



Universidade de Brasília

Programa de Pós-graduação em
Ciências Ambientais

**ELEVAÇÃO DA VELOCIDADE DO FLUXO
HIDRÁULICO PARA REPULSÃO DA ICTIOFAUNA
NO TUBO DE SUCÇÃO DURANTE PARADAS
PREVISTAS OU INTEMPESTIVAS DAS UNIDADES
GERADORAS**

PLANALTINA-DF

2019

RENATO FERREIRA SOUSA

**ELEVAÇÃO DA VELOCIDADE DO FLUXO
HIDRÁULICO PARA REPULSÃO DA ICTIOFAUNA
NO TUBO DE SUCCÃO DURANTE PARADAS
PREVISTAS OU INTEMPESTIVAS DAS UNIDADES
GERADORAS**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Faculdade UnB Planaltina, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fabricio Zara

**PLANALTINA – DF
2019**

FICHA CATALOGRÁFICA

SOUSA, Renato Ferreira.

Elevação da velocidade do fluxo hidráulico para repulsão da ictiofauna no tubo de sucção durante paradas previstas ou intempestivas das unidades geradoras/ Renato Ferreira Sousa. Planaltina – DF, 2019, 68 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília
Faculdade de Planaltina, Brasília, 2019. Orientação: Luiz Fabricio Zara.

1. Hidrelétrica 2. Ictiofauna 3. Repulsão 4. Tubo de sucção 5. Turbina tipo bulbo.

PLANALTINA – DF
2019

RENATO FERREIRA SOUSA

**ELEVAÇÃO DA VELOCIDADE DO FLUXO
HIDRÁULICO PARA REPULSÃO DA ICTIOFAUNA
NO TUBO DE SUCCÃO DURANTE PARADAS
PREVISTAS OU INTEMPESTIVAS DAS UNIDADES
GERADORAS**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Faculdade UnB Planaltina, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Banca Examinadora:

Planaltina-DF, 16 de agosto de 2019.

Prof. Dr. Luiz Fabricio Zara, UnB/Campus Planaltina
(Orientador)

Prof. Dr. Antonio Felipe Couto Junior, UnB/Campus Planaltina
(Examinador)

Prof. Dr. Felipe André dos Santos, Unesp/Tupã
(Examinador)

Elevação da velocidade do fluxo hidráulico para repulsão da ictiofauna no tubo de sucção durante paradas previstas ou intempestivas das unidades geradoras

Resumo

A bacia amazônica possui um potencial favorável ao aproveitamento hidrelétrico, sendo fundamental para o desenvolvimento de diversas atividades econômicas. É importante a avaliação e mitigar impactos ambientais sobre a ictiofauna nas unidades geradoras de energia das usinas hidrelétricas. O objetivo do estudo foi analisar a eficiência do procedimento de repulsão dos peixes por meio do aumento da velocidade do fluxo hidráulico no tubo de sucção. Para o desenvolvimento do trabalho foi analisado o monitoramento em tempo real por imagens subaquáticas multifrequenciais para quantificar a biomassa confinada nos tubos de sucção, sendo classificadas como: a) incipiente, b) detectável, c) mensurável ou elevada. Além disto, foi analisada a qualidade da água utilizando sonda multiparamétrica para verificação do contexto aquático dentro do ambiente confinado. Os resultados do monitoramento da ictiofauna confinada no tubo de sucção de 203 manobras de parada de máquinas durante 2014 a 2018, mostrou elevada eficiência do procedimento sendo observado ao longo deste período o aprisionamento de nenhuma ou pouquíssima ictiofauna no tubo de sucção (até 10 espécimes), a qual em 96,86% dos casos é característica de espécimes de pequeno tamanho. O aumento do fluxo hidráulico no tubo de sucção associado ao monitoramento da ictiofauna confinada durante as manobras de fechamento das comportas a jusante da unidade geradora (UG), possibilitou verificar e quantificar a dinâmica aquática do ambiente, analisando a eficiência positiva do método na repulsão da ictiofauna.

Palavras-chave: *hidrelétrica, ictiofauna, repulsão, tubo de sucção, turbina tipo bulbo.*

Elevation of the hydraulic flow velocity for repulsion of the ichthyofauna in the suction tube during predicted or untimely stoppages of the generating units

Abstract

The Amazon Basin has a favorable potential for hydroelectric use, being fundamental for the development of various economic activities. It is important to evaluate and mitigate environmental impacts on the Ichthyofauna in the energy generating units of hydroelectric power plants. The aim of this study was to analyze the efficiency of the fish repulsion procedure by increasing the speed of the hydraulic flow in the suction tube. For the development of the work, we analyzed the real-time monitoring by multi-frequency underwater images to quantify the contained biomass in the suction tubes, being classified as: a) incipient, b) detectable, c) measurable or High. In addition, the water quality was analyzed using a multiparametric probe to verify the aquatic context within the confined environment. The results of the monitoring of the Ichthyofauna confined in the suction tube of 203 maneuvers of stopping machines during 2014 to 2018, showed high efficiency of the procedure being observed during this period the imprisonment of none or very few Ichthyofauna in the suction tube (up to 10 specimens), which in 96.86% of the cases is characteristic of small size specimens. The increase of the hydraulic flow in the suction tube associated with the monitoring of the Ichthyofauna confined during the closing maneuvers of the downstream floodgates of the generating Unit (UG), made it possible to verify and quantify the aquatic dynamics of the environment, Analyzing the positive efficiency of the method in the repulsion of the Ichthyofauna.

Keywords: *Hydroelectric, Ichthyofauna, repulsion, suction tube, bulb type turbine.*

Sumário

CAPÍTULO 1 - BACIA AMAZÔNICA.....	12
1. Rios e Clima	12
2. Peixes e Pesca.....	14
3. Potencial hidroelétrico amazônico e o Rio Madeira.....	20
4. Desafios para a manutenção das Unidades Geradoras	26
5. Métodos de Repulsão da Ictiofauna	27
6. Área de estudo	31
7. Objetivo geral	33
7.1 Objetivos específicos	33
CAPÍTULO 2 - ELEVAÇÃO DO FLUXO HIDRÁULICO COMO MÉTODO DE REPULSÃO DA ICTIOFAUNA NAS UNIDADES GERADORAS DA USINA HIDRELÉTRICA JIRAU, RONDÔNIA.....	34
1. Introdução.....	34
2. Materiais e Métodos	35
2.1 Avaliação da ictiofauna e da qualidade da água.....	35
2.2 Manobra de elevação do fluxo hidráulico.....	37
2.3 Banco de dados	38
3. Resultados e Discussão.....	40
3.1 Elevação da velocidade do fluxo hidráulico	40
3.2 Movimentações gerais da biomassa confinada.....	41
3.3 Teste de Normalidade de <i>Shapiro-Wilk's</i>	46
3.4 Teste não paramétrico de <i>Kruskal Wallis</i>	46
3.5 Qualidade da água.....	53
4. Conclusões.....	59
5. Referências bibliográficas	60

Lista de Figuras

Sumário

CAPÍTULO 1 - BACIA AMAZÔNICA..... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 1. Distribuição dos rios e sua classificação em rios de águas brancas, águas negras e claras (Junk *et al.*, 2011; Villamizar *et al.*, 2014).ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 2. Precipitação média anual (mm) na América do Sul de 1980 a 2010 (Limberger & Silva, 2016). ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 3. Potencial hidrelétrico brasileiro para usinas acima de 50 MW (SIPOT, Eletrobras, 2016). ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 4. Distribuição do sistema elétrico brasileiro (Théry & Théry, 2016). ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 5. Perfil estratigráfico da formação do Rio Madeira (Nascimento, 2008). ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 6. Contextualização geral da manobra de elevação do fluxo hidráulico como sistema de repulsão físico. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 7. Localização da área de estudo da usina hidrelétrica Jirau, na região do Alto Rio Madeira, estado de Rondônia. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 8. Esquema exemplificativo de turbina do tipo bulbo. 1-tubo de acesso ao gerador; 2-câmara de adução; 3-bulbo ou capsula; 4-sistema de óleo do rotor; 5-gerador síncrono; 6-mancais de guia; 7-estrutura (e/ou pilar) de sustentação; 8-tubo de acesso a turbina; 9-distribuidor; 10-pás do rotor; 11-cubo; 12-ogiva ou cone; 13-tubo de descarga ou sucção. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

CAPÍTULO 2 - ELEVAÇÃO DO FLUXO HIDRÁULICO COMO MÉTODO DE REPULSÃO DA ICTIOFAUNA NAS UNIDADES GERADORAS DA USINA HIDRELÉTRICA JIRAU, RONDÔNIA..... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 9. Transdutores instalados no painel de face da comporta vagão entre o segundo e terceiro elemento..... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 10. Detalhamento do cabeamento através do parafuso adaptado da tala entre os seguimentos e a bomba de baixa vazão para análise da qualidade da água (gaveta da

comporta vagão entre o segundo e terceiro seguimento).ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 11. equipamento para aquisição das imagens subaquáticas multifrequenciais e célula de fluxo para análise da qualidade da água por sonda multiparamétrica..... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 12. fluxograma da manobra de elevação do fluxo hidráulico. procedimento: 1º dessincronização da turbina; 2º descida da comporta vagão à jusante; 3º elevação do fluxo hidráulico; 4º fechamento do tubo de sucção; 5º monitoramento de imagens da ictiofauna confinada. após realizado o monitoramento tem-se: 6º um padrão de imagem mensurável ou elevada; 7º abertura a jusante; 8º abertura do distribuidor. 6º constatado um padrão incipiente ou detectável; 7º isolamento a montante; 8º esgotamento da ug; 9º resgate da ictiofauna. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 13. Organização e distribuição das unidades geradoras: a - margem direita UG (01 a 28) – casa de força 1. b - margem esquerda ug (29 a 50) – casa de força 2. Fonte: imagem digital Globe, 2019. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 14. Visão frontal da face do tubo de sucção da unidade geradora (direita) e detalhamento do tubo de sucção (fase construtiva).ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 15. Exemplo de monitoramento com classificação de biomassa insipiente. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 16. Exemplo de monitoramento com classificação de biomassa detectável. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 17. Exemplo de monitoramento com classificação de biomassa mensurável. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 18. Exemplo de monitoramento com classificação de biomassa elevada.. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 19. Registro de movimentações de biomassa confinada realizada durante o período de 2014 a 2018 na UHE Jirau. classificação conforme o tamanho da detecção da biomassa observada: categoria 1 (quando na tela foi < 1 cm), categoria 2 (> 1 cm e < 2cm e categoria 3 (> 2cm). ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 20. Valores percentuais da movimentação da biomassa confinada referentes as movimentações dos categorias 1, 2 e 3, períodos hidrológicos de enchente, cheia, vazante e seca. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 21. Quantificação de movimentação da biomassa confinada no tubo sucção referentes as margens: direita UG (01 a 28) – casa de força 1, e esquerda UG (29 a 50) casa de força 2. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 22. Boxplot considerando a movimentação geral/tempo nos períodos hidrológicos de enchente, cheia, vazante e seca. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 23. Categorias de biomassa 1, 2 e 3 durante o período de 2014 a 2018 na UHE Jirau. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 24. Categoria de biomassa geral (categorias 1, 2 e 3) em relação a localização das margens esquerda e direita. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 25. Movimentação mediana da biomassa em relação a localização das margens (direita e esquerda) da usina. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 26. Boxplot considerando os anos e a biomassa total nas 50 unidades geradoras da UHE Jirau. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 27. Categoria de biomassa total em relação a movimentação em todo o período de monitoramento (2014 a 2018). ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 28. Dendograma relativo à análise de cluster da movimentação da biomassa nas ugs (1-50) no período analisado. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 29. a) temperatura (°C) durante os períodos hidrológicos durante os anos de 2014 a 2018 e b) referentes as margens de localização das UGs na UHE Jirau. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 30. a) valor de pH durante os períodos hidrológicos durante os anos de 2014 a 2018 e b) referentes as margens de localização das UGs na UHE Jirau. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 31. a) valor de condutividade durante os períodos hidrológicos durante os anos de 2014 a 2018 e b) referentes as margens de localização das UGs na UHE Jirau..... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 32. a) concentração de oxigênio dissolvido (mg l^{-1}) durante os períodos hidrológicos durante os anos de 2014 a 2018 e b) referentes as margens de localização das UGs na UHE Jirau..... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Figura 33. a) concentração de sólidos dissolvidos (mg l^{-1}) durante os períodos hidrológicos durante os anos de 2014 a 2018 e b) referentes as margens de localização das UGs na UHE Jirau..... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

Lista de Tabelas

Sumário

CAPÍTULO 1 - BACIA AMAZÔNICA.....	12
Tabela 1. Classificação das águas nos Rios Amazônicos (Sioli, 1956), adaptado de Junk <i>et al.</i> , (2011).....	13
Tabela 2. Características da ictiofauna amazônica nas fases dos rios nos diferentes períodos do ano.....	15
Tabela 3. classificação da pesca amazônica desenvolvida por Freitas & Rivas (2006).	18
Tabela 4. Comparação das principais espécies de pescado desembarcadas em Manaus (Bayley & Petrere, 1989; Souza <i>et al.</i> , 2007).....	19
Tabela 5. Análise histórica da documentação de espécies de peixes no rio madeira e afluentes.....	25
CAPÍTULO 2 - ELEVAÇÃO DO FLUXO HIDRÁULICO COMO MÉTODO DE REPULSÃO DA ICTIOFAUNA NAS UNIDADES GERADORAS DA USINA HIDRELÉTRICA JIRAU, RONDÔNIA.....	34
Tabela 6. Quantificação de movimentações realizadas por período hidrológico de enchente, cheia, vazante e seca na uhe jirau.....	44
Tabela 7. Análise de <i>Shapiro-Wilk's</i> considerando o categoria geral e os categorias 1, 2 e 3 em relação ao tempo.	46
Tabela 8. Análise da qualidade da água na UHE Jirau no período de 2014 a 2018	54

Capítulo 1 - BACIA AMAZÔNICA

1. Rios e Clima

A bacia amazônica é constituída por uma topografia plana com sedimentos terciários não inundados a menos de 200 m acima do nível do mar, definida como “terra firme” (BAYLEY, 1989). A morfologia dos rios amazônicos pode ter ocorrido devido ao término do período glacial e a consequente elevação do nível do mar, havendo um represamento das águas até dentro da Amazônia central, levando a elevação do nível das águas no ambiente dos vales (MENIN, 2017).

Essa morfologia constituída também por uma complexa dinâmica de sedimentos e depósitos de várzea que foram processados e incorporados aos riachos amazônicos, sugerindo que a migração do canal da bacia amazônica pode ter ocorrido no Holoceno neotectônico.

Segundo Junk *et al.*, (2011) na década de 50 Sioli realizou uma classificação das águas da bacia amazônica usando como critérios a cor, a transparência, o pH e a condutividade elétrica para explicar as características limnológicas e as propriedades geológicas e geomorfológicas da região (Figura 1).

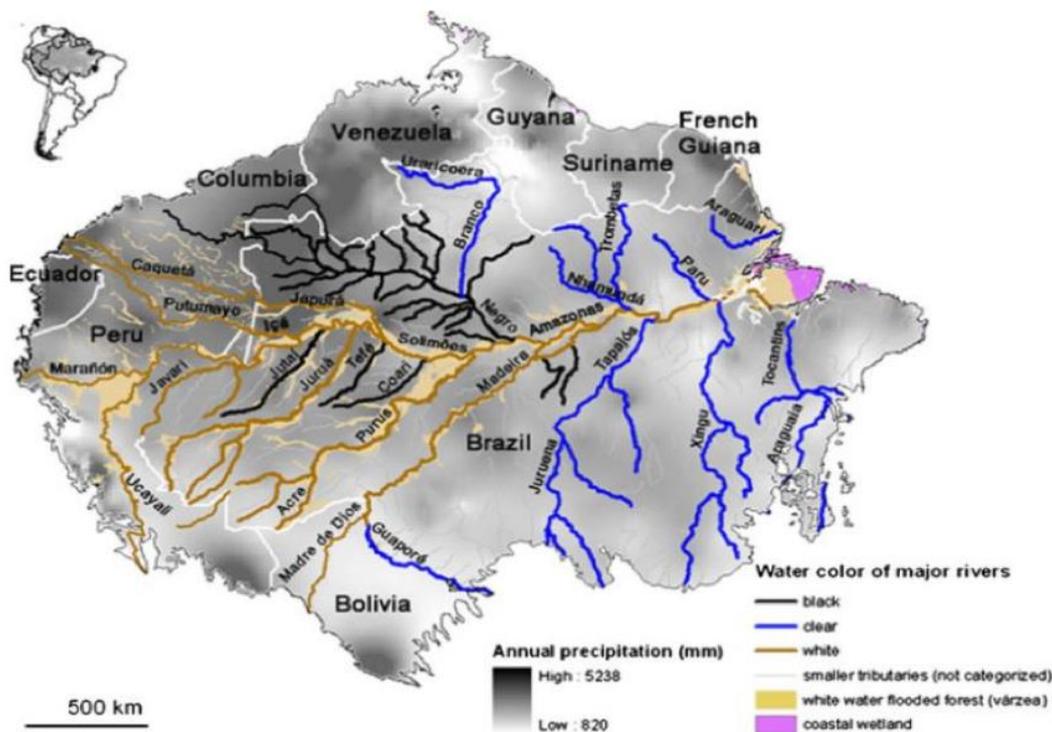


Figura 1. Distribuição dos rios e sua classificação em rios de águas brancas, águas negras e claras (JUNK et al., 2011; VILLAMIZAR et al., 2014).

A Classificação científica de Sioli foi a primeira dos corpos hídricos amazônicos, onde foram classificadas em águas brancas, águas negras e claras (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação das águas nos rios amazônicos (Sioli, 1956), adaptado de Junk *et al.*, (2011).

Atributos ecológicos	Águas negras (pretas)	Águas Claras	Águas Brancas
pH	Quase neutro	Ácido, <5	Variável, 5-8
Condutividade elétrica	40-100	<20	5-40
Transparência	20-60 cm	60-120 cm	> 150 cm
Cor de água	Turvo	Acastanhado	Esverdeado
Substâncias húmicas	Baixo	Alto	Baixo
Relação de Cátions alcalino-terrosos (Ca, Mg) e alcalinos (Na, K)	Ca, Mg > Na, K	Na, K > Ca, Mg	Variável
Ânions dominantes	CO ₃	SO ₄ , Cl	Variável
Fertilidade do substrato e da água	Alto	Baixo	Baixo a intermediário

O clima na região amazônica é tipicamente equatorial, as temperaturas anuais variam de 22 a 36 °C, a umidade relativa é de 80 a 100 % e a precipitação anual é de 1500 a 3000 mm (Figura 2) (BODMER *et al.*, 2017).

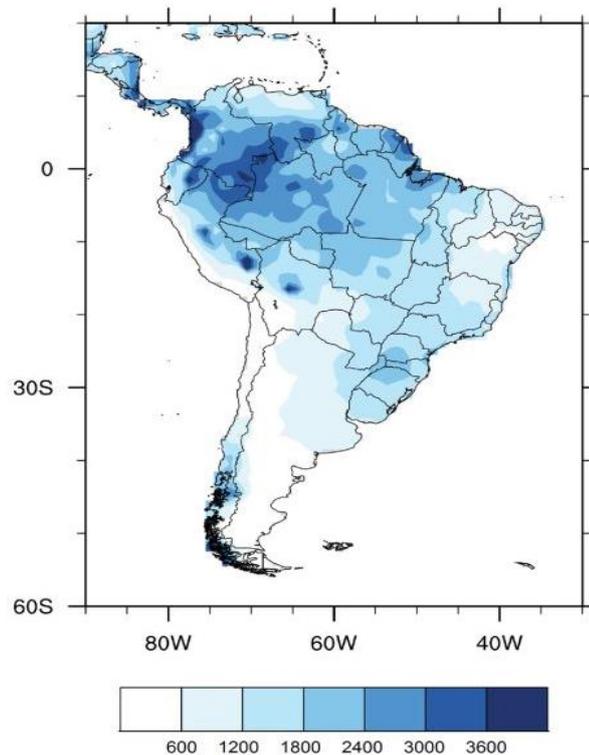


Figura 2. Precipitação média anual (mm) na América do Sul de 1980 a 2010 (LIMBERGER & SILVA, 2016).

O ciclo hidrológico amazônico pode ser caracterizado por quatro estações bem definidas, onde é possível observar o período de águas altas, ou cheia, inicia em maio estendendo-se até meados de julho, o período de seca fica compreendido entre os meses de setembro, outubro e novembro, após tem-se o período de enchente inicia no final de novembro e se estende até o início de maio, e a vazante começando em meados de julho e se estende até o mês de setembro (MACEDO *et al*, 2009).

2. Peixes e Pesca

Na bacia amazônica, Menin (2017) observa que, de aproximadamente 3.000 espécies de peixes somente 1.800 foram catalogadas, demonstrando a necessidade do desenvolvimento de estudos futuros.

Esta diversificação de peixes de água doce e outros organismos aquáticos é atribuída às mudanças nos rios e bacias de drenagem da América do Sul ocorridas durante o final do Cretáceo e início do Cenozóico, sendo que a diferenciação entre as espécies pode ser dada por características geomorfológicas, sedimentológicas e pedológicas de cada compartimento tectônico (MENIN, 2017).

No trabalho desenvolvido por Santos & Santos (2005) um fator de grande importância nos rios amazônicos refere-se aos pulsos de inundação, essa variação no nível da água pode ocorrer em todos os períodos hidrológicos, alterando o nível entre 8 a 15, influenciando no comportamento e no desenvolvimento da ictiofauna local (Tabela 2).

Tabela 2. Características da ictiofauna amazônica nas fases dos rios nos diferentes períodos do ano.

Períodos hidrológicos	Meses	Características
Enchente	Dezembro a abril	1) As espécies formam cardumes e migram; 2) Desova nos igarapés ou margens dos rios; 3) Os ovos são carregados pela correnteza para as áreas inundadas.
Cheia	Maio a junho	1) Fase de crescimento; 2) Alimentação intensa; 3) Acúmulo de gordura para condições adversas e fases seguintes.
Vazante	Julho a setembro	1) Agrupamento para migração; 2) Dispersão ascendente por lagos e rios.
Seca	Outubro e novembro	1) Grandes populações de peixes; 2) Maior vulnerabilidade à predação.

Comercialmente o ambiente dos rios e lagos da mata de várzea possuem várias espécies de peixes apreciados e com valor comercial significativo servindo como alimento e renda das populações ribeirinhas, como o tambaqui (*Colossoma macropomum*), o pirarucu (*Arapaima gigas*), a pescada (do gênero *Cynoscion*), surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*) e o tucunaré (*Cichla spp.*) (JUNIOR, 2009, p.132).

Para Figueiredo *et al.*, (2009) existem outras espécies amazônicas de valor econômico, como o matrinxã (*Brycon amazonicus*), que é uma espécie nativa da bacia amazônica e possui hábito alimentar diversificado sendo classificado como onívoro, alimenta-se de insetos, sementes e frutos. Essa espécie pode pesar até 4 quilos e atingir a maturação sexual a partir dos 3 anos de vida. Por ser uma espécie de crescimento rápido possui grande importância econômica, sendo uma das espécies mais desembarcadas nos portos de Manaus e Porto Velho (IPAAM, 2001).

A pesca é uma das atividades mais importantes na Amazônia, forma o comércio, caracterizado como fonte de renda e alimento para a população (SANTOS & SANTOS, 2005). As pescarias amazônicas são influenciadas pela variação espacial e temporal em variáveis biofísicas, especialmente mudanças nas características hidrológicas devido às diferenças sazonais no clima, além disso, as pescarias fluviais apresentam grande importância para o bem-estar social (BATISTA *et al.*, 2018; CAD, 2017).

No alto Amazonas as principais espécies alvejadas por pescadores são *Brachyplatystoma vaillantii* (Valenciennes), *Brachyplatystoma rousseauxii* (Castelnau) e *Brachyplatystoma filamentosum* (Lichtenstein) (BATISTA *et al.*, 2018). Dentre os peixes amazônicos, 30 a 40 espécies são exploradas pela pesca comercial, sendo que entre 8 a 15 são responsáveis por 80 a 90% de todo o desembarque realizado (CARDOSO, 2005, p.5).

O tambaqui (*Colossoma macropomum*), alcança cerca de 1 m e 30 kg e até a década de 80 era a espécie mais abundante na pesca. Os outros membros são de menor porte, entre 20 e 50 cm de comprimento, mas muito apreciados, destacando-se entre eles o jaraqui (*Semaprochilodus spp.*), o matrinxã (*Brycon spp.*), a curimatã (*Prochilodus spp.*), o pacu (*Myleus spp.*, *Mylossoma spp.*) e a sardinha (*Triportheus spp.*).

Os Siluriformes, que são os bagres ou peixes-liso, são formados por espécies de migração longa, através do canal principal do sistema Solimões Amazonas. Os principais representantes são o surubim (*Pseudoplatystoma fasciatum*), caparari (*P. tigrinum*), dourada (*Brachyplatystoma rousseauxii*), piramutaba (*B. vaillantii*) e piraíba (*B. filamentosum*), sendo esta o maior bagre de água doce, alcançando cerca de 2,4 m e 130 kg. A pesca desses peixes é feita normalmente no canal ou em áreas de cachoeiras, com uso de redes de emalhe, espinhéis e linhada. É um pescado bastante apreciado no Brasil, Colômbia e Peru.

Perciformes, peixes sedentários, típicos de lagos e com espinhos nas nadadeiras. Os representantes são o tucunaré (*Cichla spp.*) e a pescada de água doce (*Plagioscion spp.*), ambos carnívoros, sendo que além da pesca comercial típica, o tucunaré é bastante visado pela pesca esportiva (SANTOS & SANTOS, 2005).

Para Barthem *et al.* (1997) e Batista (2001) existem três tipos de peixes presentes na bacia amazônica, sendo estes, sedentários, migradores e grandes migradores. Os peixes sedentários, como o aruanã (*Osteoglossum bicirhosum*) e o tucunaré (*Cichla spp.*) habitam ambientes lacustres, desovam em lagos, apresentam cuidado parental e possuem uma tendência a terem baixo fluxo genéticos. Os peixes migradores, como o mapará *Hypophthalmus edentatus* e o tambaqui (*Colossoma macropomum*), habitam tanto ambientes lacustres como fluviais, possuem uma alta fecundidade, sua desova se dá totalmente no rio e possuem uma tendência ao alto fluxo genético.

Os mesmos autores ainda descrevem os grandes migradores, piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*) e dourada (*Brachyplatystoma rousseauxii*), como aqueles peixes que habitam tanto ambientes fluviais como estuarino, possuem alta fecundidade e

fazem suas desovas totais nas cabeceiras dos rios de água branca; possuem uma tendência a terem um alto fluxo genético.

Algumas espécies de peixes ainda apresentam algumas adaptações morfofisiológicas, facilitando a sua sobrevivência. JUNK *et al.* (2011) referenciam-se as espécies que apresentam adaptações para viverem em ambientes hipoxênicos, como a bexiga natatória do pirarucu (*Arapaima gigas*), a respiração aérea facultativa do acaribodó (*Liposarcus pardalis*) e a resistência ecológica da piranha-caju (*Pygocentrus nattereri*) (COSTA, 2006, p.3).

O pirarucu (*Arapaima gigas*) é considerado um dos maiores peixes de água doce, possuindo exemplares que variam de 100 a 200 kg e de 2 a 3 metros em fase adulta, apresentando rendimento médio de carne de 57% (IMBIRIBA, 2001).

Furtado (1993), Barthem *et al.*, (1997) e Santos (1999) em uma outra perspectiva classificam as pescarias amazônicas em cinco tipos: a pesca de subsistência, exercida por pescadores em comunidades das várzeas do rio Amazonas e afluentes, a pesca comercial multiespecífica, desenvolvida por pescadores que abastecem os principais centros urbanos regionais, a pesca industrial no estuário amazônico, com o objetivo de capturar bagres, por exemplo a piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*), a pesca de reservatório praticada nos lagos de Balbina e Tucuruí e a pesca de peixes ornamentais, desenvolvida na região do rio Negro.

Freitas & Rivas (2006) também classificaram as pescarias amazônicas em seis tipos:

I) Pesca predominantemente de subsistência, praticada por grupos familiares, pequenas comunidades, subestruturas étnicas e estruturas de pequeno porte que buscam a sobrevivência física.

II) Pescaria comercial multiespecífica, destinada ao abastecimento dos centros urbanos regionais e praticada, em geral, por pescadores residentes nesses centros.

III) Pescaria comercial monoespecífica, voltada para a exportação e dirigida principalmente à captura de bagres como a piramutaba *Brachyplatystoma vaillantii* e o surubim *Pseudoplatystoma filamentosum*.

IV) Pesca em reservatórios, resultante da construção de grandes represas para geração de energia elétrica, como Tucuruí e Balbina, que vem sendo desenvolvida por uma nova categoria de pescadores denominados “barrageiros”.

V) Pesca esportiva, que tem como espécie alvo o tucunaré *Cichla sp.* e vem sendo praticada principalmente em rios de águas pretas; e, uma pescaria de espécies ornamentais

destinadas, principalmente, à exportação, e VI) uma realizada predominantemente no rio Negro e em seus afluentes (Tabela 3).

Tabela 3. Classificação da pesca amazônica desenvolvida por Freitas & Rivas (2006).

Tipos de pesca	Características	Espécies envolvidas
Pesca de subsistência	1) Consumo elevado de pescado (550 g <i>per capita</i> x dia);	Variadas
Pesca comercial multiespecífica	1) Explora estoques de characiformes migratórios; 2) A maior parte do pescado é capturado no rio Solimões e em seus tributários, com destaque para o rio Purus, cerca de 49,3% em 1998.	1) Jaraquis (<i>Semaprochilodus insignis</i>) e (<i>S. taenirus</i>); 2) Matrinxã (<i>Brycon amazonicus</i>); 3) Pacus (<i>Mjleus sp.</i> , <i>Methyris sp.</i> e <i>Mylossoma sp.</i>); 4) Tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>); 5) Curimatã (<i>Prochilodus nigricans</i>).
Pesca comercial monoespecífica	1) Os alvos são os siluriformes	1) piramutama (<i>Brachyplatystoma lantii</i>); 2) Dourada (<i>B. rousseauxii</i>); 3) Piraíba (<i>B. filamentosum</i>); 4) Surubim (<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>); 5) Caparari (<i>P. tigrinum</i>); 6) Pirarara (<i>Ph. ractocephalus hemilipterus</i>); 7) Mapará (<i>Hypophthalmis marginatus</i>).
Pesca nos reservatórios	1) Surge com a criação de grandes reservatórios para geração de energia hidrelétrica; 2) Particularmente: Tucuruí (rio Tocantins) e Balbina (rio Uatumã).	1) Curimatã (<i>Prochilodus scrofa</i>); 2) Tucunaré (<i>Chichla sp.</i>).
Pesca esportiva	1) Relacionada a presença de exemplares de tucunaré; 2) Realizada em rios de águas pretas; 3) Pacotes de vendas no exterior custam em torno de US\$ 3 mil; 4) modalidade comum, pesca-e-solta	1) Tucunaré (<i>Chichla sp.</i>)
Pesca de espécies ornamentais	1) Variabilidade de espécies capturadas; 2) Variedade de apetrechos e estratégias de pesca	1) Cardinal (<i>Paracheirodon axelroldi</i>); 2) Néon tetra (<i>Paracheirodon innesi</i>); 3) Rosacéu (<i>Hyphessobrycon erythrostigma</i>); 4) Rodóstomo (<i>Hemigramus bleheri</i>); 5) Borboleta (<i>Carnegiella strigata</i>); 6) Coridora (<i>Corydoras adolfoi</i>)

Mundialmente, o comércio de peixes ornamentais movimentava cerca de 350-400 milhões de exemplares por ano, e destes, aproximadamente 90% são criados em cativeiros e menos de 10% provêm do extrativismo, sendo que no Brasil depende da atividade

extrativista, além de ser responsável pela manutenção e subsistência das comunidades pesqueiras (ANJOS *et al.*, 2009).

No Brasil, apesar da contração do pescado (6% entre 2008 e 2015) e ainda estando longe do nível máximo de capturas registrado em 2.000, de 19,8 milhões de toneladas, a produção pesqueira regional amazônica foi de 11 milhões de toneladas em 2016, volume que corresponde ao limite máximo esperado para os próximos anos. A tilápia e algumas espécies amazônicas mantêm um importante crescimento em volume e área cultivada (FAO, 2017, p.71).

A pesca artesanal inicialmente praticada pelos indígenas é a principal fonte proteica de alimentação, onde o consumo per capita foi estimado em 300 kg/anuais, segundo Petrere (1992) e Barthem (1999) empregava 70 mil pescadores artesanais, número que subiu substancialmente e constatado no trabalho de Batista *et al.*, (2010) e Almeida *et al.*, (2004) para 388 mil e gerando em torno de R\$ 400 milhões. Segundo o Doria *et al.*, (2017) a Amazônia possui aproximadamente 330 mil pescadores artesanais que possuem sobrevivência e bem-estar associados aos sistemas de pesca, biodiversidade e serviços ambientais relacionados aos sistemas amazônicos.

Apesar dos desafios de mensuração da atividade pesqueira amazônica Bayley & Petrere Junior (1989) e Souza *et al.*, (2008) mostraram a mensuração da quantidade das principais espécies de pescado desembarcadas em Manaus de 1976 a 1978 e 2004 (Tabela 4).

Tabela 4. Comparação das principais espécies de pescado desembarcadas em Manaus (BAYLEY & PETRERE, 1989; SOUZA *et al.*, 2008).

Nome comum da espécie de pescado	1976-1978 (%)	2004 (%)
Tambaqui	41,1	1,3
Jaraqui	23,9	44,4
Curimatã	9,4	10,2
Pacu	4,9	19,8
Pirapitinga	4,7	1,1
Tucunaré	3,3	2,5
Matrichã e jatuarana	2,6	4,9
Aracu	2,1	1,8
Sardinha	2,0	4,5
Aruanã	1,5	4,2
Branquinha	1,3	1,8
Pirarucu	0,4	0,2
Outros	3,2	6,0

Em estudo desenvolvido por Freitas & Cardoso (2006) com pescadores atuantes no Rio Madeira foram aplicados doze questionários para os barcos de pesca, equivalente

a 75% da frota de barcos e 42 questionários para canoas, o equivalente a 30% das canoas atuantes nas pescarias da região.

Em trabalho desenvolvido por Cardoso e Freitas (2007) foi possível observar que nas últimas três décadas com o declínio do estoque de pirarucu (*Arapaima gigas*) e tambaqui (*Colossoma macropomum*) fizeram com que os pescadores aumentassem o raio de ação de sua frota pesqueira, buscando otimizar as pescas.

Os mesmos autores afirmaram que, além da diminuição do estoque local dessas espécies, a região amazônica é influenciada pelo ciclo hidrológico que determina a captura de pescado, influenciando a rotina dos pescadores que reagem às mudanças provocadas nos ambientes de pesca.

3. Potencial hidroelétrico amazônico e o Rio Madeira

No Brasil o potencial hídrico remanescente concentra-se na Região Amazônica e o processo de decisão do balanço positivo de um empreendimento hidrelétrico torna-se extremamente complexo, devendo ocorrer de forma cuidadosa embasada em critérios ambientais, técnicos e econômicos (ROCHA, 2017, p.21).

A opção brasileira pelas usinas hidrelétricas pode ser justificada basicamente pela segurança temporal no provimento de energia em função da formação de um reservatório e pelo grande potencial hidrelétrico ainda disponível no território brasileiro (MORETTO *et al.*, 2012).

Além da segurança dos empreendimentos na geração de energia, segundo Grinspum (2013) as empresas possuem uma interconexão das usinas e dos sistemas elétricos de geração e transmissão para atender o mercado devido a operação das usinas e dos reservatórios localizados sequencialmente em várias bacias hidrográficas (Figura 3).

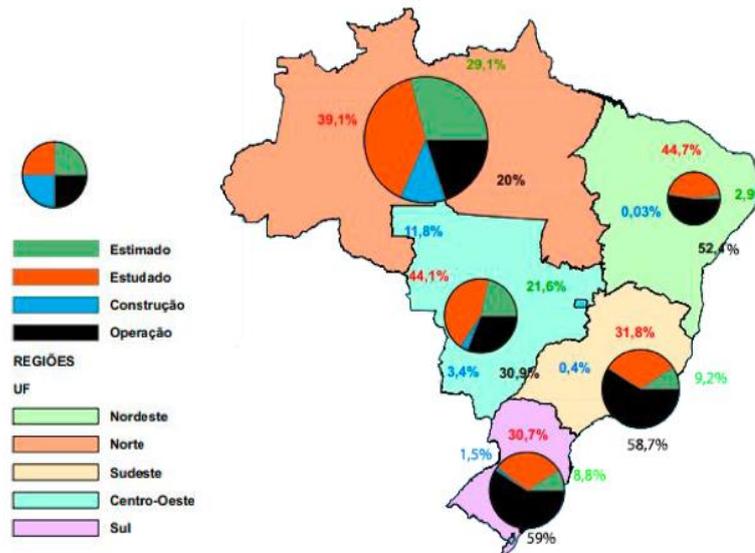


Figura 3. Potencial hidrelétrico brasileiro para usinas acima de 50 MW (SIPOT, ELETROBRAS, 2016).

O Brasil dispõe de um enorme potencial hidrelétrico, estimado de acordo com fontes a 100.000, 150.000 ou 250.000 MW, que é apenas parcialmente utilizável no estado atual da tecnologia (cerca de 160.000 MW), neste aspecto as bacias hidrográficas ainda representam a realidade energética e uma forma de gestão territorial (Figura 4) (THÉRY & THÉRY, 2016).

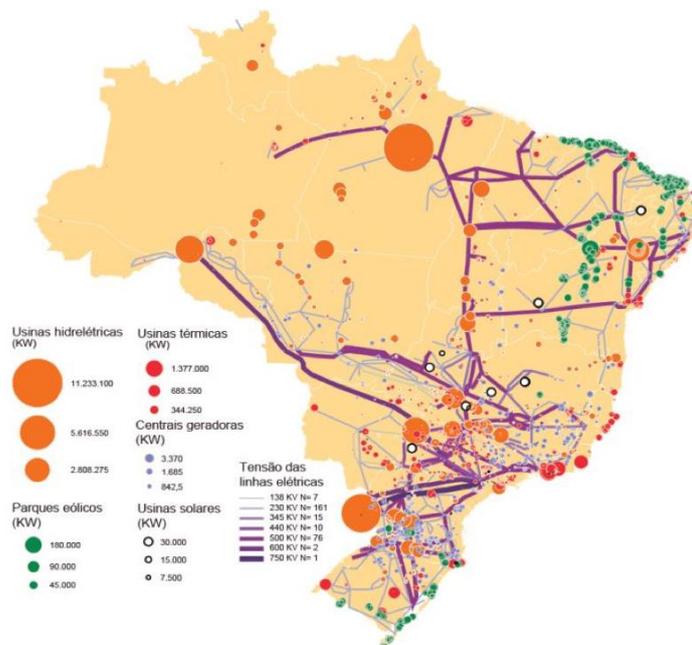


Figura 4. Distribuição do sistema elétrico brasileiro (THÉRY & THÉRY, 2016).

Conforme a ANEEL (2017), na matriz de energia elétrica o potencial hidráulico está em 61,4% com 1.254 usinas em operação. A principal fonte de energia elétrica segundo a

MME (2017) foi a hidráulica que apresentou uma expansão de 5,9% em relação ao ano de 2016. O potencial hidrelétrico brasileiro corresponde a 260 GW, destes a bacia amazônica corresponde a 40,6% do total (ATLAS, 2002).

Ao longo das últimas décadas, houve uma melhora significativa na capacidade de planejamento do setor, com a legislação e a pesquisa sendo aplicadas a bacias hidrográficas específicas para gerar melhor aproveitamento hidroenergético, esse avanço dá ênfase ao planejamento do setor energético federal que considera as diversas fontes de energia elétrica requerendo estudos em nível de sub-bacia para definir a localização das hidrelétricas (KOBBLITZ, 2017, p.20).

Outro aspecto que contribui para a eficiência do planejamento hidrelétrico no Brasil é a combinação de reservatórios de armazenamento e a fio d'água nas bacias hidrográficas, sendo projetada para gerar uma quantidade constante de eletricidade ao longo do ano e diminuir os impactos socioambientais devido a redução da área alagada (ANDRADE, 2011).

Desde meados do século XX, o Brasil forneceu a maior parte de sua demanda de eletricidade construindo grandes usinas hidrelétricas. Atualmente, as usinas hidrelétricas com mais de 30 MW compreendem 61% da capacidade instalada total do sistema de 124 GW (FARIA & JARAMILLO, 2017).

De acordo com Koblitz (2017, p.72) durante o período chuvoso (dezembro a abril), a eletricidade é gerada e a água é direcionada para encher os reservatórios de armazenamento. Durante o período de seca (maio a novembro), a água armazenada é usada para gerar eletricidade e o nível das barragens é reduzido (HUNT, *et al.* 2014). Nesse caso, as maiores hidrelétricas, a fio d'água, propostas pelo governo atualmente, precisam de uma grande quantidade de água disponível em seu reservatório, posicionando-se normalmente em regiões baixas.

Neto (2001, p.17) e Souza (2008) acreditam que no caso do Brasil, um número significativo de bacias hidrográficas, somadas às dimensões relativamente reduzidas das reservas de petróleo e carvão mineral, foram determinantes para a implantação de um parque gerador de energia elétrica de base predominantemente hidráulica e que esses elementos são essenciais para o potencial hidroelétrico, contribuindo para a escolha de usinas hidrelétricas como a principal tecnologia de geração de eletricidade no país.

O grande interesse hidrelétrico voltado para a Amazônia brasileira é resultante das grandes quedas topográficas existentes nos afluentes do rio Amazonas, a partir do Escudo Brasileiro (na parte sul da região) e do Escudo Guianense (no lado norte) (SILVA, 2015),

além dos valores dos potenciais estudados e estimados na região (SIPOT, ELETROBRAS, 2016).

O complexo hidrelétrico do Rio Madeira, com potências instaladas de 6.900 MW, situa-se no Rio Madeira, Estado de Rondônia, município de Porto Velho (FEARNSIDE, 2013). As usinas são compostas por barragens a fio d'água, casas de força, vertedouros e turbinas de tipo bulbo. Sua formação foi reconhecida a partir subdivisões nos depósitos cenozoicos amazônicos sul ocidentais da bacia do Abunã, constatando a separação entre a Formação Jaci Paraná e a Formação do Rio Madeira (RIZZOTTO *et al.*, 2006; NASCIMENTO, 2008, p.31).

A Formação Rio Madeira é subdividida em duas unidades: uma inferior, onde predominam sedimentos argilosos cinza-claro, maciços a localmente laminados, com areia, silte e seixos milimétricos, bioturbados e fossilíferos, contendo detritos orgânicos (folhas carbonizadas e partes de troncos de árvores).

A unidade superior é constituída na base por um cascalhelífero com matriz arenosa, granulometria fina a média, com seixos de quartzo-arenitos, argilitos e quartzos leitosos endurecidos e soldados por siderita, óxidos e hidróxidos de ferro, sendo esta a camada-guia dos vertebrados fósseis e da paleoflora. Estes sedimentos se gradacionam em direção ao topo, em areia grossa ferruginizada a areia grossa mal selecionada de estratificação cruzada acanalada de médio porte (Figura 5) (NASCIMENTO, 2008, p.32).

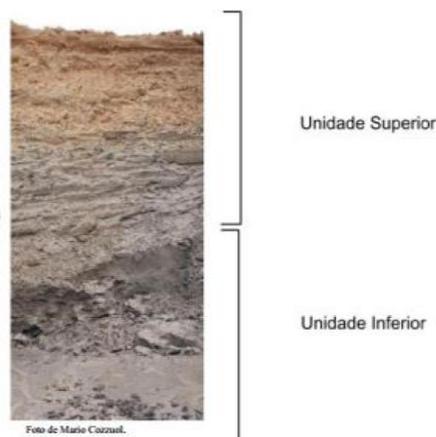


Figura 5. Perfil estratigráfico da formação do Rio Madeira (NASCIMENTO, 2008).

Entre os rios de água branca, o Rio Madeira, principal afluente do rio Amazonas, possuindo grande importância ecológica para a região Amazônica. Em termos de vazão (BASTOS *et al.*, 2007; SILVA, 2015), é considerado o quarto maior rio do planeta, atrás somente do próprio rio Amazonas e dos rios Congo na República Democrática do Congo,

África, e Orinoco, na Venezuela, que transportam em média 30.000 m³ de água por segundo.

Devido sua grande extensão e vazão, o rio Madeira contribui com cerca de 50% dos sólidos em suspensão transportados pelo rio Amazonas, algo entre 600 e 248 ton/ano (SILVA, 2015, p.3).

A área total da sub-bacia (1,5 milhões de km²) está dividida entre Bolívia (51%), Brasil (42%) e Peru (7%) e os seus principais rios formadores são os rios Beni, Guaporé, Mamoré e Madre de Dios. O Rio Madeira recebe esse nome após o encontro dos rios Beni e Mamoré na fronteira entre Bolívia e Brasil.

Entre as treze sub-bacias registradas para a bacia Amazônica, a do Rio Madeira representa 23% do total e é caracterizada pelos três tipos de unidades morfoestruturais da região: a cordilheira dos Andes, o Planalto Brasileiro e a planície Amazônica. Devido a essas distintas características estruturais, verificam-se grandes altitudes na parte montante da bacia, vastas zonas de inundação na planície e a presença de cachoeiras no escudo brasileiro, principalmente próximo a Porto Velho (RIBEIRO *et al.*, 2008).

Segundo estudo de Goulding (1979) o Rio Madeira é dividido em Baixo rio Madeira, que compreende o trecho à jusante do rio Aripuanã até a foz no rio Amazonas; Médio rio Madeira, que corresponde ao trecho entre o rio Aripuanã e o rio Machado, já no estado de Rondônia; Alto Rio Madeira, região compreendida entre o rio Machado e a cachoeira de Santo Antônio; Cachoeiras do rio Madeira, compreendendo o trecho entre as cachoeiras até a foz do rio Beni.

A água do Rio Madeira flui através de zonas de relevo, litologia, clima e vegetação variados, que determinam características hidrológicas e hidroquímica diversificadas. Contudo, é a área de drenagem dos Andes que determina mais fortemente a hidroquímica do rio. Além disso, o rio Madeira se caracteriza por apresentar grande flutuação no nível da água ao longo do ano, com um período de águas altas (fevereiro a maio) e um período de águas baixas (julho a outubro), controlada pelo clima da região andina da Bolívia, onde se situam as cabeceiras dos seus principais rios formadores (MCCLAIN & NAIMAN, 2008).

As margens do rio Madeira são constituídas de barrancos lamacentos de até 30 metros de altura em alguns locais, com surgimento de praias, durante os períodos de vazante e seca. Afloramentos rochosos estão presentes ao longo de todo trecho, com grandes lages emergindo nas corredeiras (VILARA, 2009, p. 10).

A amplitude média da flutuação do nível do rio Madeira no trecho de corredeiras é de 10,8 a 12,4 metros, mas entre secas e cheias extremas pode oscilar entre 15,4 e 21,8 m, com valores de vazão entre 2.322 e 47.236 m³s⁻¹ (VILARA, 2009, p. 17). Este aspecto, faz com que possua uma contribuição de cerca de 15% do inventário hidrelétrico amazônico (Atlas, 2002).

Os períodos de águas altas e águas baixas muitas vezes se relacionam e coincidem com as estações de seca e chuva da região, sendo a precipitação também um fator determinante, porém secundário, para as características hidrológicas do Rio Madeira. No período de águas baixas, as águas do rio que fluem em direção ao Amazonas, formam praias ao longo de suas margens. Neste período, pode ser avistada no seu leito grande quantidade de pedras que ajudam a formar as corredeiras amazônicas.

No período de águas altas o rio sobe, alagando as cachoeiras em seu leito e invadindo toda a planície amazônica. Esses diferentes fatores atuam sobre as características físico-químicas do rio Madeira estão intimamente ligados à presença ou ausência de determinadas espécies, que estão ou não adaptadas às constantes flutuações do nível da água e aos diferentes tipos de relevo, clima e vegetação presentes (MCCLAIN & NAIMAN, 2008).

Vilara *et al.*, (2013) observa que o potencial da ictiofauna do Rio Madeira foi sendo construída há séculos, sendo que considerando o potencial de toda a América do Sul (quase 4.050 espécies), a fauna de peixes do Rio Madeira representa quase 20% das espécies conhecidas.

Segundo Lopes *et al.*, (2009) no estado de Rondônia, a espécie *Colossoma macropomum*, o tambaqui possui enorme destaque no comércio do estado, sendo que das 4.151 toneladas produzidas, 3.350 foi somente desta espécie. Vilara *et al.*, (2013) analisou a documentação das espécies no Rio Madeira e afluentes (Tabela 5).

Tabela 5. Análise histórica da documentação de espécies de peixes no Rio Madeira e afluentes.

Autor	Ano (s)	Espécies documentadas
Johann Heckel	1840	1) <i>Acaronia nassa</i> ; 2) <i>Biotodoma cupido</i> ; 3) <i>Chaeobranchnus flavescens</i> ; 4) <i>Crenicichla adpersa</i> ; 5) <i>C. Johanna</i> ; 6) <i>Geophagus megasema</i> ; 7) <i>Mesonatua festivus</i> ; 8) <i>Satanoperca pappaterra</i> ; 9) <i>Heros spuriu</i> .
Rudolf Kner	1853-1954	1) <i>Farlowella oxyrryncha</i> ; 2) <i>Pterygoplichthys lituratus</i> ;

		3) <i>Hypostomus pantherinus</i> .
		1) <i>Potamotrygon motoro</i> ;
		2) <i>Colossoma macropomum</i> ;
		3) <i>Piaractus brachypomus</i> ;
Keller	1874	4) <i>Rhaphiodon vulpinus</i> ;
		5) bagre pimelodídeo;
		6) <i>Arapaima gigas</i> .

Vilara (2009) listou 439 espécies de peixes no eixo principal do Rio Madeira entre Nova Mamoré e Porto Velho. Farias *et al.*, (2010) e Vilara *et al.*, (2011) mostrando o efeito das corredeiras na população de tambaqui (*Colossoma macropomum*) e na comunidade ictiofaunística.

4. Desafios para a manutenção das Unidades Geradoras

Na construção de uma estrutura de gerenciamento de recursos hídricos como hidrelétricas, existem somente quatro formas primárias de passagem da ictiofauna que são pelo sistema adução, onde estão as turbinas; por meio do desvio de direção ou caminho alternativo do fluxo aquático (*bypass*); vertedouro e da superfície: caminhões, escadas e elevadores (SCHILT, 2006).

Eicher (1987) fez uma revisão e avaliação da mortalidade de peixes em turbinas hidrelétricas nos Estados Unidos, onde observou que é necessário um sistema de repulsão dos peixes durante a passagem no duto de sucção, pois em 50 anos, de maneira geral os estudos de campo e laboratoriais buscaram entender e estabelecer as causas e os mecanismos relacionados aos danos em peixes, mas a indústria não estava interessada em entender os mecanismos exatos da mortalidade de peixes.

Ainda em Eicher (1987), foi observado que algumas causas de ferimento ou mortalidade em peixes ao atravessarem as turbinas como ferimentos por portões de guindaste, palhetas ou lâminas e por rápidas mudanças em zonas localizadas de cavitação e descompressão, as lesões por cisalhamento em diferentes limites de fluxo e turbulência.

A passagem de peixes através das turbinas também pode resultar em algum grau de mortalidade (APC, 2016). Williams (1993) coloca que a mortalidade também é o resultado de vários fatores, como o nível de conhecimento sobre a ictiofauna local, como o tipo e estrutura dos peixes, as concentrações de gases dissolvidos na água e os efeitos de pressão. Além disso, segundo Ruggles (1993) as análises sobre a mortalidade de peixes usando os mesmos procedimentos experimentais podem resultar em resultados diferentes, devido aos fatores mecânicos da turbina.

Na geração de energia em Usinas Hidrelétrica (UHE), segundo Junho (2008) e Fu *et al.*, (2016) a mortandade de peixes e os fatores de mitigação estão relacionados: ao aspecto biológico, relacionados a migração de peixes, a deslocação entre sítios disjuntos e as condições hidráulicas físicas a que os peixes estão expostos quando passam através de turbinas hidráulicas.

Na abordagem realizada por Cada (2007), foi apoiado o conceito de desenvolvimento de turbinas ‘ecológicas’, ou seja, turbinas que enfatizam os atributos ambientais como a sobrevivência dos peixes. Neste trabalho, pesquisou-se por meio de bioensaios laboratoriais (para medir as respostas dos peixes às condições esperadas dentro das turbinas), modelagem de Dinâmica de Fluidos Computacionais (DFC) (para ampliar os resultados de bioensaios para condições não estudadas) e testes de campo (para avaliar novos protótipos de turbina).

Cada (1996), observou que nas áreas de influência direta e indireta das usinas hidrelétricas é essencial a eficácia do sistema de monitoramento para a mitigação de possíveis danos ao meio aquático e terrestre. Sendo fundamental desenvolver estratégias e técnicas capazes de evitar a mortandade da ictiofauna. Segundo Andrade & Araújo (2011), esse monitoramento é um grande desafio devido a diversidade de espécies presentes nos rios brasileiros.

5. Métodos de Repulsão da Ictiofauna

Larinier (2000) estabeleceu uma divisão em relação a passagem de peixes por unidades hidrelétricas, onde divide em tecnologias comportamentais de repulsão por luzes, som e eletricidade e tecnologias físicas como telas físicas, prateleiras, barras angulares e telas associadas à passagem alternativa de água (*bypass*). Além dessas

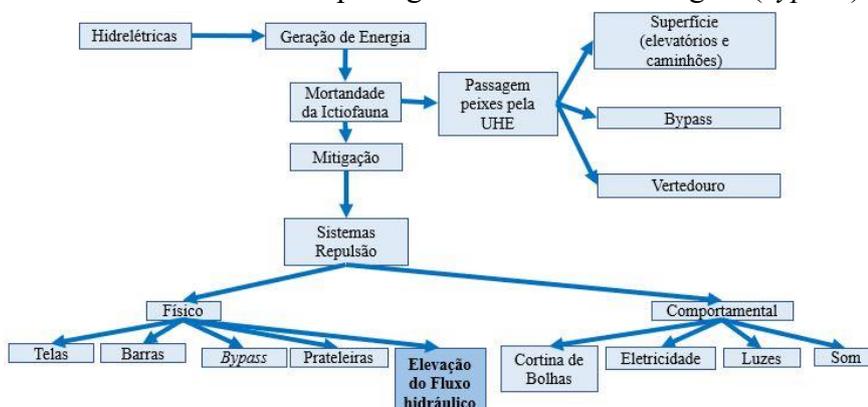


Figura 6. Contextualização geral da manobra de elevação do fluxo hidráulico como sistema de repulsão físico.

tecnologias, acrescenta-se a manobra de elevação do fluxo hidráulico que se caracteriza como sistema de repulsão físico (Figura 6).

Taft (2000) também descreve as principais tecnologias disponíveis para minimizar os efeitos e impactos das unidades geradoras na ictiofauna que incluem sistemas de coleta e transposição de peixes, sistemas de diversificação de peixe e barreiras físicas e comportamentais. Neste sentido, também é importante fazer o monitoramento de biomassa para identificar a variabilidade e comportamentos das espécies (PETIGAS & LEVENEZ, 1996).

Cada (1996), observa que as tecnologias utilizadas para minimizar os impactos na ictiofauna nas áreas de influência direta e indireta das usinas são importantes medidas para o monitoramento e mitigação de possíveis danos ao meio aquático e terrestre. Andrade & Araújo (2011) observam que é fundamental desenvolver novas formas que possam diminuir e extinguir a morte de espécies aquáticas, sendo algo que requer mais aprimoramento de análises e estudos, devido à grande variedade das espécies aquáticas amazônicas.

Em outro trabalho, Cada (2015) observa que o planejamento de estratégias mitigadoras e monitoramento relacionadas a ictiofauna em projetos de hidrelétricas são essenciais para evitar a mortandade de peixes. Ele analisou cerca de 66 projetos de hidrelétricas norte americanas não federais e concluiu que 82% dos casos não houve requisitos claros para realizar o monitoramento, e 70% dos projetos não indicaram o uso de nenhuma estratégia ou adoção de medidas mitigadoras de impacto.

Enders *et al.*, (2008) ressaltou também a importância das respostas evolutivas da ictiofauna em situações potencialmente ameaçadoras. Além disso, para direcionar os peixes a jusante longe de condições prejudiciais são utilizados frequentemente dispositivos mecânicos, como telas móveis e sistemas de bypass para o peixe, mas estas estruturas não orientam eficazmente o peixe, necessitando de tecnologias e estratégias eficazes de repulsão ou contenção de passagem.

As barreiras físicas como uma solução para evitar que o peixe passe através das turbinas envolvem a interrupção física na entrada de água de forma parcial usando telas que devem ter uma malha suficientemente pequena para evitar fisicamente a passagem de peixes. Para o Larinier (2000), essas telas têm que orientar o peixe para um *bypass*, o que é feito de forma mais eficaz, colocando-os diagonalmente no fluxo, com o *bypass* na parte a jusante da tela.

A velocidade do fluxo em direção à tela deve ser adaptada para atender as capacidades de natação das espécies e estágios em questão. Outro importante aspecto é que as velocidades devem ser uniformes e as correntes nas telas devem orientar eficazmente o peixe para o bypass (LARINIER & TAVADE, 1999).

Noatch & Suski (2012) examinaram vários tipos de barreiras comportamentais dentre elas a barreira elétrica, as luzes estroboscópicas, cortinas de bolhas, as barreiras de velocidade, barreira química: hipóxia e hipercapnia, feromonas, campos magnéticos e outros produtos químicos e concluíram que estes sistemas de repulsão da ictiofauna são estratégias eficientes, pois podem ser removidos ou reposicionados à medida que se alteram os objetivos de gerenciamento, além disso, a melhor opção é a junção de vários de repulsores.

Os sistemas de orientação comportamental de luz estroboscópica, cortinas de bolhas e as combinações dessas duas barreiras demonstraram ser promissores para a orientação de peixes estuarinos como *Morone americana*, *Leiostomus xanthurus* e *Brevoortia tyrannus*, a eficiência neste estudo foi de 8 a 100% de repulsão (SAGER & HOCUTT, 1987).

De maneira geral, as cortinas de bolhas de ar combinadas com outras tecnologias comportamentais, como fontes luminosas, podem ter seu potencial melhorado (TAFT, 2000). Outra forma de tecnologia foi utilizada por Faria *et al.* (2014) que analisou a entrada de peixes em dutos de sucção e a saída em canais de fuga em usinas brasileiras e desenvolveu um modelo reduzido de turbina axial com um dispositivo eletromecânico para repulsão dos peixes, onde seus testes preliminares mostraram que esta tecnologia é uma boa alternativa de mitigar os problemas ambientais relacionados a mortalidade de peixes.

A operação técnica de super giro é realizada atualmente nas usinas hidrelétricas antes da total parada técnica para manutenção das turbinas, sendo uma medida paliativa para repelir a ictiofauna.

Normalmente esse procedimento inicia com a retirada de carga gradativa da unidade geradora, para posteriormente ocorrer a descida da comporta vagão. Assim que a potência da unidade geradora é zerada e há estabilização em modo *speed-no-load*, o regulador remoto é transferido o local. A abertura do Kaplan acontece de forma gradual, de 5 em 5% até atingir 30%, sendo que o distribuidor abre progressivamente, minimizando o risco de ‘golpe’ da turbina. Após a abertura do distribuidor, a comporta

vagão é descida até próximo à soleira, cortando o fluxo, aumentando a velocidade da água e fechando a unidade geradora.

Esse processo técnico é comumente denominado super giro, mas também pode ser conhecido como “giro a vazio”, “engana peixe”, “afasta peixe” e “desvia peixe”. Segundo trabalho desenvolvido por Rêgo *et al.*, (2016) essa técnica consiste na redução da vazão para cerca de 10 a 15% da máxima operacional.

Essa técnica possui riscos significativos aos peixes, pois a redução da potência da unidade geradora possibilita a aproximação da ictiofauna ao rotor aumentando o risco de contato com as pás e de descompressão. Essa aproximação pode gerar danos físicos e barotraumas, como por exemplo exoftalmias e eversões estomacais (RÊGO *et al.*, 2016).

Em relação ao monitoramento de biomassa, a tecnologia de *Sound Navigation And Raging* (sonar) pode usar a energia sonora para localizar e pesquisar os objetos em uma coluna de água (FRANCISCO, 2016). Os sonares são considerados sistemas de monitoramento acústico ativo (AAM), e têm potencial para ser uma das principais ferramentas para monitorar o ambiente subaquático (BENNET & HARMAN, 1997; FRANCISCO & SUNDBERG, 2016).

Por meio dos sonares a engenharia oceânica obtém imagens de fundo do mar de alta resolução e detecta alvos (ZHAO *et al.*, 2016). Neste sentido, existem dois tipos distintos de ambientes propícios ao uso da tecnologia de sonar: em ambientes abertos como oceanos, rios, lagos e barragens. E em ambientes fechados como por exemplo o tubo de sucção em hidrelétricas (Venturo S.A., São Paulo, Brasil).

Peters (2016) estabelece uma classificação para os sistemas de sonar são classificados em multiestático se existir mais de um transmissor ou receptor, bistático quando há apenas um transmissor e um receptor ativos e separados, e monostático se o transmissor e o receptor forem colocados juntos.

O uso de instrumentos com multifrequências permite ampliar ou reduzir a área (ou cone) de varredura do som, alterando a resolução da imagem obtida, e fornecendo, no caso das paradas de turbinas de usinas hidrelétricas, informações sobre a espessura da camada de sedimento e a estimativa da biomassa.

Nos sistemas de sonar, o movimento relativo entre o alvo e o receptor, tem um comprimento diferente conforme a velocidade e o tempo produzido de um *ping* até a chegada do eco restringindo o alvo a uma elipse com o transmissor em um foco e o receptor no outro (PETERS, 2016; WANG *et al.*, 2017).

6. Área de estudo

A Usina Hidrelétrica (UHE) de Jirau está localizada no Rio Madeira, entre os paralelos 9° 14' e 9° 16' de latitude sul e os meridianos 64° 39' e 64° e 38' de longitude Oeste, WGS 84 (Figura 7).

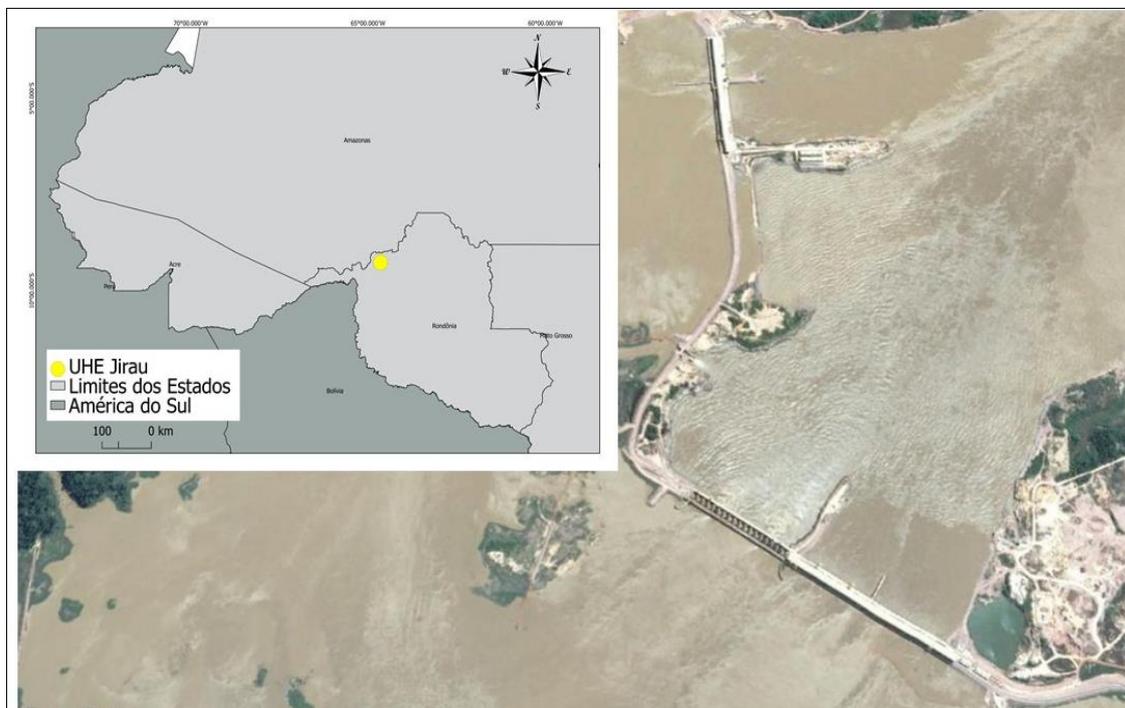


Figura 7. Localização da área de estudo da Usina Hidrelétrica Jirau, na região do alto Rio Madeira, estado de Rondônia.

A área dos estudos localiza-se no estado de Rondônia, região que faz parte do Cráton Amazônico, juntamente com porção dos estados do Mato Grosso e Amazonas e território boliviano. A seção do rio Madeira compreendida entre a cachoeira do Jirau e distrito Abunã está inserida no Megalineamento Itacoatiara e enquadra-se na Unidade Morfoestrutural Alto Estrutural Guajará-Mirim - Porto Velho. O alto estrutural representa uma porção do embasamento soerguida por tectônica durante o Cenozóico, sendo que o Rio Madeira, neste trecho, encontra-se em um vale encaixado, marcado por corredeiras e exíguas planícies de inundação, numa nítida condição de ajuste ao nível de base regional (ALDAMY, 2016).

As turbinas do tipo bulbo operam em baixas quedas, mas requerem uma vazão de água regular, para que possam operar sem restrições, possuem capacidades individuais próximas a 70 MW. Assim, o regime hidrológico do Rio Madeira de 16,6 m de queda possibilitou a adoção das turbinas do tipo bulbo (Figura 9).

O projeto da usina possui duas casas de força. A primeira com 28 unidades geradoras, do tipo bulbo, acoplada à tomada d'água, localizada no braço direito do Rio Madeira (Figura 8).

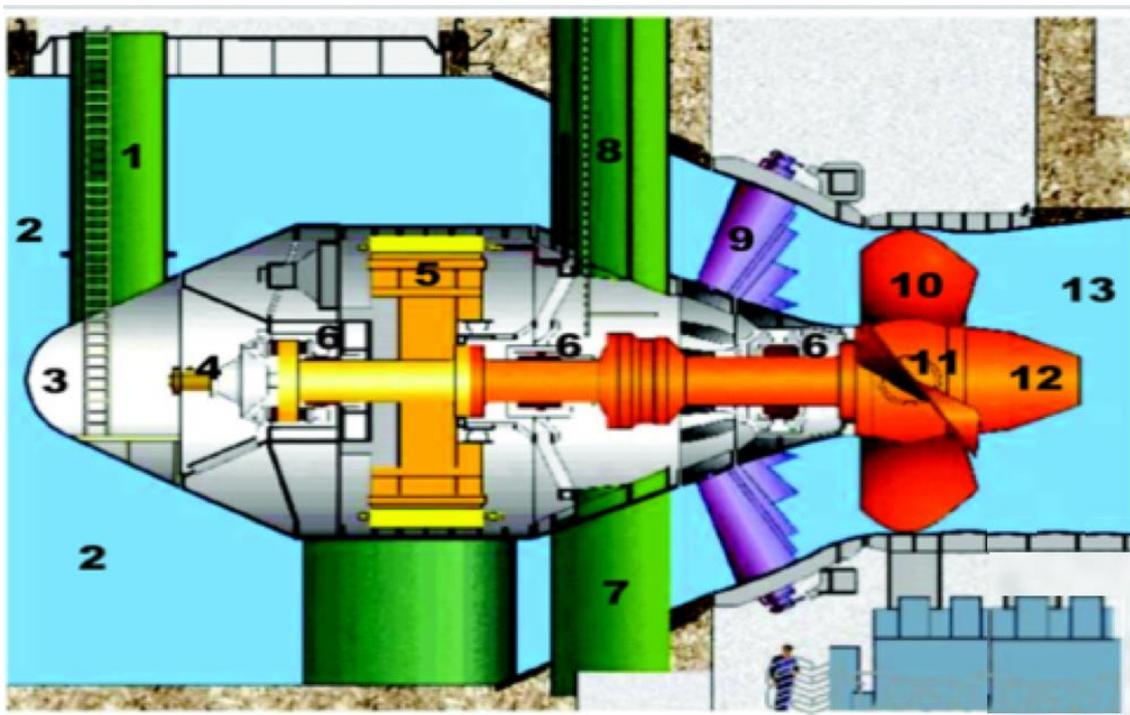


Figura 8. Esquema exemplificativo de turbina do tipo Bulbo. 1-Tubo de acesso ao gerador; 2- Câmara de adução; 3-Bulbo ou capsula; 4-Sistema de óleo do rotor; 5- Gerador síncrono; 6- Mancais de guia; 7-Estrutura (e/ou pilar) de sustentação; 8-Tubo de acesso a turbina; 9- Distribuidor; 10-Pás do rotor; 11-Cubo; 12-Ogiva ou cone; 13-Tubo de descarga ou sucção.

Na margem esquerda, estão localizadas mais 22 unidades geradoras, também do tipo bulbo, tendo como vértice a extremidade sul da Ilha do Padre. Cada uma das casas de força apresenta duas áreas equipadas para montagem e manutenção das 50 unidades geradoras, com 75 MW de potência unitária.

A barragem principal, do tipo enrocamento com núcleo asfáltico, está disposta segundo um eixo retilíneo ligando a extremidade sul da Ilha do Padre à parede direita da Casa de Força da Margem Esquerda.

A UHE Jirau opera com nível d'água entre as cotas 82,5 m e 90,0 m. A área do reservatório é variável, com 361,6 km² em seu nível d'água máximo normal e área inundada entre 21 km² e 207,7 km². Sua garantia física é de 2.212,6 MW médios e está fornecendo energia para o Sistema Interligado Nacional (SIN) desde o dia 06 de setembro de 2013, quando a primeira unidade geradora entrou em operação comercial.

7. Objetivo geral

Analisar a eficiência do procedimento de repulsão da ictiofauna por meio do aumento da velocidade do fluxo hidráulico no tubo de sucção.

7.1 Objetivos específicos

- Avaliar a influência do ciclo hidrológico na dinâmica de movimentação da ictiofauna pelo tubo de sucção durante as paradas de máquinas;
- Analisar a distribuição da ictiofauna baseado na localização da casa de força (margem esquerda e direita).

CAPÍTULO 2 - ELEVAÇÃO DO FLUXO HIDRÁULICO COMO MÉTODO DE REPULSÃO DA ICTIOFAUNA NAS UNIDADES GERADORAS DA USINA HIDRELÉTRICA JIRAU, RONDÔNIA

1. Introdução

A bacia do rio Amazonas, com 6,15 milhões de km², é considerada a maior bacia hidrográfica do mundo, com a descarga do rio Amazonas contribuindo com mais de 15% da vazão total de todos os rios e desempenhando um papel fundamental na manutenção do clima global e dos ciclos hidrológicos (FAO, 2017; NORRIS *et al.*, 2018). Situada na zona intertropical, recebe precipitações médias anuais de 2.460 mm (FREITAS & SOITO, 2008).

O Rio Madeira, principal afluente do rio Amazonas, possui grande importância ecológica para a região Amazônica (BASTOS *et al.*, 2007). A amplitude média do nível do rio Madeira no trecho de corredeiras é de 10,8 a 12,4 m, mas entre secas e cheias extremas pode oscilar entre 15,4 e 21,8 m, com valores de vazão entre 2.322 e 47.236 m³ s⁻¹.

Esse rio possui grande abundância e riqueza de ictiofauna. Considerando o potencial de toda a América do Sul (quase 4.050 espécies), o quantitativo de peixes do rio Madeira representa quase 20% das espécies conhecidas.

Além da piscicultura, o rio Madeira também possui grande potencial na geração de energia elétrica. Atualmente existe um complexo hidrelétrico composto pelas usinas Jirau e Santo Antônio, totalizando 7.318 MW de potência instalada e uma área alagada de 782 km² (FEARNSIDE, 2013).

Um dos principais impactos ambientais em usinas hidrelétricas consiste na interrupção da migração de peixes, seja para buscar alimento ou locais de reprodução. A passagem de peixes através das turbinas pode resultar em mortalidade seja por trauma, pressão ou, ainda, por concentrações de gases dissolvidos no tubo de sucção após as paradas das máquinas (WILLIAMS, 1993; APC, 2016).

Atualmente existem alguns métodos de passagem da ictiofauna pelo sistema adução, onde estão as turbinas, por meio do desvio de direção ou caminho alternativo do

fluxo aquático (bypass), vertedouro, escadas, elevadores e transporte por caminhões (SCHILT, 2006).

Outro método muito implementado é o aumento do fluxo hidráulico, o qual consiste na retirada de carga gradativa da unidade geradora (UG) na medida em que ocorre a descida da comporta vagão. A diminuição da área de descarga do tubo de sucção ocasiona a elevação do fluxo hidráulico. A aplicação dessa manobra gera alguns questionamentos como a sua real eficiência e possíveis danos físicos às comunidades aquáticas e às estruturas das usinas a longo prazo.

2. Materiais e Métodos

2.1 Avaliação da ictiofauna e da qualidade da água

Para a avaliação da ictiofauna confinada no tubo de sucção das unidades geradoras, foi utilizado o sistema equipado com sonar de varredura multifrequencial com filtro de redução de ruído, ferramenta de mensuração que permite quantificar em tempo real a população de peixes confinada no tubo de sucção de unidades geradores do tipo bulbo. Operacionalmente foi feita primeiramente a fixação do suporte do transdutor, bem como a troca de parafusos da tala entre os painéis dos segundo e terceiro segmento da comporta vagão (Figuras 9 e 10).



Figura 9. Transdutores instalados no painel de face da comporta vagão entre o segundo e terceiro elemento.



Figura 10. Detalhamento do cabeamento através do parafuso adaptado da tala entre os seguimentos e a bomba de baixa vazão para análise da qualidade da água (gaveta da comporta vagão entre o segundo e terceiro seguimento).

Uma vez fixado os transdutores e o tubo de coleta de água antes do isolamento da turbina, o sistema está pronto para gerar imagens imediatamente após o fechamento da turbina.

O sistema de geração de imagens utiliza frequências distintas e filtros correspondentes, permitindo assim a demarcação de distintas áreas de cobertura, sendo iniciada a avaliação da biomassa de peixes com o ajuste adequado da resolução.

O tubo coletor de água foi fixado a uma bomba afogada situada no exterior da comporta utilizada, e uma vez finalizado o fechamento da turbina, inicia-se o o fechamento da comporta vagão acoplada com a sonda multiparamétrica, a qual começa a adquirir os dados de pH, oxigênio dissolvido, turbidez e temperatura em intervalos de tempo ajustáveis dependendo das mudanças observadas. A amônia foi quantificada utilizando o teste colorimétrico comercial com faixa de concentração até 8 mg L^{-1} .

Todos os monitores (ou *displays*) mencionados, ou seja, do sonar, da sonda multiparamétrica e da sonda para amônia ficam em áreas secas e protegidas (Figura 11), na plataforma de jusante da casa de força (margens direita e esquerda), sendo que a comunicação entre estes e os respectivos sensores foi feita através dos cabos de transmissão de dados.

Analisando as imagens geradas no tubo de sucção imediatamente após o confinamento da água, a primeira estimativa da ictiofauna aprisionada é feita, sendo essas

estimativas aprimoradas após cada evento de parada por meio da alimentação e modelagem do banco de dados.

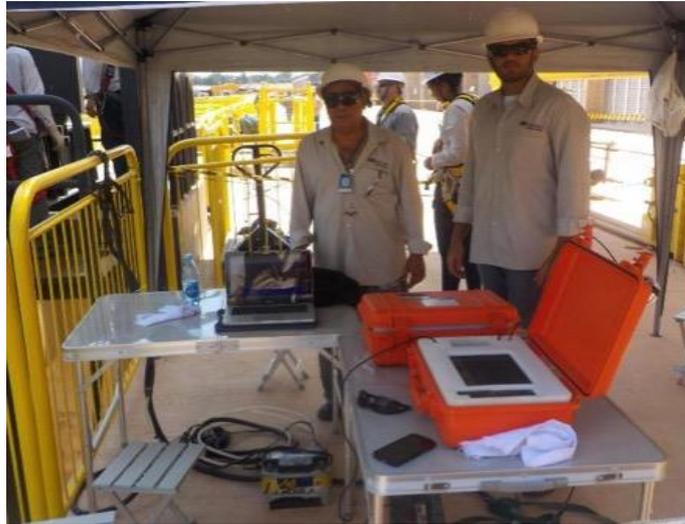


Figura 11. Equipamento para aquisição das imagens subaquáticas multifrequenciais e célula de fluxo para análise da qualidade da água por sonda multiparamétrica.

2.2 Manobra de elevação do fluxo hidráulico

O procedimento de elevação do fluxo hidráulico inicia com a retirada da unidade geradora do sistema (dessincronização), mantendo a velocidade de rotação da turbina de 81,8 rpm e descarga nominal de $576 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

O fechamento do tubo de sucção é acionado, sendo que a comporta vagão é deslocada do topo do tubo de sucção até 1 m de altura em relação à soleira em aproximadamente 4 minutos. A diminuição da área de descarga do tubo de sucção ocasiona a elevação do fluxo hidráulico, o qual é mantido por aproximadamente 10 minutos. Na sequência é fechado o tubo de sucção pela comporta vagão causando a parada da turbina (Figura 12).

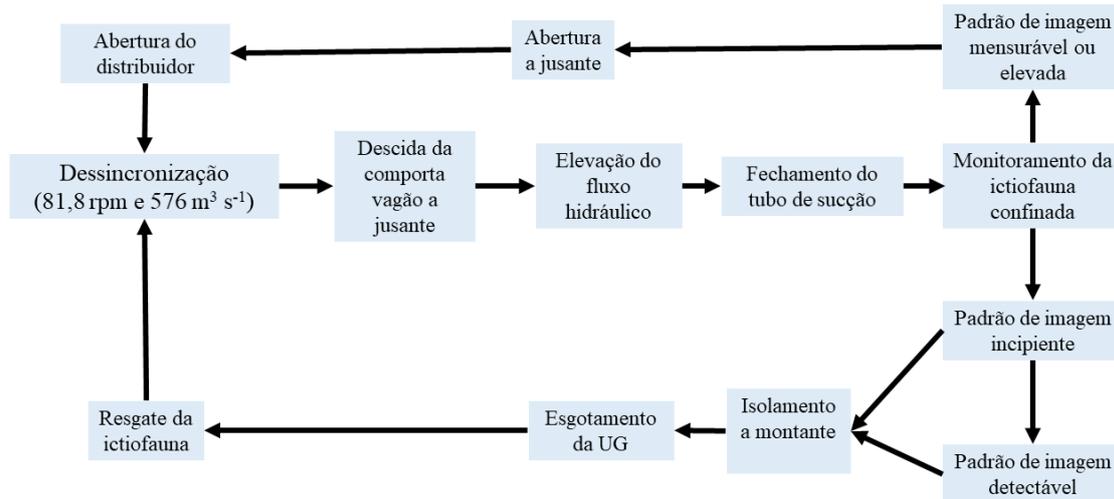


Figura 12. Fluxograma da manobra de elevação do fluxo hidráulico. Procedimento: 1º Dessincronização da turbina; 2º Descida da comporta vagão à jusante; 3º Elevação do fluxo hidráulico; 4º Fechamento do tubo de sucção; 5º Monitoramento de imagens da ictiofauna confinada. Após realizado o monitoramento tem-se: 6º Um padrão de imagem mensurável ou elevada; 7º Abertura a jusante; 8º Abertura do distribuidor. 6º Constatado um padrão incipiente ou detectável; 7º Isolamento a montante; 8º Esgotamento da UG; 9º Resgate da ictiofauna.

2.3 Banco de dados

O banco de dados (2014 a 2018) das filmagens em formato *digital audio tape* (.DAT) da avaliação em tempo real da ictiofauna confinada no tubo de sucção das 50 unidades geradoras, bem como da qualidade da água confinada, foi disponibilizado pela Usina Hidrelétrica de Jirau. A organização e distribuição das UGs na UHE Jirau foram feitas conforme o sentido do fluxo do Rio Madeira, na margem direita estão localizadas as UGs de número 1 ao 28 e na margem esquerda de 29 a 50 (Figura 13).

No interstício de 05 anos, foram acompanhadas 203 manobras de fechamento a montante das 50 unidades geradoras, sendo 142 na margem direita e 61 na margem esquerda.

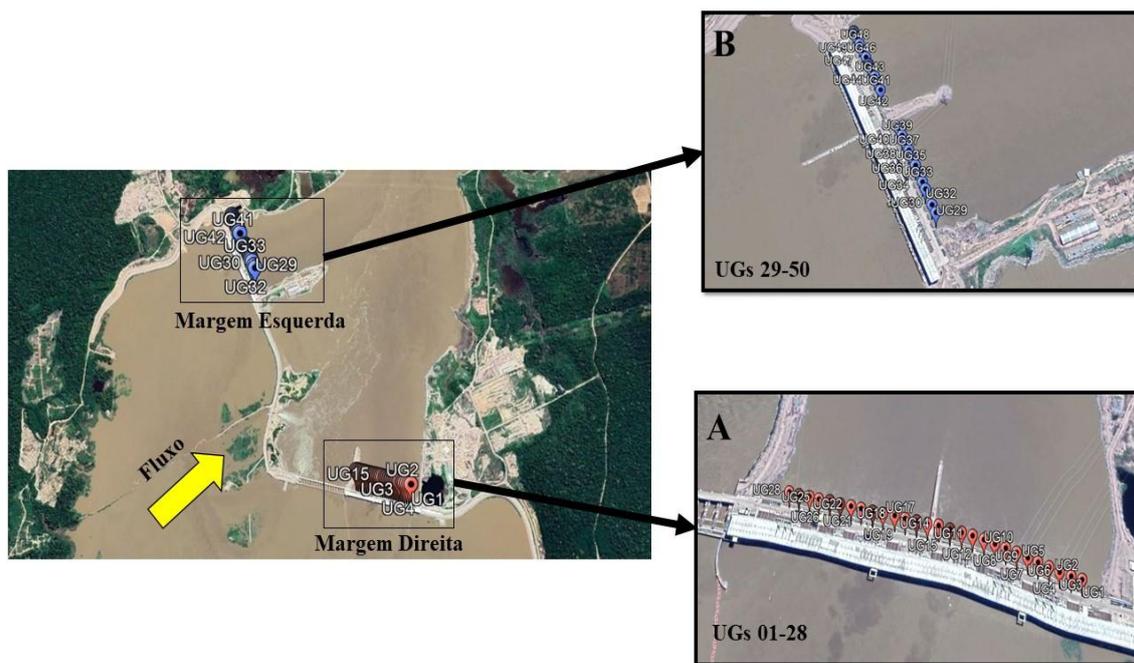


Figura 13. Organização e distribuição das Unidades Geradoras. A - Margem direita UG (01 a 28) – Casa de Força 1. B - Margem esquerda UG (29 a 50) – Casa de Força 2. Fonte: Imagem Digital Globe, 2019.

Para a análise em tela das filmagens em formato DAT geradas pelo sonar foi utilizado o *software* HUMVIEWER (Disponível no *site*: <http://humviewer.cm-johansen.dk/>). Por meio do *software* foram coletadas as exatas datas em dia, mês e ano das filmagens, além dos horários. Além disso, foram analisados todos os canais das filmagens do sonar, com a linha de nivelamento de 0,25. O limite de distância das capturas de imagens foi de 15 metros. Para realizar a classificação supervisionada das imagens geradas foi adotada a classificação:

1) Pré-processamento: Para a padronização das filmagens a serem analisadas foi utilizada uma composição colorida de falsa cor *Blue – Turquoise* com valor do pixel de $0,000361 \text{ m}^2$.

2) Identificação dos alvos: conforme a identificação dos alvos foi estabelecido um parâmetro referente ao tamanho relativo da biomassa analisada nas filmagens a ser classificada em Categoria 1, quando na tela o alvo correspondia a $\leq 1\text{cm}$; Categoria 2, quando $>1\text{cm}$ e $\leq 2\text{cm}$ e Categoria 3 relativos àqueles $>2\text{cm}$.

3) Análise do Categoria de biomassa: Nas análises foram inseridos os dados de dia, mês e ano, os períodos hidrológicos, as identificações das unidades geradoras, as localizações em relação às margens do rio (direita ou esquerda), as identificações da filmagem com

canais, linha de nivelamento e limite da distância. Os tempos das filmagens foram padronizados em minutos, além de ter determinado o total de tempo de cada filmagem. Assim, o tempo total da UG foi composto pela somatória dos tempos das filmagens realizadas em diferentes horários do dia da parada.

3.1) Categoria 1: Foi obtido pela divisão da biomassa, com tamanho relativo na tela ≤ 1 cm, e tempo da filmagem.

3.2) Categoria 2: Foi obtido pela divisão da biomassa, com tamanho relativo na tela > 1 cm e ≤ 2 cm, e tempo da filmagem.

3.3) Categoria 3: Foi obtido pela divisão da biomassa, com tamanho relativo na tela > 2 cm, e tempo da filmagem.

3.4) Movimentação geral: Para determinar a movimentação geral da de biomassa da UG, foi dividido o total de biomassa das filmagens (somatória dos Categorias 1, 2 e 3) pelo total de tempo (somatória dos tempos das filmagens).

As análises estatísticas contemplaram o teste de normalidade *Shapiro-Wilk's*, teste não paramétrico *Kruskal-Wallis* e análise *Cluster*, sendo utilizado o *software* Statistica, em sua versão 7, de teste.

3. Resultados e Discussão

3.1 Elevação da velocidade do fluxo hidráulico

A descarga hidráulica a jusante é feita por meio do tubo de sucção, com dimensões na seção junto ao plano de vedação de 16,5 m de altura e 14,2 m de largura. A descarga nominal da turbina é $576 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Portanto, considerando a área nominal da secção final do tubo de sucção, o fluxo hidráulico nominal da descarga é de aproximadamente $2,5 \text{ m s}^{-1}$, sendo que o fechamento do tubo de sucção até 1 m da soleira e mantendo a vazão constante da descarga ocasiona o aumento do fluxo hidráulico para $40,6 \text{ m s}^{-1}$.

O fluxo elevado mantido durante aproximadamente 10 minutos e o fechamento rápido (14 s) da parte inferior do tubo de sucção (1 m) minimiza a entrada da ictiofauna no tubo de sucção (Figura 14).



Figura 14. Visão frontal da face do tubo de sucção da unidade geradora (direita) e detalhamento do tubo de sucção (fase construtiva).

3.2 Movimentações gerais da biomassa confinada

Após a verificação das imagens foi possível identificar se a biomassa confinada é Incipiente, Detectável, Mensurável ou Elevada, sendo está a ordem crescente de biomassa monitorada.

Para este estudo, a classificação de biomassa Incipiente indica uma baixa densidade de movimentação, sendo observado 1 ou 2 espécimes confinadas, após fechamento completo do tubo de sucção (Figura 15); na classificação Detectável (Figura 16), é possível identificar uma baixa densidade de movimentação, entretanto, maior quando comparada àquela observada na classificação Incipiente, sendo que no resgate da ictiofauna é possível encontrar até 10 indivíduos; a partir das classificações de biomassa Mensurável (Figura 17) e Elevada (Figura 18), a manobra de elevação do fluxo hidráulico para repulsão da ictiofauna é executada novamente, tendo em vista que a densidade de biomassa é maior quando comparada às classificações anteriores, com a presença de mais de 10 espécimes no resgate.



Figura 15. Exemplo de monitoramento com classificação de biomassa Insipiente.



Figura 16. Exemplo de monitoramento com classificação de biomassa Detectável.

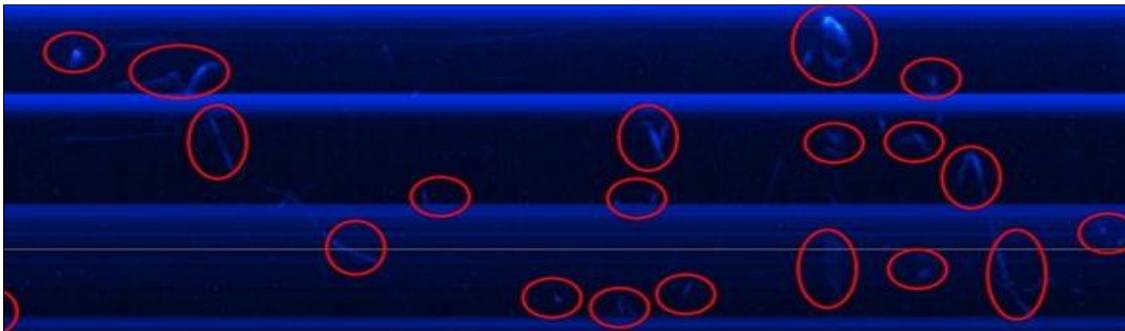


Figura 17. Exemplo de monitoramento com classificação de biomassa Mensurável.



Figura 18. Exemplo de monitoramento com classificação de biomassa Elevada.

No período de estudado de 2014 a 2018 foram acompanhadas 203 paradas de máquinas, sendo quantificadas as movimentações apenas nas categorias incipientes e detectáveis.

Considerando as Categorias 1, 2 e 3, os quais foram obtidos a partir do tamanho relativo do espécime na filmagem (≤ 1 cm; > 1 cm e ≤ 2 cm; > 2 cm, respectivamente), foram quantificados 112.354 movimentações de ictiofauna confinada. A Categoria 1 possuiu 115.781 movimentações, a Categoria 2 possui 2.741 e a Categoria 3 é composto por 3.832.

Na Categoria elevada, a movimentação de peixes é tão alta que impossibilita a contagem visual. Além disso, nos raros casos que ocorreram, a manobra de elevação do fluxo hidráulico foi refeita resultando em pouca biomassa. Dessa forma, essa categoria não foi considerada nos resultados a seguir.

Em todas as unidades geradoras analisadas a maioria das movimentações foram observadas e quantificadas como Categoria 1 sendo 94,63% do total, os Categoria 2 com 2,24% e o Categoria 3 com 3,13% (Figura 19).

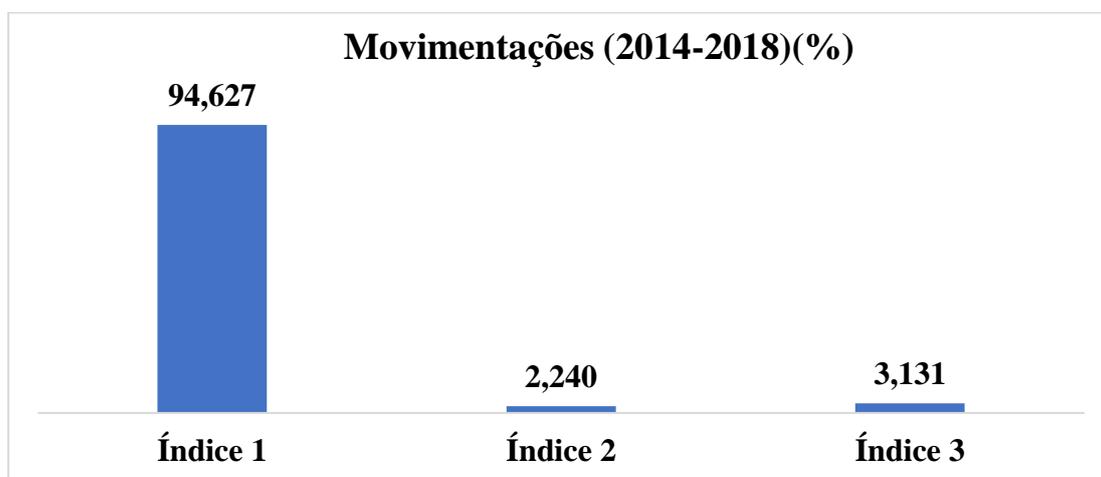


Figura 19. Registro de movimentações de biomassa confinada realizada durante o período de 2014 a 2018 na UHE Jirau. Classificação conforme o tamanho da detecção da biomassa observada: Categoria 1 (quando na tela foi < 1 cm), Categoria 2 (> 1 cm e < 2 cm) e Categoria 3 (> 2 cm).

Em relação as movimentações durante os períodos hidrológicos nesse período, evidencia-se em destaque das movimentações realizadas pelo Categoria 1, que mesmo na distribuição ao longo dos períodos possuiu valores superiores aos demais.

No Categoria 1 as movimentações quantificadas durante o período de enchente foram 28.941, na cheia 10.869, na vazante 32.771 e na seca 43.200. A Categoria 2 na

enchente foram 628, durante a cheia 258, no período da vazante 673 e para a seca foram observados 1.182. Para a Categoria 3 na enchente foram obtidas 958 movimentações, na cheia 185, durante a vazante 752 e para a seca foram observadas 1.428 (Tabela 6).

Tabela 6. Quantificação de movimentações realizadas por período hidrológico de enchente, cheia, vazante e seca na UHE Jirau.

	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3
Enchente	28.941	628	958
Cheia	10.869	258	185
Vazante	32.771	673	752
Seca	43.200	1.182	1.428

Os valores observados para a biomassa da Categoria 1 podem estar relacionados a grande tendência que os peixes possuem para a formação de cardumes que cruzam o Rio Madeira, principalmente em períodos de migração relacionados a busca de alimentos e a reprodução.

Segundo Santos & Santos (2005) no processo de subida e descida das águas dos rios amazônicas durante o período de seca os peixes se tornam mais concentrados devido ao pouco volume de água, sendo uma época mais crítica por causa da maior vulnerabilidade a predação e a depleção de oxigênio devida no meio aquático raso e ao material em decomposição.

Esse aspecto possui forte evidência quando se observa os valores percentuais referentes as movimentações da Categoria 1 no tempo do trabalho. Na enchente o valor de 94,8% está muito acima dos 2,1% e 3,1% dos Categorias 2, e 3, respectivamente. Na cheia também foi observa esta diferença nas movimentações, 96,1% do Categoria 1, em contrapartida foram 2,3% do Categoria 2 e 1,6% do Categoria 3. O período de vazante os 95,8 do Categoria 1 foram muito acima dos 2,0% do Categoria 2 e 2,2% do Categoria 3. E, na seca os valores se mantiveram acima dos demais, 94,3% do Categoria 1, Categoria 2 com 2,6% e 3,1% do Categoria 3 (Figura 20).

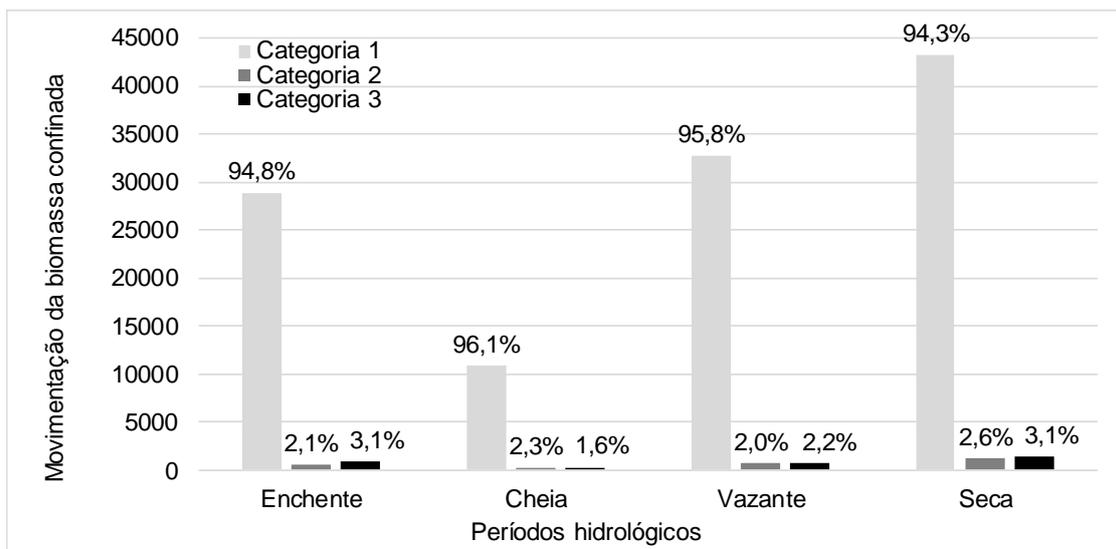


Figura 20. Valores percentuais da movimentação da biomassa confinada referentes as movimentações dos Categorias 1, 2 e 3, períodos hidrológicos de enchente, cheia, vazante e seca.

A biomassa no tubo sucção referentes as margens direita e esquerda da UHE mostrou que na margem direita houve 94,4% das movimentações do Categoria 1, 2,3% do Categoria 2 e 3,3% do Categoria 3. Na margem esquerda também ocorreu predominantemente movimentações de biomassa do Categoria 1 95,2 com 2,1% do Categoria 2 e 2,7% do Categoria 3 (Figura 21).

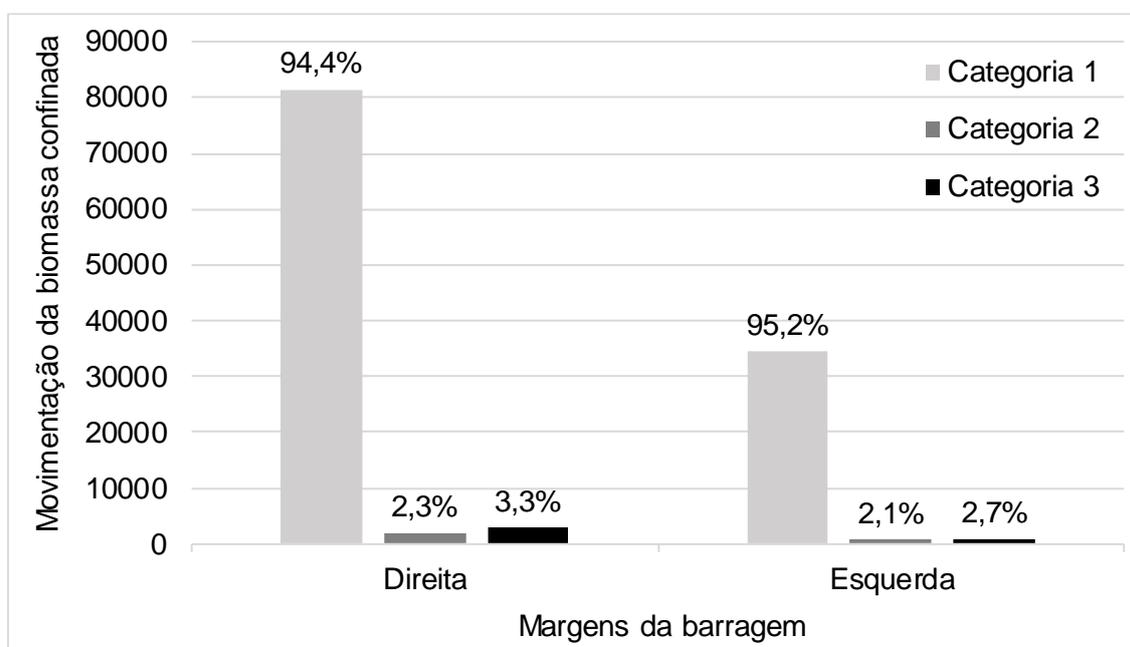


Figura 21. Quantificação de movimentação da biomassa confinada no tubo sucção referentes as margens: direita UG (01 a 28) – Casa de Força 1, e esquerda UG (29 a 50) Casa de Força 2.

3.3 Teste de Normalidade de *Shapiro-Wilk's*

As amostras foram submetidas ao teste de *Shapiro-Wilk's*, sendo o valor de alfa adotado para o nível de significância de 0,05 (5%). Foi observado que os Categorias 1, 2 e 3, os quais representam o tamanho relativo da biomassa observada nas filmagens, e o Categoria geral, correspondente a todas as movimentações. O teste evidenciou distribuição não paramétrica, isto é, uma distribuição normal ($p < 0,05$), satisfazendo H_0 e refutando H_1 . (Tabela 7).

Tabela 7. Análise de Shapiro-Wilk's considerando o Categoria geral e os Categorias 1, 2 e 3 em relação ao tempo.

Variável	N	W	p
Categoria 1	776	0,552182	0,000000
Categoria 2	774	0,225571	0,000000
Categoria 3	774	0,175830	0,000000
Categoria geral	776	0,567026	0,000000

3.4 Teste não paramétrico de *Kruskal Wallis*

Considerado que os dados não são paramétricos, foi selecionado o teste *Kruskal Wallis* adotando o valor de $p < 0,05$. O teste indicou diferença significativa ($p < 0,05$) para o Categoria geral (Categorias 1, 2 e 3/tempo) e os períodos hidrológicos, dessa forma, a hipótese nula foi rejeitada, aceitando a hipótese alternativa, a qual infere pela diferença estatística entre as populações dos períodos hidrológicos.

O valor apresentado e evidenciado na análise das filmagens no período de enchente pode ter resultado da forte migração com presença acentuada das espécies ocorrida no período de dezembro a abril no Rio Madeira.

No período de cheia as análises das filmagens verificaram a maior diferença na função de distribuição comparada aos três períodos. Esse resultado, pode ter sido apresentado devido a necessidade de busca por alimentação durante a fase de crescimento das espécies e a necessidade de movimentação dos cardumes para locais com maior disponibilidade de alimentos.

No período de seca o teste registou o segundo menor valor para o Categoria de biomassa. Nesse período, as espécies podem evitar as movimentações ao longo do rio devido às possíveis predações (Figura 22).

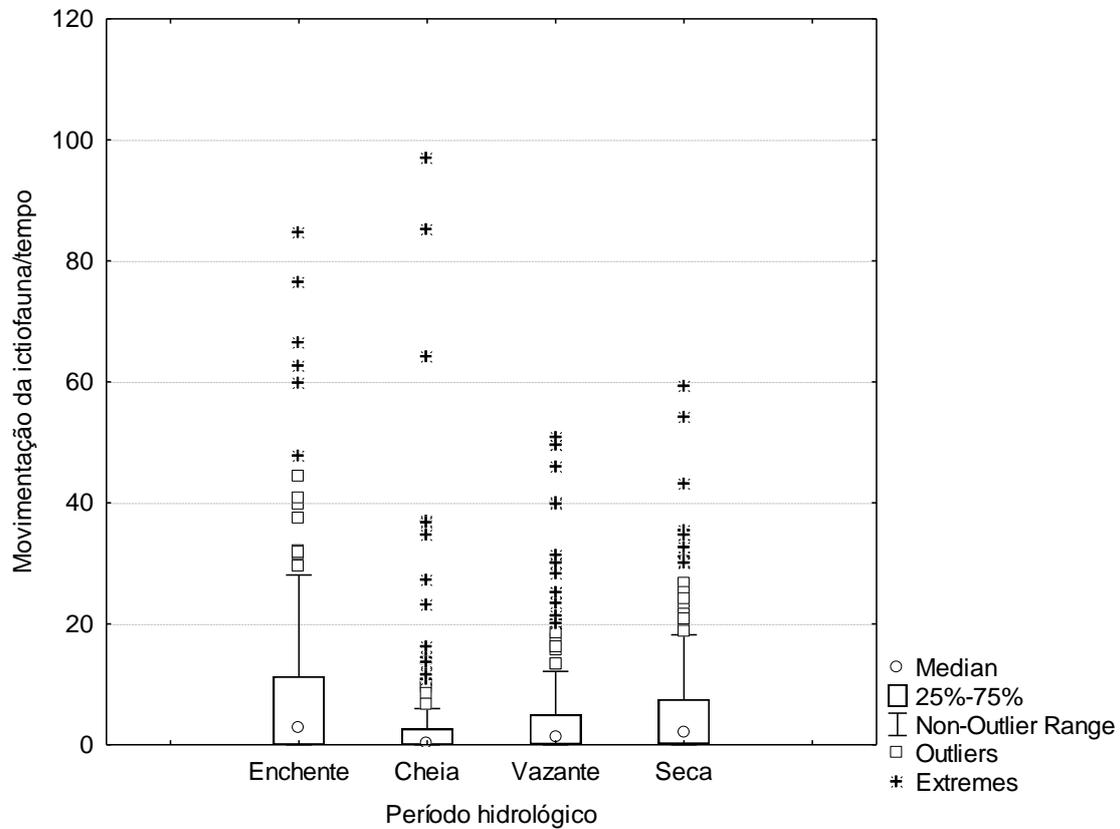


Figura 22. Boxplot considerando a movimentação geral/tempo nos períodos hidrológicos de enchente, cheia, vazante e seca.

O teste *Kruskal-Wallis* foi realizado para averiguar as hipóteses nulas e os níveis de significância dos valores em relação as Categorias 1, 2 e 3. Os resultados indicaram que as Categorias 2 e 3 ($p=0,000$ e $p=0,001$, respectivamente), demonstraram uma diferença na movimentação da ictiofauna entre os períodos hidrológicos enchente, cheia, vazante e seca. Foi observado que a Categoria 2 não apresentou diferença significativa ($p=0,064$) para os períodos hidrológicos.

Considerando todas as unidades geradoras, o período hidrológico enchente apresentou maior biomassa por tempo. Esse aspecto demonstra o aumento do fluxo das espécies e constante formação de cardumes nesse período de migração. Segundo Boischio (1992), os cardumes nesse período estão à procura de alimentos em grande disponibilidade, e em fuga de regiões pesqueiras. Isaac & Barthem (1955) observam que

na época de enchente a maior parte das espécies deslocam-se em direção à procura de fontes de alimento e refúgio.

Além desses aspectos, foi registrado no ano de 2014 uma cheia atípica que inundou uma grande área e que elevou o nível do Rio Madeira em 19,7 metros (CEPED, 2019) (Figura 23). O que pode ter contribuído para uma maior movimentação de peixes nas unidades geradoras da UHE Jirau neste período.

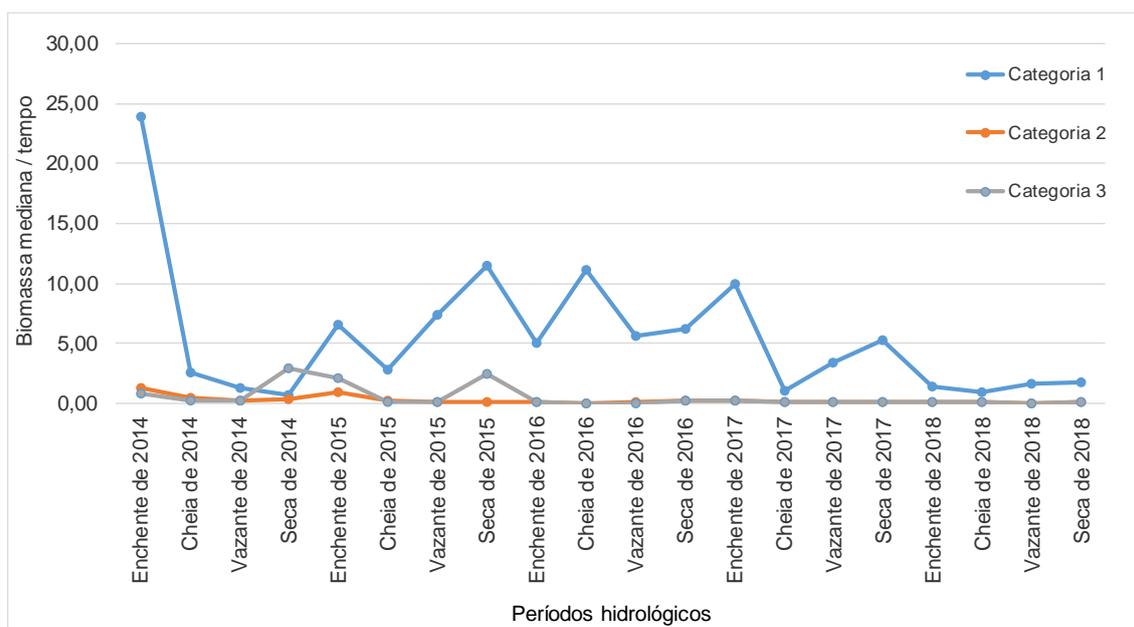


Figura 23. Categorias de biomassa 1, 2 e 3 durante o período de 2014 a 2018 na UHE Jirau.

O teste *Kruskal-Wallis* foi realizado para averiguar as hipóteses nulas e os níveis de significância dos valores em relação ao Categoria de biomassa geral por tempo, isto é, considerando os Categorias 1, 2 e 3, e as margens da direita e esquerda. O teste foi significativo ($p=0,004$), indicando que há diferença entre as margens. Entretanto, é possível observar que apesar da movimentação da biomassa mediana nas duas margens serem muito semelhantes e tiveram pequenas variações, a casa de força 2, representada pelas unidades geradoras de número 29 a 50, possuiu maior valor de biomassa (Figura 23).

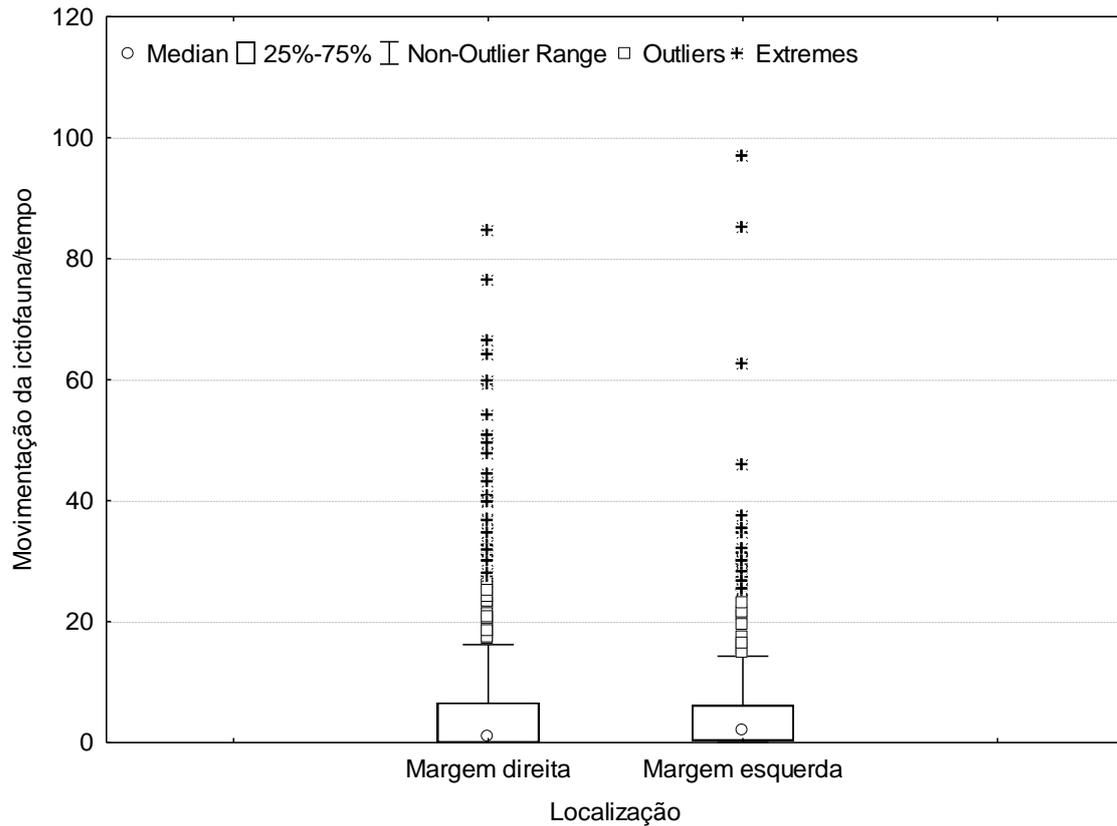


Figura 24. Categoria de biomassa geral (Categorias 1, 2 e 3) em relação a localização das margens esquerda e direita.

Considerando os Categorias 1, e 3 e comparando-os com a movimentação nas margens esquerda e direita, o Categoria 1 apresentou diferença significativa ($p=0,002$). Para os Categorias 2 e 3, a localização das margens não foi significativa ($p=0,394$ e $p=0,726$) (Figura 25).

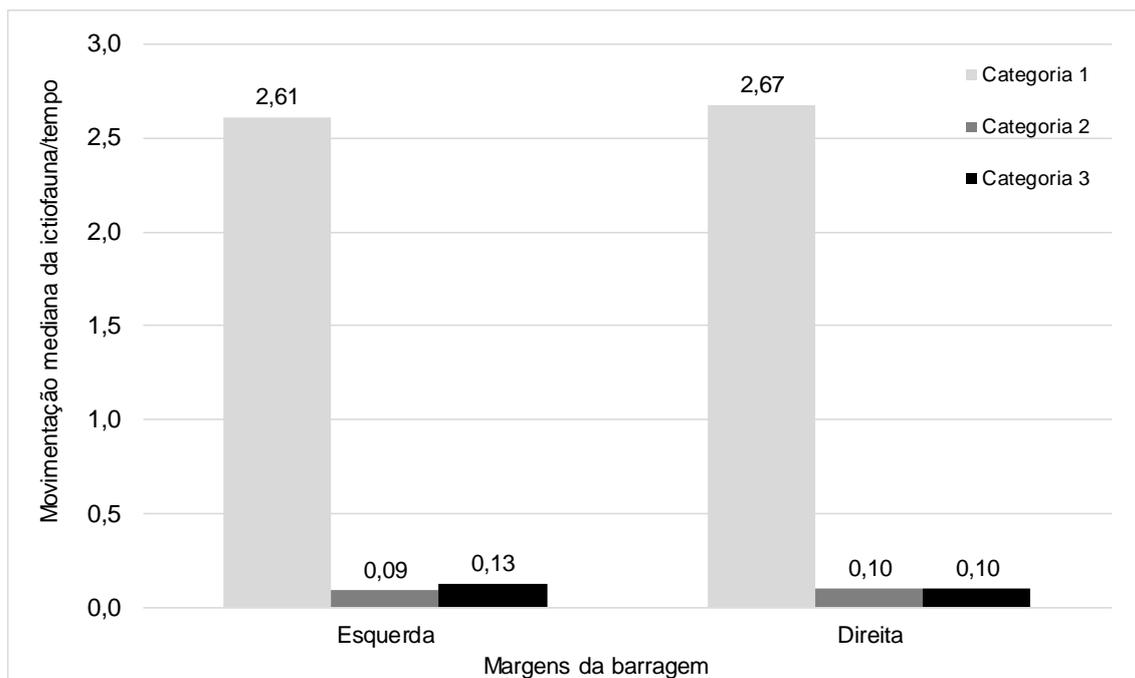


Figura 25. Movimentação mediana da biomassa em relação a localização das margens (direita e esquerda) da usina.

Em relação aos anos analisados e a movimentação de biomassa apresentada nas 50 unidades geradoras, foi possível observar que houve diferença na movimentação de biomassa da margem esquerda para a direita. A margem esquerda da usina, onde há a casa de força 2 a Categoria 1 foi de 2,61, o Categoria 2 foi de 0,09 e o Categoria 3 foi de 0,13. A margem direita da casa de força 1 apresentou Categoria mediano 1/tempo (2,67), Categoria 2/tempo (0,10) e Categoria 3/tempo (0,10).

A biomassa na Categoria 1 foi responsável na margem esquerda por 92,22% das movimentações, e na margem direita por 93,03%. Esse valor foi referente a movimentações de espécimes de pequeno porte.

Nos anos analisados, 2015 e 2016 houve maior variação e mais valores extremos devido sobretudo à influência dos ciclos hidrológicos, já em 2018 é possível verificar a menor variação em comparação aos anos analisados (Figura 26).

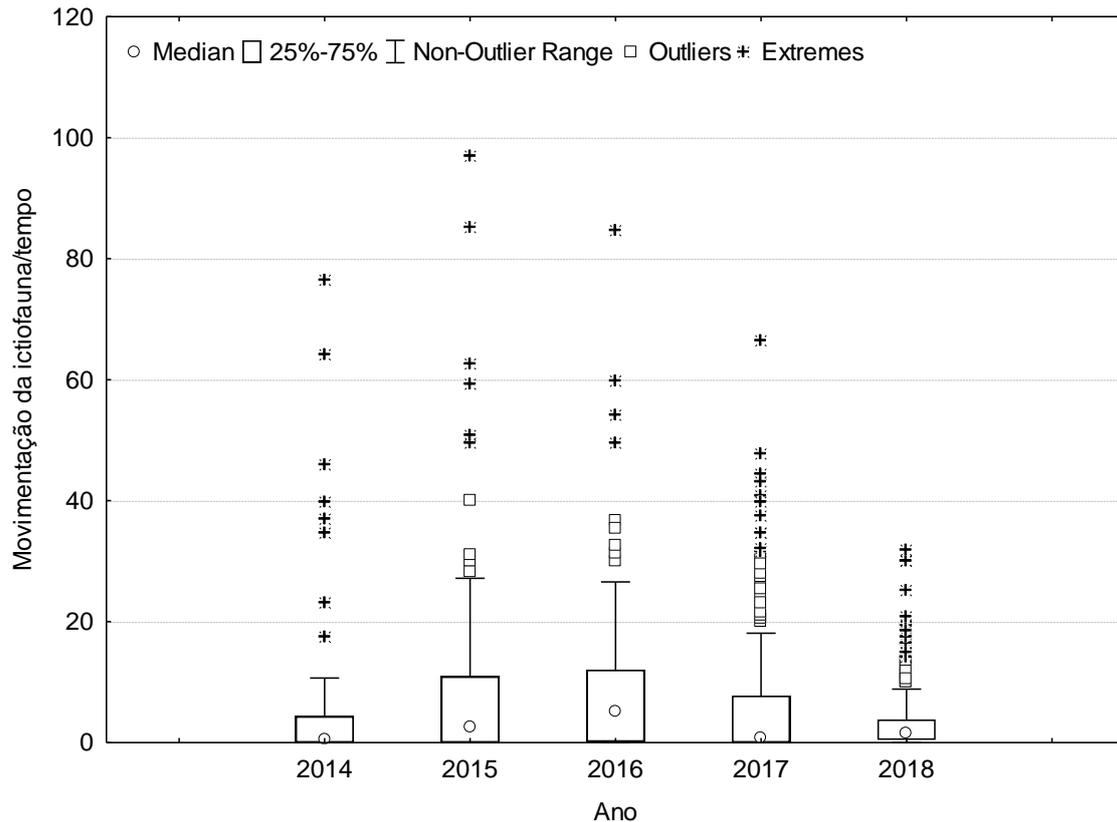


Figura 26. Boxplot considerando os anos e a biomassa total nas 50 unidades geradoras da UHE Jirau.

Em relação a movimentação da biomassa analisada em cada unidade geradora, foi possível verificar uma diminuição com o passar do período de monitoramento, indicada pela linha vermelha. As unidades geradoras UG7, UG10 e UG35 apresentaram maiores Categorias de movimentação de biomassa. As menores movimentações foram verificadas nas unidades geradoras UG16, UG19 e UG42. Esse aspecto demonstra um equilíbrio na menor e maior movimentação de biomassa presente nas margens direita e esquerda.

A linha de tendência sofreu uma pequena diminuição nas movimentações da biomassa nas unidades geradoras, podendo estar associado ao aprimoramento da manobra de elevação do fluxo hidráulico (Figura 27).

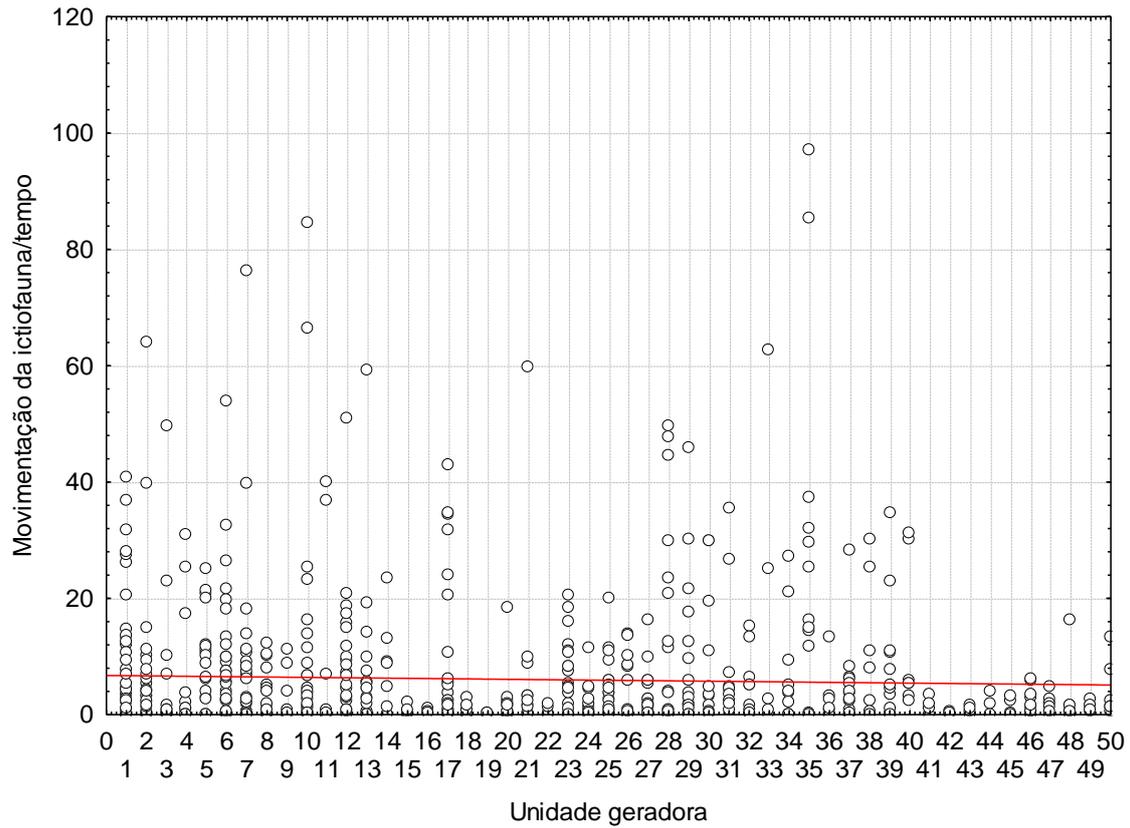


Figura 27. Categoria de biomassa total em relação a movimentação em todo o período de monitoramento (2014 a 2018).

A análise de cluster indicou a formação de 10 clusters com movimentações similares, sendo que as unidades geradoras UG17, 25, 32 e 47 apresentaram um nível de similaridade maior (0,821) em relação à movimentação da biomassa no período analisado (Figura 27).

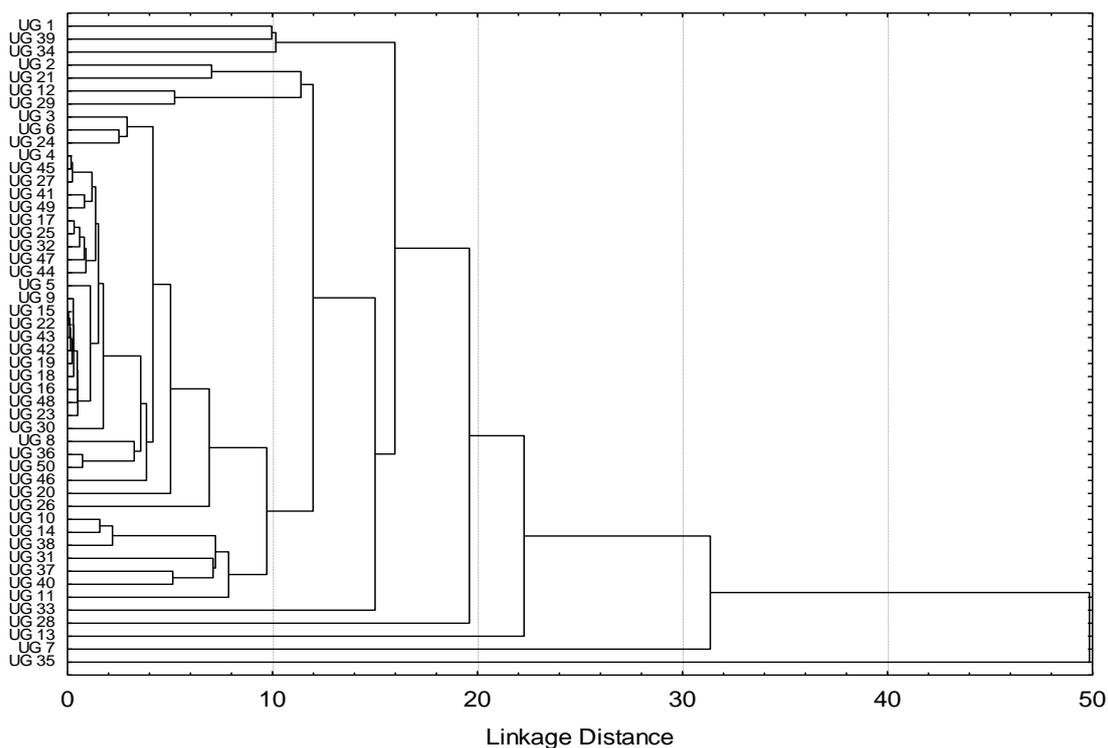


Figura 28. Dendrograma relativo à análise de cluster da movimentação da biomassa nas UGs (1-50) no período analisado.

Essa análise permite inferir que diversos fatores ambientais e não ambientais ou estruturais favoreceram a similaridade dessas movimentações durante os anos analisados. Os fatores ambientais estão ligados a migração, a formação de cardumes, ao fluxo do rio aos períodos hidrológicos, ao aparecimento de predadores e outros. Enquanto que os fatores não ambientais ou estruturais podem estarem relacionados a execução eficiente da manobra de elevação do fluxo hidráulico, quantidade de máquinas em operação, abertura do vertedouro e outros.

3.5 Qualidade da água

A análise de qualidade de água realizada nas áreas de influência da UHE Jirau indicou as medianas da temperatura de 28,10 °C, pH de 6,47, oxigênio dissolvido de 5,68 mg L⁻¹, sólidos totais dissolvidos 57,78 mg L⁻¹ e a condutividade apresentou média 86,88 μS cm⁻¹ (Tabela 8).

Tabela 8. Análise da qualidade da água na UHE Jirau no período de 2014 a 2018

	Temperatura (°C)	pH	Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Oxigênio dissolvido (mg L^{-1})	Sólidos totais dissolvidos (mg L^{-1})
Mediana	28,10	6,47	70,60	5,68	46,15
Média e desvio padrão	28,16 \pm 1,26	6,55 \pm 0,62	86,88 \pm 42,10	5,65 \pm 0,97	57,78 \pm 26,97
Mínimo	25,20	5,16	47,45	3,98	39,00
Máximo	33,10	11,07	256,12	7,92	160,04

Durante o período analisado, a UG 03 apresentou o maior valor de pH (7,92) no de 2014 no período de vazante na margem direita. O menor valor de pH foi registrado na UG09 (5,16) no ano de 2018 no período hidrológico seca na margem direita.

Em relação ao oxigênio dissolvido, a UG32 apresentou o maior valor amostral ($7,17 \text{ mg L}^{-1}$) no período de seca na margem esquerda no ano de 2014, e o menor valor nesse parâmetro ficou registrado na UG 08 ($3,98 \text{ mg L}^{-1}$) margem direita, no ano de 2015, na cheia.

Castilhos & Rodrigues (2008, p.73) inferiram que a diminuição da concentração de oxigênio no Rio Madeira não é observada em certos períodos do ano devido a correnteza constante, tendo uma concentração de oxigênio dissolvido de $6,15 \pm 1,23 \text{ mg L}^{-1}$, mas que varia entre $4,1 - 8,7 \text{ mg L}^{-1}$.

Silva *et al.*, (2007) observa que o regime de chuvas consegue influenciar as variáveis de qualidade da água como a temperatura, pH, turbidez, condutividade, oxigênio dissolvido e sólidos em suspensão na região amazônica. Dessas, a temperatura e oxigênio dissolvido possuíram maior correlação com a precipitação.

Os sólidos totais dissolvidos foram detectados o maior valor na UG 03 ($99,45 \text{ mg L}^{-1}$) também em 2014 na vazante, e os menores valores foram encontrados na UG 09 ($39,00 \text{ mg L}^{-1}$) em 2015 no período de cheia na margem direita. Esse aspecto confirmou Horbe *et al.*, (2013), onde demonstrou que os sólidos são mais elevados e variáveis na transição para o período da seca.

Na bacia amazônica os altos teores de matéria orgânica elevam os valores dos sólidos totais devido aos processos naturais ocorridos no bioma, esse aspecto é confirmado pela alta variação de sólidos totais no Rio Araguari/AP, onde os valores variaram de 1,6 (cheia) a 3.480 mg L^{-1} (seca) (BÁRBARA, *et al.*, 2010). Barbosa (2005, p.104) observou que os valores dos sólidos totais presentes nas águas brancas do Rio

Amazonas que variou entre 60 e 161 mg L⁻¹, e também o Lago Curuai com valor de 462 mg L⁻¹.

A amônia apresentou valores abaixo do limite de quantificação da técnica utilizada (0,25) na maioria dos pontos de amostragem. Nos pontos de coleta das UGs 07, 04, 12, 14, 29 28, 12, 01, 13, 10, 41, 42, 20, 06 e 27 no ano de 2017 apresentaram a concentração igual a 0,25 mg L⁻¹.

A amônia em ambientes aquáticos é essencial na formação de um gradiente nítido de distribuição vertical dos compostos nitrogenados, sendo assim importantes fontes para os produtores primários, pois são absorvidos pelas células, de forma rápida (FERNANDES *et al.*, 2004). Para Pereira & Mercante (2005) os compostos nitrogenados, dentre eles a amônia, em condições ideais, determinam a produtividade total do sistema aquático e a disponibilidade dos compostos que controlam a biomassa das algas.

Os parâmetros temperatura, pH, condutividade, oxigênio dissolvido e sólidos totais dissolvidos foram submetidos ao teste de *Shapiro-Wilk's*, sendo o valor de alfa adotado para o nível de significância de 0,05 (5%). Todos os parâmetros apresentaram distribuição não paramétrica ($p < 0,05$).

Dessa forma, foi selecionado o teste Kruskal Wallis, adotando o valor de $p < 0,05$, a fim de comparar os parâmetros (temperatura, pH, condutividade, oxigênio dissolvido e sólidos totais dissolvidos) com os ciclos hidrológicos (cheia, vazante, seca e enchente) e a localização das margens (direita e esquerda).

O teste indicou diferença significativa ($p < 0,05$) para os ciclos hidrológicos considerando todos os parâmetros. O teste não indicou diferença significativa ($p < 0,05$) para a localização das margens considerando a maioria dos parâmetros, com exceção dos sólidos totais dissolvidos, o qual apresentou $p = 0,014$.

A temperatura com valores mais elevados em período de seca na região amazônica normalmente está relacionada a diminuição da água nas camadas superiores do solo e consecutivamente a elevação da evapotranspiração das arbórea e ao aumento da pressão na troposfera, no inverno esse sistema enfraquece (MOLION, 1987; VILANI, *et al.*, 2006). Além desses aspectos, segundo Toledo (2014) as queimadas podem desregular a dinâmica de precipitações da região amazônica, devido ao aumento das temperaturas que diminui o vapor de água, causando a diminuição da precipitação.

Segundo Piratoba *et al.*, (2017) a diminuição da precipitação, o aumento da intensidade de calor, refletem no grau de aquecimento das águas com variação 30,4 a

31,1°C no período menos chuvoso e entre 29,4 e 30, 1°C no período chuvoso. Em relação à média da temperatura nas margens da UHE Jirau, durante os períodos observados a vazante mostrou valores mais extremos de temperatura e a seca valores mais altos em comparação com os períodos de enchente e cheia (Figura 29 a). A margem esquerda apresentou mais extremos do que a margem direita (Figura 29 b).

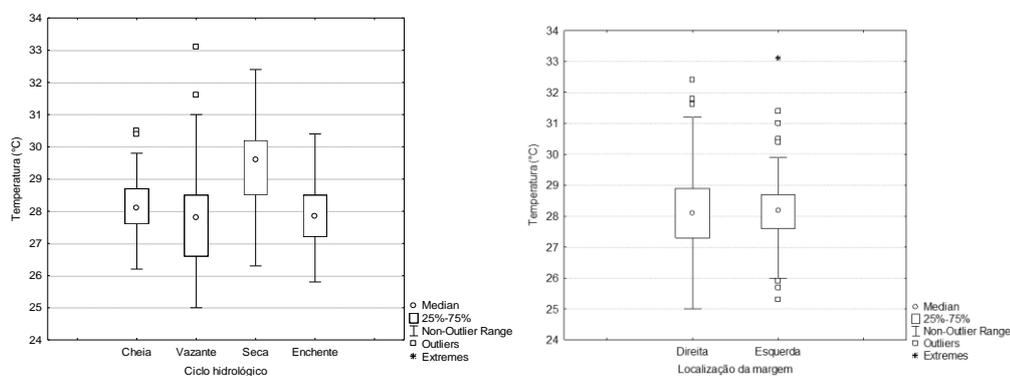


Figura 29. a) Temperatura (°C) durante os períodos hidrológicos durante os anos de 2014 a 2018 e b) referentes as margens de localização das UGs na UHE Jirau.

Em relação ao alto e baixo pH na região amazônica, para Junk & Furch (1980) essa característica pode estar relacionada a distribuição da formação geológica, com acentuadas de concentrações de Ca e Mg, o que aumenta a quantidade de eletrólitos na água e consecutivamente a alcalinidade. Arelado a isso, existe uma diferença de pH entre os diferentes tipos de água (GHILLEAN, 1980).

É importante observar que durante o período de seca houve a diminuição da precipitação causando a alcalinidade do Rio Madeira. Essa característica assemelha-se a que foi descrito por Lopes *et al.*, (2017), que relaciona a acidez dos rios ao aumento do volume de precipitação e a alcalinidade à diminuição das chuvas na região da bacia amazônica (Figura 30a). A margem esquerda apresentou valores de pH mais extremos do que a margem direita (Figura 30b).

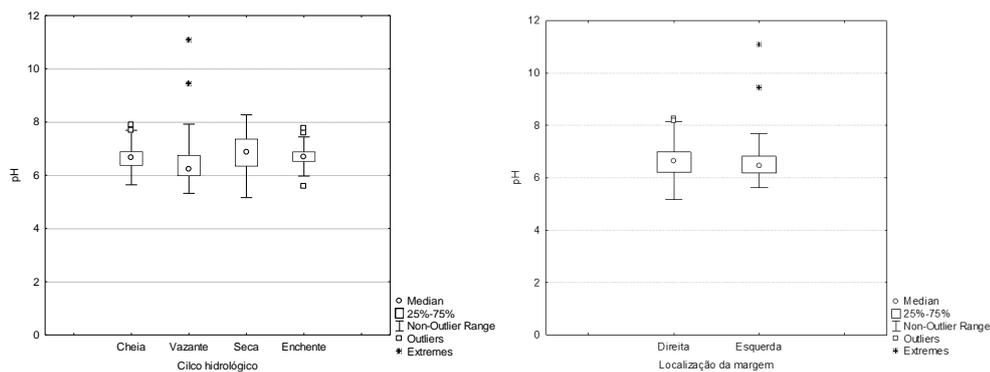


Figura 30. a) Valor de pH durante os períodos hidrológicos durante os anos de 2014 a 2018 e b) referentes as margens de localização das UGs na UHE Jirau.

A condutividade elétrica na seca apresentou os maiores valores (Figura 31), esse aspecto pode estar relacionado ao aumento de matéria orgânica presente no ambiente aquático sendo mais evidente no período seco na região amazônica (BÁRBARA *et al.*, 2010). Em trabalho desenvolvido por Queiroz *et al.*, (2009) foi observado que em águas brancas como as do Rio Madeira, a somatória dos cátions e ânions é maior do que outros tipos de águas, apresentando maiores valores de condutividade elétrica.

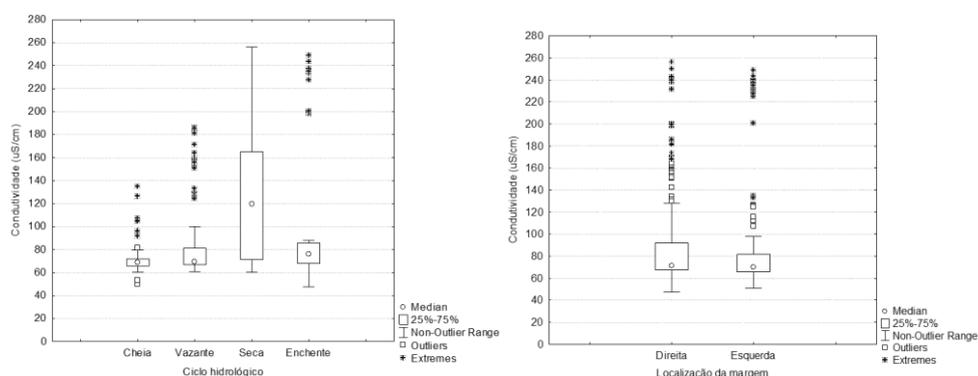


Figura 31. a) Valor de condutividade durante os períodos hidrológicos durante os anos de 2014 a 2018 e b) referentes as margens de localização das UGs na UHE Jirau.

O período em que apresentou maiores concentrações de oxigênio dissolvido foi o seco, resultado semelhante ao encontrado por Monteiro *et al.*, 2015, o qual observou as altas taxas de sedimentação que aumentaram a transparência aquática e a entrada de luz do sol que aumentaram a concentração de oxigênio dissolvido no período com menos quantidade de chuva (Figura 32.a). A margem direita apresentou maiores valores médios do que a esquerda na usina (Figura 32.b).

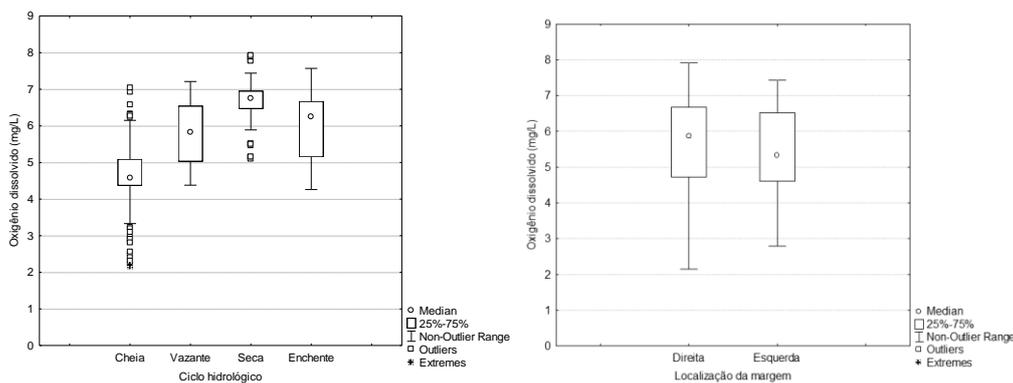


Figura 32. a) Concentração de oxigênio dissolvido (mg L-1) durante os períodos hidrológicos durante os anos de 2014 a 2018 e b) referentes as margens de localização das UGs na UHE Jirau.

Os períodos de seca e enchente apresentaram maiores médios de sólidos dissolvidos em relação aos períodos de cheia e vazante, estando de acordo com o que foi demonstrado também por Piratoba *et al.*, (2017, p.6), aspecto que está relacionado com a condutividade elétrica e compõe-se de produtos de intemperismo, compostos iônicos, não iônicos e sais (Figura 33.a). As margens direita e esquerda apresentaram médias similares variando entre 30 a 160 mg/L (Figura 33.b).

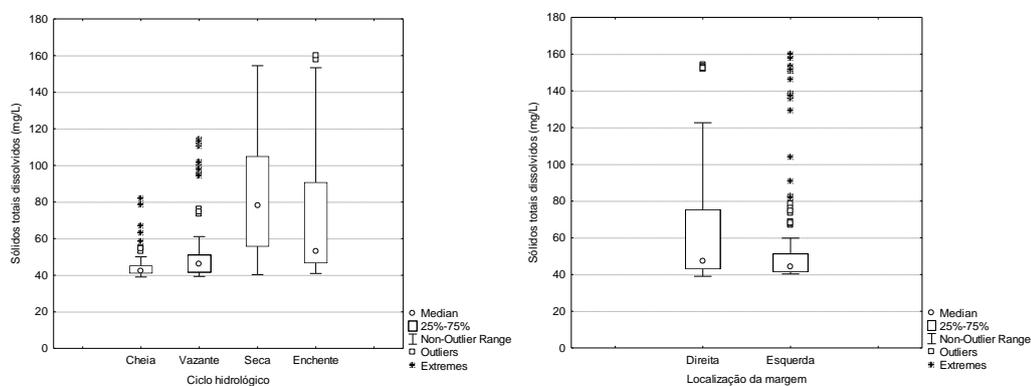


Figura 33. a) Concentração de sólidos dissolvidos (mg L-1) durante os períodos hidrológicos durante os anos de 2014 a 2018 e b) referentes as margens de localização das UGs na UHE Jirau.

No trabalho de Pereira (2012, p.46) foi observado o relevo médio como principal fator que contribui nas concentrações das partículas em suspensão nos principais rios amazônicos. Além deste aspecto, o Rio Madeira encontra-se em águas brancas com origem em regiões geológicas jovens, o que favorece a grande quantidade de partículas em suspensão por meio de processos de erosão (JUNK *et al.*, 2011; VILLAMIZAR *et al.*, 2014; SAMPAIO, 2015).

4. Conclusões

O método de análise e quantificação da biomassa confinada nos tubos de sucção das unidades geradoras utilizando filmagens de sonar forneceu dados das espécies entre os anos de 2014 a 2018. As características da biomassa amazônica analisadas no intervalo de quatro anos, mostrou a importância de quantificar e identificar a dinâmica da biomassa em ambientes confinados de usinas hidrelétricas. Assim, o trabalho desenvolvido contribuiu para integrar os componentes tecnológicos de monitoramento ambiental em ambiente confinado.

A associação do método de verificação das filmagens para quantificar a biomassa e os testes estatísticos foram essenciais para a comprovação da eficiência da manobra de elevação do fluxo hidráulico. Assim, colaboraram para o monitoramento da biomassa no tubo de sucção durante as paradas das unidades geradoras. O aumento do fluxo hidráulico no tubo de sucção associado ao monitoramento da ictiofauna confinada durante as manobras de fechamento das comportas a jusante da unidade geradora (UG), possibilitou verificar e quantificar a dinâmica aquática do ambiente, analisando a eficiência positiva do método na repulsão da ictiofauna.

A manobra de elevação do fluxo hidráulico apresentou eficiência 96,86% na repulsão de biomassa durante o período estudado sendo observado quantitativamente pouca a movimentação da biomassa, sendo que a Categoria 1 apresentou os maiores resultados quantitativos de movimentações, demonstrando a expressiva formação de cardumes presentes no Rio Madeira, em períodos de migração, principalmente no período da enchente, verificado pelo teste de *Kruskal-Wallis*.

As margens da direita e esquerda apresentaram diferenças significativas considerando a Categoria 1, ($p=0,002$). Essa Categoria foi responsável na margem esquerda por 92,22% das movimentações, e na margem direita por 93,03%, com maiores valores extremos de variação nos anos de 2015 e 2016.

É importante o desenvolvimento de outros métodos de repulsão de peixes pois, essas tecnologias auxiliam a minimizar os impactos das unidades geradoras na ictiofauna. Neste sentido, é fundamental desenvolver estratégias e técnicas capazes de evitar a mortandade da ictiofauna, o que é um grande desafio devido a diversidade de espécies presentes nos rios brasileiros, especialmente na região amazônica.

5. Referências bibliográficas

- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Matriz de energia elétrica. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>. Acessado em Ago/2017.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). *Atlas de energia elétrica do Brasil*, Brasília, 2002, p. 17-45.
- Alabama Power Company (APC), a southern Company. Final Fish Entrainment and turbine mortality study plan. *Hold Hydroelectric project*, FERC nº 2203, 2011.
- ALDAMY, A. Dinâmica fluvial do Rio Madeira. *Revista Porto Velho, cultura, natura e território*, 2016, p.120-147.
- ALMEIDA, O. T.; LORENZEN, K.; McGRATH, D. G. Commercial fishing sector in the regional economy of the Brazilian Amazon. In: Welcomme, R.; Peter, T. *Proceedings of the Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries*. FAO-Regional Office for Asia and the Pacific/Publicación, 2004, p. 15-24.
- ANJOS, H.D.B.; AMARIM, R.M.S.; SIQUEIRA, J.A.; ANJOS, C.R. Exportação de peixes ornamentais do estado do Amazonas, bacia amazônica, Brasil. *B. Inst. Pesca*, São Paulo, vol. 35, nº 2, 2009, p.259-274.
- ANDRADE, A. O desafio do licenciamento ambiental de usinas hidrelétricas no Brasil. *Revista brasileira de energia*, vol. 17, nº 2, 2º semestre, 2011, p.177-190.
- ANDRADE, E.S.; ARAÚJO, J.C. Medidas mitigadoras dos impactos ambientais causados por usinas hidrelétricas sobre peixes. *Revista eletrônica de veterinária*, vol. 12, nº 3, ISSN 1695-7504, p.1-30, 2011.
- BÁRBARA, V.F.; CUNHA, A.C.; RODRIGUES, A.S.L.; SIQUEIRA, E.Q. Monitoramento sazonal da qualidade da água do rio Araguari/AP. *Revista Biociências*, UNITAU. Vol. 16, nº 1, 2010.
- BAYLEY, P.B. Aquatic environments in the Amazon Basin, with an analysis of carbon sources, fish production, and yield, *D. P. Dodge, Proceedings of the International Large River Symposium*, 399-40, 1989.
- BAYLEY, P.B.; PETRERE J.M. Amazon fisheries: assessment methods, current status and management options. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences* vol. 106, 1989, p. 385-398.
- BARTHEM, R. B. Várzea fisheries in the middle Rio Solimões. *Advance in Economic Botany. The New York Botanical Garden Press*, 1999.

BARTHEM R.; GOULDING, M. The Catfish Connection: Ecology, Migration, and Conservation of Amazon Predators. *Columbia University Press, New York, 1997.*

BASTOS, W.R.; ALMEIDA, R.; DÓREA, J.G. BARBOSA, A.C. Annual flooding and fish-mercury bioaccumulation in the environmentally impacted Rio Madeira (Amazon). *Ecotoxicology*, vol. 16, 2007, p. 341-346.

BATISTA, G. S.; FREITAS, C. E. C., SOARES, M. G. M. Pesca Com Redinha e Escolhedeira na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Piagaçu-Purus, Amazonas, Brasil. *Rev. Bras. Eng. Pesca. Trabalho Técnico* vol. 5, nº 3, 2010.

BATISTA, V.S.; ALONSO, J.C.; LADLE, R.J.; FABRÉ, N.N. Drivers of the upper River Amazon giant catfish fishery. DOI: 10.1111/fme.12270. *Fish Manag Ecol*, 2018, p.1-11.

BATISTA, V.S. Biologia e administração pesqueira de alguns caraciformes explorados na Amazônia Central. 2001.

BENNET, S.; HARMAN, A.W.N. An aquatic macrophyte survey of Lake Moraine. *Madison County, Mecklenburg Conservation Fellow, Richfield Springs Central School* 1997, p.216-247.

BODMER, R.; MAYOR, P.; ANTUNEZ, M.; CHOTA, K.; FANG, T.; PUERTAS, P.; PITTE, M.; KIRKLAND, M.; WALKEY, M.; RIOS, C.; PEÑA, P., P.; HERDERSON, P.; BODMER, W.; BICERRA, A.; ZEGARRA, J.; DOCHERTY, E. Major shifts in Amazon wildlife populations from recent intensification of floods and drought. *Conservation Biology*, vol. 1, nº 1, 2017, p. 1-12.

BOISCHIO, A. A. P. Produção pesqueira em Porto Velho, Rondônia, (1984-89) – alguns aspectos ecológicos das espécies comercialmente relevantes. *Acta Amazônica*, vol. 22, 1992, p.163 - 172.

CAD, S.V. A produção pesqueira e o esforço da pesca no município de Manaus (Amazonas-Brasil): análise e proposta de melhorias para viabilizar a industrialização. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Amazonas, 2017.

CADA, G. F.; GARRISON, L.A.; FISHER, R.K.J. Determining the effect of shear stress fish mortality during turbine passage. *Hydro Review, fish survival*, 2007, p.52-59.

CADA, G. F. Status of Fish Passage Facilities at Nonfederal Hydropower Projects. *Fisheries*, vol. 18, nº 7, 2015.

CADA, G. F. Fish Passage Mitigation of Impacts from Hydroelectric Power Projects in the United States. 1996.

CARDOSO, R.S. A pesca comercial no município de Manicoré (Rio Madeira), Amazonas, Brasil. Dissertação (Mestrado em Biologia Tropical e Recursos Naturais) – Universidade do Amazonas, 2005, p.5.

CARDOSO, R.S.; FREITAS, C.E.C. Desembarque e esforço de pesca da frota pesqueira comercial de Manicoré (Médio Rio Madeira), Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, vol. 37, nº 4, 2007.

CASTILHOS, Z.C.; RODRIGUES, A.P.C. Avaliação da Potencial Acumulação de Mercúrio em peixes dos reservatórios (previstos) de Jirau e de Santo Antônio, Rio Madeira, RO. *Série estudos e documentos*, 2008, p.73.

Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRAS). Potencial hidrelétrico brasileiro para usinas acima 50 MW (SIPOT), 2016.

Centro de Estudos e Pesquisa em Engenharia e Defesa Civil (CEPED). Cheia do Rio Madeira Afeta Rondônia, Pará, Acre e Amazonas em 2014. Disponível em: <http://www.ceped.ufsc.br/2014-cheia-do-rio-madeira-afeta-rondonia-acre-e-amazonas/>. Acessado em: 19/05/2019.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL); Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación (FAO). *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2017-2018 / CEPAL, FAO, IICA*, 2017, p. 71.

COSTA, T.V. Identificação de novas espécies com potencial para a criação em cativeiro: pescado capturado no estado do Amazonas. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006, p. 3.

DORIA, C.R.C.; ATHAYDE, S.; MARQUES, E.E.; LIMA, M.A.L.; GIANELLI, J.D.; RUFFINO, M.L.; KAPLAN, D.; FREITAS, C.E.; ISSAC, V.N. The invisibility of fisheries in the process of hydropower development across the Amazon. 2017.

EICHER, G.J. Turbine-Related fish Mortality: Review and Evaluation of Studies. *Eicher Associates, Inc. Southwest Becker Drive, Portland, Oregon 97223. Electric Power Research Institute*, 1987.

ENDERS, E.C.; GESSEL, M.H.; WILLIAMS, J.G. Development of successful fish passage structures for downstream migrants requires knowledge of their behavioural response to accelerating flow. 2008.

FAO. AQUASTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Available at <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/basins/amazon/index.stm> (accessed: on 30 May 2017).

- FARIA, A.M.; JARAMILLO, P. The future of power generation in Brazil: An analysis of alternatives to Amazonian hydropower development. *Energy for sustainable development*, vol. 41, 2017, p. 24-35.
- FARIA, M.T.C.; VIANA, E.M.F.; MARTINEZ, C.B. Model Development of a Fish Electromechanical Barrier for Hydraulic Turbines. *International Journal of Ecosystem* 2014, p. 159-164.
- FARIAS, I.P.; TORRICO, J.P.; DÁVILA, C.G.; SANTOS, M.C.F.; HRBEK, T.; RENNO, J.F. Are rapids a barrier for floodplain fishes of the Amazon basin? A demographic study of the keystone floodplain species *Colossoma macropomum* (Teleostei: Characiformes). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, vol. 56, 2010, p. 1129–1135.
- FEARNSIDE, P. M. Viewpoint – Decision Making on Amazon Dams: Politics Trumps Uncertainty in the Madeira River Sediments Controversy. *Water Alternatives*, vol. 6, ed. 2, 2013.
- FERNANDES, L.F.; WOSIAK, A.C.; DOMINGUES, L.; PACHECO, C.V.; LAGOS, P.E. Comunidades fitoplanctônicas em ambientes lênticos. Dados técnicos, 2004. Disponível em: www.itaipu.gov.br. Acessado: junho/2019.
- FIGUEIREDO, R.O.; SILVA, K.Y.S.; DUARTE, R.M.; DOMINGOS, F.X.V.; VAL, A.L. Influência do carbono orgânico dissolvido na sensibilidade ao cobre em peixes amazônicos. 2009.
- FRANCISCO, G.A.F. Sonar for environmental monitoring of marine renewable energy technologies. Division of Electricity, *Department of Engineering Sciences, Licentiate Thesis*, Uppsala University, 2016.
- FRANCISCO, G.A.F.; SUNDBERG, J. sonar for environmental monitoring: understanding the functionality of active acoustics as a method for monitoring marine renewable energy devices. *International Energy Agency*, 2016.
- FREITAS, C.E.C.; RIVAS, A.A.F. A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia Ocidental. *Amazônia artigos, Ciência e Cultura*, vol. 58, nº 3, 2006.
- FU, T.; DENG, Z.D.; DUNCAN, J.P.; ZHOU, D.; CARLSON, T.J. Assessing hydraulic conditions through Francis turbines using an autonomous sensor device. *Renewable Energy*, vol. 99, 2016, p.1244-1253.
- FURTADO, L.G. “Reservas pesqueiras”, uma alternativa de subsistência e de preservação ambiental: Reflexões a partir de uma proposta de pescadores do médio Amazonas. 1993.
- GHILLEAN, T.P. A terminologia dos tipos de florestas amazônicas sujeitas a inundação *Acta Amazonica* 10(3): 495-504. 1980.

- GOULDING, M. A ecologia da pesca no rio Madeira. 1979.
- HORBE, A.M.C.; QUEIROZ, M.M.A.; MOURA, C.A.V.; TORO, M.A.G. Geoquímica das águas do médio e baixo rio Madeira e seus principais tributários - Amazonas – Brasil. *Acta Amazonica*, vol. 43, 2013, p. 489 – 504.
- HUNT, J. D.; FREITAS, M.A.V.; JUNIOR, A.O.P.; Aumentando a Capacidade de Armazenamento Energético do Brasil. *In: Congresso brasileiro energético, Florianópolis, Santa Catarina, 2014.*
- IMBIRIBA, E.P. Potencial de criação de pirarucu, *Arapaima gigas*, em cativeiro. *Acta Amazonica* vol. 31, nº 2, 2001, p. 299-316.
- Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM). *Cadeia produtiva da piscicultura no estado do Amazonas*, 2001.
- ISAAC, V. J.; BARTHEM, R.B. Os recursos pesqueiros da Amazônia brasileira. *Boletim Museu Paraense. Antropologia*, vol.11, 1955, p. 295-339.
- JUNHO, Ricardo Ahouagi Carneiro. Migrações ascendentes de peixes neotropicais e hidrelétricas: proteção a jusante de turbinas e vertedouros e sistemas de transposição. Tese (Doutorado em engenharia hidráulica e sanitária) - Universidade de São Paulo, 2008, p.18-26.
- JUNIOR, J. A. O.; Arquitetura Ribeirinha sobre as águas da Amazônia: o habitat em ambientes complexos. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAUUSP), São Paulo, 2009, p. 132.
- JUNK, W.J.; FURCH, K. Química da água e macrófitas aquáticas de rios e igarapés na Bacia Amazônica e nas áreas adjacentes. Parte 1: Trecho Cuiabá - Porto Velho – Manaus. *Acta Amazonica* vol.10, 1980, p. 611-633.
- JUNK, W.J., PIEDADE, M.T.F., SCHÖNGART, J., COHN-HAFT, M., ADENEY, J.M. WITTMANN, F.A., Classification of Major Naturally-Occurring Amazonian Lowland Wetlands. *Wetlands*, 31, 2011, p. 623–640.
- KOBLITZ, R. V. A tomada de decisões conservacionistas baseadas em informações sobre a biodiversidade em empreendimentos hidrelétricos na Bacia Amazônica brasileira. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazônia, 2017, p. 19.
- LARINIER, M. Dams and Fish Migration. Institut de Mecanique des Fluides. *Prepared for thematic Review II, 1: Dams, ecosystem functions and environmental restoration, France, 2000.*

- LARINIER, M.; TRAVADE, F. La dévalaison des migrateurs: problèmes et dispositifs, *In: Bulletin français de pisciculture*, vol. 353/354, 1999, p.181-210.
- LIMBERGER, L.; SILVA, M.E.S. precipitação na bacia amazônica e sua associação à variabilidade da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico: uma revisão. *Geosp – Espaço e Tempo (Online)*, vol. 20, nº 3, 2016, p. 657-675.
- LOPES, Y.K.L.; NEU, V.; FELIZZOLA, J.F.; TEIXEIRA, L.C.G.M.; COSTA, C.E.A.S. Variabilidade hidrogeoquímica em águas do Estuário Amazônico. *Ambiência Guarapuava (PR)* vol.13, nº 2, 2017, p. 325 – 341.
- LOPES, T.S.; STREIT, D.R.J.; RIBEIRO, R.P.; POVH, J.A.; BARRETO, N.M.L.; VARGAS, L.; FILHO, C.P.; QUEIROZ, J.R. Diversidade genética de estoques de reprodutores de *Colossoma macropomum*. *In: Arquivo brasileiro Med. Vet. Zootec.*, vol. 61, nº 3, 2009, p.728-735.
- MACEDO, E.E.R.; VALSECCHI, T.M.V.; CALVIMONTES, J.; QUEIROZ, M.M.H.L. ciclo hidrológico nos ambientes de várzea da reserva de desenvolvimento sustentável Mamirauá – médio rio Solimões, período de 1990 a 2008. *Uakari*, vol.5, nº1, 2009, p. 61-87.
- MCCLAIN M.E.; NAIMAN R.J. Andean influences on the biogeochemistry and ecology of the Amazon River. *BioScience* vol. 58, 2008, p. 325–338.
- MENIN, M. Amazônia: diversidade biológica e história geológica. Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Biologia, 2017.
- MOLION, L.C.B. Climatologia dinâmica da região amazônica: mecanismos de precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*; vol. 2, 1987, p.107-117.
- MONTEIRO, S.M.; EL-ROBRINI, M.; ALVES, I.C.C. Dinâmica sazonal de nutrientes em estuário amazônico. *Mercator*, Fortaleza, vol. 14, nº 1, 2015, p. 151-162.
- MORETTO, E.M.; GOMES, C. S.; ROQUETTI, D. R.; JORDÃO, C. O. Usinas hidrelétricas, crescimento econômico e degradação ambiental. *Ambiente e sociedade*, vol. 15, nº 3, 2012, p. 141-164.
- NASCIMENTO, E. R. Os *Xenarthra pilosa* (megatheriidae), *Notoungulata* (toxodontidae) e *Proboscidea* (gomphotheriidae) da formação Rio Madeira, pleistoceno superior, estado de Rondônia, Brasil. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Porto Alegre, 2008, p.31-32.
- NOATCH, M. R.; SUSKI, C.D. Non-physical barriers to deter fish movements. *Research Press, Environ. Rev.* vol. 20, 2012.

NORRIS, D.; MICHALSKI, F.; GIBBS, J.P. Beyond harm's reach? Submersion of river turtle nesting areas and implications for restoration actions after Amazon hydropower development. 2018.

PEREIRA, L.P.F.; MERCANTE, C.T.J. A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água. uma revisão. *B. Inst. Pesca*, São Paulo, vol. 3, 2005, p.81 – 88.

PETREIRE, M. J. Pesca na Amazônia. *In: Pará – Secretaria do Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente*. Belém: Simdamazônia, Prodepa, 1992. p. 72-8.

PETERS, D.J. A Bayesian Method for Localization by Multistatic Active Sonar. *Journal of Oceanic Engineering*. 2016.

PETIGAS, P.; LEVENEZ, J.J. Spatial organization of pelagic fish: echogram structure, spatio-temporal condition, and biomass in Senegalese waters. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 53, 1996, p. 147-153.

PIRATOBA, A.R.A.; RIBEIRO, H.M.C.; MORALES, G.P.; GONÇALVES, W.G. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, vol. 12 nº 3, 2017.

QUEIROZ, M.M.A.; HORBE, A.M.C. SEYLER, C.; MOURA, C.A.V. Hidroquímica do rio Solimões na região entre Manacapuru e Alvarães – Amazonas – Brasil. *Revista Acta Amazonica*, vol. 39, 2009, p. 943 – 952.

RÊGO A.C.L., PRADO I.G., SILVA T.T., LOURES R.C., SILVA R.J., MONTEIRO A.B. & GODINHO A.L. Peixes afetados em manobras de usinas hidrelétricas. Avaliação de Risco de Morte de Peixes em Usinas Hidrelétricas. *Belo horizonte: companhia energética de Minas Gerais, Série Peixe Vivo*, 2016, p. 71-96.

RÊGO A.C.L., SILVA T.T. & GODINHO A.L. Vertimento reduz a quantidade de peixes resgatados em drenagens de unidades geradoras da usina hidrelétrica de Amador Aguiar II? Avaliação de Risco de Morte de Peixes em Usinas Hidrelétricas. *Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais, Série Peixe vivo*, vol. 5, 2016, p. 199-207.

RIBEIRO NETO, A.; SILVA, RCV.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E. Simulação na Bacia Amazônica com Dados Limitados: Rio Madeira. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol.13, 2008, p. 47-58.

RIZZOTTO, G. J.; CRUZ, N. M.; OLIVEIRA, J. G.; QUADROS, M. L. do E. S.; CASTRO, J. M. de. Paleoambiente e o registro fossilífero pleistocênico dos sedimentos

da Formação rio Madeira. In: IX SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA. In: Sociedade Brasileira de Geologia-Núcleo Norte. 2006.

ROCHA, B. C. P. Distribuição e caracterização da labilidade relativa de cobre, chumbo e mercúrio em amostras de sedimentos e substâncias húmicas extraídas de sedimentos coletados em mananciais com diferentes tipos de águas da Bacia Amazônica. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2017, p. 21.

RUGGLES, C.P. Effect of Stress on Turbine Fish Passage Mortality Estimates. C.P. Proceedings of the Workshop on Fish Passage at Hydroelectric. *Science Branch, Department of fisheries and Oceans*, Canada, p. 39-46, 1993.

SAGER, D.R.; HOCUTT, C.H. Estuarine Fish Responses to Strobe Light, Bubble Curtains and Strobe Light/Bubble-Curtain. *Fisheries research*, vol. 5, 1987, p. 383-399.

SAMPAIO, A.P.L. Abastecimento de água para comunidades amazônicas: estudo do caso Vila do Lago do Limão, município de Iranduba, estado Amazonas. *Revista Marupiará, Revista científica de estudos superiores de Parintins*. 2015.

SANTOS, G.M.; SANTOS, A.C.M. Sustentabilidade da pesca na Amazônia. *Estudos avançados*, vol. 19, nº 59, 2005, p.165-182.

SANTOS, G.M. A pesca no reservatório da Hidrelétrica de Balbina (Amazonas, Brasil). *Acta Amazonica*, vol. 29, nº 1, 1999, p.145-163.

SCHILT, C.R. Developing fish passage and protection at hydropower dams. *Applied Animal behaviour science vol.104*, p. 295–325. *Environmental Research Associates, USA*. 2006.

SILVA, A.E.; ANGELIS, C.F.; MACHADO, L.A.T. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. In: Simposio brasileiro de sensoriamento remoto, Florianópolis, 2007, p. 3577-3584.

SILVA, L.G. A comunidade zooplânctônica de rios amazônicos na área de influência da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio do Madeira, RO: diferentes abordagens no monitoramento. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde) - Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2015, p. 3.

SOUZA, A.C.C. Assessment and statistics of Brazilian hydroelectric power plants: Dam areas versus installed and firm power. *Renewable e Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, 2008, p.1843–1863.

TAFT, E.P. Fish protection technologies: a status report. *Environmental science e policy*, vol. 3, 2000, p. 349-359.

THÉRY, H.; THÉRY, M. N. A. O sistema elétrico brasileiro. Confins. 2016.

Venturo Consultoria Ambiental. Araraquara, São Paulo, Brasil. Disponível em: <https://venturoconsultoria.com.br/>. Acessado em: setembro/2018.

VILANI, M.T.; SANHES, L.; NOGUEIRA, J.S.; FILHO, N.P. Sazonalidade da radiação, temperatura e umidade em uma floresta de transição Amazônia cerrado. *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol.21, nº 3b, 2006, p. 331-343.

VILARA, G.T.; QUEIROZ, L.J.; OHARA, W. Um breve histórico sobre o conhecimento da fauna de peixes do Rio Madeira. 2013, p.19-25.

VILARA, G.T.; ZUANON, J.; LEPRIEUR, F.; OBERDORFF, T.; TEDESCO, P.A. Effect of natural rapids and waterfalls on fish assemblage structure in the Madeira River (Amazon Basin). *Ecology of Freshwater Fish*, vol. 20, nº 4, 2011, 588–597.

VILARA, G.T. Heterogeneidade ambiental e diversidade ictiofaunística do trecho de corredeiras do rio madeira, Rondônia, Brasil. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, 2009, p.10,17.

VILLAMIZAR, R. E.A.; PIEDADE, M.T.F.; COSTA, J.G.; ADENEY, J.M.; JUNK, W.J. Chemistry of different Amazonian water types for river classification: a preliminary review. *WIT Transactions on Ecology and the Environment, Water and Society*, vol. 178, 2014.

WILLIAMS, U.P.; SCRUTON, D.A.; GOOSNEY, R.F.; BOURGEOIS, C.E.; ORR, D.C.; RUGGLES, C.P. Proceedings of the Workshop on Fish Passage at Hydroelectric. *Science Branch, Department of fisheries and Oceans*, Canada. 1993.

ZHAO J; WANG X.; ZHANG H.; WANG A. A Comprehensive Bottom-Tracking Method for Sidescan Sonar Image Influenced by Complicated Measuring Environment. *Journal of Oceanic Engineering*. 2016.

WANG, F.; DU, S.; SUN, W.; HUANG, Q.; SU, J. A method of velocity estimation using composite hyperbolic frequency-modulated signals in active sonar. *Acoustical Society of America*, Am. 141, 2017, p. 3117–3122.