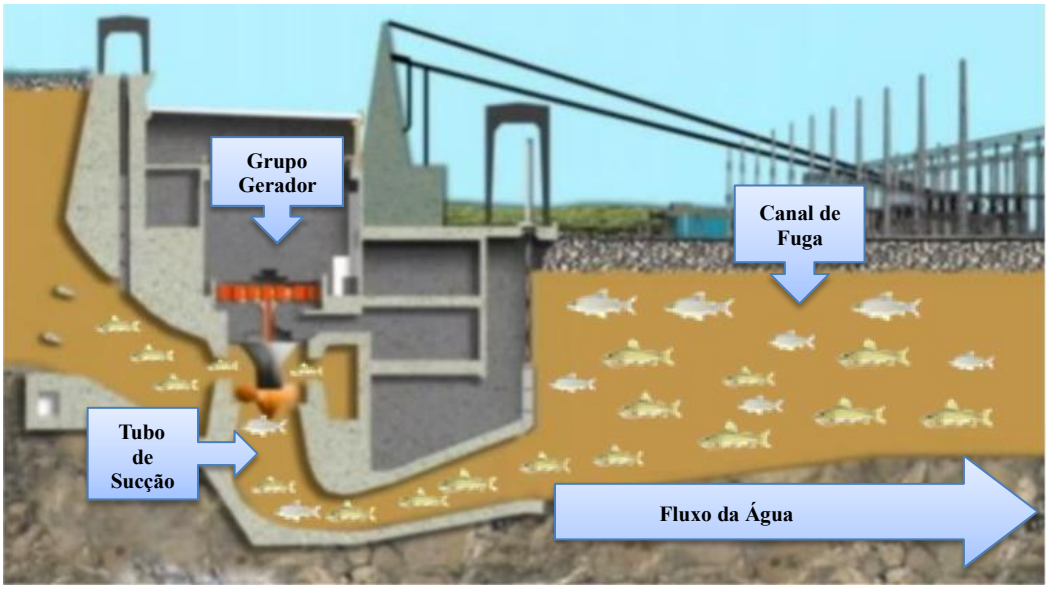

Figura 1 - Esquema em perfil de uma planta hidrelétrica, com peixes tendo acesso ao canal de fluxo e tubo de sucção. Fonte: Adaptação de Fontes (2011).

As paradas de máquinas são procedimentos rotineiros de operação de usinas e associados ao desenho e condições hidrodinâmicas nos trechos imediatamente a jusante da barragem. Para isso o fluxo de água pelas turbinas é reduzido, é então quando quantidade significativa de peixes avança pelo canal de fuga e adentra o tubo de sucção, onde ficam aprisionados com o fechamento da comporta *Stop log*. Esses exemplares podem ainda avançar no tubo de sucção tendo acesso aos componentes da turbina, onde ficam aprisionados em locais reduzidos, quando em pouco tempo ocorre a redução das concentrações de oxigênio, o que conduz os peixes a mortandades massivas (Agostinho et al., 1992).

Os peixes aprisionados dentro da planta hidrelétrica podem sofrer grandes injúrias nos eventos de partida das máquinas e em algumas operações especiais das turbinas hidráulicas, como é o caso da operação das máquinas como compensador síncrono. Nesse tipo de operação os efeitos da descompressão causada pela liberação do

ar confinado na cavidade da máquina e pela liberação da água supersaturada de gases nitrogênio e oxigênio pelo tubo de sucção são devastadores para a população de peixes presente nessas regiões (Silva, 2010).

Injúrias e mortandades dos peixes que passam por turbinas no processo migratório são resultados de uma série de eventos relacionados as variações repentinas da pressão da água dentro da turbina, criando bolhas de vapor e fluxos de diferentes velocidades, de modo que os peixes não conseguem desenvolver a natação ficando reféns do movimento irregular da água, além do choque físico dos peixes com as estruturas móveis ou fixas da turbina, causando graves lesões e até a morte de muitos indivíduos (Cada, 2001). De acordo com (Larinier & Travade, 2002) a taxa de mortalidade de peixes que adentram no sistema depende das propriedades do rotor da turbina (diâmetro, velocidade de rotação, etc.), modo de operação, da altura de queda da instalação, da espécie de peixe, bem como do tamanho desta.

Existem poucos estudos direcionados à ocorrência de acidentes com peixes provenientes do funcionamento de Usinas Hidrelétricas (UHEs). Contudo, sabe-se que no Brasil, a grande maioria das injúrias ocorridas abaixo das barragens atribui-se a esse tipo de mecanismo (Agostinho et al., 2007). Porém, os números de peixes afetados quase sempre são mantidos em sigilo pelas empresas do setor, pois transformam-se numa ameaça para suas próprias atividades. O que torna impossível saber qual a real situação enfrentada pelos peixes a jusante das barragens e quais são as espécies que mais sofrem com a atividade hidrelétrica nos reservatórios brasileiros.

Nesse campo de escassez de informações, há um relatório sobre o desenvolvimento de metodologia para a avaliação de riscos de morte de peixes em usinas da CEMIG (2011), apresentado no XXI seminário nacional de produção e transmissão de energia elétrica, que apresenta as três espécies mais citadas nos Relatórios de Ocorrências Ambientais (ROAs) de morte de peixes: mandi (*Pimelodus spp*) em 65% dos ROAs registrados, seguida pela Curimba (*Prochilodus spp*) com 23% e corvina com 16% (*Plagioscion squamosissimus*), demonstrando que várias ordens de peixes são afetadas pelo funcionamento das UHEs a jusante das barragens.

As massivas mortandades de peixes decorrentes da operação de hidrelétricas são consideradas danos à fauna pela legislação federal (e.g., Lei de Crimes Ambientais, Lei 9.605 de 13/02/98), despertando então o interesse, principalmente de gestores do setor hidroelétrico, em desenvolver mecanismos que permitam a repulsão de peixes das áreas de risco de usinas hidrelétricas (Lopes, 2009).

Apesar da elevada importância ecológica, poucos estudos têm sido realizados com o intuito de desenvolver novas tecnologias para mecanismos mais efetivos na busca de minimizar os impactos das barragens sobre as populações de peixes. Diversas são as estratégias conhecidas para a evitação de peixes das áreas de risco de UHEs e muitas delas já são aplicadas, mas na grande maioria das vezes apenas alguns procedimentos são sugeridos para suas implantações, dos quais não se tem protocolo para implementação em condições brasileiras. Segundo Therrien & Bourgeois, (2000) essas estratégias podem ser classificadas em quatro diferentes categorias: bypass (derivações ou desvios), barreiras físicas, barreiras comportamentais e sistemas de captura e transposição.

Dentre as alternativas, uma bastante promissora é o uso de barreiras comportamentais. Nesses casos, ocorre a repulsão e direcionamento de peixes impedindo que eles entrem no canal de fuga das usinas. Essas barreiras comportamentais, são barreiras não-físicas (não estruturais) e se destacam por serem construídas no intuito de alterar o comportamento de certas espécies, fazendo-as evitar áreas de risco. Contrariamente as barreiras físicas, as não-físicas não oferecem resistência a passagem da água e com isso não alteram a eficiência do sistema hidroenergético (Silva et al., 2009).

Para alcançarem seus objetivos, as barreiras comportamentais utilizam-se da aguçada e ampla sensibilidade dos peixes e as diferentes respostas a estímulos diversos, sendo geralmente menos dispendiosas (instalação, operação e manutenção) se comparadas às barreiras físicas (Nestler & Polskey, 1996). A utilização da luz estroboscópica, som, cortina de bolhas, campo elétrico ou ainda uma combinação destes sistemas, destacam-se entre os sistemas de repulsão de peixes.

Dentre elas, uma bastante promissora é a utilização de campos elétricos para a evitação de peixes de áreas de risco em UHEs. Pois sabe-se que os peixes são exclusivamente sensíveis às correntes elétricas podendo ser guiados ou afugentados com o seu uso, porque seu controle muscular é baseado em impulsos elétricos através de seu sistema nervoso Dessa forma, as barreiras elétricas tornam-se um importante instrumento para evitação de peixes em canal de fuga de UHEs e demais áreas de risco (Königson et al., 2002).

A aplicação de campo elétrico pode conduzir, repelir e até paralisar os indivíduos (Vibert, 1967; Halsband & Halsband, 1984). O tipo de campo aplicado, corrente alternada (AC) ou corrente contínua (DC), sua intensidade e duração influenciam diretamente nas reações apresentadas pelos peixes. De acordo com Silva (2010), a utilização de campos elétricos AC, de ondas senoidais a frequência de 60 Hz, resultam em limiares inferiores

de tensão quando comparados a outras formas de ondas e frequências, sendo portanto o tipo de onda e frequência mais indicado para testes de eletrosensibilidade em peixes.

Quando aplicado campo elétrico nessas condições, os peixes apresentam diferentes reações dependendo da tensão aplicada. De acordo com Cowx & Lamarque, (1990) as reações são:

- Percepção / Sensibilidade: qualquer alteração no estado em que o peixe se encontra anteriormente a aplicação do campo elétrico, como movimento das nadadeiras laterais, dorsal ou caudal, alteração na frequência respiratória ou mudança vagarosa de posição dentro do aquário e boquejamento.
- Movimento sem direção / Agitação: movimento brusco do peixe. O peixe sai do estado de repouso e se coloca em deslocamento horizontal de forma muito rápida, como se tentasse fugir de algum predador ou perturbação, não conseguindo permanecer na mesma posição de conforto inicial.
- Tetania / Paralisia: o peixe já não consegue nadar de forma natural. Movimenta-se com ondulações largas. Os músculos ficam constantemente contraídos, as nadadeiras ficam distendidas e a boca aberta. Neste estado nota-se que o peixe já não tem controle sobre a direção de seu deslocamento, suas nadadeiras ficam paralisadas e sua natação prejudicada.

As barreiras elétricas tem se mostrado eficientes na prevenção da ascensão dos peixes pelo rio. No entanto, diversas tentativas de desviar ou impedir esse deslocamento dos peixes a jusante tiveram um sucesso limitado (Kynard & O'Leary, 1990). Apesar de tais mecanismos já serem amplamente utilizados em outros países, há uma enorme demanda de estudos mais aprofundados sobre a eficácia e consequência da implantação dos mesmos sobre as diferentes espécies de peixes.

Atualmente pouquíssimos trabalhos estão voltados à esta linha de pesquisa e apenas os trabalhos publicados por Lopes et al. (2008), Silva et al. (2009) e Silva, (2010) apresentam dados sobre a suportabilidade de peixes da fauna brasileira à aplicação de corrente elétrica

Nos Estados Unidos e Canadá, a utilização de campo elétrico para impedir, ou até mesmo guiar grupos de peixes em seus movimentos de subida e descida em empreendimentos hidrelétricos é bastante difundida (Silva et al. 2009). Apesar disso, a grande maioria dos trabalhos internacionais desenvolvidos sobre a interação de peixes e eletricidade está voltada para a pesca elétrica, sendo que estes buscam estabelecer quais as melhores formas de onda, frequência e amplitude de campo para as diferentes espécies

(Silva, 2010). Dessa forma não se sabe com segurança quais as respostas dos peixes neotropicais frente aos estímulos elétricos aplicados no corpo e a eficiência pontual das barreiras elétricas. O que se sabe é que os peixes reagem à aplicação de campo elétrico de forma diferenciada por espécie e tamanho (Lopes, 2009).

Os peixes são sensíveis a estímulos elétricos, capazes de perceber sutis descargas elétricas, correntes e vibrações no campo ao redor de seus corpos através do sistema de linha lateral. Alguns peixes podem também perceber eletricidade e outros conseguem até emitir campos elétricos fortes o suficiente para atordoar suas presas (Chacon & Luchiari, 2011).

Entre os animais que utilizam esse tipo de mecanismo estão a arraia elétrica (*Torpedo*), o bagre (*Malapterurus*), o poraquê amazônico (*Electrophorus*), as morenitas ou tuviras (*Gymnotus*). Descargas fracas são utilizadas para obter informações a respeito do meio, quando o campo será distorcido a medida que encontra objetos condutores(e objetos não condutores). As rochas são altamente resistivas, enquanto outros peixes, invertebrados e plantas são condutivos. De acordo com Chacon & Luchiari (2011), distorções do campo emitido pelos peixes, provocam uma alteração na distribuição do potencial elétrico ao longo da superfície corpórea do peixe, fazendo o perceber a presença ou ausência de um organismo condutivo. Dentro da água o peixe é um bom condutor, devido ao teor salino nos fluidos corpóreos, em relação à água doce, pobre em sais.

A condutividade dos peixes e a sua sensibilidade aos estímulos elétricos, são os fatores que corroboram para os testes de eletrosensibilidade em espécies de peixes, visando determinar os limiares de campo frente às respostas dos peixes ao campo aplicado. Por conseguinte, esse estudo tem por objetivo a determinação da eletrosensibilidade em peixes neotropicais da bacia hidrográfica do rio Paraná, como alternativa para a repulsão de peixes no tubo de sucção de turbinas de Usinas Hidrelétricas. Um experimento de bancada foi performado para três espécies de peixes neotropicais de comportamento reprodutivo migrador da ordem dos Characiformes*: (Prochilodus lineatus), (Leporinus macrocephalus)* e *(Brycon cephalus)* que apresentam o corpo coberto por escamas. No experimento, se buscou conhecer os níveis de eletrosensibilidade de cada espécie e possíveis diferenças nesses níveis dentro da espécie e entre as espécies estudadas controlando o efeito do peso e do comprimento sobre as respostas eletrocomportamentais.

2) MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Delineamento experimental

O desfecho experimental dessa pesquisa se deu entre o segundo semestre do ano de 2015 e o primeiro semestre do ano de 2016 no laboratório de reprodução de peixes do Instituto de Pesquisa em Aquicultura Ambiental - InPAA, pertencente a Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste, *Campus* de Toledo.

Os ensaios transcorreram em um delineamento inteiramente casualizado, em que cada peixe testado constituiu-se de uma réplica da espécie em estudo, bem como os espécimes foram testados individualmente, a fim de se obter resultados pontuais dos limiares de eletrosensibilidade em função do campo elétrico aplicado para seus comprimentos e pesos. Para os ensaios de determinação da eletrosensibilidade dos peixes, foi utilizada uma Câmara de deriva de ovos e larvas, composta em sua face frontal por 4 regiões translúcidas composta de vidros, que facilitam a visualização do que se passa em seu interior (Figuras 2 e 3). Para os testes os peixes foram confinados em um desses trechos da câmara onde ficavam impedidos de se deslocar pelo restante do aparato por chapas de isopor de 10 cm de largura dispostas perpendicularmente às extremidades da janela, regiões onde foram alocados os eletrodos (Figuras 4 e 5).

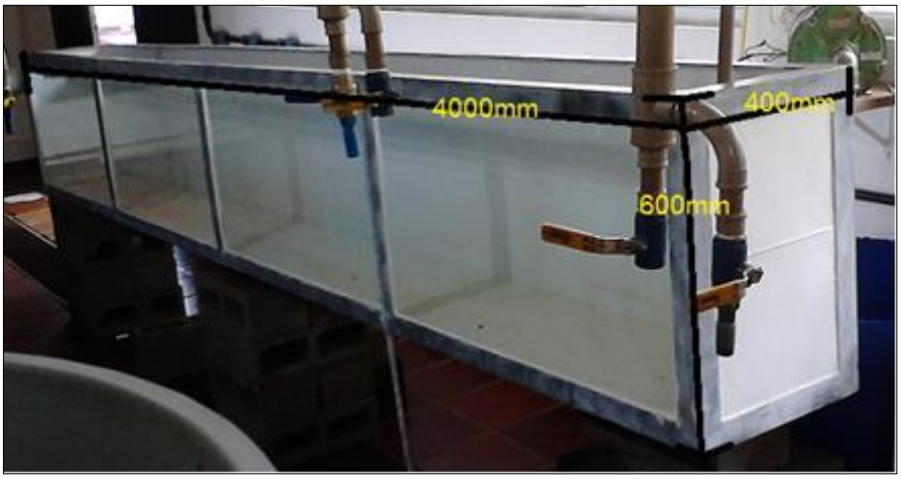

Figura 2 - Câmara de deriva de ovos e larvas. Fonte própria

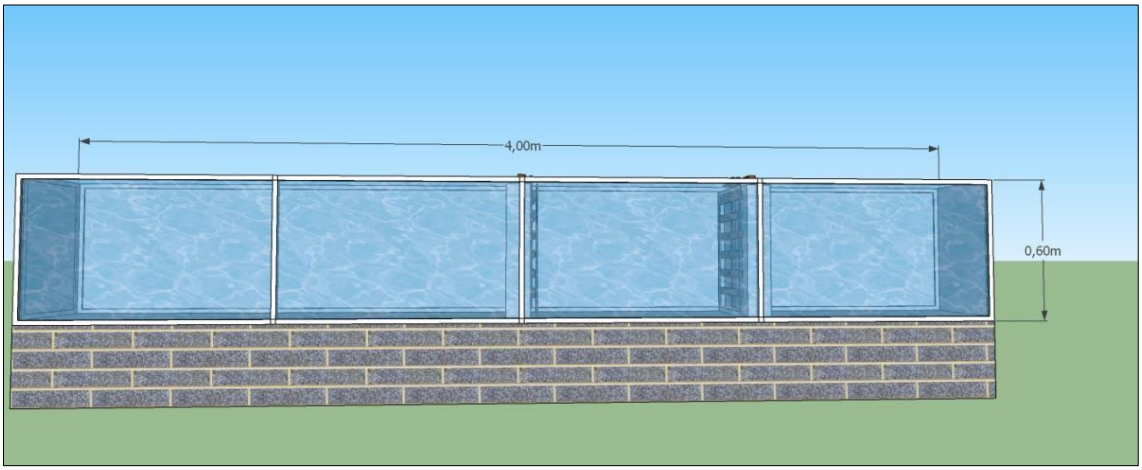

Figura 3 - Visão frontal da Câmara de deriva de ovos e larvas. Fonte própria

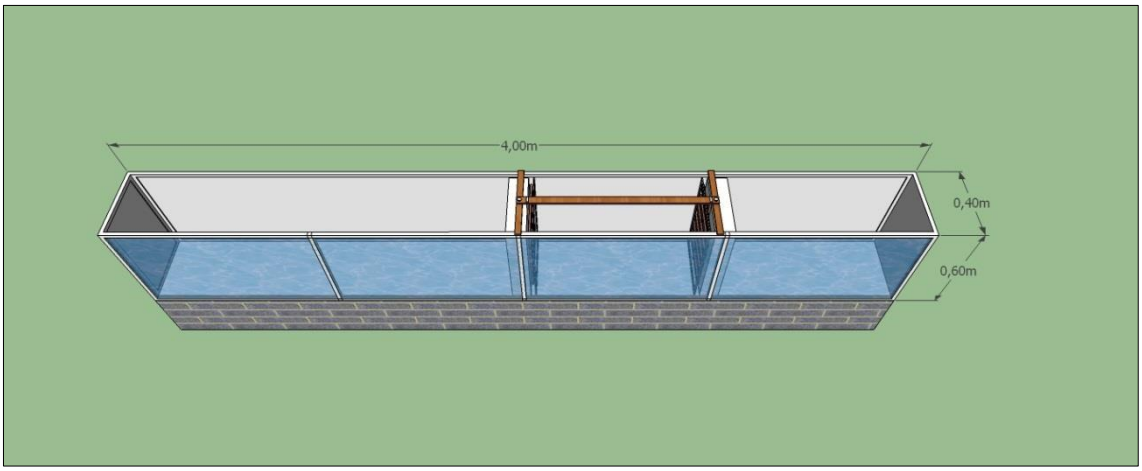

Figura 4 - Vista geral da Câmara de deriva de ovos e larvas com área de confinamento para os peixes. Fonte própria

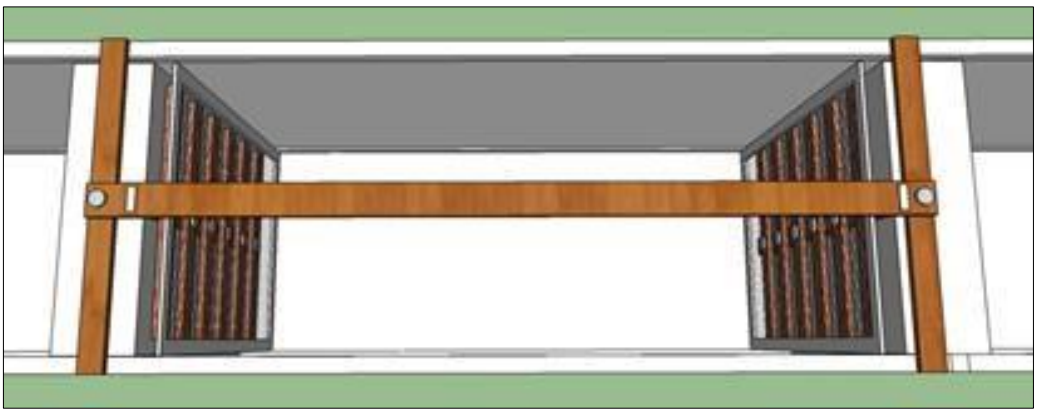

Figura 5 - Vista superior da forma dos eletrodos e sua disposição na Câmara de deriva de ovos e larvas. Fonte própria

Os eletrodos foram construídos em forma de antena e esse arranjo dos eletrodos se deu a fim de maximizar a intensidade do campo elétrico aplicado homogeneamente no trecho da Câmara em que o peixe estava confinado objetivando que o peixe, em qualquer

ponto do perímetro de atuação dos eletrodos, estivesse sob efeito da mesma tensão aplicada pelo gerador de tensões, ampliando a afetividade da barreira e das respostas dos peixes mediante ao confinamento (Figura 6).

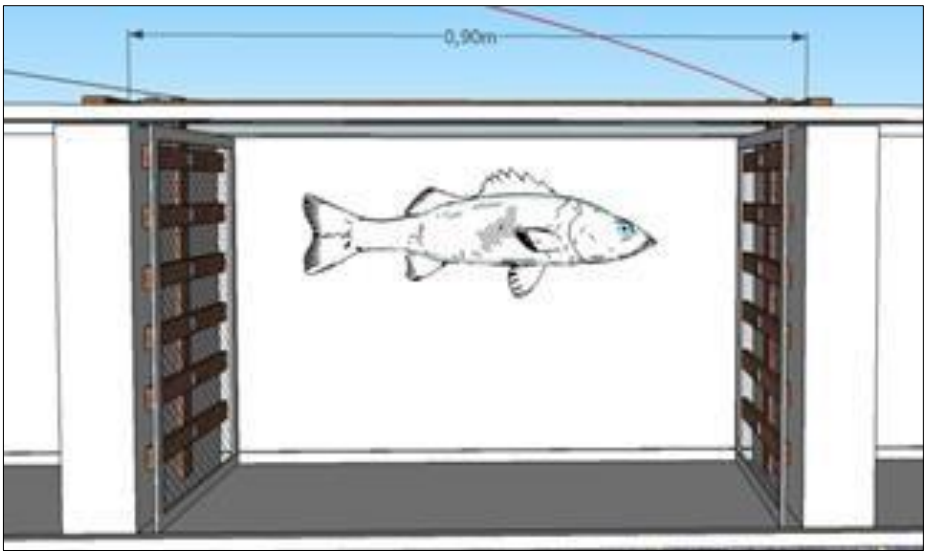

Figura 6 - Vista frontal da área de confinamento dos peixes e disposição dos eletrodos na Câmara de deriva de ovos e larvas. Fonte própria

2.2. Escolha das espécies

Para a realização da pesquisa foram escolhidas três espécies de peixes neotropicais que se têm amplo conhecimento prévio de manejo em laboratório, (a curimba, o matrinxã e o piauçú) as quais apresentam grande suscetibilidade a sofrer injúrias a jusante das barragens inerente a necessidade de subir o rio para a realização da piracema.

2.3. Características das espécies alvo

2.3.1 Curimba *(Prochilodus lineatus)*

A espécie *P. lineatus,* (Figura 7) se encontra amplamente distribuída nos rios das bacias Solimões-Amazonas, Tocantins, São Francisco, Paraná-Paraguai, Paraíba do Sul e Uruguai (Castro, 1990; Sivasundar, 2001).

Figura 7 - Curimba *(Prochilodus lineatus).* Fonte própria

Devido a sua ampla distribuição geográfica na região neotropical, *P. lineatus* é popularmente conhecida por várias denominações: corimbatá, curimbatá, curimba, curimatã-pioa, curimatã-pacu, grumatã e papa-terra. Pertencente a ordem dos Characiformes, família Prochilodontidae (na qual está incluído o gênero *Prochilodus*) (Reis et al., 2003). Essa espécies possui desova única por temporada com elevado número de ovócitos, fecundação externa, ausência de cuidado parental (LoweMcConnell, 1999), corpo de porte médio a grande e reofilia (dependem da correnteza do ambiente natural fluvial).

No alto rio Paraná, *P. lineatus* se reproduz principalmente entre outubro e abril e seus indivíduos iniciam atividade reprodutiva (L_{50}), com cerca de 21,3 cm nos machos e 24,0 cm nas fêmeas, quando seus exemplares realizam grandes migrações ascendentes ao rio (Suzuki et al., 2004).

2.3.2 Matrinxã *(Brycon cephalus)*

O gênero *Brycon* é distribuído amplamente na América Central e do Sul, e é considerado um dos maiores dentre os characiformes neotropicais, sendo o matrinxã (*Brycon cephalus*) (Figura 8), uma espécie endêmica da Bacia Amazônica (Howes, 1982).

Figura 8 – Matrinxã *(Brycon cephalus).* Fonte própira.

O matrinxã é um peixe reofílico, que realiza a migração acompanhando o período de vazante e enchente dos rios, apresenta fecundação e desenvolvimento externo, sem cuidado parental. O matrinxã, do gênero masculino, atinge a sua primeira maturação sexual com comprimento padrão a partir de 41,6 cm, logo no primeiro ano de vida e, enquanto que, a fêmea somente no segundo ano de vida com comprimento padrão de 31 cm (Zaniboni filho, 1985; Neumann, 2008).

2.3.3 Piauçú *(Leporinus macrocephalus)*

O piauçu ou também conhecido popularmente como piavuçú e piau-açu. (Figura 9) é uma espécie de peixe do gênero Leporinus pertence à família Anastomidae com ampla distribuição hidrográfica nas bacias do rio Paraguai e médio rio Paraná (Britski & Garavello, 2007).

O *Leporinus macrocephalus* é uma espécie reofílica apresentando o maior porte dentro do gênero (Garavello, 1979).

Figura 9 - Piauçú *(Leporinus macrocephalus).* Fonte própria

2.4 Manejo dos peixes durante o experimento

Após a aprovação do projeto pelo Comitê de Ética no Uso de Animais – CEUA/UNIOESTE (Anexo A), foram iniciados os manejos necessários para o desenvolvimento da pesquisa. Inicialmente os peixes eram mantidos em tanques de 200 m² no InPAA., sendo alimentados diariamente com ração extrusada uma vez ao dia. Quando da realização do experimento, era feita a captura desses peixes dos tanques de manutenção e alocados em tanques de menores dimensões (3 m²) no laboratório, obedecendo-se a devida aclimatação dos peixes, onde ficavam em depuração por um período de 24 horas. Permanecendo em jejum até a realização dos ensaios de eletrosensibilidade.

Para cada ensaio/peixe foi utilizada a água mantida na Câmara de deriva de ovos e larvas e uma parcela de renovação da água (cerca de 5% do volume da câmara de deriva de ovos e larvas), transferida dos tanques de manutenção do laboratório para o aparato experimental, a fim de reduzir o estresse dos animais e facilitar sua adaptação a água garantindo maior uniformidade aos testes.

2.5 Testes de Eletrosensibilidade:

2.5.1 Corrente elétrica e frequência aplicada aos peixes

Para a determinação da eletrosensibilidade dos peixes optou-se pela utilização de corrente alternada (AC), onda senoidal e frequência elétrica de 60 Hz. Isso se deu através da ligação dos eletrodos a um autotransformador variável que permitia o controle da amplitude de tensão aplicada, feita de forma gradual, Volt a Volt (Figura 10).

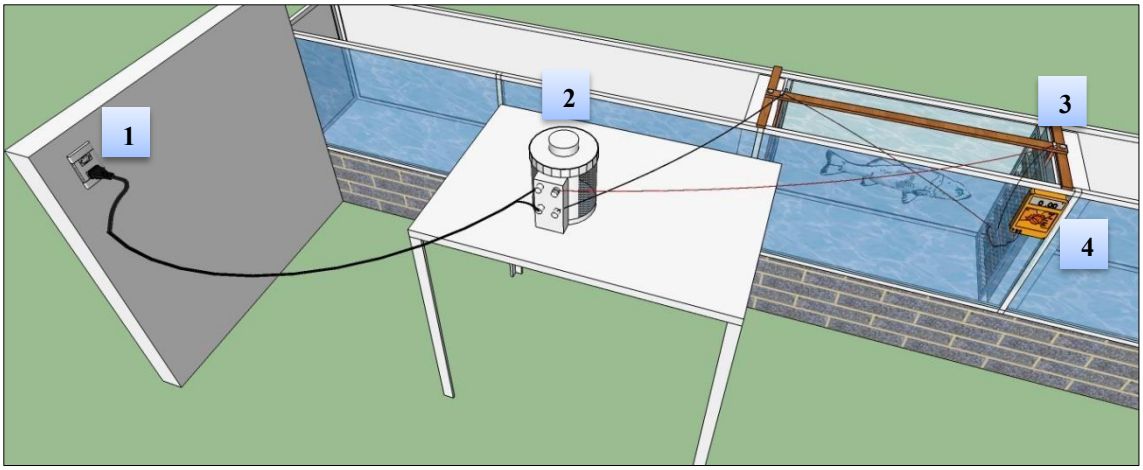

Figura 10 - Ligações do sistema: 1-Fonte de energia x 2-Varivolt x 3-Eletrodos x 4-Multímetro**.** Fonte própria

Essa escolha ocorreu, primeiramente, em função da observação dos resultados de estudos de eletrosensibilidade realizados por Silva et al. (2009), constatando que na combinação de corrente alternada senoidal e frequência elétrica a 60 Hz os resultados de eletrosensibilidade eram antecipados nos peixes, ou seja, para essa combinação de frequência elétrica e corrente seria necessário menores tensões elétricas para obterem-se os resultados dos limiares de eletrosensibilidade em peixes. Outra vantagem da utilização dos campos elétricos alternados e frequência elétrica de 60 Hz é que esta representa a frequência padrão do Sistema Elétrico brasileiro, facilitando então a metodologia de testes adotada nesse estudo.

Dessa forma é possível observar quais momentos os peixes passaram pelas três respostas almejadas (sensibilidade, agitação e paralisia), sendo então registrado o valor exato em que iniciou cada resposta.

2.5.2 Eletrosensibilidade

Com a aplicação gradual de campos elétricos nos peixes, três valores de tensão elétrica foram obtidos além do tempo de recuperação dos indivíduos após o último limiar ser determinado. Isso se deu a partir das respostas visuais dos movimentos reativos dos peixes associados ao valor de tensão no momento exato da reação observada, correspondendo ao registro de três limiares de eletrosensibilidade. Limiar de Sensibilidade; que é a primeira reação visível no comportamento do peixe quando é submetido a um campo elétrico; Limiar de Agitação; quando o peixe se agita, ficando visivelmente incomodado com o campo elétrico aplicado, aumentando seus batimentos operculares e não conseguindo ficar parado numa posição de conforto realizando uma natação prejudicada e sem rumo, como de um peixe que tenta fugir de um predador e Limiar de Paralisia: ocorre na maior tensão aplicada, quando o campo elétrico limita os movimentos musculares do peixe perdendo o equilíbrio e a capacidade natatória devido o enrijecimento dos músculos, não sendo possível visualizar nenhum batimento opercular ou outro tipo de movimentação externa.

Posteriormente, ao fim de cada ensaio de aplicação de corrente, caracterizado pela paralisia do indivíduo, foi registrado o tempo de recuperação do exemplar, período que suas atividades iniciais e naturais foram reestabelecidas, como retorno do equilíbrio, batimento opercular e natação normal.

2.6 Metodologia aplicada aos ensaios

Durante todos os ensaios foram mantidas controladas as variáveis físicas e químicas da água e não interferiram na intensidade das reações dos peixes. Os testes de eletrosensibilidade transcorreram de forma que cada peixe foi testado individualmente e participou dos ensaios uma única vez. Sendo que um indivíduo foi capturado aleatoriamente entre a espécie e transferido para a Câmara de deriva de ovos e larvas, onde foi aguardado um período de 2 minutos para adaptação do peixe a Câmara. Em seguida foi energizado o sistema e elevada a tensão do varivolt continuamente Volt a Volt (observando no multímetro as voltagens) até que os limiares de campo elétrico para cada nível de reação foram alcançados. Posteriormente, já com os dados de eletrosensibilidade, o sistema foi desligado e foi aguardado o tempo de recuperação do peixe das suas funções naturais. Foi em seguida retirado da Câmara de deriva de ovos e larvas, tomadas medidas do comprimento total, comprimento padrão e peso do peixe, sendo transferido para o

tanque de manutenção de indivíduos já experimentados e novamente renovada uma parcela de água da Câmara para o início de um novo ensaio.

2.7 Análise dos dados

Para determinar se a eletrosensibilidade apresenta diferença significativa entre as espécies avaliadas, controlando o efeito do peso e do comprimento, foi aplicada uma análise de covariância aos valores de tensão resultantes em cada um dos níveis de reação (sensibilidade, agitação e paralisia).

Esse método foi escolhido, pois trabalha com covariáveis quantitativas associadas a uma variável resposta, atuando nesse estudo com o intuito de reduzir as interferências das variações dos pesos e dos comprimentos dos animais nos três níveis de reação sentidos pelos peixes e nos valores do tempo de recuperação.

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa Statistica 7.0^{TM} (StatSoft).

3) RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Variáveis físicas e químicas

Os resultados das variáveis físicas e químicas da água utilizada nos testes de eletrosensibilidade se mostraram significativamente constantes (Tabela 1), e não interferiram na intensidade das reações dos peixes experimentados. Sendo que a variável mais significativa para a propagação dos campos elétricos, a condutividade elétrica, manteve-se em torno de 80 µs/cm.

Tabela 1 – Resultados do T-test para amostras dependentes para as variáveis físicas e químicas da água (Temperatura, Oxigênio dissolvido, Condutividade elétrica e pH), aferidas na Câmara de deriva de ovos e larvas, apresentando os valores das médias, desvio padrão e nível de significância para as variáveis em questão.

Temperatura da Água (C°)	**Média**	**Desv. Pad.**	**p (95 %)**
Antes	23,16	0,32	0,275
Depois	23,06	0,12	
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	**Média**	**Desv. Pad.**	**p (95 %)**
Antes	4,89	0,52	0,333
Depois	5,22	0,39	
Condutividade Elétrica (µs/cm)	**Média**	**Desv. Pad.**	**p (95 %)**
Antes	83,13	5,33	0,600
Depois	82,58	4,06	
pH	**Média**	**Desv. Pad.**	**p (95 %)**

Antes Depois	8,14 8,25	0,32 0,49	0,650

Nota: Desv. Pad.= Desvio Padrão da amostra para os valores aferidos antes e depois de cada peixe ser experimentado; p (95%)= valor de p com 95% de confiança, se p<0,05 há diferença significativa para os valores da variável antes e depois de cada peixe ser testado.

3.2 Limiares de Eletrosensibilidade

Os limiares de eletrosensibilidade foram estabelecidos para as espécies em três níveis de reações, cujas médias das tensões para matrinxã e piauçú se mostraram estatisticamente próximas, denotando que essas duas espécies reagem de forma semelhante às reações de sensibilidade, agitação e paralisia (Tabela 2). Esse efeito é muito positivo para o caso de um projeto de construção de barreira elétrica, pois seria necessária uma configuração pouco variável de tensão para repelir (agitar) os indivíduos dessas espécies, sendo que tensões entre 30 e 40 V já atenderiam a tal necessidade. Já se o objetivo for a paralisia dos indivíduos, a fim de serem afugentados pelo fluxo dos tubos de sucção ao canal de fuga, uma configuração entre 100 e 120 V seria ideal para evitar que os indivíduos dessas espécies testadas adentrem ao tubo de sucção das usinas hidrelétricas. Por outro lado, diferentemente do matrinxã e do piauçú, curimba é mais sensível aos campos elétricos, antecipando as três reações de eletrosensibilidade em cerca de 50% se comparado as duas outras espécies experimentadas, necessitando em média de 7 V para reagir as primeiras atuações do campo elétrico sobre a câmara de teste e cerca de 15,8 V e de 67 V para responder as reações de agitação e de paralisia respectivamente. Aumentando-se portanto a amplitude de variação de tensões necessárias para atender a evitação dessas espécies de peixes em uma planta hidrelétrica através do uso de barreira elétrica.

3.3 Tempo de Recuperação

O período decorrido para o retorno dos peixes da reação de paralisia às condições iniciais físicas e natatórias que se encontravam antes da experimentação se configurou no tempo de recuperação dos indivíduos, e esse espaço de tempo que os peixes levaram para retornar as suas funções naturais dentro da câmara utilizada para a experimentação refletiu nos níveis de tolerância das espécies aos campos elétricos alternados gerados nos testes de eletrosensibilidade. Sendo assim, apesar de não haver diferenças significativas entre os tempos de recuperação das espécies (Figura 11 e Figura 12) e de os piauçús apresentarem tensões de eletrosensibilidade muito próximas ás dos matrinxãs para as três

reações (Tabela 2), evidencia-se que os piauçús são mais tolerantes aos campos elétricos que curimba e matrinxã (Tabela 2), pois o tempo de recuperação desta espécie é em média 63% menor que o tempo de recuperação das curimbas e cerca da metade do tempo de recuperação dos matrinxãs (Tabela 2), sendo esta última a espécie que mais tempo gastou para retomar o equilíbrio e a sua natação natural, portanto é a espécie que mais sofre com a incidência de campos elétricos.

Tabela 2 - Valores das tensões para os limiares de eletrosensibilidade (sensibilidade, agitação e paralisia), resultados do tempo de recuperação, comprimento e peso para curimba, matrinxã e piauçú.

Colunas	**a**		**b**		**c**		**d**		**e**		**f**	
Reações	Sen. (V)		Agi. (V)		Par. (V)		TR (s)		Comp. (cm)		Peso (g)	
Espécies	M	DP	M	DP	M	DP	M	DP	M	DP	M	DP
Curimba	7,0	2,74	15,8	4,2	67,0	8,7	107,6	80,2	26,6	1,9	433,1	88,0
Matrinxã	13,5	4,2	31,2	6,5	107,0	14,1	144,5	87,8	35,8	1,7	952,0	176,9
Piauçú	14,2	5,2	40,3	7,6	118,5	13,6	67,2	45,0	30,6	1,0	603,7	36,7

Nota: M= média das tensões de eletrosensibilidade; DP= Desvio Padrão da média das tensões de eletrosensibilidade; Sen= Sensibilidade; Agi= Agitação; Par= Paralisia; TR= Tempo de recuperação posterior a paralisia; Comp= Comprimento Padrão (LS) dos indivíduos; Peso= Peso dos indivíduos. As letras das colunas se referem: a= sensibilidade; b= agitação; c= sensibilidade; d= paralisia; e= comprimento padrão (LS); f= peso.

3.4 Comportamento da eletrosensibilidade segundo os comprimentos e pesos dos espécimes

Segundo os resultados da Análise de covariância, não houve interação entre os comprimentos e os pesos dos indivíduos testados e as respostas de eletrosensibilidade das espécies, diferentemente do encontrado por Silva et al.,(2009) numa pesquisa de levantamento de curvas de eletrosensibilidade para o *Pimelodus maculatus* e do evidenciado por Lopes, (2009) quando avaliou as eletrosensibilidade de *Prochilodus lineatus e Pimelodus maculatus*, onde os resultados mostraram que quanto maior o comprimento ou a massa do peixe, menor a amplitude do campo elétrico necessário para alcançar os níveis de respostas eletrocomportamentais esperadas. Segundo tais autores isso se deve pelo fato de que um peixe com maiores medidas está sujeito a uma maior diferença de potencial entre cabeça e cauda e, consequentemente, uma maior circulação de corrente pelo seu corpo. Esse efeito do tamanho e do peso dos animais não foi verificado nesse estudo e uma das explicações pode ser a homogeneidade dos lotes de indivíduos usados nos testes, haja vista que são animais de cativeiro, portanto com pesos

e comprimentos sem grandes variações, não exercendo interferências significativas nas respostas dos peixes..

A reação de sensibilidade se mostra significativamente diferente, com um intervalo de confiança de 95%, para curimba, não sendo observada diferença entre as espécies matrinxã e piauçú. Apesar da escassez de estudos voltados a suportabilidade de campos elétricos por peixes e de não haver informações sobre a eletrosensibilidade da maioria das espécies neotropicais, esse estudo mostra que matrinxã e piauçú necessitaram de tensões mais elevadas para responder ao primeiro estágio da eletrosensibilidade para os mesmos comprimentos e pesos, enquanto que curimba se mostrou mais sensível (Figura 11 e Figura 12).

Quando avaliada a reação de agitação, as três espécies foram significativamente distintas (Figura 11 e Figura 12), com curimba necessitando em média de uma tensão de 15,8 V, matrinxã 31,2 V e piauçú sendo agitado somente a uma tensão média de 40,3 V. Essa análise denota que há uma variação interespecífica das respostas eletrocomportamentais para este nível de reação, revelando que algumas espécies podem sofrer agitação à baixas tensões, enquanto outras necessitariam de tensões mais elevadas. Sendo assim, para a mesma espécie, se as condições ambientais forem diferentes os resultados podem ser diferentes, como os resultados encontrados por Silva et al., (2009) quando avaliou a eletrosensibilidade de curimbas, encontrou limiares de agitação menores que 10 V. Porém isso pode ser resultado da alta condutividade da água usada por Silva et al., (2009) em seus testes, com cerca de 3 vezes do valor da utilizado no presente estudo, o que pode ter antecipado as respostas para os limiares de eletrosensibilidade.

Os limiares encontrados para a reação de paralisia não apresentaram diferenças significativas para matrinxã e piauçú enquanto que curimba diferiu estatisticamente das duas espécies (Figura 11 e Figura 12), apresentando uma menor tolerância ao campo elétrico e portanto um limiar de paralisia menor que o do matrinxã e o do piauçú, paralisando com tensões de cerca de 67 V. Apesar das diferenças entre os limiares de eletrosensibilidade o tempo de recuperação das espécies não apresentou diferenças significativas independente dos tamanhos e pesos dos indivíduos.

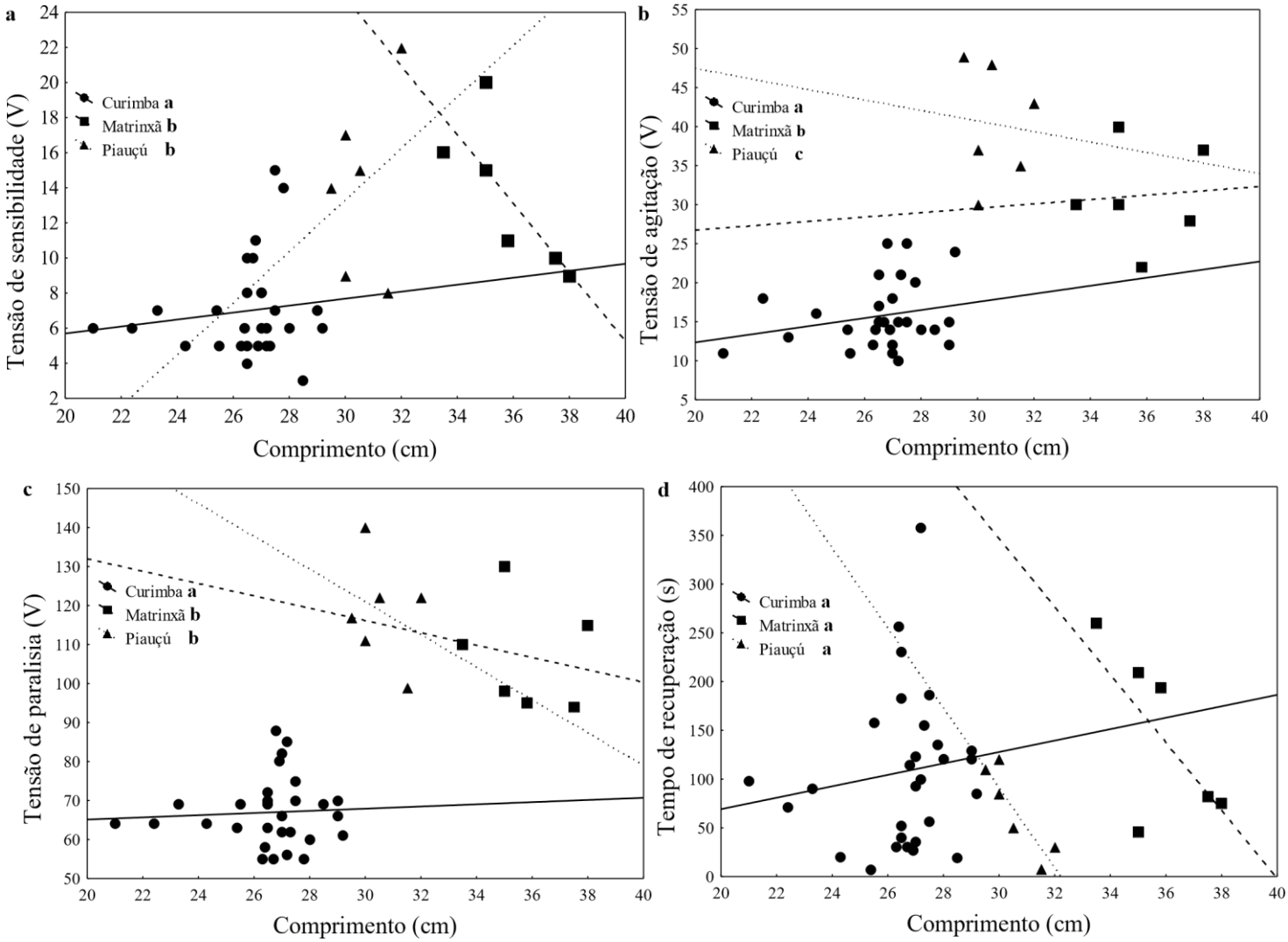

Figura 11 – Resultados da Ancova para as eletrosensibilidades e tempos de recuperação de curimba, matrinxã e piauçú em função do campo elétrico aplicado controlando o efeito do comprimento dos indivíduos.

Nota: As letras a, b, c e d situadas no canto superior esquerdo de cada um dos gráficos, se referem as tensões necessárias para resultar nas três reações de eletrosensibilidade e no tempo de recuperação. As letras subsequentes aos nomes das espécies remetem ao teste de Tukey, quando letras diferentes entre elas, denotam que há diferenças significativas entre as eletrosensibilidade das espécies com $p<0,05$, se letras iguais, não há diferença estatística entre as eletrosensibilidades para essas espécies.

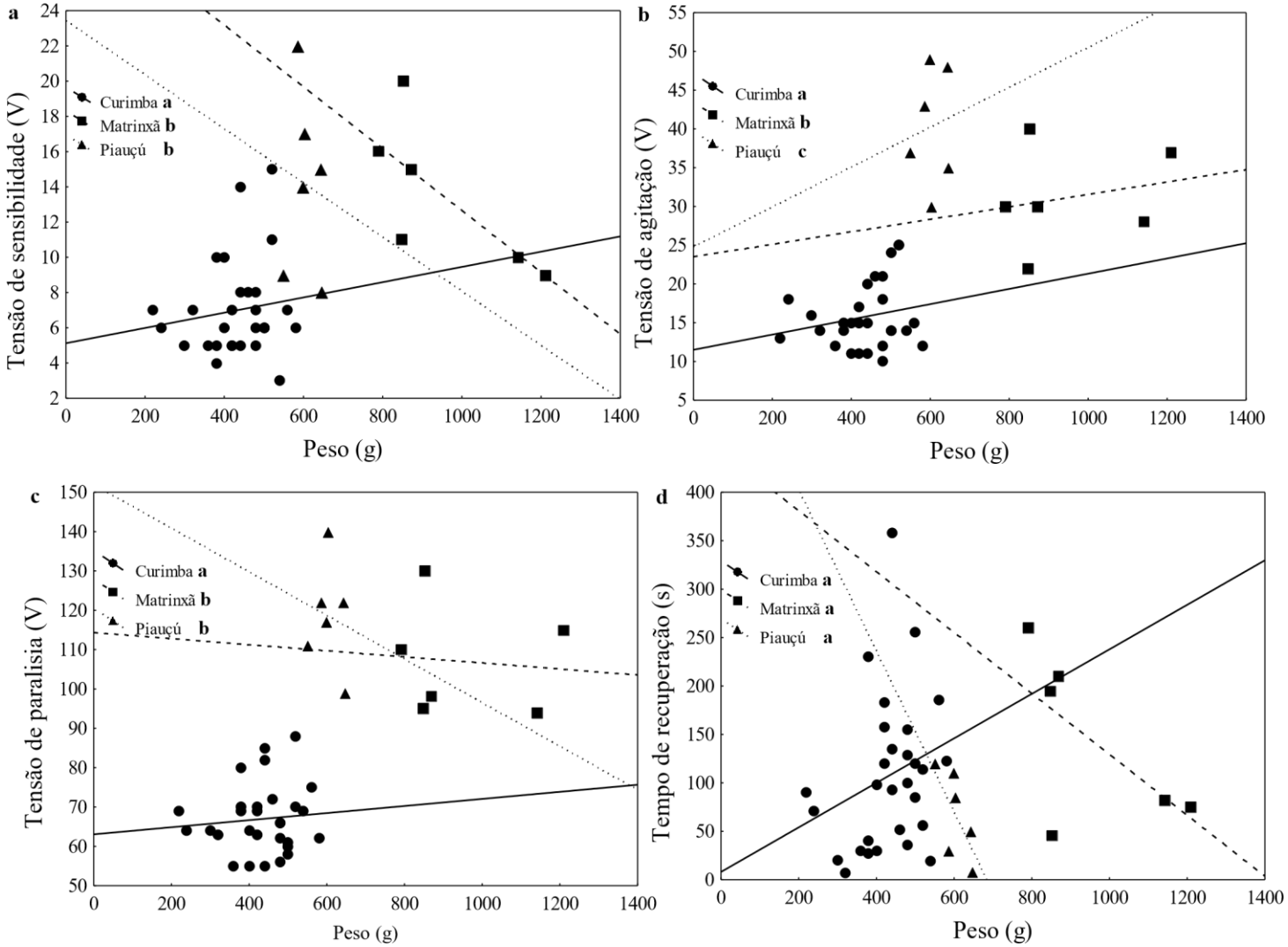

Figura 12 – Resultados da Ancova para as eletrosensibilidades e tempos de recuperação de curimba, matrinxã e piauçú em função do campo elétrico aplicado controlando o efeito do peso dos indivíduos.

Nota: As letras a, b, c e d situadas no canto superior esquerdo de cada um dos gráficos, se referem as tensões necessárias para resultar nas três reações de eletrosensibilidade e no tempo de recuperação As letras subsequentes aos nomes das espécies remetem ao teste de Tukey, quando letras diferentes entre elas, denotam que há diferenças significativas entre as eletrosensibilidade das espécies com $p<0,05$, se letras iguais, não há diferença estatística entre as eletrosensibilidade para essas espécies.

4) CONCLUSÃO

Concluí-se com essa pesquisa que os limiares de eletrosensibilidade não são iguais para as espécies neotropicais avaliadas. Haja visto que enquanto curimba é mais sensível aos efeitos do campo elétrico para os níveis de sensibilidade, agitação e paralisia, as espécies matrinxã e piauçú são mais tolerantes. Quando observou-se o tempo de recuperação das espécies, atestou-se que piauçú possui maior suportabilidade aos campos elétricos, enquanto que curimba e matrinxã demoram mais tempo para restabelecer suas condições iniciais, tempo esse que evidencia a intensidade com que cada espécie recebe os campos elétricos.

O estudo mostrou também não haver relação entre as respostas eletrocomportamentais e os tamanhos e pesos dos indivíduos testados, resultado este muito relevante quando se pensa na criação de um mecanismo para evitar que peixes adentrem áreas de risco em usinas hidrelétricas, de maneira que se os pesos e os comprimentos dos espécimes não interferem na configuração do mecanismo, então basta se conhecer quais os níveis de eletrosensibilidade necessários para mantê-los afastados de regiões de perigo de uma barragem.

Para que as barreiras comportamentais venham a serem utilizadas com grande êxito, é necessário conhecer portanto o comportamento do peixe frente a esse instrumento de evitação ou de direcionamento. No caso das barreiras comportamentais elétricas, o conhecimento das respostas de eletrosensibilidade são imprescindíveis para implementação de tal mecanismo e mesmo que se determine em laboratório quais são os limiares das respostas eletrocomportamentais dos peixes, pode-se ver que esses níveis variam de espécie para espécie e de acordo com as condições do ambiente, principalmente do corpo hidríco ao qual os peixes vivem. Portanto são necessários maiores esforços para elucidar as eletrosensibilidades das espécies neotropicais que mais sofrem com as injúrias a jusante das barragens, a fim de se projetar um sistema de evitação e direcionamento que venha a atuar de forma eficaz sobre grande parte das espécies.

5) REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, Â. A.; JUNIOR, O. F. J.; BORGHETTI, J. R.. Considerações sobre os impactos dos represamentos na ictiofauna e medidas para sua atenuação. Um estudo de caso. Reservatório de Itaipu. Unimar, Maringá, n. 14, p. 089-107, 1992.

AGOSTINHO, A. A., MENDES, V. P., SUZUKI, H. I., CANZI. C. Avaliação da atividade reprodutiva da comunidade de peixes dos primeiros quilômetros a jusante do reservatório de Itaipu, UNIMAR, 1993, no 15, Supl., p. 175-189.

AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil. Maringá: EDUEM, 2007. 501 p.

BELL, M. C. Fisheries handbook of engineerin g requirements and biological criteria.: Fish passage development and e valuation program.. 3 ed. Portland, Oregon, 1991. 353 p.

BRITSKI, H. A. & GARAVELLO, J. C. 2007. Família Anostomidae. *In:* Buckup, P.A.; Menezes, N.A. & Ghazzi, M.S.A. (Eds.).Catálogo das espécies de peixes de água doce do Brasil. Rio de Janeiro, Museu Nacional. p. 23-27

CADA, G. F. The Development of Advanced Hydroelectri c Turbines to Improve Fish Passage Survival. Bioengineering feature, v. 26, n. 9, p. 14-23, 2001.

CASTRO, R. M. C. Revisão taxonômica da família *Prochilodontidae* (Ostariophysis, Characiformes) 1990. 293f. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 1990.

COWX, I G; LAMARQUE, P. Fishing with Electricity Fishing News Books. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1990.

CHACON, D. M. M LUCHIARI, A. C. 2011. Fisiologia e Comportamento de Peixes. Texto publicado no site do Grupo de Estudos de Ecologia e Fisiologia de Animais Aquáticos (www.geefaa.com).

GALDIOLI, E. M. et al. Diferentes fontes protéicas na alimentação de alevinos de Curimba (Prochilodus lineatus V.). Acta Scientiarum. Biological Sciences, MARINGA EDUEM, v. 22, n. 2, p. 471-477, 2000.

GARAVELLO, J.C. 1979. *Revisão taxonômica do gênero* Leporinus *Spix, 1829 (Ostariophysi, Anostomidae).* Unpublished Ph.D. Dissertation, Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. 451 p.

HALSBAND, E., & HALSBAND, I. 1984. Electrofishing [English translation of Halsband and Halsband 1975 from German by R. W. McCauley, text only exclusive of reference list]. Canadian Translation in Fisheries and Aquatic Sciences 5048.

HOWES, G. Review of the genus Brycon (Teleostei, Characoidei). Bulletin of the British Museum Natural History (Zoology), v.43, p.1-47. 1982.
IZEL, A.C.U.; PERIN, R.; MELO, L. A. S. 1996. Desempenho de matrinxã B*rycon cephalus* submetidos a dietas com diferentes níveis protéicos na Amazônia Central. *Anais da XXXII Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia.* Fortaleza. p.258259.

KINARD, B.; & O'LEARY, J. Behavioral Guidance of adult Americam shad using underwater AC electrical and acoustic fields. In: proceedings of the internationati on symposium on fishways '90, Gifu, Japan, p. 131-135, 1990.

KÖNIGSON, S.; FJÄLLING, A.; LUNNERYD, S-G. "Reactions in individuals fish to strobe light. Field and aquarium experiments performed on whitefish (Coregonus lavaretus).", Hydrobiologia, 2002, v. 483, p. 39-44.

LARINIER, M. Environmental Issues, Dams and Fish Migration. Dams, fish and fisheries. FAO Fisheries Technical Paper, FAO, v. 419, n. 166, p. 45-90, 2001.

LARINIER, M.; TRAVADE, F. Downstream Migration: Problems and Facilities. Bull. Fr. Pêche Piscic., France, n. 364, p. 181-207, 2002.

LOPES, R. E.; SILVA, F. N. A.; MARTINEZ, C. B. Efeito de Campos Elétricos Sobre Peixes: Um Estudo Sobre o Comportamento de Espécies Neotropicais. Comitê brasileiro de barragens. Apresentado no VI simpósio brasileiro sobre pequenas e médias centrais hidrelétricas Belo Horizonte - MG, ABRIL DE 2008.

LOPES, R E. 2009. Estudo de Barreiras Elétricas para Impedimento de Entrada de Peixes em Turbinas Hidráulicas. Tese de doutorado, Minas Gerais-UFMG, p. 166,.

LOPES, J. D. M. et al. Desenvolvimento de Metodologia para a Avaliação de Riscos de Morte de Peixes em Usinas da CEMIG. XXI snptee seminário nacional de produção e transmissão de energia elétrica, Florianópolis - SC, 2011. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/ptbr/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/ambientais/peixe_vivo/publicacoes/Documents/XXI%20SNPTEE.pdf>. Acesso em: 12 out. 2015.

LOWE-McCONNELL, R. H. Estudos Ecológicos de Comunidades de Peixes Neotropicais. Edusp, São Paulo, SP. 1999.

MERONA, B. de; & BITTENCOURT, M.M. 1988. A pesca na Amazônia através dos desembarques no mercado de Manaus: resultados preliminares. *Memória Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*,48(suplem.):433-453.

NESTLER, J. M.; POLSKY, G., Sound way to save fish.. Civil Engineering magazine, v. 9, n. 66, p. 59-61, 1996.

NEUMANN, E. Desenvolvimento inicial de jatuarana, Brycon amazonicus (teleostei, characidae). Tese. Universidade do Estadual Paulista. 2008: 108 p.

NORTHCOTE, T. G. Migratory strate gies and production in freshwater fishes. Ecology of Freshwater Fish Production, Oxford, Blakwell Scientific Publications, p. 326-359, 1978.

PAVLOV, D. S.. Structures assisting the migrations of non-salmonid fish: USSR. Institute of the Evolutionary Morphology and Ecology of Animals: FAO Fisheries Technical Paper, 108 p. 1989.

PETTS, G. E. Impounded Rivers: Perspectives for Ecological Management. Universidade da Califórnia: Wiley, 1984. 326 p.

PIZANGO-PAIMA, E.G. 1997. Estudo da alimentação e composição corporal do matrinxã, *Brycon cephalus* (Gunther, 1869) (Characiformes, Characidae) na Amazônia Central. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas. Manaus, Amazonas. 71p.

REIS, R. E.; KULLANDER, S. O., FERRARIS JR, C. J. Check list of the freshwater fisher of South and Central America. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2003. p.742.

RODRIGUES, S. S.; NAVARRO, R. D.; MENIN, E. Adaptações anatômicas da cavidade bucofaringiana de Leporinus macrocephalus Garavello & Britski, 1988 (Characiformes, Anostomidae) em relação ao hábito alimentar. Revista Biotemas, v. 19, n. 1, p. 51-58, 2006.

ROMAGOSA, E.; NARAHARA, M. Y.; FENERICH-VERANI, N. Stages of embryonic development of the “matrinxã”, Brycon cephalus (pisces, characidae). Boletim do Instituto de Pesca, 2001; 27(1): 27-32.

SANTOS, E. Peixes da água doce: vida e costumes dos peixes do Brasil. Belo Horizonte: Itatiaia:, 267 p. 1981.

SILVA, F. N. A.; LOPES, R. E.; MARTINEZ, C. B. Levantamento de Curvas de Eletrosensibilidade de Peixes Brasileiros e Concepção de Barreira Elétrica para Repulsão de Peixe. LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION - CLAGTEE, UFMG, 2009.

SILVA, F. N. A. 2010. Efeito de Campo Elétrico no Comportamento de Peixes Brasileiros e Estudo de Barreira Elétrica Como Mecanismo de Controle de Movimentação de Peixes. Dissertação de Mestrado, área de estudo: Compatibilidade Eletromagnética e Qualidade da Energia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais. 122p.lopes

SIVASUNDAR, A,; BERMINGHAM, E,; Orti, G. Population structure and biogeography of migratory freshwater feshes (*Prochilodus: Characiformes*) in major South american rivers. Molecular Ecology, 10: 407-417, 2001.

SUZUKI, H. I. et al. Reproductive ecology of the fish assemblages.: In The upper

Paraná River and its Floodplain. (S.M. Thomaz, A.A. Agostinho & N.S. Hahn, eds.), 271-291 p. 2004.
THERRIEN, J. & BOURGEOIS. G. Fish Passage at Small Hydro Sites. Report by Genivar Consulting Group for CANMET Energy Technology Centre, Ottawa. Québec City, Québec Canada. 2000

VIBERT, R. General report of the working party on the applications of electricity to inland fishery biology and management. Fishing News (Books), Ltd., London., p. 3-51, 1967.

WWW.BIBLIOTECADIGITAL.UFMG.BR. Bibliotecadigital.ufmg. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/REPA-84GFX2>. Acesso em: 2 set. 2015.

ZANIBONI FILHO, E. Biologia da reprodução do matrinxã, Brycon cephalus (GÜNTHER, 1869) (TELEOSTEI: CHARACIDAE). Dissertação. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 1985: 134.

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Comitê de Ética no Uso de Animais - CEUA

PARECER DE PROTOCOLO

O protocolo intitulado "Determinação da eletrosensibilidade em peixes, como alternativa para a repulsão de peixes no tubo de sucção de Usinas Hidrelétricas (UHEs)", sob vossa coordenação, foi avaliado pelo CEUA como **APROVADO** para execução.

ATENÇÃO!

O Certificado Experimental deste Protocolo, somente será emitido após o encerramento das atividades previstas e após o encaminhamento do Relatório Final ao CEUA. Este Parecer **NÃO** tem valor como Certificado Experimental.

Cascavel, 19/06/2015

Profa. Dra. Luciana Oliveira de Fariña

ANEXO

Anexo A - Parecer do comitê de ética