

Rafael Emílio Lopes

**ESTUDO DE BARREIRAS ELÉTRICAS PARA IMPEDIMENTO DE
ENTRADA DE PEIXES EM TURBINAS HIDRÁULICAS**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós,
Graduação em Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da
Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Carlos Barreira Martinez.

Co-orientador: José Osvaldo Saldanha Paulino.

Belo Horizonte
CPDEE – PPGEE – UFMG
Dezembro de 2009

À minha Mãe
e a Flávia..

Agradecimentos:

Agradeço a minha Mãe e meu Pai pelo sopro de vida, e por me darem o exemplo de como um ser humano dever ser. Tenho Orgulho e Honra de tê-los como pais.

À Linda pela paciência, pelo incentivo diário, por colocar meus pés no chão, e pela tarefa árdua de me amar. O mundo do sonhar só existe por sua causa e nem as areias do tempo vão apagar o que sinto por você.

Aos meus irmãos, que cada um a seu modo, torceram por mim, principalmente ao Afonso cujo companheirismo excede os padrões normais de temperatura e pressão.

.Aos amigos, meus grandes amigos, que sempre estão presentes, a qualquer hora e em qualquer lugar, e por me respeitarem por eu ser quem sou.

Ao Taka, por ser meu irmão por opção e ser capaz de entender coisas que ninguém mais entende. Cada dia que passa tenho a certeza que nós não somos daqui.

Ao Sergio Henrique da costa, por me mostrar que, “As convicções são inimigas mais perigosas da verdade do que as mentiras”.

Aos Colegas e amigos de CPH, que vivenciaram e colaboraram enormemente para conclusão deste trabalho.

À todos aqueles que me incentivaram ainda que por brincadeira chamando este projeto de “choque nos peixes”.

Ao Henrique Nunes Braga pela ajuda incomensurável e pelo apoio direto nas medições intermináveis e soluções mirabolantes que tornaram esse trabalho possível.

Ao Flavio Nakamura, grande promessa, por todo esforço e empenho em me ajudar sempre. Suas idéias e observações tornaram tangíveis idéias que só existiam no campo das minhas idéias.

Ao Breno pelo árduo trabalho de manter os Mandis vivos e saldáveis, além do apoio intensivo em muitos dos ensaios realizados.

Ao pessoal da CBTU, vocês valem muito mais do pensam e muito mais do que qualquer um é capaz de pensar.

Ao Jaci, por me entender, pela paciência e por me tirar de varias crises de pânico. Queria que o mundo fosse como você pensa, sob controle.

Ao José Osvaldo pela ajuda, orientação, incentivo, inspiração, e por trazer inovações e perspectivas para este trabalho. Você é um grande professor.

Ao grande Homem e Orientador, Carlos Barreira Martinez, por ter sido muitas vezes a âncora e a vela desta nau rumo ao desconhecido. Por acreditar, confiar e nunca me deixar desistir. Sem sua presença, esse trabalho não existiria.

A todos os peixes que colocaram suas vidas em risco para que esse trabalho fosse completado. Tive a honra de tê-los como companheiros de trabalho, principalmente ao Fred que hoje mora em um lago nas serras mineiras vivendo sua vida em paz.

Àqueles que não citei, peço desculpas, pois não foi intencional, foi pura falta de memória e muito, muito cansaço.

“O Que não nos mata nos torna fortes”

(Friedrich Wilhelm Nietzsche)

“A Esperança é a última que morre, mas um dia morre.”

(Sergio Henrique da Costa)

<u>Sumário</u>	
<u>Lista de Tabelas</u>	07
<u>Lista de Figuras</u>	09
<u>Lista de Símbolos</u>	16
<u>Resumo</u>	17
<u>Abstract</u>	18
1. <u>INTRODUÇÃO.</u>	19
1.1 A energia e a sociedade	19
1.2 As Usinas Hidrelétricas	25
1.3 O trabalho desenvolvido	27
2. <u>OBJETIVOS</u>	29
2.1 Objetivos gerais	29
2.2 Objetivos específicos	29
3. <u>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	30
3.1 Introdução	30
3.2 O problema da mortalidade de peixes	30
3.3 Eletro sensibilidade	37
3.4 Barreiras Elétricas	38
3.5 Método dos Elementos Finitos	43
4. <u>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</u>	45
4.1 Escolha das espécies do estudo	45
4.1.1 Características do <i>pacu</i>	45
4.1.2 Características do curímba	48
4.1.3 Características do mandi amarelo	50
4.2 Projeto de uma bancada para estudo da influência de barreiras elétricas sobre peixes	52
4.2.1 Bancada de eletro sensibilidade	52
4.2.2 Parâmetros básicos para o projeto	56
4.2.3 O projeto do sistema de descarga elétrica em peixes	57
4.2.4 Bancada do canal de de sucção	65
4.3 Procedimentos de ensaios com peixes	70
4.3.1 Ensaios com placas externas	70
4.3.2 Ensaios com par de eletrodos circulares de alumínio	71

4.3.3 Ensaio de eletro sensibilidade	76
4.3.3.1– Ensaio Preliminares	76
4.3.3.2– Ensaio Biométricos	78
4.3.4– Ensaio de Resistividade do mandi	79
4.3.4.1 Calculo da Resistividade do Peixe.	79
4.3.4.2 Obtenção da Resistividade do Peixe Vivo.	79
4.3.4.3 Resistividade da água	82
4.3.4.4 Resistividade do Mandi	82
4.3.4.5 Resistência interna do Mandi	87
4.3.5 Ensaio avançados de eletrosensibilidade.	90
4.3.5 Ensaio com Barreira em anéis.	91
<u>5 RESULTADOS</u>	94
5.1 Ensaio com placas externas	94
5.2 Ensaio com eletrodos circulares imersos na água	94
5.3 Simulação da barreira de eletrodos circulares e de placas	98
5.4 Eletro sensibilidade Curimba e Mandi	108
5.5 Ensaio Biométricos	109
5.6 Resistividade do Pimelodus maculatus	113
5.7 Resistividade Interna do peixe	115
5.7.1 Medição fora da água	115
5.7.2 Medição dentro da água	120
5.8 Densidade de corrente	124
5.9 Testes de eletrosensibilidade	126
5.9.1 Testes de 1000Hz pulsada, onda quadrada.	127
5.9.2 Testes de 1000Hz senoidal.	129
5.9.3 Testes de 60Hz senoidal.	130
5.10 Simulação de Barreira de Anéis	131
5.10.1 Simulação com cinco anéis	132
5.10.2 Simulação da barreira de dois anéis	134
5.11 Ensaio preliminares da barreira de Anéis	137
<u>6 DISCUSSÃO DE RESULTADOS</u>	139
<u>7 CONCLUSÕES</u>	
<u>8 BIBLIOGRAFIA</u>	151

Lista de Tabelas

Tabela 1.1, Produção de energia Hidráulica no Brasil.	21
Tabela 4.1, Cálculo da resistividade da água	82
Tabela 4.2, Cálculo da resistência R_{a1}	85
Tabela 4.3, Cálculo das resistências R_{a2} e R_{a3} .	85
Tabela 4.4, Cálculo da resistência R_{a4} .	86
Tabela 4.5, Cálculo resistividade do Mandi amarelo.	87
Tabela 5.1, Resultados da primeira medição com eletrodos circulares de alumínio, teste com corrente contínua.	95
Tabela 5.2, Resultados dos testes preliminares de confinamento de peixes no canal de teste	96
Tabela 5.3, Resultados da medição, com eletrodos Imersos em canal de teste.	99
Tabela 5.4, Tensão aplicada sobre o peixe quando este se aproxima da barreira de forma ortogonal, (paralelo às paredes do canal).	102
Tabela 5.5, Tensão aplicada sobre o peixe em posição longitudinal a barreira (perpendicular a parede do canal).	104
Tabela 5.6, Testes biométricos com mandis.	110
Tabela 5.7, Testes biométricos com mandis relação peso por comprimento	113
Tabela 5.8, Testes de resistividade do mandi.	113
Tabela 5.9, Testes de resistividade do mandi fora da água dados medidos.	115
Tabela 5.10, Testes de resistividade do mandi fora da água tensões nos eletrodos	116
Tabela 5.11 – Tensão do mandi fora da água, calculo da resistividade e área líquida de condução de corrente	117
Tabela 5.12 – Tensão do mandi dentro da água	119
Tabela 5.13, Testes de resistividade do mandi dentro da água, tensões nos eletrodos	120
Tabela 5.13, Testes de resistividade do mandi dentro da água,	121

tensões nos eletrodos.

Tabela 5.14, Cálculo da resistência em relação à posição.	122
Tabela 5.15, Cálculo da resistividade do peixe imerso em água.	123
Tabela 5.16, Densidade de corrente sobre peixe imerso em água.	124
Tabela 5.17, Ensaio de tensão pulsada, onda quadrada.	127
Tabela 5.18, Resultado de seletividade da barreira elétrica	138

Lista de Figuras

Figura 1.1, Comparação de geração de eletricidade entre fontes, Hidráulica e Térmicas. Dados coletados do Balanço Energético Nacional 2006.	21
Figura 1.2, Comparação crescimento de geração de eletricidade entre fontes, Hidráulica e Térmicas. Dados coletados do Balanço Energético Nacional 2006.	22
Figura 1.3, Peixes dentro do tubo de sucção, Fonte própria	27
Figura 3.1, Problemas de passagem de peixes por turbinas (CADA 2001).	34
Figura 3.2, Secção transversal de canal com barreira elétrica do tipo grade energizada, para contenção de peixes, muito utilizada na China e Ásia em geral. Fonte própria.	39
Figura 3.3, barreira elétrica do tipo grade energizada, para contenção de peixes, muito utilizada na China e Ásia em geral fonte própria	39
Figura 3.4, Circuito referente à barreira construída pela Smith Root. Ref (catálogo eletrônico da Smith Root)	40
Figura 3.5, barreira construída pela Smith Root. Ref (catálogo eletrônico da Smith Root)	41
Figura 3.6, Barreira de Root instalada no tubo de sucção de uma UHE. Ref (catálogo eletrônico da Smith Root)	42
Figura 3.7, Barreira de Root instalada a montante, tomada D'água da usina.(catálogo eletrônico da Smith Root)	42
Figura 3., Barreira para tubarões	43
Figura 4.1 , Pacus na Natureza,:(Fonte : Damian John Harper 05/05/2003.)	47
Figura 4.2 , Pacu Caranha. (Fonte : ARQUIVO SEMATUR, Cáceres-MT)	48
Figura 4.3 curímba. (Vaz et all, 2000).	50
Figura 4.4 Mandi amarelo (Instituto de Pesca de São Paulo).	52
Figura 4.5, Projeto do canal de teste com placas paralelas.	53
Figura 4.6, Circuito equivalente, do aquário de teste, Fonte própria.	53

Figura 4.7, Circuito equivalente, do aquário de teste, Fonte própria	54
Figura 4.8, Bancada de eletro sensibilidade, (Fonte própria)	55
Figura 4.9, Distribuição do gradiente de tensão na seção de teste.	55
Figura 4-10, Distribuição de tensão	56
Figura 4.11, Tubo de sucção de uma turbina e seção proposta do canal de teste.	57
Figura 4.12, Canal de testes com as placas emissoras de campo elétrico.	58
Figura 4.13, Foto do canal implantado no laboratório.	58
Figura 4.14 – Posicionamento dos eletrodos dentro do canal em estudo e Diagrama da fonte de tensão de testes.	61
Figura 4.15, Distribuição de tensão entre cada par de eletrodos	61
Figura 4.16 – energização de par de eletrodos.	62
Figura 4.17 – energização de pares de eletrodos.	62
Figura 4.18, barreira de eletrodos cuja tensão é dividida em áreas menores.	63
Figura 4.19 – Modelo 2D do canal para simulação no Gmsh e GetDP.	64
Fig. 4.20. Malha gerada pelo Gmsh.	65
Figura 4.21, Foto do canal de testes e manutenção de peixes.	65
Figura 4.22, Projeto em CAD do tubo de sucção, em escala reduzida.	66
Figura 4.23, Molde pronto para revestimento com fibra de vidro.	67
Figura 4.24. Vista lateral do modelo do tubo de sucção.	67
Figura 4.25, Vista do modelo do tubo de sucção.	68
Figura 4.26, Vista da estrutura interna do modelo do tubo de sucção.	68
Figura 4.27, Vista de uma das janelas de acrílico instaladas no modelo do tubo de sucção.	69
4.28, Tubo de sucção terminado.	69
Figura 4.29, Individuo mantidos em cativeiro para fins de experimentos laboratoriais.	70
Figura 4.30, Posicionamento dos eletrodos dentro do canal em	71

estudo.

Figura 4.31- Botoeira de seleção de eletrodos.	72
Figura 4.32, Figura que mostra processo de confinamento.	73
Figura 4.33, Canal com eletrodos complementares.	74
Figura 4.34, Pacus em confinamento por barreira elétrica	75
Figura 4.35, Botoeira idealizada para energizar cada par com a mesma tensão.	75
4.36 – Pesagem o Curimba.	76
4.37, Medição da curimba	77
Figura 4.38, Medição de curimba por foto digital com papel milimetrado .	77
Figura 4.39, Medição de mandi por com papel milimetrado	78
Figura 4.40, Modelo do canal de teste preenchido com água e com água e peixe	80
Figura 4.41- Foto do canal de teste preenchido com água	80
Figura 4.42, Foto do canal de teste preenchido com água + peixe.	80
Figura 4.43, Foto do canal de teste e medição.	81
Figura 4.44,Relação tensão corrente para o sistema água e o sistema água peixe.	81
Figura 4.45, modelo CC do sistema formado pela porção de água contida entre as placas.	82
Figura 4.46, modelo CC do sistema formado pela porção de água mais peixe contida entre as placas.	83
Figura 4.47, modelo CC do sistema formado pela porção de água mais peixe contida entre as placas.	83
Figura 4.48, modelo CC do sistema formado pela porção de água em série com a porção água mais peixe.	84
Figura 4.49, modelo CC do sistema formado pela porção de água em paralelo com a porção água mais peixe.	85
Figura 4.50, modelo CC do sistema formado pela porção de água em paralelo com o peixe.	86
Figura 4.51, Modelo CC do peixe	86
Figura 4.52, Esquema de montagem de eletrodos dentro do peixe	88

Figura 4.53, Esquema de montagem de eletrodos dentro do peixe, com o peixe imerso em água.	89
Figura 4.54, Esquema de montagem de eletrodos dentro do peixe com o mesmo dentro da água	89
Figura 4.55, Detalhe dos eletrodos dentro do peixe.	90
Figura 4.56, Detalhe dos eletrodos dentro do peixe, visto de cima.	90
Figura 4.57, Bancada com barreira distribuída	92
Figura 4.58, Peixes passando normalmente pela barreira desenergizada	93
Figura 5.1, esquema elétrico do ensaio com eletrodos circulares de alumínio, representados pelas letra B B´.	95
Figura 5.2, Canal de teste, Com par de eletrodos cilíndricos centrais [A A´].	98
Figura 5.3, Canal de teste, Com par de eletrodos cilíndricos centrais [A A´], vista do todo e de cima, formulação para simulação.	100
Figura 5.4, Distribuição do módulo do campo elétrico entre os eletrodos [A A´].	100
Figura 5.5, Distribuição do campo elétrico entre os eletrodos [A A´].	101
Figura 5.6, Distribuição do campo elétrico entre os eletrodos [A A´]. As linhas determinam o potencial e as cores de violeta a azul determinam o campo elétrico.	101
Figura 5.7, Distribuição do Potencial Elétrico entre os eletrodos [A A´].	102
Figura 5.8 – Peixe se aproximando da barreira de forma ortogonal	102
Figura 5.9 – Peixe se aproximando da barreira de forma longitudinal a barreira.	103
Figura 5.10– Diferença de potencial que o peixe fica exposto quando posicionado longitudinalmente a barreira.	104
Figura 5.11, Configuração da barreira composta por dez fios, a cor violeta mostra o potencial maior (50V), e a cor azul mostra o menor potencial (5V)	105

Figura 5.12 Comportamento do potencial dentro do canal de ensaio, para simulação a dez eletrodos circulares.	106
Figura 5.13, Comportamento do potencial dentro do canal de ensaio, para simulação a 4 placas .	107
Figura 5.14, Comportamento do potencial dentro do canal de ensaio, para simulação a 9 placas.	107
Figura 5.15, Ábaco de reação da curimba.	108
Figura 5.16, Eletro sensibilidade dos mandis por comprimento	109
Figura 5.17, Eletro sensibilidade dos mandis por peso.	109
Figura 5.18, Relação massa por volume, ensaio com duzentos indivíduos.	111
Figura 5.19, Relação massa por comprimento, ensaio com duzentos indivíduos	111
Figura 5.20, Comportamento da corrente que atravessa o peixe depende diretamente da porção de água em série com o mesmo.	114
Figura 5.21, Comportamento da corrente que atravessa o peixe à medida que a resistividade da água aumenta.	114
Figura 5.22, Comportamento do campo elétrico sobre o peixe à medida que a resistividade da água aumenta.	115
Figura 5.23, Medição da resistência do mandi fora da água.	116
Figura 5.24, Medição da resistência interna do mandi fora da água.	117
Figura 5.25, Medição da resistência interna do mandi fora da água.	118
Figura 5.26, Medição ponto a ponto da área líquida de passagem de corrente pelo corpo do peixe.	119
Figura 5.27, Medição ponto a ponto da Resistência Interna do Peixe, tomando como referência a cabeça.	119
Figura 5.28, Resistência entre as placas do canal de teste com o mandi inserido dentro do canal.	120
Figura 5.29, Resistência apresentada pelo Mandi dentro da água.	121
Figura 5.30, Resistência ao longo Mandi dentro da água, partindo da cabeça como referência	122
Figura 5.31, Comportamento da área líquida de passagem de corrente do peixe dentro da água .	123

Figura 5.32, Comportamento densidade de corrente do mandi, por comprimento.	125
Figura 5.33, Comportamento da densidade de corrente do mandi em relação ao peso	125
Figura 5.34, Comportamento densidade de corrente do mandi normalizada.	126
Figura 5.35, Comportamento densidade de corrente do mandi por peso.	128
Figura 5.36, Comportamento densidade de corrente do mandi por comprimento.	128
Figura 5.37, Comportamento densidade de corrente do mandi normalizada.	129
Figura 5.38, Comportamento do mandi sobre campo 1000hz senoidal, em relação ao comprimento	129
Figura 5.39, Comportamento do mandi sobre campo 1000hz senoidal em relação ao peso	130
Figura 5.40, Comportamento do mandi sobre campo 1000hz senoidal normalizada.	130
Figura 5.41, Comportamento do mandi sobre campo 60hz senoidal em relação ao comprimento.	131
Figura 5.42, Comportamento do mandi sobre campo 60hz senoidal em relação ao peso.	131
Figura 5.43, Resultado de simulação da barreira elétrica composta por cinco anéis com energização intercalada, campo elétrico.	132
Figura 5.44, Resultado de simulação da barreira elétrica composta por cinco anéis com energização intercalada, distribuição de tensão.	133
Figura 5.45, Resultado de simulação da barreira elétrica composta por cinco anéis com energização intercalada, distribuição de tensão e de campo elétrico sobrepostos.	133
Figura 5.46, Efeito da fuga de potencial para concreto.	135
Figura 5.47, Gráfico da superfície de Campo elétrico(em colorido) gerado pela barreira em condição ótima e da distribuição da	135

tensão(em preto e branco) da resposta dada pela otimização.	
Fonte (programa criado por Braga, H.N.)	
Figura 5.48, Distribuição do campo elétrico na barreira de dois anéis. Visão 2D de metade da vista superior .	136
Figura 5.49, Distribuição do campo elétrico na barreira de dois anéis. Visão 2D de metade da vista superior.	136
figura 5.50, Simulação da barreira de anéis no canal de ensaio da figura	137
Figura 6.1, Hemorragias causadas por eletro-choque.(J. F. SCHREER, 2004)	140
Figura 6.2, Fraturas causadas por eletro-choque .(J. F. SCHREER, 2004)	140
Figura 6.3, Comparação entre Eletrosensibilidades, Mandi e Curimba.	141
Figura 6.4, Fuga do campo elétrico para o concreto.	142
Figura 6.5, Barreira com campo elétrico escapando pelas laterais.	143
Figura 6.6, Campo elétrico dentro do canal contido pela isolação.	144
Figura 6.7, Potência entregue ao peixe em 60 Hz.	146
Figura 6.8, Eletro sensibilidade do Mandi a 60 Hz e 1000Hz senoidais	147
Figura 6.9, Eletro sensibilidade do Mandi a 60 Hz senoidal e 1000Hz pulso quadrado .	148
Figura 6.10, Eletro sensibilidade do Mandi a 60 Hz e 1000Hz senoidais	149

Lista de Símbolos

ϕ – potencial elétrico

\vec{E} – vetor campo elétrico.

\vec{J} – vetor densidade de corrente elétrica.

ρ – densidade volumétrica de carga.

σ – condutividade elétrica do meio.

ε – permissividade elétrica do meio.

ω – frequência angular.

R_a , Resistência da água pura.

R_{ap} , Resistência água + peixe.

L_c , Comprimento do canal de teste.

X_c , Largura do canal.

Y_c , nível de água utilizado.

$R\hat{o}a = (R_a X_c Y_c) / L_c$, resistividade da água.

L_p , Comprimento do peixe.

$La1 = L_c - L_p$, Comprimento da porção de água em série.

$A1 = X_c Y_c$, Área da seção reta da porção série.

$Ra1 = R\hat{o}a(La1/A1)$, Resistência série.

V_p , Volume do peixe.

$A_p = (V_p/L_p)$, Área líquida do peixe.

$Y_p = \text{raiz}(A_p)$, Largura do peixe média.

$X_p = \text{raiz}(A_p)$, Altura do peixe média.

$La2 = La3 = L_p$, Comprimento das partes laterais.

$Xa2 = Xa3 = (X_c, X_p) / 2$, Largura das partes laterais.

$Ya2 = Ya3 = Y_c$, Altura das partes laterais.

$Ra2 = Ra3 = R\hat{o}a(La2/(Xa2 Ya2))$, Resistência das partes laterais.

$La4 = L_p$, Comprimento da parte superior ao peixe.

$Xa4 = x_p$, Largura da parte superior ao peixe.

$Ya4 = Y_c - Y_p$, Altura da parte superior ao peixe.

$Ra4 = R\hat{o}a(La4/(Xa4 Ya4))$, Resistência da parte superior ao peixe.

$R_{pr} = (R_{ap} - Ra1)$ – Resistência total paralela junto com o peixe.

$R_p = 1 / ((1/R_{pr}) - (1/Ra2) - (1/Ra3) - (1/Ra4))$, Resistência do peixe.

$R\hat{o}p = R_p(X_p Y_p / L_p)$, Resistividade do peixe.

RESUMO

Este trabalho foi focado no estudo da influência de campos elétricos como solução não intrusiva para contenção de peixes nas máquinas hidráulicas. Para isso foi realizado o levantamento de eletro-sensibilidade de espécies brasileiras migratórias, que compõem a bacia do Rio Grande e São Francisco. Esses estudos mostram que peixes reagem à aplicação de campo elétrico de forma diferenciada por espécie e tamanho. Foram obtidas assim curvas de reação à aplicação de campo elétrico, determinando por espécies, o nível de tensão necessário para repelir e paralisar indivíduos. Este trabalho tem grande importância do ponto de vista prático, pois o inconveniente causado por telas e grades não ocorre com o uso de barreira elétrica, já que a mesma não oferece obstáculo à passagem do fluxo de água. Portanto para verificar a viabilidade do uso de campo elétrico na tubulação de restituição com objetivo de evitar a mortalidade de peixes, gerou-se um modelo matemático que com a utilização de cálculo numérico de campos elétricos, permitiu a simulação de diferentes configurações, buscando de forma otimizada, uma solução que ao mesmo tempo fosse segura para os peixes e eficiente para usina. Com os resultados obtidos das simulações computacionais foi construído um protótipo em escala reduzida seguindo o perfil do tubo de sucção, apresentando resultados satisfatórios que mostram a viabilidade do seu uso para repulsão de peixes nas usinas hidrelétricas e em outras áreas de risco.

ABSTRACT

The objective of this work was study influence of the electric fields influence as solution for containment fish in the hydraulic machines. For this the survey of electro-sensitivity of migratory Brazilian species was carried through, that compose the basin of the rivers Grande and São Francisco. These studies show that fish react of form differentiated for species and size, to the application of electric field. Curves of reaction to the electric field show, determining for species, the levels of voltage necessary to repel and to paralyze fishes. This work has great importance of the practical point of view, therefore the inconvenience caused for screens and gratings does not occur with the use of electric barrier, since the same one does not offer obstacle to the pass of the water flow. Therefore to verify the viability of the use of electric field in the draft tube with objective to prevent the mortality of fish, a mathematical model that with the use of electric fields numerical calculation, allowed the simulation of different configurations, searching of optimized form was generated, a solution that at the same time was insurance for the fish and efficient for plant. With the gotten results of the computational simulations an archetype in reduced scale was constructed following the profile of the draft tube, presenting resulted satisfactory that show to the viability of its use for repulsion of fish in the hydroelectric plants and other risk areas.

1. INTRODUÇÃO

1.1 A energia e a sociedade

A sociedade atual está passando por um momento de sua história onde a obtenção de energia se tornou o alvo central das atenções do mundo. Isso porque o desenvolvimento é alavancado por energia, o que gera o maior conflito dos nossos tempos, conservação ambiental versus desenvolvimento mundial. Os recursos naturais estão se esgotando a uma velocidade alarmante, para tentar manter o modelo sócio econômico vigente, pressionando os limites do planeta.

Espera-se que o conflito entre ambientalistas e o setor produtivo leve a população mundial a um desenvolvimento sustentável onde a sociedade consiga seu tão almejado crescimento sem exaurir os recursos naturais.

Ao mesmo tempo em que isso é um problema ambiental mundial, o momento é propício para o desenvolvimento de novas tecnologias de produção de energia, produção de alimentos e obtenção de água potável.

Países emergentes como China e Brasil tem suas esperanças depositadas no setor produtivo, e esse, só pode se desenvolver se houver energia disponível. Esse processo de crescimento, uso de energia e aumento de consumo tem sido relacionado a mudanças climáticas no planeta como o aquecimento da atmosfera terrestre.

O aquecimento da atmosfera terrestre é um fenômeno natural resultante da interação dos processos naturais de entrada de radiação eletromagnética entre o sol (fonte geradora de radiação infravermelha e luz visível, radiação ultravioleta) e a emissão de radiação térmica do planeta terra (corpo receptor, dissipador e refletor da energia recebida da fonte geradora).

A intensificação das atividades produtivas industriais e agrícolas, a partir da revolução industrial, proporcionou o aumento da emissão de determinados gases para a atmosfera, que interagem a nível molecular com a radiação térmica emitida para a Terra. A este fenômeno foi dado o nome de Aquecimento Global. Mais tarde, devido à similaridade do processo que acontece com a atmosfera do planeta Terra e das estufas construídas pelo homem no cultivo de plantas e alimentos, este fenômeno foi chamado de

Efeito Estufa, embora os processos físicos não sejam exatamente iguais nos dois casos.

O consumo de combustíveis fósseis tem sido um dos maiores e polêmicos problemas atuais. Seu consumo tem sido relacionado com o aquecimento global e constantemente é colocado em pauta a sua substituição por energias menos agressivas ao meio ambiente, ou energias renováveis.

O maior problema de sua substituição é garantir o fornecimento de energia em grande escala por 24 horas diárias com uma taxa de descontinuidade pequena.

Isso faz com que fontes alternativas de energia como eólicas e solares sejam consideradas como inviáveis nessa substituição, ocupando um lugar secundário, ou seja, fontes de energia que ajudem a fonte primária em fornecer os pacotes energia necessários ao setor produtivo.

No Brasil e em muitos outros lugares o modelo de energia baseado na Hidroeletricidade foi o escolhido por parte do setor produtivo. A construção de barragens brasileiras teve seu primeiro impulso em meados do século XIX, com a construção de açudes para acumulação de água e abastecimento, principalmente no Ceará. Já em fins daquele século, um novo impulso era dado a obras de contenção, desta vez com a finalidade primordial de gerar hidroeletricidade para atendimento das necessidades crescentes do parque industrial, iluminação pública e consumo doméstico.

Na década de 70, foi intensificado no Brasil o modelo de geração de energia a partir de grandes barragens. Usinas Hidrelétricas são construídas atualmente (2009) em todo o país, projetos são levados adiante com o objetivo principal de gerar eletricidade para as indústrias chamadas de eletrointensivas, e para a crescente economia nacional, que passava pelo chamado milagre brasileiro.

No Brasil, em 2005, cerca de 44,5% da Oferta Interna de Energia (**OIE**) teve origem em fontes renováveis, enquanto que no mundo essa taxa é de 13,2% e nos países membros da OECD, Organização para Economia, Cooperação e Desenvolvimento, é de apenas 6,1%. Do total de 44,5% da OIE Brasileira, 14,8% correspondem à geração hidráulica e 29,7% a outras fontes renováveis. Os 55,5% restantes da OIE vieram de fontes fósseis e

outras não renováveis. A tabela 1 apresenta a evolução da produção e do consumo de energia hidrelétrica no Brasil entre os anos de 1970 e 2005.

Tabela 1.1, Produção de energia Hidráulica no Brasil .

ENERGIA HIDRÁULICA	UNIDADE: GWh					
FLUXO	1970	1975	1985	1995	2000	2005
PRODUÇÃO	39.801	72.287	178.375	253.905	304.403	337.457
CONSUMO TOTAL	39.801	72.287	178.375	253.905	304.403	337.457
TRANSFORMAÇÃO	39.801	72.287	178.375	253.905	304.403	337.457
GERAÇÃO PÚBLICA	38.414	70.387	175.334	250.456	298.563	325.053
GERAÇÃO DE AUTOPRODUTORES	1.387	1.900	3.041	3.449	5.840	12.404

Dados coletados do Balanço Energético Nacional 2006.

Essa característica, bastante particular do Brasil, resulta do grande desenvolvimento do parque gerador de energia hidrelétrica desde a década de 50 e de políticas públicas adotadas após a segunda crise do petróleo, ocorrida em 1979, visando a redução do consumo de combustíveis oriundos dessa fonte e dos custos correspondentes à sua importação, à época, responsáveis por quase 50% das importações totais do País. A figura 1.1 mostra a participação da geração térmica e hidráulica no Brasil no período compreendido entre 1975 e 2005.

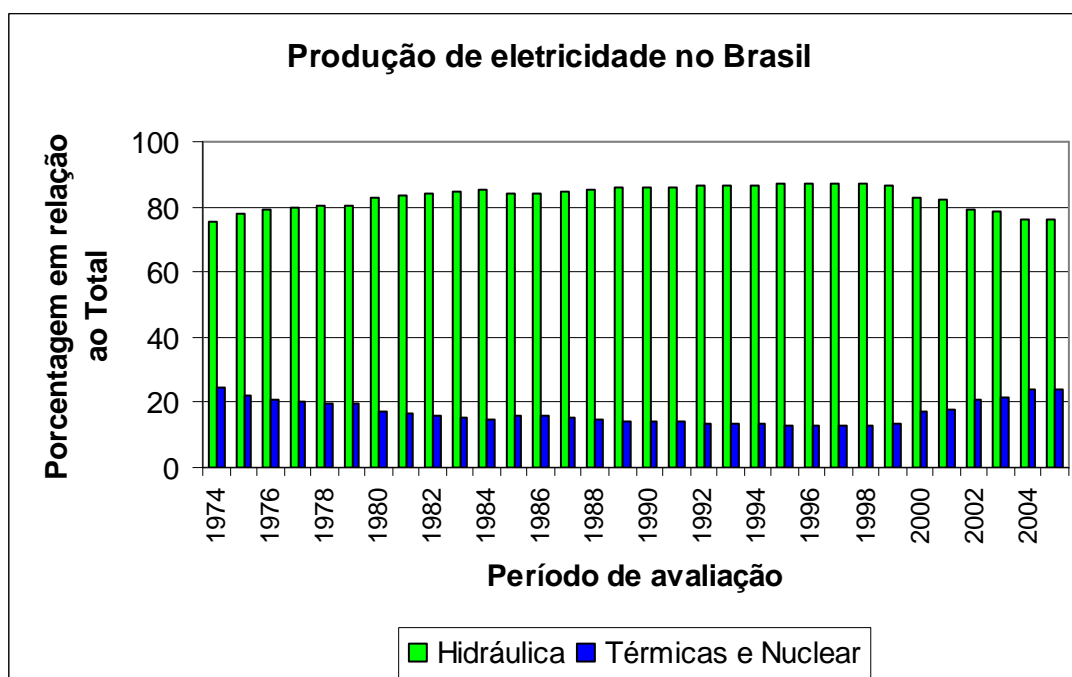


Figura 1.1, Comparação de geração de eletricidade entre fontes, Hidráulica e Térmica. Dados coletados do Balanço Energético Nacional 2006.

A indústria de energia elétrica também desenvolveu tecnologias no campo da construção e operação de grandes centrais hidrelétricas, bem como na operação de sistemas de transmissão a grandes distâncias e em corrente contínua. O parque gerador de eletricidade foi aumentado de 11 GW em 1970 para 30,2 GW em 1979, alcançando 93,2 GW em 2005. A capacidade instalada hidráulica, de 71,5 GW, representa um pouco mais de 27% do potencial hidrelétrico brasileiro total. A figura 1.2 mostra a evolução da produção de energia elétrica no Brasil entre 1974 e 2005.

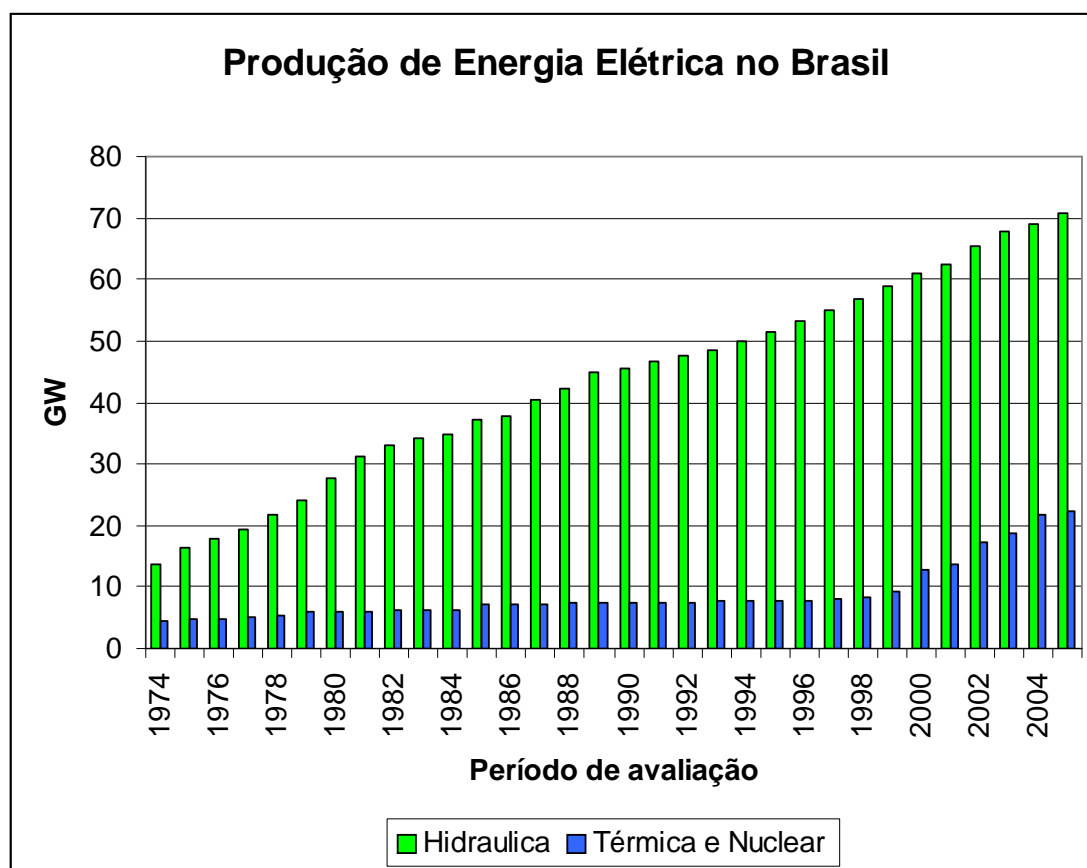


Figura 1.2, Comparação crescimento de geração de eletricidade entre fontes, Hidráulica e Térmicas. Dados coletados do Balanço Energético Nacional 2006.

Porém grandes hidrelétricas significam construção de grandes barragens, que por sua vez geram alguns problemas sócio-ambientais.

Hidrelétricas emitem quantidades significativas de gases de efeito estufa, pela liberação dióxido de carbono oriundo da decomposição aeróbica de biomassa de floresta morta nos reservatórios que projeta fora da água, e

pela liberação de metano oriundo da decomposição anaeróbica de matéria não-lignificada, (Philip M. Fearnside, INPA 1995 e Santos, M. A. 2000, UFRJ).

A maior parte do metano é emitido pela água que passa pelas turbinas e pelo vertedouro. Emissões pela superfície da represa, que é o único componente do impacto atualmente incluído nas estimativas oficiais brasileiras, é uma parte relativamente pequena do impacto total (Philip M. Fearnside 1995 – INPA e Santos, M. A. 2000, UFRJ).

Como exemplo pode-se citar o que ocorre quando se abre uma garrafa de refrigerante e vê-se as bolhas minúsculas que imediatamente emergem do líquido. O gás (neste caso gás carbônico) é dissolvido na água, que compõe a maior parte do refrigerante. A solubilidade do gás é mais alta sob pressão na garrafa fechada do que é quando ela é aberta, o resultado do princípio químico conhecido como a Lei de Henry, que estabelece que a solubilidade de um gás em um líquido é diretamente proporcional à pressão parcial do gás. No caso de água liberada do fundo de uma coluna de água de uma represa hidrelétrica o efeito de pressão age em conjunto com o efeito de temperatura, porque o aquecimento da água também reduz a solubilidade de gás (o Princípio de Le Chatelier) (Duchemin, E.; Lucotte, M.; Canuel, R. 1995). O efeito de liberação de pressão é grande e imediato, mas há uma demora curta para a ação do efeito do Princípio de Le Chatelier até chegar a um novo equilíbrio de temperatura.

A diferença de pressão entre uma garrafa de refrigerante fechada e aberta é pequena quando comparada à pressão no fundo de um reservatório hidrelétrico. À aproximadamente 10 m de profundidade a pressão e temperatura impedem a mistura de água e a difusão de metano (CH_4) para a superfície (Duchemin, E.; Lucotte, M.; Canuel, R. 1995). Na medida que a profundidade aumenta na coluna de água, a concentração de CH_4 aumenta.

Quando a água emerge das turbinas, a pressão abaixa imediatamente até o nível de uma atmosfera, e espera-se que a maioria do gás dissolvido seja liberada imediatamente. Por exemplo, quando amostras de água são trazidas do fundo de um reservatório até a superfície em um frasco de amostragem, a água espuma como refrigerante quando o frasco é aberto e Gases liberados deste modo incluem o CO_2 e o CH_4 . Embora presente em quantidades menores, é o CH_4 que faz com que o impacto de represas

hidrelétricas seja uma preocupação como contribuinte ao efeito estufa (Philip M. Fearnside 1995, INPA e Santos, M. A. 2000, UFRJ).

O metano também é liberado no percurso da água pelo vertedouro, onde a liberação de gás é provocada não somente pela mudança em pressão e temperatura, mas também pela provisão súbita de uma área de superfície vasta quando a água é pulverizada em pequenas gotas. O vertedouro em forma de salto de esqui é projetado para maximizar a oxigenação no rio a jusante da barragem, mas o outro lado desta moeda é a liberação imediata do metano contido na água (Philip M. Fearnside 1995, 1997, 2001, 2002, INPA e Santos, M. A. 2000, UFRJ).

A escolha do método usado para calcular a liberação de metano em barragens de usinas é crítico para as conclusões alcançadas: se o método escolhido não indicar uma liberação real de gases, a conclusão apropriada pode não ser a de que não há nenhuma liberação, mas sim que simplesmente tem-se olhado no lugar errado. Por exemplo, Rosa *et al.* (1997,1999, 2004) tratam as emissões de gases pelas turbinas e vertedouros como sendo desprezíveis, baseado em medidas de fluxos de superfície feitas desde vários centenas de metros até vários dezenas de quilômetros a jusante da barragem de Petit Saut.

Infelizmente para o ambiente, a liberação do gás da água que emerge das turbinas deve ocorrer em alguns segundos, assim como as bolhas liberadas por uma garrafa de refrigerante. O fato que pouco ou nenhum metano ainda esteja sendo liberado mais adiante rio abaixo é irrelevante (Santos, M. A. 2000 – UFRJ). A quantidade de metano liberada nas turbinas e no vertedouro é melhor calculado por meio de diferença, baseado na concentração de CH₄ na água à profundidade da tomada d'água das turbinas atrás da barragem e a concentração na água no rio a jusante da barragem. Porque o novo equilíbrio é alcançado rapidamente quando a água emerge das turbinas, não há tempo para bactérias reduzirem o CH₄ em CO₂ antes do gás ser liberado para a atmosfera. Uma alternativa para minimizar esse efeito seria remover toda massa vegetal que seria alagada antes da inundação para que esse problema não ocorresse.

Há de se ater também sobre a acumulação de sedimentos. Os afluentes dos rios não despejam somente água em seu leito. Coliformes

fecais, mercúrio, cádmio, cromo, chumbo, amônia, ferro, manganês, fenóis, óleos, graxas, arsênio, lixo (garrafas plásticas, sacolas, embalagens diversas), compõem o desolador cenário de suas bacias. Todo esse lixo e sedimentos, produzidos pelo mau uso dos recursos naturais, viajam pelo rio e acumulam em Barragens. O problema então se agrava, visto que a concentração de tais metais pesados acumulado em barragens chega a um alto grau de toxicidade. Com o assoreamento das barragens e sua diminuição de capacidade energética, esses dejetos deverão ser eliminados. Com isso a contaminação e envenenamento da água no curso do rio inferior a barragem se torna um fato triste e passível de acontecer (Chella M. R. 1; Ota J. J., Povh P. H., 2003).

A construção de grandes barragens também gera o transtorno de desalojar e conseqüentemente deslocar para outros lugares a população que tinha suas propriedades dentro da área a ser inundada pela água. Isso acarreta um processo de indenização e de recomposição social que nem sempre possuem finais felizes, para ambas as partes (Dalberto D. M., 2005)

1.2 As Usinas Hidrelétricas

As barragens hidrelétricas constituem-se em obstáculo para o deslocamento dos peixes ao longo dos rios. Muitas espécies de peixes possuem o hábito de se movimentar ao longo dos mesmos, durante todo ou uma parte do ano. Os motivos que levam essas espécies a essa movimentação podem ser reprodutivos, alimentares e outros que ainda não foram explicados (Agostinho, A.A., Julio Jr. H. F., Borghetti, J. R., 1999).

É sabido também que peixes são atraídos por águas turbulentas, ou fluxo turbulento que indicam o caminho a ser seguido dentro do rio. Com a construção de barragens esse caminho, antes desimpedido, encontra-se bloqueado por uma grande estrutura que impede tanto a subida quanto a descida de indivíduos (Vibert, 1967b; Halsband and Halsband, 1975, 1984; Hartley, 1990).

Quando a barragem é construída para fins de geração de energia elétrica esse problema se torna ainda maior, pois o fluxo da água turbinada

atrai os peixes para o canal de fuga e, na busca de uma via para ultrapassar a barragem, muitos penetram pelo tubo de sucção das máquinas.

Durante as paradas do grupo gerador para manutenção ou durante as operações do síncrono, que são rotinas corriqueiras em usinas hidrelétricas, os peixes atraídos ficam aprisionados dentro da tubulação, podendo ocorrer grande mortandade de peixes.

Nessas condições freqüentemente é exigida intervenção imediata, como remoção ou aeração, para evitar a mortalidade

Durante as paradas do grupo gerador para manutenção ou durante as operações do síncrono, que são rotinas corriqueiras em usinas hidrelétricas, os peixes atraídos ficam aprisionados dentro da tubulação, podendo causar grande mortandade. O reinício do funcionamento do grupo gerador nas operações de síncrono pode ocasionar a morte de peixes em quantidades expressivas, tanto por danos mecânicos como por variações bruscas de pressão (Larinier Michel, 2000; CADA 1997).

As mortalidades de peixes provocadas dessa forma são consideradas dano à fauna tanto pela legislação federal (e.g., Lei de Crime Ambientais, Lei 9.605 de 13/02/1998) quanto pela estadual (e.g., lei da pesca de Minas Gerais, Lei 14.181 de 17/01/2002) e, portanto, sujeita a penalidades (Decreto 3.179, regulamenta Lei de Crimes Ambientais, 21 de setembro de 1999).

A figura 1.3 mostra uma situação onde os peixes adentram em uma turbina via tubo de sucção.

Conter a entrada de peixes na tubulação de restituição ou expulsá-los quando necessário são alternativas para evitar a mortalidade. Barreiras físicas, como telas ou grades, provocam perda de carga e de geração, e pode causar um efeito de empuxo axial na máquina elevado. Desta forma, via de regra, elas não são utilizadas.

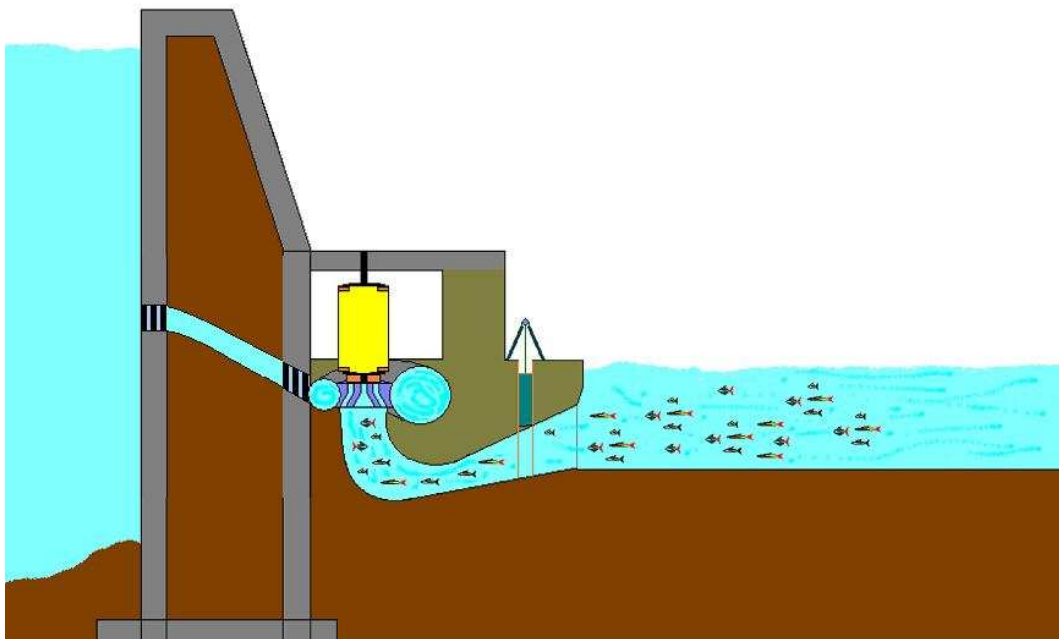


Figura 1.3, Peixes dentro do tubo de sucção, Fonte própria

Estudos de eletro-sensibilidade mostram comprovadamente, a mais de meio século, a capacidade de atrair e afugentar peixes com utilização de campo elétrico. A aplicação de campo elétrico é capaz de conduzir, repelir e até paralisar o indivíduo (Vibert, 1967b; Halsband and Halsband, 1975, 1984; Hartley, 1990).

1.3 O trabalho desenvolvido

Este trabalho foi focado no estudo da influência de campos elétricos como solução não intrusiva para contenção de peixes nas máquinas hidráulicas. Para isso foi realizado o levantamento da eletro-sensibilidade de espécies brasileiras migratórias, que compõem a bacia do Rio Grande e São Francisco. Esses estudos mostram que peixes reagem à aplicação de campo elétrico de forma diferenciada por espécie e tamanho. Obtiveram-se assim curvas de reação à aplicação de campo elétrico, determinando por espécies, o nível de tensão necessário para repelir e paralisar indivíduos.

Este trabalho tem grande importância do ponto de vista prático, pois o inconveniente causado por telas e grades não ocorre com o uso de barreira

elétrica, já que a mesma não oferece obstáculo à passagem do fluxo de água. Portanto para verificar a viabilidade do uso de campo elétrico na tubulação de restituição com objetivo de evitar a mortalidade de peixes, montou-se em laboratório protótipo de barreira elétrica em escala reduzida para a realização de testes. Realizando os testes preliminares de funcionamento.

Visto que as grandezas vetoriais envolvidas, como campo elétrico e densidade de corrente, são de difícil medição bem como visualização de suas distribuições ao longo da estrutura que compõe a barreira e suas imediações fez-se necessário a utilização de cálculo numérico de campos elétricos, permitindo a simulação de diferentes configurações, buscando de forma otimizada, uma solução que ao mesmo tempo seja segura para os peixes e eficiente para usina.

Com os resultados obtidos das simulações computacionais foi construído um protótipo em escala reduzida seguindo o perfil do tubo de sucção, apresentando resultados satisfatórios que mostram a viabilidade do seu uso para repulsão de peixes nas usinas hidrelétricas e em outras áreas de risco.

2 OBJETIVOS:

2.1 Objetivos gerais:

Esta pesquisa tem como objetivo geral estudar a influência de campos elétricos em peixes. O trabalho será direcionado de forma a se pesquisar preferencialmente as espécies predominantes nos rios Brasileiros, especialmente nos rios do Estado de Minas Gerais. A partir do conhecimento da influência de campos elétricos em peixes apresenta-se uma proposta de uma barreira elétrica para impedimento de peixes em turbinas hidráulicas.

2.2 Objetivos específicos:

Os objetivos específicos desse projeto são:

- Identificar as espécies preferenciais para estudo.
- Pesquisar a intensidade do campo elétrico para as espécies selecionadas.
- Pesquisar a influência dos seguintes fatores na eletrosensibilidade dos peixes:
 - Forma de onda;
 - Intensidade de corrente;
 - Freqüência;
 - Tensão aplicada;
 - Projetar um equipamento protótipo que possa utilizado em uma máquina hidráulica em laboratório e posteriormente instalado em campo.
- Verificar a eficiência do equipamento em laboratório e em campo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Introdução

O comportamento de peixes na presença de eletricidade é um assunto largamente estudado em todo o mundo. Esse comportamento é relacionado com o que chamamos de eletro sensibilidade. Os trabalhos realizados no Instituto de Ciências biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais (Pimentel-Souza 1973) apresentam o estudo de eletro transmissão e eletro recepção em peixes da família dos Gymnotoidei. Como os peixes de água doce estão imersos em água, que é um condutor pobre, mas é condutor, e como todos os seres vivos dissipam alguma corrente elétrica, ao menos como uma espécie de escapamento dos processos internos (Pimentel-Souza 1973), este sinal de pequena amplitude é usado pelos peixes eletro receptivos (peixes capazes de detectar a presença de campos elétricos) para encontrar a presa. Deste modo é possível utilizar o meio, água doce, como veículo de corrente elétrica para afugentar, guiar, ou capturar peixes, (Vibert, 1967b; Halsband and Halsband, 1975, 1984). Logo este trabalho teve como foco inicial o estudo da resposta de peixes de água doce, frente a um campo elétrico controlado. A esta capacidade de responder a um campo elétrico aplicado à água chamamos de eletro sensibilidade.

Em seguida foram analisados trabalhos voltados para pesca elétrica em todo o mundo, principalmente nos países da América do Norte onde a prática é largamente difundida (Lamarque, P. 1990). Bem como o uso barreiras elétricas para contenção de cardumes em canais abertos na América do Norte, Europa e Ásia e contenção de cardumes em criatórios comerciais na China.

3.2 O problema da mortandade de peixes nos diversos Países

Dentre os grandes desafios relacionados com a implantação de uma hidrelétrica tem-se que considerar os impactos de ordem ambiental. Um dos grandes problemas está relacionado com a passagem rio acima e a jusante de peixes e animais. Estas migrações são imperativos ecológicos para

populações de animais, criando a necessidade por sistemas de passagem de peixe eficientes e sistemas que evitem a mortandade dos mesmos durante os eventos de passagem pelas barragens de hidrelétricas.

As populações dos peixes são altamente dependentes das características do habitat aquático que suporta todas suas funções biológicas. Esta dependência é marcante nos peixes migratórios que requerem ambientes diferentes para as fases principais de seu ciclo de vida que são reprodução, produção dos alevinos, crescimento e maturação sexual.

Muitas espécies de peixes de água doce realizam migração. Essas migrações são bastante complexas, e possuem características diferentes em determinados grupos. A mais simples consiste no deslocamento dos adultos entre as áreas de alimentação e a de reprodução. Algumas espécies apresentam migrações mais complexas por incluírem em seu percurso até a área de refúgio. A migração é denominada reprodutiva quando os peixes envolvidos se deslocam em direção à área de reprodução. A migração alimentar é aquela que ocorre em direção à área de alimentação (Andrade, P. M.1 & Braga, F. M. S, 2004). A direção da migração, se para jusante (descendente) ou para montante (ascendente), depende da espécie envolvida e das condições locais. A migração reprodutiva, por exemplo, pode tanto ser descendente quanto ascendente (Bell, M.C. 1991).

No Brasil, a piracema é fenômeno mais comum e se caracteriza pela migração reprodutiva de jusante para montante. Os peixes de piracema são os que mais sofrem com a construção de barragens. Apesar de toda essa importância, aspectos básicos do comportamento e ecologia de várias delas ainda permanecem desconhecidos (Hahn, L & Agostinho, A. 2004).

Tornou-se habitual classificar peixes de acordo com sua capacidade de lidar durante determinados estágios de seu ciclo de vida com águas de salinidades diferentes (McDowall R. M., 1988): O ciclo de vida inteiro da espécie *potadromous* ocorre dentro de água doce em um rio. As zonas da reprodução e da alimentação podem ser separadas pelas distâncias que podem variar de alguns metros até centenas de quilômetros, como a *Piramutaba* brasileira que percorre 3.000 Km do Brasil ao Peru para realização da desova. O ciclo de vida da espécie *diadromous* ocorre em parte em água doce e em parte marinha, com distâncias de até diversos milhares

dos quilômetros entre as zonas de reprodução e as zonas de alimentação. Dois grupos diferentes podem ser distinguidos na categoria de espécie diadromous (Larinier M., 2000).

- espécie *anadromous* (por exemplo salmões), cuja a reprodução ocorre em água fria com a fase crescente no mar.

- as espécies de *Catadromous* (por exemplo enguia) têm o ciclo de vida reverso.

Há aproximadamente 8.000 espécies dos peixes que vivem em água doce e em uns 12.000 mais ou menos que vivem no mar; e há aproximadamente 120 espécies que se movem regularmente entre os dois (McDowall R. M., 1989).

O problema da migração de peixes à jusante está relacionado principalmente com a mortalidade que pode acontecer pela passagem dos peixes pelas turbinas, embora a passagem por cima de vertedouros também pode ser um problema. O uso de dispositivos para solucionar este problema é relativamente novo. Os primeiros relatórios que descrevem as tentativas ou aplicações de tais dispositivos datam de aproximadamente 50 anos atrás. Porém, só nos últimos 15 anos é que o uso deles realmente tornou-se efetivo principalmente por pressão de agências governamentais (Larinier M., 2000).

Os dispositivos têm como finalidade a transposição das espécies de peixes migratórias que necessitam viajar pelo rio como uma parte importante de seu ciclo de vida. Diversos dispositivos que foram instalados operam somente durante períodos da migração dos peixes enquanto só uma parte deles está permanentemente em funcionamento. A cobrança das agências governamentais que são responsáveis para autorizar projetos hidrelétricos e requerem medidas de ação (isto é dispositivos de migração), varia de acordo com o país, província ou o estado, (Therrien J. & Bourgois G. 2000).

Mesmo que a passagem dos peixes através de uma turbina possa causar a mortalidade, sua magnitude e impacto sobre as populações ainda não estão corretamente estimados. De fato, a passagem dos peixes pode afetar um número pequeno ou elevado dos peixes dependendo das características da turbina e do local, e de acordo com a espécie dos peixes. Frequentemente a estimativa da mortalidade varia de acordo com o método usado para calcular o impacto causado. (Bell, M.C. 1990.)

Para turbinas de baixa queda e baixa rotação, a passagem de peixes de montante para jusante pode ocorrer de forma que não ocorra uma interferência substancial na migração. Já em turbinas de alta velocidade ou instalações em grandes quedas o efeito da passagem de peixes pela turbina pode causar inúmeros ferimentos e lesões sobre os peixes, impossibilitando desta forma a migração. Neste caso se faz necessário o uso de dispositivos de transposição de peixes.(Cada, G.F. 1997.)

No caso de passagem de peixes por turbinas de montante a jusante podem ocorrer inúmeros ferimentos e lesões (Cada 1990; Cada G.F. 1997). O contato dos peixes com as partes da turbina podem causar ferimentos e escoriações, como remoção de escamas e parte da pele (passagem pela abertura entre a lâmina e o cubo). O problema da mudança brusca de velocidade da água dentro da turbina e a criação de vórtex podem literalmente rasgar os peixes (Sotiropoulos and Jones, 2002). Ainda tem-se o problema da variação de pressão que pode tornar-se negativa (sub pressão) ou ainda pode alcançar valores até três vezes a pressão de referência, causando potencial ruptura da bexiga natatória. O teste padrão usual envolve um aumento (dobro) na pressão durante a fase de entrada de água, uma diminuição rápida (mais ou menos de 1/3 em menos de 3 segundos) durante a passagem na turbina, e um segundo aumento (3 vezes e mais) na fase da descarga. A cavitação, que é causada pela criação das bolhas do gás em um líquido, por uma redução na pressão abaixo da pressão do vapor, que implode, e pode causar vários ferimentos aos peixes. (Cada 1990; Cada 1993, Ruggles e Collins 1980).

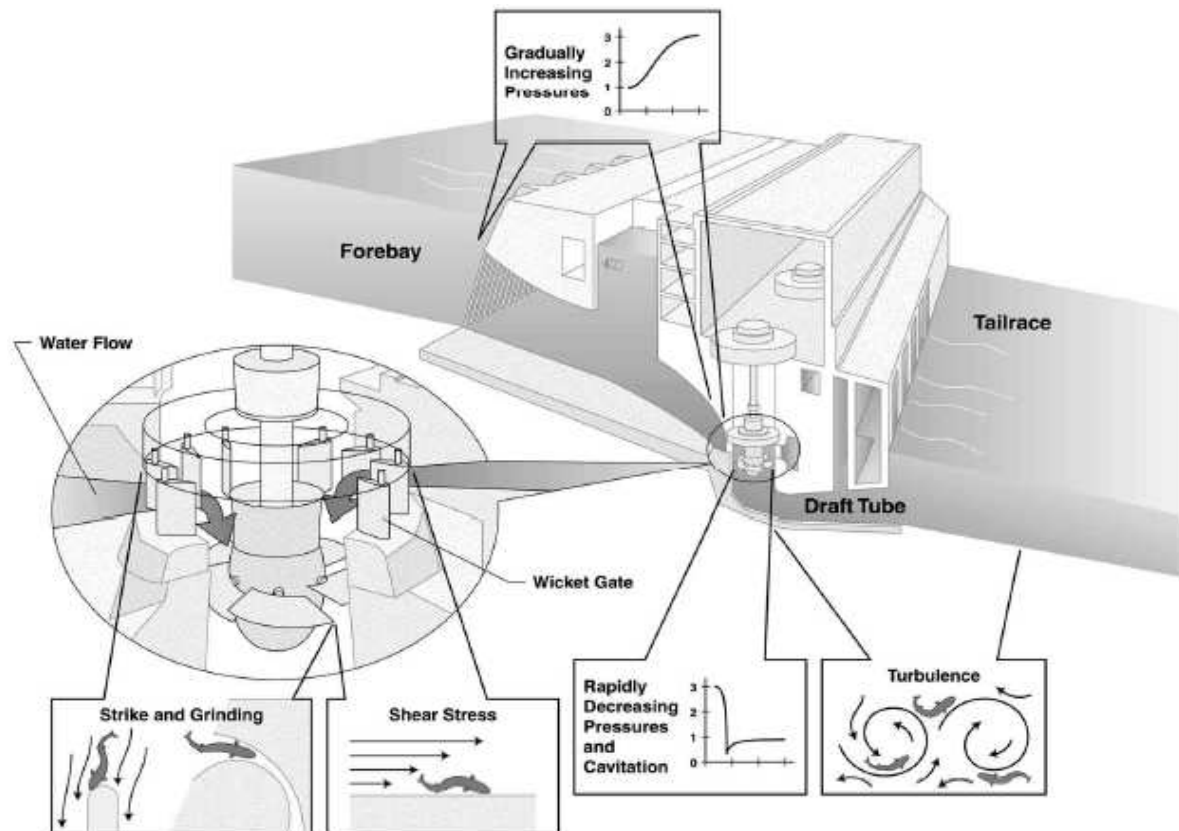


Figura 3.1, Problemas de passagem de peixes por turbinas (CADA 2001).

As variações da pressão ou da velocidade podem ocorrer em qualquer lugar durante a passagem dos peixes, mas os contatos e a cavitação ocorrem somente em áreas específicas, em superfícies pequenas, e podem ser evitados no projeto e pelo ajuste da turbina (Cada, 1990, BELL, M.C. 1981). A probabilidade de mortalidade dos peixes induzida por contatos com peças da turbina é mais elevada para peixes maiores. Os testes da sobrevivência conduzidos durante a passagem através de uma turbina Francis para uma espécie diferente dos peixes de vários tamanhos demonstraram um aumento na proporção dos peixes que exibem marcas do contato, quando o tamanho excede 300 milímetros (Matousek et al., 1994). Este valor do tamanho pode variar dependendo das características da turbina e do local (velocidade de rotação, número das lâminas, etc.). Ao mesmo tempo, a quantidade de peixes que entram na turbina é mais elevada em cardumes de peixes menores. Uma revisão de 40 casos estudados por (Winchell et al., 1992) mostra que 90 % dos peixes que invadem a área da turbina eram menores que 200 milímetros, para qualquer espécie e qualquer tipo de turbina.

Das experiências feitas com salmonídeos, o golpe das pás da turbina ocorrem principalmente os peixes com peso superior a 20 g (Turnpenny, 1998^a e 1999). A probabilidade do contato aumenta quando a turbina não está na melhor faixa de eficiência, tal como indicado por diversos autores e descrito em duas experiências (Haddering e Bakker, 1998). Os ferimentos mecânicos relacionados foram relatados como a causa dominante de mortalidade dos peixes na descida pela turbina.

Os danos relacionados à variação de pressão aos peixes ocorrem raramente em quedas abaixo de 18 m, mas são significativos em quedas acima de 30 m, considerando uma queda livre uniforme sem turbina (Franke et al., 1997).

A implosão relacionada à cavitação pode danificar os tecidos que recobrem os peixes como acontece com o rotor da turbina, embora os peixes possam ser mais resistentes do que as peças da turbina, para testes com uma energia baixa (Turnpenny e Everard, 1999). A cavitação parece ser a causa mais freqüente da mortalidade (Cada, 2001; Ruggles e Collins, 1980) indicaram também a cavitação como a causa principal da mortalidade, exceto nas situações onde a probabilidade do contato é mais elevada. Esta probabilidade é determinada pelo projeto da turbina e pelo tamanho dos peixes.

A cavitação é mínima quando a turbina opera na condição nominal, ou seja no seu ponto de máxima eficiência. Uma taxa mais elevada da mortalidade foi observada nas turbinas que não funcionam na capacidade total (Taylor and Kynard, 1985), ou seja, como a cavitação aumenta quando a turbina está operando com baixa capacidade, os efeitos sobre os peixes que passam pela turbina também aumenta. Outras circunstâncias influenciam a cavitação como zonas gerais ou locais de pressão baixa, zonas de velocidade elevada, mudanças abruptas no sentido de fluxo, aspereza de superfície da lâmina, pressão atmosférica, e índice do ar na água (U.S. Army Corps of Engineers, 1995 *in* Cook 1997).

A mortalidade latente pode resultar de feridas externas (os peixes estão indicando cicatrizes óbvias), e internas (hemorragias, ruptura da bexiga da natatória, embolia gasosa, fraturas, etc.). Essas feridas internas são freqüentemente difíceis de detectar sem autópsias. Da mesma forma os

problemas geralmente relacionados ao stress, desorientação ou fatores similares são geralmente muito difíceis de detectar ou mesmo demonstrar, já que a mortalidade é ligada frequentemente a uma susceptibilidade mais elevada à predação, ou seja, peixes atordoados ou machucados são mais fáceis de serem caçados por predadores.

Os tipos dos ferimentos induzidos por passagem pela turbina foram documentados por diversos autores (Munro, 1965; Eicher et al., 1987; Larinier e Dartiguelongue, 1989; Cook et al., 1997; Franke et al., 1997; Turnpenny, 1998^a e 1999) e segundo estes autores, os ferimentos são agrupados de acordo com sua origem (mecânica ou não), ou ainda pelo seu tipo, externos ou internos. Estas duas classificações são equivalentes; os ferimentos causados por fatores mecânicos são geralmente externos. Alguns autores adicionam uma categoria separada para os ferimentos induzidos por vórtice e variações de velocidade. Os ferimentos externos incluem fraturas, mutilações, contusões, lacerações, abrasão, opérculos rasgados e lesões dos olhos (do olho vermelho à remoção completa), causados pelo contato com a turbina ou pelas forças de cisalhamento induzidas por diferenças na velocidade da água. A segunda categoria cobre os ferimentos internos, tais como hemorragias externas (os olhos, a base dos opérculos) e internos, a ruptura da bexiga natatória, e a embolia gasosa, que são causados principalmente por variações de pressão e por cavitação. Perda substancial de muco externo, embora não considerado como um ferimento pode ser prejudicial e conduzir à morte por infecções por fungos, e fica evidente em casos de stress causados por batida da lâmina de corte (Turnpenny, 1998a). A probabilidade da batida depende em parte do peso dos peixes e é relacionada à possibilidade do mesmo ser varrido de lado pela água que se move em torno da lâmina (Turnpenny, 1994 e 1998a). Para salmonídeos com menos de 20 g, esta probabilidade é somente 1.2 %, 37 % para peixes entre 20-200 g, e alcança 47 % para peixes acima de 200 g (Turnpenny, 1998^a, 1993).

Os estudos compilados por Jean Therrien e Gilles Bourgeois atestam que : “Em geral a mortalidade causada por passagem pela turbina indicam as taxas de mortalidade que variam de 0 a 100 % para turbinas Francis (Bell et al., 1967, 1972, 1991 e Ruggles e Collins, 1980; Bell, 1990; Turbak et al., 1981; Montén, 1985; Dartiguelongue e Larinier, 1987; Eicher et al., 1987;

Dartiguelongue, 1988; Larinier e Dartiguelongue, 1989; Mills, 1989; Winchell et al., 1992; Larinier, 1992a). No geral a taxa de mortalidade está raramente abaixo de 10 % (Eicher et al., 1987). A taxa de mortalidade está dentro da faixa de 0 a 90 % em turbinas de hélice, mas varia geralmente de 5 % a 20 %, com um valor médio de 15 % (Eicher et al., 1987; Larinier e Dartiguelongue, 1989; Larinier, 1992a). As turbinas de hélice incluem as turbinas Kaplan, os grupos de bulbo e Kaplan horizontal sabidos como "turbinas tubulares". Incidentalmente, as turbinas do grupo de bulbo são muito promissoras, os poucos estudos indicam que a mortalidade é mais baixa sendo de 10 % para salmonídeos (Winchell et al., 1992). Para outros tipos da turbina (isto é crossflow, Pelton, etc.), a velocidade de rotação elevada e a configuração do fluxo induzem uma taxa de mortalidade que alcança praticamente 100 % em todos os casos “.

3.3 Eletro-sensibilidade.

Trabalhos desenvolvidos na China (com carpas), Estados Unidos e Canadá (salmão e truta) durante a década de noventa estudaram o comportamento de peixes sob a ação de campos elétricos.

A reação apresentada pelos peixes depende diretamente do tipo de campo aplicado, AC ou DC e sua intensidade e duração (Wang, 1995).

Segundo (Wang, 1995) no que diz respeito a aplicação de campos DC os peixes apresentam três tipos de comportamento, de acordo com a intensidade do campo aplicado indo do menor para o maior, como relacionado abaixo:

1º reação inicial ou de sensibilidade: é caracterizado por uma leve agitação quando o peixe é exposto ao campo, corresponde ao nível de reação cuja intensidade do campo é a menor.

2º reação de direcionamento ou taxamento: é caracterizado por apresentar uma intensidade de campo maior que a anterior, de sensibilidade. Nela os peixes apresentam uma característica de orientação pelo campo aplicado chamado de eletrotaxes. Neste nível o peixe se alinha em direção ao anodo da fonte de campo. Este limiar é utilizado na pesca elétrica, onde o

cardume é orientado por um campo dentro dos níveis de eletrotaxes e depois aturdido com um pulso de intensidade maior.

3º reação de paralisia ou aturdido: é o estágio onde o peixe apresenta paralisia completa ou parcial dos movimentos, mantendo apenas a respiração e demais funções vitais. Este estágio corresponde ao limiar de campo máximo suportável pelo indivíduo. Correntes acima deste limiar fazem com que o peixe não sobreviva.

Para o caso de aplicação de campos elétricos alternados (AC), o comportamento apresentado é o mesmo mostrado acima, porém para aplicação AC, o peixe não apresenta comportamento de direcionamento ou eletrotaxes.

O limiar das três reações varia com a espécie de peixe, comprimento e peso, e condições apresentadas pela água como condutividade e temperatura.

3.4 Barreiras Elétricas

Em vários lugares do mundo se utilizam barreiras elétricas para afugentar e/ou conter peixes dentro de uma determinada área. As barreiras elétricas são uma herança da pesca elétrica (eletrofishing) técnica criada em meados do século 19 e utilizada por biólogos e pescadores desde a mais de 50 anos, para captura, controle, e estudo de exemplares de peixes, principalmente Trutas e Salmons da América do Norte (Vibert, 1967b).

Muitas barreiras Elétricas são utilizadas na China para conter peixes dentro de uma determinada área, principalmente em criações de peixes. Estas grades eletrificadas como mostra a figura 3.2 são utilizadas desde o meio da década de oitenta para evitar que peixes do mar avancem para a água doce e que os peixes dos rios avancem para dentro dos canais de irrigação. Em algumas áreas são utilizadas para separar espécies de peixes incompatíveis.

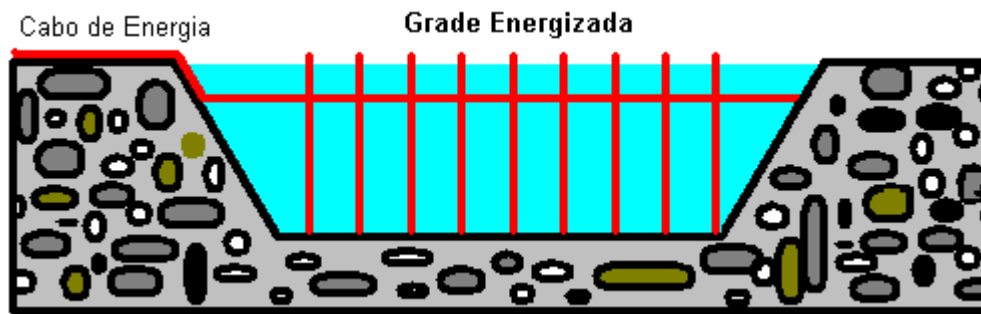


Figura 3.2, Secção transversal de canal com barreira elétrica do tipo grade energizada, para contenção de peixes, utilizada na China e Ásia em geral – Baseada em Wang, 1995.

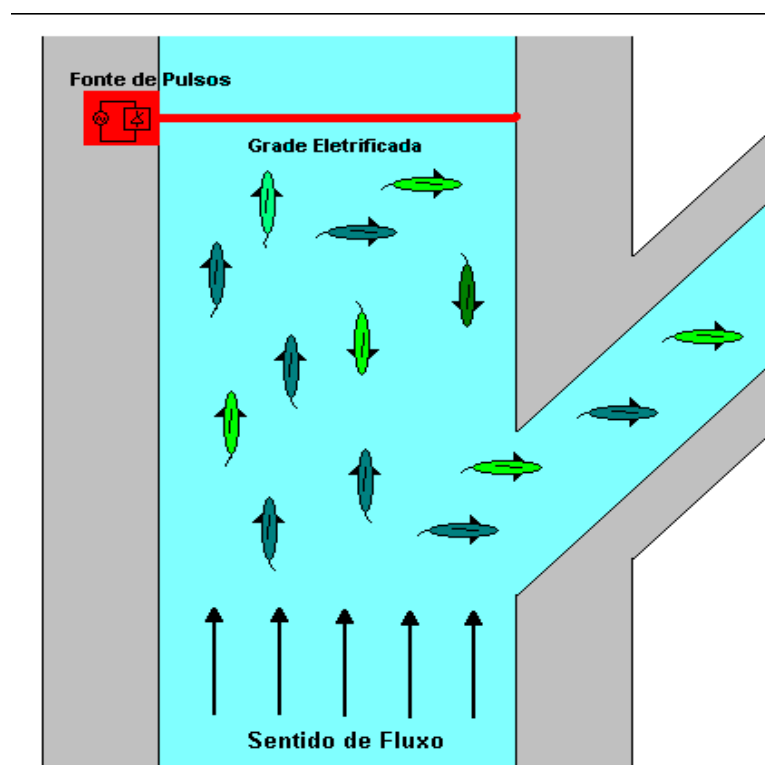


Figura 3.3, Barreira elétrica do tipo grade energizada, para contenção de peixes, utilizada na China e Ásia em geral, Baseada em Wang, 1995.

Essas barreiras possuem um cabo que energiza a grade com altos valores de tensão, no limiar acima da paralisia, para evitar que os peixes se aproximem da grade. E quase sempre trabalham com corrente CC chaveada em forma de pulsos de pequena duração.

Possuem o inconveniente de se sujarem com freqüência, fazendo com que folhas e galhos, e em muitos casos lixo de todos os tipos, trazidos

pelo fluxo d'água se prendam à grade. Isso faz com que a eficiência e durabilidade da barreira seja muito reduzida, sendo que em muitos casos a grade é destruída devido a elevadas vazões causadas por cheias repentinas, ou mesmo pelo fluxo normal que encontra, na sujeira da barreira, um obstáculo à sua passagem.

Uma empresa Canadense, chamada Smith Root Inc., possui uma patente na América do Norte (Smith Root, US Patent 4750451, Jun. 14, 1988) sobre barreiras elétricas. Eles fornecem barreiras elétricas e equipamentos de pesca elétrica. A barreira montada pela Smith Root é composta por eletrodos dispostos no fundo do canal de passagem de peixes e possui uma energização gradual com o objetivo de distribuir o campo elétrico de forma gradual. A figura a seguir (Figura 3.4) apresenta um esquema do circuito da barreira elétrica pela Smith Root.

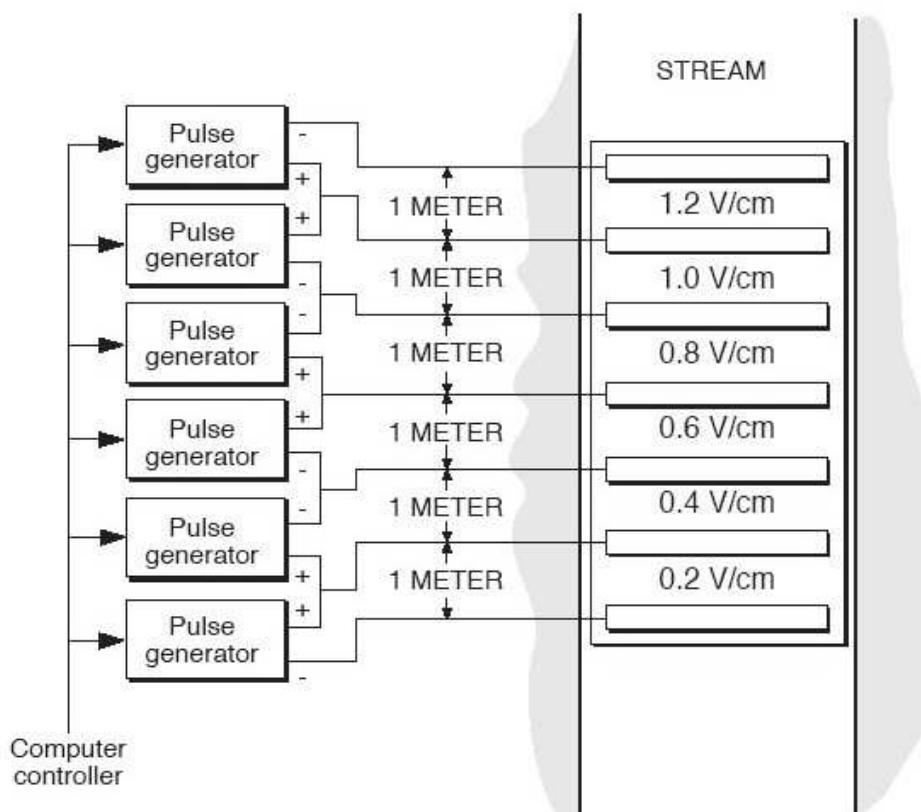


Figura 3.4, Circuito referente à barreira construída pela Smith Root.

Ref (Smith Root, US Patent 4750451, Jun. 14, 1988)

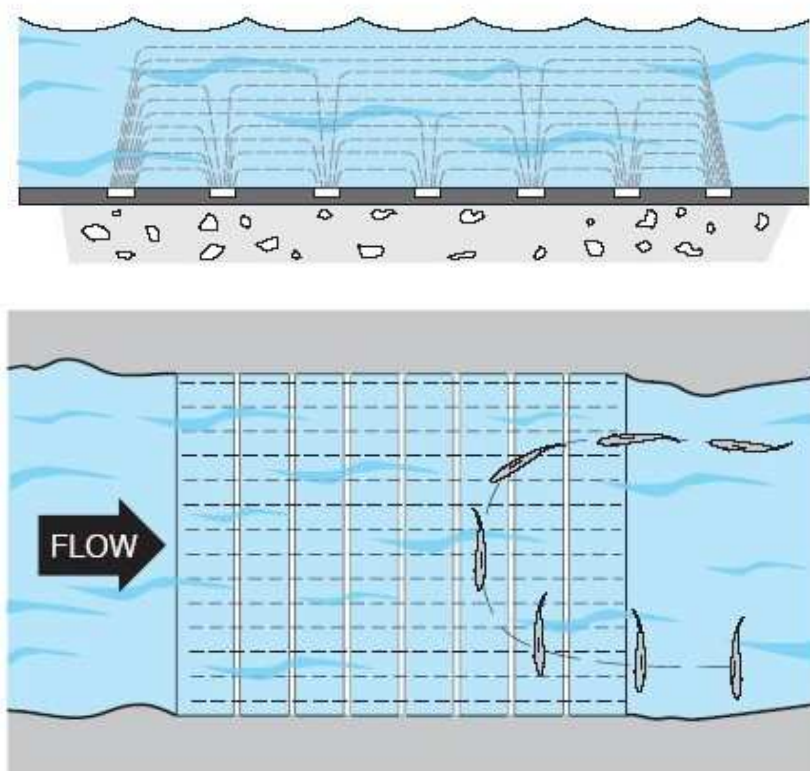


Figura 3.5, Barreira construída pela Smith Root. Ref (Smith Root, US Patent 4750451, Jun. 14, 1988)

O princípio de funcionamento da barreira de Root é simples. Um campo elétrico gradual e disposto de forma tal que o peixe, ao se aproximar da barreira, fica aturdido e é expulso da área pelo fluxo de água, voltando ao estado normal (saindo da paralisia) quando este está completamente fora da barreira elétrica.

Esta barreira é utilizada para canais abertos e ao contrário da barreira chinesa não obstrui o fluxo d'água.

Para evitar a entrada de peixes em tubos de sucção a Smith Root apresenta uma solução baseada na construção de uma tubulação forçada prolongando o comprimento do tubo de sucção e instalando eletrodos, da forma apresentada na figura 4, dentro da tubulação forçada. Porém isso se torna inviável em grandes usinas, devido à grande força exercida pelo fluxo e o alto preço envolvido na realização do empreendimento.

A Figura 3.6 mostra a instalação que é utilizada pela Smith Root para conter a entrada de peixes nas máquinas elétricas.

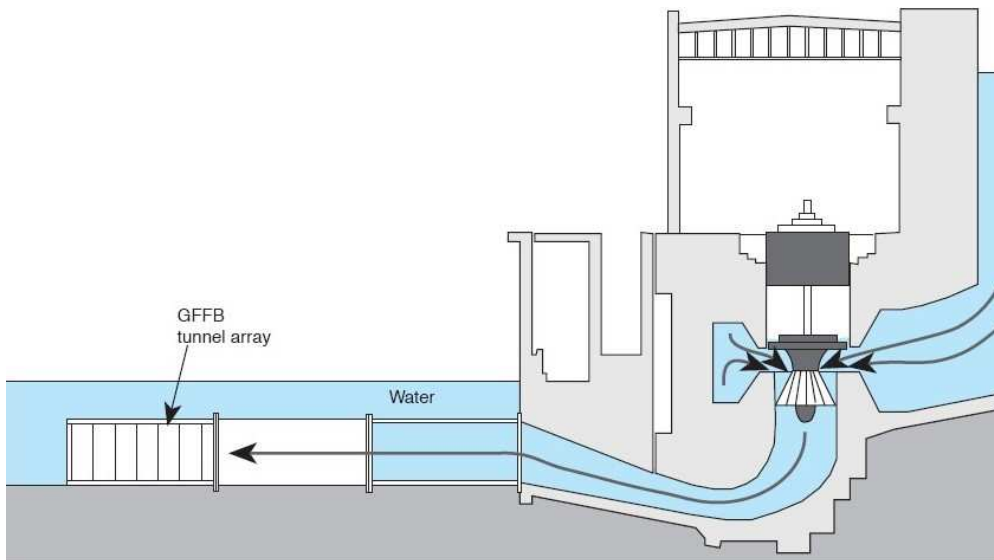


Figura 3.6, Barreira de Root instalada no tubo de sucção de uma UHE. Ref (Smith Root, US Patent 4750451, Jun. 14, 1988)

A barreira de Root trabalha com tensão contínua pulsada, com níveis de tensão que chegam a 2.000 volts. A Tensão de passo na região da barreira torna esse tipo de instalação perigosa para operadores do sistema e para pescadores desavisados.

A Smith Root também oferece barreiras que evitam a descida do peixe pela máquina como mostra a figura 3.7.

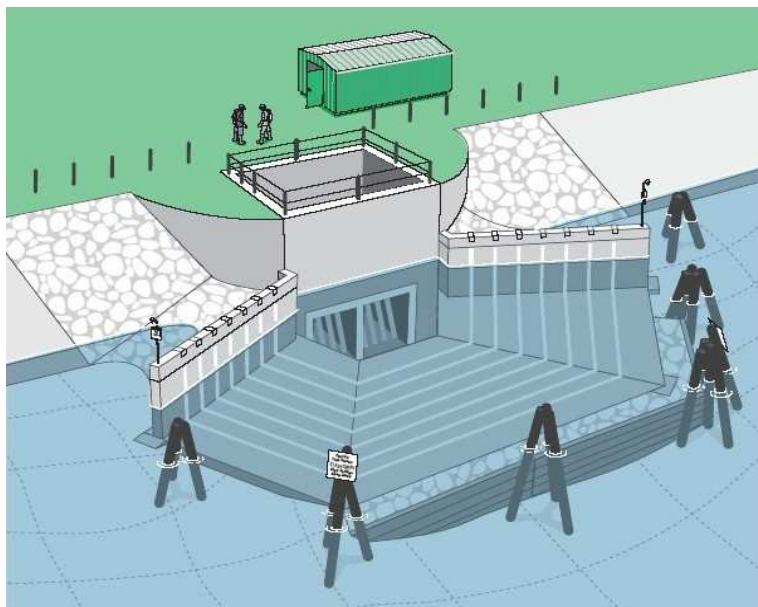


Figura 3.7, Barreira de Root instalada a montante, tomada D'água da usina. (Smith Root, US Patent 4750451, Jun. 14, 1988)

Existe também uma barreira elétrica contra tubarões, que evita o encontro desnecessário do invasor banhista com o morador local o tubarão.



Figura 3.8, Barreira para tubarões, (Ref Ciência Ilustrada , Tubarões 1995)

3.5 Método dos Elementos Finitos.

Muitos problemas reais em engenharia possuem uma equação de difícil solução analítica. Diante deste problema, várias técnicas numéricas surgiram, e com o advento dos computadores elas puderam ser amplamente utilizadas (Gmsh, 2006).

O método em estudo neste trabalho é o Método dos Elementos Finitos (MEF). O Método de Elementos Finitos (MEF) é uma técnica numérica para obtenção de soluções aproximadas para problemas de valor de contorno da matemática-física. O método tem uma história de aproximadamente 50 anos. Ele primeiro foi proposto nos anos 40, mas seu uso começou nos anos 50 para produção de aeronaves.

O método parte do princípio que o domínio em estudo deve ser decomposto ou discretizado em pequenas regiões chamadas “elementos finitos”. Uma formulação matemática adequada é aplicada a cada um dos elementos do domínio e o conjunto de soluções relativas a cada elemento nos fornece a solução global do problema.

Os métodos numéricos não nos fornecem uma solução exata para o problema, mas se usados de forma correta pode-se obter uma solução satisfatória, próxima da solução real, podendo ser desconsiderado o erro entre elas. A precisão desejada do MEF dependerá da discretização da geometria do domínio.

Neste trabalho, o MEF foi utilizado para solucionar problemas tridimensionais de distribuição de campo elétrico e potencial. A superfície em estudo foi discretizada de diferentes maneiras para observarmos a importância da qualidade das malhas para a obtenção de resultados satisfatórios. Para tal, foi utilizado o software Gmsh (www.geuz.org/gmsh).

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para realização dos estudos sobre barreiras elétricas foram formadas duas frentes de pesquisa:

- Eletrosensibilidade.
- Projeto de uma Barreira elétrica.

Para a construção de uma barreira elétrica é necessário ter conhecimento sobre os limites de absorção de choque por parte dos peixes envolvidos, sua resposta aos níveis de tensão quanto a amplitude e frequência, geometria da barreira elétrica (forma da distribuição de campo elétrico na água), parâmetros da água como condutividade e temperatura. Depois de uma análise detalhada destes parâmetros pode-se determinar se uma barreira está dentro dos limites aceitáveis ou não. Os limites aceitáveis são : Expulsão de um peixe de uma determinada área de risco sem colocar sua vida em risco de forma proposital.

4.1 Escolha das espécies do estudo

Visando testar os procedimentos de estudo sobre eletrosensibilidade optou-se por utilizar o Pacu, "*Piaractus mesopotamicus*" , para os testes iniciais. Isso se deveu ao fato dessa espécie ser resistente e se adaptar bem ao ambiente de laboratório. E em uma segunda fase optou-se pela ampliação dos estudos para algumas das espécies que são frequentemente vítimas em episódios de mortandade de peixes, por ocasião de paradas de máquinas. Assim em uma etapa posterior trabalhou-se com a Curimba, "*Prochilodus lineatus*" e o Mandi Amarelo, "*Pimelodus maculatus*".

4.1.1 Características do Pacu.

A primeira espécie estudada foi a "*Piaractus Mesopotamicus*" (ordem dos "Characiformes"), vulgarmente conhecida como Pacu (Vaz et all, 2000) que em tupi-guarani significa "de rápido no comer".

A decisão pela utilização desta espécie foi baseada em vários fatores. Primeiramente o pacu é um dos peixes de água doce mais estudados nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. É originário da Bacia do Rio Prata e do Pantanal do Mato Grosso, é freqüentemente encontrado em vários rios brasileiros, como os rios Paraná, Mogi-guaçu, Paraíba e baixo Tietê (Petreri Jr., 1989). Esta espécie é migratória, onívora, mas apresenta um hábito alimentar especificamente frugívoro herbívoro, porém dependendo da época do ano e da qualidade da água, apresenta hábitos alimentares que vão do canibalismo ao consumo de pequenos peixes e crustáceos. É do tipo podador e de caráter oportunista. Suas características de precocidade, rusticidade, carne saborosa e de alto valor comercial, além do ótimo crescimento e adaptação à alimentação artificial tem levado essa espécie a estabelecer um lugar de destaque na criação comercial de peixes (Castagnoli & Cyrino, 1986). É um dos peixes mais pescados no Brasil. Possui boa produtividade e quando cultivado de maneira adequada e em clima favorável, pode produzir de 7 a 10 toneladas por hectare. Devido a grande facilidade de manutenção dos indivíduos e a sua resistência ao manejo, associados à facilidade de aquisição de exemplares para estudo, fizeram do Pacu a primeira escolha.

Caracterização da espécie estudada: Há várias espécies desses peixes no Pantanal. A mais apreciada é a que possui o dorso preto e a barriga amarela. Esta apresenta o formato de um disco ovalado, com aproximadamente 50 cm de comprimento e chega a pesar 8 quilos. O pacu é muito “brigador” e os pescadores gostam de pegá-lo no anzol. Sua carne é considerada nobre. Essas espécies crescem rapidamente e são muito procuradas para a piscicultura. Em algumas regiões do Brasil recebem o nome de caranha. Este peixe já é um velho conhecido dos pescadores que frequentam o Pantanal do Mato Grosso do sul. Existem relatos e fotos de grandes pescarias de Pacus realizadas no Pantanal, que na região podem atingir até 20 Kg e medirem pouco mais de 1 metro (quando são chamados de "gamelão"). Sua briga dura e intensa, na pesca com anzol, aliada à carne saborosa, porém um pouco enjoativa em certas épocas do ano devido o acúmulo de gordura, é muito conhecida no País. Devido as suas

características, o Pacu foi eleito, entre várias espécies nativas, para ensaios (nos anos 70) que precederam o maior impulso de piscicultura nacional, ocorridos em meados de 1980.

- **Nome Popular:** Pacu, Pacu-caranha
- **Nome Científico:** *Piaractus mesopotamicus*
- **Família:** *Characidae*
- **Distribuição Geográfica:** Bacia do Prata.
- **Descrição:** Peixe de escamas com corpo romboidal e comprimido. A coloração é uniforme, castanho ou cinza apresentando o ventre mais claro, amarelado (quando o peixe está vivo). Os dentes são molariformes. Alcança cerca de 50cm de comprimento total.
- **Ecologia:** Espécie onívora, com tendência a herbívora: alimentando-se principalmente de frutos e sementes, folhas, algas e, mais raramente, peixes, crustáceos e moluscos. É considerado um dos peixes mais esportivos do Pantanal, e também é muito importante comercialmente.



Figura 4.1, Pacus na Natureza,: (Fonte : Damian John Harper 05/05/2003.)



Figura 4.2, Pacu Caranha. (Fonte : Arquivo Sematur, Cáceres-MT)

4.1.2 Características do “Curimba”

O “*Prochilodus lineatus*” é vulgarmente conhecido como Curimatã ou Curimba (Vaz et all, 2000). A decisão pela utilização desta espécie foi baseada na grande facilidade de manutenção dos indivíduos, sua resistência ao manejo além da facilidade de aquisição de exemplares para estudo. Sabe-se também que esta espécie realiza a piracema. Além disso é uma espécie importante e representa uma boa parte da biomassa existente nos rios da região sudeste segundo a Secretaria de Agricultura e Abastecimento de SP SENASP, A figura 4.3 apresenta um exemplar dessa espécie.

Caracterização do “*Prochilodus lineatus*”: É uma das espécies de maior freqüência na Bacia superior do rio Paraná. Apesar de a carne apresentar sabor não muito delicado é considerado como um dos peixes de maior importância econômica na pesca interior. É o peixe de água doce mais comercializado na Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo CEAGESP de São Paulo. A espécie também é utilizada na piscicultura. Peixe de escamas, de água doce, da família dos Caracídeos, gênero *Prochilodus*. Muito comum no Brasil, alcança até 60 cm de comprimento. Este peixe é pescado usando-se como iscas de milho verde e massa à base de farinha de trigo. Sua coloração é prateada e seu tamanho chega até 50 cm de comprimento. Seu peso chega até 6 kg. Sua carne não é muito saborosa, quando são provenientes de lagos e rios que contêm muito barro ou lodo em

seu leito, pois estes peixes se alimentam de plâncton e limo. Quanto aos peixes de rios arenosos, o gosto de lodo diminui bastante, passando a ser despercebido. Existe um grande número de espécies e nomes: grumatã “crumatá”, no Sul do Brasil, “Curimatá” ou curimatã, no Nordeste, “corumbatá” e curimbatá “jaraqui” no Amazonas. Para a piscicultura, entre as principais características estão: a grande prolificidade (uma única fêmea pode desovar mais de um milhão de óvulos por temporada); seu alimento é barato; desenvolve-se significativamente rápido; sua reprodução artificial é relativamente fácil; etc. São peixes de médio porte. Algumas espécies deste grupo podem pesar mais de 4 Kg, e outras apresentar apenas centenas de gramas (Vaz et all, 2000).

- **Nome Popular :** Curimatã
- **Nome Científico:** *Prochilodus lineatus*
- **Família:** Prochilodontidae
- **Distribuição Geográfica:** Bacias amazônica e Araguaia-Tocantins (*P. nigricans*), Prata (*P. lineatus*, *P. scrofa*, *P. platensis*) e São Francisco (curimatá-pacu *P. marggravii*, *P. affinnis*, *P. vimboides*). Também foram introduzidas nos açudes do Nordeste.

- **Descrição:** Peixes de escamas. A principal característica da família é a boca prostrátil, em forma de ventosa, com lábios carnosos, sobre os quais estão implantados numerosos dentes diminutos dispostos em fileiras. As escamas são ásperas e a coloração é prateada. A altura do corpo e o comprimento variam com a espécie. Pode alcançar de 30 a 80cm de comprimento total dependendo da espécie.

- **Ecologia:** Espécies detritívoras, alimentam-se de matéria orgânica e microorganismos associados à lama do fundo de lagos e margens de rios. Realizam longas migrações reprodutivas. São capturadas em grandes cardumes, sendo espécies importantes comercialmente, principalmente para as populações de baixa renda. Como peixes de piracema, seu período reprodutivo ocorre na primavera e começo do verão, nos rios da bacia do Prata. Pode ser observado em corredeiras e obstáculos, dando saltos para transpô-los, mas talvez o mais interessante seja o barulho que fazem nestas aglomerações migrantes rio acima. Os peixes vibram uma

musculatura especial, e com auxílio da bexiga natatória, produzem um som típico de piracema. Este som é tido por velhos pescadores como um dos sons mais emocionantes da natureza brasileira, (Fisher M., CEPEN 2007)



Figura 4.3, Curimba. (Vaz et all, 2000).

4.1.3 Características do Mandi Amarelo:

A decisão pela utilização desta espécie foi baseada na grande incidência de problemas com essa espécie nas usinas hidrelétricas, como o caso da UHE Funil em Lavras Minas Gerais. Esta espécie apresenta a maior incidência de mortalidade em usinas. Sabe-se também que esta espécie possui hábitos migratórios, mas que ainda não foram bem definidos, ocorrendo durante todo o ano. A figura 4.4, apresenta um exemplar dessa espécie.

Caracterização da espécie estudada: Peixe de couro de água doce. Possui três ferrões serrilhados, sendo um no dorso e dois nos flancos. Os ferrões são cobertos por substâncias tóxicas que provocam muita dor após a ferroadada. O mandi-amarelo (*Pimelodus maculatus*), espécie de ampla distribuição geográfica e de grandes variações cromáticas e até estruturais (Santos, 1954), pode ser encontrado na Amazônia, Guianas, Venezuela, Peru, Bolívia, Paraguai, Argentina, Bacia do Paraná, do Prata, Rio Uruguai e Rio Iguaçu (Godoy, 1987). É uma espécie abundante e importante na pesca

comercial (Lolis et al., 1996), com ótima aceitação pelo mercado consumidor (Souza & Torres, 1984). De hábito alimentar onívoro com tendência à ictiofagia (Basile-Martins, 1978; Souza, 1982; Menin & Mimura, 1991), o mandi-amarelo apresenta ampla plasticidade da dieta.

Existem diversos tipos: mandi-bandeira, mandi-chorão, mandi-guaçu, mandi-pintado, mandi-amarelo e outros. Alimenta-se principalmente de insetos, além de animais microscópicos, peixes e vegetais. Algumas espécies atingem até 46 cm de comprimento e 3,0 Kg. É a terceira espécie de peixe de água doce mais capturada em São Paulo segundo o IPESP, Instituto de Pesca de São Paulo.

- **Nome Popular :** mandi
- **Nome Científico:** “*Pimelodus maculatus*”
- **Família:** Siluriformes Pimelodidae
- **Distribuição Geográfica:** O mandi-amarelo (*Pimelodus maculatus*), espécie de ampla distribuição geográfica e de grandes variações cromáticas e até estruturais (Santos, 1954), pode ser encontrado na Amazônia, Guianas, Venezuela, Peru, Bolívia, Paraguai, Argentina, Bacia do Paraná, do Prata, Rio Uruguai e Rio Iguaçu (Godoy, 1987).
- **Descrição:** peixe de médio porte, alcançando cerca de quarenta centímetros de comprimento e peso de até 3 kg. O corpo é alto, e a cabeça é curta e baixa, com a boca terminal e a fenda bucal ampla, não possuindo dentes no palato. Os barbilhões maxilares são longos, alcançando a região do pedúnculo caudal. O dorso é castanho escuro, com 3 a 4 séries longitudinais de manchas negras sobre o flanco. As nadadeiras possuem manchas negras e pequenas.
- **Ecologia:** De hábito alimentar onívoro com tendência à ictiofagia (Basile-Martins, 1978; Souza, 1982; Menin & Mimura, 1991), o mandi-amarelo apresenta ampla plasticidade da dieta. Como na maioria dos peixes de couro, habita o fundo dos ambientes aquáticos. É um peixe de piracema, fazendo a migração reprodutiva rio acima para a desova, que ocorre com a elevação do nível das águas em razão das chuvas. O comprimento médio na primeira maturação sexual varia de 12,5 a 18 cm para machos e 12 a 19 cm para as fêmeas. É uma espécie abundante e

importante na pesca comercial (Lolis et al., 1996), com ótima aceitação pelo mercado consumidor (Souza & Torres, 1984). A figura 4.4 apresenta um exemplar do mandi amarelo.



Figura 4.4, Mandi amarelo (Instituto de Pesca de São Paulo).

4.2 Projeto de uma bancada para estudo da influência de barreiras elétricas sobre peixes

4.2.1 Bancada de eletro sensibilidade

Como é necessário conhecer a resposta do peixe à aplicação de campo elétrico foi montada uma bancada de ensaio capaz de aplicar uma tensão uniforme no indivíduo testado. Essa bancada de teste foi concebida em um canal de testes com placas paralelas A A' como mostrado na figura 4.5 a seguir. O canal foi concebido propositalmente de forma retangular e com 1 metro de comprimento para facilitar a interpretação dos testes, pois se entre as placas for aplicado uma tensão de 1 V, teremos um campo elétrico de 1V por metro, para 10 V de tensão, 10 V/m de Campo elétrico e assim por diante. A Largura do canal teria que ser maior que o maior peixe a ser ensaiado, sendo que o maior peixe disponível possuía 23cm foi a largura ficou de terminada em 26cm, e a altura teria que ser suficiente para que os peixes não saltassem fora da água durante os testes.

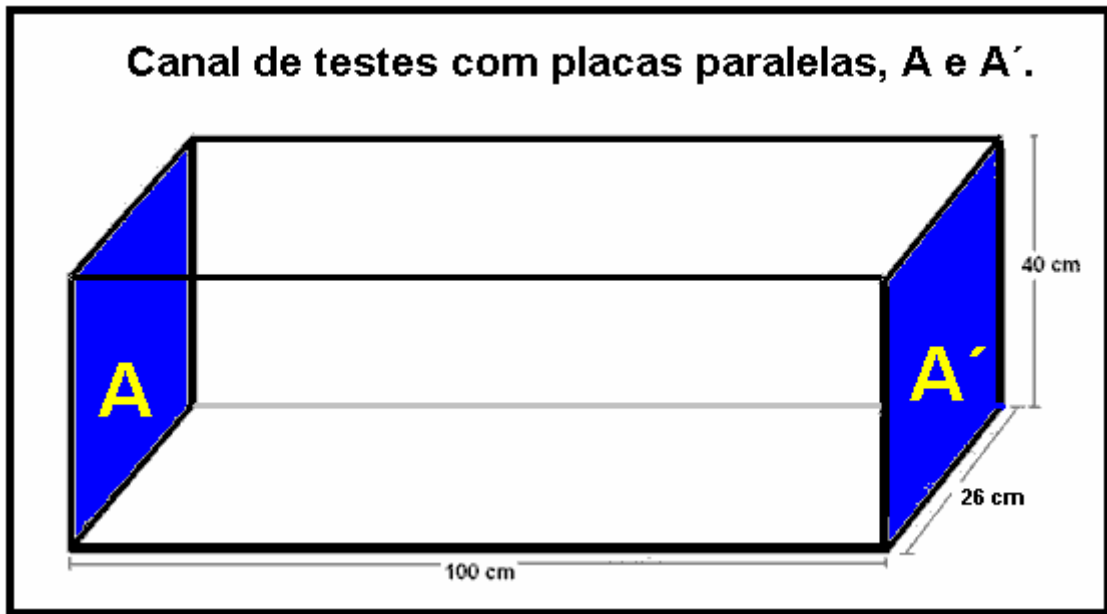
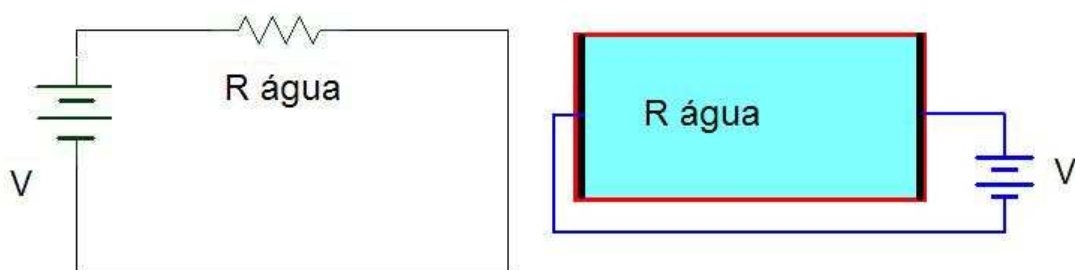


Figura 4.5, Projeto do canal de teste com placas paralelas.

A Intensidade da tensão entre as placas A e A´ é controlada de forma a aplicar uma tensão variável. Com isso é possível descobrir a reação do peixe sob a influência de um campo elétrico de intensidade estabelecida.

Como a distribuição de campo entre duas placas paralelas afastadas entre si por um meio condutor homogêneo de resistividade conhecida pode ser representado pelo circuito da figura 4.6 .



V - Tensão entre as placas

Figura 4.6, Circuito equivalente, do aquário de teste, Fonte própria.

Sendo que a Resistência é dada por :

$$R = \frac{\rho L}{A} \therefore R = \frac{L}{\sigma A} \quad [4.1]$$

R é a resistência, L comprimento, A área da seção reta, ρ a resistividade do material envolvido e σ a condutividade do material.

Sendo um volume de um paralelepípedo de água de seção reta paralela às placas e comprimento variável, tem-se sua resistividade variando somente com o comprimento, logo pela lei de Ohm, tem-se que a porção de tensão aplicada a este volume irá variar somente com o comprimento, visto que todas as demais variáveis são mantidas constantes. Com isso, dividindo o espaço contido entre as placas em cinco pedaços iguais tem-se cinco volumes de água com diferenças de potencial iguais podendo ser representado em um circuito equivalente, figura 4.7, que mostra que as tensões em cada parte são as mesmas.

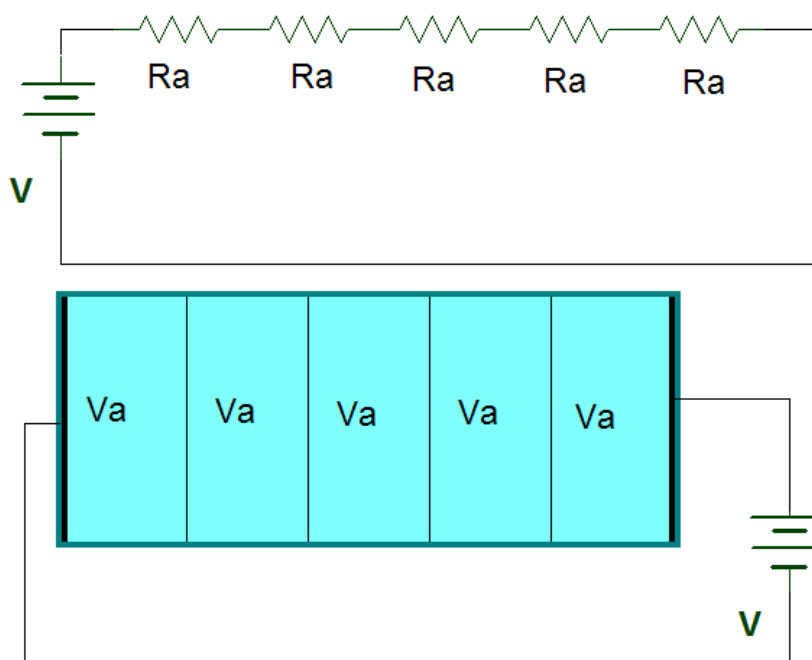


Figura 4.7, Circuito equivalente, do aquário de teste, Fonte própria.

Como o volume entre as placas é um paralelepípedo e o campo é homogêneo devido à natureza do meio é possível determinar qual é o campo elétrico em qualquer porção de volume de forma muito simples. Como o comprimento do canal é um metro, qualquer tensão “ U_{ab} [V] ” aplicada ao volume produzirá um campo elétrico de U_{ab} [V/m]. Qualquer porção menor

que a total será uma porcentagem desta variando pelo comprimento do paralelepípedo.

O Canal utilizado é de Vidro e as placas condutoras (A A´) são de zinco (figura 4.6). A água utilizada é uma mistura de água tratada comum com água destilada para se obter uma condutividade constante igual a 0,01 S/m. A figura 4.9 apresenta a distribuição de campo nessa seção de estudo. A figura 4.10 mostra o gradiente de tensão entre as placas .

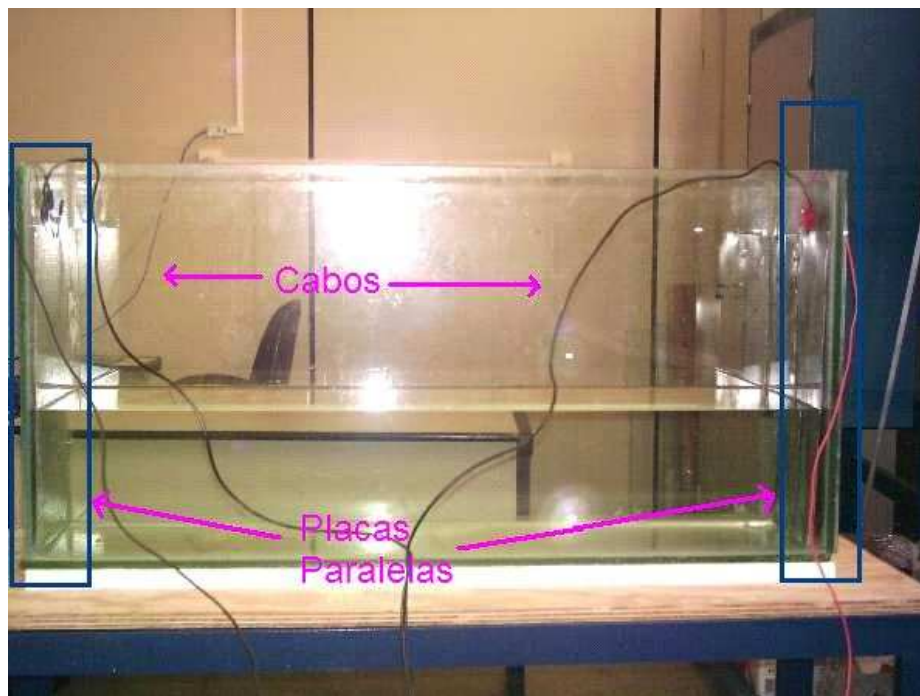


Figura 4.8, Bancada de eletro sensibilidade, (Fonte própria)

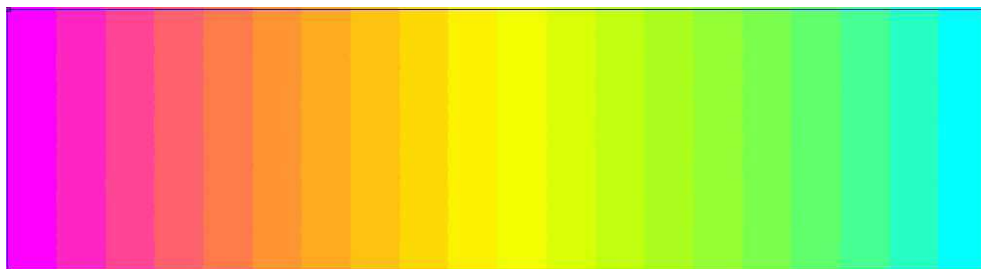


Figura 4.9, Distribuição do gradiente de tensão na seção de teste.

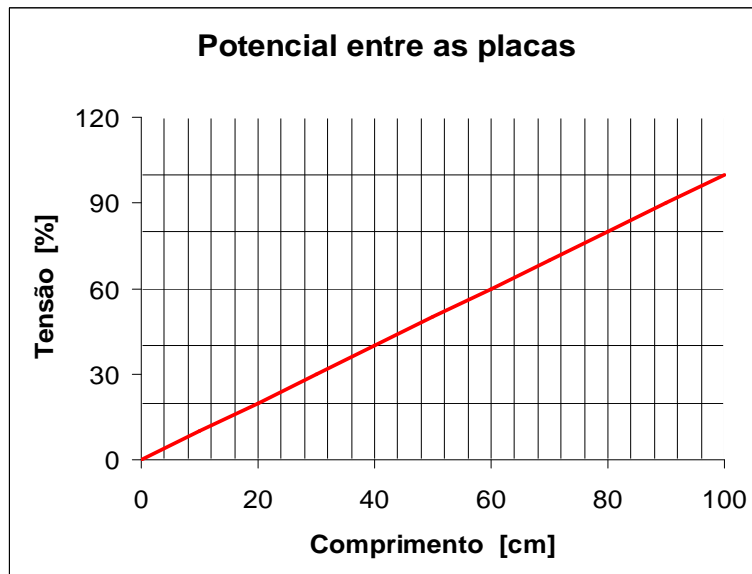


Figura 4.10, Distribuição de tensão.

4.2.2 Parâmetros básicos para o projeto:

Para a implantação da bancada de ensaios para testes com peixes procurou-se fazer um ambiente onde os fenômenos elétricos sobre os peixes pudessem ser observados. Para isso foi construído um aquário representativo de um canal longo e estreito, similar ao canal de restituição de uma turbina hidráulica de uma usina hidrelétrica. Devido à simplicidade da geometria deste tipo de canal de restituição a introdução dos mecanismos responsáveis pela produção artificial dos fenômenos elétrico foi facilitada. Isto reduziu, inicialmente, os esforços no sentido de estudar o comportamento dos peixes. A figura 4.11 a seguir mostra um desenho de um tubo de sucção de uma turbina e a seção do canal proposto.

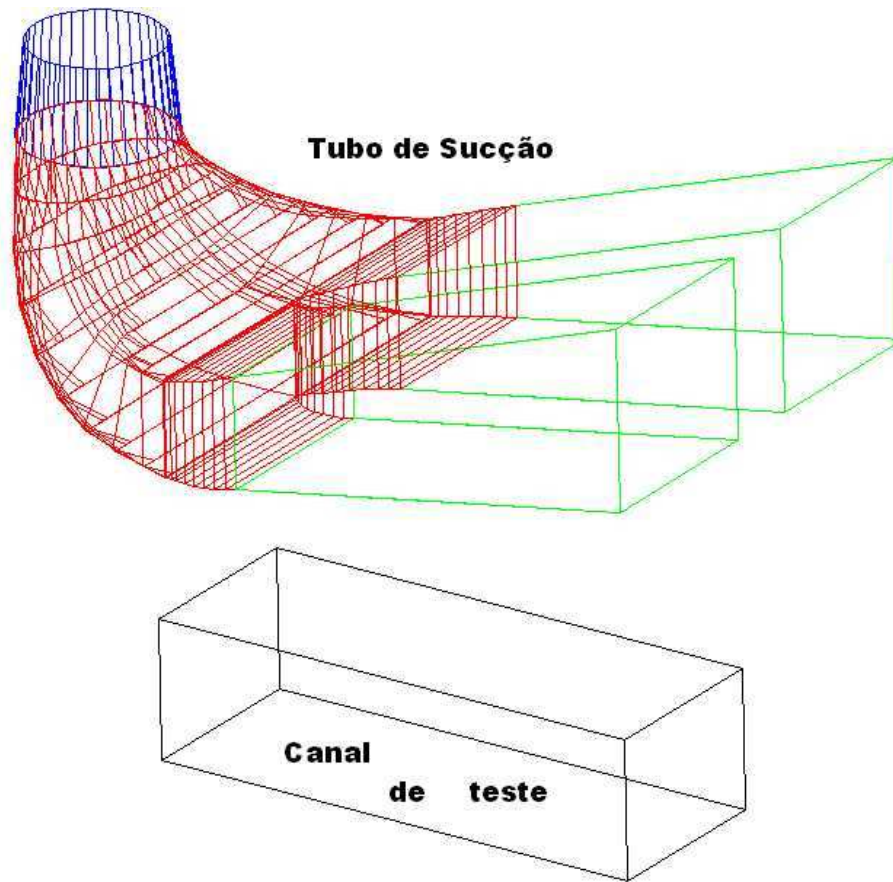


Figura 4.11, Tubo de sucção de uma turbina e seção proposta do canal de teste.

O canal Proposto teve inicialmente as dimensões de um metro de comprimento, 15 cm de largura e 40 cm de altura, visto que somente serviu para representar uma passagem longitudinal de seção retangular similar ao trecho final do tubo de sucção, cuja única finalidade foi o comportamento dos peixes em uma passagem com uma barreira elétrica em operação.

4.2.3 O projeto do sistema de descarga elétrica em peixes:

O estudo se baseou na produção de um campo elétrico contínuo em um canal semelhante ao apresentado na figura 4.11. O campo elétrico a ser aplicado nesse canal terá sua intensidade variável. A figura 4.12 ilustra o canal de estudo com as placas paralelas, externas ao canal, emissoras de

campo (seção escura da figura) usadas para os testes. A figura 4.13 apresenta uma foto do canal implantado no laboratório.

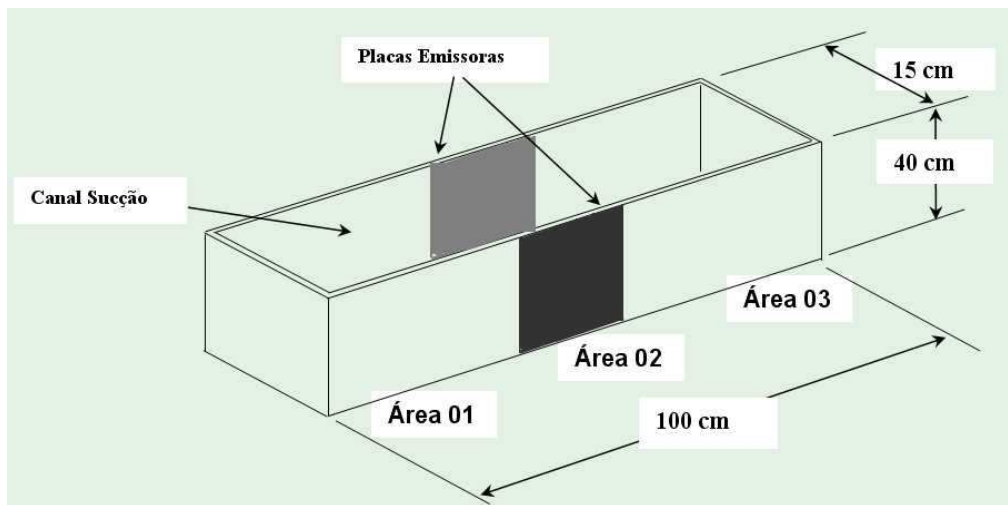


Figura 4.12, Canal de testes com as placas emissoras de campo elétrico.

Essa configuração permite o estudo em três áreas de permanência diferentes. A **área 01** e a **área 03** compõem as áreas sem aplicação de campo, enquanto à **área 02** foi aplicado uma diferença de potencial por meio de duas placas de cobre externas ao canal representada pelas placas escuras na figura 4.12 e mostrada na figura 4.13 de forma frontal. O aparato permite a aplicação de campo sobre o canal tanto com tensões contínuas como alternadas.

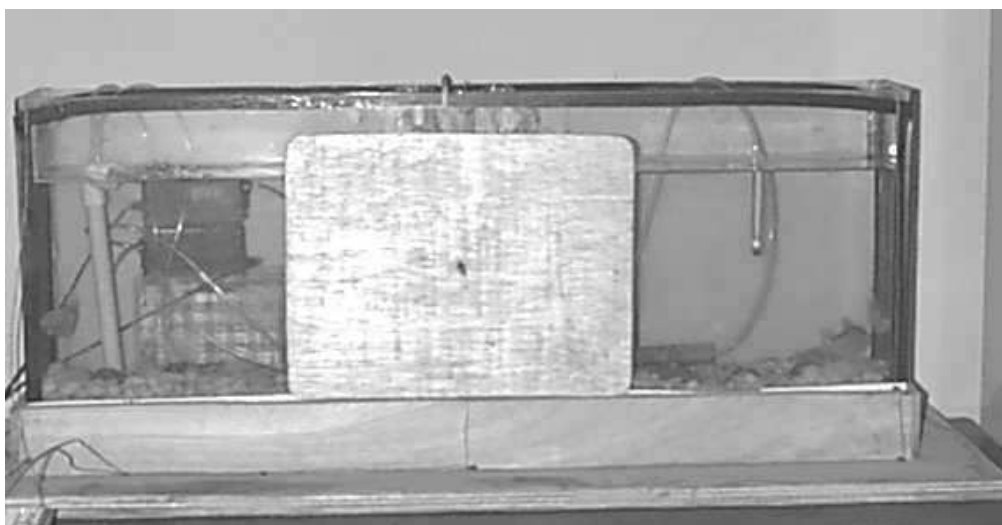


Figura 4.13, Foto do canal implantado no laboratório.

Após a experiência inicial duas possibilidades foram avaliadas para a determinação dos gradientes de tensão e dos campos elétricos:

- cálculo analítico/computacional
- medição em modelo reduzido.

Passou-se então para formulação do problema para cálculo analítico.

Consideraremos que a barreira será alimentada por corrente senoidal, deste modo utilizando a lei da conservação de carga, a equação que governa o sistema será dada por:

$$\nabla \cdot \vec{J} + j\omega\rho = 0 \quad [4.2]$$

como

$$\nabla(\epsilon\vec{E}) = \rho \quad [4.3]$$

$$\vec{E} = -\nabla\phi \quad [4.4]$$

$$\vec{J} = \sigma\vec{E} \quad [4.5]$$

temos

$$\nabla \cdot [(\sigma + j\omega\epsilon)\vec{E}] = \nabla \cdot [(\sigma + j\omega\epsilon)\nabla\phi] = 0 \quad [4.6]$$

onde

ϕ – potencial elétrico

\vec{E} – vetor campo elétrico

\vec{J} – vetor densidade de corrente elétrica

ρ – densidade volumétrica de carga

σ – condutividade elétrica do meio

ϵ – permissividade elétrica do meio

ω – frequência angular

O cálculo analítico foi descartado em função da complexa geometria do problema, bem como na dificuldade de se recalculer todo o sistema a cada mudança, visto a complexidade das equações envolvidas. A simulação computacional, utilizando programas de cálculo de campo, apresentou-se como uma alternativa viável.

A utilização de modelo reduzido também é uma técnica interessante, mas demanda a construção de modelos e qualquer alteração que se deseja avaliar implica em modificações no modelo. Utilizou-se então programas computacionais para a definição do tipo de barreira adequada e uma vez definida a geometria e demais parâmetros, foi realizado um modelo reduzido e medições com vistas de se comparar com os resultados obtidos nas simulações computacionais. Como programa computacional utilizou-se:

- Gmsh (www.geuz.org/gmsh) : um software modelador geométrico com capacidade de geração de malha e pós-processamento, completa os programas necessários a solução numérica do problema.
- GetDP(www.geuz.org/getdp), um software livre de código aberto com licença GPL , capaz de resolver este e outros tantos problemas de engenharia de diversas áreas.

As soluções aproximadas foram obtidas com o uso do Método dos Elementos Finitos, com as discretizações dos domínios feitas com auxílio de um gerador de malhas (no presente trabalho usa-se o Gmsh). Este procedimento foi transformado em algoritmo, programado no ambiente Matlab®, com os resultados numéricos apresentados utilizando o ambiente gráfico do próprio Matlab® .

Inicialmente utilizou-se a configuração com par de eletrodos para verificar o comportamento desta metodologia tanto em modelo reduzido como em simulação computacional. A Figura 4.14 ilustra o canal utilizado bem como a posição dos pares de eletrodos dentro do mesmo. Os pares de eletrodos estão identificados como [A A'], [B B'] e [C C'], que determinam duas áreas de permanência dentro do canal, área 01 e área 02.

Montou-se então uma fonte de tensão, fazendo com que correntes elétricas de pequena intensidade circulassem por áreas pré-definidas dentro do canal de teste. Essa fonte de tensão (DC & AC), Figura 4.14, foi construída com a opção de criar áreas de seletividade, com a utilização de chaves, permitindo a escolha do par de eletrodos, que eletrizados, irão delimitar as áreas desejadas. Além disso, pode-se variar a intensidade da corrente que passa pelo mesmo.

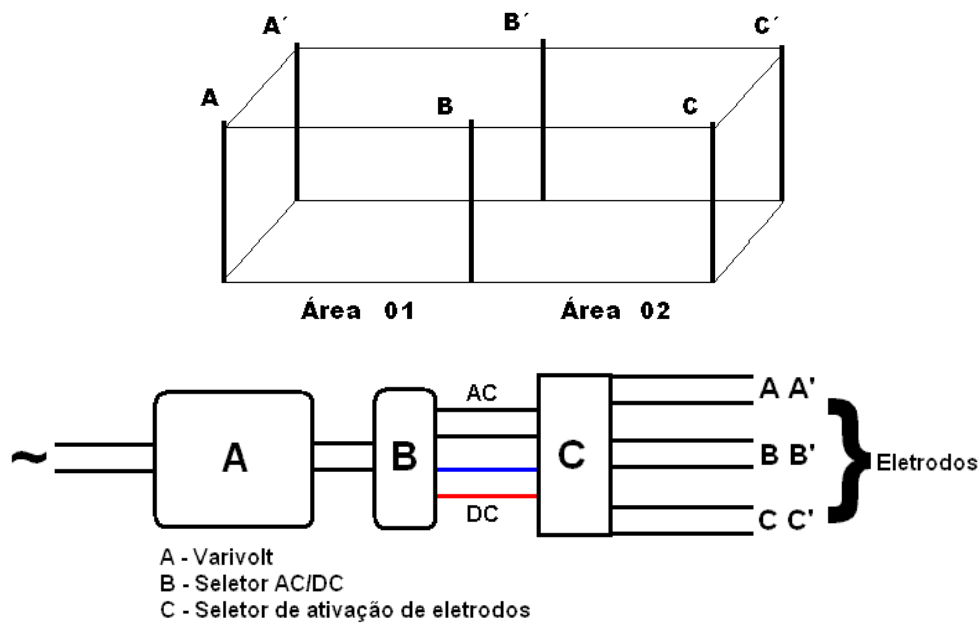


Figura 4.14, Posicionamento dos eletrodos dentro do canal em estudo e Diagrama da fonte de tensão de testes.

A distribuição de tensão entre cada par de eletrodos é mostrada na figura 4.15 onde os terminais foram alimentados primeiramente com corrente contínua. A escala de tensão da figura está em valor por unidade de tensão para ilustrar a distribuição de tensão que ocorre entre eletrodos. Após a obtenção dos primeiros resultados dos testes com tensão contínua passou-se a utilização de tensão alternada.

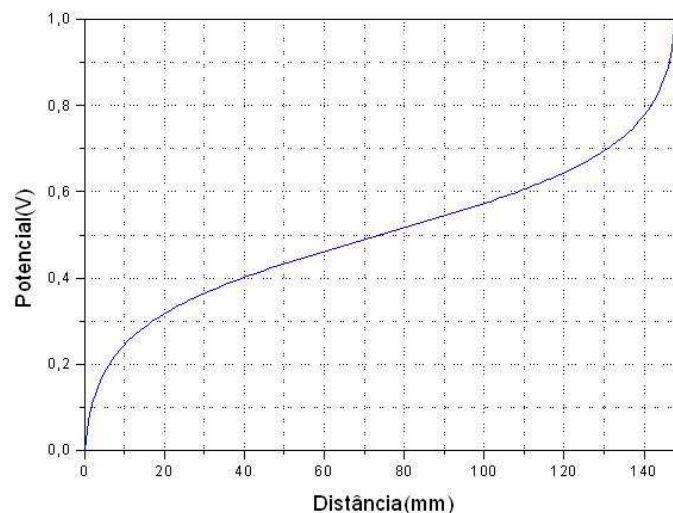
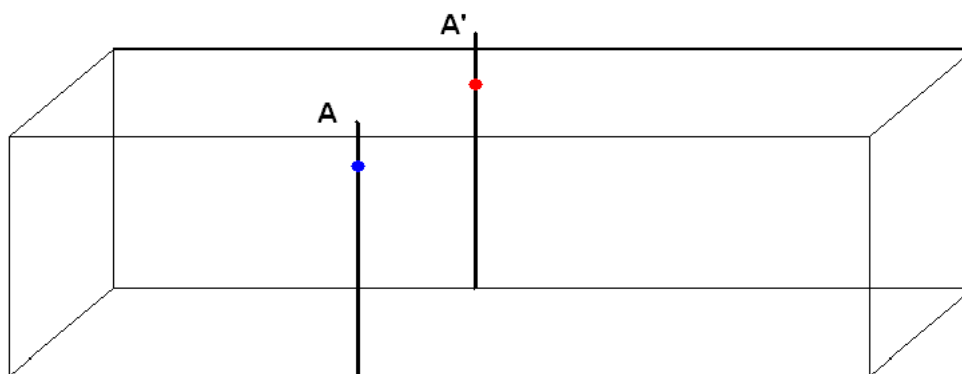


Figura 4.15, Distribuição de tensão entre cada par de eletrodos

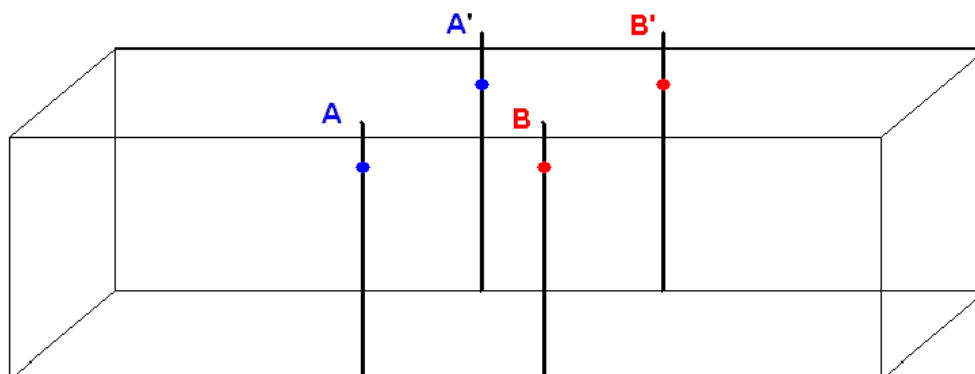
A configuração de pares foi então avaliada com a ajuda do método de elementos finitos, determinando a posição das linhas de campo produzidas pelo par. Para esta configuração a energização se dava entre eletrodos, ou seja o circuito é fechado entre o par energizado, por exemplo quando em tensão DC, o eletrodo “A” recebe o terminal positivo e “A’” o negativo. Neste caso as linhas de potencial acontecem de forma paralela ao fluxo de água e conseqüentemente ao fluxo de peixes, não atendendo as necessidades de funcionamento da barreira.



A recebe o terminal positivo e A' recebe o negativo

Figura 4.16, energização de par de eletrodos.

Uma nova configuração foi então avaliada, onde o par (A A') de eletrodos foi energizado com o terminal positivo e o par (B B') com o negativo, figura 4.17 no caso de DC, ou ainda, um par recebe VAC e o outro recebe 0VAC.



Par A A', recebe o positivo

Par B B', recebe o negativo

Figura 4.17, energização de pares de eletrodos.

Esta configuração faz com que a corrente, que antes fluía de eletrodo para eletrodo, agora flua de um par para outro, com isso as linhas de potencial passam a ser perpendiculares ao fluxo de água, e não paralelos.

Para verificar se a quantidade de eletrodos interferia na distribuição de campo foi testado mais pares de fios. Neste caso a tensão aplicada entre os eletrodos foi então dividida em vários pares de eletrodos para que a tensão ao longo da barreira decaísse lentamente, tornando a barreira mais homogênea, figura 4.18. Nessa configuração o gradiente de tensão entre pares de eletrodos consecutivos é mantido constante.

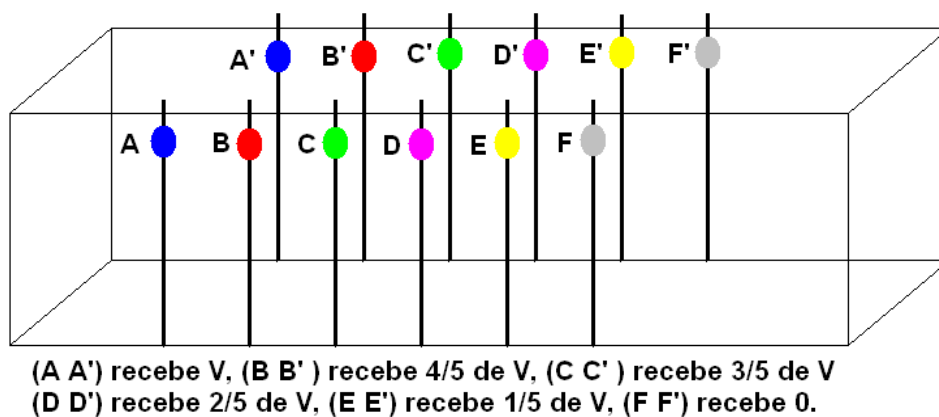


Figura 4.18, Barreira de eletrodos cuja tensão é dividida em áreas menores.

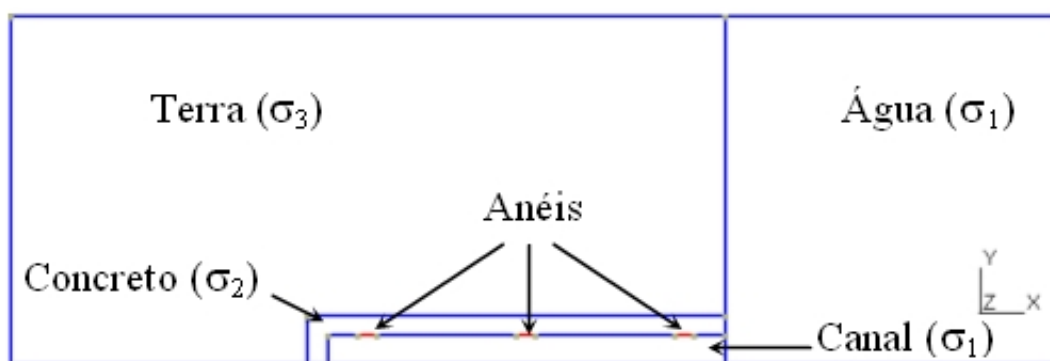
Uma nova verificação foi levantada , substituindo os fios por placas com cantos arredondados e se mostrou ainda mais satisfatório visto que os picos de tensão ao longo da barreira foram suavizados, gerando um gradiente de tensão bem mais gradual.

Para homogeneizar ainda mais o campo dentro da barreira, os pares foram substituídos por anéis, deste modo as imperfeições das pontas dos eletrodos foram eliminadas, além de aumentar a área de troca de corrente em 100%.

Neste caso os testes iniciais foram puramente computacionais, até que a quantidade de anéis adequada fosse determinada. Neste ponto o trabalho contou com a ajuda de outro pesquisador Henrique Nunes Braga que realizou rotinas de otimização para determinar a quantidade ótima de anéis e sua localização mais adequada. Optou-se por Algoritmos genéticos como método

de otimização e não um método determinístico, devido o problema ser multimodal e não possuir derivada explícita, além da facilidade de obtenção e customização do código necessário para o problema, e no futuro visando o uso de otimização multiobjetivo, que é facilitada por esse método.

Foi construído um modelo bidimensional simplificado do problema, para ser simulado pelo método dos elementos finitos. Este modelo é inicialmente de duas dimensões, pela simplicidade da construção e velocidade de simulação, uma vez que modelos tridimensionais possuem um custo computacional elevado.



Modelo do canal em 2D feito a partir da visão superior, com indicações das placas condutoras, dos meios, condutividade e grau de liberdade dos anéis (direção \hat{x}). Note que neste modelo como o canal é simétrico, foi feito apenas o desenho da parte superior.

Figura 4.19, Modelo 2D do canal para simulação no Gmsh e GetDP, Fonte própria.

De posse do modelo 3D foi possível modificar as grandezas envolvidas e visualizar a distribuição de campo para cada situação. Este modelo permitiu a mudança de condutividade dos meios envolvidos, bem como a inserção ou não de anéis dentro da barreira.

Para construir o modelo e geração da malha foi utilizado o Gmsh. Para simular o problema foi utilizado o Getdp que também é feito pela mesma equipe que elabora do Gmsh. Ambos são chamados pelo MatLab onde é executado o programa de otimização fornecido pelo toolbox.

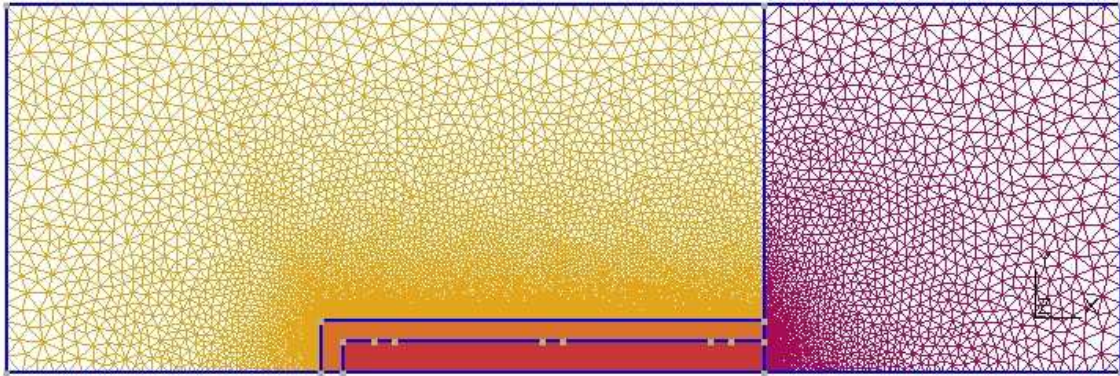


Fig. 4.20, Malha gerada pelo Gmsh , Fonte própria.

Para teste da barreira com placas em anel foi construído um canal hidráulico de teste no qual os peixes pudessem circular livremente. O esquema desse canal pode ser visto na figura 4.21



Figura 4.21, Foto do canal de testes e manutenção de peixes, Fonte própria.

Neste canal foram, realizados testes de efetividade da barreira elétrica seguindo o ábaco determinado pelos ensaios de eletro-sensibilidade.

4.2.4 Bancada do canal de Canal de sucção

Visando simular os efeitos da instalação de uma barreira elétrica em um tubo de sucção, optou-se por construir um modelo para testes que corresponda a um protótipo de um tubo de sucção.

Como primeiro passo, foi desenvolvido em CAD um projeto do tubo de sucção, tal como mostrado na figura 4.22 a seguir.

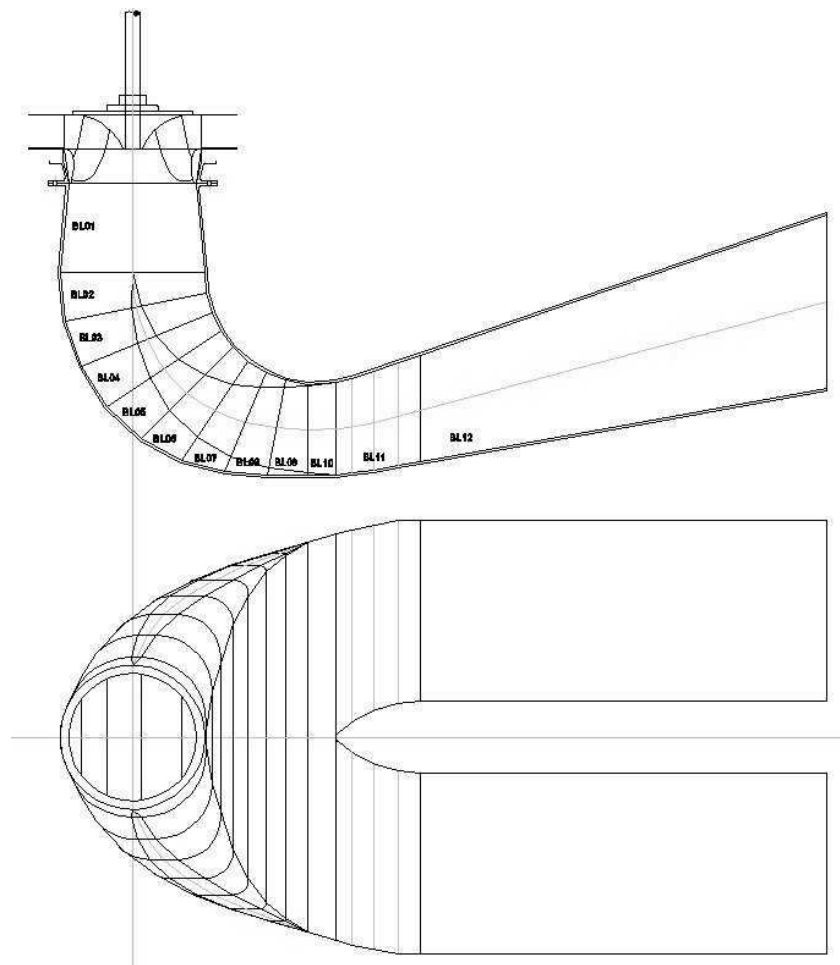


Figura 4.22, Projeto em CAD do tubo de sucção, em escala reduzida, Fonte própria.

Concluída a fase de projeto iniciou-se então a construção do modelo. Primeiramente foi construído um molde em isopor. Em seguida, o molde foi revestido com camadas de massa corrida, fibra de vidro e filme plástico (Figura 4.23).



Figura 4.23, Molde pronto para revestimento com fibra de vidro, Fonte própria.

Sobre o molde foram então aplicadas camadas de fibra de vidro, e construído um reforço estrutural de madeira. No modelo em fibra de vidro foram sendo instaladas janelas de acrílico que permitirão a visualização dos peixes no interior do aparato (Figuras 4.24 a 4.28).



Figura 4.24, Vista lateral do modelo do tubo de sucção, Fonte própria.



Figura 4.25, Vista do modelo do tubo de sucção, Fonte própria.



Figura 4.26, Vista da estrutura interna do modelo do tubo de sucção, Fonte própria.



Figura 4.27, Vista de uma das janelas de acrílico instaladas no modelo do tubo de sucção, Fonte própria.



4.28, Tubo de sucção terminado, Fonte própria.

4.3 Procedimentos de ensaios com peixes

Os ensaios com peixes tiveram vários estágios:

- Ensaios com placas externas ao canal.
- Ensaios com par de eletrodos de alumínio.
- Ensaios de Eletro-sensibilidade.
- Ensaios da Barreira em anéis.

4.3.1 Ensaios com placas externas

Para este ensaio os peixes, obtidos de um criatório de contagem mg, chamada GM Alevinos, foram mantidos em um canal, mostrado na figura 4.12 e 4.13, enquanto um campo elétrico era aplicado externamente ao canal por placas paralelas externas ao canal. Para este ensaio a espécie escolhida foi a "*Piaractus mesopotamicus*", figura 4.29 que durante o período referente aos ensaios foram mantidos com alimentação variada, à base de ração básica do fabricante Alcon, tenébrions criados no laboratório, minhocas e grãos de milho. Nestes ensaios foram aplicadas tensões contínuas e alternadas de 10 V a 10kV por períodos de 10 minutos e intervalos de 20 minutos. Apresentando resultados não satisfatórios, ou seja, os peixes não sentiam qualquer efeito da barreira elétrica. Logo foi considerada uma nova abordagem com eletrodos imersos na água.



Figura 4.29, Individuo mantidos em cativeiro para fins de experimentos laboratoriais, Fonte própria.

4.3.2 Ensaio com par de eletrodos circulares de alumínio.

Para este ensaio foram utilizados exemplares da espécie , que recebeu alimentação como citada no item 4.3.1, porém com uma modificação significativa. Para este ensaio os exemplares foram mantidos em um reservatório separado, e somente no momento dos ensaios os mesmos foram colocados dentro do canal de teste.

Para este teste foi mantido o mesmo canal da figura 4.12, porém com a modificação da inserção de eletrodos dentro do canal, como mostrado na figura 4.14. Foram realizados alguns grupos de ensaios:

a) Energização por eletrodo.

- Preliminares.
- Controle de cardume.
- Confinamento.
- Evacuação.

b) Energização por pares.

- Simulação com número variável de eletrodos circulares .
- Simulação com número variável de eletrodos em forma de placas .

Nos ensaios preliminares foi investigado a reação dos peixes frente a aplicação de tensão DC e AC .

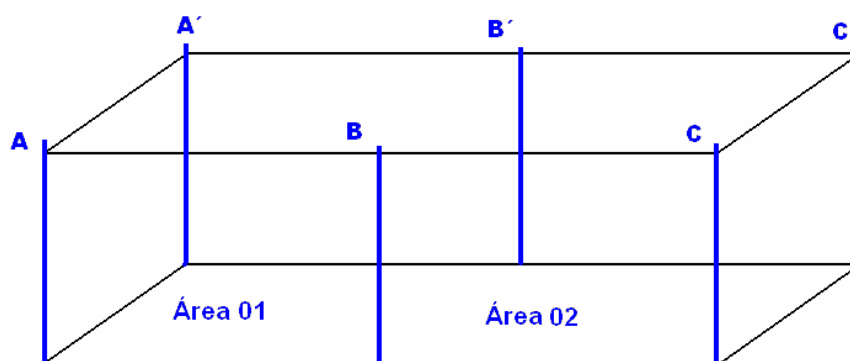


Figura 4.30, Posicionamento dos eletrodos dentro do canal em estudo. ,

Fonte própria

A figura 4.29 ilustra o canal utilizado bem como a posição dos pares de eletrodos dentro do mesmo. Os pares de eletrodos estão identificados como [A A'], [B B'] e [C C'], que determinam duas áreas de permanência dentro do canal, **área 01** e **área 02**. Para estes ensaios cada par recebe alimentação separada onde em cada par existe fase e neutro no caso de AC e positivo e negativo para DC, figura 4.30.

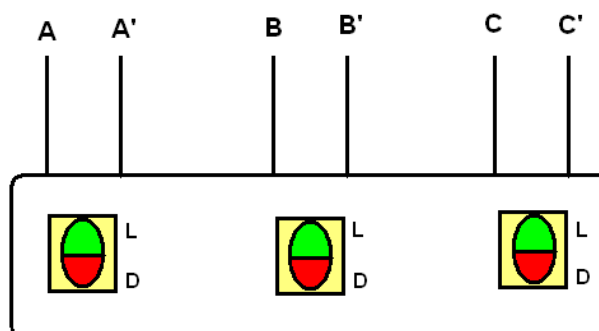


Figura 4.31, Botoeira de seleção de eletrodos, Fonte própria.

Como procedimento de ensaio fez-se a corrente passar pelos pares de eletrodos que delimitam as áreas de teste. Isto foi conseguido mediante o acionamento da chave referente ao par a ser energizado. A partir deste experimento observou-se que durante a permanência da tensão (nos primeiros testes era contínua) os peixes evitavam e até mesmo fugiam do local onde se situava os eletrodos. O primeiro experimento foi realizado com a energização do par [B B'], onde foram testados os níveis de corrente da ordem de 100 microamperes a 500 miliamperes.

Em seguida foram inseridos dois novos pares de eletrodos [A A' e C C'], conforme apresentado anteriormente, na figura 4.29. Isso objetivou testar a capacidade de orientação de cardumes dentro do canal. Para isso energizou-se os pares externos [AA' e CC'], um par de cada vez. Verificou-se então que o cardume de teste se locomovia para o extremo oposto ao eletrodo energizado. O cardume testado inicialmente contava apenas com 3 espécimes, posteriormente aumentou-se o tamanho do cardume para sete espécimes, e os resultados obtidos foram mais consistentes. Isto se deve em parte ao efeito de "cardume" comum em peixes.

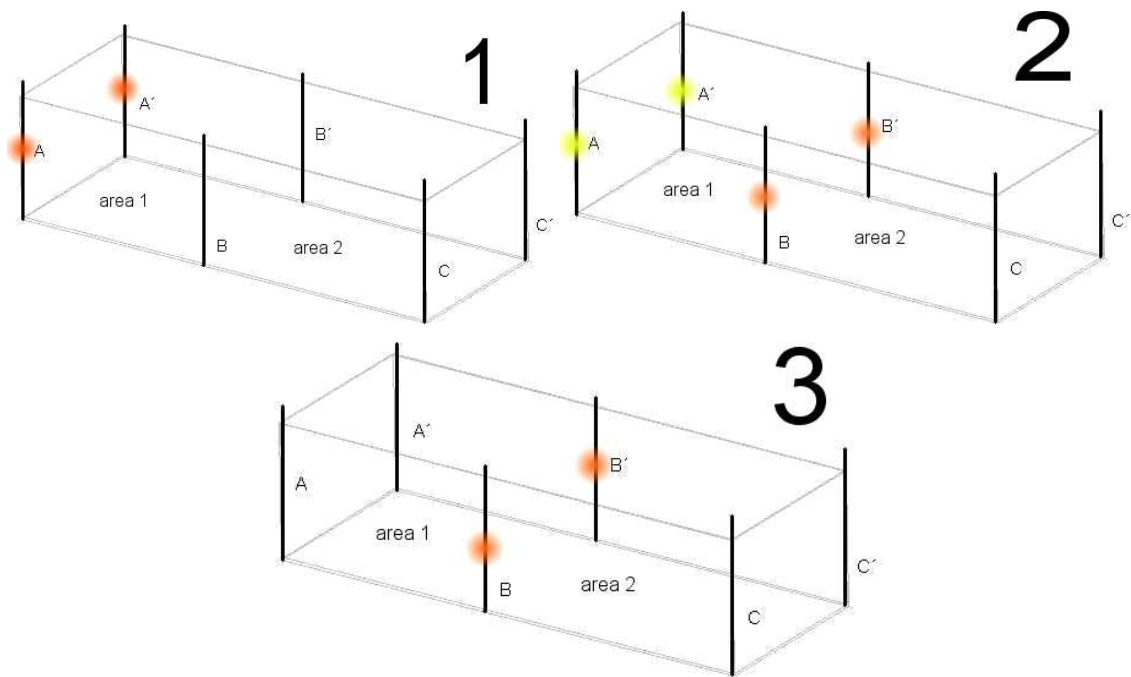


Figura 4.32, Figura que mostra processo de confinamento, Fonte própria.

A manobra realizada com o cardume de teste ampliado (mobilização do cardume de um extremo ao outro do aquário com o uso de pulsos) incentivou novos testes de controle do cardume como o confinamento. Para o teste de confinamento, figura 4.31, energizou-se o par **[A A']** e esperou-se que o cardume atravessa-se todo o canal, esvaziando a **área 01** estabelecendo-se totalmente na **área 02**. Quando todo o cardume encontrava-se na **área 02** energizou-se o par de eletrodos centrais **[B B']**, fazendo com que o cardume ficasse confinado.

Novos testes então foram realizados para testar o controle de cardume, onde se esperava determinar o tempo em que os peixes levavam para deixar uma área considerada proibida e se situarem em uma área considerada segura para este caso a “**área 2**” (figura 4.31). Para isso se programou uma operação de energização:

1. Energizar o par A A´
2. Esperar em torno de dez segundos.
3. Energizar o par B B´
4. Desenergizar o par A A´ .

Na maioria dos casos o resultado foi satisfatório porém, em alguns, parte do cardume ficou confinado na área proibida. Logo se pensou em uma

forma de conseguir uma evasão de 100% da área proibida .Para isso foram introduzidos outros dois pares de eletrodos entre o par **A A'** e o par **B B'**, os pares **X X'** e **Y Y'** na ordem (figura 4.32). O objetivo foi fazer com que o cardume se mova com mais rapidez e deixe totalmente a área proibida dentro do tempo estipulado.

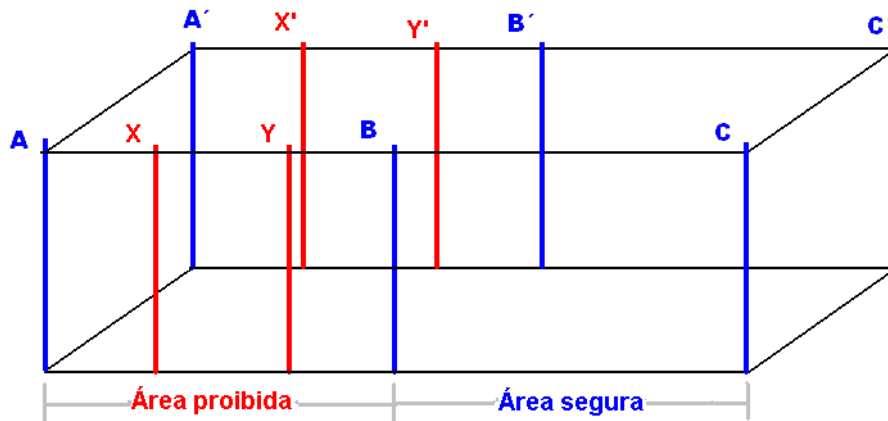


Figura 4.33, Canal com eletrodos complementares, Fonte própria.

Com isso a programação dos testes foi alterada para :

1. Energizar o par **A A'**, esperar três segundos;
2. Energizar o par **X X'**, esperar três segundos;
3. Energizar o par **Y Y'** e desenergizar o par **A A'**, esperar três segundos;
4. Energizar o par **B B'** e desenergizar o par **X X'** e finalmente desenergizar o par **Y Y'**.

Com esse procedimento conseguiu-se 100% de evasão da área proibida , com a vantagem de se eliminar o observador que nos outros testes era responsável por energizar e desenergizar os pares. A figura 4.33 mostra um pequeno cardume de Pacus confinados na seção de testes.



Figura 4.34, Pacus em confinamento por barreira elétrica, Fonte própria

Os resultados dos ensaios foram investigados com o uso de um programa de cálculo de elementos finitos descritos no item 4.2.3 e impulsionaram os testes de eletro-sensibilidade e da barreira em anéis.

Para os ensaios de energização de pares utilizou-se o mesmo aparato do ensaio de energização de eletrodos com a modificação na botoeira de chave seletora para que cada par recebesse a mesma tensão em cada eletrodo, figura 4.34.

Além do mais houve uma mudança radical de metodologia para estes ensaios. A configuração dos eletrodos foi investigada com o uso do Gmsh e GetDP, para determinar a melhor posição da barreira e a determinação do uso de eletrodo circular ou em forma de placa.

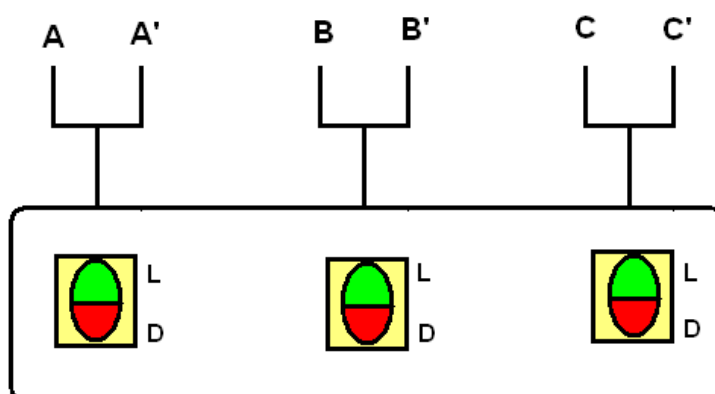


Figura 4.35 , Botoeira idealizada para energizar cada par com a mesma tensão, Fonte própria.

Durante o processo de avaliação essa configuração foi abandonada e a configuração em anéis foi adotada.

4.3.3 Ensaios de eletro sensibilidade

Nestes ensaios foram utilizadas duas espécies o "Prochilodus lineatus" e o "Pimelodus maculatus". As curimbas foram obtidas de um criatório de peixes. Os Exemplares de Mandis amarelos foram obtidos com pescadores no rio Paraopeba, próximo à Usina Termelétrica de Igarapé.

4.3.3.1 Ensaios Preliminares

Para realização dos ensaios preliminares projetou-se um canal de vidro retangular de onde se pode observar a influência do campo elétrico sobre o comportamento dos peixes (figura 4.5 e 4.8). Durante os experimentos, os peixes foram utilizados em lotes de três, cinco ou sete indivíduos. Cada lote foi utilizado para cinco testes consecutivos por experimento. Cada teste teve duração de um a dois minutos e o intervalo de tempo entre eles foi de 10 a 12 minutos. Após cada experimento, o lote de peixe foi transferido para um tanque de recuperação. As figuras 4.35 a 4.38 apresentam detalhe de medição dos indivíduos sendo realizados no laboratório.



4.36, Pesagem o Curimba, Fonte própria.



4.37, Medição da curimba , Fonte própria

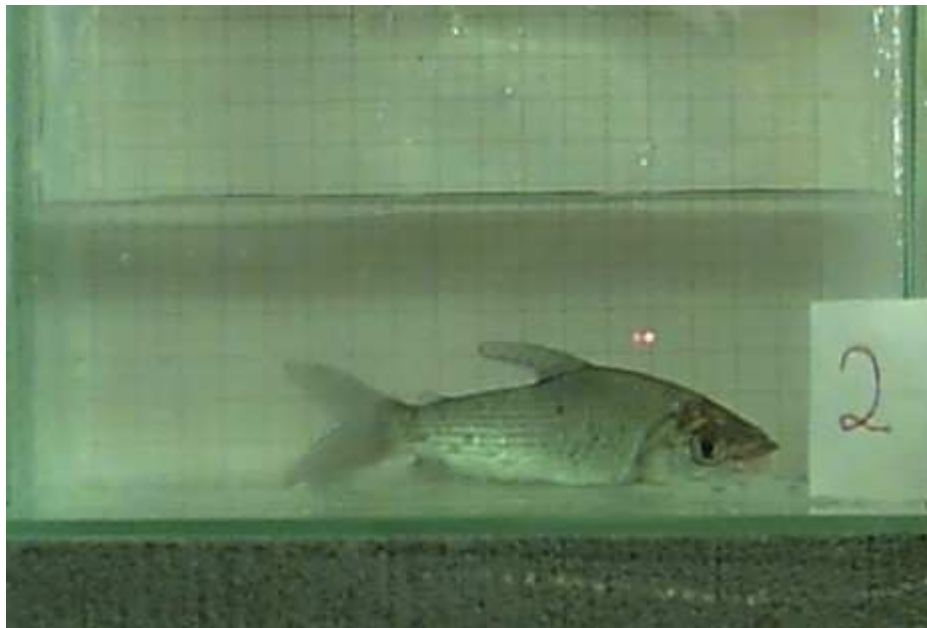


Figura 4.38, Medição de curimba por foto digital com papel milimetrado, Fonte própria .

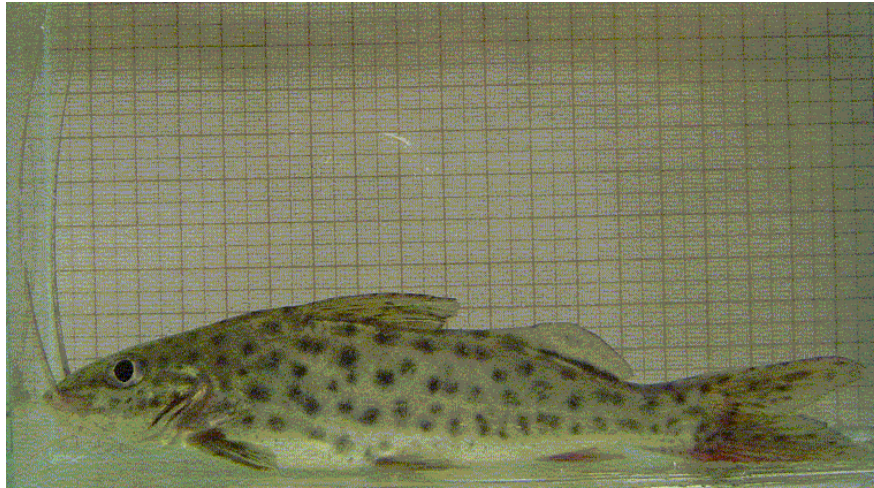


Figura 4.39, Medição de mandi por foto digital com papel milimetrado, Fonte própria.

Durante cada amostra foi levantado o comprimento, o peso e a reação do indivíduo frente ao campo elétrico, com o intuito de levantar um ábaco de resposta em relação à tensão aplicada e comprimento ou peso.

4.3.3.2 Ensaios Biométricos

Para este ensaio foram utilizados 109 mandis amarelos onde cada indivíduo foi pesado e medido seu comprimento. A espécie utilizada foi somente o mandi amarelo. A decisão de concentrar os experimentos em uma só espécie teve como base os seguintes argumentos:

- Segundo as concessionárias de energia é o peixe que mais sofre com a ação da turbinas, sendo portanto a espécies que mais morre em usinas .
- Facilidade em obter peixes saudáveis e selvagens, de origem confiável.
- Facilidade em manter os indivíduos vivos, experiência conquistada com muita insistência.
- Esgotar as possibilidades e com isso desenvolver uma metodologia de ensaio eficiente para testes com as demais espécies.

Este ensaio teve como objetivo investigar uma relação peso por comprimento dos indivíduos, estabelecendo uma equação paramétrica para

estimar o peso de um mandi pelo seu comprimento, além de estabelecer uma relação normalizada com a tensão aplicada sobre o peixe e a densidade de corrente sobre o mesmo.

4.3.4 Ensaios de Resistividade do mandi

4.3.4.1 Calculo da Resistividade do Peixe.

Como dito anteriormente os ensaios foram concentrados nesta espécie.

Para se obter a resistividade do mandi foi utilizado um canal de vidro com 20 cm de comprimento (Z_c), 5 cm de largura (X_c), e 10 cm de altura (Y_c).

O canal foi então preenchido com água do reservatório onde os peixes estavam sendo mantidos., não houve portanto mudança de meio para o peixe, logo não houve mudança de temperatura ou condutividade do meio onde os mesmos estavam antes do teste, esse procedimento visa diminuir ao máximo o estresse causado ao indivíduo durante o ensaio.

4.3.4.2 Obtenção da Resistividade do Peixe Vivo.

Com o aquário preenchido de água aplicou-se uma tensão contínua entre as placas e mediu-se Tensão e Corrente. Variando a tensão no canal foi então obtido a relação tensão corrente do volume de água entre as placas.

Segundo a Lei de Ohm a inclinação da reta tensão corrente, fornece o valor da resistência do material, logo foi construído um gráfico da relação tensão corrente para obtenção da resistência .

Em seguida foi colocado o peixe vivo dentro do canal, e com a ajuda de uma seringa foi medido o volume de líquido deslocado pelo peixe. O volume total foi mantido para ambos os testes, criando-se assim uma referencia de volume a ser utilizada nos cálculos. A Figura 4.39, mostra o esquema do ensaio com o canal preenchido somente com água e posteriormente com água mais peixe.

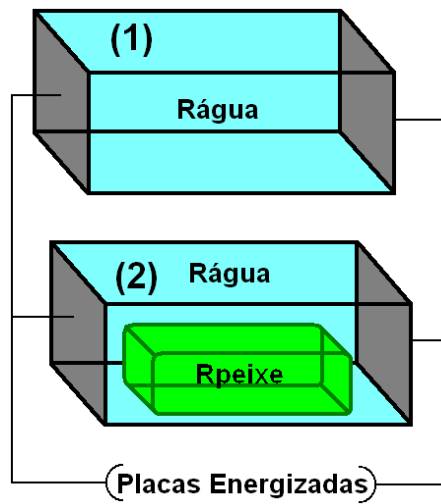


Figura 4.40, Modelo do canal de teste preenchido com água e com água e peixe, fonte própria.

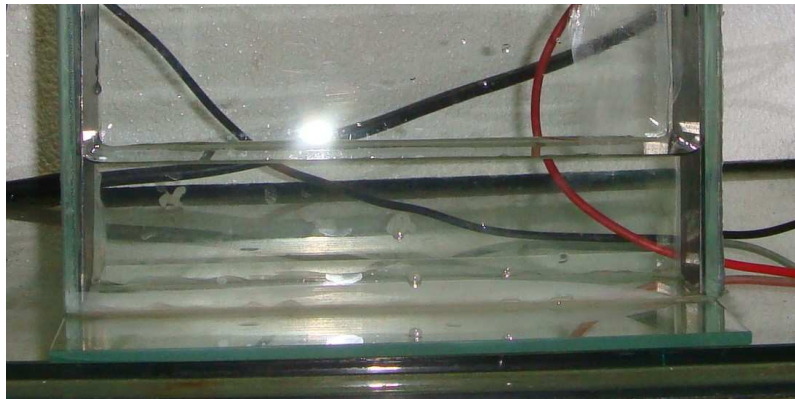


Figura 4.41, Foto do canal de teste preenchido com água, fonte própria.

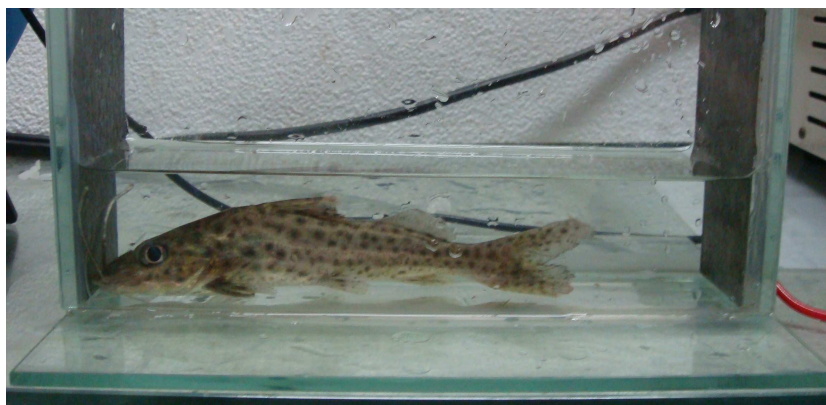


Figura 4.42, Foto do canal de teste preenchido com água mais peixe, fonte própria.

Com os valores dos pares Tensão Corrente obtidos nos testes foi gerado o gráfico figura 4.43 e em seguida obtido a resistência para o sistema com água e com água mais peixe. Esse procedimento foi realizado para vinte peixes de tamanho e peso variados, assim como o volume de água do canal também foi variado de um ensaio para outro para medir possíveis interferências na obtenção dos resultados e portanto validar a metodologia aplicada.

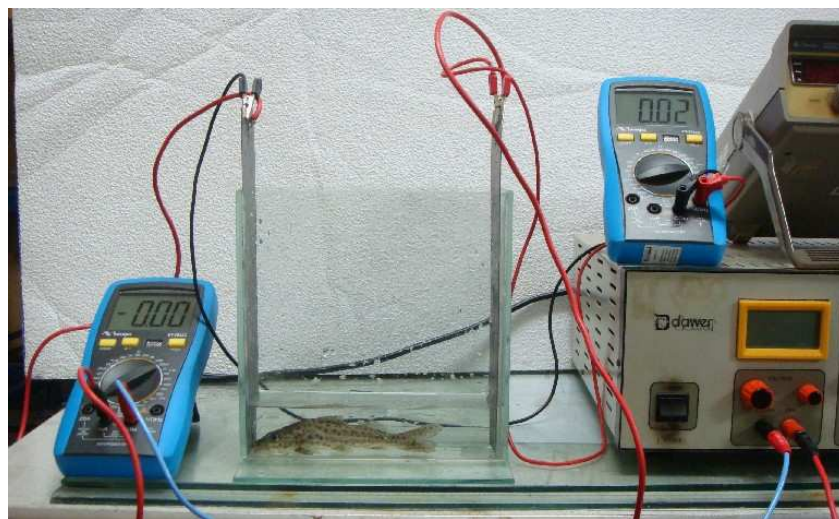


Figura 4.43, Foto do canal de teste e medição, fonte própria.

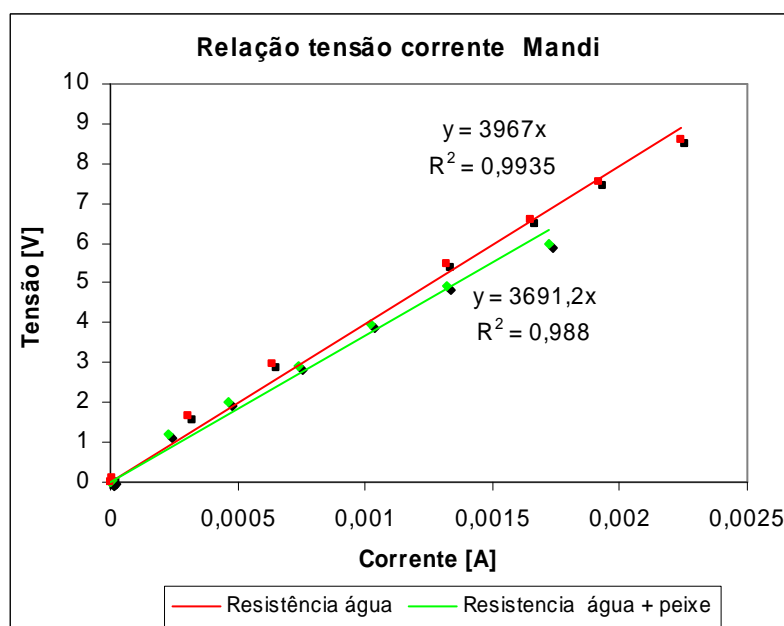


Figura 4.44, Relação tensão corrente para o sistema água e o sistema água peixe, fonte própria.

4.3.4.3 Resistividade da água

Segundo o esquema apresentado na figura 4.39, pode-se representar o sistema como o modelo em Corrente Contínua formado por uma resistência entre dois pontos chamados de A e B, (Gabriel, C 1996a) (Figura 4.44)

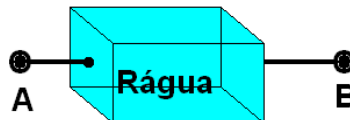


Figura 4.45, Modelo CC do sistema formado pela porção de água contida entre as placas.

Sabendo que a Resistividade ρ é dada por

$$\rho = \frac{(\text{Resistencia}) \cdot (\text{Área})}{(\text{Comprimento})} \quad [4.7]$$

Obtém-se a resistividade da água.

Tabela 4.1- Cálculo da resistividade da água, fonte própria.

Cálculo da resistividade da água		Teste1
Resistencia da água pura	Ra	3967 Ω
comprimento do canal de teste	Zc	0,19 m
largura do canal	Xc	0,05 m
nível de água utilizado	Yc	0,04 m
resistividade da água	$\rho_a = (R_a \cdot X_c \cdot Y_c) / L_c$	41,76 Ωm

4.3.4.4 Resistividade do Mandi

Utilizando o esquema da Figura 4.39 e a foto da figura 4.40 que mostra o peixe dentro do canal de teste, pode-se então utilizar como modelo de calculo, uma distribuição de resistências apresentado na figura 4.45.

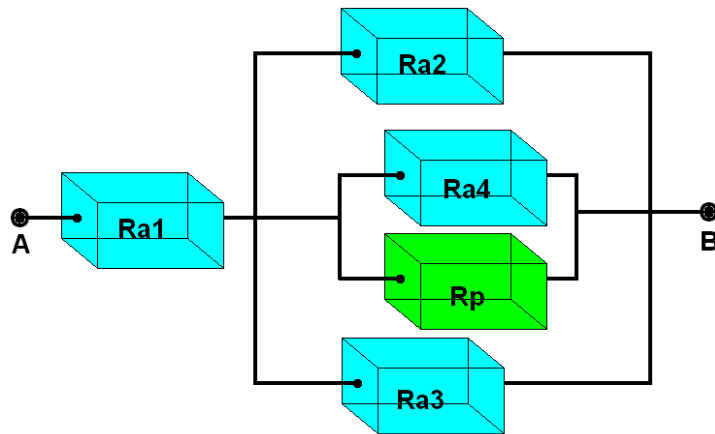


Figura 4.46, Modelo CC do sistema formado pela porção de água mais peixe contida entre as placas, fonte própria.

Com isso a porção de água do canal fica dividida em 4 partes mais uma parte que representa o próprio peixe (Figura 4.46).

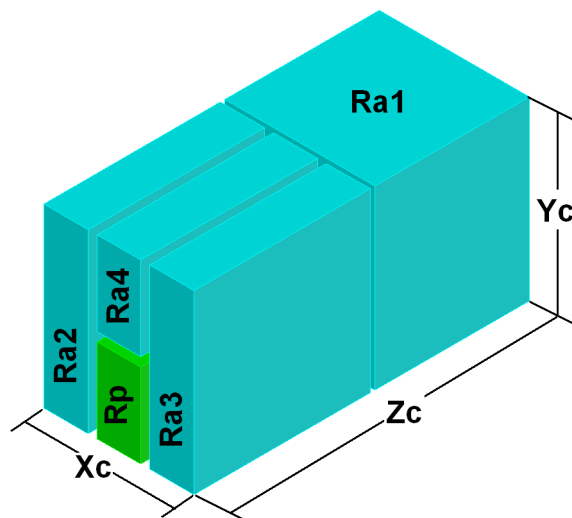


Figura 4.47 Modelo CC do sistema formado pela porção de água mais peixe contida entre as placas, fonte própria.

Com essa distribuição é possível calcular o valor de resistência de cada parte. A Resistência das partes formadas somente de água depende exclusivamente de suas dimensões e da resistividade da água.

O que dificulta o cálculo é a presença do peixe que faz variar cada parte em pelo menos uma dimensão. Além do mais, o cálculo da resistividade depende da área da seção reta da passagem de corrente, o que para o mandi varia com o comprimento.

A solução para esse problema foi a medição do volume de cada peixe em cada um dos ensaios, pois a área tem uma relação direta com o volume e o comprimento, ambos de fácil medição.

Logo a obtenção da área líquida foi obtido através da relação:

$$\begin{aligned}
 V_p &= X_p * Y_p * Z_p \\
 A_p &= X_p * Y_p \\
 V_p &= A_p * Z_p \\
 A_p &= \frac{V_p}{Z_p}
 \end{aligned}
 \tag{4.8}$$

Onde:

- X_p representa a Largura do peixe.
- Y_p representa a Altura do peixe.
- Z_p representa o Comprimento do peixe.
- V_p representa o Volume do peixe.
- A_p representa a área líquida do peixe.

Com isso as dimensões de cada uma das partes pode ser encontrada com facilidade.

Para calcular R_{a1} são necessárias as dimensões X_{a1} , Y_{a1} e Z_{a1} .

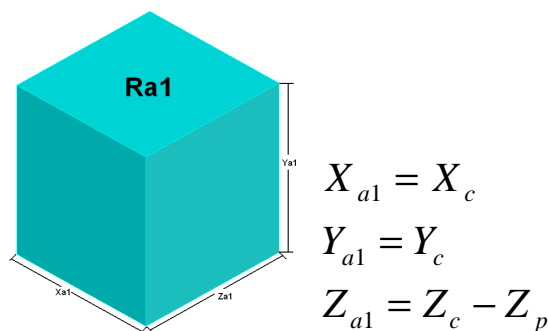


Figura 4.48, Modelo CC do sistema formado pela porção de água em série com a porção água mais peixe, fonte própria.

Logo o cálculo da resistência R_{a1} pode ser determinado por :

$$R_{a1} = \frac{\rho a \cdot Z_{a1}}{X_{a1} \cdot Y_{a1}} \quad [4.9]$$

Tabela 4.2, Cálculo da resistência R_{a1} , fonte própria.

Cálculo de Ra1		Teste1
Comprimento do peixe	Z_p	0,153 m
Comprimento da porção de água em série	$Z_{a1}=Z_c - Z_p$	0,037 m
Área da seção reta da porção série	$A1=X_c \cdot Y_c$	0,002 m
Resistencia série	$R_{a1}=\rho a(L_{a1}/A1)$	772,52 Ω

Para calcular R_{a2} e R_{a3} é necessário conhecer as dimensões X_{a2} , Y_{a2} e Z_{a2} :

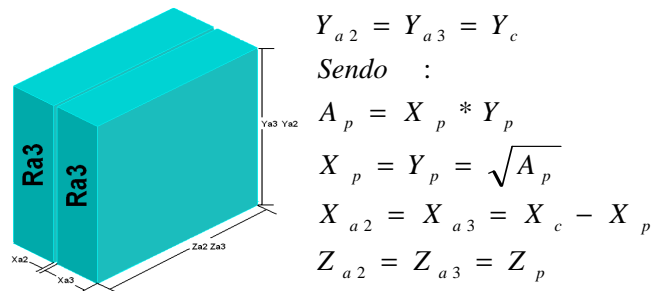


Figura 4.49, Modelo CC do sistema formado pela porção de água em paralelo com a porção água mais peixe, fonte própria.

$$R_{a2} = R_{a3} = \frac{\rho a \cdot Z_{a2}}{X_{a2} \cdot Y_{a2}} \quad [4.10]$$

Tabela 4.3, Cálculo das resistências R_{a2} e R_{a3} , fonte própria.

Cálculo de Ra2 e Ra3		Teste1
Volume do peixe	V_p	0,000033 m ³
Área líquida do peixe	$A_p=(V_p/Z_p)$	0,00022 m ²
Largura do peixe média	$Y_p=\text{raiz}(A_p)$	0,0147 m
Altura do peixe média	$X_p=\text{raiz}(A_p)$	0,0147 m
Comprimento das partes laterais	$Z_{a2}=Z_{a3}=Z_p$	0,153 m
Largura das partes laterais	$X_{a2}=X_{a3}=(X_c - X_p)/2$	0,0176 m
Altura das partes laterais	$Y_{a2}=Y_{a3}=Y_c$	0,04 m
Resistencia das partes laterais	$R_{a2}=R_{a3}=\rho a(Z_{a2}/(X_{a2} \cdot Y_{a2}))$	9060,24 Ω

Para calcular R_{a4} é necessário saber as dimensões X_{a4} , Y_{a4} e Z_{a4} :

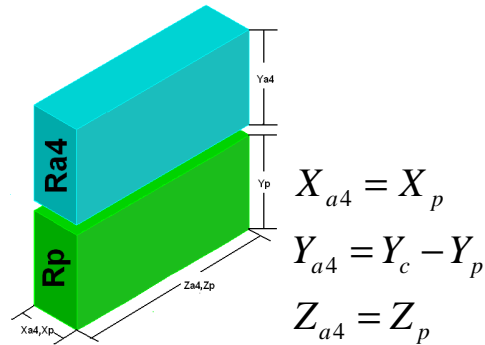


Figura 4.50, Modelo CC do sistema formado pela porção de água em paralelo com o peixe, fonte própria.

$$R_{a4} = \frac{\rho a \cdot Z_{a4}}{X_{a4} \cdot Y_{a4}} \quad [4.11]$$

Tabela 4.4, Cálculo da resistência R_{a4} , fonte própria.

Cálculo de R_{a4}		Teste1
Comprimento da parte superior ao peixe	$Z_{a4}=Z_p$	0,153 m
Largura da parte superior ao peixe	$X_{a4}=x_p$	0,0147 m
Altura da parte superior ao peixe	$Y_{a4}=Y_c-Y_p$	0,025 m
Resistencia da parte superior ao peixe	$R_{a4}=\rho a/(Z_{a4}/(X_{a4} Y_{a4}))$	17158,42 Ω

O calculo de R_p pode ser realizado facilmente pela teoria de circuitos onde, conhecendo R_{ab} da Figura 4.50, temos como $R_{equivalente}(R_{ab})$:

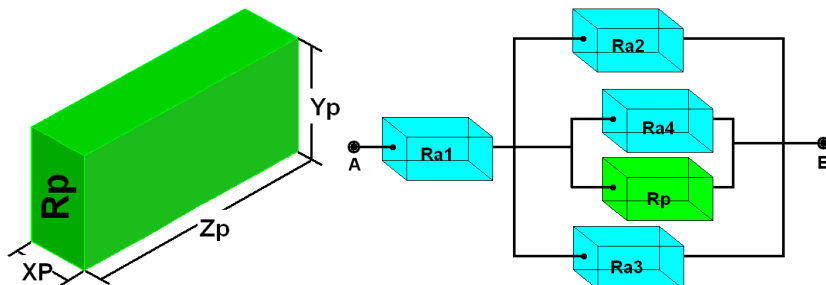


Figura 4.51, Modelo CC do peixe, fonte própria.

$$R_{ab} = R_{a1} + \left(\frac{1}{R_{a2}} + \frac{1}{R_{a3}} + \frac{1}{R_{a4}} + \frac{1}{R_p} \right)^{-1} \quad [4.12]$$

$$R_p = \frac{R_{a2}R_{a3}R_{a4}(R_{a1} - R_{ab})}{(R_{ab} - R_{a1})(R_{a2}R_{a3} + R_{a2}R_{a4} + R_{a3}R_{a4}) - R_{a2}R_{a3}R_{a4}}$$

Logo a resistividade do Peixe vivo será:

$$\rho_p = \frac{X_p \cdot Y_p \cdot R_p}{Z_p} \quad [4.13]$$

Tabela 4.5, Cálculo resistividade do Mandi amarelo, fonte própria.

Cálculo da Resistividade do <i>Pimelodus maculatus</i>		Peixe1
Resistencia paralelo	$R_{pr}=(R_{ap}-R_{a1})$	2918,67 Ω
Resistencia do peixe	$R_p=1/((1/R_{pr})-(1/R_{a2})-(1/R_{a3})-(1/R_{a4}))$	15724,35 Ω
Resistividade do peixe	$R\hat{o}p=R_p(X_pY_p/L_p)$	22,33 Ωm

4.3.4.5 Resistência interna do Mandi

Este teste tem como objetivo estabelecer a resistividade interna do mandi, com aplicação direta de tensão sobre o peixe fora da água e posteriormente dentro da água.

Para este procedimento foi utilizado um exemplar de mandi amarelo morto por choque térmico, para não danificar o tecido externo do mesmo e assim manter a resistência da pele intacta. O indivíduo foi retirado do tanque e imerso em água com gelo moído.

Em seguida foram introduzidos no mandi, eletrodos de cobre encapados de PVC, cuja extremidade foi cuidadosamente desencapada para produzir uma área de contato suficiente para realização das medições de tensão interna do peixe.

Os eletrodos foram dispostos na região central do peixe, sendo introduzidos na parte superior do peixe até atingir a coluna do mesmo. O espaçamento entre eletrodos foi de 2cm, sendo o primeiro eletrodo colocado a 5,7 cm da boca, e o último a 4 cm da ponta da cauda.

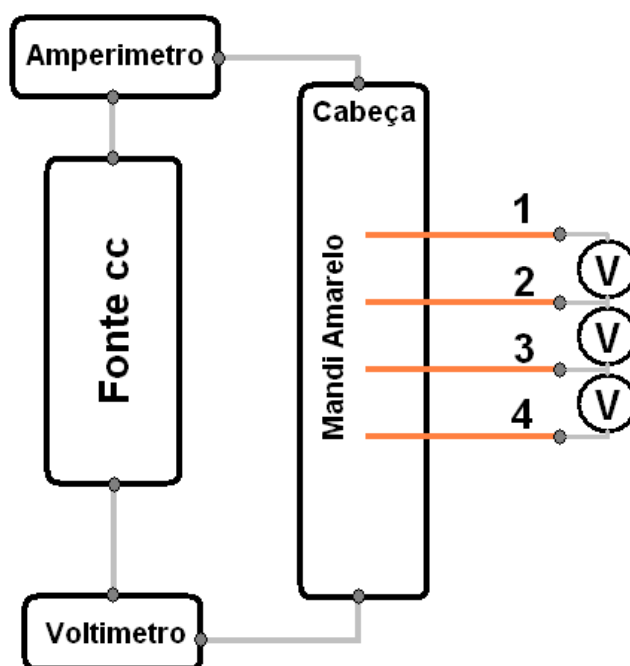


Figura 4.52, Esquema de montagem de eletrodos dentro do peixe, fonte própria.

O primeiro ensaio foi realizado com o peixe fora da água, segundo o esquema mostrado na figura 4.51. Foi aplicada uma tensão contínua da cabeça à cauda do peixe, medido a corrente que passa pelo mesmo e a tensão sobre o peixe e entre os eletrodos. Com os valores medidos foi calculada a resistência interna do mandi e sua resistividade interna fora da água.

Em seguida foi realizado o mesmo teste com o mandi imerso em água e a tensão aplicada por placas paralelas. como nos demais testes de eletrosensibilidade e resistividade, figura 4.52. Os eletrodos foram fixados com fita à beira do canal para não se soltarem do peixe. A corrente foi medida junto à fonte, a tensão entre as placas foi monitorada e foi medido a tensão interna do peixe entre eletrodos. Neste processo foram medidos peso e volume, o que permitiu o cálculo da resistividade do peixe inteiro imerso em água usando a metodologia mostrada anteriormente. Neste ensaio foi possível verificar se existe diferença entre a resistividade interna do peixe e a externa, bem como comparar com a resistividade medida no ensaio anterior com o peixe fora da água.

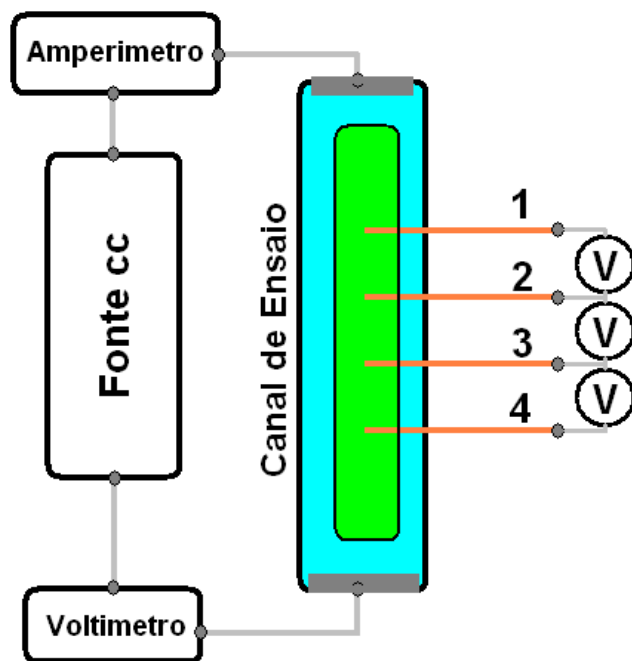


Figura 4.53, Esquema de montagem de eletrodos dentro do peixe, com o peixe imerso em água, fonte própria.

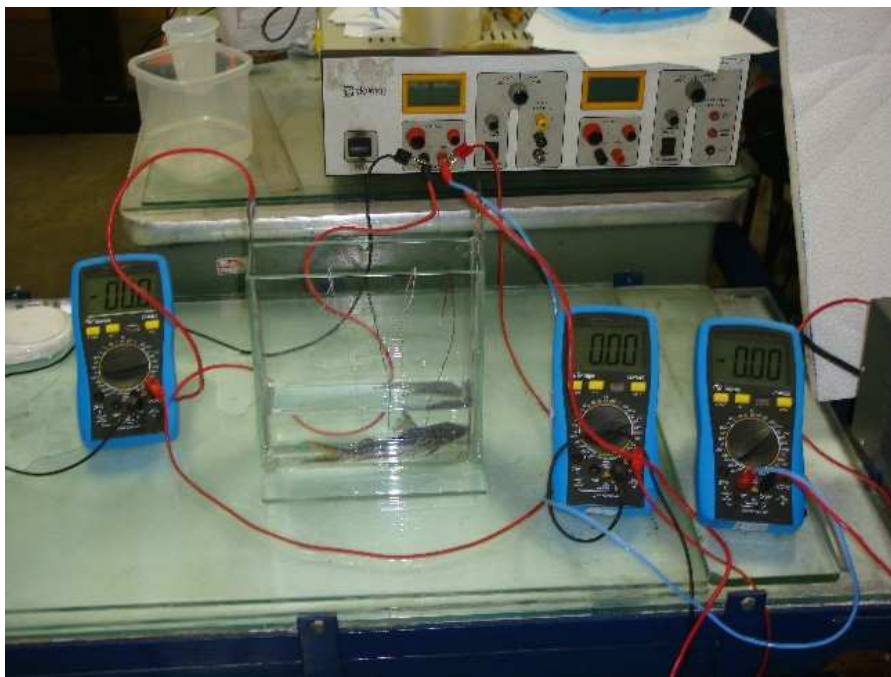


Figura 4.54, esquema de montagem de eletrodos dentro do peixe com o mesmo dentro da água, fonte própria.

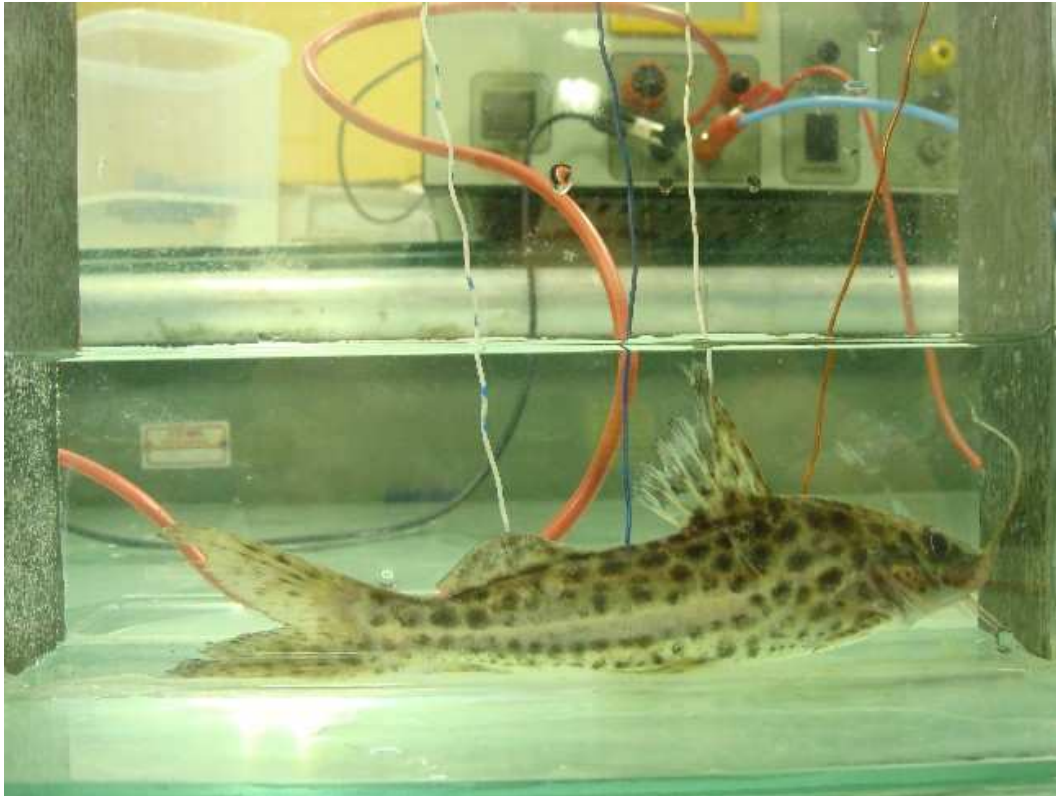


Figura 4.55, Detalhe dos eletrodos dentro do peixe, fonte própria.

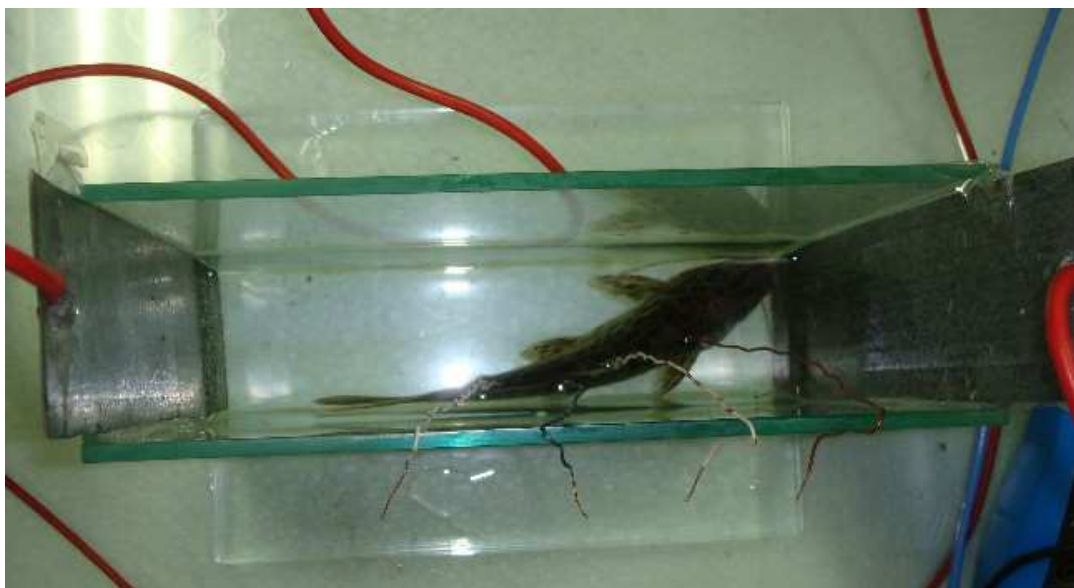


Figura 4.56, Detalhe dos eletrodos dentro do peixe, visto de cima, Fonte própria.

4.3.5 Ensaios avançados de eletro sensibilidade.

Com a experiência adquirida nos testes anteriores os ensaios para o Mandi Amarelo foram repetidos, para 60 Hz, 1000Hz senoidal e pulso

quadrado. Nestes ensaios cada indivíduo foi testado uma única vez, o que exigiu uma grande quantidade de indivíduos. Os lotes de teste variaram de vinte a trinta indivíduos, descartando os testes onde o peixe pareceu muito estressado desde o início, e quando uma ou outra eventualidade aconteceu.

Os peixes adquiridos com pescadores do Paraopeba, foram mantidos em um tanque retangular, onde os mesmos possuíam muito espaço para o nado. As paredes do tanque foram tampadas com lona escura para impedir a visibilidade dos peixes do exterior do tanque. Os peixes foram alimentados com ração comercial granulada, recebendo a dose diária ao fim das tardes.

Para realização dos ensaios foi utilizada a água do canal onde os indivíduos estavam sendo mantidos para evitar o choque de adaptação com as características intrínsecas da água como temperatura, dureza e condutividade. Nestes testes a resistividade da água variou de 40 a 65 ohms metro. A temperatura variou de 25 a 30 graus.

Na realização de cada teste o indivíduo foi colocado no canal de teste e em seguida esperou-se 10 minutos para que o mesmo se acalmasse com a mudança. O canal foi energizado partindo-se do zero até a tensão de paralisia do indivíduo, onde a tensão foi desligada automaticamente. Cada teste foi filmado para que os limiares fossem observados muitas vezes com o intuito de minimizar falsas interpretações.

Para a realização dos testes a 60Hz, foi utilizado o mesmo aparato utilizado anteriormente mostrado nas figuras 4.6, 4,7 e 4,8.

Para os testes de 1000 Hz foi anexado ao sistema um circuito amplificador utilizando um amplificador operacional, que amplifica o sinal do gerador de sinais. Logo as tensões de alta frequência foram obtidas amplificando o sinal de referência do gerador de sinais, e medido com o osciloscópio digital.

Ensaio com Barreira em Anéis.

Para os ensaios com barreiras em anéis, simulou-se exaustivamente tanto o número de anéis como sua posição. Em seguida utilizou-se uma rotina de otimização para verificação de uma configuração ótima. Após as simulações, foi montada uma barreira elétrica com a configuração da melhor simulação realizado ensaios preliminares de efetividade da barreira. Usando

como referência os resultados dos testes de eletro-sensibilidade descritos no item 4.3.3, optou-se por generalizar os resultados para outras espécies e realizar um ensaio com espécies variadas.

Para isso utilizou-se as seguintes espécies :

- Mandis entre 10 e 23cm
- Cascudos entre 10 e 16 cm
- Curimbas entre 11 a 25 cm
- Pacu com 25 cm Piau com 8 a 13 cm
- Lambaris de 8 cm.

Para ensaio com espécies variadas utilizou-se o tanque de permanência em que as espécies são mantidas. A Barreira de placas foi montada e não foi energizada para que os peixes se acostumassem com a presença das barras dentro do tanque. A figura 4.56 a seguir mostra em planta um esquema do experimento conduzido no laboratório. Já a figura 4.57 mostra uma vista lateral do aparato com a barreira instalada mas desenergizada.

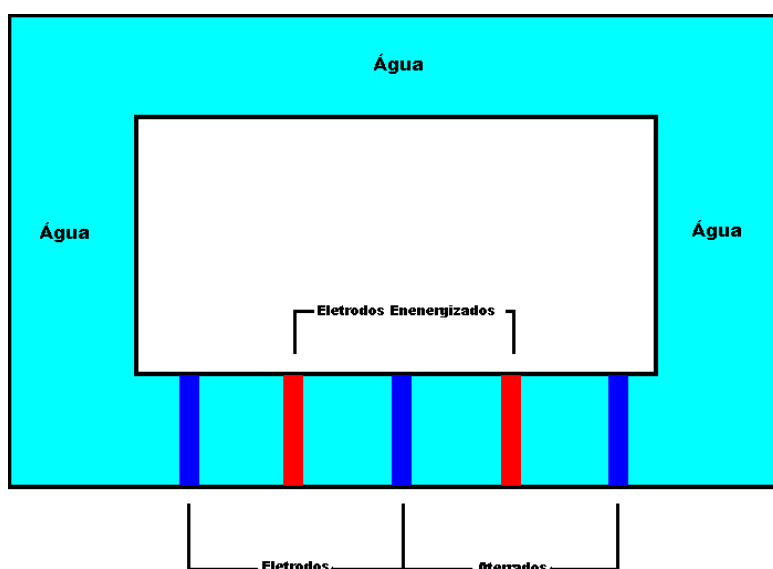


Figura 4.57, Bancada com barreira distribuída, Fonte própria.



Figura 4.58, Peixes passando normalmente pela barreira desenergizada,
Fonte própria.

Em seguida a barreira foi energizada com uma tensão pré estabelecida , baseada nos ábacos de comportamento apresentado pelo mandi e curimba, apresentando cinco níveis que foram definidos de 10 a 55 volts por metro, com freqüência de 60 hz. Isso permitiu que fosse observada a seletividade da barreira., ou seja para cada nível de tensão a barreira seria efetiva por espécie . O Objetivo é determinar se a barreira é efetiva para outras espécies não ensaiadas, com nível de tensão predeterminado pelos ensaios de mandis e curimbas.

5 RESULTADOS

Os resultados serão apresentados por ordem cronológica de investigação que vão dos primeiros testes com placas externas até a consolidação da barreira de anéis com isolamento de campo.

Os resultados serão apresentados segundo a cronologia abaixo:

1. Ensaio com placas externas.
2. Ensaio com eletrodos circulares imersos na água.
3. Simulação da barreira de eletrodos circulares e de placas.
4. Eletro sensibilidade *Prochilodus lineatus* & *Pimelodus maculatus*.
5. Resistividade do *Pimelodus maculatus*
6. Densidade de corrente sobre *Pimelodus maculatus*.
7. Simulação da Barreira de anéis.
8. Ensaios preliminares da barreira de Anéis.

5.1 Ensaios com placas externas

O procedimento dos ensaios com placas externas foi descrito no capítulo 4, sessão 4.2.3 e 4.3.1. Nestes ensaios o objetivo era verificar se os peixes confinados dentro do canal de teste responderiam a aplicação de um campo elétrico externo ao canal, segundo apresentado na figura 4.12 desta mesma sessão.

Após a aplicação de tensão alternada e contínua não foi verificado qualquer mudança comportamental nos indivíduos testados.

5.2 Ensaios com eletrodos circulares imersos na água.

A metodologia utilizada nestes ensaios é apresentada no capítulo 4 sessão 4.2.3 e 4.3.2.

Os ensaios com essa configuração teve como objetivo verificar a reação dos indivíduos testados frente à aplicação de campo elétrico aplicado entre dois eletrodos circulares de alumínio, Figura 5.1. Neste ponto foram aplicados tensão primeiramente contínua.

As reações dos peixes testados foram relacionadas à corrente medida no momento e colocadas em uma tabela, tabela 5.1. Os indivíduos testados foram exemplares da espécie Pacu. Estes foram considerados os ensaios preliminares.

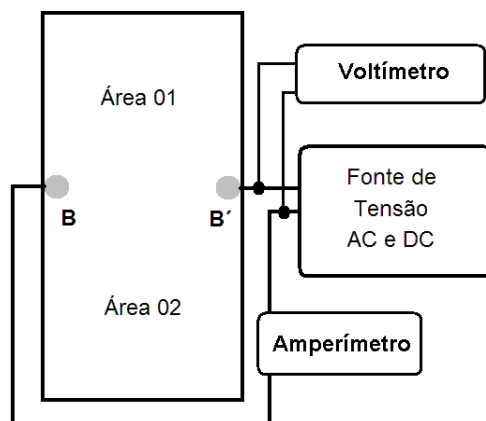


Figura 5.1, Esquema elétrico do ensaio com eletrodos circulares de alumínio, representados pelas letra B B', Fonte própria.

Tabela 5.1, Resultados da primeira medição com eletrodos circulares de alumínio, teste com corrente contínua, Fonte própria.

Intensidade do pulso de corrente [A]	Estado apresentado pelos peixes
100μ a 1m	Sem alteração no estado inicial
1m a 10m	Início de sensibilidade (atração)
10m a 30m	Incômodo
30m a 80m	Repulsão
80m a 120m	Paralisação parcial
acima de 120m	Paralisação total e possível morte

Em seguida foram inseridos dois novos pares de eletrodos [A A' e C C'], conforme apresentado anteriormente, na figura 4.29, sessão 4.3.2. Isso objetivou testar a capacidade de orientação de cardumes dentro do canal. Para isso energizou-se os pares externos [AA' e CC'], um par de cada vez. Verificou-se então que o cardume de teste se locomovia para o extremo

oposto ao eletrodo energizado. O cardume testado inicialmente contava apenas com 3 espécimes, posteriormente aumentou-se o tamanho do cardume para sete espécimes, e os resultados obtidos foram mais consistentes. Isto se deve em parte ao efeito de "cardume" comum em peixes.

Tabela 5.2, Resultados dos testes preliminares de confinamento de peixes no canal de teste, Fonte própria.

Corrente elétrica no par B/B' [A]	Reação do cardume
Entre 10 e 20mili	O cardume sente a reação de incômodo , mas insiste em ultrapassar a barreira se algo externo ao aquário os assusta.
Entre 20 e 30mili	O cardume se encontra em semi-confinamento, onde um ou outro indivíduo tenta ultrapassar a barreira. Quando isso ocorre o indivíduo (possivelmente assustado) sente a barreira e a ultrapassa nadando rapidamente, o resto do cardume fica confinado.
Entre 30 e 60mili	O cardume fica confinado, e o número de indivíduos que tenta ultrapassar a barreira é insignificante.
Entre 60 e 120mili	O cardume fica confinado, com fugas muito restritas.
Acima de 120mili e abaixo de 500mili	O cardume fica totalmente confinado.

A manobra realizada com o cardume de teste ampliado (mobilização do cardume de um extremo ao outro do aquário com o uso de pulsos) incentivou novos testes de controle do cardume como o confinamento. Para o teste de confinamento energizou-se o par [A A'] e esperou-se que o cardume atravessa-se todo o canal, esvaziando a **área 01** estabelecendo-se totalmente na **área 02**. Quando todo o cardume encontrava-se na **área 02** energizou-se o par de eletrodos centrais [B B'], fazendo com que o cardume ficasse confinado. O resultado dos testes é mostrado na tabela 5.2.

De acordo com as observações no canal de teste qualificou-se o estado de apresentação dos peixes em seis diferentes situações:

- **Sem alteração:** neste estado o cardume permanece unido e com atividades costumeiras, parado em uma certa região ou se movimentando em grupo lenta e naturalmente.

- **Atração:** neste estado alguns peixes do cardume se sentem atraídos e tentam atravessar a parede de vidro onde o par energizado se encontra. Há uma movimentação de peixes próxima a parede onde se encontra o par, e os peixes atraídos, sobem e descem de frente para a parede de vidro como que querendo transpassá-la .

- **Incômodo:** O cardume se dispersa , com indivíduos próximos do par energizado movendo-se rapidamente como que levando um susto, e o cardume apresenta uma pulsação em sua forma , desfazendo-se e juntando-se como que querendo descobrir a causa do incômodo.

- **Repulsão:** O cardume se desfaz, indivíduos fogem rapidamente para longe do par energizado deixando rapidamente a região.

- **Paralisação parcial :** O peixe atingido pelo pulso , para de nadar e fica imóvel somente respirando. Em algumas vezes suas brânquias e sua boca se movimentam freneticamente , alternando com momentos de paralisia, o que são sintomas de convulsão.

- **Paralisação total e possível morte :** Neste caso o peixe atingido perde os movimentos (fica aturdido) e afunda até o fundo do aquário. É necessário a parada dos testes e imediata intervenção. Caso a intervenção não ocorra a paralisia evoluirá para morte.

Acima de 500miliamperes não se registrou nenhuma morte, porem em todos os casos houve a necessidade de uma intervenção imediata.

Novos testes então foram realizados para testar o controle de cardume, onde se esperava determinar o tempo em que os peixes levavam para deixar uma área considerada proibida e se situarem em uma área

considerada segura, este ensaio foi considerado como ensaio de evacuação., e sua metodologia é mostrada no capítulo 4 sessão 4.3.2. Com esse procedimento conseguiu-se 100% de evasão da área proibida, com a vantagem de se eliminar o observador que nos outros testes era responsável por energizar e desenergizar os pares.

5.3 Simulação da barreira de eletrodos circulares e de placas.

Os experimentos com eletrodos foram conduzidos em um canal de onde se pode observar a influência do campo elétrico sobre o comportamento dos peixes. Para isso, foi construído um canal, em vidro, em formato longo e estreito 1,5m de comprimento, 40cm de altura e 15cm de largura, similar ao canal de restituição de turbina hidráulica de pequena usina hidrelétrica. Um desenho esquemático do canal de teste é apresentado na figura 5.16 a seguir. Em todos os casos observados nesse ensaio foi considerado que o peixe se aproxima da barreira de forma ortogonal.

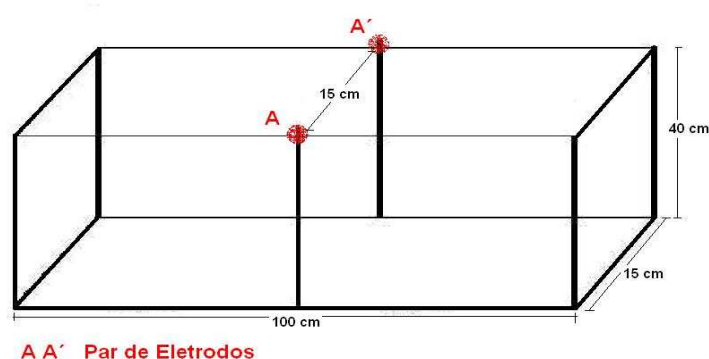


Figura 5.2, Canal de teste, Com par de eletrodos cilíndricos centrais [A A'],
Fonte própria.

Os resultados obtidos nos testes iniciais assim como a descrição das medições no que diz respeito ao comportamento dos peixes estão apresentados na tabela 5.3 a seguir.

Tabela 5.3, Resultados da medição, com eletrodos emersos em canal de teste, Fonte própria.

Tensão dos eletrodos [V]	Estado comportamental
0.1 a 1	Sem alteração no estado inicial
1 a 10	Início de sensibilidade (atração)
10 a 30	Incômodo
30 a 80	Repulsão
80 a 120	Paralisação parcial
Acima de 120	Paralisação total e possível morte

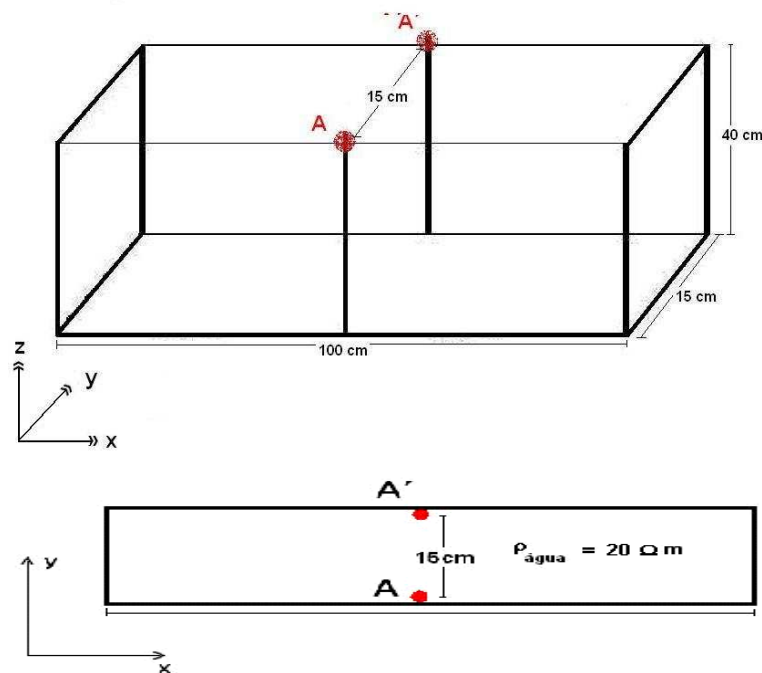


Figura 5.3- Canal de teste, Com par de eletrodos cilíndricos centrais [$A A'$], vista do todo e de cima, formulação para simulação, Fonte própria.

Após a obtenção dos resultados em laboratório foi realizada uma simulação computacional, utilizando um programa de cálculo de campo, para a barreira constituída de dois eletrodos cilíndricos.

A resistividade da água para essa simulação foi considerada igual a $20\Omega m$. Esse valor é devido aos sais eliminados na água pelos peixes em seus excrementos, o que altera significativamente seu valor. É importante

ressaltar, que devido ao fato da análise ser feita em duas dimensões, os eletrodos são considerados como tendo comprimento infinito na dimensão “ Z ” como pode ser visto na figura 5.17. Assim a simulação será feita em planta no canal de teste . Foi aplicado na simulação a tensões de 1V a 120V. Sendo o eletrodo A com o potencial zero e o eletrodo A´ com o potencial de teste.

Os eletrodos foram considerados envoltos pela água em todas as direções, ou seja, foram desprezadas as limitações impostas pelo vidro do canal. A região entre os eletrodos foi o foco desta simulação.

A configuração do campo elétrico entre os eletrodos, foi então determinada como mostra a figura 5.4.

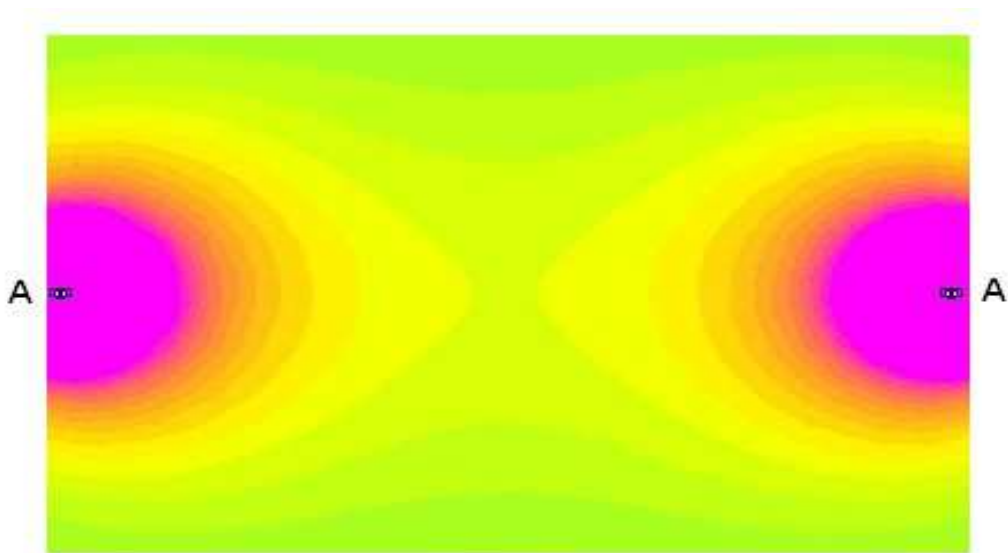


Figura 5.4, Distribuição do módulo do campo elétrico entre os eletrodos [A A´], Fonte própria.

A distribuição do potencial elétrico pode ser visto na figura 5.5. sendo o potencial “rosa” o máximo e “verde” o potencial nulo. O potencial amarelo é intermediário.



Figura 5.5, Distribuição do campo elétrico entre os eletrodos [$A A'$], Fonte própria.

Sobrepondo ambos temos a distribuição do campo e do potencial na barreira que é apresentado na figura 5.6.

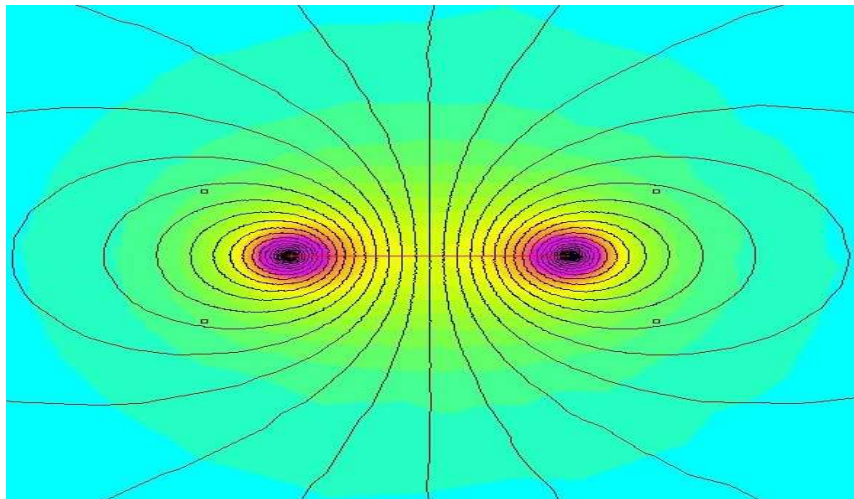


Figura 5.6, Distribuição do campo elétrico entre os eletrodos [$A A'$]. As linhas determinam o potencial e as cores de violeta a azul determinam o campo elétrico, Fonte própria.

Determinou-se então o comportamento da tensão entre os eletrodos. Os valores foram colocados em um gráfico por unidade que é apresentado na figura 5.7.

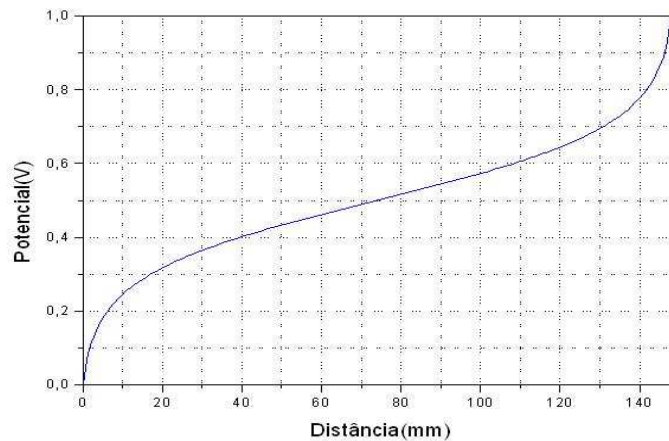


Figura 5.7, Distribuição do Potencial Elétrico entre os eletrodos [$A A'$],
Fonte própria.

Uma vez simulado a distribuição de tensão entre o par de eletrodos pôde avaliar o funcionamento da barreira quando peixes se aproximam da mesma.

A figura 5.8 apresenta as linhas de potencial entre os eletrodos. A diferença de potencial ao longo de uma linha é nula, logo se um peixe se aproxima da barreira em sentido ortogonal o mesmo fica exposto a uma diferença de potencial muito pequena, tabela 5.4, e sua sensação de choque fica diminuída. Para um peixe de 1cm de largura a diferença de potencial nestas condições é de menos de 5% do potencial aplicado.

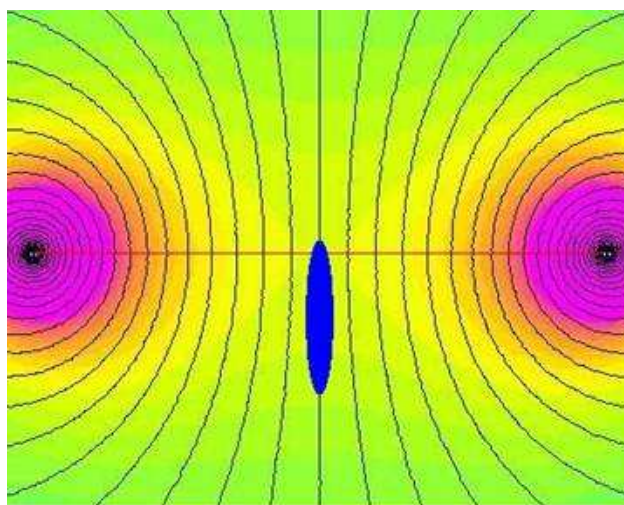


Figura 5.8 – Peixe se aproximando da barreira de forma ortogonal , Fonte própria.

Tabela 5.4, Tensão aplicada sobre o peixe quando este se aproxima da barreira de forma ortogonal, (paralelo às paredes do canal) , Fonte própria.

Diferença de potencial entre os eletrodos em [V]	Diferença de potencial no peixe em [V] ortogonal
0,1	0,005
1	0,05
10	0,5
30	1,5
80	4
120	6

Porem se o peixe se aproximar da barreira e perceber o choque se posicionando de forma longitudinal à barreira na região central (ver figuras 5.5 e 5.6), o mesmo fica exposto a uma diferença de potencial muito maior . Para o caso de peixes de 10 cm a diferença de potencial é em torno 32% do valor aplicado à barreira (ver tabela 5.5).

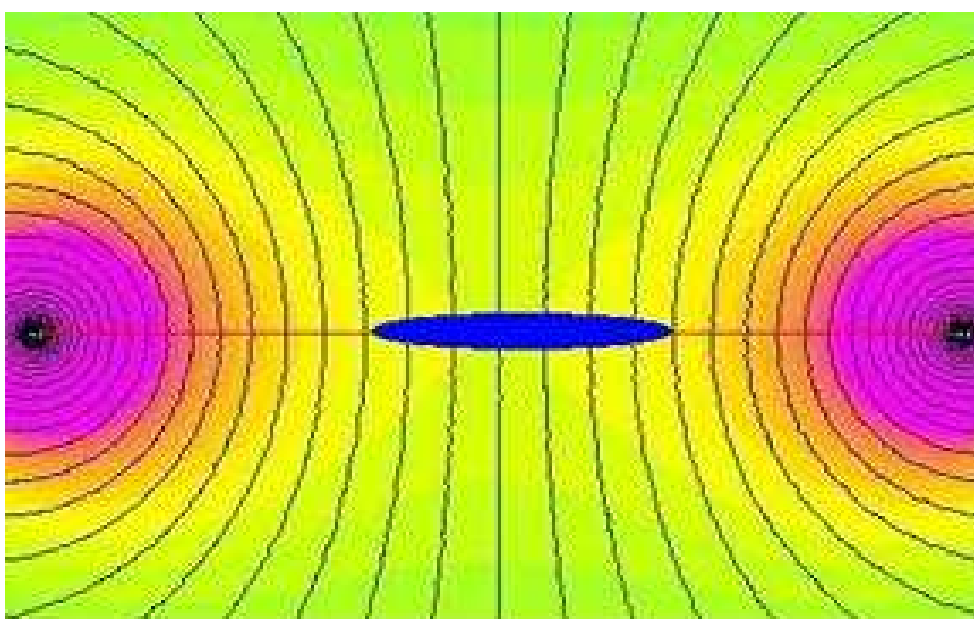


Figura 5.9 – Peixe se aproximando da barreira de forma longitudinal a barreira , Fonte própria.

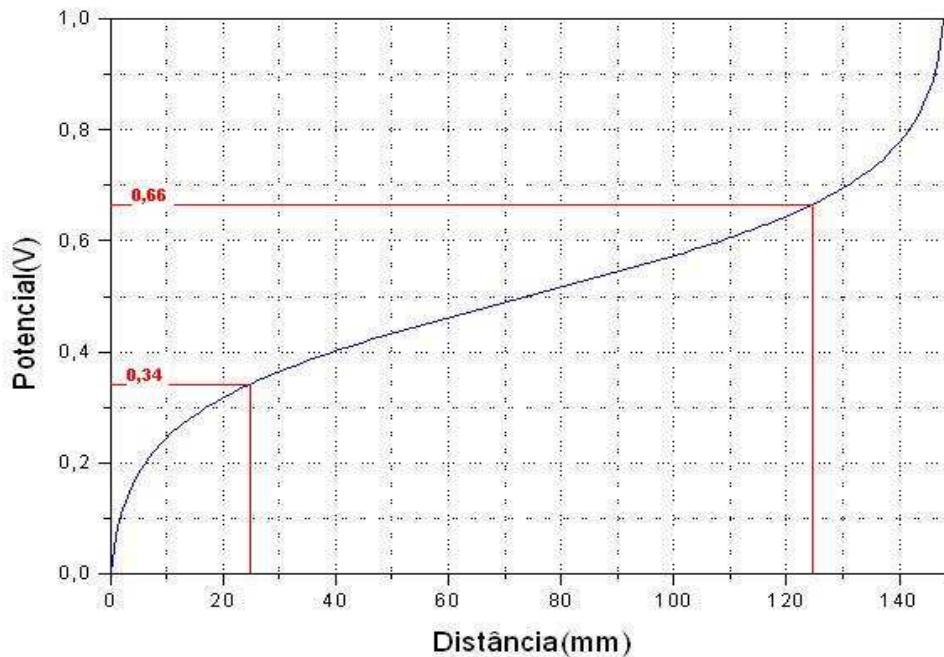


Figura 5.10, Diferença de potencial que o peixe fica exposto quando posicionado longitudinalmente a barreira, Fonte própria.

Tabela 5.5, Tensão aplicada sobre o peixe em posição **longitudinal a barreira (perpendicular a parede do canal)** , Fonte própria.

Diferença de potencial entre os eletrodos em [V]	Diferença de potencial no peixe em [V] paralelo
0,1	0,032
1	0,32
10	3,2
30	9,6
80	25,6
120	38,4

A barreira gerada pelo par de eletrodos possui uma distribuição de campo muito irregular. O que pode causar resultados diferentes para cada posição do peixe frente à barreira.

Outro ponto a se considerar é que o potencial necessário para afugentar um peixe que se aproxima da barreira de forma ortogonal, é suficiente para paralisar ou até mesmo matar o mesmo peixe se colocado de forma longitudinal. Além do mais uma maior concentração do potencial se dá nas extremidades , próximo aos eletrodos, o que coloca em risco os peixes

que se utilizam das paredes do tubo de sucção para se movimentar, como é o caso dos mandis e cascudos.

Novos arranjos foram ensaiados para determinar qual seria a melhor configuração da barreira. Para analisar cada possibilidade, utilizou-se um programa de cálculo de campo baseado em elementos finitos.

Inicialmente simulou-se uma barreira com vários pares de Eletrodos circulares. A metodologia utilizada foi citada no capítulo 4, sessão 4.2.3, figura 4.18. Os resultados obtidos para essa simulação podem ser observados na figura 5.11 a seguir.

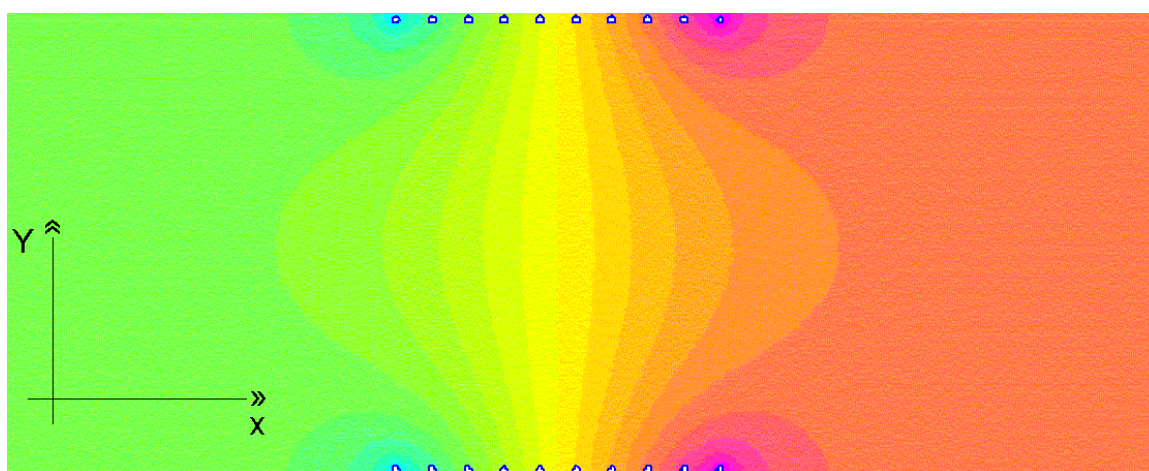


Figura 5.11, Configuração da barreira composta por dez fios, a cor violeta mostra o potencial maior (50V), e a cor azul mostra o menor potencial (5V) , Fonte própria.

. A figura 5.11 mostra a configuração de uma barreira com dez eletrodos circulares. Cada camada de cor representa um potencial, logo para um peixe que se movimenta na direção **(X)**, ou seja, ortogonal à barreira, este fica exposto a uma diferença de potencial, que irá proporcionar ao peixe a sensação de incômodo. Se o mesmo insistir em se movimentar nesta direção (X) o incômodo irá aumentar para os níveis de agitação e posteriormente para o nível de paralisia. Porém ao sentir o incômodo, o peixe se põe de forma paralela ao eixo y , e desta forma a diferença de potencial se reduz. Isto garante em parte a segurança do peixe, e permite que o mesmo deixe a região da barreira em segurança.

A figura 5.12 mostra comportamento do potencial dentro do canal de ensaio, para simulação a dez eletrodos circulares, assim como na figura 5.11 vê-se que a distribuição do potencial é bastante regular, porém a distorção nas extremidades ainda é muito grande.

Como a área de atuação do eletrodo circular é pequena, provoca uma distorção no campo. No intuito de aumentar a área de atuação do eletrodo a ser utilizado na barreira, foi realizada uma simulação utilizando placas, ao invés de eletrodos circulares.

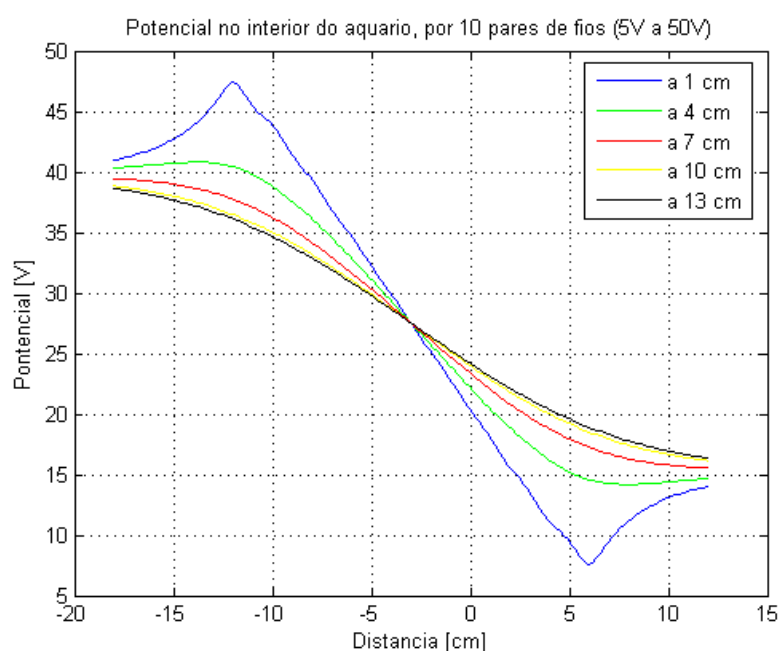


Figura 5.12, Comportamento do potencial dentro do canal de ensaio, para simulação a dez eletrodos circulares, Fonte própria.

Primeiramente se utilizou um aparato com 4 placas. Os resultados são mostrados na figura 5.13. A distribuição do potencial ainda mostra uma distorção nas extremidades, o que nos levou a aumentar a quantidade de pares de placas na barreira.

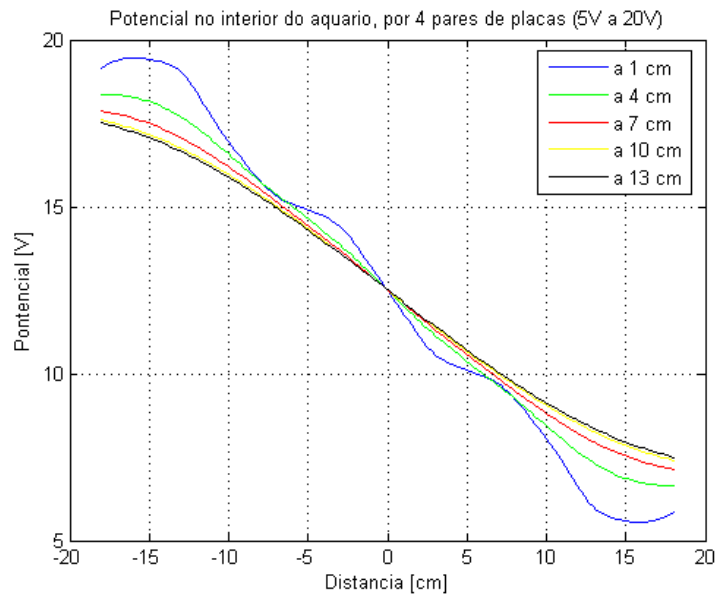


Figura 5.13, Comportamento do potencial dentro do canal de ensaio, para simulação a 4 placas, Fonte própria .

Foi então ensaiado uma barreira formada por 9 placas, com uma estrutura semelhante à testada com os pares de eletrodos circulares, o resultado é mostrado na figura 5.14. A distribuição do potencial na barreira ficou muito mais uniforme com uma leve distorção nas extremidades .

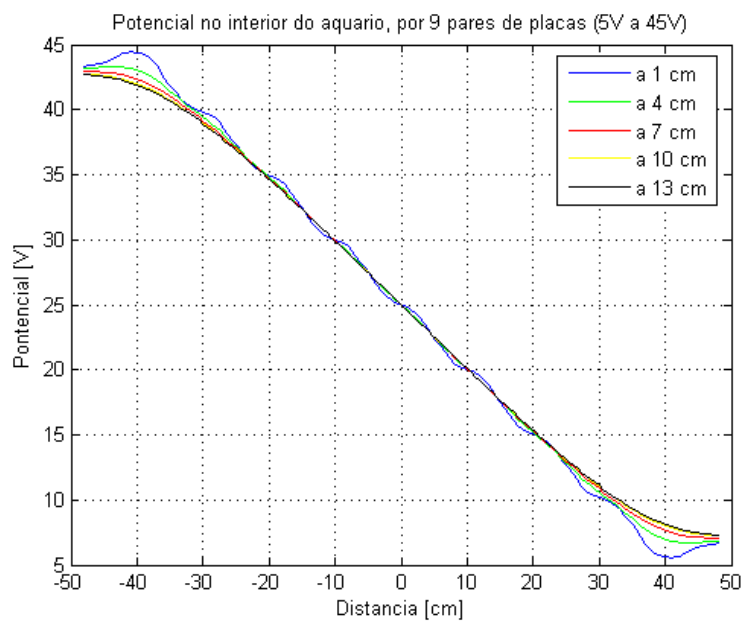


Figura 5.14, Comportamento do potencial dentro do canal de ensaio, para simulação a 9 placas, Fonte própria.

5.4 Eletro sensibilidade *Prochilodus lineatus* & *Pimelodus maculatus*.

O objetivo dos ensaios foi levantar as características da eletro sensibilidade do "*Prochilodus lineatus*" (Curimba) e "*Pimelodus maculatus*" (Mandi amarelo). A metodologia utilizada foi citada no capítulo 4, sessão 4.2.1 e sessão 4.3.3.

As curimbas ensaiadas variaram de 8 a 17cm, com peso entre 4,5 e 31,7 gramas. Um ábaco com a eletrosensibilidade do "*Prochilodus lineatus*" (Curimba) é apresentado na figura 5.15 a seguir.

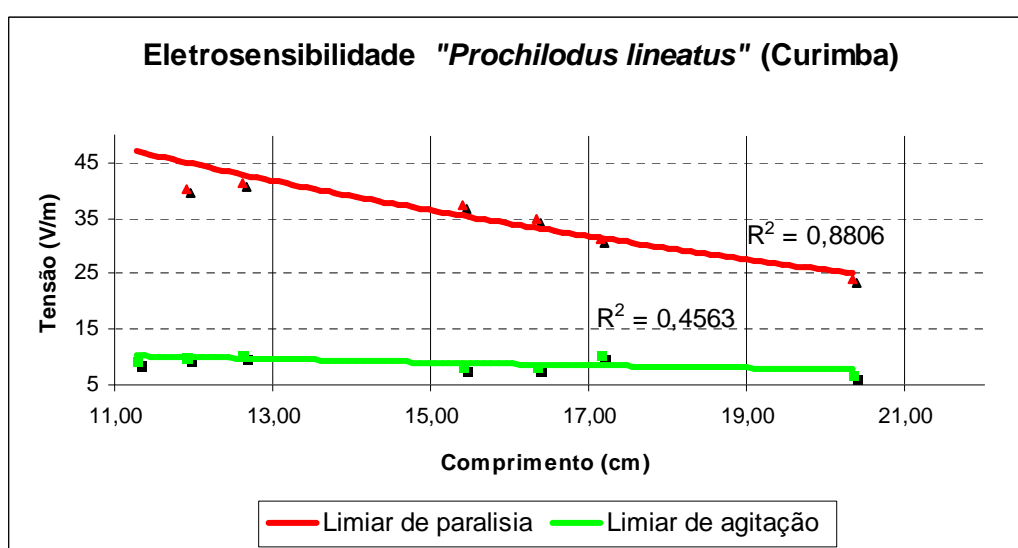


Figura 5.15, Ábaco de reação da "*Prochilodus lineatus*" (Curimba), Fonte própria.

Para os ensaios com o "*Pimelodus maculatus*" (Mandi amarelo) foram utilizados indivíduos com 14 a 22 cm. Essa faixa de comprimento corresponde ao tamanho de maior incidência nos problemas que envolvem a morte de indivíduos em usinas e coincide com comprimento médio na primeira maturação sexual, que varia de 12,5 a 18 cm para machos e 12 a 19 cm para as fêmeas. Com o resultado dos ensaios foi montado um ábaco de sensibilidade mostrado na figura 5.16 e 5.17.

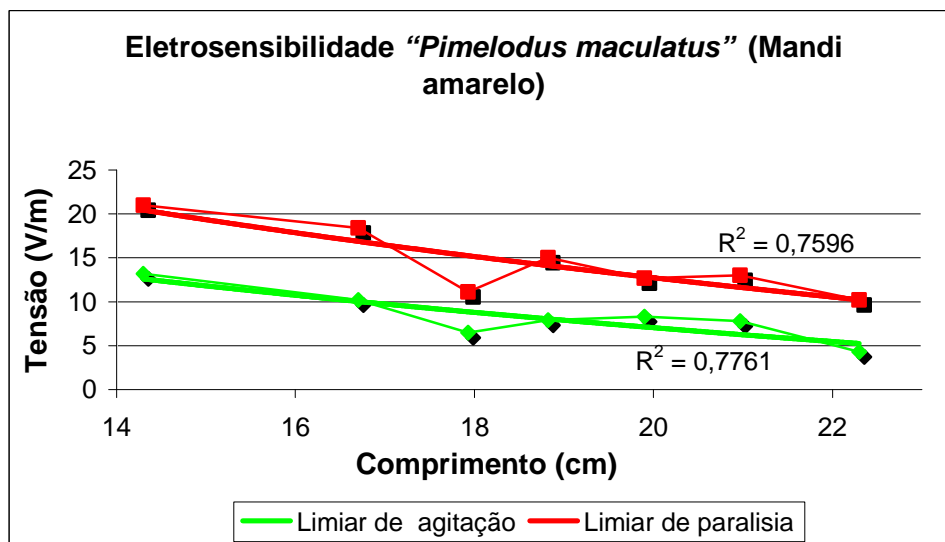


Figura 5.16, Eletro sensibilidade dos “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo) por comprimento, fonte própria.

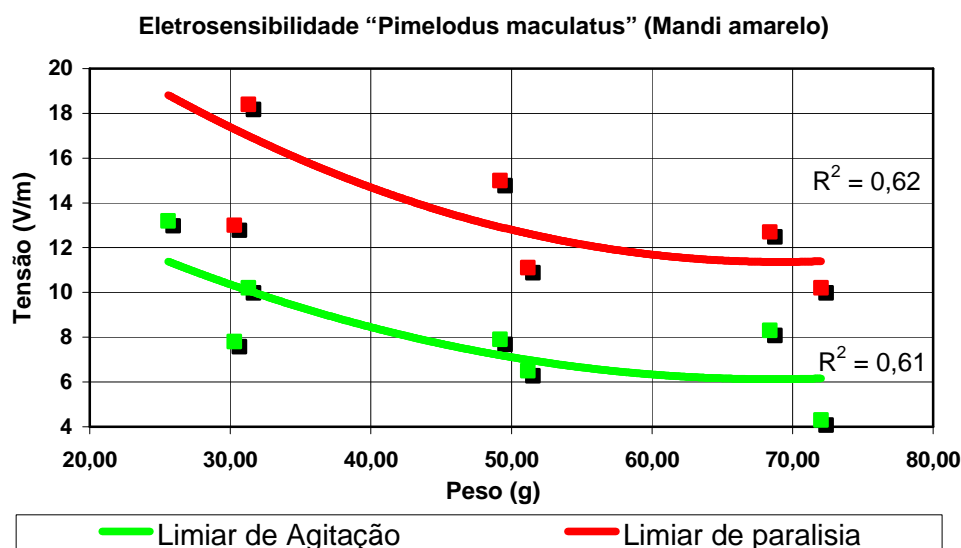


Figura 5.17, Eletro sensibilidade dos “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo) por peso, fonte própria.

5.5 Ensaio Biométricos

Os testes biométricos serviram para conhecer melhor o “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo), a partir deste ponto foi decidido uma investigação focada somente no mandi. Por muitos motivos, mas o mais importante, o de ser o animal que mais morre em acidentes com turbinas.

Nestes ensaios foi determinado duas relações importantes para a utilização de programas computacionais de simulação, a densidade média do

mandi vivo, bem como a relação peso por comprimento. Estas duas características além de oferecer uma boa estimativa sobre exemplares ajudam a interpretar os ábacos de eletrosensibilidade. Para tomada de decisão sobre níveis de tensão a serem utilizados na barreira pois sabendo-se o comprimento do peixe pode-se estimar o seu peso com uma certa confiança, com um erro de mais ou menos 6%.

Tabela 5.6, Testes biométricos com “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo), relação massa por volume, fonte própria.

peso [g]	volume [cm ³]	peso [g]	volume [cm ³]	peso [g]	volume [cm ³]	peso [g]	volume [cm ³]
78,00	77,57	44,70	43,87	38,30	39,74	31,75	37,37
70,00	67,87	44,70	47,74	38,30	42,14	31,70	35,97
69,30	61,38	44,62	45,00	38,00	48,48	31,60	33,75
69,30	61,38	43,73	47,32	37,40	39,94	31,40	35,63
66,00	58,18	43,60	45,23	37,30	41,04	31,40	37,51
62,60	59,82	43,45	44,29	36,30	37,66	31,30	36,66
62,30	55,18	43,15	44,77	36,00	38,78	31,30	36,66
60,80	55,19	43,00	48,79	36,00	38,78	31,10	36,43
58,10	56,11	42,80	47,02	36,00	38,78	31,00	37,52
58,00	58,50	42,60	45,50	36,00	38,78	30,84	36,69
58,00	58,50	42,00	48,48	36,00	38,78	30,60	35,84
56,00	53,33	41,90	42,26	36,00	39,61	29,83	35,52
53,00	54,99	40,90	45,00	36,00	38,78	29,70	33,70
52,20	52,65	40,40	42,52	36,00	38,78	29,20	34,20
51,70	56,55	40,30	40,65	35,75	39,04	29,00	33,97
51,60	53,53	40,20	40,55	35,60	36,93	29,00	35,10
50,70	51,14	40,00	43,63	35,20	38,73	28,70	37,22
50,03	48,93	40,00	38,78	35,20	39,94	28,60	33,50
50,00	48,48	40,00	38,78	35,00	37,38	28,10	32,92
50,00	48,48	40,00	38,78	34,00	36,31	27,20	33,82
48,00	48,48	39,70	40,04	33,70	37,08	26,53	35,30
48,00	43,63	39,70	41,19	33,30	40,31	26,00	29,09
47,90	48,32	39,50	40,98	33,20	38,89	25,60	30,99
47,80	49,59	39,50	43,46	33,10	38,77	24,48	30,91
47,30	46,67	39,40	42,08	33,00	36,31	23,20	29,05
47,00	48,76	39,10	43,02	32,70	35,98	23,00	27,84
46,00	48,48	39,00	41,65	32,00	33,94	23,00	29,83
45,80	46,20	38,71	42,97	32,00	38,78	22,60	29,31
45,20	48,27	38,50	41,12	32,00	38,78	22,30	28,92
45,03	46,28	38,40	42,51	32,00	38,78		

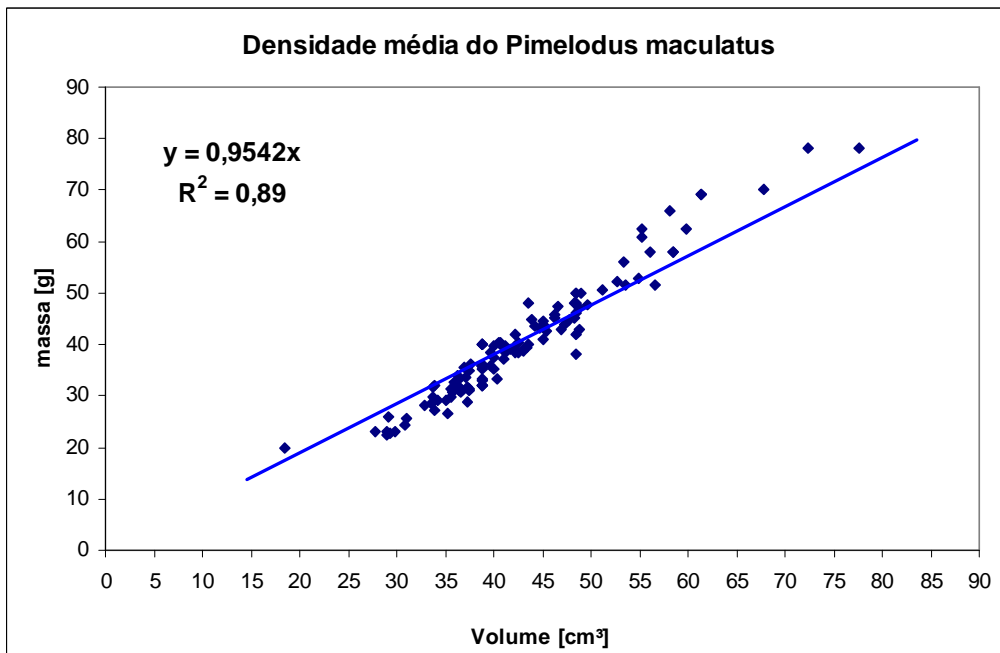


Figura 5.18, Relação massa por volume, “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo), ensaio com 119 indivíduos, fonte própria.

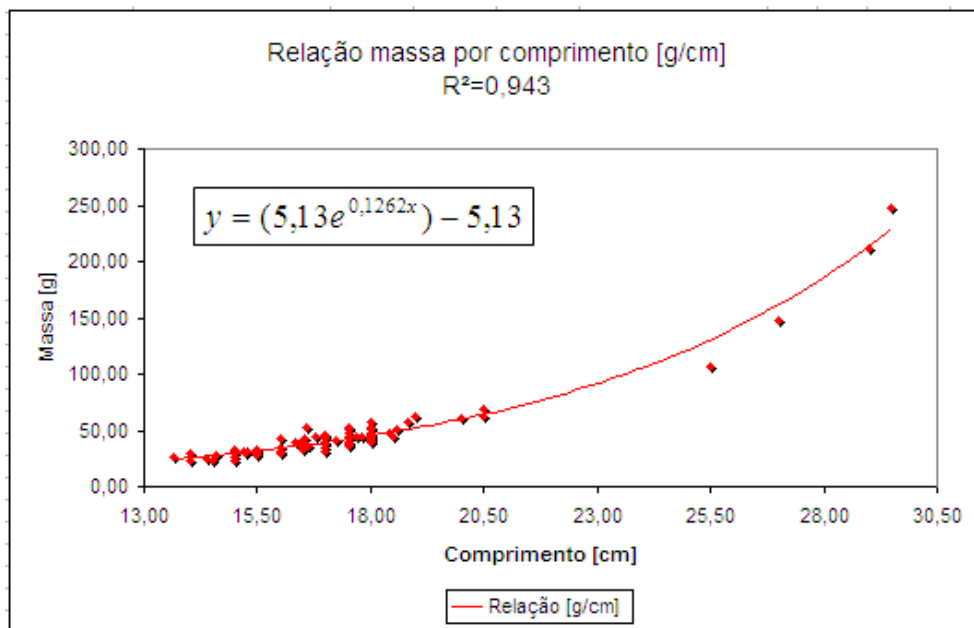


Figura 5.19, Relação massa por comprimento, “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo), ensaio com 190 indivíduos, fonte própria.

Para os ensaios de relação peso por comprimento foram utilizados um total de 190 peixes com tamanhos variando de 5 a 43cm e peso variando de 11 a 800 gramas. Ouve uma dificuldade em conseguir exemplares grandes ,

pois os pescadores do paraopeba que forneciam os peixes para os ensaios reclamaram da diminuição de aparições de exemplares grandes.

Estes testes foram muito importantes para o andamento dos ensaios de eletrosensibilidade pois a partir destes resultados foi mais facil dividir exemplares em lotes mais homogêneos.

Tabela 5.7, Testes biométricos com ,“*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo), relação peso por comprimento ensaio com 190 indivíduos, fonte própria.

Peso (g)	Comp. (cm)	Peso (g)	Comp. (cm)	Peso (g)	Comp. (cm)	Peso (g)	Comp. (cm)	Peso (g)	Comp. (cm)
11,57	6,70	22,60	14,00	31,00	15,00	38,40	16,40	47,30	18,30
11,79	6,00	22,60	14,30	31,00	15,00	38,50	17,00	47,80	17,50
12,00	5,00	22,60	14,20	31,10	15,50	39,00	17,00	47,90	18,00
12,29	6,30	22,88	10,20	31,10	14,00	39,06	15,00	50,70	18,00
12,31	6,30	23,00	15,00	31,30	15,50	39,06	15,00	51,11	18,04
13,00	6,70	23,00	15,00	31,30	15,50	39,06	13,00	51,11	16,40
13,17	6,80	23,20	14,50	31,30	15,50	39,06	15,00	51,60	17,50
13,27	5,30	23,20	14,50	31,30	18,00	39,10	16,50	51,70	16,60
13,52	6,80	24,00	13,40	31,40	15,20	39,40	17,00	52,20	18,00
14,00	10,00	25,60	15,00	31,40	16,00	39,50	16,50	53,00	17,50
14,00	9,00	25,60	15,00	31,60	17,00	39,50	17,50	55,18	19,00
14,03	7,30	25,60	15,00	31,70	16,00	39,50	17,50	55,18	19,00
14,20	7,40	25,60	15,00	32,70	16,50	39,70	18,00	58,00	18,00
14,79	7,30	27,20	14,60	32,70	16,50	39,70	17,50	58,10	18,80
15,05	7,40	27,20	14,60	33,00	16,50	40,20	18,00	58,10	18,80
15,55	8,20	28,10	15,50	33,10	15,50	40,30	18,00	60,80	20,00
15,71	8,30	28,10	15,50	33,10	15,50	40,90	16,50	51,11	18,07
15,88	8,40	28,54	12,40	33,20	15,50	40,94	15,50	51,11	18,07
16,38	8,70	28,60	15,50	33,28	13,40	40,94	15,50	61,85	20,50
17,16	8,20	28,60	15,50	33,30	15,00	40,94	15,50	61,85	20,50
17,41	9,32	28,70	14,00	33,70	16,50	40,94	18,00	61,85	20,50
17,44	8,30	28,70	14,00	34,00	17,00	40,94	15,50	62,30	20,50
17,62	9,45	28,87	12,10	35,00	17,00	40,94	15,50	62,30	20,50
17,71	8,40	29,00	15,00	35,20	16,50	41,90	18,00	62,60	19,00
18,04	9,70	29,00	15,50	35,20	16,00	42,60	17,00	62,60	19,00
18,54	7,00	29,00	15,00	35,40	14,90	42,60	17,00	69,30	20,50
18,86	10,20	29,00	15,50	35,60	17,50	42,86	14,00	72,72	22,80
20,29	9,32	29,20	15,50	36,00	16,50	43,00	16,00	73,22	22,90
20,67	9,45	29,20	15,50	36,30	17,50	43,60	17,50	73,71	23,00
21,40	9,70	29,70	16,00	37,21	14,50	44,70	17,00	73,95	23,05
21,77	12,00	29,70	16,00	37,30	16,50	44,70	18,50	74,20	23,10
21,93	12,10	29,87	12,40	37,40	17,00	44,70	18,50	63,67	20,40
22,30	14,00	30,60	15,50	37,40	17,00	45,20	17,00	67,25	21,21
22,30	14,00	30,60	15,50	37,58	14,60	45,80	18,00	69,32	21,50
22,41	12,40	30,60	15,50	38,30	17,50	47,00	17,50	91,64	23,10
22,60	14,00	30,60	15,50	38,30	16,50	47,30	18,40	96,01	22,80
96,42	23,00	98,18	23,05	105,11	23,30	146,18	26,60	212,00	29,00
97,51	22,90	102,37	23,20	106,00	25,50	148,10	27,00	247,50	29,50

Após o conhecimento da densidade média do mandi, faltava ainda encontrar a resistividade do mesmo, para assim completar os dados necessários para a investigação de eletro sensibilidade nesta espécie.

5.5 Resistividade do *Pimelodus maculatus*

O desafio destes ensaios era estabelecer uma metodologia de ensaio que permitisse determinar a eletrosensibilidade do mandi vivo, pois é com o peixe vivo que a barreira irá trabalhar. Vários peixes foram ensaiados para testar a metodologia sendo seu resultado muito satisfatório. Com essa informação é possível determinar a densidade de corrente sobre grupos de peixes dentro da área da barreira através de simulações, poupando recurso com ensaios, bem como a vida de cobaias. O custo de ensaios de barreira pode cair sensivelmente permitindo que o uso de barreiras possa ser aperfeiçoado a cada dia.

Tabela 5.8, Testes de resistividade do mandi, fonte própria.

Cálculo da Resistividade do <i>Pimelodus maculatus</i>				
Grandezas	Peixe1	Peixe 2	Peixe3	Unidades
Resistencia da água pura	3,97E+03	3,00E+03	4,08E+03	Ω
Resistencia agua + peixe	3,69E+03	2,79E+03	3,80E+03	Ω
comprimento do canal de teste	1,90E-01	1,90E-01	1,90E-01	m
largura do canal	5,00E-02	5,00E-02	5,00E-02	m
nível de água utilizado	4,00E-02	5,28E-02	3,73E-02	m
resistividade da água	4,18E+01	4,16E+01	4,01E+01	Ωm
Comprimento do peixe	1,53E-01	1,80E-01	1,43E-01	m
Comprimento da porção de água em série	3,70E-02	1,00E-02	4,70E-02	m
Área da seção reta da porção série	2,00E-03	2,64E-03	1,87E-03	m ²
Resistencia série	7,73E+02	1,58E+02	1,01E+03	Ω
Volume do peixe	3,33E-05	4,66E-05	2,50E-05	m ³
Área líquida do peixe	2,17E-04	2,59E-04	1,75E-04	m ²
Largura do peixe média	1,47E-02	1,61E-02	1,32E-02	m
Altura do peixe média	1,47E-02	1,61E-02	1,32E-02	m
Comprimento das partes laterais	1,53E-01	1,80E-01	1,43E-01	m
Largura das partes laterais	1,76E-02	1,70E-02	1,84E-02	m
Altura das partes laterais	4,00E-02	5,28E-02	3,73E-02	m
Resistencia das partes laterais	9,06E+03	8,37E+03	8,36E+03	Ω
Comprimento da parte superior ao peixe	1,53E-01	1,80E-01	1,43E-01	m
Largura da parte superior ao peixe	1,47E-02	1,61E-02	1,32E-02	m
Altura da parte superior ao peixe	2,53E-02	3,67E-02	2,41E-02	m
Resistencia da parte superior ao peixe	1,72E+04	1,27E+04	1,80E+04	Ω
Resistencia paralelo	2,92E+03	2,63E+03	2,79E+03	Ω
Resistencia do peixe	1,57E+04	1,60E+04	1,57E+04	Ω
Resistividade do peixe	2,23E+01	2,29E+01	1,92E+01	Ωm

A resistividade dos peixes ensaiados teve como valor médio $21,5\Omega\text{m}$, praticamente metade da resistividade da água que apresentou uma média de $41,54\Omega\text{m}$. O importante é perceber o efeito da resistividade da água sobre o peixe quando esta varia. Segundo o modelo de resistências apresentado no capítulo 4, a resistência R_{a1} limita muito a tensão sobre o peixe, logo a corrente que passa pelo mesmo.

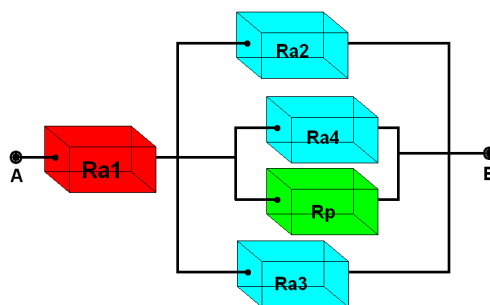


Figura 5.20, Comportamento da corrente que atravessa o , “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo) depende diretamente da porção de água em série com o mesmo, fonte própria.

Quando a resistividade da água cai R_{a1} também cai logo a intensidade de corrente no mandi é maior. Logo quanto menor a resistividade da água maior será a densidade de corrente sobre o mandi. Isso pode ser visto nos gráficos das figuras 5.21 e 5.22.

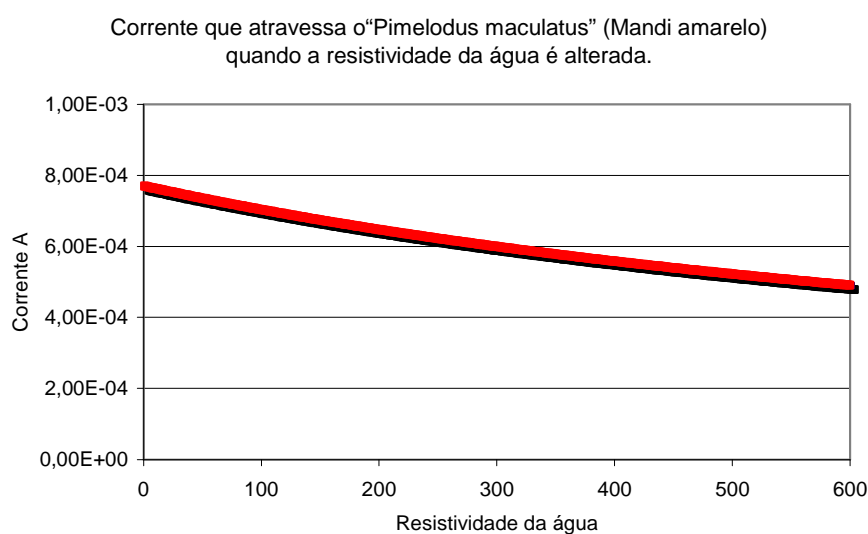


Figura 5.21, Comportamento da corrente que atravessa o , “*Pimelodus maculatus*” à medida que a resistividade da água aumenta, fonte própria.

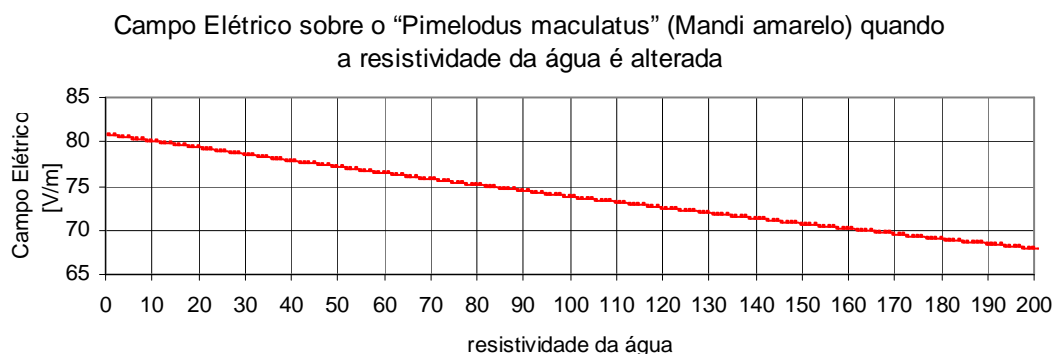


Figura 5.22, Comportamento do campo elétrico sobre o “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo) à medida que a resistividade da água aumenta, fonte própria.

5.6 Resistividade Interna do peixe

5.6.1 Medição fora da água

Para este ensaio foram utilizados dois meios o ar e a água. Em um teste o peixe fora d’água foi exposto a uma diferença de potencial e suas tensões internas foram medidas através de eletrodos. Os dados coletados são mostrados na tabela 5.9.

Tabela 5.9, Resistividade do “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo) fora da água, dados medidos, fonte própria.

Mandi fora da água				
Dados da fonte		Dados medidos		
Tensão Aplicada [V]	Corrente Aplicada [A]	Tensão [V]		
		V14	V24	V34
0,8	0,00009	0,268	0,175	0,078
2,3	0,00026	0,698	0,506	0,292
5,9	0,00076	1,92	1,445	0,874
7,9	0,00103	2,61	2,02	1,2
10,6	0,00142	3,55	2,79	1,64
12,3	0,00169	4,15	3,25	1,87
15,6	0,00227	5,24	4,02	2,28
18,9	0,00293	6,19	4,68	2,64
20,6	0,00333	6,67	5	2,85
22,8	0,00369	7,11	5,33	3,09
25,1	0,00413	7,71	5,82	3,41

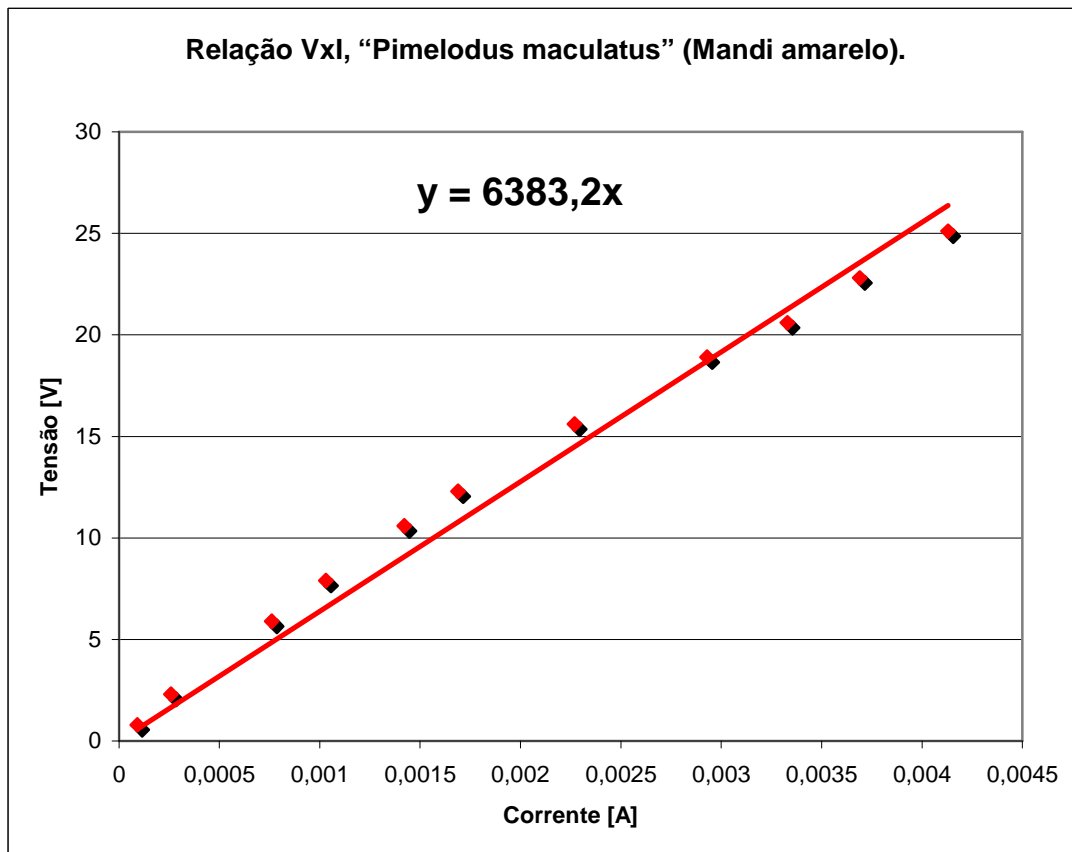


Figura 5.23, Medição da resistência do “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo) fora da água, fonte própria.

Com a relação tensão corrente foi possível medir a resistência do mandi inteiro, ou seja a resistência da cabeça ao rabo com a corrente passando por todo o peixe. O Peixe não tinha ferimentos externos para garantir que a distribuição de corrente fosse homogênea. O valor da resistência é mostrado no gráfico da figura 5.23.

Em seguida foi medido a tensão entre os eletrodos no interior do peixe e determinado a relação tensão corrente no interior do peixe. O resultado é mostrado nos gráficos das figuras 5.24 e 5.25.

Analisando esses resultados pode-se então determinar a resistividade interna do mandi fora d'água. O Resultado é mostrado na tabela 5.11. Bem como a área líquida de condução de corrente ao longo do peixe.

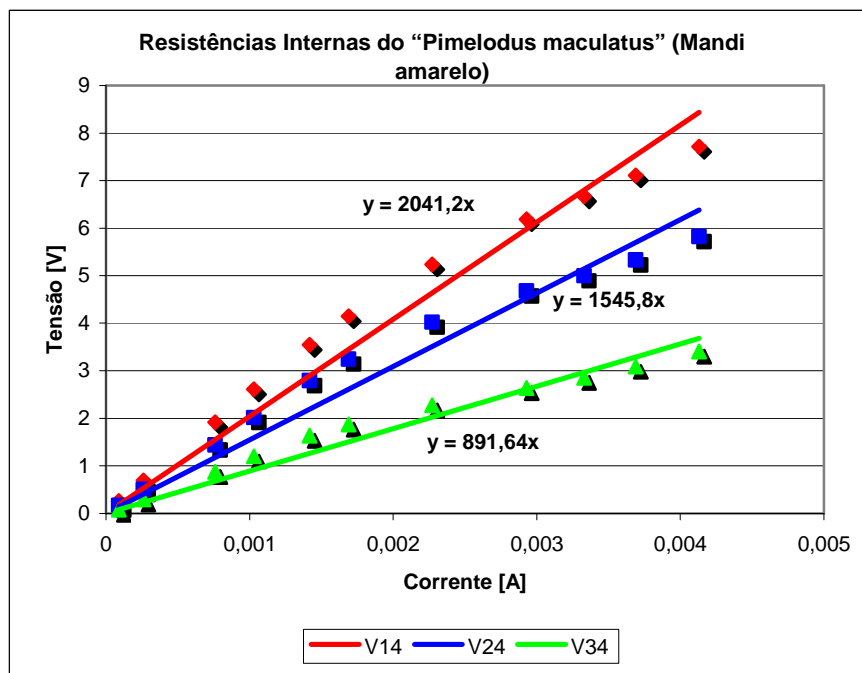


Figura 5.24, Medição da resistência interna do "Pimelodus maculatus" (Mandi amarelo), fora da água, fonte própria.

Tabela 5.10, Testes de resistividade do "Pimelodus maculatus" (Mandi amarelo), fora da água tensões nos eletrodos, fonte própria.

Mandi fora da água			
Tensões entre eletrodos [V]			
I [A]	V12 [V]	V23 [V]	V34 [V]
0,00009	0,093	0,097	0,078
0,00026	0,192	0,214	0,292
0,00076	0,475	0,571	0,874
0,00103	0,59	0,82	1,2
0,00142	0,76	1,15	1,64
0,00169	0,9	1,38	1,87
0,00227	1,22	1,74	2,28
0,00293	1,51	2,04	2,64
0,00333	1,67	2,15	2,85
0,00369	1,78	2,24	3,09
0,00413	1,89	2,41	3,41

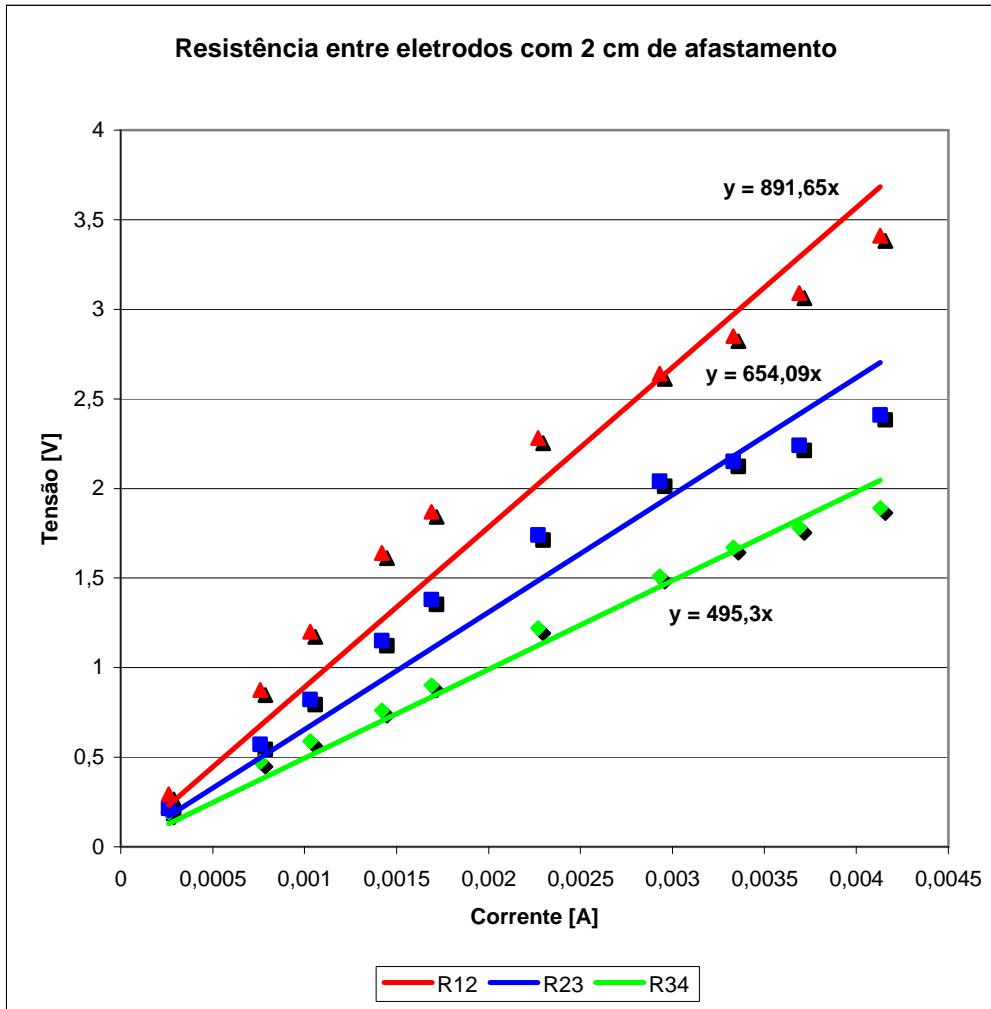


Figura 5.25, Medição da resistência interna do mandi fora da água, fonte própria.

Tabela 5.11, Testes de resistividade do “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo), fora da água, calculo da resistividade e área líquida de condução de corrente, fonte própria.

Mandi fora da água				
Calculo da Resistividade				
local	resistencia Ω	posição [m]	Area [m ²]	ρ [Ω m]
Cabeça	0	0	0,00092	4,694424
Ponto 1	1765,313901	0,057	0,00025	4,694424
Ponto 2	2260,613901	0,077	0,000189559	4,694424
Ponto 3	2914,703901	0,097	0,000143541	4,694424
Ponto 4	3806,353901	0,117	0,000105297	4,694424
Ponto 5	5021,851425	0,137	7,72428E-05	4,694424
Ponto 6	6383,2	0,157	6,89673E-05	4,694424

A resistência do mandi ao longo do seu corpo varia diretamente com a área líquida da seção reta em cada ponto do comprimento do mesmo. Com isso foi calculado a área líquida de condução de corrente pela posição no peixe começando da cabeça até a ponta do rabo. Para este ensaio a área de condução combina com a área medida utilizando-se uma fita métrica. O resultado é mostrado na figura 5.26 e 5.27.

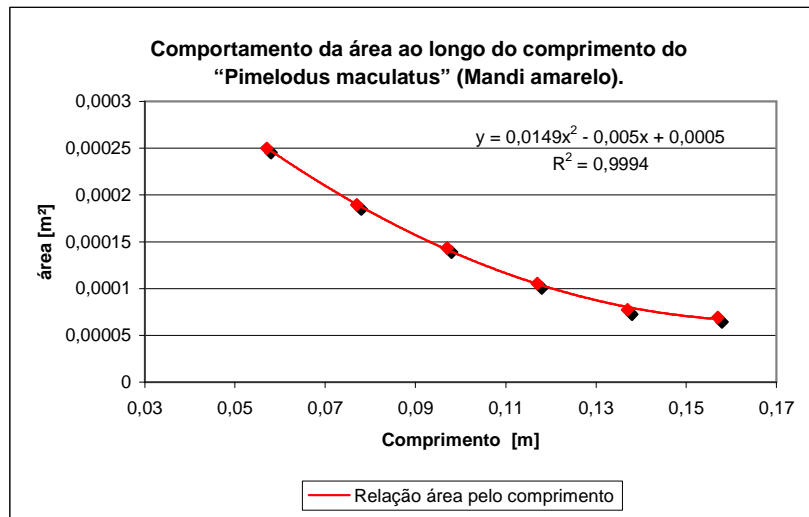


Figura 5.26, Medição ponto a ponto da área líquida de passagem de corrente pelo corpo do "Pimelodus maculatus" (Mandi amarelo), fonte própria.

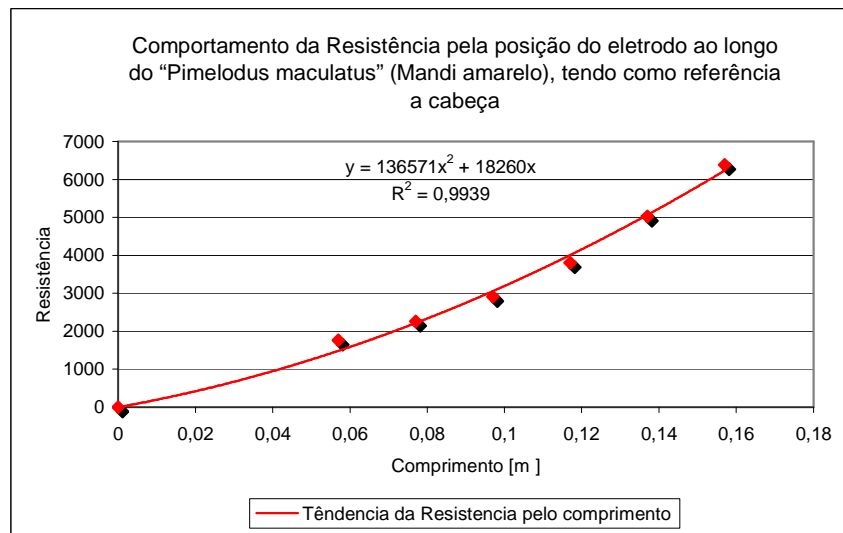


Figura 5.27, Medição ponto a ponto da Resistência Interna do "Pimelodus maculatus" (Mandi amarelo), tomando como referência a cabeça, fonte própria.

5.6.2 Medição dentro da água.

Tabela 5.12, Testes de resistividade do “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo), dentro da água, dados medidos, fonte própria.

Mandi Dentro da água				
Dados da fonte		Dados medidos		
Tensão Aplicada [V]	Corrente Aplicada [A]	Tensão [V]		
		V14	V24	V34
0,85	0,00017	0,077	0,063	0,042
2,08	0,00046	0,245	0,185	0,112
2,82	0,00066	0,372	0,277	0,162
4	0,00098	0,582	0,428	0,246
4,83	0,00121	0,746	0,548	0,309
5,84	0,00149	0,975	0,7	0,384
7,94	0,0021	1,386	1,011	0,562
10,46	0,00285	2,02	1,435	0,765
11,98	0,00332	2,35	1,7	0,82
14,51	0,00408	3,01	2,14	1,13
16,51	0,0047	3,41	2,49	1,34
18,57	0,00535	4,01	2,86	1,5
20,2	0,00592	4,37	3,16	1,7
23,1	0,00688	5,06	3,61	1,92
24,7	0,00746	5,42	3,82	2,05
26,4	0,00811	5,8	4,01	2,23

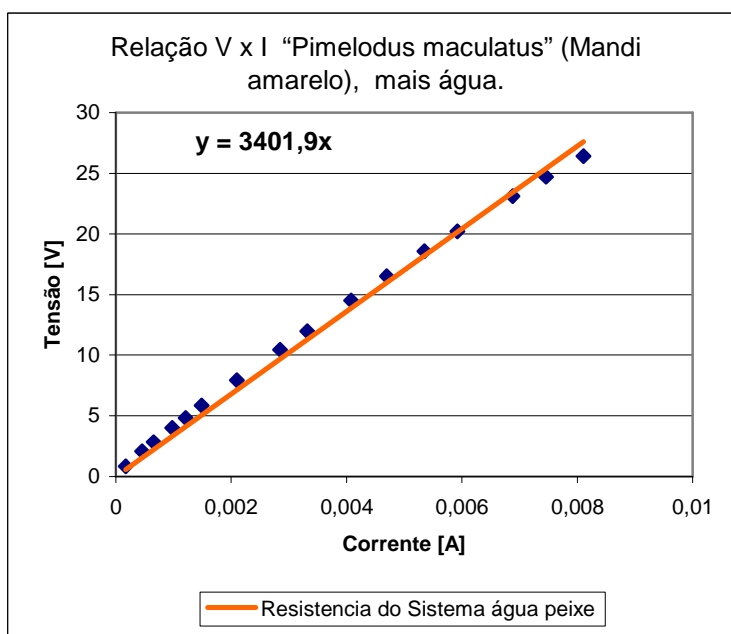


Figura 5.28 , Resistência entre as placas do canal de teste com o “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo), inserido dentro do canal, fonte própria.

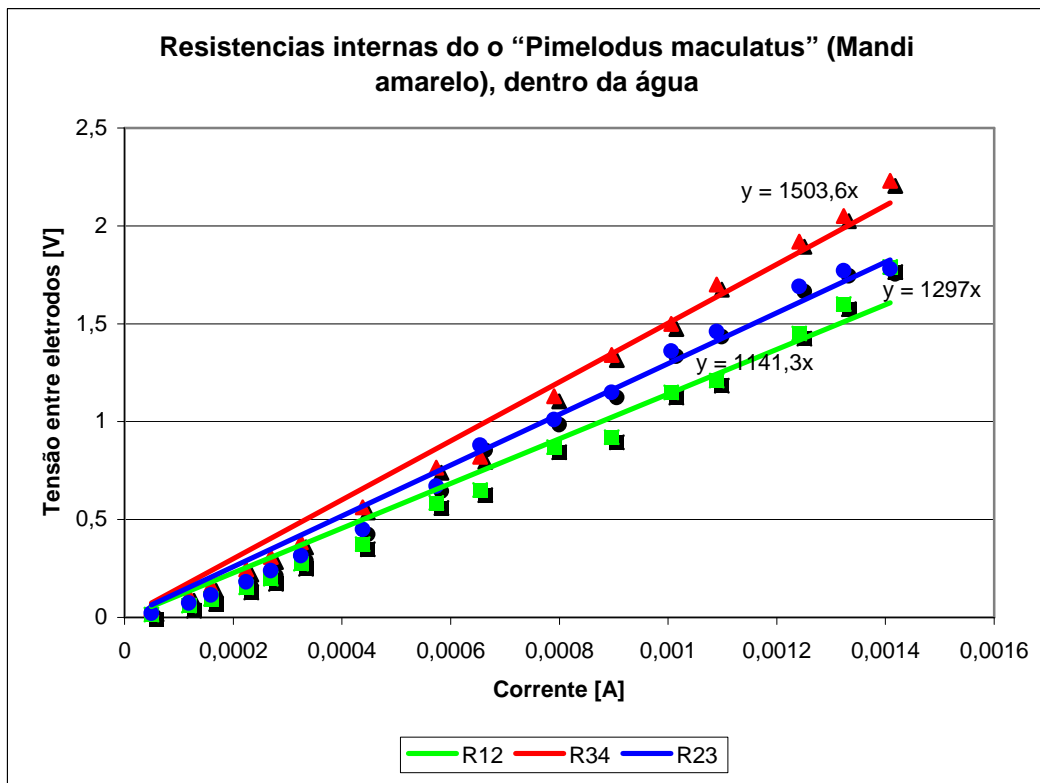


Figura 5.29, Resistência apresentada pelo o “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo), dentro da água, fonte própria.

Tabela 5.13, Testes de resistividade do o “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo), dentro da água, tensões nos eletrodos, fonte própria.

Mandi Dentro da água							
Corrente [A]	Tensão[V]	V14	V24	V34	V12	V23	V34
4,91808E-05	0,742121454	0,077	0,063	0,042	0,014	0,021	0,042
0,000118498	1,788093346	0,245	0,185	0,112	0,13	0,073	0,042
0,000159127	2,401177409	0,372	0,277	0,162	0,215	0,115	0,042
0,00022387	3,378111911	0,582	0,428	0,246	0,358	0,182	0,042
0,000269202	4,062158583	0,746	0,548	0,309	0,465	0,239	0,042
0,00032436	4,894476272	0,975	0,7	0,384	0,617	0,316	0,042
0,000437875	6,607382665	1,386	1,011	0,562	0,895	0,449	0,042
0,000573337	8,651447903	2,02	1,435	0,765	1,308	0,67	0,042
0,000654303	9,873195452	2,35	1,7	0,82	1,428	0,88	0,042
0,000790006	11,92091489	3,01	2,14	1,13	1,958	1,01	0,042
0,000896474	13,52747549	3,41	2,49	1,34	2,218	1,15	0,042
0,001005656	15,1749987	4,01	2,86	1,5	2,608	1,36	0,042
0,001089707	16,44328828	4,37	3,16	1,7	2,868	1,46	0,042
0,00124152	18,73409178	5,06	3,61	1,92	3,328	1,69	0,042
0,001323161	19,96603556	5,42	3,82	2,05	3,608	1,77	0,042
0,001408486	21,25355877	5,8	4,01	2,23	3,978	1,78	0,042

Nota-se que a resistencia interna do mandi dentro da água aumentou significativamente. Uma explicação para tal fato é que a área líquida de

condução de corrente com o mandi dentro da água aumenta, ou seja em uma camada superficial de água que envolve o peixe a resistencia equivalente apresenta um comportamento de divisão de corrente aumentando a resistividade, já que esta é diretamente proporcional à área da seção reta de condução. Ou seja dentro da água a área liquida de condução de corrente do mandi aumenta, aumentando assim a resistividade do mesmo. Os resultados são mostrados nas figuras 5.30 e 5.31

O Valor da resistividade interna do mandi quase triplicou dentro d'água, isso pode ser visto na tabela 5.14.

Tabela 5.14, Cálculo da resistencia do o “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo, em relação à posição, fonte própria.

Calculo da Resistência		
local	resistencia	posição
Cabeça	0	0
1	7232,545945	0,057
2	8373,845945	0,077
3	9670,845945	0,097
4	11173,84594	0,117
5	12949,90266	0,137
6	15090	0,157
Resistividade [Ω m]		12,36564

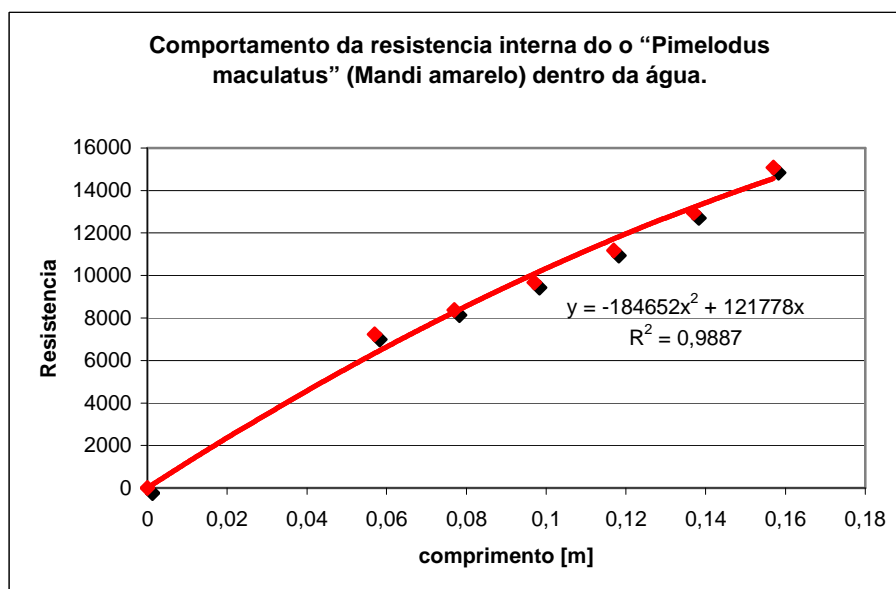


Figura 5.30, Resistência ao longo o “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo), dentro da água, partindo da cabeça como referência, fonte própria .

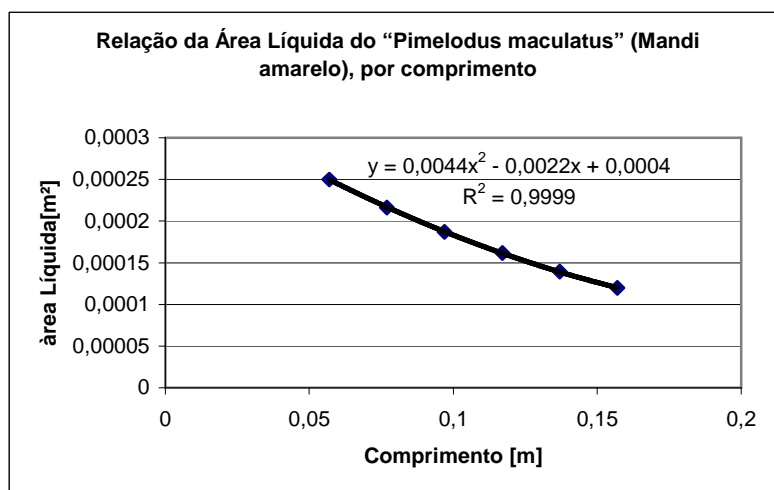


Figura 5.31, Comportamento da área líquida de passagem de corrente do “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo), dentro da água, fonte própria .

A tabela 5.15 mostra que a resistividade do mandi inteiro manteve-se dentro do padrão previsto.

Tabela 5.15, Cálculo da resistividade do “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo), imerso em água, fonte própria.

Mandi Dentro da água		
Cálculo da Resistividade do mandi		
Resistencia da água pura	Ra	3653,640600
Resistencia agua + peixe	Rap	3401,900000
comprimento do canal de teste	Lc	0,190000
largura do canal	Xc	0,050000
nível de água utilizado	Yc	0,043200
resistividade da água	$R\hat{o}a=(Ra \cdot Xc \cdot Yc)/Lc$	41,536125
Comprimento do peixe	Lp	0,157000
Comprimento da porção de água em série	$La1=Lc - Lp$	0,033000
Área da seção reta da porção série	$A1=Xc \cdot Yc$	0,002160
Resistencia série	$Ra1=R\hat{o}a(La1/A1)$	634,579683
Volume do peixe	Vp	0,000037
Área líquida do peixe	$Ap=(Vp/Lp)$	0,000236
Largura do peixe média	$Yp=raiz(Ap)$	0,015352
Altura do peixe média	$Xp=raiz(Ap)$	0,015352
Comprimento das partes laterais	$La2=La3=Lp$	0,157000
Largura das partes laterais	$Xa2=Xa3=(Xc - Xp)/2$	0,017324
Altura das partes laterais	$Ya2=Ya3=Yc$	0,043200
Resistencia das partes laterais	$Ra2=Ra3=R\hat{o}a(La2/(Xa2 \cdot Ya2))$	8713,397668
Comprimento da parte superior ao peixe	$La4=Lp$	0,157000
Largura da parte superior ao peixe	$Xa4=xp$	0,015352
Altura da parte superior ao peixe	$Ya4=Yc-Yp$	0,027848
Resistencia da parte superior ao peixe	$Ra4=R\hat{o}a(La4/(Xa4 \cdot Ya4))$	15253,619341
Resistencia paralelo	$Rpr=(Rap-Ra1)$	2767,320317
Resistencia do peixe	$Rp=1/((1/Rpr)-(1/Ra2)-(1/Ra3)-(1/Ra4))$	15089,645420
Resistividade do peixe	$R\hat{o}p=Rp(XpYp/Lp)$	22,650691

5.7 Densidade de corrente

Com o resultado da resistividade do "*Pimelodus maculatus*" (Mandi amarelo), densidade média e relação peso por comprimento foi possível determinar o comportamento da densidade de corrente dentro do peixe. Foram realizados ensaios cujos resultados são mostrados nas figuras 5.32, 5.33 e 5.34.

Tabela 5.16, Densidade de corrente sobre "*Pimelodus maculatus*" (Mandi amarelo), imerso em água, fonte própria.

Peso (g)	Comprimento total (cm)	Razão g/cm	J agt	J narc
33,10	15,50	2,14	0,26	0,40
21,32	14,64	1,46	0,29	0,46
22,60	14,00	1,61	0,28	0,35
23,34	14,88	1,57	0,28	0,45
24,67	15,03	1,64	0,28	0,44
25,60	15,00	1,71	0,18	0,30
26,23	15,22	1,72	0,27	0,43
26,23	15,22	1,72	0,27	0,43
30,60	15,50	1,97	0,29	0,44
32,70	16,50	1,98	0,30	0,33
34,65	16,21	2,14	0,25	0,40
37,01	16,49	2,24	0,25	0,39
37,40	17,00	2,20	0,19	0,37
39,50	17,50	2,26	0,25	0,29
42,60	17,00	2,51	0,26	0,32
42,78	17,18	2,49	0,23	0,36
44,70	18,50	2,42	0,27	0,41
45,35	17,48	2,59	0,23	0,35
47,30	18,40	2,57	0,18	0,31
50,70	18,00	2,82	0,25	0,30
51,60	17,50	2,95	0,19	0,28
55,20	18,65	2,96	0,21	0,32
57,40	18,91	3,04	0,21	0,32
58,10	18,80	3,09	0,19	0,29
62,60	18,95	3,30	0,14	0,27
64,30	19,73	3,26	0,20	0,30

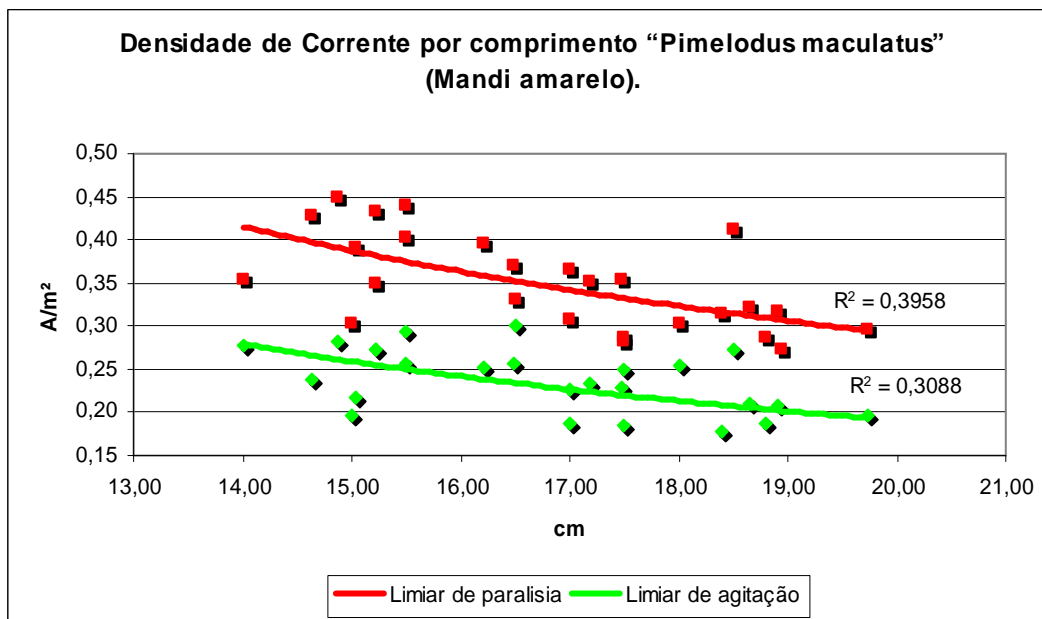


Figura 5.32, Comportamento densidade de corrente do “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo), por comprimento, fonte própria.

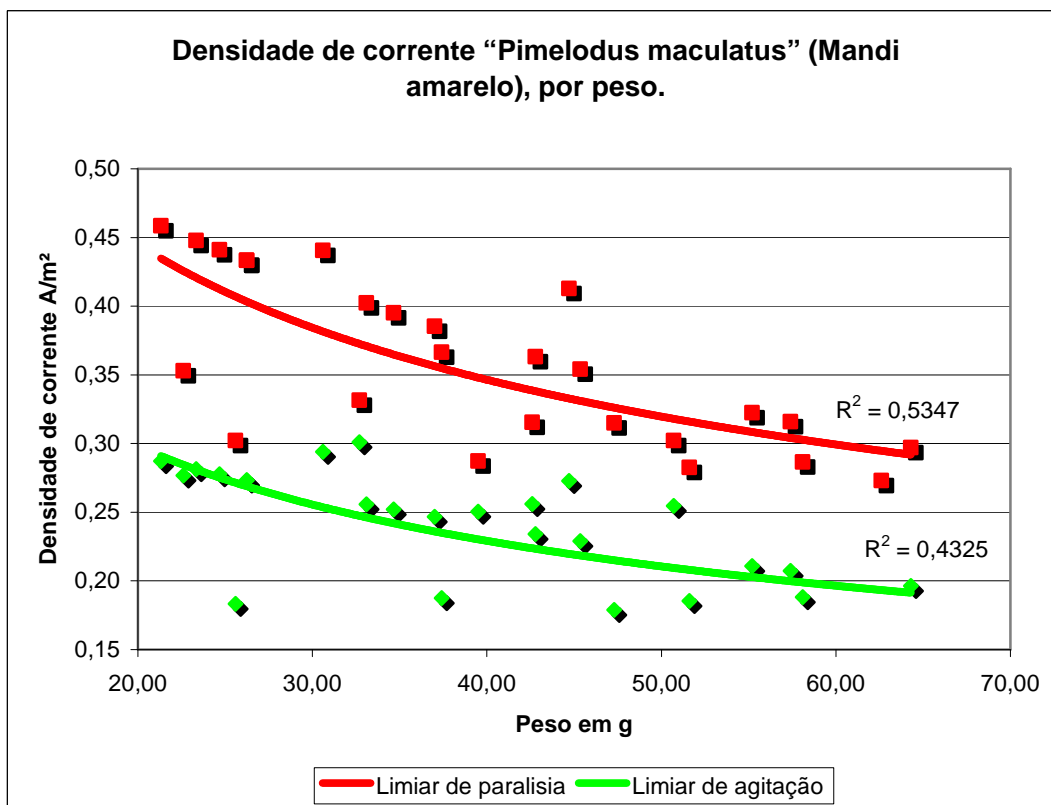


Figura 5.33, Comportamento da densidade de corrente do “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo), em relação ao peso.

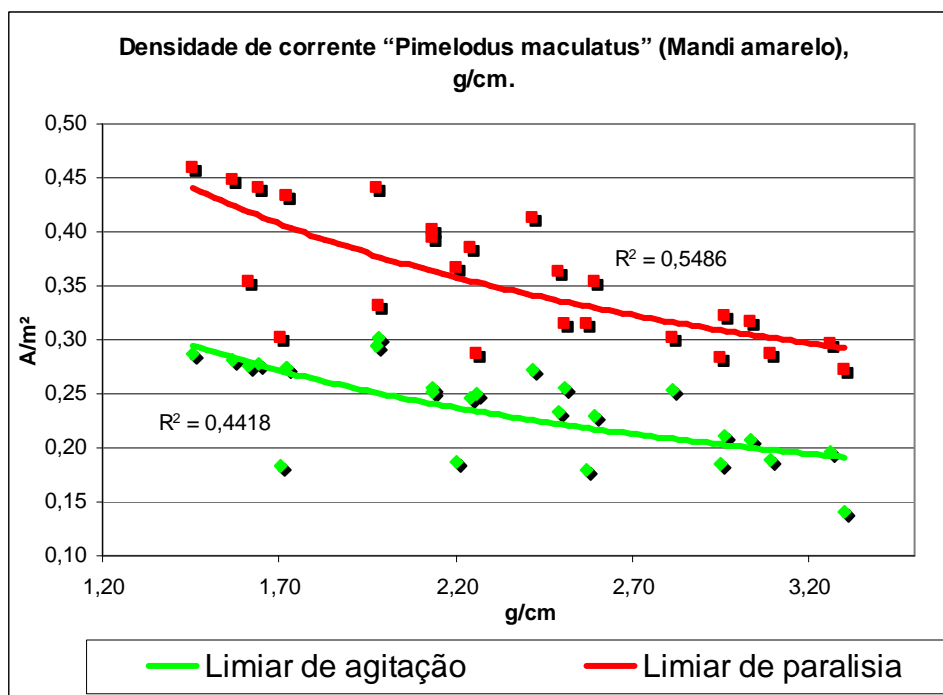


Figura 5.34, Comportamento densidade de corrente do "Pimelodus maculatus" (Mandi amarelo), normalizada, fonte própria.

5.8 Testes de eletrosensibilidade

Foi elaborado uma metodologia para normalizar os ensaios.

Procedimentos Pré-teste

- 1) Manter temperatura da sala constante (24°C);
- 2) Manter nível de água sempre constante por toda a extensão do aquário;
- 3) Medir diferença de gradiente de tensão em diversos pontos do aquário e anotá-los;

*Se necessário campos maiores que o circuito de frequência variável consegue fornecer, reduzir a distancia entre as placas.

1. Introduzir as placas no aquário e montar aparato;
2. Completar aquário sempre com o mesmo nível de água utilizada;
3. Medir resistividade da água e anotar todo dado adquirido na planilha de dados;
4. Separar lotes de 5 indivíduos que apresentem comprimento similar;
5. Iniciar teste com o lote de indivíduos menores;

6. Introduzir indivíduo no aquário e aguardar período de adaptação (3 min);
7. Elevar tensão do varivolt até encontrar limiares de comportamento para cada indivíduo. Anotar todos os dados na planilha de dados;
8. Medir peso, comprimento, largura, altura e seção circular do indivíduo a ser utilizado;
9. Repetir procedimentos 6, 7 e 8 para cada indivíduo de todos os lotes;
10. Realizar testes com tensões que estejam dentro das regiões delimitadas pelas curvas de limiar de comportamento para peixes de vários comprimentos diferentes. Anotar peso, comprimento, largura, altura e seção circular e volume do indivíduo utilizado.
11. Filmar e descrever os diferentes comportamentos apresentados.

5.8.1 testes de 1000Hz pulsada, onda quadrada.

Com a intenção de verificar formas de ondas mais eficientes para o funcionamento da barreira foi testado uma onda quadrada Duty 50% pulsada a 1000hz. Os resultados são mostrados nas figuras 5.35 e 5.36.

Tabela 5.17, Ensaio de tensão pulso quadrado, fonte própria.

1000Hz pulsada				
Peso (g)	Comp, (cm)	Limiar de agitação (V/m)	Limiar de Paralisia (V)	Relação [g/cm]
31,25	14,70	25,00	28,00	2,13
31,40	16,00	19,18	26,53	1,96
31,60	17,00	17,14	31,43	1,86
33,47	15,30	21,00	27,00	2,19
35,20	16,50	14,49	20,82	2,13
35,43	15,80	16,78	31,80	2,24
36,25	16,00	17,30	33,00	2,27
36,25	16,00	19,30	34,00	2,27
37,30	16,50	18,20	32,65	2,26
38,30	17,50	15,30	23,47	2,19
39,00	17,00	17,96	27,90	2,29
44,51	17,80	15,40	26,00	2,50
45,54	18,00	17,20	29,40	2,53
51,05	19,00	15,34	23,00	2,69
64,13	21,00	16,30	22,30	3,05
80,57	23,00	15,70	31,20	3,50
85,30	23,50	12,89	17,70	3,63

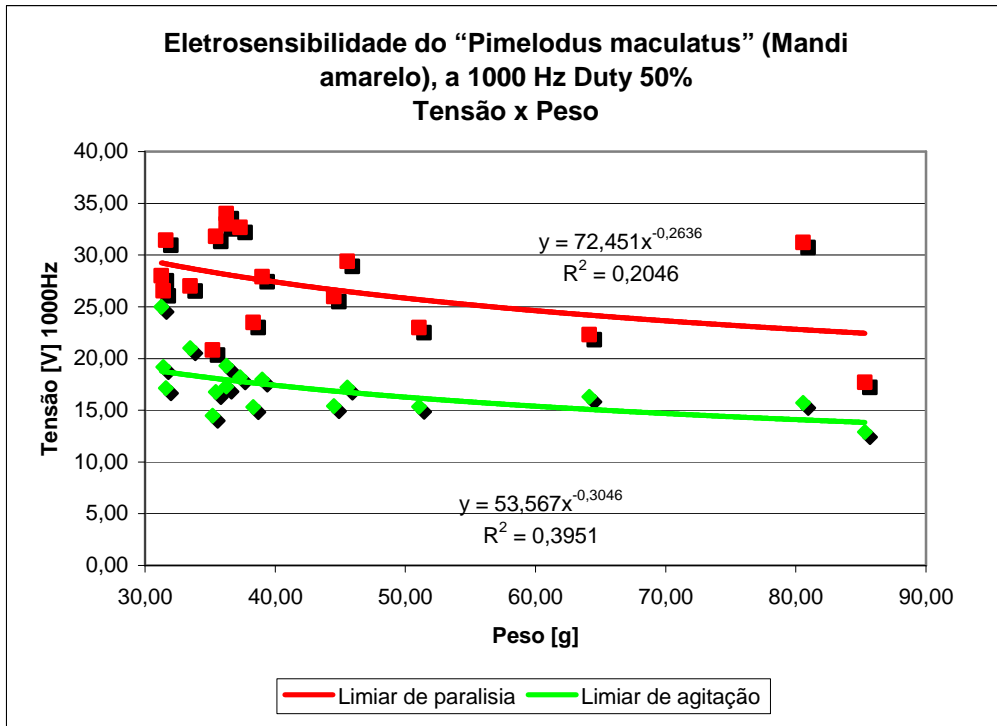


Figura 5.35, Comportamento densidade de corrente do “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo), por peso, fonte própria.

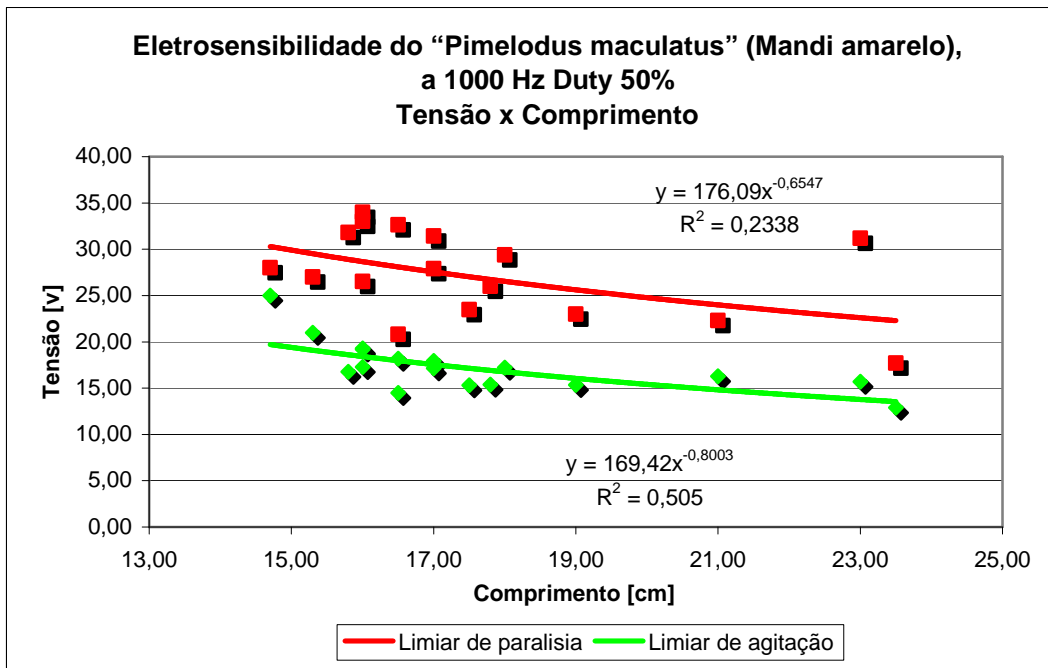


Figura 5.36, Comportamento densidade de corrente do “*Pimelodus maculatus*” (Mandi amarelo), por comprimento, fonte própria.

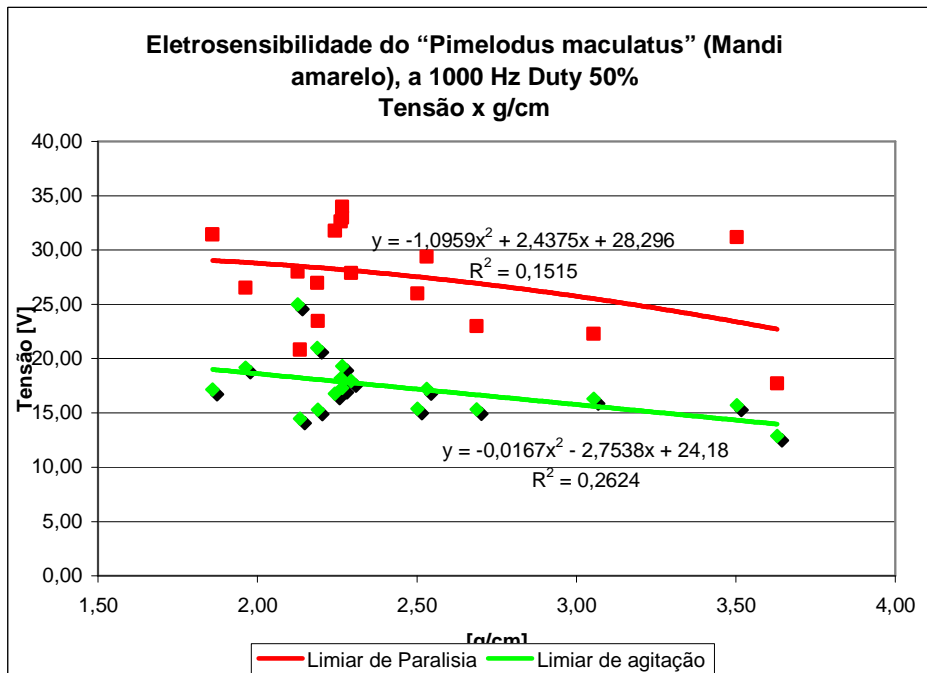


Figura 5.37, Comportamento densidade de corrente do "Pimelodus maculatus" (Mandi amarelo), normalizada, fonte própria.

5.9.2 Testes de 1000Hz senoidal.

Os resultados com ondas pulso quadrado não ofereceram um bom resultado, logo foi testado o campo com 1000hz senoidal, fonte própria.

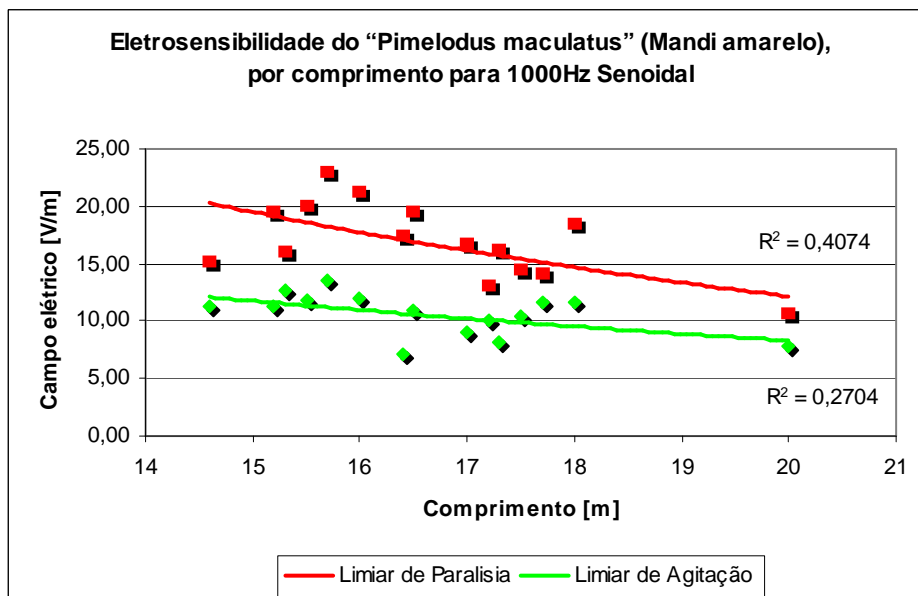


Figura 5.38, Comportamento do "Pimelodus maculatus" (Mandi amarelo), sobre campo 1000hz senoidal, em relação ao comprimento, fonte própria.

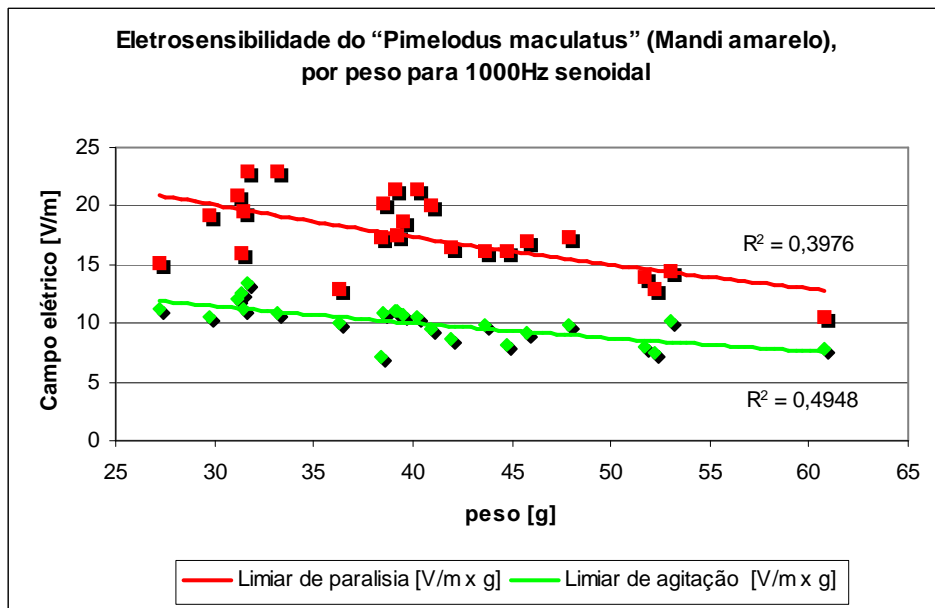


Figura 5.39, Comportamento do “Pimelodus maculatus” (Mandi amarelo), sobre campo 1000hz senoidal em relação ao peso, fonte própria.

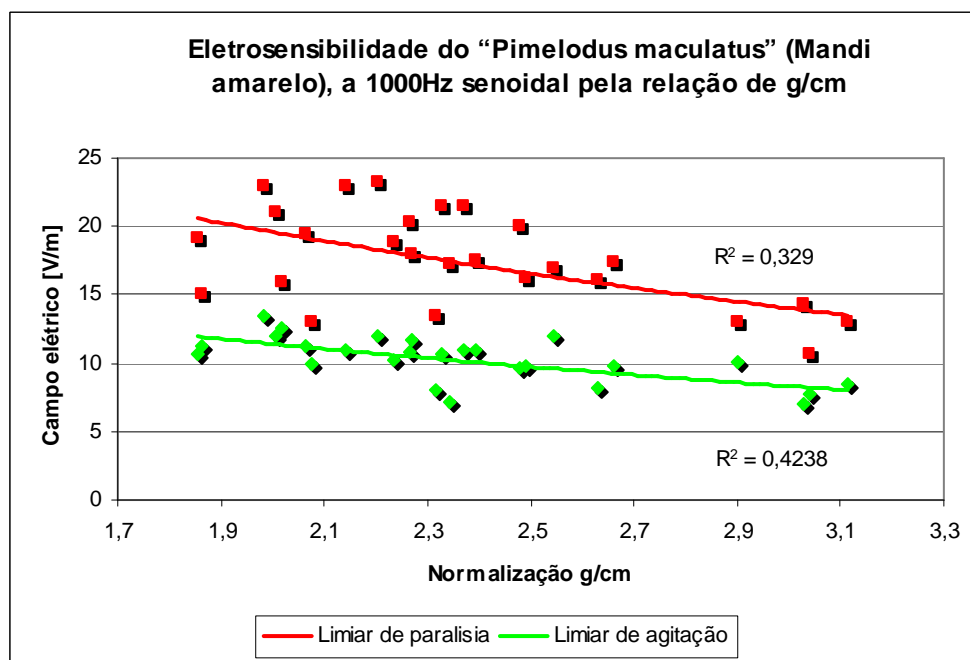


Figura 5.40, Comportamento do “Pimelodus maculatus” (Mandi amarelo), sobre campo 1000hz senoidal normalizada, fonte própria.

5.9.2 Testes de 60Hz senoidal.

Com a experiência obtida durante os ensaios foram realizados novos testes de sensibilidade utilizando a metodologia preteste .

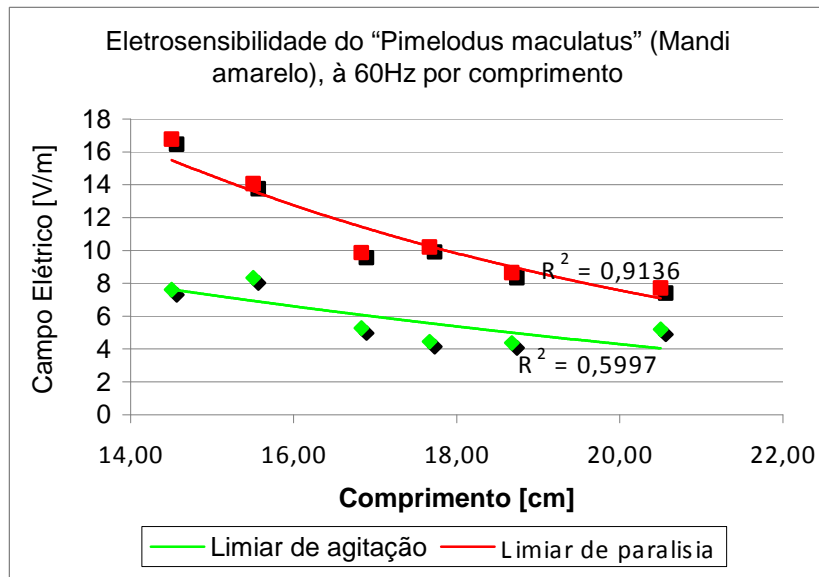


Figura 5.41, Comportamento do *Pimelodus maculatus* (Mandi amarelo), sobre campo 60hz senoidal em relação ao comprimento, fonte própria.

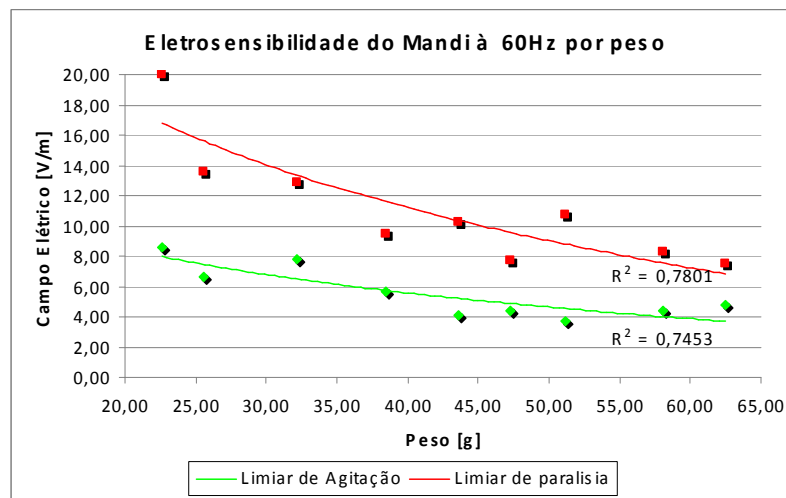


Figura 5.42, Comportamento do *Pimelodus maculatus* (Mandi amarelo), sobre campo 60hz senoidal em relação ao peso, fonte própria.

5.10 Simulação da Barreira de anéis.

Com os resultados obtidos com a simulação de pares de placas objetivou-se determinar o comportamento de uma barreira de anéis. Isso porque se o campo apresentado por pares de placas estava mais uniforme os anéis tornariam o campo ainda mais uniforme.

5.10.1 Simulação com cinco anéis

A metodologia utilizada é citada no capítulo 4 sessão 4.2.3. Os resultados preliminares são apresentados nas figuras 5.43 a 5.45.

Os resultados preliminares não levaram em consideração o efeito causado pela resistividade do concreto do qual o tubo de sucção é manufaturado. Idealizou-se então a distribuição de campo dentro do canal preenchido de água e com cinco anéis compondo a barreira, sendo que os anéis das extremidades e o central energizados e os restantes com potencial nulo.

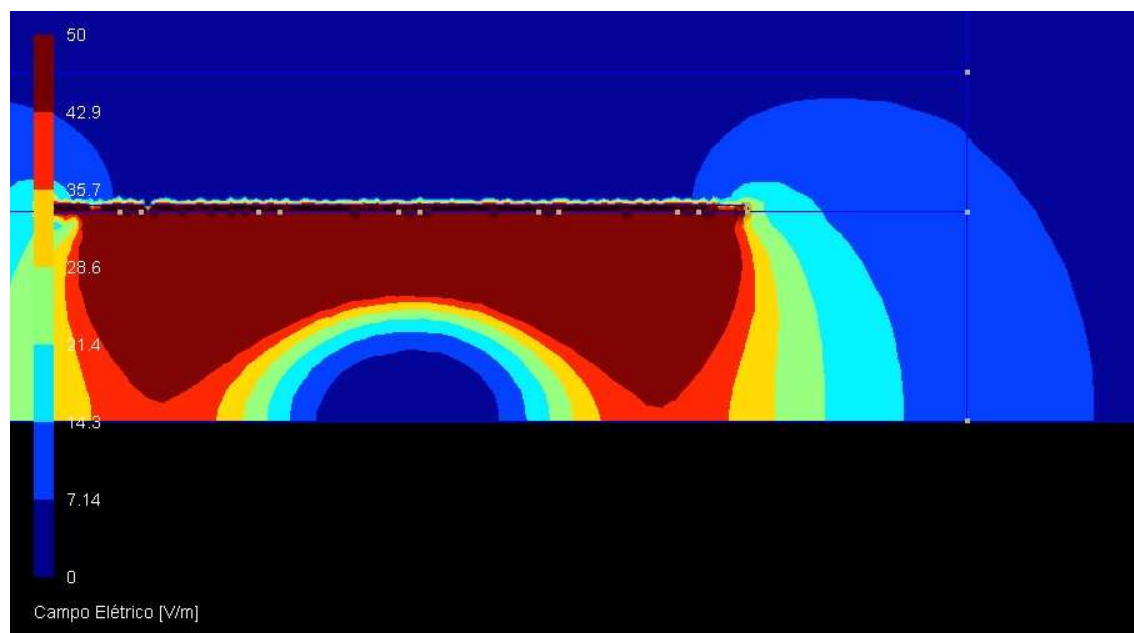


Figura 5.43 Resultado de simulação da barreira elétrica composta por cinco anéis com energização intercalada, campo elétrico, fonte própria.

O resultado apresentado na figura 5.18, mostra o comportamento da barreira em um setor 2D com vista superior de metade do canal. Os efeitos são simétricos em todas as direções.

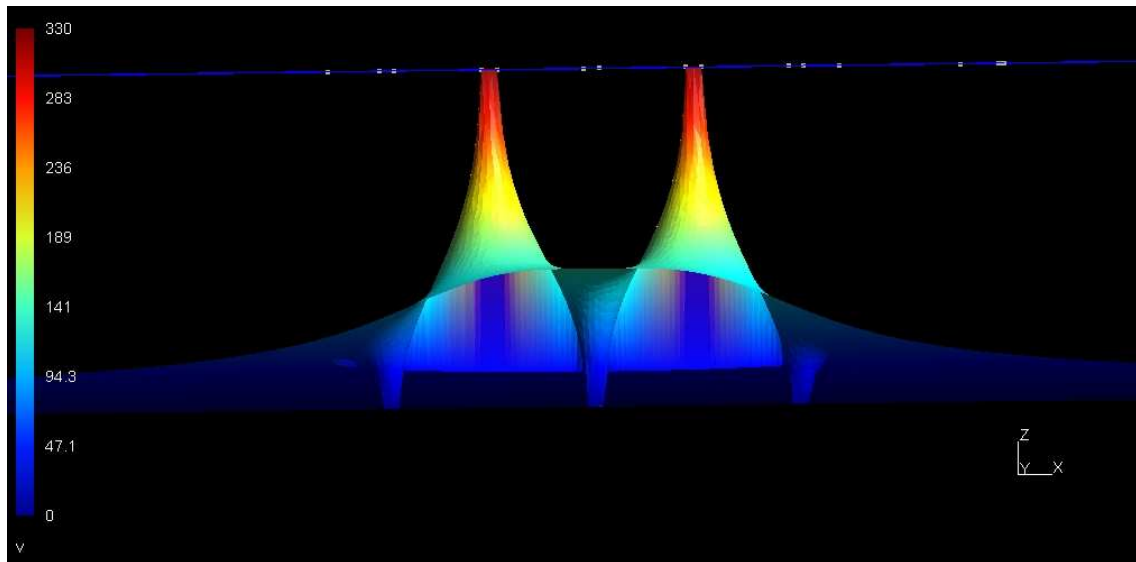


Figura 5.44, Resultado de simulação da barreira elétrica composta por cinco anéis com energização intercalada, distribuição de tensão, fonte própria.

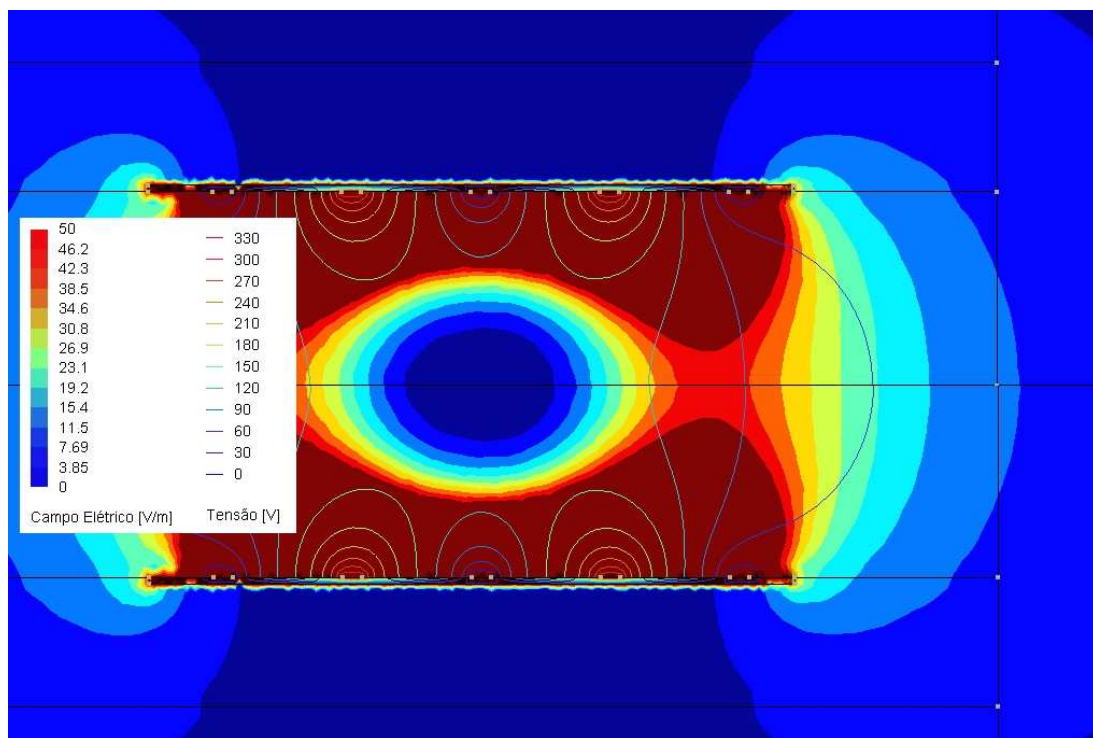


Figura 5.45, Resultado de simulação da barreira elétrica composta por cinco anéis com energização intercalada, distribuição de tensão e de campo elétrico sobrepostos, fonte própria.

Porém considerando o fato que o concreto molhado possui resistividade muito próxima da água, tem-se uma fuga de campo para o lado externo do canal de sucção, como é mostrado na figura 5.46.

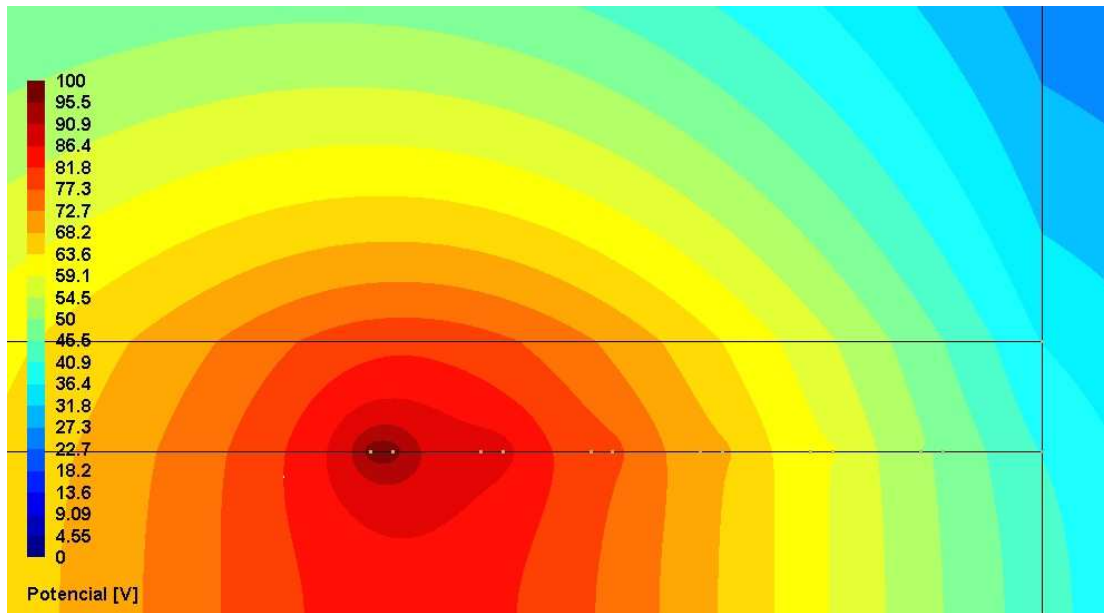


Figura 5.46, Efeito da fuga de potencial para concreto, fonte própria.

Logo a energia gasta para manter a barreira com um campo de 50V/m, é muito maior, além do perigo de energização da instalação como um todo.

Assim uma isolação elétrica é necessária para fazer com que a barreira se comporte como a simulação mostrada nas figuras 5.44 a 5.45.

5.10.2 Simulação da barreira de dois anéis.

Como citado no capítulo 4, seção 4.2.3 , utilizou-se de uma rotina de otimização baseada em “Algoritmos Genéticos”, implementada pelo pesquisador Henrique Nunes Braga para definição de uma melhor configuração entre os anéis. O problema de otimização consiste em obter uma curva ótima para o campo elétrico na região da barreira elétrica, para isto se faz o uso de anéis condutores circundando o canal cada qual com potencial e posição definido a fim de se obter o melhor campo para buscar minimizar a mortalidade de peixes.

- Não pode haver intercessão entre os anéis vizinhos:

$$X_k, X_{k+1} + Tam < 0, \quad k = 1..n-1$$

- Os anéis só podem ficar no interior do canal:

$$X_1, Tam/2 > 0$$

$$X_n + Tam/2 < 1$$

- Restrição quanto a largura dos anéis:

$$Tam_{min} \leq Tam \leq Tam_{max}$$

- Limites para a tensão dos anéis

$$V_{max} < V_k < V_{min}, \quad k = 1..n$$

n, número de anéis;

X – Posição do centro do anel;

V – Potencial do anel;

Tam – Tamanho dos anéis.

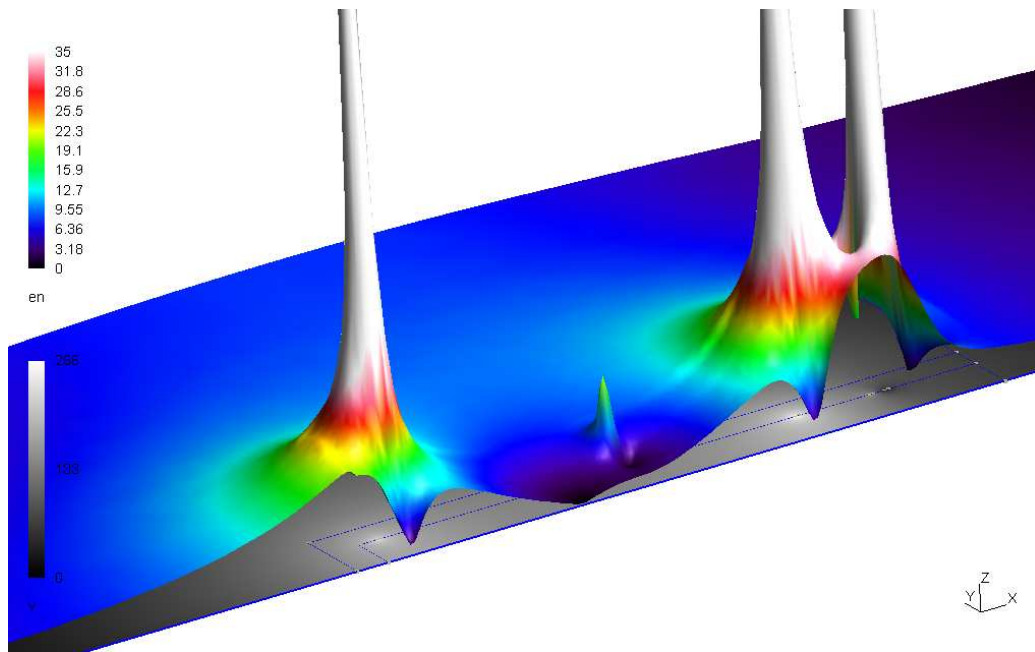


Figura 5.47, Gráfico da superfície de Campo elétrico(em colorido) gerado pela barreira em condição ótima e da distribuição da tensão(em preto e branco) da resposta dada pela otimização. Fonte própria.

Pode observar nas figuras 5.47 que a otimização usa apenas dois dos cinco anéis disponíveis para criar um campo parecido com a referencia e consegue obter bons resultados. pois o local onde mais se desobedece a curva de referência está ao fundo da barreira onde o peixe não teria acesso.

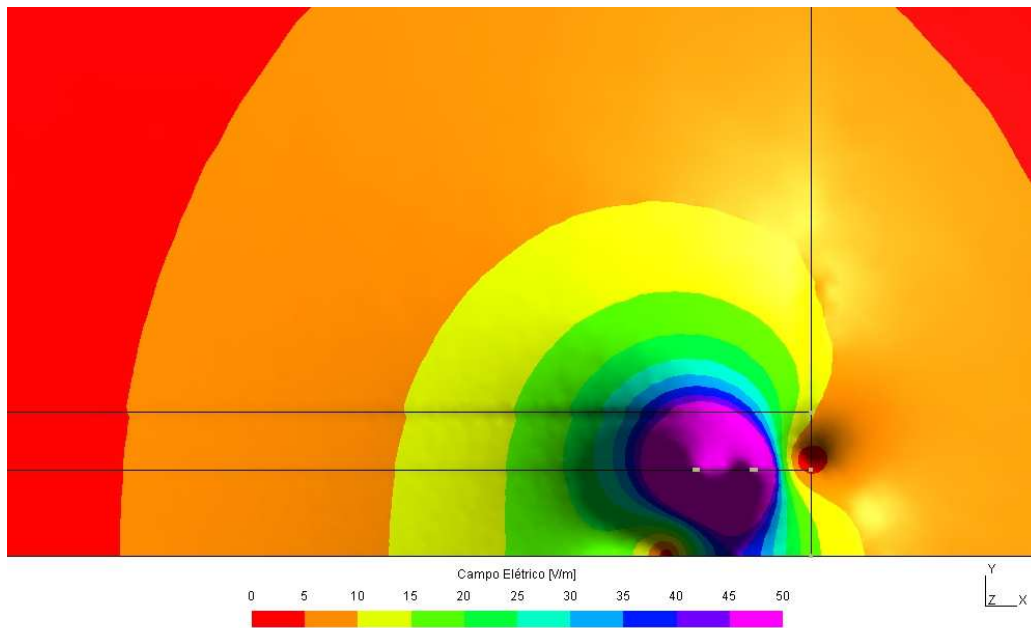


Figura 5.48, Distribuição do campo elétrico na barreira de dois anéis. Visão 2D de metade da vista superior, fonte própria.

Estes resultados impulsionaram novas simulações baseadas na resposta otimizada. Fez-se então uma simulação utilizando somente dois anéis colocados na entrada do canal de sucção. O resultado é mostrado nas figuras 5.48 .

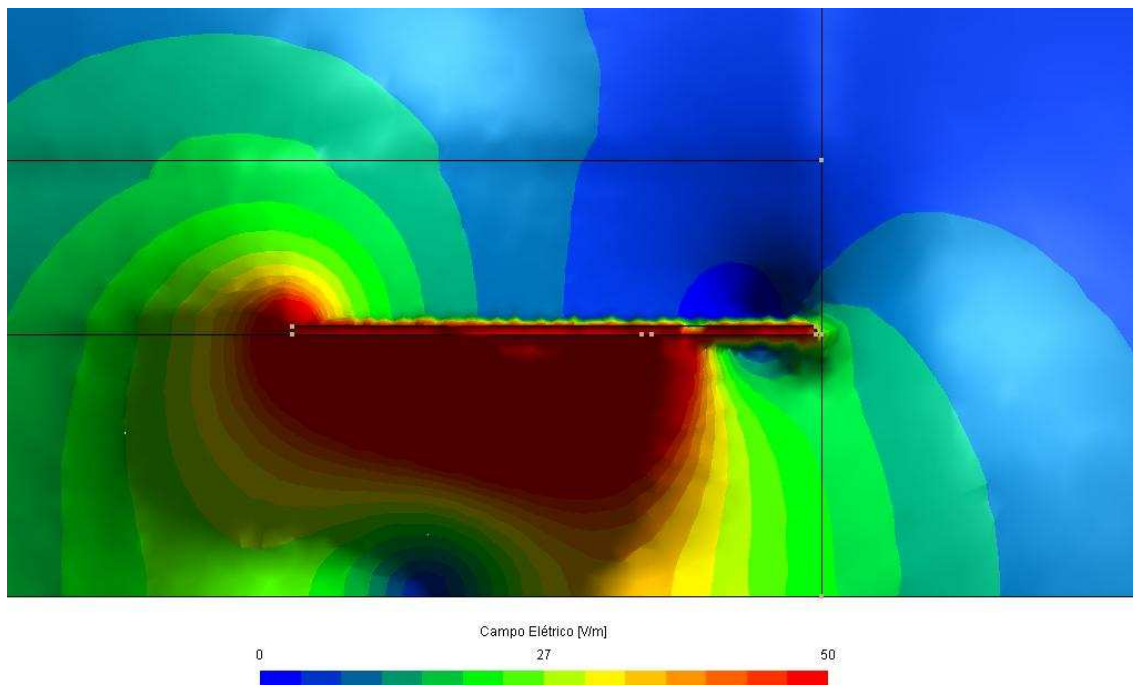


Figura 5.49, Distribuição do campo elétrico na barreira de dois anéis. Visão 2D de metade da vista superior, fonte própria.

Realizando uma isolamento nas paredes do canal impossibilitando a fuga de tensão para o concreto tem-se uma configuração confiável para a barreira elétrica. O resultado é mostrado na figura 5.49.

5.11 Ensaios da barreira de Anéis.

O objetivo deste ensaio foi obter uma resposta preliminar em relação ao funcionamento da barreira elétrica. A metodologia utilizada para este ensaio foi descrita no capítulo 4 sessão 4.3.4.

Para o entendimento da distribuição de campo dentro do canal de teste foi realizada uma simulação de campo da barreira. A figura 5.50 mostra a simulação e a distribuição das linhas de campo dentro do canal. Nota-se claramente que o campo elétrico excede as bordas tornando a área efetiva da barreira maior que suas próprias dimensões físicas.

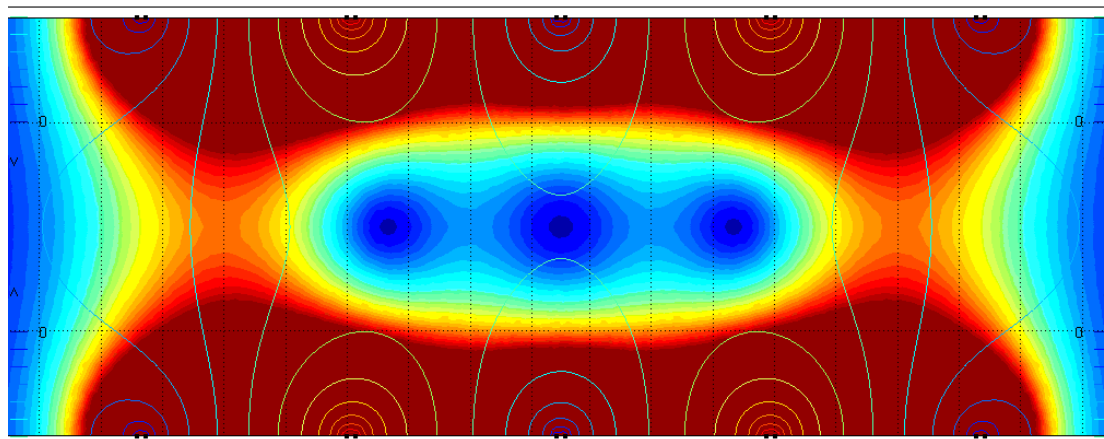


Figura 5.50, Simulação da barreira de anéis no canal de ensaio da figura, fonte própria.

Neste ensaio várias espécies foram utilizadas e de acordo com o seu comportamento frente à barreira foram estabelecidos níveis de tensão por espécies.

- Mandis – com 10 V/m a barreira se mostrou eficiente, impedindo a passagem de indivíduos.

- Curimbas – entre 10 e 25 V/m, a barreira se mostrou eficiente dependendo unicamente do comprimento dos indivíduos.
- Cascudos – entre 10 e 25 V/m a barreira se mostrou eficiente dependendo unicamente do comprimento dos indivíduos.
- Piau, entre 15 e 25 V/m a barreira se mostrou eficiente dependendo unicamente do comprimento dos indivíduos.
- Lambaris – 25 a 55 V/m a barreira se mostrou eficiente dependendo unicamente do comprimento dos indivíduos.

Os resultados são apresentados na Tabela 5.18.

Tabela 5.18, Resultado de seletividade da barreira elétrica, fonte própria.

Tabela de comportamento de indivíduos em barreira elétrica	
10 V/m	Mandis, curimatã grandes com mais de 23cm,
15 V/m	Mandis, Cascudos, curimatã entre 17 a 25 cm
20 V/m	Mandis, Cascudos, curimatã entre 11 a 25 cm, Piau com 11 a 13 cm.
25 V/m	Mandis, Cascudos, curimatã entre 11 a 25 cm, Piau com 8 a 13 cm. Lambaris de 8 cm.
55V/m	Todos.

Os valores da barreira foram selecionados desta forma baseados nos níveis de eletro sensibilidade determinados nos ensaios com curimbas e mandis. Os resultados com essas duas espécies foi crucial na determinação dos níveis . Durante os ensaios nenhum peixe chegou ao estado de paralisia, se desviando da barreira antes que o mesmo acontecesse. Outro efeito encontrado foi o de evitar a barreira bem antes da mesma, o que sugere que para alguns casos o nível de sensibilidade é suficiente para expulsar o peixe da área indesejada.

6 Discussão de resultados

Este trabalho investigou o uso de uma barreira elétrica que pudesse minimizar problema da entrada de peixes na tubulação de restituição das máquinas hidráulicas. Além desse tipo de barreiras podemos imaginar outros tipos que entretanto provocam perda de carga e geração, requerem manutenção e limpeza e podem causar prejuízos a operação das turbina (obstruções e paradas forçadas).

Para se dimensionar uma barreira elétrica é necessário conhecer alguns fatores importantes:

- Eletro-sensibilidade dos peixes envolvidos;
- Dimensões Físicas do canal de restituição;
- Parâmetros Elétricos da água;
- Parâmetros Elétricos da Instalação.

Assim iniciou-se o estudo a partir de três espécies de peixes.

O “*Piaractus mesopotamicus*” Pacu foi a primeira espécie testada e permitiu o amadurecimento da metodologia de determinação da eletro-sensibilidade por espécie.

Com o pacu foram realizados os testes com a barreira de eletrodos imersos na água e verificou-se que essa geometria de eletrodos funcionava, porém colocava a vida das espécies em risco por não ter uma distribuição de campo segura para o peixe que se aproxima da barreira.

Isso fez com que a investigação se dividisse em dois ramos :

- Geometria da barreira .
- Danos causados por choques aos peixes.

Os danos causados aos peixes foram estudados em publicações específicas de pesca elétrica onde mostram as injúrias sofridas por trutas e salmões no Canadá e EUA. Segundo essas publicações os peixes sofrem paradas cardíacas, hemorragias e fraturas quando expostos a campos intensos por um período prolongado, ou imersos em campo muito intenso por um curto período. Como mostram as fotos 6.1 e 6.2.



Figura 6.1, Hemorragias causadas por eletro-choque.(J. F. SCHREER, 2004).

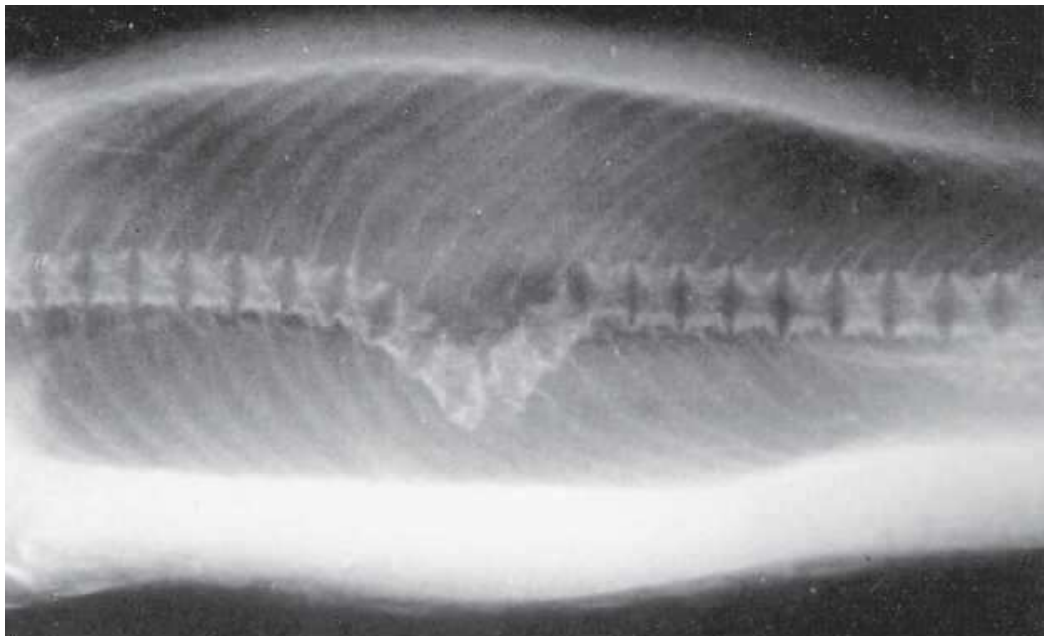


Figura 6.2, Fraturas causadas por eletro-choque .(J. F. SCHREER, 2004).

Como esses acidentes com peixes ocorrem com a pesca elétrica e o par de eletrodos funciona de forma similar com o equipamento de pesca elétrica, essa geometria foi abandonada e a geometria de anéis foi então adotada.

Foi então levantada a eletro-sensibilidade da curimba e do mandi amarelo para que a barreira de anéis fosse configurada de maneira segura para os peixes.

Os ensaios mostraram que a curimba possui uma resposta ao campo elétrico muito diferente do mandi sendo menos susceptível a aplicação de campo que o mesmo. Talvez isso ocorra por dois motivos, como o mandi não possui escamas sua resistividade é menor que a da curimba que possui uma cobertura de escamas protetoras, outro motivo é o formato da seção reta do corpo do mandi que oferece uma área líquida maior que a da curimba para um mesmo comprimento do peixe. Além do mais o mandi tem seus característicos barbilhões que de certa forma podem ter aumentado o efeito do campo sobre o mesmo.

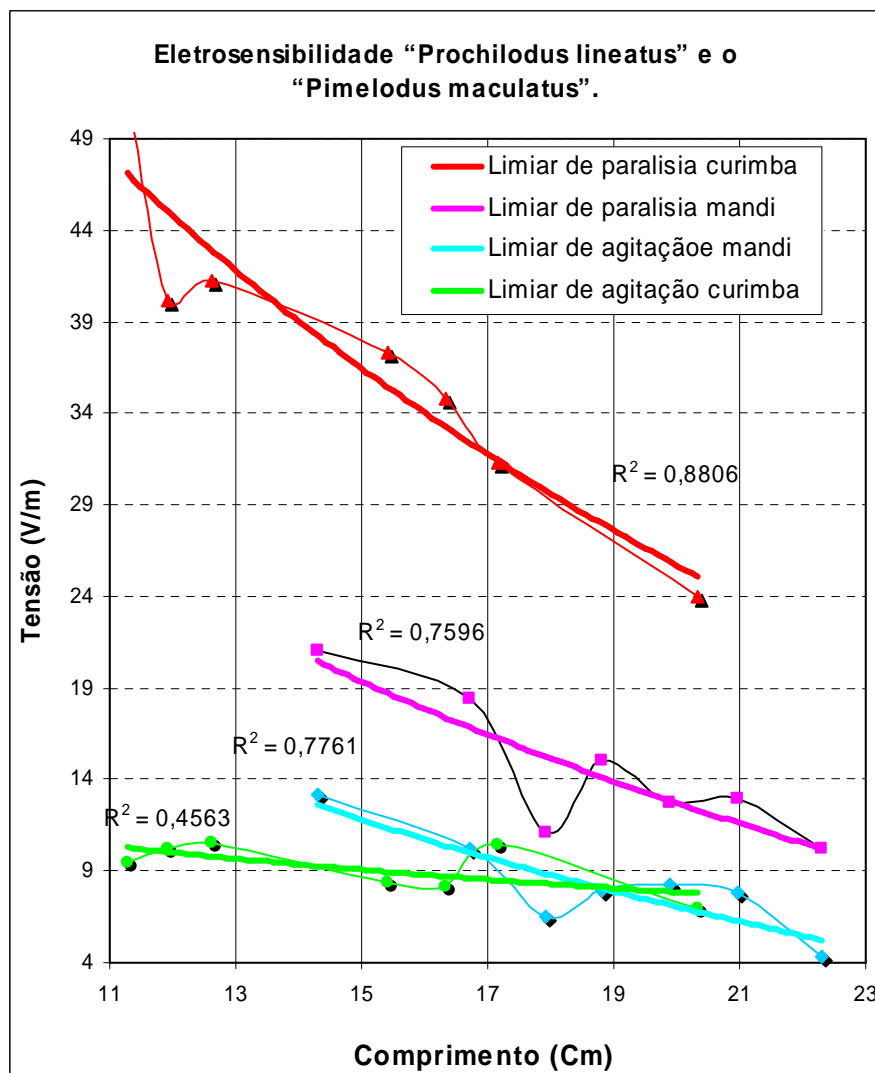


Figura 6.3, Comparação entre Eletrosensibilidades, "Prochilodus lineatus" e o "Pimelodus maculatus", fonte própria.

Com a construção do ábaco de resposta elétrica por comprimento do peixe a barreira elétrica foi então simulada para verificar a geometria mais

segura e eficiente. Após muitas tentativas a configuração mais acertada foi a do par de anéis um carregado e o outro não com corrente alternada de 60hz.

A escolha de corrente alternada se faz por dois motivos, não atrai o peixe como a corrente contínua e é o tipo de tensão gerada na usina, agregando assim eficiência e praticidade em uma só solução.

Ao verificar que a resistividade do concreto molhado é próxima da apresentada pela água (ACI COMITEE) verificou-se que o campo elétrico gerado pela barreira escapava pelas paredes do tubo de sucção diminuindo a eficiência da barreira. Isso pode ser observado ao se analisar a figura 6.3 e 6.4.

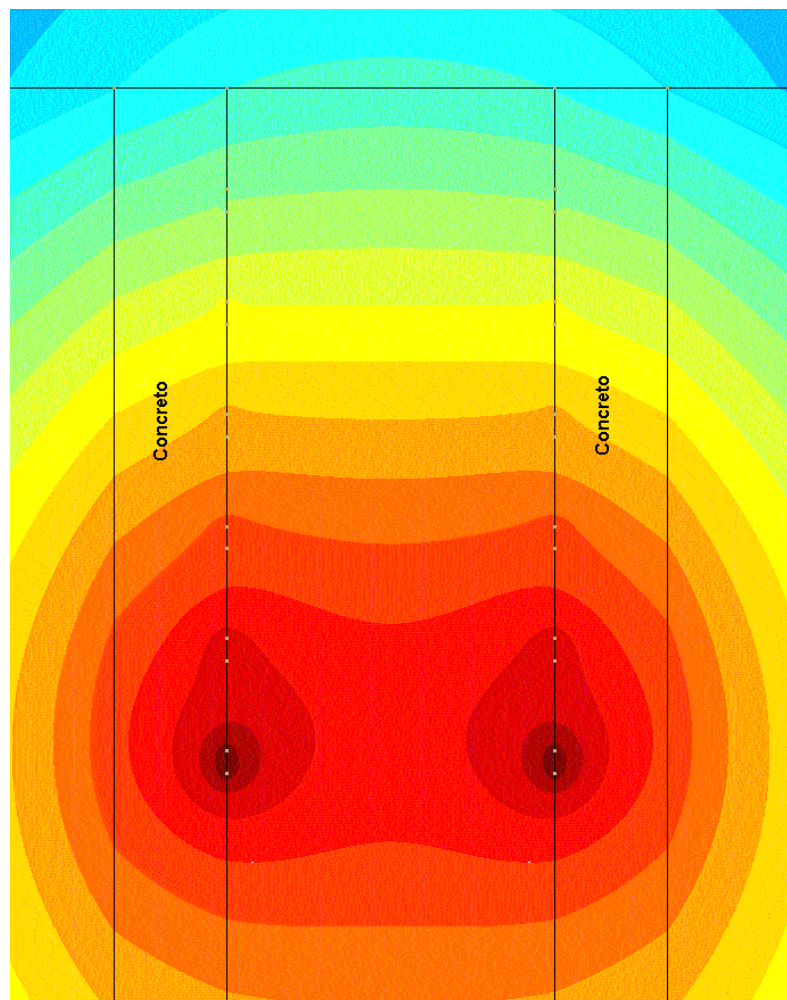


Figura 6.4 Fuga do campo elétrico para o concreto, fonte própria.

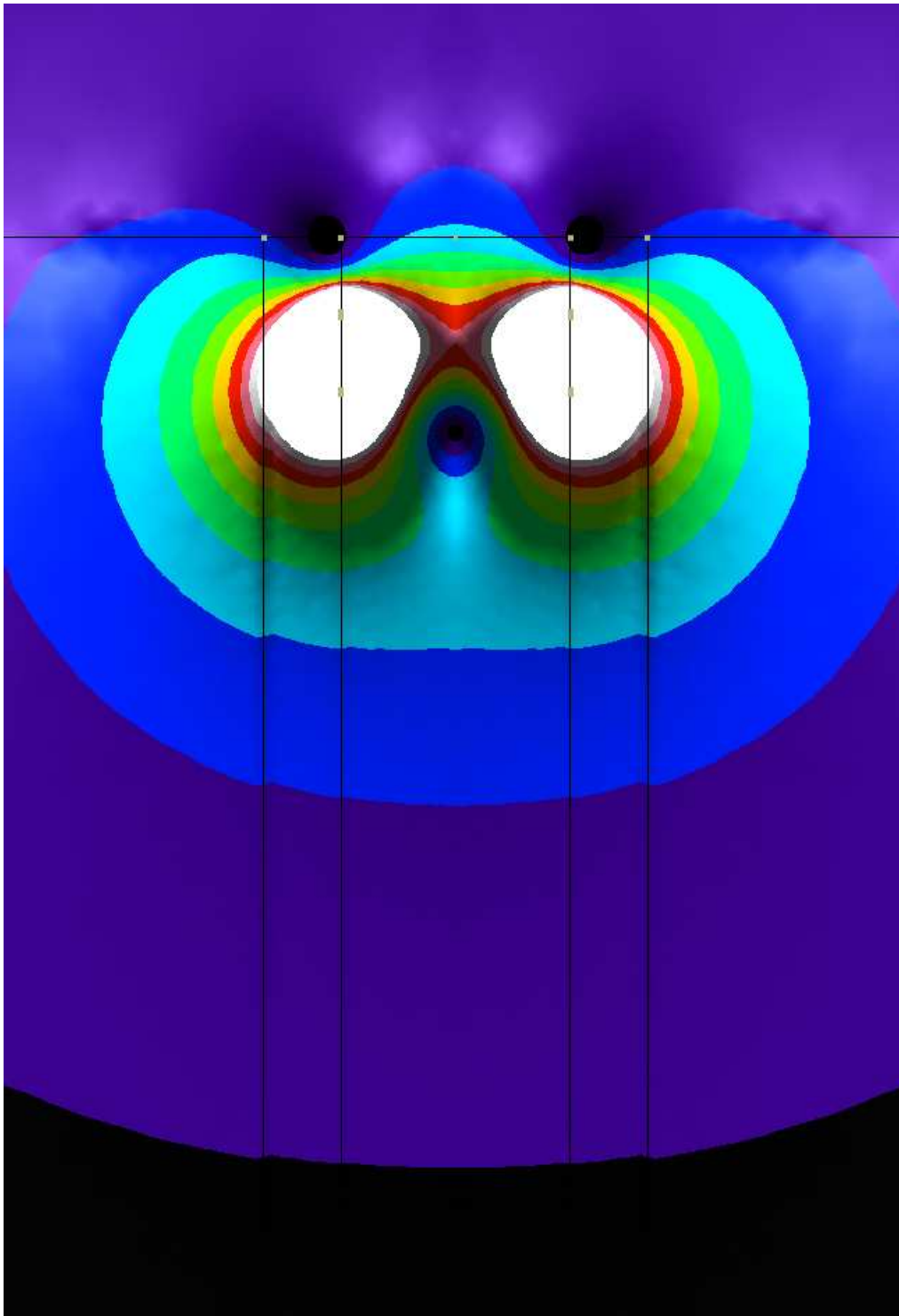


Figura 6.5, Barreira com campo elétrico escapando pelas laterais, fonte própria.

Verificou-se então que seria necessária uma blindagem nas laterais do canal para que o campo não se esvaísse do mesmo. Figura 6.5

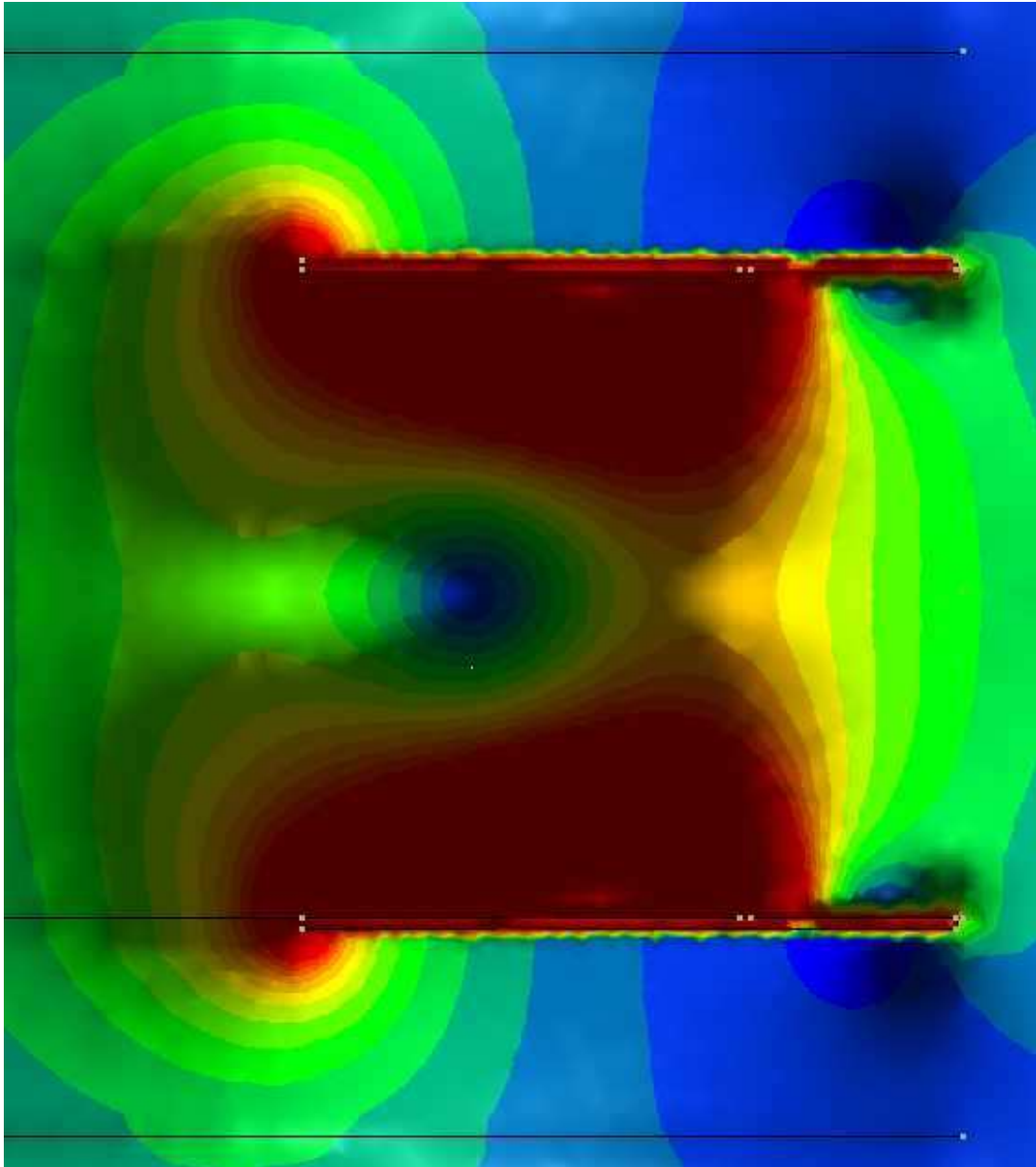


Figura 6.6, Campo elétrico dentro do canal contido pela isolação, fonte própria.

Verificou-se então que a barreira poderia ser testada dessa forma em um canal de teste com várias espécies para verificar sua eficácia.

O teste mostrou que a barreira funciona e é realmente promissora como solução do problema de entrada de peixes nas turbinas. Porém muitas vezes os peixes entravam nas redondezas da barreira, se sentiam incomodados, mas não entendiam o que lhes estava trazendo tal incômodo. A conclusão para esse fato é que a barreira não é visível, então o peixe não sabe o que lhe traz o desconforto.

Para tentar resolver esse problema sugere-se a associação da barreira elétrica com uma barreira de bolhas, ou luminosa utilizando luz estroboscópica para que o peixe associe o incômodo às bolhas ou à luz.

Outro resultado importante foi a metodologia utilizada para obtenção da resistividade do mandi vivo. Com o resultado do modelo ficou mais claro interpretar o que se passa com o peixe quando um campo elétrico é aplicado.

Esta metodologia pode ser utilizada para o levantamento da resistividade de outras espécies, bem como a resistência equivalente de um grupo de peixes exposto ao campo. Outra grande melhoria foi a metodologia pré-teste desenvolvida para os ensaios de eletro sensibilidade. A utilização de filmagens dos ensaios permitiu uma interpretação mais detalhada do evento, diminuindo em muito os erros de interpretação de sintomas. E ainda permite avaliações futuras dos procedimentos aplicados podendo servir a qualquer hora de material de pesquisa para outros pesquisadores.

Essa investigação detalhada revelou dados biométricos do peixe que foram de crucial importância na interpretação dos dados. O levantamento da densidade média do corpo do mandi permitiu o cálculo aproximado da área líquida de peixes ensaiados no passado cujos valores dimensionais medidos foram somente peso e comprimento. Com um erro médio de mais ou menos 6% é possível determinar o volume de um exemplar sabendo-se somente o seu peso e comprimento. E de posse do volume é possível levantar a energia gasta para paralisar ou agitar um indivíduo, contribuindo com uma noção de custo para tal atividade. De acordo com o gráfico da figura 6.6, são necessários apenas 0,08 W para paralisar um peixe de 10 cm, e à medida que o peixe cresce a potência necessária cai ainda mais, 0,45 mW para um peixe de 40 cm. Como mostrado nos resultados da pesquisa de resistividade interna do peixe, a área líquida de passagem de corrente depende da relação de resistências que compõem o circuito equivalente.

Para o caso de mais de um peixe junto a área líquida aumenta, a resistência do sistema água peixe diminui e a corrente que passa efetivamente pelo peixe é maior. Logo quanto mais peixes juntos maior será a efetividade da barreira.

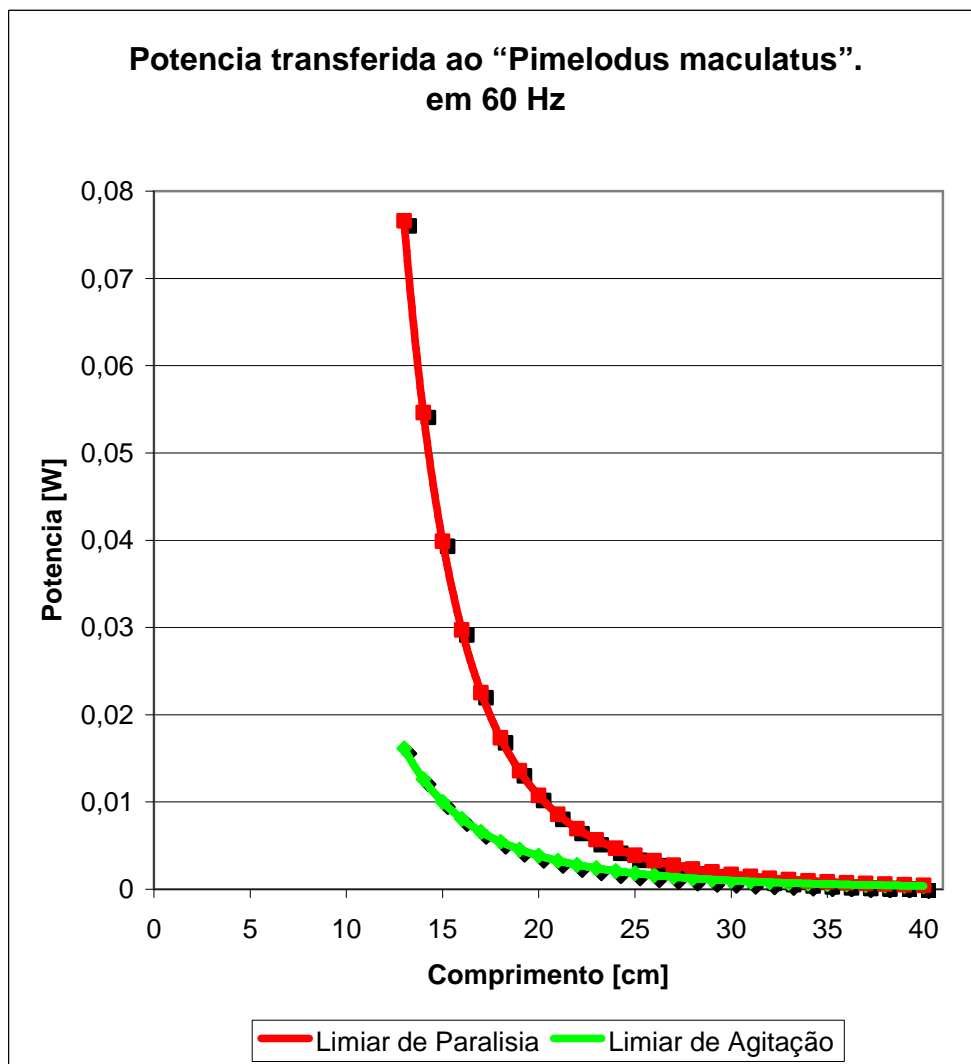


Figura 6.7, Potência entregue ao "*Pimelodus maculatus*". em 60 Hz, fonte própria.

Os ensaios de eletro sensibilidade tiveram um ganho muito grande com a metodologia refinada de testes. Com o uso da mesma foi obtido os resultados de eletro sensibilidade para tensões senoidais à 60 Hz e 1000Hz. Bem como para tensões à 1000Hz pulso quadrado à 50%. Como mostra as figuras 6.7,6.8 e 6.9, que compara o resultado obtido com o aumento da frequência e do tipo de onda em relação ao 60Hz senoidal, pode-se ver claramente que a eficiência a 60 Hz é maior, já que os estágios de Paralisia e Agitação são atingidos com tensões menores.

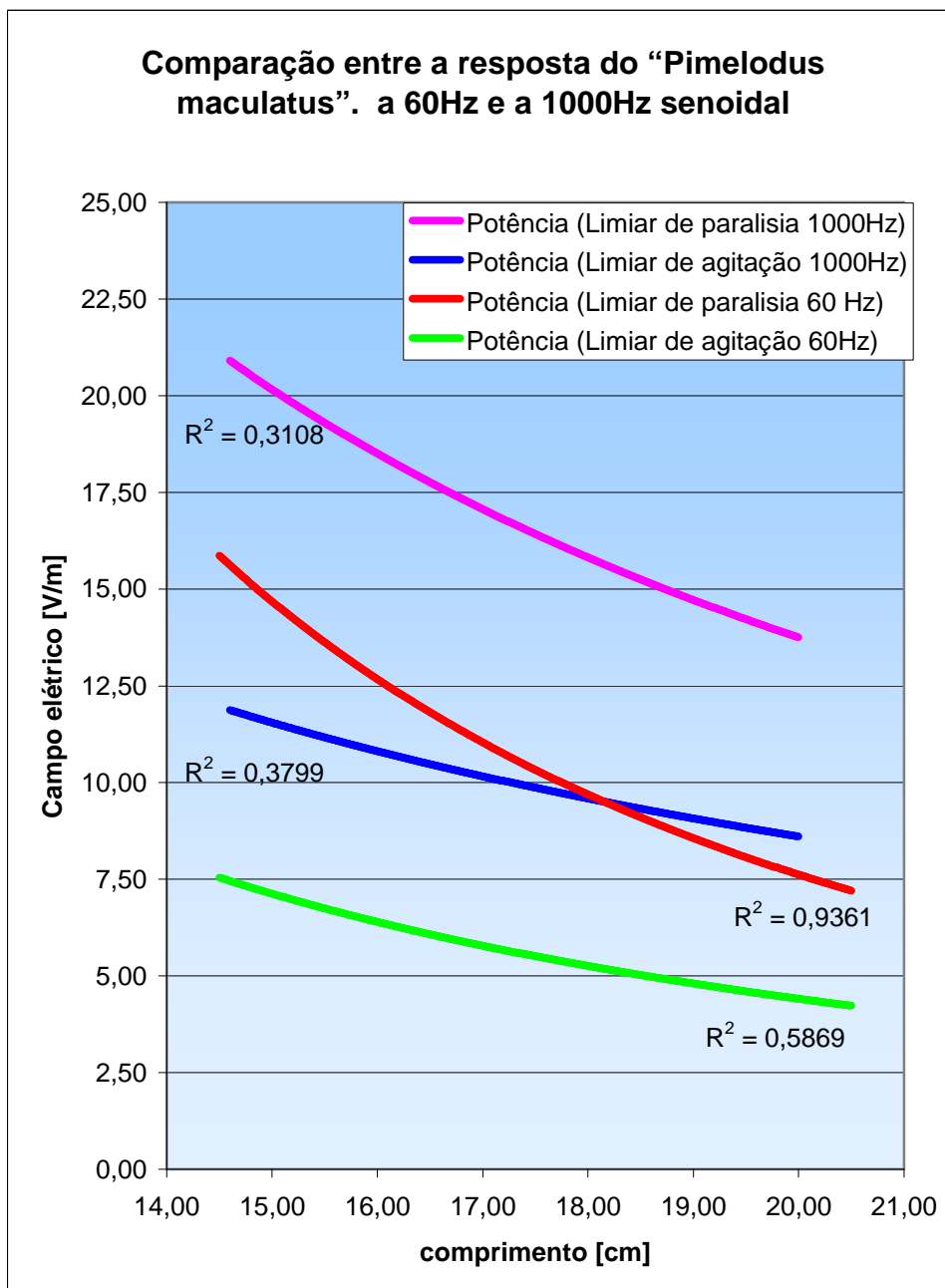


Figura 6.8, Eletro sensibilidade do “*Pimelodus maculatus*” a 60 Hz e 1000Hz senoidais, fonte própria.

Outro fator importante é que o R^2 apresentado para os resultados à 60 Hz são muito melhores que os das demais. Ficou claro durante os experimentos que é muito mais difícil identificar o início da mudança de comportamento de Sensibilidade para Agitação quando a frequência da tensão é aumentada.

Outro fator interessante é que com a mudança de frequência a curva de eletro sensibilidade se deslocou para cima em ambos os casos de resposta, Agitação e Paralisia. Ou seja a densidade de corrente no peixe diminui com o aumento da frequência devido ao efeito pelicular. A bibliografia, principalmente os trabalhos sobre danos elétricos em peixes .(J. F. SCHREER), relatam que os danos causados por tensões à baixa frequência são maiores que os danos em alta frequência. Isso também pode ser explicado pela diminuição da densidade de corrente sobre o peixe que possui uma reatância capacitiva menor que a da água que o circunda, quando a frequência do sinal é aumentado.

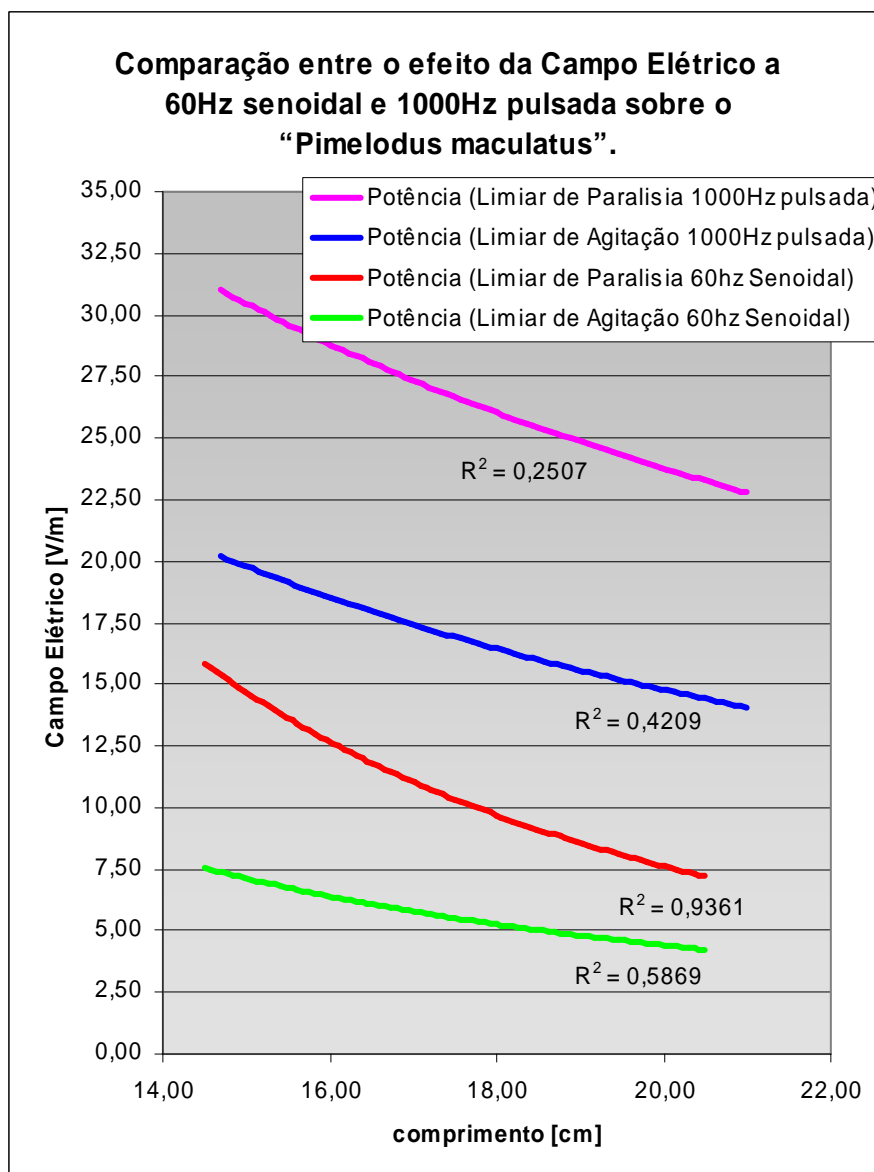


Figura 6.0, Eletro sensibilidade do "Pimelodus maculatus" a 60 Hz senoidal e 1000Hz pulso quadrado, fonte própria.

Por fim comparando os resultados obtidos de resistividade, densidade média, relação peso por comprimento e eletro sensibilidade ficou comprovado que a tensão senoidal à 60Hz é a melhor tensão de trabalho para a Barreira Elétrica, que tem como geometria mais eficiente a configuração em anéis.

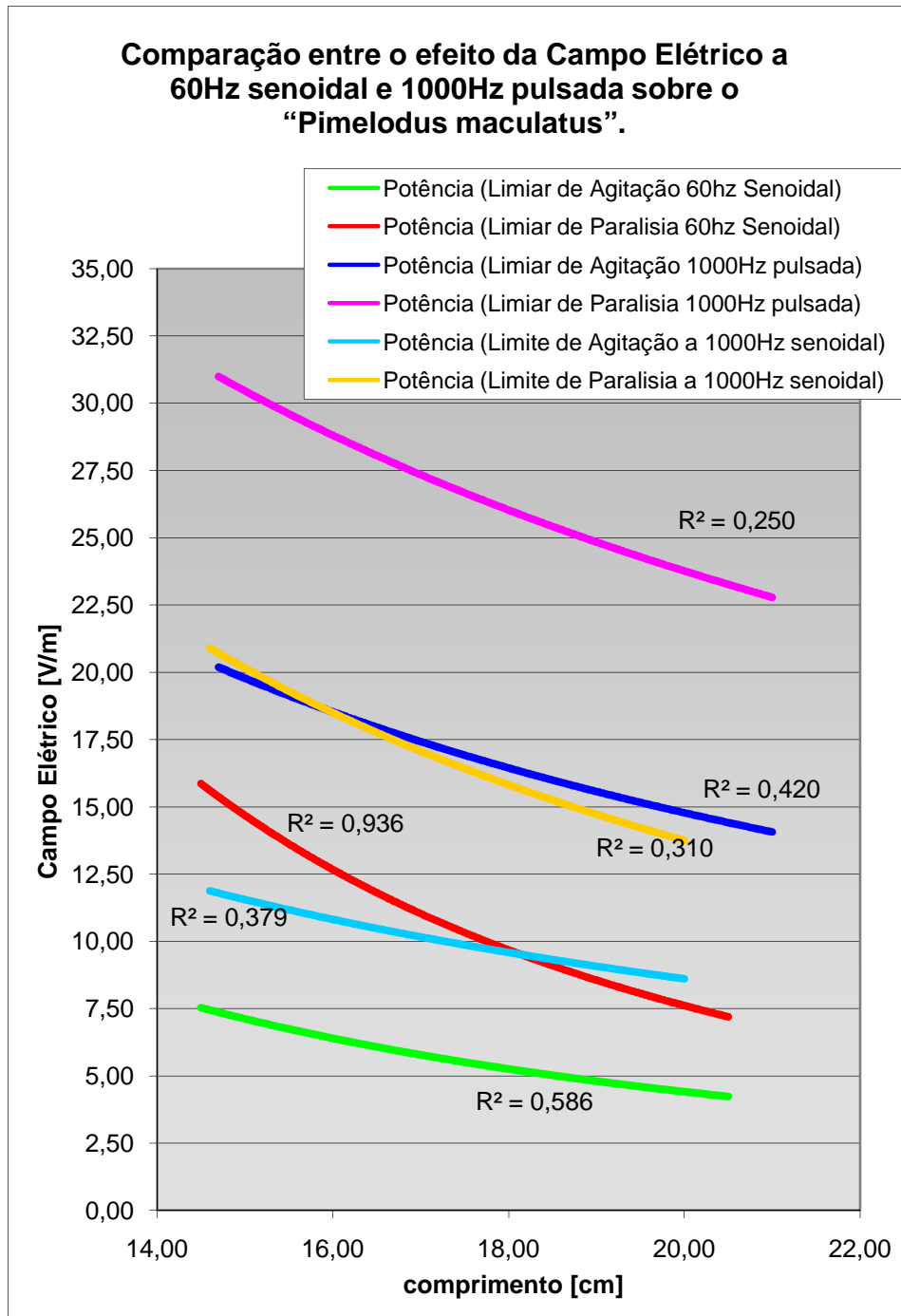


Figura 6.10, Eletro sensibilidade do “*Pimelodus maculatus*” a 60 Hz e 1000Hz senoidais, fonte própria.

Em relação à determinação da eletrosensibilidade associada à densidade de corrente, tem-se um ganho muito importante. Com a resposta

por densidade é possível avaliar sinais aplicados ao peixe através de simulações, poupando cobaias custo e tempo. Abrem-se portanto uma infinidade de trabalhos a serem realizados com as demais espécies de peixe da fauna brasileira, e mesmo para o Mandi Amarelo ainda existe muita coisa a se descobrir.

7- Conclusões

Este trabalho investigou o uso de uma barreira elétrica que pudesse minimizar problema da entrada de peixes na tubulação de restituição das máquinas hidráulicas. Além desse tipo de barreiras podemos imaginar outros tipos que entretanto provocam perda de carga e geração, requerem manutenção, limpeza constante e podem causar prejuízos a operação das turbina (obstruções e paradas forçadas), logo:

- Para se dimensionar uma barreira elétrica é necessário conhecer alguns fatores importantes:
 - Eletro-sensibilidade dos peixes envolvidos;
 - Dimensões Físicas do canal de restituição;
 - Parâmetros Elétricos da água;
 - Parâmetros Elétricos da Instalação.

- Os ensaios mostraram que a curimba possui uma resposta ao campo elétrico muito diferente do mandi sendo menos susceptível a aplicação de campo que o mesmo. Talvez isso ocorra por dois motivos, como o mandi não possui escamas sua resistividade é menor que a da curimba que possui uma cobertura de escamas protetoras, outro motivo é o formato da seção reta do corpo do mandi que oferece uma área líquida maior que a da curimba para um mesmo comprimento do peixe.

- Um resultado importante foi a metodologia utilizada para obtenção da resistividade do peixe vivo. Com o resultado do modelo ficou mais claro interpretar o que se passa com o peixe quando um campo elétrico é aplicado. Esta metodologia pode ser utilizada para o levantamento da resistividade de outras espécies, bem como a resistência equivalente de um grupo de peixes exposto ao campo.

- Outra grande melhoria foi a metodologia pré-teste desenvolvida para os ensaios de eletro sensibilidade. A utilização de filmagens dos ensaios permitiu uma interpretação mais detalhada do evento, diminuindo em muito os erros de interpretação de sintomas. E ainda permite avaliações futuras dos procedimentos aplicados podendo servir a qualquer hora de material de pesquisa para outros pesquisadores.
- Essa investigação detalhada revelou dados biométricos do peixe que foram de crucial importância na interpretação dos dados. O levantamento da densidade média do corpo do mandi permitiu o cálculo aproximado da área líquida de peixes ensaiados no passado cujos valores dimensionais medidos foram somente peso e comprimento. Com um erro médio de mais ou menos 6% é possível determinar o volume de um exemplar sabendo-se somente o seu peso e comprimento.
- Como mostrado nos resultados da pesquisa de resistividade interna do peixe, a área líquida de passagem de corrente depende da relação de resistências que compõem o circuito equivalente. Para o caso de mais de um peixe junto, a área líquida aumenta, a resistência do sistema água peixe diminui e a corrente que passa efetivamente pelo peixe é maior. Logo quanto mais peixes juntos maior será a efetividade da barreira.
- Como mostra as figuras de comparação entre os ensaios de 60 Hz senoidal que compara o resultado obtido com o aumento da frequência e do tipo de onda em relação ao 60Hz e 1000Hz senoidal e 1000Hz pulso quadrado duth 50%, pode-se ver claramente que a eficiência a 60 Hz é maior, já que os estágios de Paralisia e Agitação são atingidos com tensões menores.

- Outro fator importante é que o R^2 apresentado para os resultados à 60 Hz são muito melhores que os das demais.
- Ficou claro durante os experimentos que é muito mais difícil identificar o início da mudança de comportamento de Sensibilidade para Agitação quando a frequência da tensão é aumentada.
- Outro fator interessante é que com a mudança de frequência, a curva de eletro sensibilidade se deslocou para cima em ambos os casos de resposta, Agitação e Paralisia. Ou seja a densidade de corrente no peixe diminui com o aumento da frequência devido ao efeito pelicular.
- Trabalhos sobre danos elétricos em peixes (J. F. SCHREER), relatam que os danos causados por tensões à baixa frequência são maiores que os danos em alta frequência. Isso também pode ser explicado pela diminuição da densidade de corrente sobre o peixe que possui uma reatância capacitiva maior que a da água que o circunda, quando a frequência do sinal é aumentado.
- Por fim comparando os resultados obtidos de resistividade, densidade média, relação peso por comprimento e eletro sensibilidade ficou comprovado, que dentre as tensões testadas, que a tensão senoidal à 60Hz é a melhor tensão de trabalho para a Barreira Elétrica, que tem como geometria mais eficiente a configuração em anéis.

8- BIBLIOGRAFIA

- ACI Committee 232, Use of Fly Ash in Concrete, ACI 232.2R-96, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1996.
- AGOSTINHO, A. A. & JULIO Jr, H. F. Peixes da bacia do alto Paraná. In: LOWE-McCONNEL, R. H. *Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais*, cap. 16, p. 374-399. São Paulo: EDUSP, 1999.
- 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. *Rev. UNIMAR*, 14(Suplemento), p.89-107.
- AGOSTINHO, A. A.; BORGHETTI, J. R.; VAZZOLER, A. E. A. M. & GOMES, L. C. Impacts on the Ichthyofauna on Biological Bases for its Management. *Environmental and Social Dimensions of Reservoir Development and Management in the La Plata Basin*, p. 135-148. Nagoya, Japão: UNCRD, 1994.
- AGOSTINHO, A. A.; FERRETTI, C. L. M.; GOMES, L. C.; HAHN, N. S.; SUZUKI, H. I.; FUGI, R. & ABUJANRA, F. Ictiofauna de Dois Reservatórios do Rio Iguaçu em Diferentes Fases de Colonização: Segredo e Foz de Areia. In: AGOSTINHO, A. A. & GOMES, L. C. (Eds.). *Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo*, p. 319-364. Maringá: EDUEM, 1997.
- AGOSTINHO, A. A.; JÚLIO, Jr., H. F.; GOMES, L. C.; BINI, L. M. & AGOSTINHO, C. S. Composição, abundância e distribuição espaço-temporal da ictiofauna. 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*, p. 179-208. Maringá: EDUEM, 1997.
- AGOSTINHO, A. A.; MIRANDA, L. E.; BINI, L. M.; GOMES, L. C.; THOMAZ, S. M. & SUZUKI, H. I. Patterns of Colonization in Neotropical Reservoirs, and Prognoses on Aging. In: TUNDISI, J. G. & STRASKRABA, M. (Eds.). *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications*, p. 227-265. São

Carlos: Academia Brasileira de Ciências & Backhuys Publishers, 1999.

- Andrade, P. M.1 & Braga, F. M. S, Reproductive Seasonality Of Fishes From A Lotic Stretch Of The Grande River, High Paraná River Basin, Brazil, J. Biol., 65(3): 387-394, 2005.
- ARQUIVO SEMATUR, Cáceres-MT www.conhecaopantanal.com.br consulta realizada em outubro de 2007.
- ASTM C 1202-97, "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to resist Chloride Ion Penetration," American Society for Testing and Materials, West onshohocken, PA.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2006, RELATÓRIO FINAL
- BASILE-MARTINS, M.A. Comportamento e alimentação de *Pimelodus maculatus* Lacépède, 1803 (Osteichthyes, Siluriformes, Pimelodidae). São Paulo: Universidade de São Paulo, 1978. 143p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais), Universidade de São Paulo, 1978.
- BASILE-MARTINS, M.A. Criação de organismos para alimentação de larvas de peixes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 1984, São Carlos. Anais.. São Carlos, 1984. p.97-100.
- Bell, M. C. 1991. Fisheries handbook of engineering requirements and biological criteria. Fish passage development and evaluation program. U.S. Army Corps of Engineers, North Pacific Division, Portland, Oregon.
- Bell, M. C., A. C. DeLacy, and G. C. Paulik. 1967. A compendium on the success of passage of small fish through turbines. U.S. Army Corps of Engineers, Portland, Oregon.
- Bell, M. C., A. C. Delacy, and H. D. Copp. 1972. A compendium on the survival of fish passing through turbines. Prepared for the U.S. Army Corps of Engineers, Portland, Oregon.
- Bell, M.C., DeLacey, A. C. & Paulik, G.J. 1981. A compendium on the success of passage of small fish through turbines. Section 1 in M.C. Bell, compiler, 1981. Updated compendium on the success of passage of small fish through turbines. U.S. Army Core of Engineers, Portland, Oregon.
- Borghetti, J.R., Nogueira, V.S., Borghetti, N.R. & Canzi, C. 1994. "The fish ladder at the Itaipu binational hydroelectric complex on the parana river,

Brazil", in Regulated Rivers : research & management, Vol 9 : 127-130.

- CADA, G.F. 1997. " Shaken, Not Stirred : the Recipe for a Fish-Friendly Turbine ". waterpower '97, Proceedings of the International Conference & Exposition on hydropower, Atlanta, Georgia, August 5-8, New York : American Society of Civil Engineers.
- Cada, G.F. 2001. The development of advanced hydroelectric turbines to improve fish passage survival. Fisheries 26 (9): 14-23.
- CADA, G.F. and M.J. SALE. 1993. " Status of Fish Passage Facilities at Nonfederal Hydropower Projects ", Fisheries, Vol. 18, nº7.
- CADA, G.F., COUTANT, C.C. and R.R. WHITNEY. 1997. Development of biological criteria for the design of advanced hydro power turbines. DOE/10-10578. Prepared for Office of Geothermal Technologies, U.S. DOE, Idaho Falls, ID.
- CADA. G.F. 1990. " Assessing Fish Mortality Rates ", Hydro Review, February 1990. p. 52-60.
- CASTAGNOLI, N.; CYRINO, J. E. P. Piscicultura nos Trópicos. São Paulo: Manole, 1986.
- Chella M. R. 1; Ota J. J., Povh P. H., Simulação Física do Transporte de Sedimentos e Assoreamento em Reservatórios, XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003.
- Ciência Ilustrada , Tubarões 1995, Editora Globo.
- Clay, C.H. 1995. Design of fishways and other fish facilities, 2nd Edition. Lewis Publishers, Boca Raton. Eicher, G.J., Bell, M.C., Campbell, C.J., Craven, R.E. & Wert, M.A. 1987. Turbine-related fish mortality:review and evaluation of studies. Final report prepared for Electric Power Research Institute (EPRI).
- Cook, T. C., G. E. Hecker, H. B. Faulkner, and W. Jansen. 1997. Development of a more fish tolerant turbine runner—advanced hydropower turbine project. DOE/ID-10571. Prepared for the U.S. Department of Energy, Idaho Operations Office, Idaho Falls, Idaho.
- Dalberto D. M., Ações Estratégicas Adotadas para a Gestão Ambiental e da Segurança no Trabalho em Usina Hidrelétrica no Brasil, Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 2005.

- Damian John Harper, <http://viewmorepics.myspace.com> 05/10/2007.
- DARTIGUELONGUE, J. 1988. Contribution à l'étude de la mortalité des poissons au passage des turbines d'installation hydroélectrique: méthodologie et analyse des données. Thèse de doctorat présentée à l'institut national polytechnique de Toulouse, France, 200 p. + 6 annexes.
- DARTIGUELONGUE, J. and M. LARINIER. 1987. « Évaluation des dommages subis par les juvéniles lors de leur passage à travers les turbines des microcentrales de St-Pée-sur-Nivelle et Lailhacar (Pyrénées Atlantiques) ». Restauration des rivières à saumon. INRA, Paris. p. 175-182.
- [Decreto 3.179, regulamenta Lei de Crimes Ambientais, www.planalto.gov.br.](http://www.planalto.gov.br)
- Duchemin, E.; Lucotte, M.; Canuel, R. (1995) – “Production of the Greenhouse Gases CH₄ and CO₂ by Hydroelectric Reservoirs of the Boreal Region”, *Global Biogeochemical Cycles*, n.9 (4) , 529-540, Dec 1995.
- Eicher Associates, Inc., “Turbine Related Fish Mortality: Review and Evaluation of Studies,” Final Report, EPRI AP-5480, Research Project 2694-4, November 1987.
- EICHER, G.J. 1993. « Turbine related fish mortality ». Proceedings of the Workshop on Fish Passage at Hydroelectric Developments, March 26-28, 1991 St.John's, Newfoundland. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences. n°1905. p. 21-31.
- EICHER, G.J., BELL, M.C., CAMPBELL, C.J., CRAVEN, R.E. and M. A. WERT. 1987. Turbine-related fish mortality: review and evaluation of studies. Final report prepared for Electric Power Research Institute (EPRI).
- Electrical Resistivity of Concrete — A Literature Review by David A. Whiting and Mohamad A. Nagi. Portland Cement Association 2003
- Fearnside, P. M. 1995. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'greenhouse' gases. *Environmental Conservation* 22: 7-19.
- FISCHER, M. 2007. Curimba, curimatá, corumatá, grumatã, etc. *Prochilodus lineatus*. Coluna do Pescador – CEPEN. www.cepen.com.br/pesc_curimba.html. GAA. 2002. European Seafood Exhibition. www.mercadodapesca.com.br.

- Franke, G. F., D. R. Webb, R. K Fisher, D. Mathur, P. N. Hopping, P. A. March, M. R. Headrick, I. T. Laczo, Y. Ventikos, and F. Sotiropoulos. 1997. Development of environmentally advanced hydropower turbine system concepts. Report No. 2677-0141. Voith Hydro Inc., prepared for the U.S. Department of Energy, Idaho Operations Office, Idaho Falls, Idaho.
- Franke, G.F., Webb, D.R., Fisher, R.K. Jr., Mathur, D., Hopping, P.N., March, P.A., Headrick, M.R., Laczo, I.T., Ventikos, Y. And F. Sotiropoulos. 1997. Development of Environmentally Advanced Hydropower Turbine System Design Concepts. Idaho National Engineering and Environmental Laboratory. 161 p. + annexe.
- Gabriel, C., Gabriel, S., Corthout, E., 1996a. The dielectric properties of biological tissues: I. Literature survey. *Physics in Medicine and Biology* 41, 2231- 2249.
- Gabriel, S., Lau, R.W., Gabriel, C., 1996b. The dielectric properties of biological tissues: II. Measurements in the frequency range 10 Hz to 20 GHz. *Physics in Medicine and Biology* 41 (1996), 2251- 2269.
- Galy Lacaux, C.; Delmas, R.; Jambert, C.; Dumestre, J.F.; Labroure, L.; Richard , S. And Gosse, P. (1997) – “Gaseous Emissions and Oxygen Consumption in Hydroelectric Dams : A Case Study in French Guyana”, *Global Biogeochemical Cycles*, n.11:(4) , 471-483, dec. 1997.
- Galy-Lacaux, C., R. Delmas, J. Kouadio, S. Richard & P. Gosse. 1999. Long-term greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions. *Global Biogeochemical Cycles* 13: 503-517.
- Galy-Lacaux, C.; Delmas, R.; Kouadio, G.; Richard, S. And Gosse, P. (1999) – “Long Term Greenhouse Gas Emissions from Hydroelectric Reservoirs in alternatives, *Environmental Conservation* 24: 64-75.
- GetDP: a General Environment for the Treatment of Discrete Problems, Patrick Dular and Christophe Geuzaine, Version 1.0.1, 6 February 2005, www.geuz.org/getdp .
- Gmsh: a three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities, Christophe Geuzaine and Jean-François Remacle, Version 1.60, 14 March 2005. www.geuz.org/gmsh .
- Godinho, A.L. & Pompeu, P.S. O papel de córregos no ciclo de vida de

peixes migradores do rio São Francisco, Brasil. In: Godinho, H.P. & Godinho, A.L. (Eds.) Águas, peixes e pessoas no São Francisco das Gerais. Belo Horizonte, Editora Segrac. no prelo.

- Godinho, H. P. & Godinho, A.L. Ecology and conservation of fish in southeastern Brazilian river basins submitted to hydroelectric impoundments. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 5:187-197, 1994.
- GODOY, M.P. 1987 Peixes do Estado de Santa Catarina. Florianópolis. Editora da UFSC, Co-Edição ELETROSUL/FURB, 572p.
- HAHN, L. ; AGOSTINHO, Angelo Antonio ; FERNANDEZ, Domingo Rodriguez . Canal da Piracema da UHE Itaipu: um laboratório de testes. *Jornal da Sociedade Brasileira de Ictiologia*, João Pessoa- PB, 10 maio 2004.
- HALSBAND, E., AND I. HALSBAND. 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.
- HARTLEY, W. G., 1990, The history of electric fishing. *In*: I. G. Cowx & P. Lamarque (eds.), *Fishing With Electricity, Applications in Freshwater Fisheries Management*. Fishing News Books.
- IPESP, Instituto de Pesca de São Paulo.2007.
- Lamarque, P. 1990. Electrophysiology of fish in electric fields. Pages 4-33 in I.G. Cowx and P. Lamarque (Eds.). *Fish with Electricity*. Fishing News Books, Cambridge, Massachusetts.
- Lamarque, P., 1990. Electrophysiology of fish in electric fields. *In*: Cowx, I.G., Lamarque, P. (Eds.), *Fishing with electricity: applications in freshwater fisheries management*. Fishing News Books, London.
- Larinier Michel, *Dams and Fish Migration*, papers to the World Commission on Dams, 2000.
- Larinier, M. & Travade, F. 2002. Downstream migration: problems and facilities. *Bull. Fr. Pêche*
- LARINIER, M. 1992a. « Facteurs biologiques à prendre en compte dans la conception des ouvrages de franchissement, notions d'obstacles à la migration », *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 326-327: 20-29.
- LARINIER, M. and J. DARTIGUELONGUE. 1989. « La circulation des

poissons migrateurs : le transit à travers les turbines des installations hydroélectriques », Bull. Pêche Piscic. n°312-313, 90 p.

- Lei da pesca de Minas Gerais, Lei 14.181 de 17/01/2002, www.tjmg.jus.br.
- Lei de Crime Ambientais, Lei 9.605, www.planalto.gov.br.
- LOLIS, A.A.; ANDRIA, I.F. Alimentação de *Pimelodus maculatus* Lacépède 1803 (Siluriformes, Pimelodidae), na planície de inundação do Alto Rio Paraná, Brasil. Boletim do Instituto de Pesca, v.23, n.único, p.187-202, 1996.
- Lopes R.E ; Martinez, C.B.; Paulino, J.O.S.; Silva, S.R.; Estudo de mecanismos elétricos para proteção e direcionamento de peixes em usinas hidrelétricas. Anais do IX Encuentro Latinoamericano y del Caribe Sobre Pequeños Aprovechamientos Hidroenergeticos. 2001, Neuquén, Argentina.
- LUZ, R.K.; REYNALTE, D.A.T.; ZANIBONI FILHO, E. Influência da turbidez nos primeiros dias de vida do mandi-amarelo *Pimelodus maculatus*. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ICTIOLOGIA, 14., 2001., São Leopoldo. Resumos. São Leopoldo: 2001. (CD-ROM).
- MATOUSEK, A., WELLS, A.W., HECHT, J.H. and S.G. METZGER. 1994. Reporting Survival Results of Fish Passing through Low-Head Turbines. Finding from investigations at four Michigan hydroelectric plants indicate low to moderate mortality rates among fish passing through turbines ", Hydro Review, Mai 1994.
- McDowell, R. M. 1988. Diadromy in fishes: migrations between freshwater and marine environments. Croom Helm, London.
- McMichael, G.A., 1993. Examination of electrofishing injury and short term mortality in hatchery rainbow trout North American Journal of Fisheries anagement 13, 229- 233.
- MENIN, E.; MIMURA, O.M. Anatomia da cavidade bucofaringeana de *Pimelodus* sp. (Siluriformes, Pimelodidae). Revista Ceres, v.38, p.218, p.286-304, 1991.
- MILLS, D.H. 1989. Ecology and Management of Atlantic Salmon. Chapman and Hall Ltd, Londres et New-York, 351 p.
- MONTÉN, E. 1985. Fish and turbines. Vattenfall, Stockholm, 111 p.

- MUNRO, W.R. 1965. Effects of passage through hydroelectric turbines on salmonids. ICES Salmon & Trout Comm. CM 1965. N° 57, 5 p.
- OECD, (1991), Estimation of Greenhouse Gas Emissions and Sinks, OECD Expert Meeting , Bacground Report, 1991.
- Petrere Jr., M. 1985. Migraciones de peces de agua dulce en America Latina: algunos comentarios. COPEscal Doc. Ocas., 1: 17p.
- Philip M. Fearnside, Rosa & Santos M. A. , *Hydropower Plants and Greenhouse Gas Emissions*. INPA, Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ.1995.
- PIMENTEL-SOUZA, F., 1971. [Régulation de l'autoactivité des électrorécepteurs du Mormyre Gnathonemus petersii](#). Comptes Rendues de l'Académie des Sciences de Paris, 272(19): 2465-2467.
- PIMENTEL-SOUZA, F., 1973. Ação controladora das descargas efetuadoras do peixe elétrico *Gnathonemus petersii* sobre o nível de emissão de seus próprios receptores elétricos, Um método de aplicação estatística e de computadores específicos na pesquisa fundamental em Neurofisiologia. Revista Brasileira de Tecnologia (CNPq), 4(3/4):171-176.
- Quick-field, Tera Analysis Europe, Web: www.quickfield.com.
- Rosa , Luis Pinguelli ; Matvienko, Bohdan; Santos, Marco Aurélio And Sikar, Elisabeth (1999) -- Inventário das Emissões de Gases de Efeito estufa Derivadas de Hidrelétricas , Relatório Eletrobrás/Fundação Coppetec, 1999.
- Rosa, L. P., M. A. dos Santos, J. G. Tundisi & B. M. Sikar. 1997. Measurements of Tropical Forest Regions". Global Biogeochemical Cycles, v. 13, p 503-517, 1999.
- Rosa, Luis Pinguelli; Sikar, Bohdan Matvienko; Sikar, Elisabeth Matvienko; Santos, Marco Aurélio (1997) – “A Model for CH₄ and CO₂ Emission Mean Life in Rreservoir Based on Data from an Amazonian Hydroplant”, in *Hydropower Plants and greenhouse Gas Emissions*, Luis Pinguelli Rosa and Marco Aurélio dos Santos, editors, COPPE,1997.
- RUGGLES, C.P. 1980a. Downstream Atlantic salmon passage study. Report submitted to Canada Department of Fisheries and Oceans by Montréal Engineering Company limited, 194 p. + annexes.

- RUGGLES, C.P. 1980b. A review of the downstream migration of the Atlantic salmon. Can. Tech. Rep. of Fish. And Aquat. Sci. no 952. 39 p.
- RUGGLES, C.P. 1985. Can fish injury be minimised through turbine design?. Hydro Review 4 (4): 70-76.
- RUGGLES, C.P. 1992. What's new in downstream fish passage? Paper presented in the Fourth International Atlantic Salmon Symposium. St-Andrews, New Brunswick, Canada, June 14-17, 22 p.
- RUGGLES, C.P. 1993. " Effect of stress on Turbine Fish Passage Mortality Estimates ", Proceedings of the Workshop on fish passage at hydroelectric developments : March 26-28, 1991, St.John's, Newfoundland. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences. n°1905. p. 39-57.
- Ruggles, C.P. And N.M. Collins. 1980. Mortalité des poissons en fonction des propriétés hydrauliques des turbines. Association Canadienne de l'électricité. Section recherche et développement, Montréal, Québec; projet G144. Monenco, Halifax, N.-É., 108 p. + annexes.
- RUGGLES, C.P. and N.M. COLLINS. 1980. Mortalité des poissons en fonction des propriétés hydrauliques des turbines. Association Canadienne de l'électricité. Section recherche et développement, Montréal, Québec; projet G144. Monenco, Halifax, N.-É., 108 p. + annexes.
- RUGGLES, C.P. and P. RYAN. 1964. " An investigation of louvers as a method of guiding juvenile Pacific salmon", Canadian Fish Culturist. 33: 1-68.
- RUGGLES, C.P., MURRAY, D.G. and T.M. HUMES. 1981. Fish mortality as a function of spillway characteristics. Rapport préparé pour Canadian Electrical Association par Montréal Engineering Company limited. s.p.
- Santos M. A., Inventário de emissões de gases de efeito estufa derivadas de Hidrelétricas, 2000 – UFRJ.
- SANTOS, E. 1954 Peixes de água doce. Editores: F. BRIGUIET & CIA. Rio de Janeiro, 270p.
- Schreer J. F., S. J. Cooke, K. B. Connors, Electrofishing-Induced Cardiac Disturbance And Injury In Rainbow Trout, Journal Of Fish Biology (2004) 64, 996–1014, Received 4 February 2003,

- SENASP, Secretaria de Agricultura e Abastecimento de SP, Arquivo técnico, 2003.
- Smith Root, US Patent 4750451, jun. 14, 1988
- Sotiropoulos, F., Lackey, T. C., and Jones, S. C., "Experimental and Computational Studies of Chaotic Stirring in Complex 3D Flows," 2002.
- SOUZA, M.R.F. Observações sobre o espectro alimentar de *Pimelodus maculatus* Lacépède, 1803 (Osteichthyes, Siluriformes, Pimelodidae) da represa de Três Marias, MG. In: ENCONTRO ANUAL DE AQUICULTURA DE MG, 1., 1982, Belo Horizonte. Resumos.. Belo Horizonte: Associação Mineira de Aqüicultura, 1982. p.12.
- SOUZA, M.R.F.; TORRES, G.E. Alimentação natural, especificidade alimentar e capacidade malacófaga do *Pimelodus maculatus* Lacépède, 1803 (Osteichthyes, Siluriformes, Pimelodidae) da represa de Três Marias, MG. In: ENCONTRO ANUAL DE AQUICULTURA DE MG, 3., 1984, Igarapé, MG. Resumos.. Igarapé: Associação Mineira de Aqüicultura, 1984. p.16-17.
- Spencer, S.L., 1967. Internal injuries of large moth bass and bluegills caused by electricity. *Progressive Fish Culturist* 29, 168- 169.
- T.H. Bullock, N. Fernandes-Souza, W. Grafc, W. Helligenberg, G. Langner, D.L. Meyer, F. Pimentel-Souza, H. Scheich e T.A. Viancour (1994), Aspects of the use of electric organ discharge and electroreception in amazonian gymnotoidei and other fishes.
- TAYLOR, R.E. and B. KYNARD. 1985. « Mortality of Juvenile American Shad and Blueback Herring Passed through a Low-Head Kaplan Hydroelectric Turbine », *Transactions of the American Fisheries Society* 114 :430-435.
- Therrien, J, & Bourgeois, G. 2000. Fish Passage at Small Hydro Sites. Report by Genivar Consulting Group for CANMET Energy Technology Centre, Ottawa.
- Therrien, J, & Bourgeois, G. 2000. Fish Passage at Small Hydro Sites. Report by Genivar Consulting Group for CANMET Energy Technology Centre, Ottawa.

- THERRIEN, J. 1999a. Suivi environnemental de la centrale hydroélectrique du barrage La Pulpe sur la rivière Rimouski en 1998. Rapport réalisé par Groupe conseil Génivar inc. pour Rimouski Hydroélectrique inc. 31 p. + annexes.
- THERRIEN, J. 1999b. Évaluation du taux de survie d'anguilles adultes passant par la centrale hydroélectrique de Saint-Lambert en 1998. Rapport réalisé par Groupe-conseil Génivar inc. pour Hydraska (St-Lambert) inc.
- THERRIEN, J. 1999c. Suivi de l'entraînement des anguilles adultes en dévalaison à la centrale hydroélectrique de Saint-Hyacinthe en 1998. Compteur réalisé par Groupe conseil Génivar inc. pour Hydraska (St-Hyacinthe) inc.
- TURBAK, S.C., REICHLER, D.R. and C.R. SHRINER. 1981. Analysis of environmental issues related to small-scale hydroelectric development. IV: Fish mortality resulting from turbine passage. Report n° ORN/TM-7521. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 103 p.
- Turnpenny, A W H and Everard, J K (1999). Can cavitation injure fish? In: Innovations in Fish Passage Technology (Ed.: Odeh, M.). American Fisheries Society ISBN 1-888569-17-4, 197-205.
- Turnpenny, A W H, 1998. Mechanisms of fish damage in low-head turbines: an experimental appraisal. In: Fish Migration and Fish Bypasses (Ed. Jungwirth, M, Schmutz, S and Weiss, S). Fishing News Books, Oxford, Blackwell: 300-314.
- Turnpenny, A W H, Clough, S., Hanson, K P, Ramsay, R and McEwan, D (2000). Risk assessment for fish passage through small, low-head turbines. Fawley Aquatic Research Laboratories Ltd, Report to the Energy Technology Support Unit (ETSU), Harwell, Didcot, Oxfordshire OX11-ORA, Contractor's Report No. ETSU H/06/00054/REP.
- Turnpenny, A W H, Struthers, G and Hanson, P, 1998. A UK guide to intake fish-screening regulations, policy and best practice with particular reference to hydroelectric power schemes. Fawley Aquatic Research Laboratories Ltd, Report to the Energy Technology Support Unit (ETSU), Harwell, Didcot, Oxfordshire OX11-ORA, Contractor's Report No ETSU H/06/00052/REP. 117 pp.

- Turnpenny, A W H, Thatcher, K P, Wood, R and Loeffelman, P H, 1993. Experiments on the use of sound as a fish deterrent. Fawley Aquatic Research Laboratories Ltd, Report to the Energy Technology Support Unit (ETSU), Harwell, Didcot, Oxfordshire OX11-ORA, Contractors Report No. ETSU T/04/00171/REP.
- Turnpenny, A W H, Wood, R and Thatcher, K P, 1994. Fish deterrent trials at Hinkley Point Power Station, Somerset. Fawley Aquatic Research Laboratories Ltd, Report to the Energy Technology Support Unit (ETSU), Harwell, Didcot, Oxfordshire OX11-ORA, Contractor's Report No ETSU T/04/00198/REP.
- USACE (U.S. Army Corps of Engineers).1995. Proceedings: 1995 turbine passage survival workshop. U.S. Army Corps of Engineers, Portland District, Portland, Oregon.
- Vaz, M.M., Torquato, V.C., Barbosa, N.DC. (2000).- " Guia ilustrado de peixes da bacia do Rio Grande". Belo Horizonte, CEMIG/CETEC
- Vibert, R. (1963). Neurophysiology of electric fishing. Transactions of the American Fisheries Society 92, 265–275.
- Vibert, R. (1967). General report of the working party on the applications of electricity to inland fishery biology and management. In Fishing with Electricity: Its Application to Biology and Management (Vibert, R., ed.), pp. 3–51. Farnham: Fishing News Books.
- Wang Y. Design and Operation of the Chinese Electric Fence, Proceedings of the International Symposium on Fishways 95 In Gifu Japan, October 24-26, 1995.
- WINCHELL, F., DOWNING, H., TAFT, N., CHURCHILL, A and P. MARTIN. 1992. Fish Entrainment and Turbine Mortality Review and Guidelines. Report prepared for Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, 265 p.
- WINCHELL, F., TAFT, N., COOK, T. and C. SULLIVAN. 1993." EPRI's Evaluation of the Elwha Dam Eicher Screen and Subsequent Design Changes and Hydraulic Tests ", Proceeding of a Symposium on Fish Passage Policy and Technology. Portland, Oregon, U.S.A. Bioeng. Sec. Am. Fish. Soc. p. 189-196.

