



**Universidade Federal de Uberlândia  
Instituto de Biologia  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e  
Conservação de Recursos Naturais**

**PEIXES A JUSANTE DA USINA HIDRELÉTRICA AMADOR  
AGUIAR II, RIO ARAGUARI, MG: DIVERSIDADE,  
BIOLOGIA E MITIGAÇÃO DE MORTES.**

**ANA CAROLINA LACERDA RÊGO**

**2017**

**ANA CAROLINA LACERDA RÊGO**

**PEIXES A JUSANTE DA USINA HIDRELÉTRICA AMADOR  
AGUIAR II, RIO ARAGUARI, MG: DIVERSIDADE,  
BIOLOGIA E MITIGAÇÃO DE MORTES.**

Tese apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências para obtenção  
do título de Doutor em Ecologia e Conservação de  
Recursos Naturais.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Kátia Gomes Facure Giaretta  
Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre Lima Godinho

UBERLÂNDIA  
Junho - 2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

R343p Rêgo, Ana Carolina Lacerda, 1983  
2017 Peixes a jusante da usina hidrelétrica Amador Aguiar II, rio Araguari, MG: diversidade, biologia e mitigação de mortes / Ana Carolina Lacerda Rêgo. - 2017.  
92 f. : il.

Orientadora: Kátia Gomes Facure Giarretta.  
Coorientador: Alexandre Lima Godinho.  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais.  
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2018.467>  
Inclui bibliografia.

1. Ecologia - Teses. 2. Usina Hidrelétrica - Teses. 3. Peixes - Teses. 4. Drenagem - Teses. I. Giarretta, Kátia Gomes Facure. II. Godinho, Alexandre Lima. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. IV. Título.

CDU: 574

---

Angela Aparecida Vicentini Tzi Tziboy – CRB-6/947

**ANA CAROLINA LACERDA RÊGO**

**PEIXES A JUSANTE DA USINA HIDRELÉTRICA AMADOR  
AGUIAR II, RIO ARAGUARI, MG: DIVERSIDADE,  
BIOLOGIA E MITIGAÇÃO DE MORTES.**

Tese apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências para  
obtenção do título de Doutor em Ecologia e  
Conservação de Recursos Naturais.

APROVADA em 29 de junho de 2017.

  
Prof. Dr. Paulo dos Santos Pompeu

UFLA

  
Prof. Dr. Gilmar Bastos Santos

PUC Minas

  
Prof. Dr. Giuliano Buzá Jacobucci

UFU

  
Prof.<sup>a</sup>.Dr.<sup>a</sup>. Ariádine Cristine de Almeida

UFU

  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Kátia Gomes Facure Giaretta  
UFU  
(Orientadora)

UBERLÂNDIA  
Junho – 2017

Dedico este trabalho à minha avó e ao meu sogro, Maria Aparecida Lacerda e Márcio Melazo (in memoriam), aos meus pais, Sandra e Mardem, e à minha amada família, Guilherme e Manuela.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que me deu forças para concluir este trabalho e tem me sustentado até aqui.

À Universidade Federal de Uberlândia e ao Programa de Pós Graduação em Ecologia, pela oportunidade de realização do doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo concedida.

À Cemig Geração e Transmissão, pelo financiamento deste trabalho através do projeto “Avaliação de risco e morte de peixes em usinas hidrelétricas da Cemig”.

À Kátia Facure, pela orientação, pelas valiosas contribuições nas análises e pela amizade sempre demonstrada.

Ao Alexandre Godinho (Sam), pela co-orientação, pelos ensinamentos que muito tem contribuído para meu crescimento acadêmico e intelectual, pela revisão e contribuições dadas ao manuscrito.

Ao Programa Peixe Vivo (Cemig), na pessoa da Raquel e do João, pela oportunidade de trabalho, incentivo e pela amizade com a qual me receberam.

Ao Consórcio Capim Branco Energia (CCBE), pela possibilidade de trabalhar na UHE Amador Aguiar II, pelo apoio logístico nas manobras e disponibilização do sonar Didson.

Aos professores Paulo Pompeu, Gilmar Santos, Giuliano Jacobucci, Ariádine Almeida, Heraldo Vasconcelos e Celine de Melo, por aceitarem partilhar seus conhecimentos participando da banca examinadora e pelas sugestões para melhoria deste.

Ao professor Francisco Langeani, pela identificação de algumas espécies.

A todos que participaram das coletas de campo e/ou dos trabalhos em laboratório: biólogos Alejandro Giraldo, Ângelo Monteiro, Átila Araújo, Dalbert Costa, Fernanda Oliveira, Flávia Lemos, João Lopes, Ivo Prado, Leonardo Resende, Mateus Carvalho, Míriam

Castro, Paulo Neto, Rafael Tolomelli, Raoni Rodrigues, Raquel Fontes, Ricardo Becker, Thiago Teixeira e Yuri Caldeira; estagiários da Cemig e da UFMG (CTPeixes); funcionários da UHE Amador Aguiar II; pescadores profissionais/barqueiros Genilson e Valdir Paloschi e técnico de meio ambiente da Cemig Lázaro Freitas.

Ao Ricardo José e à Superintendência de Planejamento e Operação de Geração e Transmissão da Cemig, pelo auxílio na programação e liberação dos testes executados com abertura do vertedouro.

Ao Alexandre Peressin e Ivo Prado, pelas contribuições diversas à tese e pela amizade.

Ao Thiago Teixeira, amigo nos trabalhos e na vida, pelo convívio, incentivo e todo auxílio prestado.

A todos os amigos, que mesmo de longe torcem por mim.

À minha família, Guilherme e Manuela, por ser meu porto seguro, pela compreensão e paciência, pelo amor que fortalece, ampara nos momentos difíceis e me faz seguir em frente, buscando ser uma pessoa melhor.

Aos meus pais, Sandra e Mardem, pelo amor incondicional, por acreditarem no meu potencial e pelo incentivo que sempre me deram aos estudos.

À minha mãe, Sandra, e minha sogra, Maria Emília, por cuidarem com tanto carinho da Manuela e de mim também, fazendo com que a escrita da tese fosse possível.

Ao meu irmão, Anderson, pela amizade, companheirismo e pela disposição em me ajudar no que preciso.

Aos demais familiares presentes em minha vida (cunhados, cunhadas, sobrinho, primos, tias e tios), pelo apoio e carinho.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para que este trabalho fosse realizado.

## ÍNDICE GERAL

	<b>Página</b>
RESUMO GERAL.....	xiv
GENERAL ABSTRACT.....	xv
1 Introdução geral.....	1
2 Área de estudo.....	3
3 Referências Bibliográficas.....	6
CAPÍTULO 1: DIVERSIDADE DE PEIXES A JUSANTE DA USINA HIDRELÉTRICA AMADOR AGUIAR II.....	7
1 Resumo.....	7
2 Abstract.....	7
3 Introdução.....	8
4 Material e Métodos.....	10
4.1 Captura de peixes.....	10
4.2 Dados abióticos.....	12
4.3 Análise dos dados.....	12
5 Resultados.....	14
6 Discussão.....	25
7 Conclusões.....	29
8 Referências Bibliográficas.....	30
CAPÍTULO 2: BIOLOGIA DO MANDI ( <i>Pimelodus maculatus</i> ) A JUSANTE DA USINA HIDRELÉTRICA AMADOR AGUIAR II.....	34
1 Resumo.....	34
2 Abstract.....	34
3 Introdução.....	35
4 Material e Métodos.....	37
4.1 Captura de peixes.....	37
4.2 Dados abióticos.....	39

4.3 Reprodução.....	39
4.4 Fator de condição.....	40
4.5 Tamanho.....	40
4.6 Dieta.....	40
4.7 Abundância e variáveis abióticas.....	42
5 Resultados.....	43
5.1 Captura por petrechos de pesca.....	43
5.2 Reprodução.....	45
5.3 Fator de condição.....	48
5.4 Tamanho.....	50
5.5 Dieta.....	52
5.6 Abundância e variáveis abióticas.....	53
6 Discussão.....	54
6.1 Captura por petrechos de pesca.....	54
6.2 Reprodução.....	55
6.3 Fator de condição.....	56
6.4 Tamanho.....	57
6.5 Dieta.....	57
6.6 Abundância e variáveis abióticas.....	59
7 Conclusões.....	61
8 Referências Bibliográficas.....	61

CAPÍTULO 3: MODELO DE PREDIÇÃO DA ABUNDÂNCIA DE MANDIS (*Pimelodus maculatus*) APRISIONADOS NO TUBO DE SUÇÃO DE UNIDADES GERADORAS DA USINA HIDRELÉTRICA AMADOR AGUIAR II.....67

1 Resumo.....	67
2 Abstract.....	68
3 Introdução.....	68
4 Material e Métodos.....	70
4.1 Amostragem de mandis no canal de fuga previamente às drenagens.....	71
4.2 Quantificação dos mandis aprisionados no tubo de sucção nas drenagens avaliadas.....	71
4.3 Tamanho dos mandis do canal de fuga e tubo de sucção.....	72
5 Resultados.....	72

6 Discussão.....	75
7 Conclusões.....	78
8 Referências Bibliográficas.....	79

CAPÍTULO 4: VERTIMENTO REDUZ A QUANTIDADE DE PEIXES APRISIONADOS EM DRENAGENS DE UNIDADES GERADORAS DA USINA HIDRELÉTRICA AMADOR AGUIAR II?.....	
1 Resumo.....	80
2 Abstract.....	81
3 Introdução.....	82
4 Material e Métodos.....	83
5 Resultados.....	86
6 Discussão.....	89
7 Conclusões.....	91
8 Referências Bibliográficas.....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Página

FIGURA 1 Aproveitamentos hidrelétricos no rio Araguari (A) e vista aérea da UHE Amador Aguiar II (B).....5

### CAPÍTULO 1:

FIGURA 1 UHE Amador Aguiar II com indicação dos pontos de coleta com redes de emalhar (R), anzol (A), tarrafa (T) e dados limnológicos (L).....11

FIGURA 2 Porcentagem (%) de número de indivíduos capturados por táxon a jusante da UHE Amador Aguiar II.....16

FIGURA 3 Ilustração dos táxons mais abundantes amostrados no estudo: *Pimelodus maculatus* (A), *Hypostomus* spp. (um dos morfotipos; B) e *Pinirampus pirinampu* (C).....16

FIGURA 4 Biomassa (%) por táxon capturado a jusante da UHE Amador Aguiar II.....17

FIGURA 5 Número de espécies capturadas por classe de comprimento padrão (CP) máximo a jusante da UHE Amador Aguiar II.....18

FIGURA 6 Mediana, intervalo interquartil e amplitude do comprimento padrão dos táxons mais abundantes capturados a jusante da UHE Amador Aguiar II.....18

FIGURA 7 Curva de rarefeção com intervalo de confiança a 95% da riqueza de peixes a jusante da UHE Amador Aguiar II.....19

FIGURA 8 Variação temporal do número de indivíduos capturados por petrecho de pesca a jusante da UHE Amador Aguiar II. A área sombreada corresponde à estação chuvosa (outubro a março).....20

FIGURA 9 Riqueza ( $S$ ), índice de diversidade de Shannon ( $H'$ ), equitabilidade ( $E$ ) e dominância ( $D$ ) por petrecho de pesca dos peixes amostrados a jusante da UHE Amador Aguiar II.....21

FIGURA 10 Diagrama de Venn evidenciando táxons coletados com anzol, rede de emalhar e tarrafa a jusante da UHE Amador Aguiar II. Nas sobreposições estão as espécies comuns aos petrechos de pesca.....22

FIGURA 11 Variação temporal dos fatores abióticos da água defluente da UHE Amador Aguiar II e precipitação do mês da campanha. A área sombreada corresponde à estação

chuvosa (outubro a março).....	23
FIGURA 12 Gráfico de ordenação da análise de correspondência canônica entre os dados de abundância de táxons de peixes coletados a jusante da UHE Amador Aguiar II e variáveis abióticas.....	24

## CAPÍTULO 2:

FIGURA 1 Variação temporal do número de mandis capturados por petrecho de pesca a jusante da UHE Amador Aguiar II. A área sombreada corresponde à estação chuvosa (outubro a março).....	44
FIGURA 2 Correlação do número de mandis capturados entre três petrechos de pesca (anzol, rede de emalhar e tarrafa) a jusante da UHE Amador Aguiar II.....	45
FIGURA 3 Frequência (%) dos estádios de maturação gonadal e índice gonadossomático ( <i>IGS</i> ) médio de fêmeas e machos de mandi a jusante da UHE Amador Aguiar II por bimestre/estação.....	46
FIGURA 4 Índice gonadossomático ( <i>IGS</i> ) médio de fêmeas e machos de mandi a jusante da UHE Amador Aguiar II e precipitação do mês da campanha.....	47
FIGURA 5 Mediana, intervalo interquartil e amplitude do fator de condição ( <i>K</i> ) de fêmeas e machos de mandi nos diferentes estádios de gordura celomática ( <i>EGC</i> ) nas estações chuvosa e seca.....	49
FIGURA 6 Mediana, intervalo interquartil e amplitude do comprimento padrão (mm) de mandis fêmeas e machos capturados a jusante da UHE Amador Aguiar II por petrecho de pesca.....	50
FIGURA 7 Porcentagem de mandis capturados a jusante da UHE Amador Aguiar II por classe de comprimento padrão de fêmeas e machos nas estações seca e chuvosa.....	51
FIGURA 8 Porcentagem de estômagos de mandis por estágio de repleção estomacal. 0 - vazio, 1 – até 50% cheio, 2 – mais de 50% cheio e 3 – totalmente cheio.....	52
FIGURA 9 Abundância específica e frequência de ocorrência de categorias alimentares na dieta do mandi a jusante da UHE Amador Aguiar II. Categorias alimentares: ◆ = alga; ■ = detrito; ▲ = inseto imaturo; ● = inseto adulto; + = molusco; x = peixe; ✱ = vegetal e — = zooplâncton.....	53

### **CAPÍTULO 3:**

FIGURA 1 Porcentagem de mandis por classe de comprimento padrão do canal de fuga e tubo de sucção.....	74
FIGURA 2 Regressão linear entre o número de mandis aprisionados no tubo de sucção em drenagens de unidades geradoras da UHE Amador Aguiar II e a captura por unidade de esforço ( <i>CPUE</i> ) de mandis no canal de fuga.....	75

### **CAPÍTULO 4:**

FIGURA 1 UHE Amador Aguiar II com indicação da posição das redes de emalhar na área adjacente ao canal de fuga (em amarelo) e na fossa de erosão do vertedouro (em vermelho).	84
FIGURA 2 Média, erro padrão e amplitude do número de mandis capturados na área adjacente ao canal de fuga da UHE Amador Aguiar II antes e depois do vertimento.....	88
FIGURA 3 Média, erro padrão e amplitude do número de mandis capturados na fossa de erosão do vertedouro da UHE Amador Aguiar II antes e depois do vertimento.....	89

## ÍNDICE DE TABELAS

Página

### CAPÍTULO 1:

TABELA 1 Número absoluto ( <i>N</i> ) e relativo (%) de indivíduos amostrados e constância de ocorrência ( <i>K</i> ) por táxon a jusante da UHE Amador Aguiar II. Ordem dos táxons segundo Reis <i>et al.</i> (2003). Classificação das espécies como migradoras de acordo com Agostinho <i>et al.</i> (2003) e como alóctone e exótica segundo Langeani <i>et al.</i> (2007) (C = constante, A = acessória, O = ocasional, M = migradora, A = alóctone, E = exótica).....	14
TABELA 2 Importância das variáveis abióticas nos eixos da análise de correspondência canônica e sua significância sobre a abundância de espécies de peixes coletadas a jusante da UHE Amador Aguiar II.....	24

### CAPÍTULO 2:

TABELA 1 Itens alimentares componentes de cada categoria alimentar.....	41
TABELA 2 Análise de variância do GLM do fator de condição em função do estágio de maturação gonadal ( <i>EMG</i> ), estação, estágio de gordura celomática ( <i>EGC</i> ) e interações. Modelo nulo com <i>deviance</i> de 156,42 e 1.319 graus de liberdade (GL).....	48
TABELA 3 Análise de variância do GLM do comprimento padrão em função do sexo e petrecho de pesca. Modelo nulo com <i>deviance</i> de 1370352 e 1.328 graus de liberdade (GL).....	50
TABELA 4 Correlação de Spearman ( $r_s$ ) da abundância do mandi com os fatores abióticos. Em negrito, $r_s$ com $P \leq 0,05$ . N = número de amostras.....	54

### CAPÍTULO 3:

TABELA 1 Lista dos táxons coletados com redes de emalhar nas proximidades do canal de fuga da UHE Amador Aguiar II nas amostragens prévias às drenagens (Canal de fuga) e resgatadas no tubo de sucção durante as drenagens de unidades geradoras (Tubo de sucção). Ordem dos táxons segundo Reis <i>et al.</i> (2003). Táxons resgatados no tubo de sucção baseado apenas nas amostras com peixes contabilizados.....	73
--	----

### CAPÍTULO 4:

TABELA 1 Lista dos táxons coletados com redes de emalhar na área adjacente ao canal de fuga (CF) e na fossa de erosão do vertedouro (VT) da UHE Amador Aguiar II antes (A), durante (DU) e depois (DE) do vertimento. Ordem dos táxons segundo Reis <i>et al.</i> (2003)....	87
--	----

## RESUMO GERAL

As usinas hidrelétricas, da construção até a operação, impactam a vida dos peixes de diferentes formas. Os peixes presentes no canal de fuga correm risco de morte, visto que diversas manobras executadas nas usinas hidrelétricas podem afetá-los. Nas drenagens de unidades geradoras, peixes podem ficar aprisionados no tubo de sucção e sofrer estresse, hipóxia e injúria física. Quanto maior a quantidade de peixes aprisionados, mais complexo é o resgate e maior é o risco de morte dos peixes. A morte de peixes, além do impacto ecológico, pode prejudicar a imagem das empresas do setor hidroenergético e acarretar multas e paralisação temporária da geração. Na usina hidrelétrica (UHE) Amador Aguiar II (rio Araguari, MG), o mandi (*Pimelodus maculatus*) representa 90% ou mais do número de peixes resgatados em drenagens de unidades geradoras. Este trabalho foi conduzido na UHE Amador Aguiar II e teve como objetivos: (i) avaliar a estrutura da comunidade de peixes a jusante da usina e sua relação com os fatores abióticos do habitat; (ii) investigar a biologia e ecologia do mandi a jusante da usina; (iii) elaborar um modelo de predição da quantidade de mandis aprisionados no tubo de sucção em função da sua abundância no canal de fuga e (iv) verificar se o vertimento reduz a quantidade de peixes aprisionados no tubo de sucção em drenagens de unidades geradoras. A comunidade de peixes a jusante da usina foi dominada por poucas espécies, principalmente de pequeno e médio porte, e o mandi foi a espécie mais comum. As variáveis abióticas explicaram 53,13% da variância na abundância das espécies de peixes mais capturadas, mas apenas a temperatura da água e a precipitação do mês da campanha foram significativas. A presença de poucos mandis com índice gonadosomático elevado indicou que provavelmente a espécie não desova no local de estudo. O mandi foi onívoro e sua abundância apresentou marcada sazonalidade, sendo mais capturado durante a estação chuvosa, quando a temperatura da água e a precipitação foram mais elevadas. Por esse motivo, não é aconselhável que a manutenção de unidades geradoras seja realizada na estação chuvosa, pois há maior risco de morte de peixes nesse período. O número de mandis aprisionados no tubo de sucção apresentou correlação linear positiva com a abundância do mandi no canal de fuga na véspera da drenagem. O modelo de predição foi significativo e a equação obtida foi  $Y = 5,666 + 0,552 X$  ( $P = 0,01$ ), onde  $Y = \ln$  do número de mandis aprisionados no tubo de sucção e  $X = \ln$  (captura por unidade de esforço do mandi no canal de fuga + 1). Essa equação poderá predizer, em futuras drenagens, o risco associado à manobra e, por isso, representa um avanço na mitigação de impactos nessa usina. Os estudos conduzidos para avaliar o vertimento prévio a drenagens sugeriram que ele pode não atrair os mandis do canal de fuga para a região do vertedouro, mas pode reduzir o número de mandis aprisionados em drenagens de unidades geradoras.

Palavras-chave: canal de fuga, drenagem de unidade geradora, modelo de predição, *Pimelodus maculatus*, tubo de sucção, vertimento.

## GENERAL ABSTRACT

From construction to operation, hydropower plants impact fish in a variety of ways. Fish near tailrace are at risk of death since several operational procedures of hydropower plants can affect them. During generator units dewaterings, fish can be trapped in the draft tube and suffer stress, hypoxia and physical injuries. The larger the amount of fish trapped, the more complex is the recovery and the greater is the risk of death. Such fish deaths may hurt the company's image and lead to fines and stoppage of power generation. In the Amador Aguiar II Dam (Araguari River, Minas Gerais state), mandi (*Pimelodus maculatus*) represents 90% or more of the number of fish recovered in generator units dewaterings. The present work was conducted in the Amador Aguiar II Dam and aimed (i) to evaluate the fish community structure downstream of the dam and its relationship with abiotic factors of the habitat; (ii) to investigate the biology and ecology of the mandi downstream of the dam; (iii) to elaborate a prediction model of the amount of mandi trapped in the draft tube as a function of its abundance in the tailrace and (iv) to verify whether spillway discharge reduces the amount of fish trapped in the draft tube during generator units dewaterings. The fish community downstream of the dam was dominated by few species, mainly small and medium body size, and mandi was the most common species. The abiotic variables explained 53.13% of the abundance variance of the most captured fish species, but only the water temperature and the sampling month precipitation were significant. The presence of few mandi with higher gonadosomatic index indicated that this species probably does not spawn in the studied site. Mandi was omnivorous and its abundance presented marked seasonality, with more captures made during the rainy season when the water temperature and rainfall were higher. For this reason, the maintenance of generator units during the rainy season is not advisable since there is risk of death for more fishes in this period. The number of mandi trapped in the draft tube presented positive linear correlation with its abundance in the eve of dewatering. The prediction model was significant and the equation obtained was  $Y = 5.666 + 0.552 X$  ( $P = 0.01$ ), where  $Y = \ln$  of the number of mandi trapped and  $X = \ln$  (catch per unit effort of mandi in the tailrace + 1). This equation can predict the risk associated with future dewaterings and therefore represents a significant advance for the mitigation of impacts caused by hydropower plant. Studies conducted to evaluate the spillway discharge previous to dewaterings suggested that it may not attract mandi from the tailrace to the spillway region, but it may reduce the number of mandi trapped in generator units dewaterings.

Keywords: tailrace, generator unit dewatering, prediction model, *Pimelodus maculatus*, draft tube, spillway discharge.

## 1 Introdução geral

Os reservatórios são grandes obras de engenharia que têm sido construídas há pelo menos cinco mil anos. No Brasil, a exemplo do que ocorreu no mundo, os represamentos tinham, inicialmente, finalidades restritas, sendo em sua maioria destinados a irrigação e ao abastecimento público. O desenvolvimento econômico no início do século XX, entretanto, promoveu uma crescente demanda por energia elétrica, que aliada à elevada disponibilidade hídrica, alavancou a construção de hidrelétricas no país. Muitos rios do território brasileiro foram, então, completamente aproveitados para a construção de barragens em cascata, tendo como principal objetivo a produção em larga escala de energia elétrica. O máximo desenvolvimento destes grandes empreendimentos foi atingido nas décadas de 1960 e 1970 (Agostinho *et al.*, 2007). Atualmente, a maior parte da energia brasileira é de origem hidráulica (64,8%), produzida em 1.216 usinas hidrelétricas (Godinho, Loures, 2016).

As usinas hidrelétricas, apesar de importantes para o desenvolvimento industrial e econômico, são responsáveis por mudanças severas e irreversíveis nos cursos d'água com implicações decisivas sobre os organismos aquáticos, especialmente os peixes (Agostinho *et al.*, 2008). Da construção até a operação, elas impactam a vida dos peixes de diferentes formas. Ao transformar um ambiente lótico (água corrente) em lântico (água parada), sítios vitais aos peixes, como os de desova e berçários, podem ser eliminados. Algumas espécies de peixes preferem ambientes lóticos, evitando habitar as águas lânticas do reservatório (Godinho, Loures, 2016). Outras alterações indesejadas podem ocorrer nos reservatórios formados como liberação de gases tóxicos, estratificação térmica e condições anóxicas nas camadas mais profundas do reservatório, eutrofização e deterioração da qualidade da água, produção excessiva de algas, além de mudanças em propriedades químicas e físicas da água que afetam diretamente os peixes (Agostinho *et al.*, 1992, 2007).

Os peixes que vivem a jusante dos barramentos também são afetados pelas usinas hidrelétricas. Um dos principais impactos está relacionado à regulação no regime de cheias. As cheias podem ser menos intensas e duradouras do que no período anterior ao barramento e afetar a migração, desova e desenvolvimento inicial dos peixes. A qualidade da água liberada pelos reservatórios também é distinta daquela do rio natural. Ela pode ser mais fria e ter menos oxigênio, afetando os peixes de jusante. A barreira física imposta pelo barramento aos movimentos migratórios dos peixes é, por sua vez, o impacto mais evidente resultante da construção de usinas hidrelétricas. Geralmente, em decorrência disso, ocorre o acúmulo de peixes nas imediações das usinas, particularmente no canal de fuga, local de restituição da vazão turbinada ao rio (Agostinho *et al.*, 2007; Godinho, Loures, 2016).

Os peixes presentes no canal de fuga correm risco de morte, visto que diversas manobras executadas nas usinas hidrelétricas podem afetá-los (Andrade *et al.*, 2012; Rêgo *et al.*, 2016). Uma dessas manobras é a drenagem de unidade geradora. Ocasionalmente, a unidade geradora necessita de manutenção ou revisão periódica. Quando isso ocorre, ela é isolada com a colocação de painéis para retirada da água de seu circuito hidráulico. No entanto, antes que o isolamento esteja concluído, peixes acumulados no canal de fuga podem entrar e ficar aprisionados no tubo de sucção das unidades geradoras, que é um duto que conduz a água que passa pela turbina ao rio (Godinho, Loures, 2016; Rêgo *et al.*, 2016). Esses peixes podem sofrer estresse, hipóxia e injúria física (Portz *et al.*, 2006). Eles precisam, então, ser resgatados. Quando muitos peixes ficam aprisionados, às vezes eles entram em toneladas no tubo de sucção, o resgate é complexo, demorado e o risco de morte é maior (Godinho, Loures, 2016).

Para reduzir o risco de morte, é fundamental determinar quantos peixes podem estar aprisionados no tubo de sucção antes do início da manutenção para decidir pela execução ou não da manobra. Identificar as espécies mais afetadas e entender sua biologia, determinar os

períodos mais apropriados para a realização das manutenções e os fatores que influenciam a abundância de peixes a jusante das usinas hidrelétricas, além da adoção de soluções construtivas e elaboração de regras operativas que minimizem a probabilidade de morte dos peixes também constituem boas alternativas para prevenção de riscos. A proteção dos peixes, além de garantir sua conservação, reduzirá os prejuízos monetários das empresas do setor elétrico oriundos de multas e interdição temporária na geração de energia em decorrência das mortandades (Godinho, Loures, 2016).

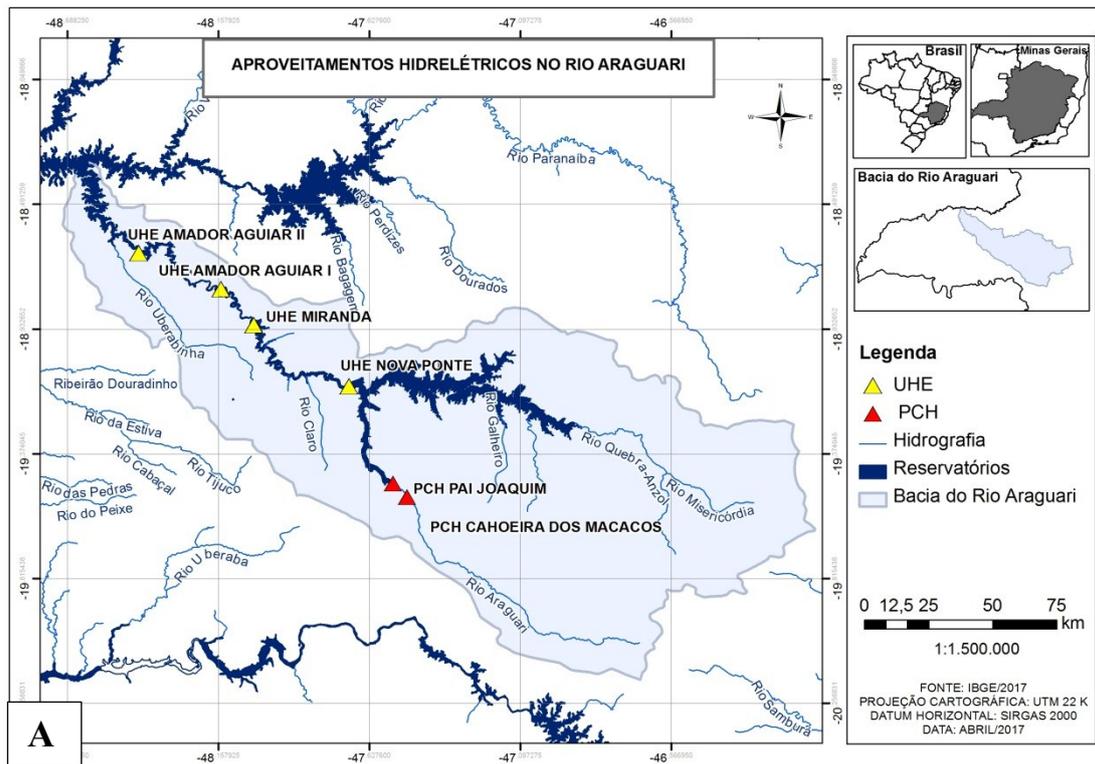
Neste trabalho, investiguei a fauna de peixes presente imediatamente a jusante da usina hidrelétrica (UHE) Amador Aguiar II (rio Araguari, MG) e sua relação com a usina em drenagens de unidades geradores para manutenção, visando a mitigação de mortes durante essa manobra. Os resultados são apresentados em quatro capítulos: 1 - Diversidade de peixes a jusante da UHE Amador Aguiar II; 2 - Biologia do mandi (*Pimelodus maculatus*) a jusante da UHE Amador Aguiar II; 3 - Modelo de predição da abundância de mandis (*Pimelodus maculatus*) aprisionados no tubo de sucção de unidades geradoras da UHE Amador Aguiar II e 4 - Vertimento reduz a quantidade de peixes aprisionados em drenagens de unidades geradoras da UHE Amador Aguiar II?

## **2 Área de estudo**

A UHE Amador Aguiar II localiza-se na divisa dos municípios de Araguari e Uberlândia (MG), nas coordenadas 18°39'35" S e 48°26'07" W (CCBE, 2010). Construída no rio Araguari, o terceiro maior tributário do rio Paranaíba (Paiva, 1982), entrou em funcionamento em 2007. Essa usina tem barragem com altura de 55 m, área alagada de 45,11 km<sup>2</sup> e reservatório do tipo fio-d'água (CCBE, 2010). Possui três unidades geradoras com turbinas do tipo Kaplan de potência unitária de 70MW e potência total instalada de 210 MW.

A capacidade total de engolimento das turbinas é de 510 m<sup>3</sup>/s (Cachapuz, 2006). O vertedouro, do tipo superfície controlada, possui três comportas segmento e foi projetado para descarregar cheias afluentes de 8.920 m<sup>3</sup>/s (capacidade máxima de vertimento). A calha do vertedouro é revestida em concreto e a dissipação da energia é em salto-de-esqui e fossa de erosão pré-escavada (CCBE, 2010). Seu canal de fuga está separado do vertedouro por um septo rochoso, distantes entre si pelo rio cerca de 220 m.

A UHE Amador Aguiar II é a usina mais a jusante da cascata de barragens do rio Araguari, distante 75 km de sua foz (Figura 1). A sua montante, encontram-se as usinas hidrelétricas Amador Aguiar I, Miranda e Nova Ponte, e as pequenas centrais hidrelétricas Pai Joaquim e Cachoeira dos Macacos (CCBE, 2010). A sua jusante, existe remanescente do rio Araguari cuja extensão varia em função do nível da água do reservatório de Itumbiara, no rio Paranaíba. Na cota de operação mais elevada, o remanescente tem cerca de 5 a 7 km e na cota de operação mais baixa, cerca de 26 km. O rio Uberabinha, tributário mais importante do remanescente, deságua a 16 km da usina.



**FIGURA 1** – Aproveitamentos hidrelétricos no rio Araguari (A) e vista aérea da UHE Amador Aguiar II (B).

### 3 Referências Bibliográficas<sup>1</sup>

Agostinho AA, Júlio HF, Jr., Borghetti JR. Considerações sobre os impactos dos represamentos na ictiofauna e medidas para sua atenuação. Um estudo de caso: reservatório de Itaipu. Revista UNIMAR. 1992; 14(suplemento):89-107.

Agostinho AA, Gomes LC, Pelicice FM. Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil. Maringá: Eduem; 2007.

Agostinho AA, Pelicice FM, Gomes LC. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. Brazilian Journal of Biology. 2008; 68(4, Suppl.):1119-1132. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000500019>

Andrade F, Prado IG, Loures RC, Godinho AL. Evaluation of techniques used to protect tailrace fishes during turbine maneuvers at Três Marias Dam, Brazil. Neotropical Ichthyology. 2012; 10(4):723-730. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252012000400005>

Cachapuz PBB. Usinas da Cemig: a história da eletricidade em Minas e no Brasil, 1952-2005. Rio de Janeiro: Centro da Memória da Eletricidade no Brasil; 2006.

CCBE - Consórcio Capim Branco Energia. Relatório de avaliação de impacto ambiental (RADA) da UHE Amador Aguiar II. Vol. I. Uberlândia; 2010.

Godinho AL, Loures RC. Risco de morte de peixes em usinas hidrelétricas. In: Loures RC, Godinho AL, organizadores. Avaliação de risco de morte de peixes em usinas hidrelétricas. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais; 2016. p.19-35 (Série Peixe Vivo; 5).

Paiva MP. Grandes barragens do Brasil. Brasília: Editerra; 1982.

Portz DE, Woodley CM, Cech JJ, Jr. Stress-associated impacts of short-term holding on fishes. Reviews in Fish Biology and Fisheries. 2006; 16(2):125-170. <https://doi.org/10.1007/s11160-006-9012-z>

Rêgo ACL, Prado IG, Silva TT, Loures RC, Silva RJ, Monteiro AB, Godinho AL. Peixes afetados em manobras de usinas hidrelétricas. In: Loures RC, Godinho AL, organizadores. Avaliação de risco de morte de peixes em usinas hidrelétricas. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais; 2016. p.71-96 (Série Peixe Vivo; 5).

---

<sup>1</sup> Referências de acordo com normas da revista Neotropical Ichthyology.

# CAPÍTULO 1: DIVERSIDADE DE PEIXES A JUSANTE DA USINA HIDRELÉTRICA AMADOR AGUIAR II

## 1 Resumo

A construção de usinas hidrelétricas causa fortes e irreversíveis mudanças nos cursos d'água, com impactos diretos sobre os peixes. O conhecimento da fauna de peixes presente imediatamente a jusante dos barramentos é fundamental para adoção de medidas que minimizem os impactos causados pela construção e operação das usinas hidrelétricas. No presente capítulo, avaliei a estrutura da comunidade de peixes a jusante da usina hidrelétrica Amador Aguiar II (rio Araguari, MG) e sua relação com os fatores abióticos do habitat. Para isso, realizei três anos de coletas bimestrais nos primeiros 300 m a jusante da usina com três petrechos de pesca (anzol, rede de emalhar e tarrafa). Capturei 5.117 indivíduos de 33 táxons. Desses, apenas 3 foram migradores. A comunidade a jusante da usina foi dominada por poucas espécies, principalmente de pequeno e médio porte. Os táxons mais abundantes em número e biomassa foram *Pimelodus maculatus*, *Hypostomus* spp. e *Pirirampus pirinampu*. Maior número de indivíduos foi capturado na estação chuvosa, independente do petrecho de pesca. A amostragem com rede de emalhar gerou riqueza, diversidade e equitabilidade maior e dominância menor comparada às amostras de anzol e tarrafa. Por esse motivo, a rede de emalhar foi o petrecho de pesca mais adequado para amostrar a comunidade de peixes do local. As vazões turbinada e defluente e o oxigênio dissolvido variaram ao longo do estudo, mas não houve sazonalidade nessas variáveis. Já a precipitação, temperatura e transparência da água apresentaram sazonalidade, com maiores valores de precipitação e temperatura na estação chuvosa. A transparência aumentou gradativamente ao longo da estação seca e diminuiu durante a estação chuvosa. As variáveis abióticas explicaram 53,13% da variância na abundância das espécies de peixes avaliadas, mas apenas a temperatura da água e a precipitação do mês da campanha foram significativas. A abundância de *P. maculatus* correlacionou-se positivamente com essas variáveis. Temperatura e precipitações mais elevadas são condições típicas da estação chuvosa, quando ocorrem as desovas dessa espécie.

Palavras-chave: abundância, ictiofauna, *Pimelodus maculatus*, rio Araguari, variáveis abióticas.

## 2 Abstract

The construction of hydropower plants leads to strong and irreversible changes in watercourses with direct impacts on fishes. The knowledge regarding the ichthyofauna immediately downstream of dams is fundamental for implementing measures to minimize the impacts caused by the construction and operation of hydropower plants. In the present chapter, I evaluated the fish community structure downstream of the Amador Aguiar II Dam (Araguari River, Minas Gerais state), as well as its relationship with abiotic factors of the habitat. Thereunto I made bimonthly sampling throughout three years along the first 300 m downstream of the dam with three fishing gears (hook, gill net and cast net). I collected 5,117

individuals of 33 taxa. Of these, only three were migratory species. The community downstream of the dam was dominated by few species, mainly small and medium body sized. The most abundant taxa in number and biomass were *Pimelodus maculatus*, *Hypostomus* spp. and *Pirirampus pirinampu*. More individuals were captured in the rainy season, independently of the fishing gear. Sampling with gill net provided higher richness, diversity and equitability and lower dominance when compared to samples from hook and cast net. For this reason, gill net was the most suitable fishing gear to sample the local fish community. The turbine and total discharge as well as dissolved oxygen varied along the study period, but there was no seasonal pattern for such variables. On the other hand, rainfall, temperature and water transparency presented seasonal pattern, with higher values of rainfall and temperature in rainy season. The transparency increased gradually along the dry season and decreased along the rainy period. The abiotic variables explained 53.13% of the abundance variance of the evaluated fish species, but only the water temperature and the sampling month precipitation were significant. The abundance of *P. maculatus* correlated positively with these variables. Higher temperature and precipitation are typical conditions of the rainy season, when the spawning of this species occurs.

Keywords: abundance, ichthyofauna, *Pimelodus maculatus*, Araguari River, abiotic variables.

### 3 Introdução

A fauna de peixes de água doce é muito rica e diversa. A maior parte dessa riqueza e diversidade encontra-se na região neotropical, com quase 4.500 espécies de peixes válidas (Reis *et al.*, 2003). No Brasil registra-se a ocorrência de 2.587 espécies (Buckup *et al.*, 2007). Para a bacia do Alto Paraná são citadas 310 espécies, com expectativa de aumento nesse número, uma vez que várias espécies restam por ser descritas ou descobertas (Langeani *et al.*, 2007).

As usinas hidrelétricas, apesar de importantes para o desenvolvimento econômico, são responsáveis por fortes e irreversíveis mudanças nos cursos d'água, com impactos diretos sobre os organismos aquáticos, especialmente os peixes. Os impactos pela construção desses empreendimentos são gerados tanto a montante quanto a jusante dos barramentos (Agostinho *et al.*, 1992).

A montante do barramento, o principal impacto é a transformação do ambiente lótico em lêntico, o que desencadeia uma série de mudanças físicas, químicas e biológicas nessa

região. A jusante observa-se alterações do fluxo de água, controle do regime de cheias e bloqueio de rotas migratórias de peixes (McCartney *et al.*, 2001; Agostinho *et al.*, 2008). Além disso, peixes presentes imediatamente a jusante dos barramentos podem sofrer injúrias e morte pela operação e manutenção de usinas hidrelétricas (Andrade *et al.*, 2012; Rêgo *et al.*, 2016).

As modificações causadas pela construção de usinas hidrelétricas a montante dos barramentos são bem relatadas na ciência. Diversos autores discutem os impactos provocados, que tem como consequências grandes alterações na composição e redução da biodiversidade da ictiofauna nativa e, em muitos casos, redução das atividades de pesca (*e.g.*, Petrere Jr., 1996; Agostinho *et al.*, 2007).

Apesar de serem igualmente ou mais prejudiciais para a fauna de peixes, os impactos a jusante das barragens são menos investigados, assim como o conhecimento da ictiofauna presente imediatamente a jusante das usinas hidrelétricas não é tão vasto quanto para a região dos reservatórios (Agostinho *et al.*, 2008). A região imediatamente a jusante dos barramentos constitui área de segurança das usinas, com restrições para seu uso. Além disso, a turbulência ocasionada pelo escoamento da vazão turbinada torna a amostragem mais difícil quando comparada a realizada em reservatórios. A menor quantidade de estudos nesses locais pode estar relacionada a esses fatores. Recentemente, o Programa Peixe Vivo da Cemig publicou uma obra que reúne informações, entre outros temas, da ictiofauna que se concentra nos primeiros quilômetros a jusante de diferentes barragens do sudeste brasileiro, sendo um trabalho pioneiro nesse tipo de análise (Loures, Godinho, 2016).

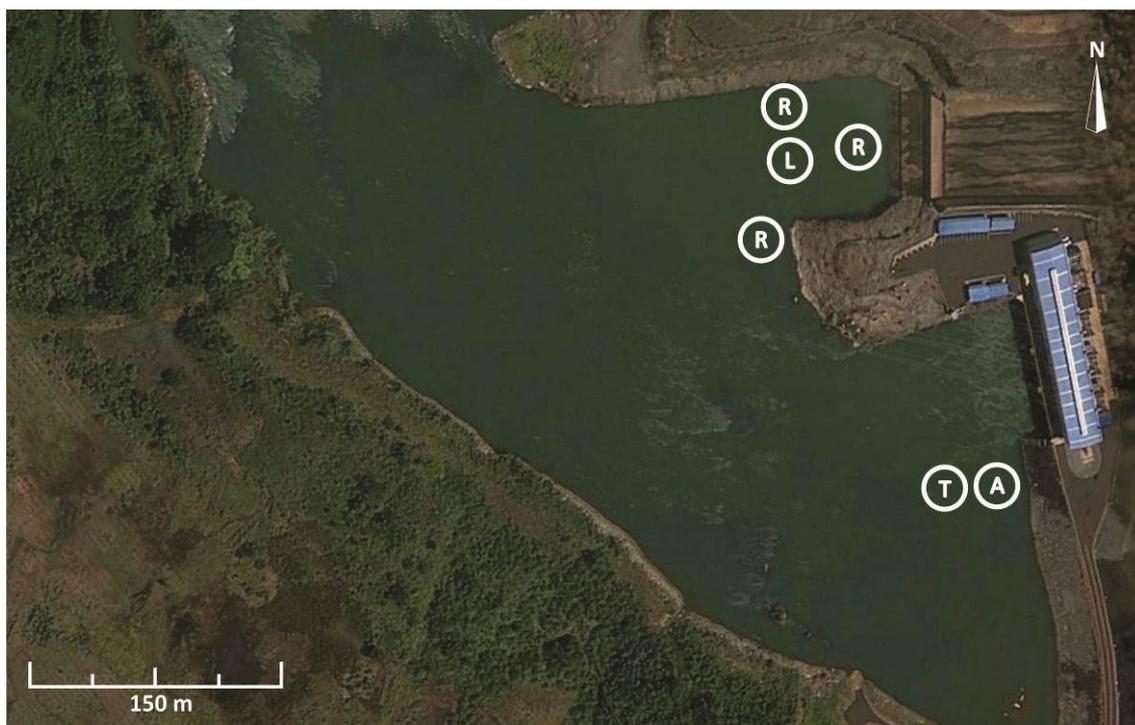
O conhecimento da fauna de peixes presente imediatamente a jusante dos barramentos é fundamental para adoção de medidas que minimizem os impactos causados pela construção e operação das usinas hidrelétricas. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a estrutura da comunidade de peixes estimada a partir de três petrechos de pesca (anzol, rede de

emalhar e tarrafa) nos primeiros 300 m a jusante da usina hidrelétrica (UHE) Amador Aguiar II (rio Araguari, MG) e sua relação com os fatores abióticos do habitat. Especificamente os objetivos foram: (i) determinar a composição da fauna de peixes e as espécies mais abundantes em número e biomassa; (ii) determinar o número de espécies por classe de comprimento padrão e a variação no comprimento padrão das espécies mais abundantes; (iii) determinar a curva de rarefação de espécies e a variação temporal do número de indivíduos amostrados pelos diferentes petrechos de pesca utilizados; (iv) estimar a riqueza, diversidade, equitabilidade e dominância da comunidade de peixes por petrechos de pesca; (v) determinar a variação temporal de variáveis abióticas e (vi) avaliar se a abundância das espécies de peixe tinha relação com as variáveis abióticas analisadas.

## **4 Material e Métodos**

### **4.1 Captura de peixes**

Realizei 19 campanhas bimestrais de junho de 2010 a junho de 2013. Amostrei o trecho do rio Araguari, nos primeiros 300 m a jusante da UHE Amador Aguiar II, com rede de emalhar, anzol e tarrafa (Figura 1).



**FIGURA 1** – UHE Amador Aguiar II com indicação dos pontos de coleta com redes de emalhar (R), anzol (A), tarrafa (T) e dados limnológicos (L).

A cada campanha, utilizei três baterias de redes, cada uma contendo uma rede das malhas 3, 4, 6, 7 e 8 cm entre nós opostos. As redes tinham cerca de 1,7 m de altura e 10 m (malhas 3 e 4) ou 20 m (demais malhas) de comprimento, totalizando 403,8 m<sup>2</sup> de redes por campanha. As redes foram armadas ao final da tarde de um dia e retiradas na manhã seguinte, ficando armadas por cerca de 14 h. Usei tarrafa de 2,7 m de altura e malha 5 cm entre nós opostos. Quarenta lances da tarrafa foram efetuados por pescador profissional em um dia, 20 de manhã e 20 à tarde, por campanha. A pesca de anzol foi, a cada campanha, realizada em um único dia no horário diurno por pescador profissional durante 6 h ou por dois pescadores por 3 h. Cada pescador utilizou um anzol número 8 e minhoca como isca.

Identifiquei e determinei o comprimento padrão (*CP*) e o peso corporal (*PC*) de todos os peixes capturados. Fixei, em formol 10%, alguns indivíduos das espécies *Pimelodus maculatus* e *Pinirampus pirinampu* e os peixes mortos de todas as espécies para realização de outros estudos. Soltei os peixes vivos no rio após biometria. Para a identificação das espécies

utilizei chaves dicotômicas e diagnoses contidas, principalmente, em Buckup *et al.* (2007), Graça, Pavanelli (2007) e Langeani, Rêgo (2014), além de consultas ao Fishbase (Froese, Pauly, 2016) e ao Catalog of Fishes (Eschmeyer, Fong, 2016). Exemplares testemunho da maioria das espécies foram depositados na coleção de peixes DZSJRP do Departamento de Zoologia e Botânica da Universidade Estadual Paulista (Unesp) de São José do Rio Preto, SP.

#### **4.2 Dados abióticos**

Mensurei os dados limnológicos após a retirada das redes de emalhar, entre 8 e 11 h. Medi o oxigênio dissolvido (*OD*) e a temperatura da água com um oxímetro YSI 550A e a transparência da água com um disco de Secchi, em local sem escoamento perceptível da água e contra o sol. Obtive a precipitação dos meses das campanhas realizadas na estação de climatologia da Universidade Federal de Uberlândia, que é a mais próxima da área de estudo. Consultei, na mesma estação, dados da precipitação média mensal de 1981 a 2010 para definir as estações seca (abril a setembro) e chuvosa (outubro a março). A estação chuvosa foi responsável por 86,4% da precipitação anual. Obtive a média das vazões turbinada (*Qt*) e vazão defluente (*Qd*), que é a soma das vazões vertida e turbinada, nos dois dias de coleta de cada campanha no sistema de telemetria e monitoramento hidrometeorológico da Cemig.

#### **4.3 Análise dos dados**

Agrupei os cascudos em *Hypostomus* spp., devido as dificuldades de identificação das espécies desse grupo (Langeani, Rêgo, 2014). Classifiquei as espécies amostradas como migradoras de acordo com Agostinho *et al.* (2003) e como alóctone e exótica segundo Langeani *et al.* (2007). Agostinho *et al.* (2003) consideraram espécies migradoras aquelas que

percorrem mais de 100 km em suas migrações para reproduzir. Langeani *et al.* (2007) definiram como alóctones espécies descritas de outras bacias da região Neotropical e introduzidas no alto Paraná, sem quaisquer evidências que possam indicar sua ocorrência natural no alto Paraná, e como exóticas, aquelas provenientes de outros continentes.

Para cada espécie, determinei a sua constância ( $K$ ) nas campanhas de acordo com Dajoz (1983). Usei, para isso, a equação  $K = n.t^{-1}.100$ , onde 'n' é o número de campanhas com a ocorrência da espécie e 't' é o número total de campanhas. A espécie foi classificada como constante ( $K > 50\%$ ), acessória ( $25\% \leq K \leq 50\%$ ) ou ocasional ( $K < 25\%$ ).

Determinei o número de indivíduos capturados e a biomassa por espécie. Determinei também o número de espécies por classes de tamanho com base no  $CP$  máximo registrados neste estudo. Comparei o  $CP$  das espécies mais abundantes, que corresponderam juntas a mais de 90% dos indivíduos amostrados durante o estudo. Indiquei o porte dessas espécies segundo Langeani *et al.* (2007) em pequeno (até 20,8 cm), médio (entre 20,9 e 39,5 cm) e grande (de 39,6 a 170,0 cm).

Fiz a curva de rarefação com base no número de indivíduos coletados e 100 aleatorizações sem reposição, para avaliar se o esforço amostral empregado foi suficiente para capturar todas as espécies locais susceptíveis de serem amostradas pelos petrechos de pesca utilizados. Usei, para isso, o programa PAST (Hammer *et al.*, 2001). Nas análises citadas acima ( $K$ ,  $CP$  e curva de rarefação) considerei os indivíduos capturados pelos três petrechos de pesca em conjunto.

Examinei a variação temporal do número de peixes capturados por petrecho de pesca. Determinei a riqueza ( $S$ ), o índice de diversidade de Shannon ( $H'$ ), a equitabilidade ( $E$ ) e a dominância ( $D$ ) dos peixes capturados por petrecho de pesca para avaliar qual o petrecho mais adequado para amostrar a comunidade de peixes. Calculei  $S$ ,  $H'$ ,  $E$  e  $D$  no programa PAST, sendo  $S$  o número de espécies,  $E$  de Pielou e  $D$  de Berger-Parker (Hammer *et al.*, 2001).

Utilizei o diagrama de Venn para mostrar as espécies exclusivas e comuns aos petrechos de pesca empregados.

Examinei a variação temporal das variáveis abióticas. Avaliei a correlação entre as variáveis abióticas e a abundância das espécies com mais de 100 indivíduos capturados usando Análise de Correspondência Canônica (Ter Braak, 1986). A análise foi realizada no software R (R Development Core Team, 2017), usando a função `cca` no pacote `vegan`. Antes da análise, as variáveis abióticas foram previamente padronizadas usando a função `scale` e os valores de inflação foram checados usando a função `vif.cca`. Para determinar qual variável poderia ser retirada foi usada a função `drop1`. A variável *Qd* foi eliminada devido à sua alta redundância com a variável *Qt*. A significância das variáveis abióticas foi obtida através da função `envfit`, que obtém uma medida de  $r^2$  para cada variável, usando 999 permutações.

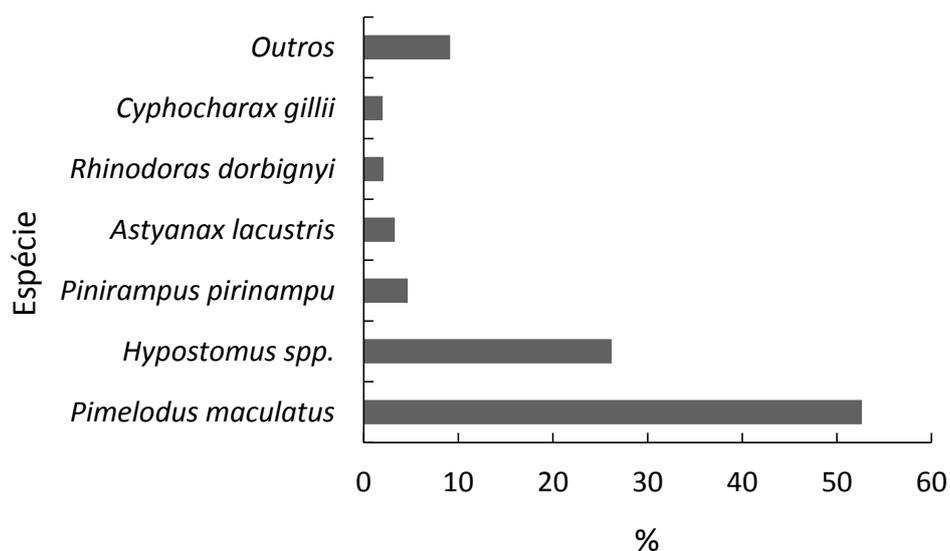
## 5 Resultados

Capturei 5.117 indivíduos, de 33 táxons, 4 ordens e 11 famílias (Tabela 1). Desses táxons, seis eram alóctones, dois exóticos e três considerados migradores. A ordem Characiformes apresentou a maior riqueza (16 espécies), enquanto a ordem Siluriformes, com 4.557 indivíduos, foi a mais numerosa (89% do total), em decorrência da expressiva captura de mandis e cascudos. Treze táxons foram classificados como constantes, 6 como acessórios e 14 como ocasionais.

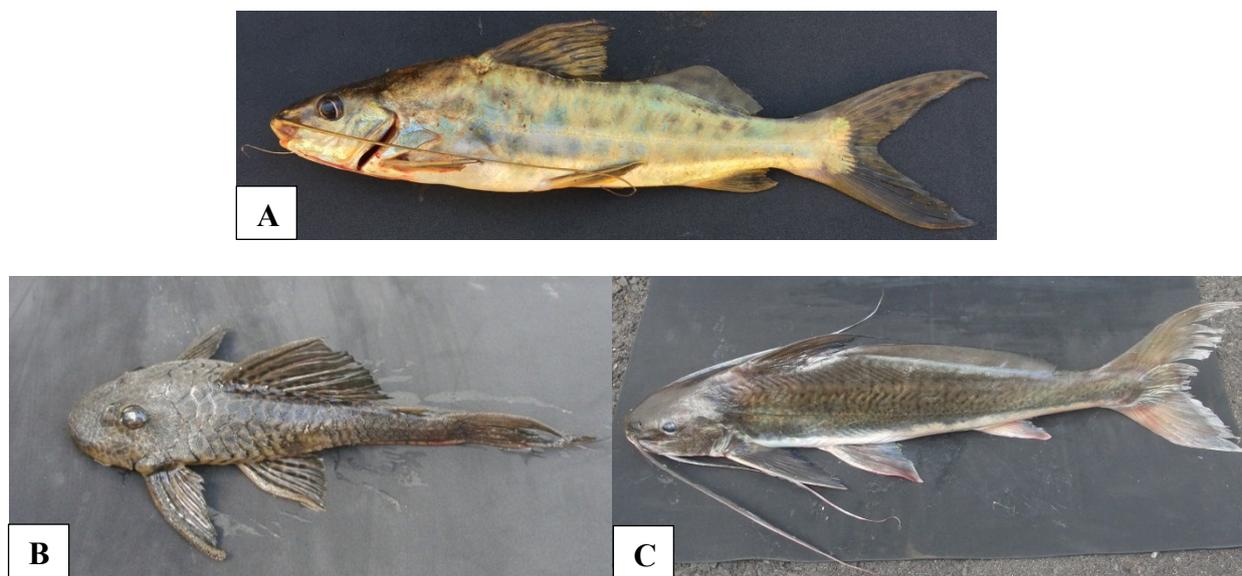
**TABELA 1** – Número absoluto (*N*) e relativo (%) de indivíduos amostrados e constância de ocorrência (*K*) por táxon a jusante da UHE Amador Aguiar II. Ordem dos táxons segundo Reis *et al.* (2003). Classificação das espécies como migradoras de acordo com Agostinho *et al.* (2003) e como alóctone e exótica segundo Langeani *et al.* (2007) (C = constante, A = acessória, O = ocasional, M = migradora, A = alóctone, E = exótica).

Ordem/Família/Táxon	Nome popular	N	%	K
<b>Characiformes</b>				
<b>Curimatidae</b>				
<i>Cyphocharax gillii</i> <sup>A</sup>	saguiru	102	2,0	C
<i>Steindachnerina insculpta</i>	saguiru	13	0,3	A
<b>Anostomidae</b>				
<i>Leporellus vittatus</i>	solteira	3	0,1	O
<i>Leporinus friderici</i>	piau-três-pintas	62	1,2	C
<i>Leporinus geminis</i>	piau	6	0,1	O
<i>Megaleporinus macrocephalus</i> <sup>A</sup>	piaussu	2	0,04	O
<i>Megaleporinus obtusidens</i> <sup>M</sup>	piapara	25	0,5	C
<i>Leporinus octofasciatus</i>	flamenguinho	4	0,1	O
<i>Leporinus striatus</i>	piau-listrado	1	0,02	O
<i>Leporinus tigrinus</i>	piau	1	0,02	O
<i>Schizodon nasutus</i>	taguara	64	1,3	C
<b>Characidae</b>				
<i>Astyanax lacustris</i>	lambari-do-rabo-amarelo	168	3,3	C
<i>Astyanax fasciatus</i>	lambari-do-rabo-vermelho	36	0,7	C
<b>Serrasalminae</b>				
<i>Serrasalmus marginatus</i> <sup>A</sup>	piranha	16	0,3	A
<b>Erythrinidae</b>				
<i>Hoplias intermedius</i>	trairão	3	0,1	O
<i>Hoplias malabaricus</i>	traíra	2	0,04	O
<b>Siluriformes</b>				
<b>Loricariidae</b>				
<i>Hypostomus</i> spp.	casudo	1340	26,2	C
<i>Megalancistrus parananus</i>	casudo-abacaxi	28	0,5	C
<b>Heptapteridae</b>				
<i>Pimelodella avanhandavae</i>	mandi-chorão	16	0,3	C
<i>Rhamdia quelen</i>	bagre	2	0,04	O
<b>Pimelodidae</b>				
<i>Iheringichthys labrosus</i>	mandi-beiçudo	95	1,9	C
<i>Pimelodus maculatus</i> <sup>M</sup>	mandi	2694	52,6	C
<i>Pimelodus microstoma</i>	mandi	20	0,4	A
<i>Pimelodus paranaensis</i>	mandi	17	0,3	A
<i>Pinirampus pirinampu</i> <sup>M</sup>	barbado	238	4,7	C
<b>Doradidae</b>				
<i>Rhinodoras dorbignyi</i>	abotoado	107	2,1	C
<b>Gymnotiformes</b>				
<b>Sternopygidae</b>				
<i>Eigenmannia virescens</i>	espadinha	1	0,02	O
<b>Perciformes</b>				
<b>Cichlidae</b>				
<i>Cichla kelberi</i> <sup>A</sup>	tucunaré-amarelo	20	0,4	A
<i>Cichla piquiti</i> <sup>A</sup>	tucunaré-azul	4	0,1	O
<i>Crenicichla jaguarensis</i>	joaninha	4	0,1	O
<i>Heterotilapia buttikoferi</i> <sup>E</sup>	tilápia-zebra	7	0,1	O
<i>Oreochromis niloticus</i> <sup>E</sup>	tilápia	1	0,02	O
<i>Satanoperca pappaterra</i> <sup>A</sup>	cará	15	0,3	A

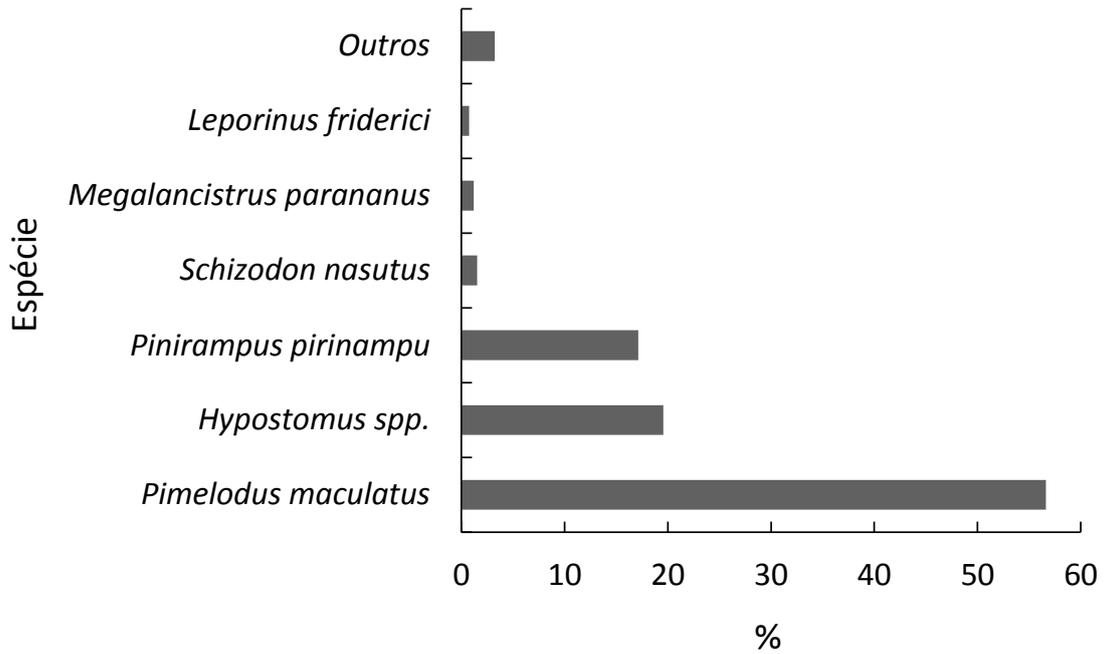
O táxon com maior número de indivíduos capturados foi *P. maculatus* (52,6% do total), seguido de *Hypostomus* spp. (26,2%) e de *P. pirinampu* (4,7%) (Figuras 2 e 3). Esses táxons também foram os mais representativos em biomassa. Juntos, eles corresponderam a 93,3% da biomassa total capturada (Figura 4).



**FIGURA 2** – Porcentagem (%) de número de indivíduos capturados por táxon a jusante da UHE Amador Aguiar II.

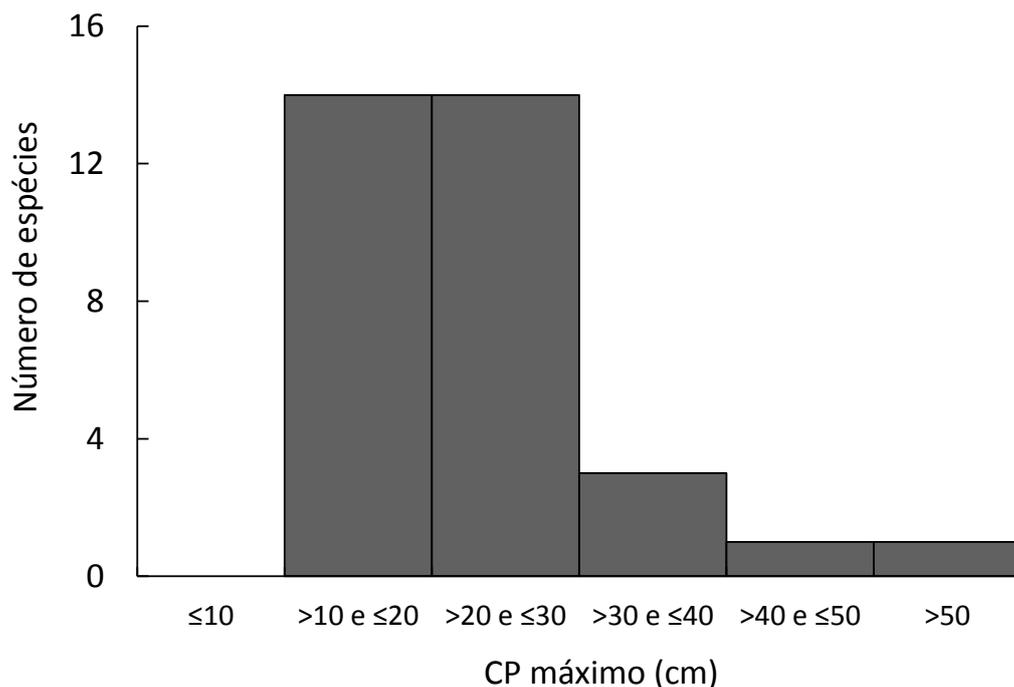


**FIGURA 3** – Ilustração dos táxons mais abundantes amostrados no estudo: *Pimelodus maculatus* (A), *Hypostomus* spp. (um dos morfotipos; B) e *Pinirampus pirinampu* (C).

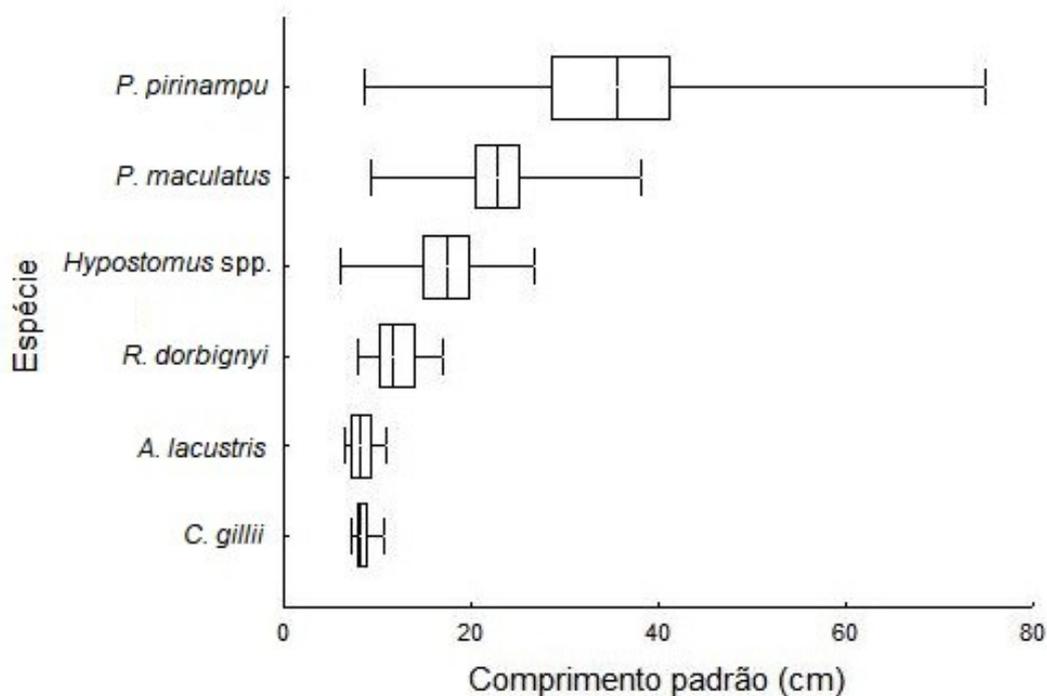


**FIGURA 4** – Biomassa (%) por táxon capturado a jusante da UHE Amador Aguiar II.

A maioria (84,8%) dos táxons capturados tinha até 30 cm de *CP* (Figura 5). *Cyphocharax gillii* foi a espécie com o menor *CP* máximo registrado (10,7 cm), enquanto *P. pirinampu*, com o maior (75 cm). Táxons de pequeno (*C. gillii*, *Astyanax lacustris* e *Rhinodoras dorbignyi*), médio (*Hypostomus* spp. e *P. maculatus*) e grande porte (*P. pirinampu*) estiveram entre os mais abundantes (Figura 6).

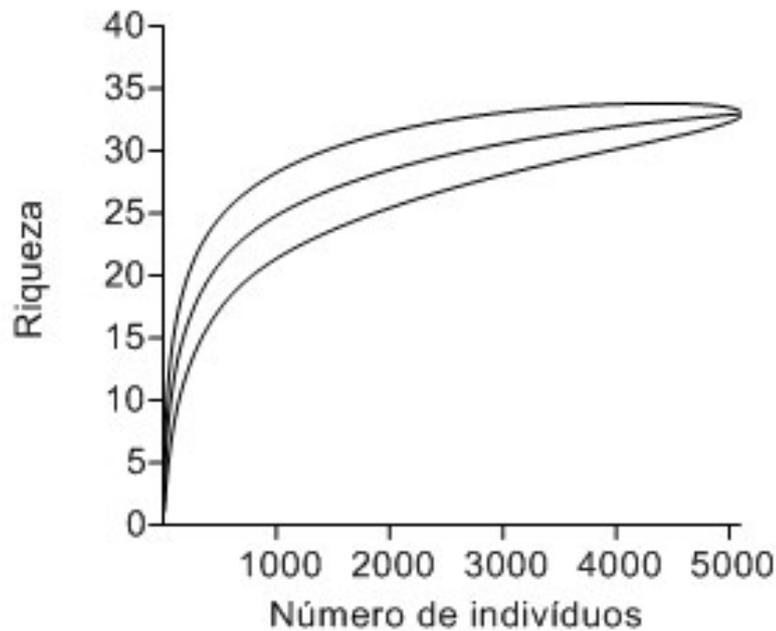


**FIGURA 5** – Número de espécies capturadas por classe de comprimento padrão (*CP*) máximo a jusante da UHE Amador Aguiar II.



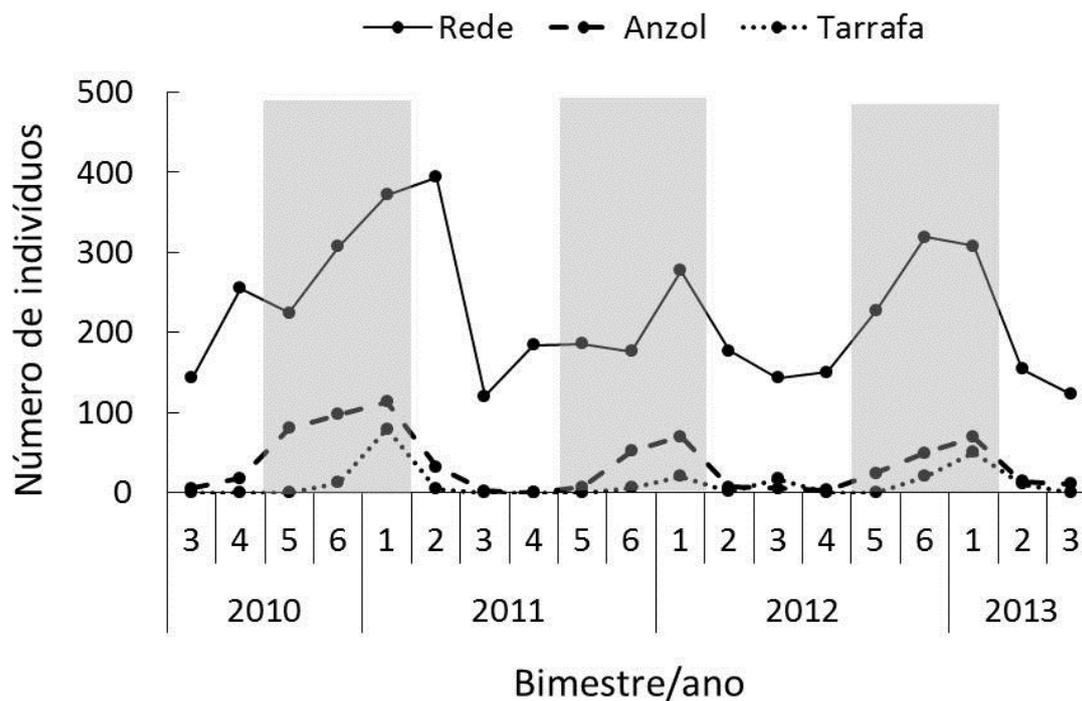
**FIGURA 6** – Mediana, intervalo interquartil e amplitude do comprimento padrão dos táxons mais abundantes capturados a jusante da UHE Amador Aguiar II.

A curva de rarefação de espécies encontra-se próxima da assíntota (Figura 7) indicando que, provavelmente, o número de espécies capturadas está bem próximo do número de espécies de peixes existentes no local que são susceptíveis de serem apanhadas com os petrechos de pesca utilizados.



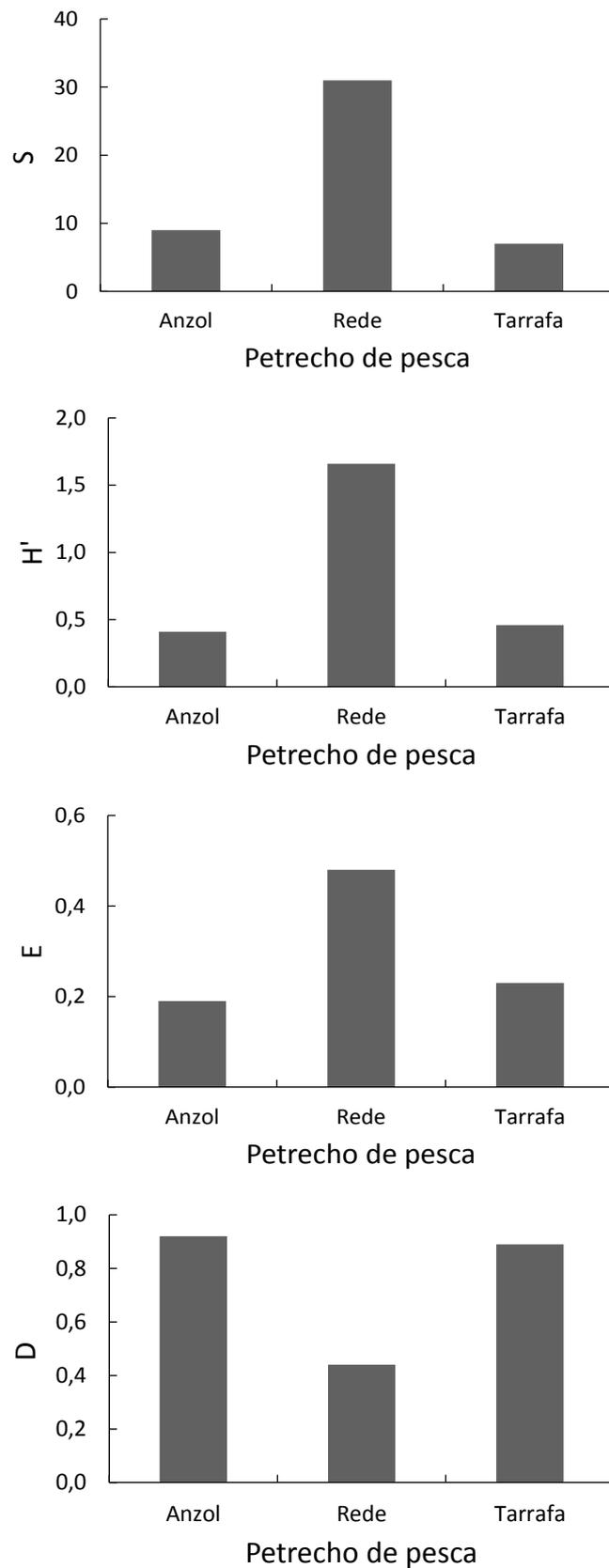
**FIGURA 7** – Curva de rarefação com intervalo de confiança a 95% da riqueza de peixes a jusante da UHE Amador Aguiar II.

Maior número de indivíduos foi capturado na estação chuvosa, independente do petrecho de pesca (Figura 8). Rede de emalhar foi o petrecho que mais capturou indivíduos (4.239), seguida do anzol (658) e da tarrafa (220).

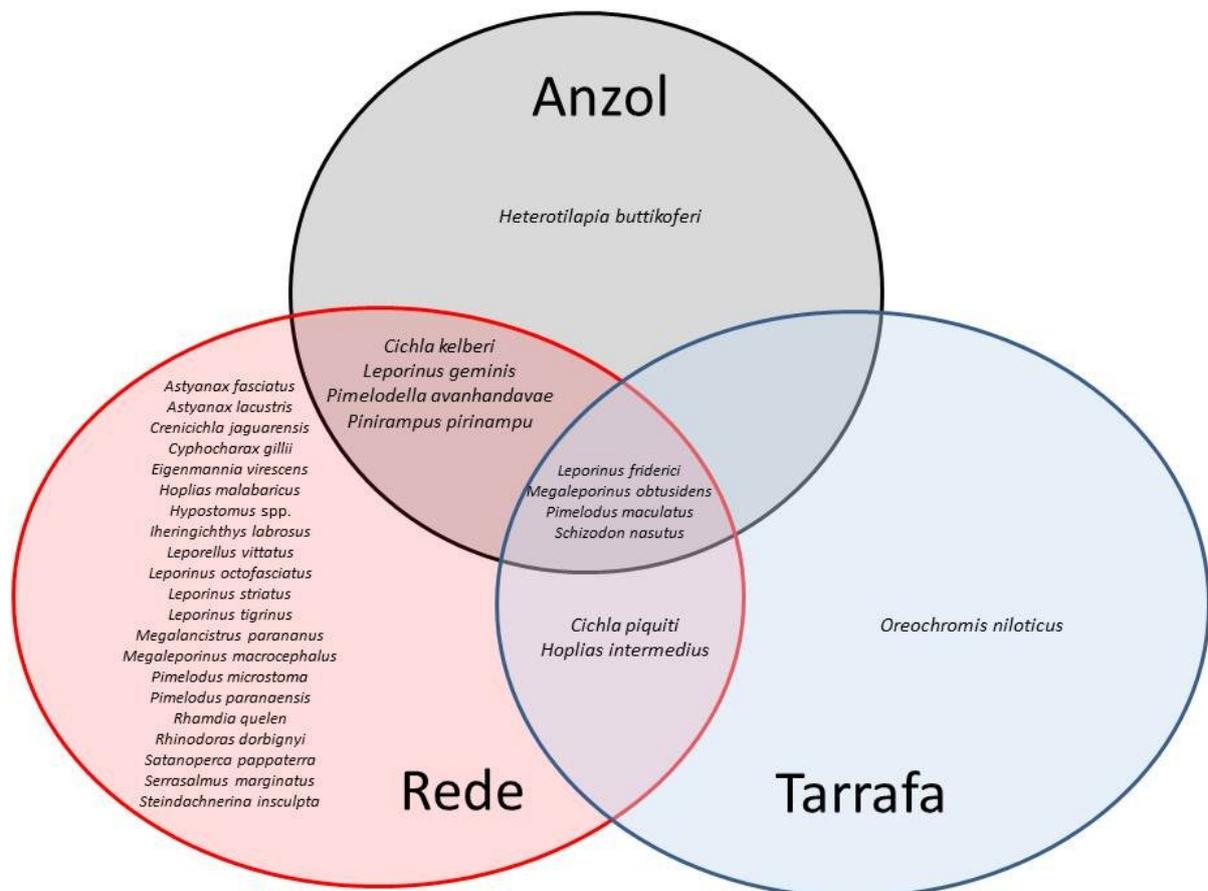


**FIGURA 8** – Variação temporal do número de indivíduos capturados por petrecho de pesca a jusante da UHE Amador Aguiar II. A área sombreada corresponde à estação chuvosa (outubro a março).

A amostragem com rede de emalhar gerou riqueza, diversidade e equitabilidade maior e dominância menor comparada às amostras de anzol e tarrafa (Figura 9). Vinte e um táxons foram coletados exclusivamente nas redes de emalhar. Apenas quatro foram comuns aos três petrechos de pesca utilizados (Figura 10).

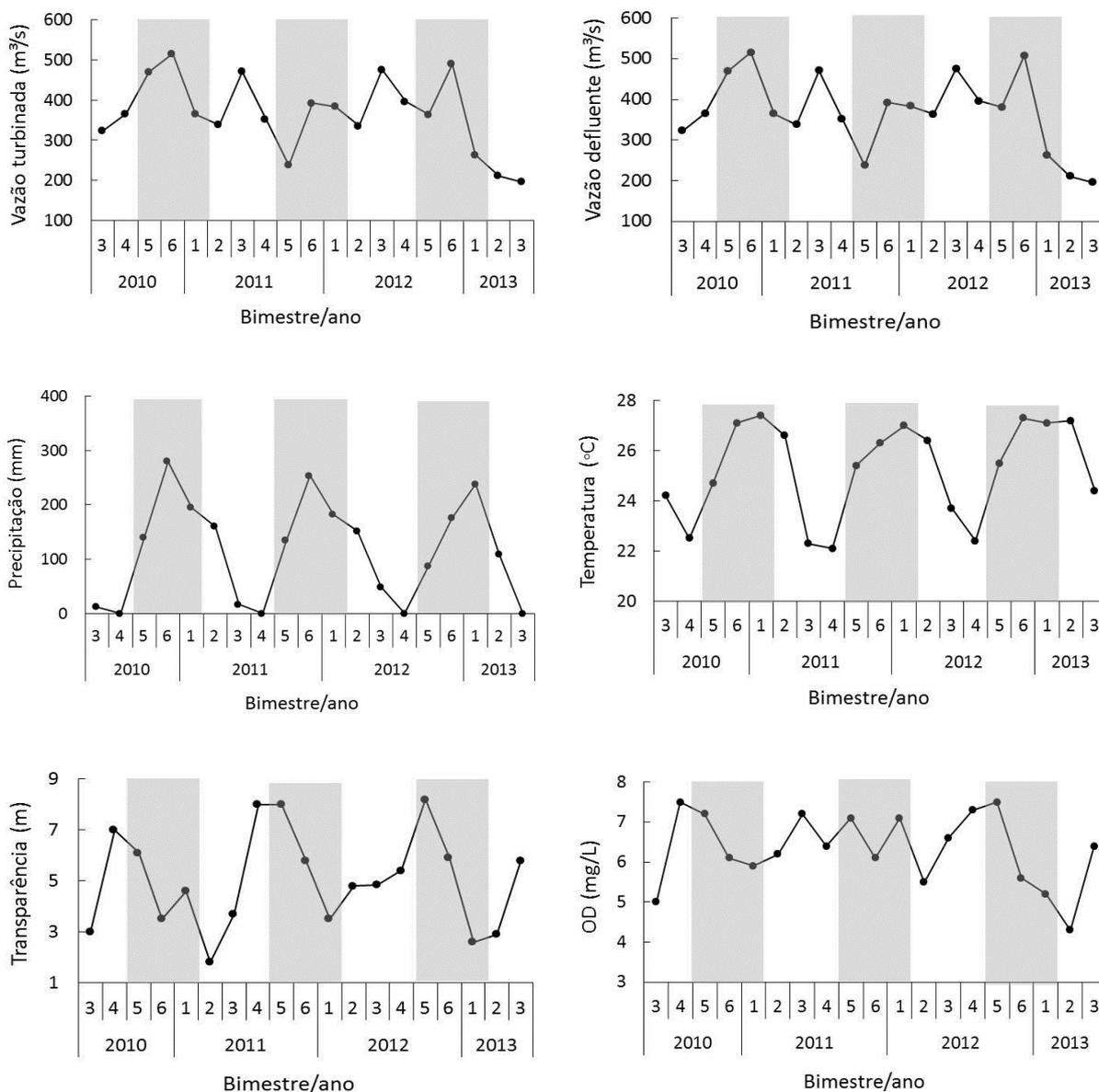


**FIGURA 9** – Riqueza ( $S$ ), índice de diversidade de Shannon ( $H'$ ), equitabilidade ( $E$ ) e dominância ( $D$ ) por petrecho de pesca dos peixes amostrados a jusante da UHE Amador Aguiar II.



**FIGURA 10** – Diagrama de Venn evidenciando táxons coletados com anzol, rede de emalhar e tarrafa a jusante da UHE Amador Aguiar II. Nas sobreposições estão as espécies comuns aos petrechos de pesca.

A vazão turbinada representou toda a vazão defluente da UHE Amador Aguiar II nos dias de coleta, com exceção de abril, outubro e dezembro de 2012 (bimestres 2, 5 e 6). Ela oscilou, ao longo do estudo, de  $196 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a  $516 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Não houve sazonalidade nessa variável. A precipitação nos meses de coleta variou de 0 a 280 mm. Os meses mais chuvosos foram dezembro, fevereiro e abril. A temperatura da água variou de 22,1 a 27,4 °C. Os maiores valores ocorreram na estação chuvosa, mais abril, e os menores no restante da estação seca. A transparência variou de 1,8 a 8,2 m. Seus valores aumentaram gradativamente ao longo da estação seca e diminuíram durante a estação chuvosa, com exceção de fevereiro de 2011. O OD variou de 4,3 a 7,5  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . Não ocorreu sazonalidade nessa variável (Figura 11).



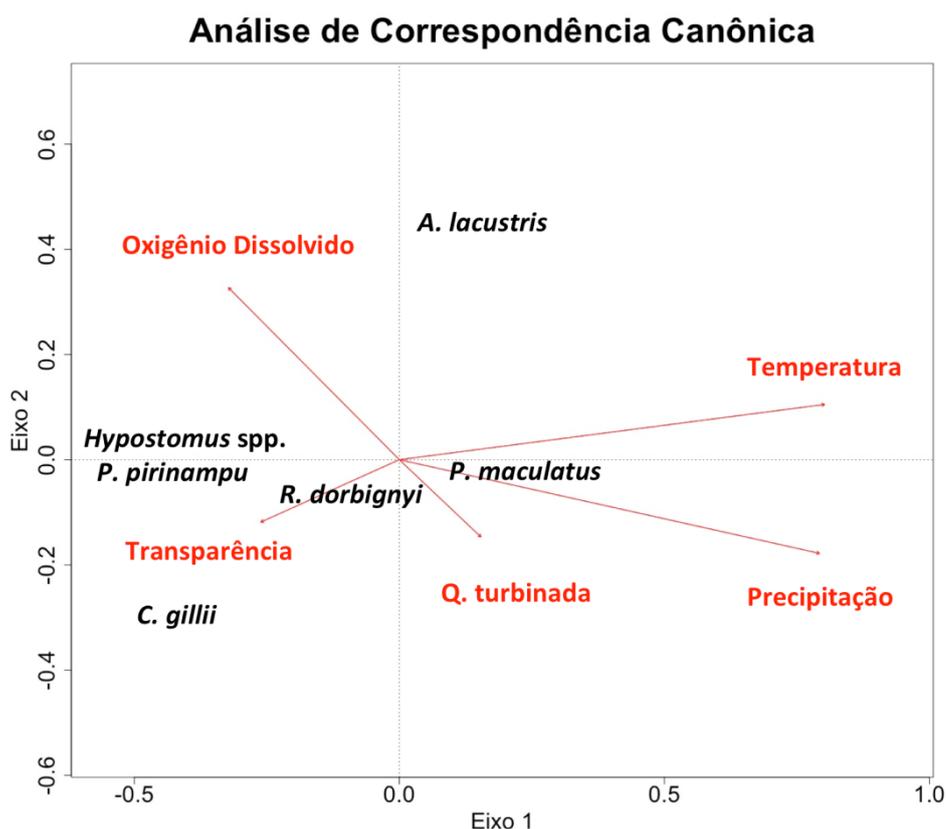
**FIGURA 11** - Variação temporal dos fatores abióticos da água defluente da UHE Amador Aguiar II e precipitação do mês da campanha. A área sombreada corresponde à estação chuvosa (outubro a março).

De acordo com a análise de correspondência canônica, as variáveis abióticas explicaram 53,13% da variância na abundância das espécies de peixes avaliadas. Das variáveis preditoras usadas na análise, apenas a temperatura da água e a precipitação do mês da campanha foram significativas (Tabela 2). Pelo gráfico de ordenação, *Hypostomus* spp. e *P. pirinampus* tiveram sua abundância negativamente correlacionadas com temperatura e

precipitação. Por outro lado, a abundância de *P. maculatus* correlacionou-se positivamente com essas variáveis (Figura 12).

**TABELA 2** – Importância das variáveis abióticas nos eixos da análise de correspondência canônica e sua significância sobre a abundância de espécies de peixes coletadas a jusante da UHE Amador Aguiar II.

Variáveis abióticas	Eixo 1	Eixo 2	$r^2$	$P$
Vazão turbinada	0,1817	-0,1734	0,0313	0,821
Temperatura	0,9471	0,1240	0,6567	0,001
Transparência	-0,3086	-0,1401	0,0741	0,599
Oxigênio dissolvido	-0,3804	0,3858	0,1535	0,319
Precipitação	0,9355	-0,2103	0,6368	0,002
Variância explicada (%)	19,53	15,54		



**FIGURA 12** – Gráfico de ordenação da análise de correspondência canônica entre os dados de abundância de táxons de peixes coletados a jusante da UHE Amador Aguiar II e variáveis abióticas.

## 6 Discussão

Quando do início da operação da UHE Amador Aguiar II, as demais usinas do rio Araguari e o reservatório de Itumbiara já haviam sido construídos. Assim, a fauna de peixes do rio Araguari já se encontrava significativamente alterada (Vono, 2002).

O número de táxons amostrado no presente estudo correspondeu a cerca de um terço das espécies conhecidas para toda a bacia do rio Araguari (Vono, 2002; Langeani, Rêgo, 2014). A maior riqueza e abundância pertencente às ordens Characiformes e Siluriformes segue o padrão observado na região neotropical (Lowe-McConnell, 1987). Na bacia do Alto Paraná, elas compreendem cerca de 80% de todas as espécies de peixes (Langeani *et al.*, 2007).

Seis espécies capturadas eram alóctones e duas exóticas. Dessas, apenas *C. gillii* apareceu entre os táxons mais capturados. Outras espécies alóctones/exóticas registradas incluem os tucunarés do gênero *Cichla*, de origem amazônica, e a tilápia *Oreochromis niloticus*, de origem africana, exemplos clássicos de espécies introduzidas que tem obtido sucesso na ocupação de reservatórios em todo Brasil (Agostinho *et al.*, 2007). Na área de estudo, elas não foram coletadas em quantidades expressivas, sendo classificadas como ocasionais ou acessórias, talvez por preferirem ambientes lênticos. No entanto, vale ressaltar que a introdução de tucunarés pode causar sérias alterações na ictiofauna nativa, seja pela competição ou predação, em virtude de seu habitat piscívoro extremamente voraz (*e.g.*, Godinho *et al.*, 1994; Pelicice, Agostinho, 2009). As causas das introduções das espécies coletadas são atribuídas à piscicultura (*Megaleporinus macrocephalus*, *O. niloticus* e *Satanoperca pappaterra*), à pesca esportiva (*C. kelberi* e *C. piquiti*), ao aquarismo (*Heterotilapia buttikoferi*) e à construção do reservatório de Itaipu (*C. gillii* e *Serrasalmus marginatus*) (Langeani *et al.*, 2007).

Apenas três espécies migradoras foram capturadas. Delas, *P. maculatus* e *P. pirinampu* estiveram entre as espécies mais abundantes. *Pimelodus maculatus* é, frequentemente, uma das espécies dominantes da comunidade de peixes ao sopé de usinas hidrelétricas (Souza *et al.*, 2016), razão pelo qual também é uma das mais afetadas pela operação e manutenção das mesmas (Rêgo *et al.*, 2016). Sua capacidade de desovar em curtos trechos de rio (Agostinho *et al.*, 2003), associada a sua alta plasticidade alimentar e reprodutiva, aparentemente, faz com que ela seja abundante em muitos reservatórios (*e.g.*, Deiters *et al.*, 2002, Maia *et al.*, 2007).

Outras espécies migradoras da bacia do rio Araguari incluem: *Brycon orbignyanus*, *Piaractus mesopotamicus*, *Prochilodus lineatus*, *Pseudoplatystoma corruscans*, *Salminus brasiliensis*, *Steindachneridion scriptum* e *Zungaro jahu* (Vono, 2002; Langeani, Rêgo, 2014). Essas espécies são de grande porte e/ou de difícil captura pelos petrechos de pesca usados nas amostragens. De qualquer forma, desconsiderando a seletividade dos petrechos de pesca, as evidências indicam que todas são raras no trecho amostrado do rio Araguari. *Zungaro jahu*, *S. scriptum* e *B. orbignyanus* são espécies com algum grau de ameaça no Brasil (Machado *et al.*, 2008) e/ou em Minas Gerais (Vieira *et al.*, 2008). As espécies migradoras são as mais prejudicadas pelo barramento dos rios, uma vez que por ocuparem uma ampla área de vida, podem ter suas populações fragmentadas, suas rotas de migração bloqueadas pela barragem ou seus habitats de desova, crescimento e desenvolvimento inicial, modificados pelo alagamento e regulação das cheias (Agostinho *et al.*, 2007).

*Hypostomus* spp. foi um dos táxons dominantes. *Hypostomus* são típicos de ambientes reofilicos e abundantes a jusante de algumas usinas (Souza *et al.*, 2016), talvez pelo hábito alimentar iliófago ser favorecido pela maior transparência da água. O trecho lótico presente a jusante da UHE Amador Aguiar II e o fundo de pedra podem contribuir para a ocorrência destas espécies nesse local. Os cascudos eram abundantes no rio Araguari mesmo antes da

construção da UHE Nova Ponte (Vono, 2002). Na bacia do Alto Paraná, Langeani *et al.* (2007) listam 22 espécies de *Hypostomus*. Na bacia do rio Paranaíba, segundo Zawadzki *et al.* (2008), são citadas sete espécies desse gênero. Na bacia do rio Araguari, Langeani, Rêgo (2014) apontam oito espécies, mas os autores não apresentam uma chave de identificação para o grupo. Devido à variabilidade intraespecífica elevada da morfologia e do colorido (Weber, 2003), a taxonomia do gênero *Hypostomus* ainda é precária, sendo necessária uma revisão taxonômica de modo a identificar as espécies com alguma segurança (Langeani, Rêgo, 2014). Assim, a exemplo de outros estudos realizados na bacia do rio Araguari, não identifiquei os *Hypostomus* até o nível específico.

A curva de rarefação de espécies com curva próxima da assíntota sugere que provavelmente amostramos quase todas as espécies susceptíveis de serem apanhadas com os três petrechos de pesca utilizados. Vale destacar que o emprego de outros petrechos de pesca permitiria a coleta de um número maior de espécies, especialmente as de pequeno porte, que constituem uma fauna rica e não passível de captura com os métodos empregados. Entretanto, esse não foi o objetivo desse estudo. Ele estava inserido em um trabalho mais amplo, cujo objetivo principal era reduzir o risco de morte de peixes decorrente da operação de usinas hidrelétricas e, por este motivo, toda a metodologia de coleta foi adaptada para melhorar a eficiência da captura das espécies mais afetadas pelas manobras das usinas (Loures *et al.*, 2016). Sendo as populações de peixes heterogêneas em relação a diversas características, as diferentes espécies e até mesmo os membros de uma mesma população, não são igualmente vulneráveis a um determinado método de captura (Agostinho *et al.*, 2007). Assim, estudos que busquem realizar inventários completos da ictiofauna de uma região devem empregar diferentes petrechos de pesca, visando eliminar as limitações impostas pela seletividade dos mesmos.

A comunidade amostrada a jusante da UHE Amador Aguiar II foi dominada por poucas espécies, principalmente de pequeno e médio porte. Apenas *P. pirinampus* foi de grande porte e esteve entre as mais abundantes. Cascudos e mandis contribuíram com 78,8% da abundância total. Mesmo com a influência da seletividade dos petrechos e o fato de que o habitat amostrado é favorável a determinadas espécies, a dominância por poucas espécies pode também ser reflexo do ambiente alterado. Resultados semelhantes foram observados em estudos conduzidos a montante e a jusante de barramentos. Em inventário realizado em 77 reservatórios brasileiros, o número de espécies dominantes foi baixo, com 25% das espécies de uma comunidade contribuindo com mais de 80% da abundância total, sendo a maioria de pequeno e médio porte. O mandi esteve entre as espécies dominantes nesse inventário (Agostinho *et al.*, 2007). Da mesma forma, Souza e colaboradores (2016), ao investigar a comunidade de peixes nos primeiros quilômetros a jusante de 12 usinas hidrelétricas do Alto Paraná, observaram que as mesmas foram dominadas por poucas espécies, sendo o mandi a espécie dominante em metade das usinas analisadas. Embora em ambientes naturais a abundância não seja igualmente distribuída entre as espécies, sendo a maioria considerada rara (Dewdney, 2003), essa tendência se acentua em ambientes alterados (Agostinho *et al.*, 2007).

Mais indivíduos foram capturados na estação chuvosa do que na seca. Loures, Pompeu (2012) e Prado *et al.* (2016), por exemplo, também observaram maior quantidade de peixes no canal de fuga da usina hidrelétrica de Três Marias na estação chuvosa. A maior abundância no período chuvoso pode estar relacionada ao aumento do nível da água, principalmente em ambientes naturais, pela ampliação do espaço vital, aumento na disponibilidade de abrigo e alimento e elevação da produtividade do corpo de água. O aumento do nível da água também afeta as relações de competição e predação da comunidade (Lowe-McConnell, 1987). Apesar do nível da água do ambiente amostrado ser controlada pela usina hidrelétrica, a dinâmica

sazonal da abundância das espécies não foi eliminada. Possivelmente, em ambientes naturais essa diferença sazonal seja ainda mais acentuada (Souza *et al.*, 2016). Como os peixes são ectotérmicos, outra suposição seria a de que a temperatura mais alta dessa época aumente a atividade dos bichos e facilite sua captura, principalmente pelo método de captura passivo.

A rede de emalhar foi o petrecho de pesca mais adequado para amostrar a comunidade de peixes a jusante da UHE Amador Aguiar II. Além de ter capturado o maior número de exemplares, ela forneceu valores de riqueza, diversidade e equitabilidade bem superiores aos dos demais petrechos, além de menor valor de dominância. Por isso, rede de emalhar é um dos métodos mais comuns para estudos de ictiofauna (Murphy, Willis, 1996). Além de ser menos seletivo, não depende tanto da habilidade do coletor como o anzol e a tarrafa.

A abundância das espécies de peixes foi influenciada por algumas das variáveis abióticas analisadas. Mais indivíduos de *P. maculatus*, espécie dominante no estudo, foram capturados em maiores precipitações e temperaturas da água. Temperatura e precipitações mais elevadas são condições típicas da estação chuvosa, quando ocorrem as desovas dessa espécie (Dei Tos *et al.*, 2002). Na estação seca, quando a precipitação e a temperatura da água são menores, a maior transparência da água facilita o uso do substrato por iliófagos, como os cascudos (Dudgeon, 2008). A correlação negativa observada entre a abundância de *Hypostomus* spp. e *P. pirinampu* pode, no entanto, estar relacionada a um artefato de técnica. Mais indivíduos foram capturados por aumento da eficiência do petrecho e não por causa da abundância.

## **7 Conclusões**

Os dados apresentados nesse trabalho indicam que o trecho estudado do rio Araguari a jusante da UHE Amador Aguiar II abriga parcela relevante da ictiofauna da bacia do rio

Araguari, apesar da pequena área amostrada. No entanto, poucas espécies são migradoras, demonstrando sua raridade no ambiente e, possivelmente, no restante da bacia, reflexo do ambiente alterado por barragens em cascata. A comunidade de peixes do local é dominada por poucas espécies, assim como ocorre em reservatórios, e *P. maculatus* é a espécie mais comum. A rede de emalhar é o petrecho de pesca mais adequado para amostrar a comunidade de peixes, corroborando ser um dos métodos mais comuns para estudos de ictiofauna. Mais indivíduos são capturados na estação chuvosa, como ocorre em ambientes naturais, e a precipitação e a temperatura da água, inclusive, estão relacionadas à abundância de *P. maculatus*.

## 8 Referências Bibliográficas<sup>2</sup>

Agostinho AA, Júlio HF, Jr., Borghetti JR. Considerações sobre os impactos dos represamentos na ictiofauna e medidas para sua atenuação. Um estudo de caso: reservatório de Itaipu. Revista UNIMAR. 1992; 14(suplemento): 89-107.

Agostinho AA, Gomes LC, Suzuki HI, Júlio HF, Jr. Migratory fishes of the upper Paraná River basin, Brazil. In: Carolsfeld J, Harvey B, Ross C, Baer A, editors. Migratory fishes of South America: biology, fisheries and conservation status. Victoria: World Fisheries Trust/IDRC/World Bank; 2003. p.19-98.

Agostinho AA, Gomes LC, Pelicice FM. Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil. Maringá: Eduem; 2007.

Agostinho AA, Pelicice FM, Gomes LC. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. Brazilian Journal of Biology. 2008; 68 (4, Suppl.):1119-1132. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000500019>

Andrade F, Prado IG, Loures RC, Godinho AL. Evaluation of techniques used to protect tailrace fishes during turbine maneuvers at Três Marias Dam, Brazil. Neotropical Ichthyology. 2012; 10(4):723-730. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252012000400005>

Buckup PA, Menezes NA, Ghazzi MS, editores. Catálogo das espécies de peixes de água doce do Brasil. Rio de Janeiro: Museu Nacional; 2007. (Série Livros; 23).

Dajoz R. Ecologia geral. São Paulo: Vozes e Edusp; 1983.

---

<sup>2</sup> Referências de acordo com normas da revista Neotropical Ichthyology.

Dei Tos C, Barbieri G, Agostinho AA, Gomes LC, Suzuki HI. Ecology of *Pimelodus maculatus* (Siluriformes) in the Corumbá reservoir, Brazil. *Cybium*. 2002; 26(4):275-282.

Dewdney AK. The stochastic community and the logistic-J distribution. *Acta Oecologica*. 2003; 24(5-6):221-229. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2002.12.001>

Dudgeon D. Tropical stream ecology. Oxford: Elsevier; 2008.

Eschmeyer WN, Fong JD Species by family/ subfamily in the Catalog of Fishes. [Electronic version]. San Francisco (CA): California Academy of Sciences; 2016 [01/07/2016]. Disponível em:  
<http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/SpeciesByFamily.asp>

Froese R, Pauly D, editors. FishBase. [World Wide Web electronic publication]. Penang (MA), Rome: FAO; 2016 [01/07/2016]. Disponível em: <http://www.fishbase.org>

Graça WJ, Pavanelli da CS. Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes. Maringá: Eduem; 2007.

Godinho AL, Fonseca MT, Araújo LM. The ecology of predator fish introductions: the case of Rio Doce valley lakes. In: Pinto-Coelho RM, Giani A, Von Sperling E, editors. Ecology and human impact on lakes and reservoirs in Minas Gerais, with special reference to future development and management strategies. Belo Horizonte: Segrac; 1994. p.77-83.

Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001 [01/07/2016]; 4(1):9. Disponível em: [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm).

Langeani F, Castro RMC, Oyakawa OT, Shibatta OA, Pavanelli CS, Casatti L. Diversidade da ictiofauna do Alto Paraná: composição atual e perspectivas futuras. *Biota Neotropica* [série da internet]. 19/10/2007 [01/07/2016]; 7(3):181-197. Disponível em:  
<http://www.biotaneotropica.org.br/v7n3/pt/abstract?article+bn03407032007>  
<https://doi.org/10.1590/S1676-06032007000300020>

Langeani F, Rêgo ACL. Guia ilustrado dos peixes da bacia do rio Araguari. Uberlândia: Grupo de Mídia Brasil Central; 2014.

Loures RC, Pompeu PS. Temporal variation in fish community in the tailrace at Três Marias Hydroelectric Dam, São Francisco River, Brazil. *Neotropical Ichthyology*. 2012; 10(4):731-740. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252012000400006>

Loures RC, Godinho AL, organizadores. Avaliação de risco de morte de peixes em usinas hidrelétricas. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais; 2016. (Série Peixe Vivo; 5).

Loures R.C., Godinho A.L., Silva R.J., Andrade F.R., Rêgo A.C.L, Carvalho M.M. *et al.* Metodologia para avaliação de risco de morte de peixes em usinas hidrelétricas. In: Loures RC, Godinho AL, organizadores. Avaliação de risco de morte de peixes em usinas hidrelétricas. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais; 2016. p.37-70 (Série Peixe Vivo; 5).

Lowe-McConnell RH. Ecological studies in tropical fish communities. Cambridge: Cambridge University Press; 1987. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511721892>

Machado ABM, Drummond GM, Paglia AP, editores. Livro Vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção. 1º edição. Brasília: MMA e Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas; 2008.

Maia BP, Ribeiro SMF, Bizzotto PM, Vono V, Godinho HP. Reproductive activity and recruitment of the yellow-mandi *Pimelodus maculatus* (Teleostei: Pimelodidae) in the Igarapava Reservoir, Grande River, Southeast Brazil. Neotropical Ichthyology. 2007; 5(2):147-152. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252007000200008>

McCartney MP, Sullivan C, Acreman MC. Ecosystem impacts of large dams. Contributing Paper to WCD, Prepared for Thematic Review II.1: Dams, ecosystem functions and environmental restoration; 2001.

Murphy DW, Willis BR. Fisheries techniques. Bethesda: American Fisheries Society; 1996.

Pelicice FM, Agostinho AA. Fish fauna destruction after the introduction of a non-native predator (*Cichla kelberi*) in a Neotropical reservoir. Biological Invasions. 2009; 11:1789-1801. <https://doi.org/10.1007/s10530-008-9358-3>

Petrere M Jr. Fisheries in large tropical reservoirs in South América. Lakes & Reservoirs: Research and Management. 1996; 2:111-133. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1770.1996.tb00054.x>

Prado IG, Andrade F, Monteiro AB, Sousa RCR, Godinho AL. Influência de fatores abióticos na captura e condição de peixes imediatamente a jusante da usina hidrelétrica de Três Marias, rio São Francisco. In: Loures RC, Godinho AL, organizadores. Avaliação de risco de morte de peixes em usinas hidrelétricas. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais; 2016. p.231-245 (Série Peixe Vivo; 5).

R Development Core Team. R: a language and environment for statistical computing [Computer software manual - Internet]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing; 2017. Disponível em: <http://www.r-project.org/>

Rêgo ACL, Prado IG, Silva TT, Loures RC, Silva RJ, Monteiro AB, Godinho AL. Peixes afetados em manobras de usinas hidrelétricas. In: Loures RC, Godinho AL, organizadores. Avaliação de risco de morte de peixes em usinas hidrelétricas. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais; 2016. p.71-96 (Série Peixe Vivo; 5).

Reis RE, Kullander SO, Ferraris CJ, Jr., organizers. Check list of the freshwater fishes of South and Central America. Porto Alegre: Edipucrs; 2003.

Souza RCR, Rodrigues RR, Rêgo ACL, Araújo AR, Prado IG, Carvalho MM *et al.* Diversidade de peixes a jusante de usinas hidrelétricas. In: Loures RC, Godinho AL, organizadores. Avaliação de risco de morte de peixes em usinas hidrelétricas. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais; 2016. p.97-128 (Série Peixe Vivo; 5).

Ter Braak CJF. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*. 1986; 67(5):1167-1179. <https://doi.org/10.2307/1938672>

Vieira F, Alves CBM, Pompeu PS, Vono V. Peixes ameaçados de Minas Gerais. In: Drummond GM, Machado ABM, Martins CS, Mendonça MP, Stehmann JR, organizadores. Listas vermelhas das espécies da fauna e flora ameaçadas de extinção em Minas Gerais. 2ª edição. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas; 2008.

Vono V. Efeitos da implantação de duas barragens sobre a estrutura da comunidade de peixes do rio Araguari (Bacia do Alto Paraná, MG). [PhD Thesis]. Belo Horizonte, MG: Universidade Federal de Minas Gerais; 2002.

Zawadzki CH, Weber C, Pavanelli CS. Two new species of *Hypostomus* Lacépède (Teleostei: Loricariidae) from the upper rio Paraná basin, Central Brazil. *Neotropical Ichthyology*. 2008; 6(3):403-412. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252008000300013>

Weber C. Subfamily Hypostominae (Armored catfishes). In: Reis RE, Kullander SO, Ferraris C.J, Jr., organizers. Check list of the freshwater fishes of South and Central America. Porto Alegre: Edipucrs; 2003. p.432-446.

## **CAPÍTULO 2: BIOLOGIA DO MANDI (*Pimelodus maculatus*) A JUSANTE DA USINA HIDRELÉTRICA AMADOR AGUIAR II**

### **1 Resumo**

O mandi, *Pimelodus maculatus*, é frequentemente uma das espécies dominantes da comunidade de peixes ao sopé de usinas hidrelétricas e uma das mais susceptíveis a morte durante a operação e manutenção de usinas hidrelétricas no sudeste brasileiro. No presente capítulo, investiguei a biologia e ecologia do mandi nos primeiros 300 m a jusante da usina hidrelétrica Amador Aguiar II (rio Araguari, MG), avaliando a captura por diferentes petrechos de pesca, aspectos relacionados ao comprimento, reprodução, condição corporal e dieta, além dos fatores abióticos que influenciam as capturas. Coletei os mandis bimestralmente, entre junho de 2010 e junho de 2013, com rede de emalhar, anzol e tarrafa. Capturei 2.694 mandis durante o estudo, dos quais 70,1% foram apanhados nas redes de emalhar, 22,3% no anzol e 7,3% na tarrafa. Mais indivíduos foram capturados na estação chuvosa, independente do petrecho de pesca. As fêmeas foram maiores que os machos e houve diferença no tamanho dos mandis capturados pelos três petrechos de pesca. Fêmeas de tamanhos maiores foram mais frequentes na estação seca. Em ambos os sexos houve o predomínio de indivíduos em repouso. Os valores médios mais altos do índice gonadossomático foram registrados na estação chuvosa. Houve correlação entre o índice gonadossomático médio e a precipitação do mês da campanha para fêmeas e machos. O fator de condição foi maior em peixes em não repouso, na estação chuvosa e nos peixes com mais gordura acumulada. O mandi apresentou estratégia alimentar generalista, alimentando-se de itens de origem animal e vegetal. As frequências das categorias alimentares diferiram significativamente entre as estações seca e chuvosa, mas não entre sexos e tamanhos. A abundância do mandi se correlacionou com a temperatura da água, a precipitação do mês da campanha, a precipitação do dia de amostragem somada à dos 6 dias anteriores e a precipitação do dia de amostragem somada à dos 14 dias anteriores. Como o mandi é uma das espécies mais afetadas pela operação da usina hidrelétrica Amador Aguiar II, não recomendo a manutenção de unidades geradoras na estação chuvosa, pois há risco de morte de mais peixes nesse período.

Palavras-chave: anzol, rede de emalhar, rio Araguari, tarrafa, variáveis abióticas.

### **2 Abstract**

Mandi *Pimelodus maculatus* is frequently one of the dominant species on fish communities immediately downstream of dams. It is one of the most impacted species from the operation and maintenance of hydropower plants on Southeastern Brazil. In the present chapter I investigated the biology and ecology of mandi in the first 300 m downstream of the Amador Aguiar II Dam (Araguari River, Minas Gerais state) evaluating the capture by different fishing gears, aspects related to the length, reproduction, body condition and diet, besides abiotic factors that influenced the captures. Mandi were sampled bimonthly from June 2010 to

June 2013 with gill net, hook and cast net. Overall I captured 2,694 individuals during the study, from which 70.1% were caught by gill net, 22.3% by hook and 7.3% by cast net. More individuals were captured in the rainy season, independently of the fishing gear. Females were larger than males and there was a difference on the size of mandi captured by distinct fishing gears. Larger females were more frequent in the dry season. Sexually resting individuals predominated in both sexes. The higher mean values of gonadosomatic index were observed in the rainy season. The mean gonadosomatic index was correlated with rainfall of the respective sampling month both for females and males. The condition factor was higher in sexually non-resting fishes, in the rainy season and on fishes with more accumulated fat. Mandi presented a generalist feeding strategy, consuming items of animal and vegetal origin. The frequencies of feeding categories differed significantly between dry and rainy season, but not between sexes or sizes. The abundance of mandi was correlated with the water temperature, the rainfall of the respective sampling month, the rainfall of the sampling day summed to the rainfall of the six previous days and rainfall of the sampling day summed to the 14 previous days. Since mandi is one of the most affected fish species from the Amador Aguiar II Dam, I do not recommend the maintenance of generator units in the rainy season, since there is risk of death for more fishes in this period.

Keywords: hook, gill net, Araguari River, cast net, abiotic variables.

### 3 Introdução

O mandi (*Pimelodus maculatus*) é nativo das bacias dos rios Paraná e São Francisco (Reis *et al.*, 2003), sendo encontrado tanto em ambientes lênticos como em lóticos (Agostinho *et al.*, 1995). É uma espécie comum em reservatórios (Dei Tos *et al.*, 2002, Santos *et al.*, 2010) e a jusante de barramentos (Santos *et al.*, 2013), e importante na pesca profissional, amadora e de subsistência (Braga, Gomiero, 1997; Peixer, Petreire Jr., 2009). Apresenta porte médio, podendo alcançar até 360 mm de comprimento padrão (Langeani, Rêgo, 2014). As grandes variações cromáticas e até estruturais presentes nos táxons do gênero *Pimelodus* impõem dificuldades para uma revisão sistemática do grupo (Ribeiro, Lucena, 2006). A descrição recente de novas espécies antes conhecidas como *P. maculatus* (e.g. Souza-Filho, Shibatta, 2007), por sua vez, indica que possivelmente a espécie não seja uma unidade taxonômica homogênea.

A condição migratória do mandi é controversa, podendo ser considerado migrador (Agostinho *et al.*, 2003; Arcifa, Esguicero, 2012) ou não (Oldani *et al.*, 2007). Ele tem desova

parcelada durante a temporada reprodutiva, produz ovócitos pequenos e de rápido desenvolvimento e ainda necessita de menor trecho lótico para desovar, características essas que estariam relacionadas ao seu sucesso em reservatórios (Agostinho *et al.*, 2003, 2007). No entanto, Braga (2001), Dei Tos *et al.* (2002) e Maia *et al.* (2007) relatam que o mandi não desova em áreas lênticas, movendo-se para áreas lóticas durante o período reprodutivo. A época da desova varia entre estudos, podendo se concentrar na primavera e verão (Lima-Junior, Goitein, 2006) ou, até mesmo, ocorrer durante o ano inteiro (Bazzoli *et al.*, 1997).

O mandi apresenta ampla plasticidade na dieta. Entre os itens alimentares consumidos estão insetos, outros invertebrados, vegetais, detritos e pequenos peixes (Lobón-Cerviá, Bennemann, 2000; Agostinho *et al.*, 2003; Hahn *et al.*, 2004). A espécie tem táticas alimentares sazonais e ambientais específicas, dependendo da disponibilidade de recursos (Lobón-Cerviá, Bennemann, 2000). A maior atividade alimentar ocorre antes do início da maturação gonadal e durante o outono e o inverno (Basile-Martins *et al.*, 1986; Lolis, Andrian, 1996; Lima-Junior, Goitein, 2004).

O mandi é, frequentemente, uma das espécies dominantes da comunidade de peixes presente imediatamente a jusante de usinas hidrelétricas (Andrade *et al.*, 2012; Souza *et al.*, 2016) e uma das mais susceptíveis a morte durante a operação e manutenção de usinas hidrelétricas (Andrade *et al.*, 2012; Rêgo *et al.*, 2016). Na usina hidrelétrica (UHE) Amador Aguiar II (rio Araguari, MG), a espécie é uma das mais comuns a jusante (Capítulo 1) e também uma das mais afetadas pelas manobras de unidades geradoras. Por esse motivo, o objetivo deste trabalho foi investigar a biologia e ecologia do mandi a jusante da UHE Amador Aguiar II, avaliando a captura por diferentes petrechos de pesca, aspectos relacionados ao comprimento, reprodução, condição corporal e dieta, além dos fatores abióticos que influenciam as capturas.

Especificamente os objetivos foram: (i) determinar a variação temporal da abundância do mandi; (ii) testar a existência de correlação entre o número de mandis capturados pelos três petrechos de pesca; (iii) determinar a distribuição das frequências de cada estágio de maturação gonadal ao longo do ano; (iv) testar a existência de correlação entre o índice gonadossomático e a precipitação da campanha; (v) verificar se o fator de condição é influenciado pelo sexo, estágio de maturação gonadal e de gordura celomática; (vi) verificar se o comprimento padrão é influenciado pelo sexo e petrecho de pesca; (vii) identificar os itens alimentares consumidos pelo mandi; (viii) testar a existência de diferença significativa nas frequências das categorias alimentares entre sexos, estações e tamanhos e (ix) verificar se a abundância do mandi é influenciada por fatores abióticos (oxigênio dissolvido, temperatura e transparência da água, vazões turbinada e defluente).

Parte das informações geradas poderá auxiliar na redução do risco de morte do mandi durante a operação e manutenção dessa usina, ao indicar, por exemplo, o período mais adequado para realização das manutenções, que seria aquele de menor concentração da espécie nas proximidades da usina.

## **4 Material e Métodos**

### **4.1 Captura de peixes**

Realizei 19 campanhas bimestrais de junho de 2010 a junho de 2013. Amostrei o trecho do rio Araguari, nos primeiros 300 m a jusante da UHE Amador Aguiar II, com rede de emalhar, anzol e tarrafa. A cada campanha, utilizei três baterias de redes, cada uma contendo uma rede das malhas 3, 4, 6, 7 e 8 cm entre nós opostos. O esforço empregado foi de 403,8 m<sup>2</sup> de redes por campanha. As redes foram armadas ao final da tarde de um dia e

retiradas na manhã seguinte, ficando armadas por cerca de 14 h. Usei tarrafa de 2,7 m de altura e malha 5 cm entre nós opostos. Quarenta lances da tarrafa foram efetuados por pescador profissional em um dia, 20 de manhã e 20 à tarde, por campanha. A pesca de anzol foi, a cada campanha, realizada em um único dia no horário diurno por pescador profissional durante 6 h ou por dois pescadores por 3 h. Cada pescador utilizou um anzol número 8 e minhoca como isca.

Fixei em formol 10% todos os mandis capturados nas redes de emalhar, os 30 primeiros apanhados no anzol e os 50 primeiros na tarrafa. Devolvi ao rio os demais mandis vivos capturados no anzol e tarrafa, e descartei aqueles em decomposição nas redes de emalhar. Quantifiquei todos os mandis capturados nos três petrechos de pesca, incluindo os soltos e descartados. Nos indivíduos fixados, determinei o comprimento padrão (*CP*, mm), o peso corporal (*PC*, g) e o peso das gônadas (*PG*, g) em balança semi-analítica. Determinei também, macroscopicamente, o sexo e o estágio de maturação gonadal (*EMG*). Classifiquei as gônadas em repouso e não repouso. O estágio repouso englobou indivíduos jovens e sem sinais de gametogênese, enquanto os em não repouso, todas as demais fases do desenvolvimento gonadal. Classifiquei o estágio de gordura celomática (*EGC*) em 0 (sem gordura), 1 (pouca gordura), 2 (gordura mediana) e 3 (muita gordura). Categorizei o estômago segundo o estágio de repleção estomacal (*ERE*) em 0 (estômago vazio), 1 (até 50% cheio), 2 (mais de 50% cheio) e 3 (totalmente cheio).

Não obtive dados de sexo, *EMG*, *EGC*, *ERE* e de dieta dos indivíduos coletados em junho de 2012 (campanha 14). Esses indivíduos foram destinados a um estudo taxonômico precisando se manter íntegros para tal.

## 4.2 Dados abióticos

Medi o oxigênio dissolvido (*OD*) e a temperatura da água com o oxímetro YSI 550A e a transparência da água com o disco de Secchi entre 8 e 11 h. Obtive dados de precipitação diária, vazão turbinada (*Qt*) e vazão defluente (*Qd*), que é a soma das vazões vertida e turbinada, no sistema de telemetria e monitoramento hidrometeorológico da Cemig. Consultei a precipitação dos meses das campanhas realizadas na estação de climatologia da Universidade Federal de Uberlândia, que é a mais próxima da área de estudo. Obtive, da mesma estação, dados da precipitação média mensal de 1981 a 2010 para definir as estações seca (abril a setembro) e chuvosa (outubro a março). A estação chuvosa foi responsável por 86,4% da precipitação anual.

## 4.3 Reprodução

Para análises de reprodução, usei os peixes capturados nos três petrechos de pesca e considerei apenas indivíduos acima do tamanho de primeira maturação gonadal de acordo com Suzuki *et al.* (2004). Segundo os autores, a primeira maturação gonadal ocorre com 158 mm *CP* nas fêmeas e 147 mm *CP* nos machos. Determinei a distribuição bimestral das frequências de cada *EMG* por sexo ao longo do ano. Calculei o índice gonadossomático (*IGS*) pela equação  $PG.PC^{-1}.100$  (Vazzoler, 1996). Determinei também a variação bimestral dos valores médios do *IGS* para cada sexo. Usei correlação de Pearson para testar a existência de correlação entre a média do *IGS* da campanha e a precipitação do mês da campanha, para cada sexo.

#### 4.4 Fator de condição

Calculei o fator de condição de Fulton ( $K$ ) pela equação  $K = 10^5.PC.CP^{-3}$  (Pope, Kruse, 2007) para os peixes amostrados pelos três petrechos de pesca. Utilizei modelos lineares generalizados (GLM) para verificar a influência dos fatores sexo,  $EMG$ ,  $EGC$  e estação sobre o  $K$ . Inicialmente, o modelo completo continha todos os fatores e suas interações. Testei o modelo contra o modelo nulo (variável resposta explicada pelo acaso) utilizando a análise de *deviance* e o teste  $F$ . Caso o modelo fosse significativo, as variáveis com maior valor de  $P$  foram retiradas uma a uma até que apenas aquelas significativas permanecessem. Analisei a adequação do modelo graficamente pelo envelope de probabilidade dos resíduos em relação à distribuição de probabilidade escolhida (distribuição normal) e da análise de *deviance* residual (Crawley, 2007).

#### 4.5 Tamanho

Utilizei GLM para verificar a influência dos fatores sexo e petrecho de pesca no  $CP$  dos mandis. Para os peixes capturados nas redes de espera, usei o teste de duas amostras de Kolmogorov-Smirnov para testar diferenças nas distribuições de frequências do  $CP$  entre estações. Fiz isso separadamente para cada sexo.

#### 4.6 Dieta

O conteúdo estomacal total foi pesado em balança semi-analítica. Os itens alimentares foram identificados até o menor nível taxonômico possível ao microscópio estereoscópio e o percentual do peso de cada item presente no estômago foi estimado. Agrupei os 47 itens alimentares encontrados em 10 categorias alimentares (Tabela 1).

**TABELA 1** – Itens alimentares componentes de cada categoria alimentar.

<b>Categoria alimentar</b>	<b>Item alimentar</b>
Alga	Alga, algas filamentosas, fitoplâncton.
Detrito	Detrito, sedimento.
Inseto imaturo	Larvas (Chironomidae, Diptera, Hydropsychidae, Lepidoptera, Trichoptera), ninfas (Libellulidae), pupas (Diptera, Chironomidae), larvas e pupas de insetos não identificados.
Inseto adulto	Coleoptera, Diptera, Ephemeroptera, Hemyptera, Hymenoptera, Odonata, Orthoptera, Trichoptera, fragmentos de insetos não identificados.
Itens não identificados	Itens não identificados, inclusive material digerido.
Itens raros	Ácaro, Nematoda.
Molusco	Bivalvia, Hydrobiidae, Gastropoda, Mollusca.
Peixe	Escama, osso e peixe.
Vegetal	Bryophyta, macrófita, partes de vegetais não identificados (folha, fruto, vegetal, galho, inflorescência, semente).
Zooplâncton	Cladocera, Decapoda, Ostracoda, zooplâncton.

Determinei a porcentagem de estômagos em cada *ERE*. Analisei a estratégia alimentar pelo método gráfico de Costello (1990), modificado por Amundsen *et al.* (1996). Por esse método, informações sobre a ecologia trófica da população são obtidas através da relação gráfica entre a abundância específica ( $P_i$ ) e a frequência de ocorrência ( $F_i$ ) das categorias alimentares. A abundância específica foi calculada pela fórmula:  $P_i = (\sum S_i / \sum St_i) \times 100$ , onde  $S_i$  é o peso da categoria alimentar  $i$  no conteúdo estomacal e  $St_i$  é o peso total do conteúdo estomacal somente dos indivíduos com a categoria alimentar  $i$ . A frequência de ocorrência foi obtida pela equação:  $F_i = (N_i / N) \times 100$ , onde  $N_i$  é o número de indivíduos com a categoria alimentar  $i$  no estômago e  $N$  é o total de indivíduos com conteúdo estomacal.

Usei o qui-quadrado de independência ( $\chi^2$ ) para testar diferenças nas frequências das categorias alimentares entre sexos (macho e fêmea), estações (chuvosa e seca) e tamanhos (pequeno,  $CP \leq 200$  mm, e grande,  $CP > 200$  mm).

Excluí das análises as categorias alimentares ‘Itens não identificados’ e ‘Itens raros’, por não fornecerem informações conclusivas sobre a dieta da espécie. Usei nas análises de dieta os peixes amostrados pelos três petrechos de pesca, mas não considerei como item alimentar as minhocas encontradas nos estômagos dos mandis capturados com o anzol, uma vez que elas foram utilizadas como isca.

#### **4.7 Abundância e variáveis abióticas**

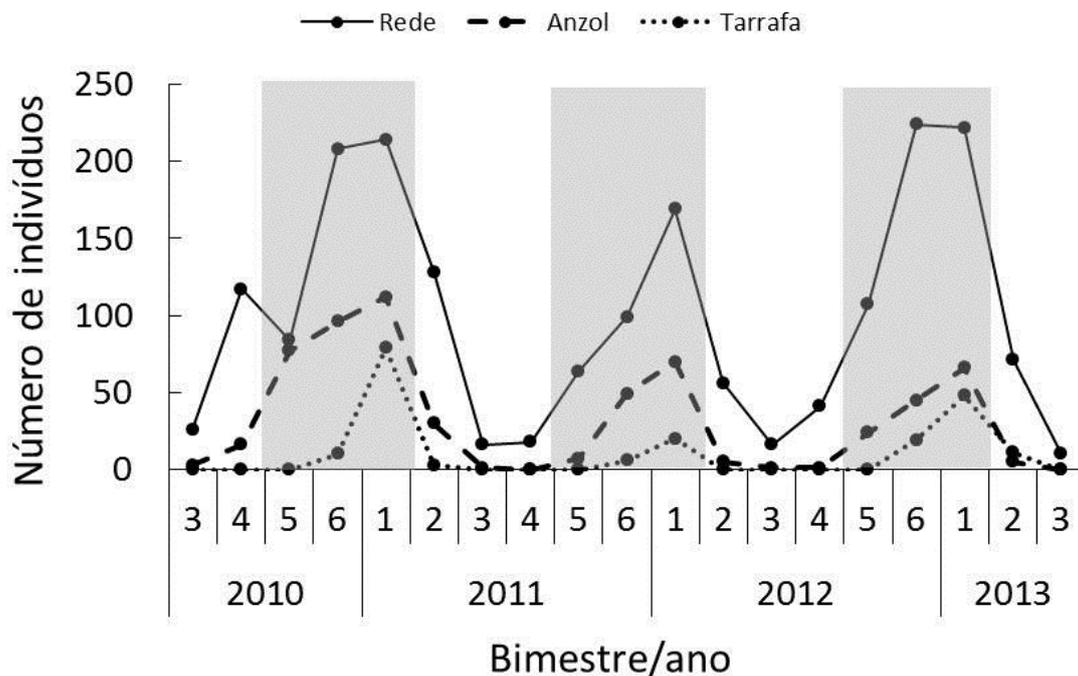
Determinei a correlação de Spearman entre a abundância (número de indivíduos) do mandi capturado nas redes de emalhar e as seguintes variáveis abióticas: *OD*, temperatura da água, transparência da água, precipitação do mês da campanha (*Chuva*), precipitação do dia da amostragem (*Chuva1*), precipitação do dia da amostragem somada à dos 2 dias anteriores (*Chuva3*), precipitação do dia da amostragem somada à dos 6 dias anteriores (*Chuva7*), precipitação do dia da amostragem somada à dos 14 dias anteriores (*Chuva15*), vazão turbinada do dia da amostragem ( $Q_{t1}$ ), vazão turbinada do dia da amostragem somada à dos 2 dias anteriores ( $Q_{t3}$ ), vazão turbinada do dia da amostragem somada à dos 6 dias anteriores ( $Q_{t7}$ ), vazão turbinada do dia da amostragem somada à dos 14 dias anteriores ( $Q_{t15}$ ), vazão defluente do dia da amostragem ( $Q_{d1}$ ), vazão defluente do dia da amostragem somada à dos 2 dias anteriores ( $Q_{d3}$ ), vazão defluente do dia da amostragem somada à dos 6 dias anteriores ( $Q_{d7}$ ) e vazão defluente do dia da amostragem somada à dos 14 dias anteriores ( $Q_{d15}$ ). Utilizei o dia de instalação das redes como referência para o cálculo das variáveis. Para as vazões turbinada e defluente, usei a média diária.

Testei a normalidade dos dados usando o teste de Shapiro-Wilk. As análises de *CP* e *K* foram realizadas no software R (R Development Core Team, 2017). Para as demais análises, utilizei o programa PAST (Hammer *et al.*, 2001). Usei nível de significância de 5% em todos os testes.

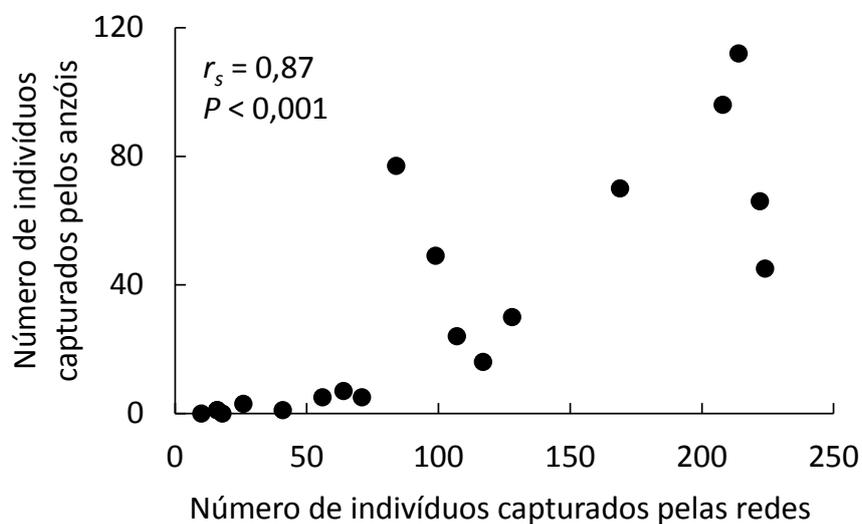
## **5 Resultados**

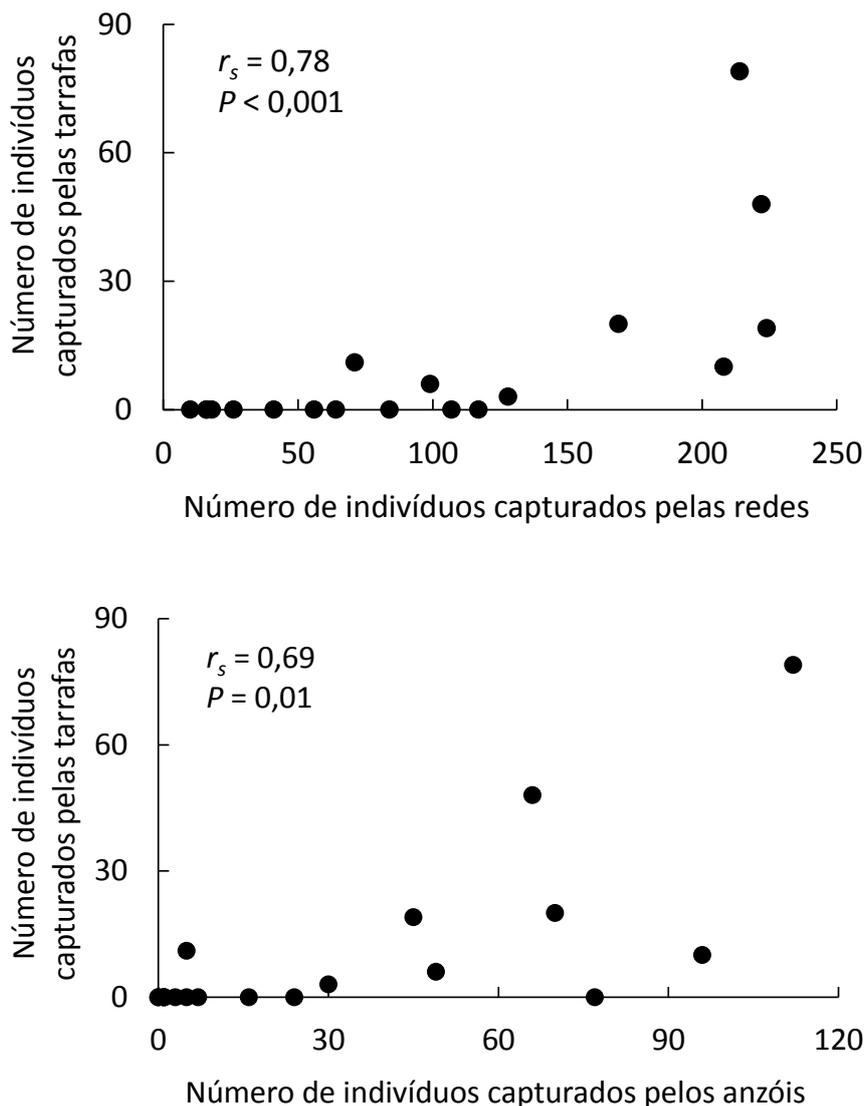
### **5.1 Captura por petrechos de pesca**

Capturei 2.694 mandis durante o estudo, dos quais 70,1% foram apanhados nas redes de emalhar, 22,3% no anzol e 7,3% na tarrafa. Mais indivíduos foram capturados na estação chuvosa, independente do petrecho de pesca (Figura 1). O número de mandis capturados no anzol e tarrafa acompanhou as variações temporais do número de mandis capturados nas redes de emalhar. Mandis só foram capturados com tarrafa nas campanhas em que ocorreram suas maiores capturas nas redes de emalhar e no anzol. Houve correlação significativa positiva entre o número de mandis capturados pelos três petrechos de pesca (Figura 2).



**FIGURA 1** – Variação temporal do número de mandis capturados por petrecho de pesca a jusante da UHE Amador Aguiar II. A área sombreada corresponde à estação chuvosa (outubro a março).



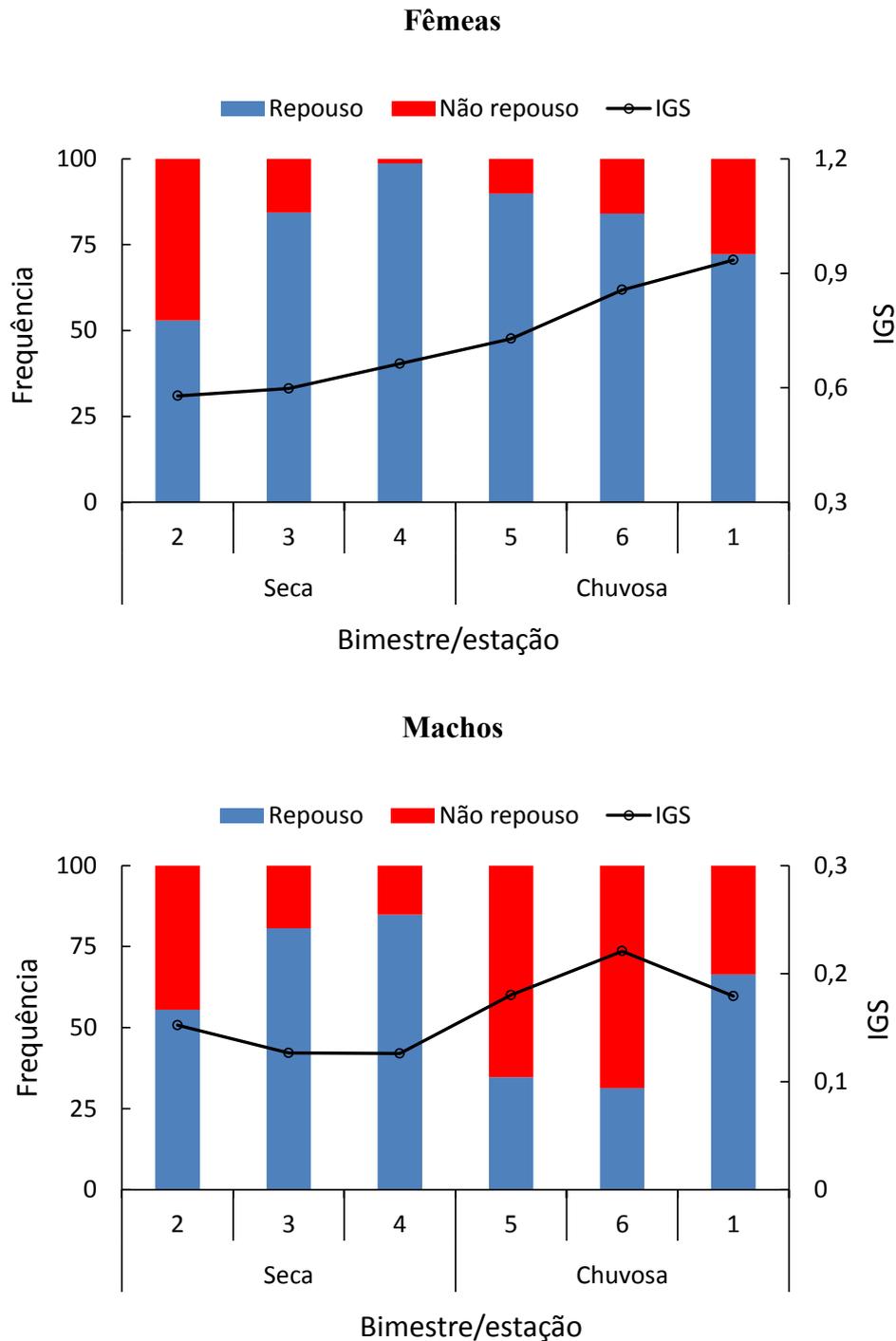


**FIGURA 2** – Correlação do número de mandis capturados entre três petrechos de pesca (anzol, rede de emalhar e tarrafa) a jusante da UHE Amador Aguiar II.

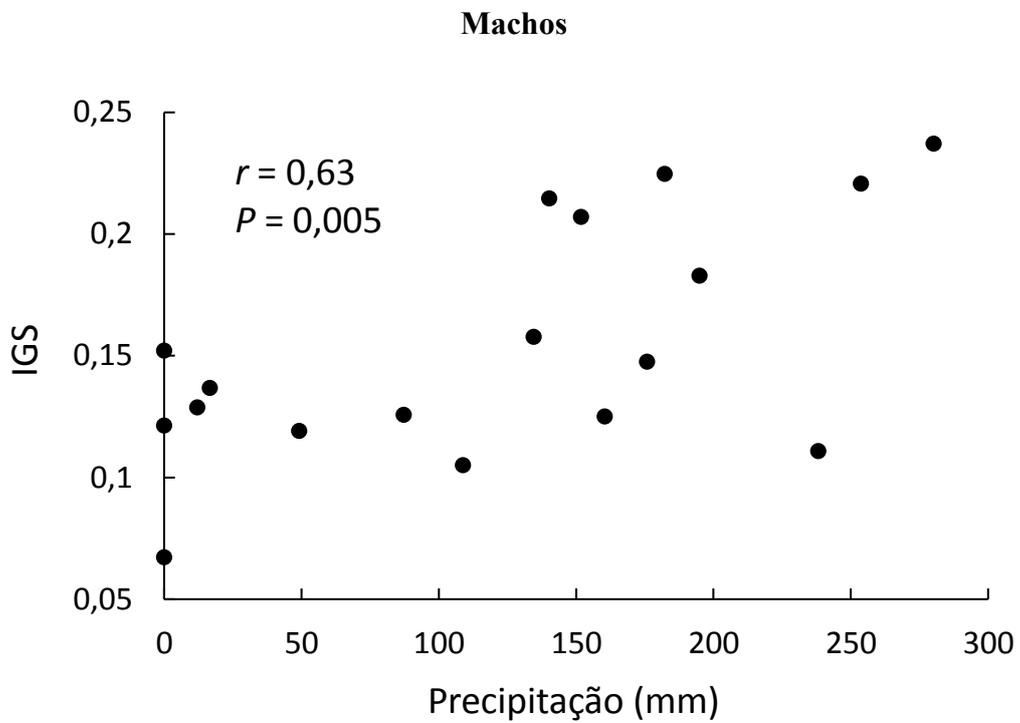
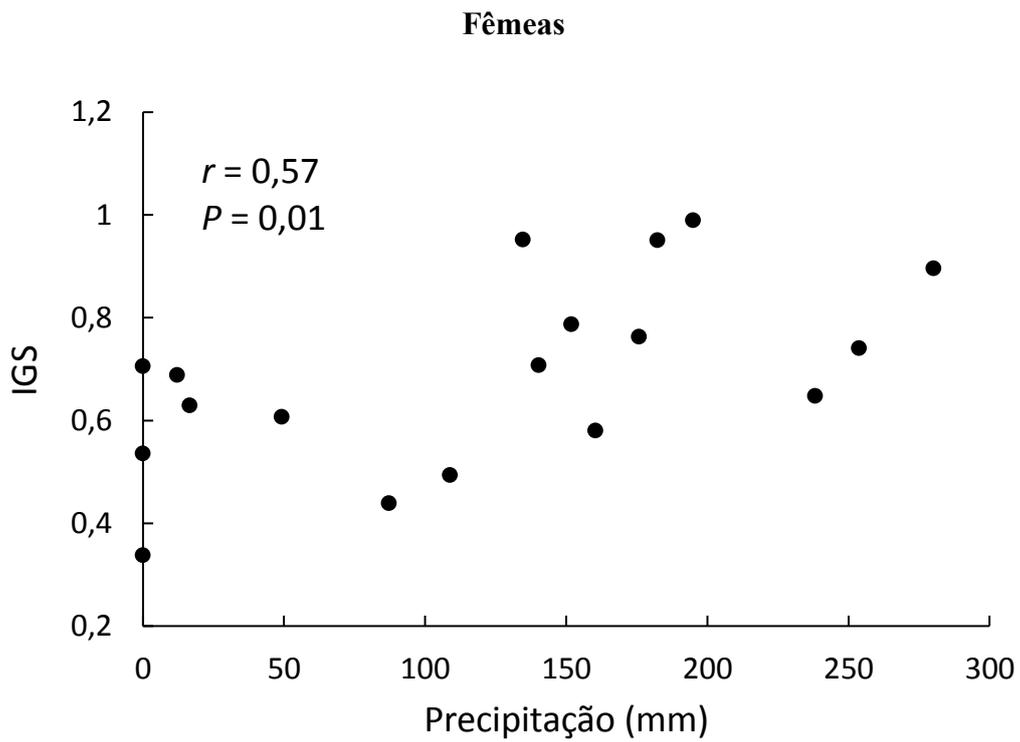
## 5.2 Reprodução

Determinei o *EMG* de 785 fêmeas e 551 machos. Foi possível calcular o *IGS* de 99,8% desses peixes. Em ambos os sexos, houve predomínio de indivíduos em repouso. Indivíduos em repouso ocorreram em todos os bimestres e superaram os em não repouso, com exceção dos dois últimos bimestres do ano para os machos (Figura 3). O *IGS* das fêmeas variou de 0,03 a 7,76 e dos machos de 0,01 a 0,76. Os valores médios mais altos do *IGS* foram

registrados nos bimestres do final e começo do ano, correspondentes à estação chuvosa. Houve correlação significativa positiva entre o *IGS* médio da campanha e a precipitação do mês da campanha para fêmeas e machos (Figura 4).



**FIGURA 3** – Frequência (%) dos estádios de maturação gonadal e índice gonadosomático (*IGS*) médio de fêmeas e machos de mandi a jusante da UHE Amador Aguiar II por bimestre/estação.



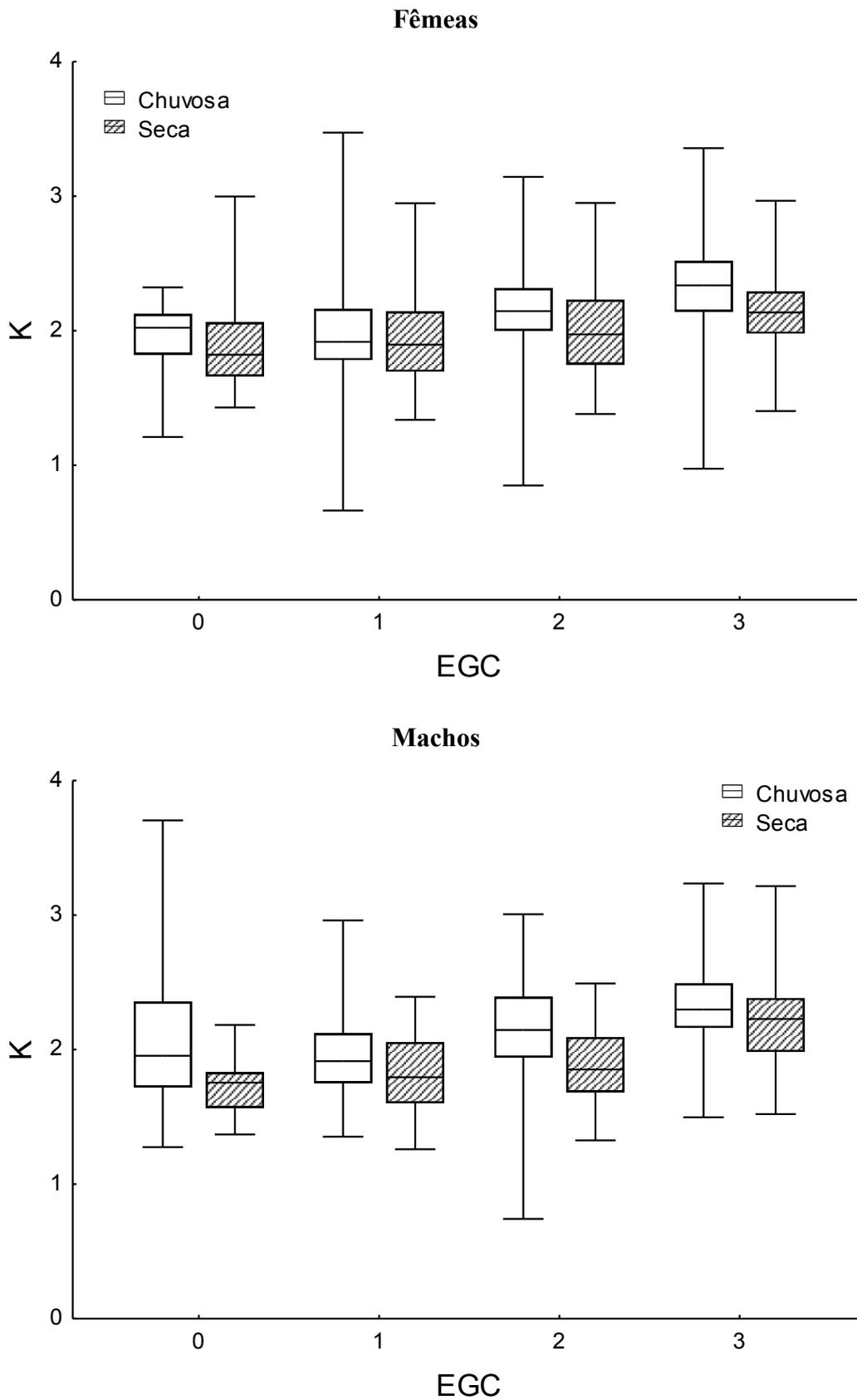
**FIGURA 4** – Índice gonadosomático (*IGS*) médio de fêmeas e machos de mandi a jusante da UHE Amador Aguiar II e precipitação do mês da campanha.

### 5.3 Fator de condição

A variação do  $K$  foi explicada no GLM pelos fatores  $EMG$ , estação,  $EGC$  e pelas interações ‘estação e  $EGC$ ’ e ‘sexo, estação e  $EGC$ ’ (Tabela 2). O  $K$  foi maior na estação chuvosa, em peixes em não repouso e com mais gordura acumulada ( $EGC$  2 e 3). Em relação às interações, os maiores valores de  $K$  em ambos os sexos ocorreram na estação chuvosa e em peixes com mais gordura acumulada e na estação chuvosa (Figura 5).

**TABELA 2** – Análise de variância do GLM do fator de condição em função do estágio de maturação gonadal ( $EMG$ ), estação, estágio de gordura celomática ( $EGC$ ) e interações. Modelo nulo com *deviance* de 156,42 e 1.319 graus de liberdade (GL).

Variável/Interação	GL	<i>Deviance</i>	GL residual	<i>Deviance</i> residual	<i>P</i>
$EMG$	1	0,43	1317	155,80	0,03
Estação	1	6,82	1316	148,97	<0,0001
$EGC$	3	22,77	1313	126,21	<0,0001
Estação* $EGC$	3	0,81	1310	125,39	0,03
Sexo*Estação* $EGC$	7	1,97	1303	123,42	0,004



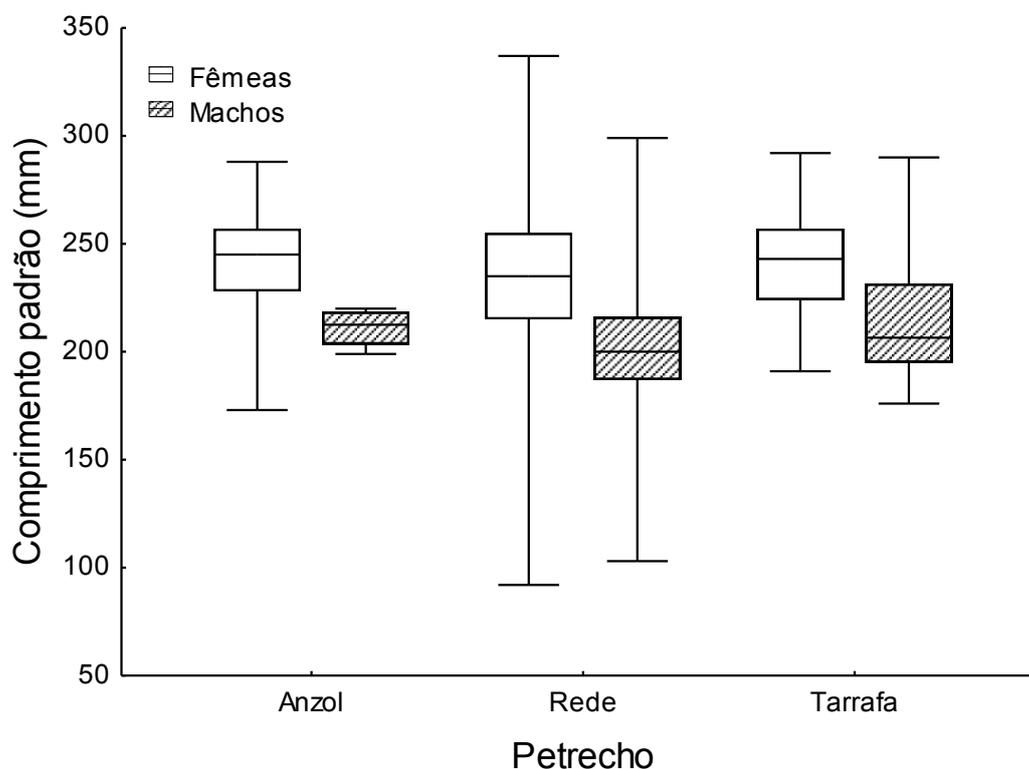
**FIGURA 5** – Mediana, intervalo interquartil e amplitude do fator de condição ( $K$ ) de fêmeas e machos de mandi nos diferentes estádios de gordura celomática ( $EGC$ ) nas estações chuvosa e seca.

## 5.4 Tamanho

A variação de *CP* foi explicada pelos dois fatores avaliados: sexo e petrecho de pesca (Tabela 3). As fêmeas foram maiores que os machos, independente do petrecho. Houve diferença no tamanho dos mandis capturados pelos três petrechos, embora tenha ocorrido grande sobreposição entre eles (Figura 6).

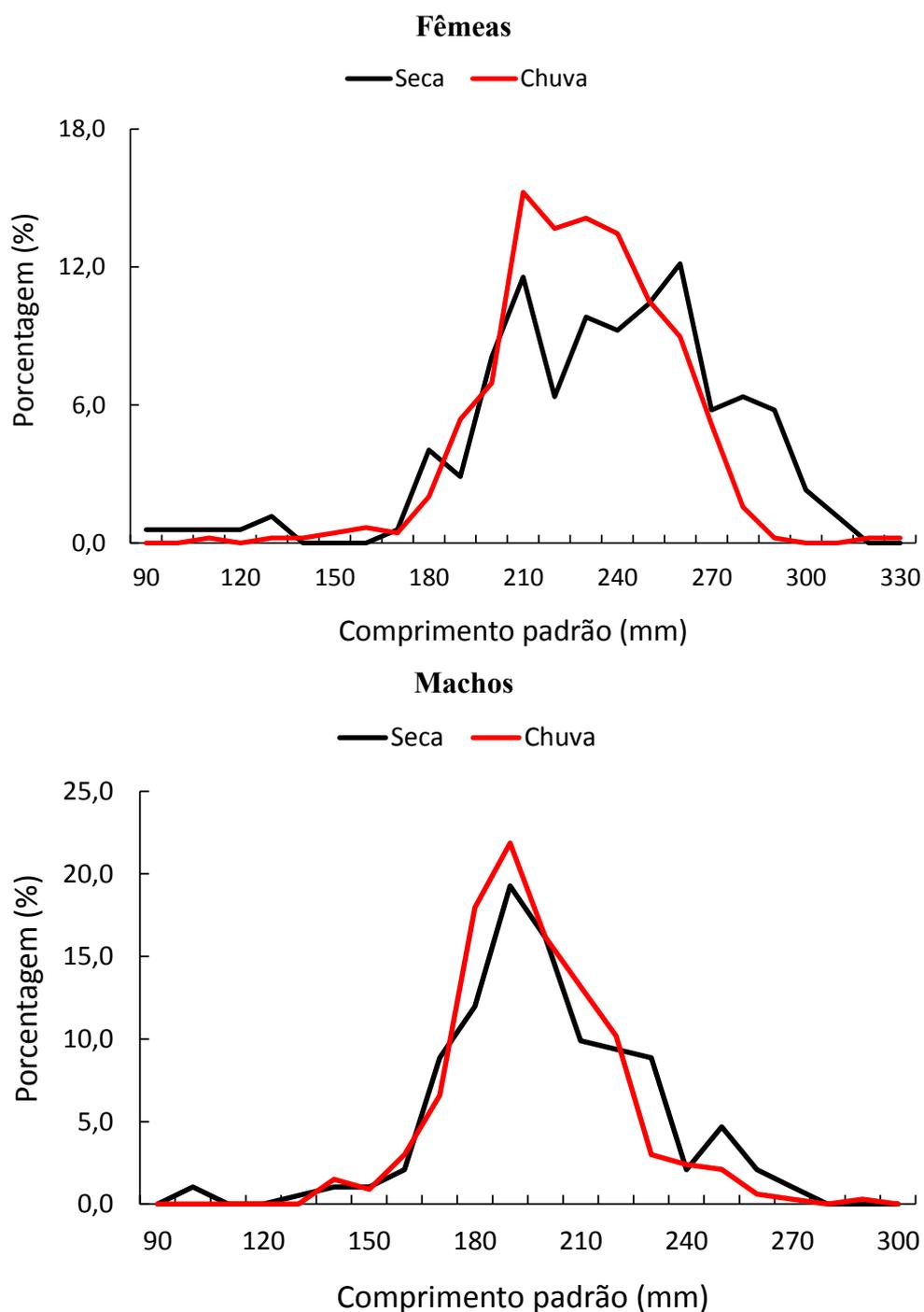
**TABELA 3** – Análise de variância do GLM do comprimento padrão em função do sexo e petrecho de pesca. Modelo nulo com *deviance* de 1370352 e 1.328 graus de liberdade (GL).

Variável	GL	<i>Deviance</i>	GL residual	<i>Deviance</i> residual	<i>P</i>
Sexo	1	358609	1327	1011743	< 0,0001
Petrecho	2	12996	1325	998747	0,0002



**FIGURA 6** – Mediana, intervalo interquartil e amplitude do comprimento padrão (mm) de mandis fêmeas e machos capturados a jusante da UHE Amador Aguiar II por petrecho de pesca.

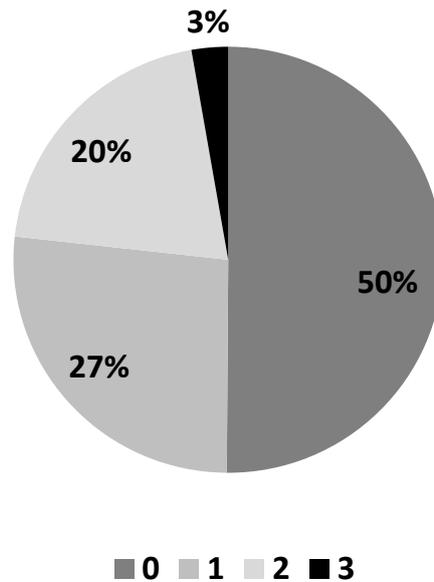
Capturei mais mandis de ambos os sexos na estação chuvosa. Fêmeas apresentaram diferenças significativas na distribuição de frequências do *CP* entre as estações chuvosa e seca (teste de duas amostras de Kolmogorov-Smirnov,  $P < 0,0001$ ), mas os machos não ( $P = 0,50$ ). Fêmeas de tamanhos maiores foram mais frequentes na estação seca (Figura 7).



**FIGURA 7** – Porcentagem de mandis capturados a jusante da UHE Amador Aguiar II por classe de comprimento padrão de fêmeas e machos nas estações seca e chuvosa.

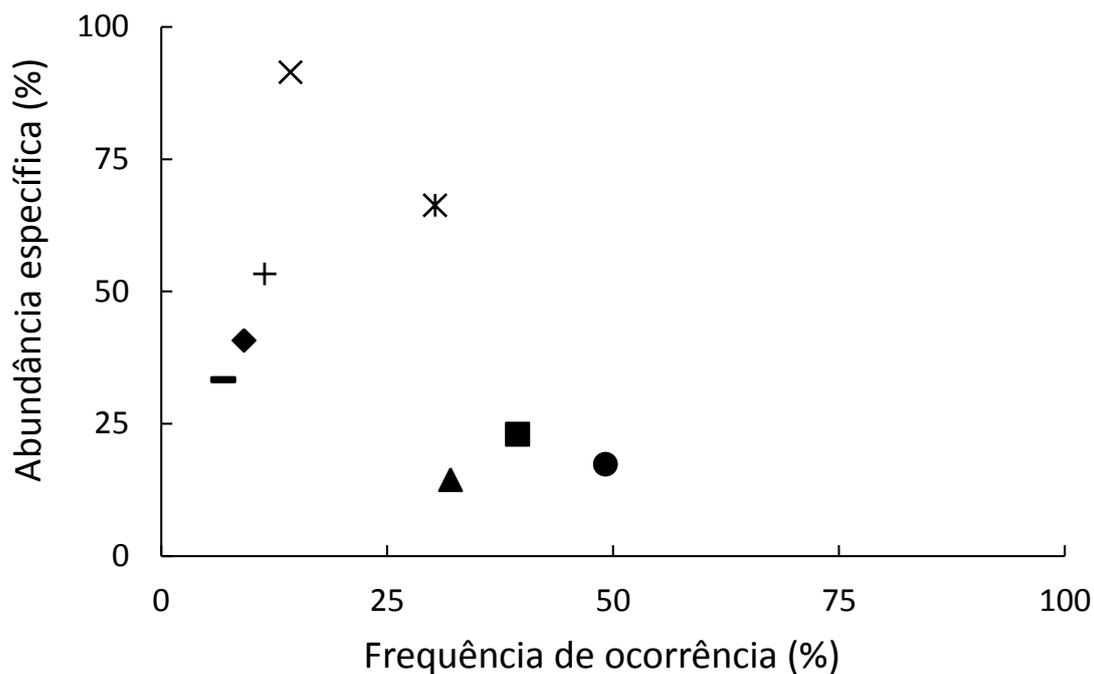
## 5.5 Dieta

Obtive dados do *ERE* de 948 indivíduos. A maioria deles (50%) estava com o estômago vazio (0). Apenas 3% estavam com o estômago totalmente cheio (3, Figura 8).



**FIGURA 8** – Porcentagem de estômagos de mandis por estágio de repleção estomacal. 0 - vazio, 1 – até 50% cheio, 2 – mais de 50% cheio e 3 – totalmente cheio.

Os itens alimentares de quase metade dos indivíduos que tinham algum conteúdo nos estômagos foram identificados. O mandi alimentou-se de itens de origem animal e vegetal (Figura 9). ‘Inseto adulto’ e ‘detrito’ foram as categorias com maior frequência de ocorrência (*Fi*), enquanto ‘peixe’ e ‘vegetal’, com maior abundância específica (*Pi*).



**FIGURA 9** – Abundância específica e frequência de ocorrência de categorias alimentares na dieta do mandi a jusante da UHE Amador Aguiar II. Categorias alimentares: ◆ = alga; ■ = detrito; ▲ = inseto imaturo; ● = inseto adulto; + = molusco; x = peixe; \* = vegetal e – = zooplâncton.

As frequências de ocorrência das categorias alimentares diferiram significativamente entre as estações (teste do qui-quadrado,  $\chi^2 = 21,64$ ;  $P = 0,003$ ), mas não entre sexos e tamanhos ( $P > 0,05$ ). Na estação chuvosa, alga, detrito, inseto e vegetal foram consumidos com mais frequência.

## 5.6 Abundância e variáveis abióticas

A abundância do mandi se correlacionou significativamente com temperatura da água, precipitação do mês da campanha (*Chuva*), precipitação do dia da amostragem somada à dos 6 dias anteriores (*Chuva7*) e precipitação do dia da amostragem somada à dos 14 dias anteriores (*Chuva15*) (Tabela 4).

**TABELA 4** – Correlação de Spearman ( $r_s$ ) da abundância do mandi com os fatores abióticos. Em negrito,  $r_s$  com  $P \leq 0,05$ . N = número de amostras.

<b>Fator abiótico</b>	<b>N</b>	<b><math>r_s</math></b>
<i>OD</i>	19	-0,21
<i>Temperatura da água</i>	19	<b>0,78</b>
<i>Transparência da água</i>	19	-0,21
<i>Chuva</i>	19	<b>0,74</b>
<i>Chuva1</i>	19	0,11
<i>Chuva3</i>	19	0,17
<i>Chuva7</i>	19	<b>0,45</b>
<i>Chuva15</i>	19	<b>0,54</b>
<i>Q<sub>11</sub></i>	18	0,10
<i>Q<sub>13</sub></i>	18	0,03
<i>Q<sub>17</sub></i>	18	0,18
<i>Q<sub>15</sub></i>	18	0,23
<i>Q<sub>d1</sub></i>	18	0,12
<i>Q<sub>d3</sub></i>	18	0,03
<i>Q<sub>d7</sub></i>	18	0,18
<i>Q<sub>d15</sub></i>	18	0,20

## 6 Discussão

### 6.1 Captura por petrechos de pesca

A rede de emalhar foi o petrecho de pesca que mais capturou mandis, seguida do anzol. Ambos apresentaram tendências semelhantes nas variações temporais do número de indivíduos capturados. As variações temporais do número de mandis capturados pela tarrafa acompanharam as da quantidade amostrada pela rede de emalhar e anzol. A tarrafa, porém, só capturou algum indivíduo quando a quantidade capturada pelos outros dois petrechos foi mais elevada, ou seja, quando a densidade do mandi foi maior na área amostrada. A menor transparência da água (Capítulo 1) nos períodos de maior aglomeração de mandis também pode exercer influência nas capturas pela tarrafa. Em águas com maior transparência há mais chance da tarrafa ser avistada pelos peixes, aumentando o escape (Carvalho *et al.*, 2016). Por

essas restrições, a tarrafa foi o pior método de amostragem para determinar a presença do mandi na área de estudo.

Uma vantagem da pesca com anzol é que ela permite que os peixes capturados sejam liberados com vida, diferente das redes de emalhar. O anzol, no entanto, depende da habilidade do coletor. Outro problema é a saturação do número de peixes capturados pelo anzol. Como os procedimentos de colocar isca, lançar, trazer o peixe e soltá-lo consomem tempo considerável, o número de peixes capturados por pescador por hora atingirá um máximo, que não será superado mesmo se a abundância de peixes no local aumentar. O problema de saturação de petrechos de pesca permeia qualquer método, mas possivelmente, a pesca com anzol tenha um limite de saturação inferior à utilização de redes de emalhar ou tarrafas. A rede de emalhar, por sua vez, é um dos métodos mais comuns para estudos de ictiofauna (Murphy, Willis, 1996) e não depende tanto da habilidade do coletor como o anzol e a tarrafa.

## **6.2 Reprodução**

Os valores mais altos do *IGS* de machos e fêmeas foram registrados na estação chuvosa e ele correlacionou-se com a precipitação. O período reprodutivo do mandi pode variar de acordo com o ambiente, mas ocorre principalmente entre os meses de outubro e março (Godinho *et al.*, 1977; Vazzoler *et al.*, 1997; Braga, 2000; Dei Tos *et al.*, 2002; Lima-Junior, Goitein, 2006), época de maior precipitação na bacia do alto rio Paraná. Gônadas mais desenvolvidas durante a estação chuvosa refletirão no peso das mesmas e, conseqüentemente, no valor do índice, que tende a aumentar (Vazzoler, 1996). Basile-Martins *et al.* (1975) também registraram correlação positiva entre o *IGS* de fêmeas de mandi e a precipitação no rio Jaguari.

Houve predomínio de machos e fêmeas em repouso na área de estudo. A maioria (96%) das fêmeas tinha  $IGS \leq 1,9$ . Apenas seis delas atingiram  $IGS$  entre 6 e 7,8. Fêmeas em atividade reprodutiva do reservatório de Miranda, também no rio Araguari, apresentaram  $IGS$  máximo de 9,2 (Vono *et al.*, 2002). Maia *et al.* (2007) registraram fêmeas de mandi maduras no reservatório de Igarapava, no rio Grande, com  $IGS$  médio de 12,9. Os dados que obtive sugerem que as fêmeas amostradas não haviam atingido a maturação gonadal avançada, mesmo aquelas com os maiores  $IGS$ . A presença de apenas alguns poucos peixes com  $IGS$  mais alto indica ainda que provavelmente o mandi não desova no local de estudo. Segundo Peressin *et al.* (2016), o mandi não desova nos canais de fuga das 13 usinas hidrelétricas estudadas por eles. Os autores sugerem que as raras fêmeas maduras que eles amostraram podem ter migrado para desovar em outros locais ou, se forem residentes, tiveram o desenvolvimento de suas gônadas inibido.

### **6.3 Fator de condição**

O  $K$  é bastante utilizado em estudos da biologia de peixes, pois fornece informações sobre o estado fisiológico dos mesmos, relacionando-se principalmente com a alimentação e reprodução dos indivíduos (Lima-Junior, Goitein, 2006). Encontrei maiores valores de  $K$  associados a indivíduos em não repouso, com mais gordura acumulada e durante a estação chuvosa.

Resultados semelhantes foram observados por Peressin *et al.* (2016) ao avaliar a condição de mandis capturados a jusante de 13 usinas hidrelétricas do sudeste brasileiro. Sabinson *et al.* (2014) também encontraram valores de  $K$  mais elevados para o mandi durante o período de maturação gonadal e desova, que ocorreu na estação chuvosa. Um maior ganho de peso nos períodos que antecedem a reprodução é esperado (Sabinson *et al.*, 2014), em

virtude das reservas energéticas acumuladas nas vísceras, musculatura e/ou fígado para suprir o desenvolvimento das gônadas (Vazzoler, 1996). Após esse processo, haverá uma perda de gordura ou peso devido aos gastos metabólicos envolvidos (Sabinson *et al.*, 2014).

#### **6.4 Tamanho**

As fêmeas de mandi foram maiores que os machos, assim como registrado por Braga (2000) e Casali *et al.* (2010) no rio Grande. Vazzoler (1996) observa, como característica sexual secundária, fêmeas de espécies que não cuidam da prole, que seria o caso do mandi, geralmente maiores que os machos. Embora tenha ocorrido grande sobreposição no tamanho dos mandis capturados nos três petrechos de pesca, houve diferença significativa no *CP* dos indivíduos amostrados por eles. A amplitude dos valores de *CP* foi maior nas redes de emalhar, ou seja, nesse petrecho de pesca foram capturados os menores e maiores mandis registrados na área de estudo. Apenas as fêmeas apresentaram diferenças significativas na distribuição das frequências do *CP* entre as estações chuvosa e seca. Fêmeas de tamanhos menores foram mais frequentes na estação chuvosa, condição observada por Peressin *et al.* (2016). Segundo estes autores, essa situação pode ser gerada caso fêmeas adultas presentes no canal de fuga migrem para desovar em outro local.

#### **6.5 Dieta**

O mandi apresentou estratégia alimentar generalista a jusante da UHE Amador Aguiar II. Sua onivoria é documentada em diferentes estudos, que apontam para uma grande plasticidade alimentar (*e.g.*, Basile-Martins *et al.*, 1986; Lolis, Andrian, 1996; Hahn, Fugi,

2007; Silva *et al.*, 2007), com capacidade de explorar quase todos os níveis tróficos de ecossistemas aquáticos de água doce (Lolis, Andrian, 1996; Silva *et al.*, 2007).

As frequências de ocorrência das categorias alimentares diferiram significativamente entre as estações. Algumas categorias foram mais frequentemente consumidas na estação chuvosa, com destaque para detrito e inseto. Mudanças na proporção dos recursos alimentares disponíveis e na produtividade primária do sistema são comuns entre estações (Davies *et al.*, 2008). O aumento no consumo desses itens alimentares durante a estação chuvosa provavelmente está relacionado ao aumento em suas disponibilidades, já que as chuvas proporcionam um aporte de material alóctone, entre ele insetos terrestres, e de matéria orgânica particulada no sistema (Esteves, Aranha, 1999). Um fator determinante para a dieta do mandi é a disponibilidade de recursos, uma vez que a espécie tem comportamento oportunista (Andrade, Braga, 2005; Silva *et al.*, 2007). Ela pode aproveitar rapidamente os recursos alimentares temporários abundantes no ambiente. O consumo oportunista é uma estratégia importante em ambientes alterados, pois permite que os peixes maximizem a obtenção de energia de acordo com a oferta do alimento, independente das variações temporais e espaciais (Agostinho *et al.*, 2007).

Não encontrei diferenças nas frequências de ocorrência das categorias alimentares entre peixes pequenos e grandes. Estudos apontam, no entanto, que o mandi apresenta mudança ontogenética na dieta, com indivíduos menores consumindo principalmente Chironomidae (larvas e pupas) e pequenos organismos bentônicos, e indivíduos maiores acrescentando presas maiores em sua dieta, como peixes e crustáceos (Basile-Martins *et al.*, 1986; Lima-Junior, Goitein, 2003; Silva *et al.*, 2007). Na área de estudo, peixes pequenos e grandes consumiram inseto, detrito e vegetal com maior frequência, talvez pela maior disponibilidade no ambiente, mas apesar da ausência de diferença significativa, itens

alimentares de maior tamanho, como peixe e molusco, foram mais frequentes em peixes maiores.

## **6.6 Abundância e variáveis abióticas**

A abundância do mandi se correlacionou com a temperatura e a precipitação. Maior número de indivíduos foi capturado com o aumento da temperatura e precipitação. Temperatura e precipitação mais elevadas estão associadas à estação chuvosa, época em que o mandi se reproduz (Godinho *et al.*, 1977; Vazzoler *et al.*, 1997; Braga, 2000; Dei Tos *et al.*, 2002; Lima-Junior, Goitein, 2006). Quando não existem mecanismos que permitam a passagem para montante, como é o caso da UHE Amador Aguiar II, peixes podem se concentrar a jusante das usinas durante migração reprodutiva (Agostinho *et al.*, 2007). Os deslocamentos migratórios dos peixes, por sua vez, tem relação direta com variações no nível fluviométrico (Lowe-McConnell, 1999), associados à maior atividade reprodutiva durante as cheias (Vazzoler, 1996). A temperatura também é citada como um fator desencadeante de reprodução (Parkinson *et al.*, 1999). Loures, Pompeu (2012) relatam maior abundância de peixes no canal de fuga da UHE Três Marias durante a estação chuvosa, além de incremento na frequência de espécies migradoras na comunidade nesse período, sendo o mandi uma das espécies mais abundantes. Dei Tos *et al.* (2002) também encontraram correlação entre o aumento da temperatura da água e a captura do mandi.

Além da correlação mais forte, a temperatura da água também é uma variável de fácil medição, sendo, portanto, a mais indicada para se relacionar à abundância do mandi na área de estudo. Como o mandi é uma das espécies mais abundantes a jusante da UHE Amador Aguiar II (Capítulo 1) e também uma das mais afetadas pela operação dessa usina, não recomendo que a manutenção de unidades geradoras seja realizada durante a estação chuvosa.

A quantidade maior de peixes nesse período representa um incremento ao risco já existente na realização dessas manobras.

A abundância do mandi não se correlacionou com as demais variáveis abióticas analisadas: transparência, *OD* e vazões (turbinada e defluente). A menor transparência da água, assim como a maior temperatura e precipitação, também é uma condição típica da estação chuvosa. A transparência diminuiu ao longo da estação chuvosa (Capítulo 1), mas sem variações bruscas. Como a UHE Amador Aguiar II é a última usina da cascata de barragens do rio Araguari, grande parte do sedimento fica retido nas usinas a montante dela. Além disso, a maioria dos tributários presentes na área de drenagem do reservatório são pequenos e pouco susceptíveis a processos erosivos e carreamento de sedimentos, exercendo pouca influência na transparência da água. O reservatório dessa usina, ainda, pouco depleciona, não favorecendo formação de processos erosivos marginais (CCBE, 2010). A ausência de correlação negativa entre a abundância do mandi e a transparência da água pode estar relacionada a esses fatores.

Embora o oxigênio seja o gás mais importante para os peixes (Ribeiro, 2001), ele não se correlacionou significativamente com a abundância do mandi. A ausência de correlação pode estar relacionada ao fato de que o mandi é uma espécie resistente a variações no oxigênio dissolvido, sendo, inclusive, capaz de suportar níveis extremos do mesmo (Felizardo *et al.*, 2010). O *OD* a jusante da UHE Amador Aguiar II variou de 4,3 a 7,5 (Capítulo 1) durante o período de estudo. Essa variação não influenciou a abundância do mandi no local. Peressin *et al.* (2016) também não encontraram correlação entre o *OD* e a captura por unidade de esforço (*CPUE*) de mandis capturados a jusante de 13 usinas hidrelétricas do sudeste brasileiro.

A variação na demanda energética, por sua vez, faz com a vazão turbinada pela usina oscile frequentemente, muitas vezes diariamente. A ausência de correlação entre a abundância

de mandis e as vazões pode ser resultado da falta de padrão no comportamento dessas variáveis. Além disso, o número de amostras que obtive pode não ter sido suficiente para detectar algum padrão na variação das vazões. Andrade *et al.* (2016) encontraram relação positiva entre as vazões turbinada, vertida e defluente e a *CPUE* de mandis amostrados a jusante da UHE Três Marias no rio São Francisco. Quanto maior a vazão, maior foi a *CPUE*. Os autores argumentam que a maior vazão torna o habitat mais complexo e favorece o aumento da abundância. Eles, no entanto, trabalharam com uma escala temporal maior (2007-2014) do que a minha e com um maior número de amostras.

## 7 Conclusões

Os dados apresentados sugerem que a rede de emalhar e o anzol são os melhores métodos para detectar a presença do mandi na área de estudo. É provável que a espécie não desove na área, mas o desenvolvimento gonadal ocorre e está associado à precipitação. O mandi é onívoro, como documentado em outros locais. Sua abundância apresenta marcada sazonalidade, sendo mais capturado durante a estação chuvosa, quando a temperatura da água e a precipitação são mais elevadas. Como a espécie é uma das mais afetadas pela operação da usina, não é aconselhável a manutenção de unidades geradoras na estação chuvosa, pois há risco de morte de mais peixes nesse período.

## 8 Referências Bibliográficas<sup>3</sup>

Agostinho AA, Vazzoler AEA de M, Thomaz SM. The high river Paraná basin: limnological and ichthyological aspects. In: Tundisi JG, Bicudo CEM, Matsumura-Tundisi T, editors. *Limnology in Brazil*. Rio de Janeiro: Brazilian Academy of Sciences/Brazilian Limnological Society; 1995. p.59-103.

---

<sup>3</sup> Referências de acordo com normas da revista *Neotropical Ichthyology*.

Agostinho AA, Gomes LC, Suzuki HI, Júlio HF, Jr. Migratory fishes of the upper Paraná River basin, Brazil. In: Carolsfeld J, Harvey B, Ross C, Baer A, editors. Migratory fishes of South America: biology, fisheries and conservation status. Victoria: World Fisheries Trust/IDRC/World Bank; 2003. p.19-98.

Agostinho AA, Gomes LC, Pelicice FM. Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil. Maringá: Eduem; 2007.

Amundsen PA, Gabler HM, Staldvik FJ. A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data – modification of the Costello (1990) method. *Journal of Fish Biology*. 1996; 48(4):607-614.

Andrade F, Prado IG, Loures RC, Godinho AL. Evaluation of techniques used to protect tailrace fishes during turbine maneuvers at Três Marias Dam, Brazil. *Neotropical Ichthyology*. 2012; 10(4):723-730. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252012000400005>

Andrade F, Prado IG, Rodrigues RR, Godinho AL. Influência das vazões da usina hidrelétrica de Três Marias em diferentes escalas temporais na captura de mandis no canal de fuga. In: Loures RC, Godinho AL, organizadores. Avaliação de risco de morte de peixes em usinas hidrelétricas. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais; 2016. p.247-258 (Série Peixe Vivo; 5).

Andrade PM, Braga FMS. Diet and feeding of fish from Grande River, located below the Volta Grande Reservoir, MG - SP. *Brazilian Journal of Biology*. 2005; 65(3):387-394. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842005000300003>

Arcifa MS, Esguícero ALH. The fish fauna in the fish passage at the Ourinhos Dam, Paranapanema River. *Neotropical Ichthyology*. 2012; 10(4):715-722. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252012000400004>

Basile-Martins MA, Godinho HM, Fenerich NA, Bramley Barker JM. Influência de fatores abióticos sobre a maturação dos ovários de *Pimelodus maculatus* Lac. 1803 (Pisces, Siluroidei). *Boletim do Instituto de Pesca*. 1975; 4(1):1-13.

Basile-Martins MA, Cipólli MN, Godinho HM. Alimentação do mandi, *Pimelodus maculatus* Lacépède, 1803 (Osteichthyes, Pimelodidae) de trechos do rio Jaguari e Piracicaba, São Paulo - Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*. 1986; 13:17-29.

Bazzoli N, Cangussu LCV, Rizzo E, Santos GB. Reprodução e desova de mandi *Pimelodus maculatus* e *Iheringichthys labrosus* (Pisces, Pimelodidae) nos reservatórios de Furnas, Marimbondo e Itumbiara. *Bios*. 1997; 5(5):7-15.

Braga FMS. Biologia e pesca de *Pimelodus maculatus* (Siluriformes, Pimelodidae) no reservatório de Volta Grande, Rio Grande (MG/SP). *Acta Limnologica Brasiliensia*. 2000; 12:1-14.

Braga FMS. Reprodução de peixes (Osteichthyes) em afluentes do reservatório de Volta Grande, Rio Grande, Sudeste do Brasil. *Iheringia - Série Zoologia*. 2001; 91:67-74. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212001000200009>

Braga FMS, Gomiero LM. Análise da pesca experimental realizada no reservatório de Volta Grande, Rio Grande, MG-SP. Boletim do Instituto de Pesca. 1997; 24:131-138.

Carvalho MM, Araújo AA, Godinho AL. Peixes do canal de fuga da usina hidrelétrica de São Simão, rio Paranaíba. In: Loures RC, Godinho AL, organizadores. Avaliação de risco de morte de peixes em usinas hidrelétricas. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais; 2016. p.209-230 (Série Peixe Vivo; 5).

Casali RCV, Vono V, Godinho HP, Luz RK, Bazzoli N. Passage and reproductive activity of fishes in the Igarapava fish ladder, Grande river, Southeastern Brazil. River Research and Applications. 2010; 26(2):157-165.

CCBE - Consórcio Capim Branco Energia. Relatório de Avaliação de Impacto Ambiental (RADA) da UHE Amador Aguiar II. Vol. I. Uberlândia; 2010.

Costello MJ. Predator feeding strategy and prey importance: a new graphical analysis. Journal of Fish Biology. 1990; 36(2):261-263. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1990.tb05601.x>

Crawley MJ. The R book. Chichester: Wiley; 2007. <https://doi.org/10.1002/9780470515075>

Davies PM, Bunn SE, Hamilton SK. Primary production in tropical streams and rivers. In: Dudgeon D., editor. Tropical stream ecology. Oxford: Elsevier; 2008. p.23-42. <https://doi.org/10.1016/B978-012088449-0.50004-2>

Dei Tos C, Barbieri G, Agostinho AA, Gomes LC, Suzuki HI. Ecology of *Pimelodus maculatus* (Siluriformes) in the Corumbá reservoir, Brazil. Cybium. 2002; 26(4):275-282.

Esteves KE, Aranha JMR. Ecologia trófica de peixes de riachos. In: Caramaschi EP, Mazzoni R, Peres-Neto PR, editores. Ecologia de Peixes de Riachos. Rio de Janeiro: Série Oecologia Brasiliensis, v. VI, PPGE-UFRJ; 1999. p.157-182. <https://doi.org/10.4257/oeco.1999.0601.05>

Felizardo VO, Mello RA, Andrade ES, Paula DAJ, Paulino MS, Murgas LDS. Níveis de oxigênio em modelo reduzido para o mandi amarelo (*Pimelodus maculatus*) na usina hidrelétrica do Funil. Boletim do Instituto de Pesca. 2010; 36(3):197-204.

Godinho HM, Basile-Martins MA, Fenerich NA, Narahara MY. Fecundidade e tipo de desova do mandi, *Pimelodus maculatus* Lacépède, 1803 (Pisces, Siluroidei). Revista Brasileira de Biologia. 1977; 37(4),737-744.

Hahn NS, Fugi R, Andrian I. de F. Trophic ecology of the fish assemblages. In: Thomaz SM, Agostinho AA, Hahn NS, editors. The upper Paraná River and its floodplain: physical aspects, ecology and conservation. Leiden: Backhuys Publishers; 2004. p.247-269.

Hahn NS, Fugi R. Alimentação de peixes em reservatórios brasileiros: alterações e consequências nos estágios iniciais do represamento. Oecologia Brasiliensis. 2007; 11(4):469-480. <https://doi.org/10.4257/oeco.2007.1104.01>

Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica. 2001 [01/07/2016]; 4(1):9. Disponível em: [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm).

Langeani F, Rêgo ACL. Guia ilustrado dos peixes da bacia do rio Araguari. Uberlândia: Grupo de Mídia Brasil Central; 2014.

Lima-Junior SE, Goitein R. Ontogenetic diet shifts of a Neotropical catfish, *Pimelodus maculatus* (Siluriformes, Pimelodidae): an ecomorphological approach. *Environmental Biology of Fishes*. 2003; 68(1):73-79. <https://doi.org/10.1023/A:1026079011647>

Lima-Junior SE, Goitein R. Diet and feeding activity of *Pimelodus maculatus* (Osteichthyes, Pimelodidae) in Piracicaba River (State of São Paulo, Brazil) – the effect of seasonality. *Boletim do Instituto de Pesca*. 2004; 30(2):135-140.

Lima-Junior SE, Goitein R. Fator de condição e ciclo gonadal de fêmeas de *Pimelodus maculatus* (Osteichthyes, Pimelodidae) no rio Piracicaba (SP, Brasil). *Boletim do Instituto de Pesca*. 2006; 32(1):87-94.

Lobón-Cerviá J, Bennemann ST. Temporal trophic shifts and feeding diversity in two sympatric, neotropical omnivorous fishes: *Astyanax bimaculatus* and *Pimelodus maculatus* in Rio Tibagi (Paraná, Southern Brazil). *Archives of Hydrobiology*. 2000; 149(2):285-306. <https://doi.org/10.1127/archiv-hydrobiol/149/2000/285>

Lolis AA, Andrian IF. Alimentação de *Pimelodus maculatus* Lacépède 1803 (Siluriformes, Pimelodidae), na planície de inundação do Alto Rio Paraná, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*. 1996; 23:187-202.

Loures RC, Pompeu PS. Temporal variation in fish community in the tailrace at Três Marias Hydroelectric Dam, São Francisco River, Brazil. *Neotropical Ichthyology*. 2012; 10(4):731-740. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252012000400006>

Lowe-McConnell RH. *Ecologia de comunidades de peixes tropicais*. São Paulo: Edusp; 1999.

Maia BP, Ribeiro SMF, Bizzotto PM, Vono V, Godinho HP. Reproductive activity and recruitment of the yellow-mandi *Pimelodus maculatus* (Teleostei: Pimelodidae) in the Igarapava Reservoir, Grande River, Southeast Brazil. *Neotropical Ichthyology*. 2007; 5(2):147-152. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252007000200008>

Murphy DW, Willis BR. *Fisheries techniques*. Bethesda: American Fisheries Society; 1996.

Oldani NO, Baigún CRM, Nestler JM, Goodwin RA. Is fish passage technology saving fish resources in the lower La Plata River basin? *Neotropical Ichthyology*. 2007; 5(2):89-102. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252007000200002>

Parkinson D, Philippart J, Baras E. A preliminary investigation of spawning migrations of grayling in a small stream as determined by radio-tracking. *Journal of Fish Biology*. 1999; 55:172-182. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1999.tb00666.x>

Peixer J, Petrere Júnior M. Sport fishing in Cachoeira de Emas in Mogi-Guaçu River, State of São Paulo, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. 2009; 69(4):1081-1090. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842009000500011>

Peressin A, Prado IG, Resende LC, Silva TT, Caldeira YM, Godinho AL. Biologia do mandi (*Pimelodus maculatus*) a jusante de usinas hidrelétricas do sudeste do Brasil. In: Loures RC,

Godinho AL, organizadores. Avaliação de risco de morte de peixes em usinas hidrelétricas. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais; 2016. p.155-178 (Série Peixe Vivo; 5).

Pope KL, Kruse CG. Condition. In: Guy C, Brown ML, editors. Analysis and interpretation of freshwater fisheries data. Bethesda: American Fisheries Society; 2007. p.423-471.

Rêgo ACL, Prado IG, Silva TT, Loures RC, Silva RJ, Monteiro AB, Godinho AL. Peixes afetados em manobras de usinas hidrelétricas. In: Loures RC, Godinho AL, organizadores. Avaliação de risco de morte de peixes em usinas hidrelétricas. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais; 2016. p.71-96 (Série Peixe Vivo; 5).

R Development Core Team. R: a language and environment for statistical computing [Computer software manual - Internet]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing; 2017. Disponível em: <http://www.r-project.org/>

Reis RE, Kullander SO, Ferraris CJ, Jr., organizers. Check list of the freshwater fishes of South and Central America. Porto Alegre: Edipucrs; 2003.

Ribeiro RP. Ambiente e água para a piscicultura. In: Moreira HLM, Vargas L, Ribeiro RP, Zimmermann S, organizadores. Fundamentos da moderna aquicultura. Canoas: ULBRA; 2001. p.37-43.

Ribeiro FRV, Lucena CAS. A new species of *Pimelodus* LaCépède, 1803 (Siluriformes: Pimelodidae) from the rio São Francisco drainage, Brazil. Neotropical Ichthyology. 2006; 4(4):411-418. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252006000400004>

Sabinson LM, Rodrigues Filho JL, Peret AC, Verani JR. Growth and reproduction aspects of *Pimelodus maculatus* Lacépède, 1803 (Siluriformes, Pimelodidae) of the Cachoeira Dourada reservoir, state of Goiás and Minas Gerais, Brazil. Brazilian Journal of Biology. 2014; 74(2):450-459. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.09012>

Santos ABI, Terra BF, Araújo FG. Influence of the river flow on the structure of fish assemblage along the longitudinal gradient from river to reservoir. Zoologia. 2010; 27(5):732-740. <https://doi.org/10.1590/S1984-46702010000500010>

Santos ABI, Albieri RJ, Araujo FG. Influences of dams with different levels of river connectivity on the fish community structure along a tropical river in Southeastern Brazil. Journal of Applied Ichthyology. 2013; 29(1):163-171. <https://doi.org/10.1111/jai.12027>

Silva EL, Fugi R, Hahn NS. Variações temporais e ontogenéticas na dieta de um peixe onívoro em ambiente impactado (reservatório) e em ambiente natural (baía) da bacia do rio Cuiabá. Acta Scientiarum – Biological Sciences. 2007; 29(4):387-394.

Souza RCR, Rodrigues RR, Rêgo ACL, Araújo AR, Prado IG, Carvalho MM *et al.* Diversidade de peixes a jusante de usinas hidrelétricas. In: Loures RC, Godinho AL, organizadores. Avaliação de risco de morte de peixes em usinas hidrelétricas. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais; 2016. p.97-128 (Série Peixe Vivo; 5).

Souza Filho HS, Shibatta OA. Descrição de uma espécie nova de *Pimelodus* (Siluriformes, Pimelodidae) da bacia do alto rio Paraguai. *Iheringia - Série Zoologia*. 2007; 97(4):472-480. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212007000400018>

Suzuki HI, Vazzoler AEAM, Marques EE, Lizama MAP, Inada P. 2004. Reproductive ecology of the fish assemblages. In: Thomaz SM, Agostinho AA, Hahn NS, editors. *The upper Paraná River and its floodplain: physical aspects, ecology and conservation*. Leiden: Backhuys Publishers; 2004. p.271-291.

Vazzoler AEAM. *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática*. Maringá: Eduem; 1996.

Vazzoler AEAM, Suzuki HI, Marques EE, Lizama MAP. Primeira maturação gonadal, períodos e áreas de reprodução. In: Vazzoler AEAM, Agostinho AA, Hahn NS, editores. *A planície de inundação do alto Paraná: aspectos físicos, biológicos e sócio-econômicos*. Maringá: Eduem; 1997. p.249-265.

Vono V, Silva LGM, Maia BP, Godinho HP. Biologia reprodutiva de três espécies simpátricas de peixes neotropicais: *Pimelodus maculatus* (Siluriformes, Pimelodidae), *Leporinus amblyrhynchus* e *Schizodon nasutus* (Characiformes, Anostomidae) do recém-formado reservatório de Miranda, alto Paraná. *Revista Brasileira de Zoologia*. 2002; 19(3):819-826. <https://doi.org/10.1590/S0101-81752002000300020>

# CAPÍTULO 3: MODELO DE PREDIÇÃO DA ABUNDÂNCIA DE MANDIS (*Pimelodus maculatus*) APRISIONADOS NO TUBO DE SUÇÃO DE UNIDADES GERADORAS DA USINA HIDRELÉTRICA AMADOR AGUIAR II

## 1 Resumo

Peixes frequentemente ficam aprisionados no tubo de sucção de unidades geradoras de usinas hidrelétricas quando da sua manutenção. Quanto maior a quantidade de peixes aprisionados, mais complexo é o resgate e maior é o risco de morte dos peixes. Para reduzir o risco de morte, é fundamental determinar quantos peixes podem estar aprisionados no tubo de sucção antes do início da manutenção para decidir pela execução ou não da manobra. O mandi (*Pimelodus maculatus*) é uma das espécies mais afetadas pela operação e manutenção de unidades geradoras de usinas hidrelétricas no sudeste brasileiro. Neste estudo, usei regressão linear para elaborar, para a usina hidrelétrica Amador Aguiar II (rio Araguari, MG), um modelo de predição da quantidade de mandis aprisionados no tubo de sucção em função da sua abundância no canal de fuga. Para isso, determinei o número de mandis aprisionados no tubo de sucção (Y, variável dependente) em nove drenagens de unidades geradoras ocorridas entre 2008 e 2013. Utilizei a captura por unidade de esforço (CPUE) como estimativa da abundância de mandis no canal de fuga (X, variável independente). Determinei a variável independente com o uso de redes de emalhar de malhas 6, 7 e 8 cm entre nós opostos. As redes foram armadas por cerca de 14 horas com até quatro dias de antecedência da drenagem. Registrei 20 táxons nas amostragens, sendo 17 no canal de fuga e 10 no tubo de sucção. Sete táxons foram comuns aos dois locais. Os táxons mais abundantes no canal de fuga foram o mandi e os cascudos do gênero *Hypostomus*. No tubo de sucção o mandi foi mais abundante em todas as drenagens avaliadas. Houve diferença significativa na distribuição de frequências do comprimento padrão dos mandis do canal de fuga e tubo de sucção. Mandis de tamanhos menores foram mais frequentes no tubo de sucção. A variável dependente apresentou relação não linear com a variável independente. Linearização foi obtida após transformação logarítmica. Com os dados logaritmizados, Y apresentou correlação linear positiva com X ( $r^2 = 0,60$ ). O modelo de predição foi significativo e a equação obtida foi  $Y = 5,666 + 0,552 X$  ( $P = 0,01$ ), onde  $Y = \ln$  do número de mandis aprisionados e  $X = \ln (CPUE + 1)$ . O modelo proposto representa um avanço para mitigação de impactos nessa usina, uma vez que permite prever a quantidade de mandis aprisionados no tubo de sucção e, conseqüentemente, o risco de se executar a manobra. Número maior de amostras e adequações metodológicas são necessárias para refinar e aumentar o poder preditivo do modelo atual.

Palavras-chave: canal de fuga, CPUE mandi, drenagem de unidade geradora, rede de emalhar, rio Araguari.

## 2 Abstract

Fishes are frequently trapped in the draft tube of generator units in hydropower plants during maintenance procedures. The larger the amount of fish trapped, the more complex is the recovery and the greater is the risk of fish death. It is fundamental to determine how many fishes may be trapped in the draft tube before the maintenance starts in order to reduce such risk and then decide to conduct or not operational procedures. Mandi (*Pimelodus maculatus*) is one of the species more affected by generator units operation and maintenance of hydropower plants from Southeastern Brazil. In the present study I used linear regression to elaborate a model for the Amador Aguiar II Dam (Araguari River, Minas Gerais state) to predict the amount of mandi trapped in the draft tube as a function of its abundance in the tailrace. Thereunto I determined the number of mandi trapped in the draft tube (Y, dependent variable), in nine generator units dewaterings from 2008 to 2013. I used the catch per unit effort (CPUE) as estimate of mandi abundance in the tailrace (X, independent variable). I determined the independent variable with the use of gill nets of 6, 7 and 8 cm between opposite nodes. Nets remained in the water for 14 h up to four days prior to the dewatering. I recorded 20 taxa in the samplings, 17 of them in the tailrace and 10 in the draft tube. Seven taxa were common to these two places. The most abundant taxa in the tailrace were the mandi and those of the genus *Hypostomus*, while in the draft tube the mandi was the most abundant in all the evaluated dewaterings. There was a significant difference on the frequency of mandi standard length distribution in the tailrace and the draft tube. Small mandi were more frequent in the draft tube. The dependent variable had a non-linear relationship with the independent variable. The linearization was obtained after log transformation and then Y presented a positive linear correlation with X ( $r^2 = 0.60$ ). The prediction model was significant and the equation obtained was  $Y = 5.666 + 0.552 X$  ( $P = 0.01$ ), where  $Y = \ln$  of the number of mandi trapped and  $X = \ln (CPUE + 1)$ . The proposed model represents an advance for the mitigation of impacts in this hydropower plant, since it allows predicting the amount of mandi trapped in the draft tube and, consequently, the risk of executing the operational procedure. More samples and some methodological adjustments are needed to refine and improve the predictive power of the current model.

Keywords: tailrace, CPUE mandi, generator unit dewatering, gill net, Araguari River.

## 3 Introdução

A construção de usinas hidrelétricas promove mudanças irreversíveis nos cursos d'água, com implicações decisivas sobre a fauna de peixes da área de influência do empreendimento (Agostinho *et al.*, 2007). Dentre os diversos impactos causados à ictiofauna, a concentração de peixes imediatamente a jusante do barramento (Agostinho *et al.*, 2007) e mortes de peixes relacionadas à operação e manutenção de unidades geradoras (Andrade *et*

*al.*, 2012) são problemas frequentes em hidrelétricas. Esse último, além do impacto ecológico, pode prejudicar a imagem das concessionárias do setor hidroenergético e acarretar multas e interdição temporária na geração de energia (Godinho, Loures, 2016).

Muitas espécies de peixes, incluindo migradoras, aglomeram-se nas proximidades das usinas hidrelétricas, particularmente no canal de fuga, local de restituição da vazão turbinada ao rio (Godinho, Loures, 2016). Isso ocorre porque o barramento é um obstáculo que impede o livre trânsito dos peixes pelos diferentes habitats que utilizam em seu ciclo de vida (Agostinho *et al.*, 2007). A presença de peixes no canal de fuga representa potencial risco de acidente ambiental. Peixes acumulados no canal de fuga podem entrar em unidades geradoras (UG) em manutenção e serem expostos a riscos como choques mecânicos ou aprisionamento (Andrade *et al.*, 2012).

Usinas hidrelétricas realizam periodicamente manutenções em suas UGs de forma programada ou emergencial. Durante as paradas das UGs com a finalidade de realizar manutenção na turbina ou em outras estruturas, as comportas de montante e de jusante são fechadas para retirada da água do circuito hidráulico e acesso ao interior da UG. Essa manobra é conhecida como drenagem de UG (Rêgo *et al.*, 2016). Entretanto, antes que o fechamento esteja concluído, peixes do canal de fuga podem entrar e ficar aprisionados no tubo de sucção, que é um duto que conduz a água que passa pela turbina ao rio. Esses peixes precisam então ser resgatados (Godinho, Loures, 2016; Rêgo *et al.*, 2016). Com a interrupção do fluxo d'água, ocorre o deplecionamento gradual do oxigênio dissolvido no interior do tubo de sucção, podendo ocasionar a morte de peixes retidos por asfixia. Estresse e ferimentos também podem ocorrer nos peixes aprisionados na UG (Portz *et al.*, 2006; Rêgo *et al.*, 2016) e durante seu resgate (Rêgo *et al.*, 2016).

Quanto maior a quantidade de peixes aprisionados, mais complexo é o resgate e maior é o risco de morte dos peixes (Godinho, Loures, 2016). Para reduzir o risco de morte, é

fundamental determinar quantos peixes podem estar aprisionados no tubo de sucção antes do início da manutenção para decidir pela execução ou não da manobra.

O mandi (*Pimelodus maculatus*) é uma das espécies mais impactadas pela operação e manutenção de UGs de usinas hidrelétricas no sudeste brasileiro (Andrade *et al.*, 2012; Rêgo *et al.*, 2016). Na usina hidrelétrica (UHE) Amador Aguiar II (rio Araguari, MG), ele representa 90% ou mais do número de peixes resgatados em drenagens de UGs. Acredita-se que a quantidade de mandis aprisionados no tubo de sucção durante a drenagem de uma UG depende de sua abundância no canal de fuga antes da manobra (Andrade *et al.*, 2012). Por esse motivo, o objetivo deste trabalho foi elaborar, para a UHE Amador Aguiar II, um modelo de predição da quantidade de mandis aprisionados no tubo de sucção em função da sua abundância no canal de fuga.

#### **4 Material e Métodos**

Estabeleci um modelo, usando regressão linear simples, para prever o número de mandis aprisionados no tubo de sucção ( $Y$ , variável dependente) em função de sua abundância no canal de fuga ( $X$ , variável independente). Usei a captura por unidade de esforço ( $CPUE$ ) como estimativa da abundância de mandis no canal de fuga. Obtive os dados da regressão linear em nove drenagens de UGs da UHE Amador Aguiar II ocorridas entre 2008 e 2013 conforme descrito nos tópicos seguintes. Em todas as drenagens avaliadas, antes do isolamento da UG a ser drenada, houve parada de UGs adjacentes e abertura do vertedouro.

Testei a normalidade dos dados usando o teste de Shapiro-Wilk. As análises foram realizadas no programa PAST (Hammer *et al.*, 2001), adotando nível de significância de 5%.

#### 4.1 Amostragem de mandis no canal de fuga previamente às drenagens

Coletei peixes imediatamente a jusante da UHE Amador Aguiar II, nas proximidades do canal de fuga, com até quatro dias de antecedência da drenagem. Armei três baterias de redes de emalhar, cada bateria contendo uma rede das malhas 6, 7 e 8 cm medida entre nós opostos. As redes tinham cerca de 1,7 m de altura e 20 m de comprimento e foram armadas ao final da tarde de um dia e retiradas na manhã seguinte, totalizando cerca de 14 h de amostragem. Identifiquei todos os peixes coletados. Contabilizei os mandis e os fixei em formol 10%. Peixes mortos das demais espécies também foram fixados. Devolvi ao rio os peixes vivos.

Calculei a *CPUE* do mandi das amostragens com redes de emalhar pela fórmula:  $CPUE = \sum_{i=1}^3 (100 N_i EP_i^{-1})$ , onde  $N_i$  = número de peixes capturados na bateria  $i$  de redes de malha e  $EP_i$  = esforço de pesca ( $m^2$ ) da bateria  $i$ .

#### 4.2 Quantificação dos mandis aprisionados no tubo de sucção nas drenagens avaliadas

Durante a drenagem, os peixes aprisionados no tubo de sucção foram resgatados com puçás e redes de arrasto e acondicionados em baldes. Determinei o número total de baldes retirados do tubo de sucção a cada drenagem. Amostrei alguns baldes aleatoriamente, aproximadamente um a cada cinco, para identificar as espécies e contar o número de peixes por espécie. Com base nessas informações, estimei o número de mandis aprisionados no tubo de sucção durante a drenagem por meio de regra de três simples. Os peixes resgatados foram devolvidos ao rio.

A amostragem realizada foi a possível levando em consideração o número de pessoas para contabilizar os peixes e também a vida dos mesmos, já que o objetivo principal do resgate em uma drenagem é devolver os peixes ao rio vivos.

#### **4.3 Tamanho dos mandis do canal de fuga e tubo de sucção**

Em quatro das nove drenagens analisadas, determinei o comprimento padrão (*CP*, mm) dos mandis coletados nas proximidades do canal de fuga previamente às drenagens. Determinei também o *CP* de alguns dos mandis resgatados no tubo de sucção nas mesmas quatro drenagens. Escolhi esses mandis aleatoriamente dos baldes que tiveram os peixes contabilizados durante as drenagens, conforme descrição no item acima.

Usei o teste de duas amostras de Kolmogorov-Smirnov, no software R (R Development Core Team, 2017), para testar diferenças nas distribuições de frequências do *CP* dos mandis do canal de fuga e do tubo de sucção. Adotei nível de significância de 5%.

### **5 Resultados**

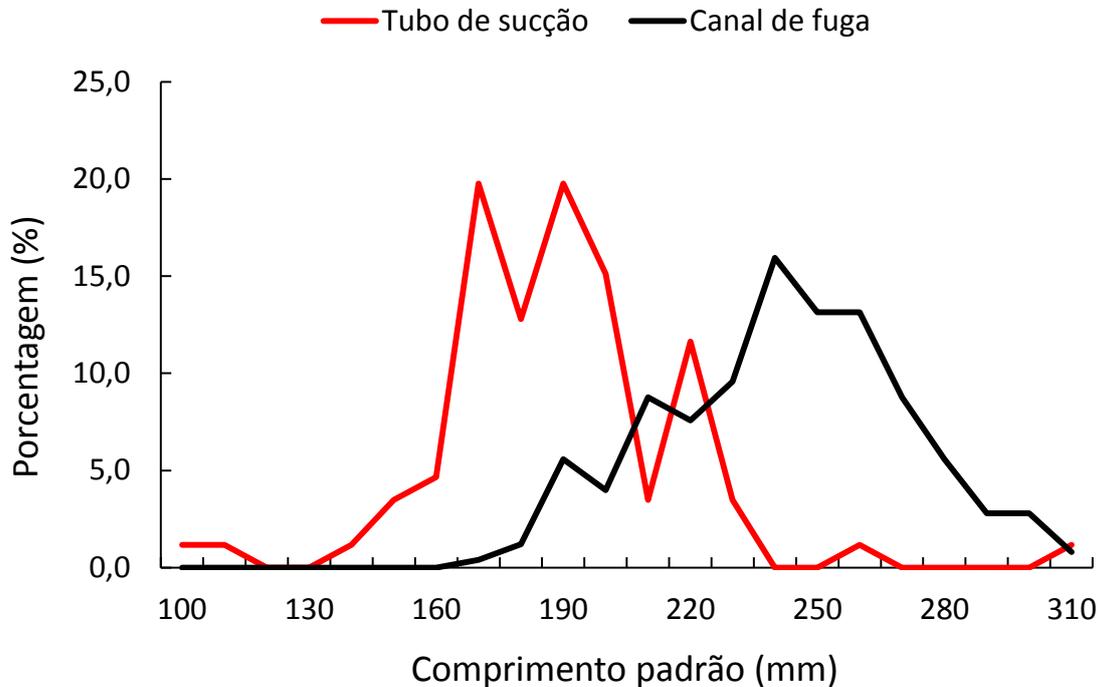
Registrei 20 táxons pertencentes a 10 famílias e 4 ordens (Tabela 1). Dos 20 táxons, 17 foram capturados com redes de emalhar nas proximidades do canal de fuga durante as amostragens prévias às drenagens e 10 foram resgatados no interior do tubo de sucção durante as drenagens de UGs. Sete táxons foram comuns aos dois locais.

**TABELA 1** - Lista dos táxons coletados com redes de emalhar nas proximidades do canal de fuga da UHE Amador Aguiar II nas amostragens prévias às drenagens (Canal de fuga) e resgatados no tubo de sucção durante as drenagens de unidades geradoras (Tubo de sucção). Ordem dos táxons segundo Reis *et al.* (2003). Táxons resgatados no tubo de sucção baseado apenas nas amostras com peixes contabilizados.

<b>Ordem/Família/Táxon</b>	<b>Canal de fuga</b>	<b>Tubo de sucção</b>
<b>Characiformes</b>		
<b>Anostomidae</b>		
<i>Leporellus vittatus</i>	X	
<i>Megaleporinus obtusidens</i>	X	
<i>Leporinus friderici</i>	X	
<i>Leporinus octofasciatus</i>	X	
<i>Schizodon nasutus</i>	X	
<b>Characidae</b>		
<i>Astyanax lacustris</i>	X	
<i>Bryconamericus stramineus</i>		X
<b>Serrasalminidae</b>		
<i>Serrasalmus marginatus</i>	X	
<b>Siluriformes</b>		
<b>Callichthyidae</b>		
<i>Hoplosternum littorale</i>	X	
<b>Loricariidae</b>		
<i>Hypostomus</i> spp.	X	X
<i>Megalancistrus parananus</i>	X	
<b>Heptapteridae</b>		
<i>Pimelodella avanhandavae</i>		X
<b>Pimelodidae</b>		
<i>Iheringichthys labrosus</i>	X	X
<i>Pimelodus maculatus</i>	X	X
<i>Pimelodus microstoma</i>	X	X
<i>Pinirampus pirinampu</i>	X	X
<b>Doradidae</b>		
<i>Rhinodoras dorbignyi</i>	X	X
<b>Gymnotiformes</b>		
<b>Sternopygidae</b>		
<i>Eigenmannia virescens</i>		X
<b>Perciformes</b>		
<b>Cichlidae</b>		
<i>Cichla kelberi</i>	X	X
<i>Crenicichla jaguarensis</i>	X	

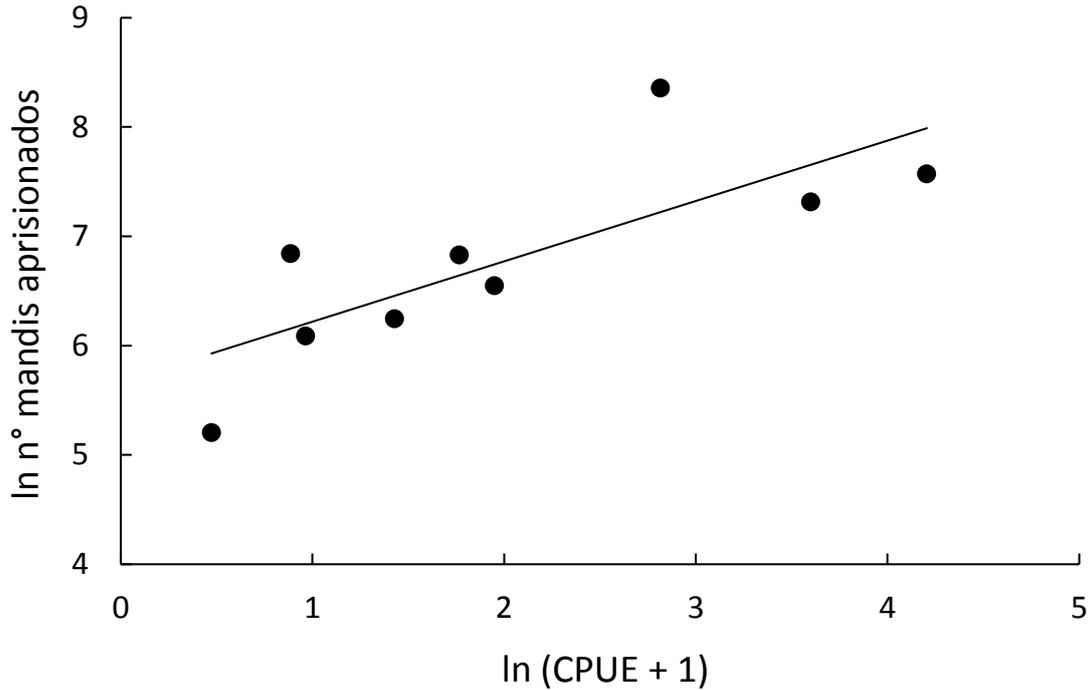
Os táxons mais abundantes nas amostragens no canal de fuga da UHE Amador Aguiar II foram o mandi e os cascudos do gênero *Hypostomus*. No interior do tubo de sucção o mandi foi a espécie mais abundante em todas as drenagens avaliadas.

Houve diferença significativa na distribuição de frequências do *CP* dos mandis do canal de fuga e tubo de sucção (teste de duas amostras de Kolmogorov-Smirnov,  $P < 0,0001$ ). Mandis de tamanhos menores foram mais frequentes no tubo de sucção (Figura 1).



**FIGURA 1** – Porcentagem de mandis por classe de comprimento padrão do canal de fuga e tubo de sucção.

A variável dependente apresentou relação não linear com a variável independente. Linearização foi obtida após transformação logarítmica. Com os dados logaritmizados, Y apresentou correlação linear positiva com X ( $r^2 = 0,60$ , Figura 2). O modelo de predição foi significativo (coeficiente de regressão  $\neq 0$ ) e a equação obtida foi  $\ln Y = 5,666 + 0,552 \ln(X + 1)$  ( $P = 0,01$ ).



**FIGURA 2** – Regressão linear entre o número de mandis aprisionados no tubo de sucção em drenagens de unidades geradoras da UHE Amador Aguiar II e a captura por unidade de esforço (*CPUE*) de mandis no canal de fuga.

## 6 Discussão

Anostomidae e Pimelodidae foram as famílias com maior número de espécies nas amostras obtidas. Espécies de Pimelodidae foram capturadas tanto no canal de fuga quanto no interior das unidades geradoras, com destaque para o mandi (*Pimelodus maculatus*), abundante em ambos locais. RÊGO *et al.* (2016) analisando 186 manobras ocorridas em 19 usinas hidrelétricas do sudeste brasileiro relatam que as famílias Anostomidae, Characidae, Cichlidae e Pimelodidae representaram juntas mais de 60% das espécies resgatadas nas proximidades das usinas e/ou no interior das UGs. Os autores também reportam que *P. maculatus* foi a espécie que ocorreu no maior número de manobras.

Dentre as diferentes manobras executadas nas usinas hidrelétricas, a drenagem de UG é considerada a de maior risco para os peixes, tanto pela dificuldade no resgate como pela

quantidade de indivíduos que podem ficar aprisionados (Andrade *et al.*, 2012). Nas manobras avaliadas por Rêgo *et al.* (2016), drenagem de UG foi responsável pela maior porcentagem acumulada de biomassa morta no período estudado. Os riscos para os peixes nas drenagens estão associados ao estresse, à hipóxia e à injúria física (Portz *et al.*, 2006).

A obtenção de um modelo capaz de prever o número de peixes aprisionados em drenagens a partir da *CPUE* representa um avanço significativo para a mitigação de impactos em usinas. Na UHE Três Marias, no rio São Francisco, Andrade *et al.* (2012) também propõem um modelo para prever a quantidade de mandis aprisionados em UGs. A fórmula do modelo preditivo para essa usina é  $Y = 17,1 + 65,4 \ln(X+1)$ , onde Y é a biomassa de mandis aprisionados e X é a *CPUE* de mandis no canal de fuga. As equações apresentadas para as UHEs Amador Aguiar II e Três Marias podem prever, em futuras drenagens, o risco associado a esta manobra. Essa ferramenta é essencial para nortear as tomadas de decisão sobre a realização ou não da drenagem e para o provisionamento adequado de materiais e pessoas.

É importante destacar que drenagens não ocorrem com muita frequência, por isso a dificuldade em se obter mais amostras. Também existem situações em que as mesmas são realizadas em caráter emergencial, sem a possibilidade de executar a amostragem prévia no canal de fuga, e nesses casos, tem-se um dado perdido para o modelo de predição.

A experiência vivenciada em diferentes drenagens realizadas na UHE Amador Aguiar II mostrou que a partir de 500 kg de mandis aprisionados no tubo de sucção torna a realização do resgate uma manobra arriscada. Como os mandis coletados nessa usina pesaram em média 250 g, essa biomassa de peixes daria aproximadamente 2.000 mandis aprisionados. Pelo modelo preditivo, considerando 2.000 mandis aprisionados, valores de *CPUE* mandi nas amostragens prévias às drenagens acima de 30 peixes/100m<sup>2</sup> de rede representam um risco alto na execução da manobra. Nesses casos, sugiro que a manobra não seja realizada, mas

caso a mesma não possa ser adiada, recomendo a elaboração de um plano de contingenciamento e a existência de duas equipes de monitoramento e resgate de peixes que possam se revezar no caso de prolongamento das atividades. Rêgo e colaboradores (2016) observaram que quanto maior a duração da drenagem, maior a biomassa morta. Dessa forma, como o aumento do risco da drenagem está relacionado à sua duração, a programação e preparação para a drenagem devem ser realizadas com a maior cautela possível.

Possivelmente a estação do ano deva influenciar a quantidade de mandis aprisionados no tubo de sucção em uma drenagem. Loures, Pompeu (2012) ressaltam que a realização de manobras durante o período chuvoso pode ser uma atividade de maior risco aos peixes, em função da maior abundância de indivíduos no canal de fuga. De fato, maior número de mandis foi coletado a jusante da UHE Amador Aguiar II durante a estação chuvosa (Capítulo 2). Neste estudo, as drenagens com maior e menor número de mandis aprisionados ocorreram respectivamente na estação chuvosa (fevereiro) e seca (junho), mas número maior de amostras com variação sazonal é necessário para testar a influência dessa variável no modelo preditivo.

Além da densidade de peixes no canal de fuga antes da manobra, outros fatores podem influenciar a quantidade de peixes aprisionados. Maiores vazões turbinadas antes da parada da UG, por exemplo, resultam em menor quantidade de peixes aprisionados (Andrade *et al.*, 2012). Os dados de vazão turbinada pela UG imediatamente antes de sua parada para isolamento, no entanto, não estavam disponíveis para as drenagens avaliadas na UHE Amador Aguiar II. O tempo gasto para se isolar a UG também pode ser um fator preponderante. Mais peixes poderão ficar aprisionados quanto maior o tempo em que os tubos de sucção ficam com vazão nula e sem barreiras físicas para impedir o acesso dos mesmos. Nas drenagens avaliadas em Amador Aguiar II, o tempo gasto para se isolar as UGs foi semelhante e considerado relativamente rápido, assim como o horário do isolamento, sempre ao amanhecer.

Os mandis resgatados no tubo de sucção foram menores do que aqueles amostrados no canal de fuga previamente à drenagem. Mesmo com a necessidade de mais amostras para confirmar essa tendência, principalmente dos mandis do tubo de sucção, é recomendável a inclusão de malhas de tamanhos menores (3 e 4 cm, por exemplo) nas amostragens realizadas no canal de fuga, buscando capturar mandis menores. O acréscimo de novos dados de mais drenagens e as adequações metodológicas são fundamentais para o refinamento do modelo. A elaboração de modelos preditivos também poderá ser aplicada a outras usinas e manobras, visando reduzir os riscos de morte de peixes.

Os riscos para os peixes na operação e manutenção de UGs de usinas hidrelétricas são parte integrante do processo de geração de energia. É importante, no entanto, que essas atividades sejam estudadas com o objetivo de desenvolver processos de atenuação desses riscos. O resultado alcançado nesse trabalho indica a importância de se continuar investigando as atividades relacionadas à operação e manutenção de usinas hidrelétricas para a busca de novas soluções para outros problemas que ainda não foram adequadamente investigados.

## **7 Conclusões**

O modelo de predição apresentado para a UHE Amador Aguiar II representa um avanço na mitigação de impactos nessa usina, uma vez que permite prever a quantidade de mandis aprisionados no tubo de sucção e, conseqüentemente, o risco de se executar a manobra. É recomendável que o modelo seja levado em consideração na operação da usina. Número maior de amostras e adequações metodológicas, como a inclusão de malhas de tamanhos menores na amostragem prévia, são fundamentais para o refinamento do modelo.

## 8 Referências Bibliográficas<sup>4</sup>

Agostinho AA, Gomes LC, Pelicice FM. Ecologia e Manejo de Recursos Pesqueiros em Reservatórios do Brasil. Maringá: Eduem; 2007.

Andrade F, Prado IG, Loures RC, Godinho AL. Evaluation of techniques used to protect tailrace fishes during turbine maneuvers at Três Marias Dam, Brazil. *Neotropical Ichthyology*. 2012; 10(4):723-730. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252012000400005>

Godinho AL, Loures RC. Risco de morte de peixes em usinas hidrelétricas. In: Loures RC, Godinho AL, organizadores. Avaliação de risco de morte de peixes em usinas hidrelétricas. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais; 2016. p.19-35 (Série Peixe Vivo; 5).

Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001 [01/07/2016]; 4(1):9. Disponível em: [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm).

Loures RC, Pompeu PS. Temporal variation in fish community in the tailrace at Três Marias Hydroelectric Dam, São Francisco River, Brazil. *Neotropical Ichthyology*. 2012; 10(4):731-740. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252012000400006>

Portz DE, Woodley CM, Cech JJ, Jr. Stress-associated impacts of short-term holding on fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 2006; 16(2):125-170. <https://doi.org/10.1007/s11160-006-9012-z>

R Development Core Team. R: a language and environment for statistical computing [Computer software manual - Internet]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing; 2017. Disponível em: <http://www.r-project.org/>

Rêgo ACL, Prado IG, Silva TT, Loures RC, Silva RJ, Monteiro AB, Godinho AL. Peixes afetados em manobras de usinas hidrelétricas. In: Loures RC, Godinho AL, organizadores. Avaliação de risco de morte de peixes em usinas hidrelétricas. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais; 2016. p.71-96 (Série Peixe Vivo; 5).

Reis RE, Kullander SO, Ferraris CJ, Jr., organizers. Check list of the freshwater fishes of South and Central America. Porto Alegre: Edipucrs; 2003.

---

<sup>4</sup> Referências de acordo com normas da revista *Neotropical Ichthyology*.

# CAPÍTULO 4: VERTIMENTO REDUZ A QUANTIDADE DE PEIXES APRISIONADOS EM DRENAGENS DE UNIDADES GERADORAS DA USINA HIDRELÉTRICA AMADOR AGUIAR II?

## 1 Resumo

O vertimento é, frequentemente, um dos procedimentos que antecedem a parada de unidades geradoras para drenagem. Ele tem a suposta finalidade de atrair os peixes do canal de fuga para a região do vertedouro. O objetivo é reduzir a quantidade de peixes aprisionados no tubo de sucção da unidade geradora e, conseqüentemente, o risco de morte durante a drenagem. Neste estudo, realizei dois experimentos na usina hidrelétrica Amador Aguiar II. No primeiro, comparei as capturas do mandi (*Pimelodus maculatus*) em áreas próximas ao canal de fuga e vertedouro antes e depois do vertimento para testar se a quantidade de mandis no canal de fuga reduz e no vertedouro aumenta com o vertimento. Para isso, realizei cinco amostragens nos dois locais com uso de redes de emalhar. No segundo, avaliei se o vertimento reduz a quantidade de mandis aprisionados no tubo de sucção em drenagens comparando o número de mandis aprisionados naquelas com e sem vertimento. Para isso, determinei o número de mandis aprisionados em duas drenagens sem vertimento e comparei esse número com o número de mandis aprisionados predito pela equação  $\ln Y = 5,666 + 0,552 \ln(X + 1)$ , onde Y é o número de mandis aprisionados no tubo de sucção e X é a captura por unidade de esforço de mandis do canal de fuga na véspera da drenagem. Essa equação provém de drenagens com vertimento. Durante as amostragens do primeiro experimento, capturei 1.816 indivíduos, de 30 táxons, 4 ordens e 11 famílias. O mandi foi a espécie mais capturada. Ele representou 63,1% das capturas em número e 67,7% em biomassa. Não houve diferença significativa no número médio de mandis capturados no canal de fuga ( $t = 0,78$ ;  $P = 0,48$ ) e no vertedouro ( $t = -2,41$ ;  $P = 0,07$ ) antes e depois do vertimento. No segundo experimento, o número de mandis aprisionados nas duas drenagens sem vertimento foi 8,7 e 5,1 vezes maior do que o número de mandis preditos pela equação e acima do limite superior do intervalo de confiança a 95% da regressão. Esse estudo não foi totalmente conclusivo quanto ao suposto benefício do vertimento. Ele sugere que o vertimento pode não atrair os mandis do canal de fuga para a região do vertedouro, mas pode reduzir o número de mandis aprisionados. Mais amostras e o uso de outras metodologias, tais como o Didson e a biotelemetria, são necessários para reduzir ou eliminar as dúvidas geradas pelo pequeno número de réplicas e limitações do método de amostragem utilizado.

Palavras-chave: canal de fuga, *Pimelodus maculatus*, rio Araguari, tubo de sucção, vertedouro.

## 2 Abstract

Spillway discharge is frequently one of the procedures that precede the generator units stop for dewatering. It is supposed to attract fish from the tailrace to the spillway region. The objective is to reduce the amount of fish trapped in the draft tube of the generator unit, thus lowering the risk of fish death during the dewatering. In the present study I conducted two experiments in the Amador Aguiar II Dam. In the first experiment I compared mandi (*Pimelodus maculatus*) catches in areas close to the tailrace and spillway prior to and after spillway discharge to test whether the abundance of mandi reduces in the tailrace and increases in the spillway with spillway discharge. Thereunto I performed five fish sampling in the two places with the aid of gill nets. In the second I evaluated whether spillway discharge reduces the amount of mandi trapped in the draft tube during dewaterings by comparing the number of mandi trapped in dewaterings with and without spillway discharge. Thereunto I determined the number of mandi trapped in two dewaterings without spillway discharge and compared with the number predicted by the model  $\ln Y = 5.666 + 0.552 \ln(X + 1)$ , in which Y is the number of mandi trapped in the draft tube and X is the catch per unit effort of mandi in the tailrace on the eve of the dewatering. This equation comes from dewaterings with spillway discharge. During samplings of the first experiment I collected 1,816 individuals of 30 taxa, 4 orders and 11 families. Mandi was the most common species and accounted for 63.1% of the number and 67.7% of the biomass captured. There was no significant difference in the mean number of mandi captured in the tailrace ( $t = 0.78$ ;  $P = 0.48$ ) and the spillway ( $t = -2.41$ ;  $P = 0.07$ ) before and after the spillway discharge. In the second experiment the number of mandi trapped in two dewaterings without spillway discharge was 8.7 and 5.1 times greater than the number of mandi predicted by the equation and above the upper limit of the 95% confidence interval of the regression. The present study was not entirely conclusive as to the supposed benefit of the spillway discharge. It suggests that spillway discharge may not attract mandi from the tailrace to the region of the spillway, but may reduce the number of mandi trapped. More sampling and the use of other methodologies, such as Didson and biotelemetry, are necessary to reduce or eliminate the uncertainties generated by a small number of replicates and limitations of the sampling method used in the present study.

Keywords: tailrace, *Pimelodus maculatus*, Araguari River, draft tube, spillway.

### 3 Introdução

A operação ‘engana peixe’ é um dos procedimentos que antecedem a parada de unidades geradoras (UG) para drenagem. O objetivo da operação é reduzir a quantidade de peixes aprisionados no tubo de sucção da UG e, conseqüentemente, o risco de morte durante a drenagem. Na operação, usualmente o vertedouro é aberto e é(são) parada(s) a(s) UG(s) adjacente(s) àquela que sofrerá a manutenção. O vertimento tem, supostamente, a finalidade de atrair os peixes do canal de fuga para a região do vertedouro. Por outro lado, supõe-se que a parada da(s) UG(s) adjacente(s) serve para desviar os peixes da UG a ser drenada para as adjacentes. Giro a vazio ou aumento da vazão turbinada também são realizados como operação ‘engana peixe’ e visam expulsar os peixes da UG que será drenada antes de sua parada completa.

O termo ‘engana peixe’ é usual no setor hidrelétrico, mas é inadequado, por ser impreciso e depreciativo para com o peixe. Para o seu lugar, sugiro o uso do termo ‘desvia peixe’, para ser utilizado em qualquer manobra da usina com objetivo de reduzir a quantidade de peixes aprisionados na UG. Sugiro ainda dois termos mais específicos que devem ser utilizados de acordo com a finalidade das manobras, que são: ‘atrai peixe’, para vertimento e/ou parada de UG(s) adjacente(s), e ‘afasta peixe’, para giro a vazio ou aumento da vazão turbinada.

A operação ‘desvia peixe’ é frequentemente empregada nas usinas do Grupo Cemig. Em 78 drenagens ocorridas entre 2009 e 2012, ela foi realizada em 64,1% delas. Dentre as drenagens com realização do ‘desvia peixe’, em 50% houve abertura do vertedouro e parada da(s) UG(s) adjacente(s), em 30% apenas parada da(s) UG(s) adjacente(s) e em 2% somente a abertura do vertedouro. Giro a vazio ou aumento da vazão turbinada foi utilizado em 18% das drenagens. Apesar de frequente, poucos estudos foram conduzidos para testar a eficiência

dessa operação. Aparentemente, apenas em Três Marias testes foram realizados (Andrade *et al.*, 2012).

Na usina hidrelétrica (UHE) Amador Aguiar II (rio Araguari, MG), a operação ‘atrai peixe’ é geralmente realizada com abertura do vertedouro e parada da(s) UG(s) adjacente(s). Nas drenagens das UGs, o mandi (*Pimelodus maculatus*) representa 90% ou mais do número de peixes aprisionados.

Neste estudo, realizei dois experimentos na UHE Amador Aguiar II. No primeiro, comparei as capturas do mandi em áreas próximas ao canal de fuga e vertedouro, antes e depois do vertimento, para testar se a quantidade de mandis no canal de fuga reduz e no vertedouro aumenta com o vertimento. No segundo, avaliei se o vertimento reduz a quantidade de mandis aprisionados no tubo de sucção em drenagens comparando o número de mandis aprisionados naquelas com e sem vertimento.

Se a eficiência do vertimento for constatada, sua execução poderá reduzir a quantidade de peixes aprisionados no tubo de sucção e, conseqüentemente, o risco de morte durante a drenagem. Por outro lado, manobras desnecessárias podem afetar economicamente a empresa.

#### **4 Material e Métodos**

Para o 1º experimento, realizei cinco amostragens de peixes nos meses de junho de 2011 e abril, outubro, novembro e dezembro de 2012. Amostrei a área adjacente ao canal de fuga (22K 0770350 7934770) e a fossa de erosão do vertedouro (22K 0770265 7935086), que é uma das formas de dissipação de energia da água vertida, com o uso de redes de emalhar (Figura 1). Designei essas áreas de canal de fuga e vertedouro respectivamente. Armei as redes de emalhar no canal de fuga e vertedouro antes e depois do vertimento. Em cada amostra, fase (antes e após o vertimento) e ponto amostral (canal de fuga e vertedouro),

utilizei uma bateria de redes com as malhas 3, 4, 6, 7 e 8 cm entre nós opostos. As redes tinham cerca de 1,7 m de altura e 10 m (malhas 3 e 4) ou 20 m (demais) de comprimento.



**FIGURA 1** – UHE Amador Aguiar II com indicação da posição das redes de emalhar na área adjacente ao canal de fuga (em amarelo) e na fossa de erosão do vertedouro (em vermelho).

Em cada amostra, armei as redes de emalhar ao final da tarde de um dia e as retirei na manhã seguinte. No primeiro dia, antes do vertimento, armei as redes de emalhar no canal de fuga e vertedouro. O vertedouro foi aberto no segundo dia, às 15h30min, permanecendo aberto por 24 h com vazão vertida de 100 m<sup>3</sup>/s, que é padrão da UHE Amador Aguiar II para a operação ‘atrai peixe’. Essa vazão representa 28,6% da vazão média de longo termo dessa usina (Cachapuz, 2006). No terceiro dia, após o fim do vertimento, armei as redes de emalhar novamente no canal de fuga e vertedouro. Identifiquei, contei e pesei todos os peixes capturados. Mandis e peixes mortos das demais espécies foram fixados em formol 10%. Devolvi ao rio os peixes vivos após biometria.

Utilizei o teste  $t$  para amostras pareadas para determinar diferenças no número de mandis coletados no canal de fuga e vertedouro antes e depois do vertimento. Antes de usar o teste  $t$ , verifiquei se a distribuição dos dados do número de mandis era normal usando o teste de Shapiro-Wilk. Usei o programa PAST para os testes  $t$  e de normalidade (Hammer *et al.*, 2001). Determinei o poder usando  $G * Power3$ . Defini o nível de significância ( $\alpha$ ) em 0,05 e poder em 0,80.

No 2º experimento, determinei o número de mandis aprisionados no tubo de sucção em duas drenagens (abril e maio de 2011) com o uso da operação ‘atrai peixe’ com parada da UG adjacente, mas sem vertimento. Durante a drenagem, os peixes aprisionados foram resgatados com puçás e redes de arrasto e acondicionados em baldes. Amostrei alíquotas para estimativa do número de mandis aprisionados. Um em cada três baldes de peixes resgatados do tubo de sucção tiveram os indivíduos contados. Para garantir a aleatoriedade das amostras, sorteei um número de 1 a 3 antes do início do resgate para determinar quais baldes seriam contados. Por exemplo, se o número 2 foi sorteado, os baldes de número 2, 5, 8, 11, 14 e assim por diante tiveram os indivíduos contados.

Comparei esse número com o número de mandis aprisionados predito pela equação  $\ln Y = 5,666 + 0,552 \ln(X + 1)$  ( $r^2 = 0,60$ ), onde  $Y$  é o número de mandis aprisionados no tubo de sucção e  $X$  é a captura por unidade de esforço ( $CPUE$ ) de mandis do canal de fuga na véspera da drenagem conforme descrito no Capítulo 3. Essa equação provém de drenagens com uso da operação ‘atrai peixe’ com parada de UG adjacente e vertimento.

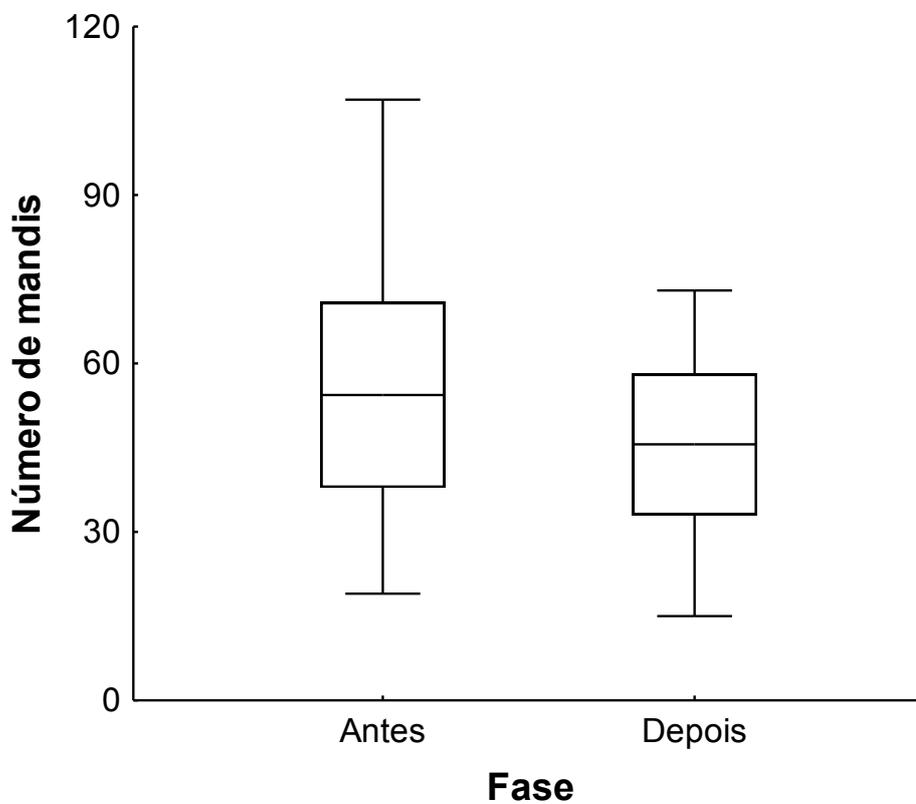
## 5 Resultados

Capturei 1.816 indivíduos, de 30 táxons, 4 ordens e 11 famílias (Tabela 1). As famílias mais representativas foram Cichlidae e Anostomidae com seis espécies cada, seguida das famílias Characidae e Pimelodidae, com quatro. Dos 30 táxons, 28 foram coletados no canal de fuga e 15 no vertedouro. Treze táxons foram comuns aos dois pontos amostrais. O número de táxons registrados no canal de fuga antes, durante e depois do vertimento foi, respectivamente, 24, 16 e 20. Doze táxons ocorreram nas três fases. Coletei o mesmo número de táxons (12) no vertedouro antes e depois do vertimento, sendo nove comuns às duas fases. O mandi foi a espécie mais capturada. Ele representou 63,1% das capturas em número e 67,7% em biomassa.

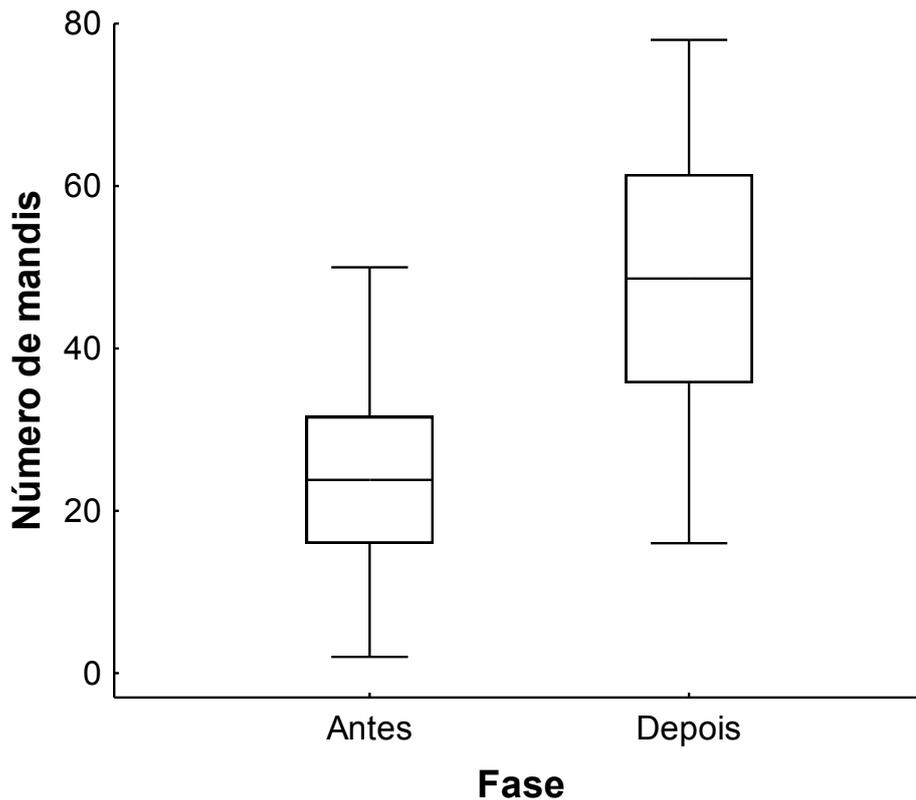
**TABELA 1** - Lista dos táxons coletados com redes de emalhar na área adjacente ao canal de fuga (CF) e na fossa de erosão do vertedouro (VT) da UHE Amador Aguiar II antes (A), durante (DU) e depois (DE) do vertimento. Ordem dos táxons segundo Reis *et al.* (2003).

Ordem/Família/Táxon	CF			VT	
	A	DU	DE	A	DE
<b>Characiformes</b>					
<b>Curimatidae</b>					
<i>Cyphocharax gillii</i>	X	X	X		
<i>Steindachnerina insculpta</i>	X				
<b>Anostomidae</b>					
<i>Leporellus vittatus</i>				X	X
<i>Leporinus geminis</i>	X		X		X
<i>Megaleporinus obtusidens</i>	X		X	X	
<i>Leporinus friderici</i>	X	X	X	X	X
<i>Leporinus octofasciatus</i>		X	X	X	
<i>Schizodon nasutus</i>	X	X	X	X	X
<b>Characidae</b>					
<i>Astyanax lacustris</i>	X	X	X		
<i>Astyanax fasciatus</i>	X	X			
<b>Serrasalminidae</b>					
<i>Serrasalmus maculatus</i>			X		
<i>Serrasalmus marginatus</i>	X				
<b>Erythrinidae</b>					
<i>Hoplias intermedius</i>	X	X	X		
<i>Hoplias malabaricus</i>	X	X			
<b>Siluriformes</b>					
<b>Loricariidae</b>					
<i>Hypostomus</i> spp.	X	X	X	X	X
<i>Megalancistrus parananus</i>	X	X	X	X	X
<b>Heptapteridae</b>					
<i>Pimelodella avanhandavae</i>	X	X	X		X
<b>Pimelodidae</b>					
<i>Iheringichthys labrosus</i>	X	X	X		
<i>Pimelodus maculatus</i>	X	X	X	X	X
<i>Pimelodus microstoma</i>	X		X	X	X
<i>Pinirampus pirinampu</i>	X	X	X	X	X
<b>Doradidae</b>					
<i>Rhinodoras dorbignyi</i>	X	X	X	X	X
<b>Auchenipteridae</b>					
<i>Trachelyopterus galeatus</i>	X				
<b>Gymnotiformes</b>					
<b>Gymnotidae</b>					
<i>Gymnotus sylvius</i>	X				
<b>Perciformes</b>					
<b>Cichlidae</b>					
<i>Cichla kelberi</i>	X		X		X
<i>Cichla piquiti</i>	X				
<i>Cichlasoma paranaense</i>			X		
<i>Crenicichla jaguarensis</i>				X	
<i>Geophagus brasiliensis</i>		X			
<i>Satanoperca pappaterra</i>	X		X		

O número médio de mandis capturados no canal de fuga por fase variou de 45,6 a 54,4 (Figura 2). Não houve diferença significativa nesse número antes e depois do vertimento ( $t = 0,78$ ;  $P = 0,48$ ; Poder = 0,15). Embora a média do número de mandis capturados no vertedouro antes do vertimento tenha sido metade do obtido após o vertimento, também não encontrei diferenças significativas no número médio de mandis capturados no vertedouro antes e depois do vertimento ( $t = -2,41$ ;  $P = 0,07$ ; Poder = 0,64) (Figura 3).



**FIGURA 2** – Média, erro padrão e amplitude do número de mandis capturados na área adjacente ao canal de fuga da UHE Amador Aguiar II antes e depois do vertimento.



**FIGURA 3** – Média, erro padrão e amplitude do número de mandis capturados na fossa de erosão do vertedouro da UHE Amador Aguiar II antes e depois do vertimento.

Os números estimados de mandis aprisionados nas duas drenagens com operação ‘atraindo peixe’ sem vertimento foi de 13.352 e 6.294. A *CPUE* de mandis no canal de fuga na véspera da drenagem foi de 19,7 e 13,0 indivíduos/100m<sup>2</sup> de rede. Essas *CPUEs*, aplicadas à equação de predição, geraram os números de mandis aprisionados preditos de 1.537 e 1.239. Assim, o número de mandis realmente aprisionados foi, respectivamente, 8,7 e 5,1 vezes maior do que o número de mandis preditos pela equação e acima do limite superior do intervalo de confiança a 95% da regressão.

## 6 Discussão

O mandi foi a espécie mais capturada nos experimentos. Ele é comumente reconhecido como uma das espécies mais frequentes em manobras de UGs em diferentes

barragens do Brasil (Andrade *et al.*, 2012; Rêgo *et al.*, 2016), o que pode estar relacionado a sua ampla distribuição, alta abundância em alguns locais e ao seu caráter migrador.

As amostras com redes de emalhar sugerem que o vertimento não alterou significativamente a quantidade de peixes no canal de fuga e vertedouro. Na operação ‘atrai peixe’, o suposto papel do vertimento é atrair os peixes do canal de fuga para a região do vertedouro. Assim, esperava-se que o número de mandis coletados no canal de fuga diminuísse e no vertedouro aumentasse com o vertimento. Tal situação não foi verificada nesse experimento. Isso sugere, então, que o vertimento pode não atrair peixes do canal de fuga para a região do vertedouro. Na UHE Três Marias, o vertimento também parece não ser suficiente para atrair os peixes do canal de fuga (Andrade *et al.*, 2012).

A inexistência de diferença significativa no número de mandis capturados antes e depois do vertimento pode ter sido consequência do local amostrado e do número de réplicas. Devido à influência do escoamento da água turbinada sobre a eficiência das redes de emalhar, a amostragem não pôde ser feita no canal de fuga. Por isso, armei as redes num remanso adjacente a ele. Não utilizei tarrafa e/ou anzol porque amostras anteriores indicaram que esses petrechos são pouco eficientes na captura do mandi, principalmente na região do vertedouro. O número reduzido de réplicas, por sua vez, pode ter resultado em um experimento com baixo poder estatístico.

Por outro lado, a quantidade de mandis aprisionados em drenagens com a operação ‘atrai peixe’ sem vertimento sugere que o vertimento pode ser benéfico para reduzir a quantidade de mandis aprisionados no tubo de sucção de UGs durante as drenagens. O número de peixes aprisionados em drenagens com operação ‘atrai peixe’ com parada de UGs e sem vertimento foi maior do que aquele com operação ‘atrai peixe’ com parada de UGs e vertimento. Assim, mais mandis entraram no tubo de sucção durante a drenagem sem vertimento do que com vertimento. Dessa forma, embora o vertimento pareça não alterar a

quantidade de mandis no canal de fuga, talvez ele seja capaz de reduzir o número de mandis que ficam aprisionados no tubo de sucção.

Além do vertimento, é possível que a parada de uma UG adjacente (ou das duas) também atue para reduzir a quantidade de peixes aprisionados no tubo de sucção durante a drenagem. Quantidades expressivas de peixes foram registradas no tubo de sucção de UGs paradas da UHE São Simão e na UHE Amador Aguiar II em amostragens feitas com o sonar Didson (Giraldo, com. pes.). Assim, a parada das UGs adjacentes antes da parada da UG a ser drenada deve possibilitar que parte dos peixes entre em outras UGs que não aquela que seria drenada, reduzindo a quantidade de peixes aprisionados.

Em algumas amostras do 1º experimento, peixes do canal de fuga da UHE Amador Aguiar II foram filmados com o Didson. O aparelho foi montado num trilho afixado à casa de força, entre as saídas dos tubos de sucção das UGs 1 e 2. Foram feitas imagens antes, durante e depois do vertimento (24 h em cada uma dessas fases). Diferentemente das redes de emalhar, as imagens obtidas com o Didson foram dos peixes do canal de fuga e não da área adjacente. Por isso, os dados a serem obtidos com a análise das imagens geradas pelo Didson devem ser mais precisos do que os obtidos com redes de emalhar e deverão ser úteis na reavaliação do papel do vertimento na atração de peixes do canal de fuga.

## **7 Conclusões**

Esse estudo não foi totalmente conclusivo quanto ao suposto benefício da operação ‘atrai peixe’. Ele sugere que o vertimento pode não atrair os mandis do canal de fuga para a região do vertedouro, mas pode reduzir o número de mandis aprisionados. Mais amostras e o uso de outras metodologias, tais como o Didson e a biotelemetria, são necessários para reduzir

ou eliminar as dúvidas geradas pelo pequeno número de réplicas e limitações do método de amostragem utilizado.

## 8 Referências Bibliográficas<sup>5</sup>

Andrade F, Prado IG, Loures RC, Godinho AL. Evaluation of techniques used to protect tailrace fishes during turbine maneuvers at Três Marias Dam, Brazil. *Neotropical Ichthyology*. 2012; 10(4):723-730. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252012000400005>

Cachapuz PBB. Usinas da Cemig: a história da eletricidade em Minas e no Brasil, 1952-2005. Rio de Janeiro: Centro da Memória da Eletricidade no Brasil; 2006.

Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001 [01/07/2016]; 4(1):9. Disponível em: [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm).

Rêgo ACL, Prado IG, Silva TT, Loures RC, Silva RJ, Monteiro AB, Godinho AL. Peixes afetados em manobras de usinas hidrelétricas. In: Loures RC, Godinho AL, organizadores. Avaliação de risco de morte de peixes em usinas hidrelétricas. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais; 2016. p.71-96 (Série Peixe Vivo; 5).

Reis RE, Kullander SO, Ferraris CJ, Jr., organizers. Check list of the freshwater fishes of South and Central America. Porto Alegre: Edipucrs; 2003.

---

<sup>5</sup> Referências de acordo com normas da revista *Neotropical Ichthyology*.