

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS

ANA LAURA MONTEIRO DE SOUZA

**Avaliação de impacto ambiental gerado pelas UHEs do Rio
Madeira com base em aspectos funcionais de bioindicadores
aquáticos**

MANAUS

2023

ANA LAURA MONTEIRO DE SOUZA

Avaliação de impacto ambiental gerado pelas UHEs do Rio Madeira com base
em aspectos funcionais de bioindicadores aquáticos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Área de concentração: Conservação da Natureza

ORIENTADOR: Profº Drº Rogério

Fonseca

CO-ORIENTADOR: Drº Rangel Eduardo

Santos

CO-ORIENTADOR: Profº Drº Fabrício

Berton Zanchi

Manaus
2023

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S729a Souza, Ana Laura Monteiro de
Avaliação do impacto ambiental gerado pelas UHEs do Rio Madeira com base em aspectos funcionais de bioindicadores aquáticos / Ana Laura Monteiro de Souza . 2023
60 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Rogério Fonseca
Coorientador: Rangel Eduardo Santos
Coorientador: Fabrício Berton Zanchi
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas.

1. gestão ambiental. 2. manejo pesqueiro. 3. impacto ambiental. 4. planos de gestão. I. Fonseca, Rogério. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Drº. Rogério Fonseca, por ter acreditado em mim e aceitado me orientar, por todo o apoio prestado nesse tempo juntos. Pelo conhecimento científico e valores de vida passados, não tenho palavras para descrever como foram necessários e como sou grata pela oportunidade desse convívio.

Meus co-orientadores, Drº Rangel Eduardo Santos e Profº Drº Fabrício Berton Zanchi, por todo o apoio e paciência em me auxiliar a qualquer momento para que este trabalho fosse realizado e principalmente, por terem acreditado na minha capacidade para dar prosseguimento com essa pesquisa.

A minha família, principalmente a minha mãe, Maria Madalena, e minha tia, Santana Alves, pela criação e ensinamentos morais. Sem vocês eu não teria me tornado quem sou hoje. Obrigada por me apoiarem em todas as minhas escolhas e terem sido minha fortaleza nesses dois anos de mestrado, mesmo estando em outro estado. Este mestrado e toda a mudança realizada, não teria sido possível sem vocês.

As minhas amigas, Ana Maria Rosado e Débora Antunes, que mesmo em outro estado estiveram presentes o tempo todo para que eu não desistisse e realizasse este trabalho, o apoio de vocês foi fundamental.

Aos membros dos LaIFF (Laboratório de Interações Fauna e Floresta), que além de serem ótimos colegas de trabalho, se tornaram amigos e foram minha base nesse período em Manaus; muito obrigada por todos os momentos, conversas, campos e cafês, vocês todos foram fundamentais para que a minha permanência em Manaus fosse mais tranquila.

A Fapeam - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas, pela bolsa de mestrado concedida, que me permitiu realizar este trabalho.

“Os seringueiros, os índios, os ribeirinhos há mais de 100 anos ocupam a floresta. Nunca a ameaçaram. Quem a ameaça são os projetos agropecuários, os grandes madeireiros e as hidrelétricas com suas inundações criminosas.”

Chico Mendes

Resumo

As fontes de energia renováveis vêm se expandindo globalmente nos últimos anos. Neste contexto, as hidrelétricas foram as que mais ganharam destaque nesse meio. O Brasil, se tornou um dos países que mais investiu nas hidrelétricas como principal fonte de energia por anos, pelo seu baixo custo e pela pouca necessidade de manutenções. Propostas de ações que minimizem os impactos ambientais gerados por essas construções são empregadas pelas empresas, entretanto se tais propostas vêm apresentando real eficácia ainda gera discussões. Por tais motivos, o trabalho aqui apresentado buscou compreender os impactos ambientais gerados pela construção de duas grandes usinas da região amazônica, na Bacia do Rio Madeira. Para tanto, foram utilizados os dados de desembarque pesqueiro da jusante, sendo o Porto de Humaitá e dos dados da montante, sendo o porto de Guajará-Mirim dos anos de 2002 a 2019. Os pescados foram agrupados conforme suas características funcionais, sua migração e seu habitat, de forma a se comparar o antes e depois da construção das usinas dos grupos e analisar quais sofreram mais com a esta construção. As espécies de migração regional foram as que apresentaram maior declínio em ambos os portos após a construção das hidrelétricas, em Humaitá decaindo 85,5% e em Guajará-Mirim sendo a queda de 51,63%. Para o habitat, as espécies mais atingidas foram as bentopelágicas, com diminuição de 70,55% no Porto de Humaitá e 51,30% no Porto de Guajará-Mirim. Ao final deste estudo, esperamos contribuir para as futuras gestões dos programas socioambientais que vêm sendo adotados pelas usinas hidrelétricas na Amazônia Brasileira, que estes cheguem a abranger as espécies que realmente estão sendo afetadas pela construção das hidrelétricas; e levar em consideração o fator econômico agregado a eles, já que o pescado é fonte de alimento e renda para as comunidades amazônicas.

Palavras-chave: gestão ambiental, manejo pesqueiro, impacto ambiental, represamentos, planos de gestão, pesca de subsistência.

Abstract

Renewable energy sources have been expanding globally in recent years, hydroelectric being the one that has gained the most prominence in this environment. Brazil has become one of the countries that has invested the most in hydroelectric power plants as the main source of energy for years, due to their low cost and low maintenance requirements. Proposals for actions to minimize the environmental impacts subgenerated by these constructions are employed by companies, however, whether such proposals have been presenting real effectiveness still generates discussion. For these reasons, the work presented here sought to understand the environmental impacts generated by the construction of two large plants in the Amazon region, in the Rio Madeira Basin. For this purpose, the data of fish landings from downstream, being the Port of Humaitá and the data from upstream, being the port of Guajará-Mirim from the years 2002 to 2019 were used. The fish were grouped according to their functional characteristics, their migration and their habitat, in order to compare the before and after the construction of the plants in the groups and analyze which suffered the most with this construction. The regional migration species were the ones that presented the biggest decline in both ports after the construction of the dams, in Humaitá the decline was 85.5% and in Guajará-Mirim the fall was 51.63%. For the habitat, the benthopelagic species were the most affected, with a decrease of 70.55% in Humaitá and 51.30% in Guajará-Mirim. At the end of this monograph, we hope to contribute to the future management of socio-environmental programs that have been adopted by the hydroelectric power plants in Brazil, so that they cover the species that are really being affected by the construction of hydroelectric power plants; and take into consideration the economic factor added to them, since fisheries is a source of food and income for Amazonian communities.

Keywords: environmental management, fisheries management, environmental impact, damming, management plans, subsistence fishing.

LISTA DE SIGLAS

UHE - Usina Hidrelétrica
STP - Sistema de Transposição de Peixes
CO₂ - Dióxido de Carbono
UHT - Usina Hidrelétrica do Tucuruí
SIN - Sistema Interligado Nacional
ANA - Agência Nacional das Águas
STP - Sistema de Transposição de Peixes
EIA/RIMA- Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental
UGs - Unidades Geradoras
ASV - Autorização de Supressão de Vegetação
AHE - Aproveitamento Hidrelétrico
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ENDE - Empresa Nacional de Eletricidad Bolivia
AB - Antes do Barramento
DB - Depois do Barramento
NMDS - Escalonamento Multidimensional Não Métrico
STRESS - Dissimilaridade da Solução Atual

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Mapa Hidrovia do Rio Madeira	14
Imagem 1. Panorâmica da UHE Santo Antônio	18
Imagem 2. Vertedouros da Hidrelétrica de Jirau	19
Imagem 3. Panorâmica da UHE Jirau	20
Artigo	
Figura 1. Localização das Usinas Hidrelétricas e dos pontos de coleta de dados nos portos de Guajará-Mirim e Humaitá	38
Figura 2. Box violin das formas de migração dos peixes coletados a Jusante e Montante do Rio Madeira	42
Figura 3. Box violin dos habitats dos peixes coletados a Jusante e Montante das UHEs do Rio Madeira	46
Figura 4. Escalonamento multidimensional não dimensional (NMDs) para a Montante antes e após a construção das UHEs no Rio Madeira e a ordenação das espécies por atributo funcional	47
Figura 5. Escalonamento multidimensional não dimensional (NMDs) para a Jusante antes e após a construção das UHEs no Rio Madeira e a ordenação das espécies por atributo funcional	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela das características funcionais dos peixes desembarcados no Rio Madeira	42
Tabela 2: Distribuição taxonômica dos grupos de peixes desembarcados no Porto de Guajará-Mirim	56
Tabela 3: Distribuição taxonômica dos grupos de peixes desembarcados no Porto de Humaitá	58

Sumário

Estrutura da dissertação	27
1. Introdução Geral	14
1.1. Rio Madeira	14
1.2. UHEs na Amazônia	15
1.2.1. Hidrelétricas do Rio Madeira	17
1.2.1.1. Hidrelétrica de Santo Antônio	17
1.2.1.2. Hidrelétrica de Jirau	19
1.2.1.3. Hidrelétrica de Cachoeira Esperanza	21
1.2.1.4. Hidrelétrica de Guajará-Mirim	22
1.3. Impacto das UHEs em ecossistemas aquáticos	22
1.4. Peixes como bioindicadores e o uso de atributos funcionais	23
Referências	26
Objetivos	33
1. Objetivo Geral	33
2. Objetivos específicos	33
Impacto ambiental de Hidrelétricas na Bacia Amazônica: Análise com bioindicadores aquáticos no Rio Madeira	35
1. Introdução	36
2. Material e Métodos	37
3. Resultado e Discussão	39
4. Conclusão	49
5. Agradecimentos	49
Referências	50
Material Suplementar	55
Considerações finais	59

Estrutura da dissertação

Em vista do crescimento e futuro das hidrelétricas na Amazônia Brasileira, se deu a criação deste trabalho, com o objetivo de apresentar se os planos de gestão que estão sendo adotados pelas empresas de hidrelétricas no país estão sendo eficazes na minimização dos impactos ambientais gerados pelas construções na bacia amazônica.

O trabalho se inicia com uma introdução geral, para o embasamento teórico sobre o uso de fontes de energia renováveis no mundo e a importância das hidrelétricas no país; o crescimento de construções de grandes hidrelétricas na Bacia do Rio Madeira na Amazônia Brasileira e por fim, o uso das características funcionais dos peixes e suas aplicações como bioindicadores. Em seguida, são descritos os objetivos deste estudo.

Para dessa forma, criar uma base consistente sobre o tema para apresentar o artigo desenvolvido durante o período desse estudo. O artigo apresenta um estudo sobre o impacto ambiental gerado na Bacia do Rio Madeira após a construção de duas grandes usinas hidrelétricas. Para este estudo, foi feita a análise das características funcionais dos pescados desembarcados nos portos de Humaitá e Guajará-Mirim, sendo eles, a migração realizada pelas espécies e o habitat de preferência. Desse modo, classificando as espécies em grupos e assim, avaliar quais sofreram mais com este fator de estresse e se, os planos de ações e gestão ambiental que as empresas adotaram de fato apresentaram algum benefício à conservação ambiental. Em vista que, o pescado é uma das principais fontes de renda e alimentar a população ribeirinha da região amazônica.

1. Introdução Geral

1.1. Rio Madeira

A Bacia Amazônica é considerada a maior bacia hidrográfica do mundo, com uma extensão de 6,8 milhões km², cujos os principais rios que a compõe são: Jatapu, Nhamundá, Trombetas, Paru, Purus, Jari, Tocantins, Araguaia, Xingu, Tapajós, Negro e Madeira, neles é possível encontrar inúmeras cachoeiras e corredeiras que se formam por conta da geografia dessa bacia (GOULDING, BARTHEM, FERREIRA, 2003).

O Rio Madeira é um dos principais afluentes da Bacia Amazônica, abrangendo os territórios da Bolívia (51%), Brasil (42%) e Peru (7%); em território brasileiro chega a 1.500 km de extensão e apresenta uma área de drenagem total de 1.420.000 km² (JÚNIOR, TOMASELLA, RODRIGUEZ, 2015; BASTOS, et al., 2020).

O Rio Madeira se origina no Piemonte Andino e é formado pelo encontro de quatro rios, os Guaporé, Mamoré, Beni e Madre de Dios; é o maior rio de águas brancas da bacia amazônica (GOULDING, BARTHEM, FERREIRA, 2003). Os rios de águas brancas são conhecidos por serem fortemente carregados por sedimentos, como silte, argila e areia, em conjunto a eles é possível encontrar nutrientes que atuam como fertilizantes (EIA/RIMA, 2005). As águas brancas do Rio Madeira possuem um dos maiores volumes de água e fluxo de sedimentos dos seus afluentes, tais sedimentos descem desde dos Andes; o rio também transportam altas quantidades de matérias orgânicas como galhos, caules e até mesmo árvores, que deu a ele o seu nome (LI, et al., 2020; BARTHEM & GOULDING, 2007).



Figura 1: Mapa Hidrovia do Rio Madeira

Fonte: Adaptado de Kmusser, 2019.

A bacia do Rio Madeira possui um domínio geotectônico complexo, levando que o regime sedimentar desse rio acabasse se tornando único; é classificado por um terreno misto, composto pelas montanhas andinas, *forelands* e áreas cratônicas (LATRUBESSE, et al., 2017).

O rio Amazonas, no ano de 2021, teve uma vazão máxima de $159.308 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, somente a vazão máxima pertencente ao rio Madeira no mesmo ano foi de $48.479 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (ANA, 2022). Quando as águas do Madeira desaguam no Brasil, no estado do Amazonas, a vazão chega a $31.704 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, dessa forma a vazão do Rio Madeira corresponde a 15% da vazão média do estado (JÚNIOR, TOMASELLA, RODRIGUEZ, 2015).

Os rios Negro e Madeira, dentre os que formam a bacia amazônica, possuem o maior número de espécies de peixes, sendo 1126 e 1373; somente a riqueza de indivíduos encontrados Rio Madeira se equipara a diversidade de toda a Europa, Oceania e Rússia juntas e a fauna de peixes do rio Madeira contempla quase 20% de todas as espécies de peixes que já foram documentadas para o continente (Amazon Fish, 2022; QUEIROZ, et al., 2013).

A história do Rio Madeira, é constituída por diversas intervenções humanas, que levaram a alteração da sua paisagem e características físico-químicas. Dentre as modificações causadas por homens, as que mais tem afetado a ecologia e vida da população são, a retirada da floresta para abertura de áreas para agricultura e pecuária, a extração de ouro, a instalação de usinas hidrelétricas e o aumento da urbanização com falta de saneamento básico as margens do rio; essas ações instigaram o aumento da pressão de todo o ecossistema do Rio Madeira (SANTOS et al., 2018; SANTOS et al., 2020; BASTOS, et al., 2020).

1.2. UHEs na Amazônia

Os rios possuem um forte papel na renda de inúmeras pessoas ao redor do mundo (SENRA, 2014). Eles são utilizados para a navegação, atividade que permite a chegada em regiões do interior onde outros meios de transporte não chegam. Assim, viabilizam o comércio e trocas culturais; os rios ainda são fontes de renda e alimentar através da pesca, inúmeras cidades foram erguidas em volta de rios por conta de tais fatores descritos; a Amazônia é um grande exemplo, as cidades presentes nessa região, grande parte foram construídas no entorno de rios (BATISTA & MIRANDA, 2019).

Os rios também são utilizados como matriz energética, com o aumento populacional e as tentativas de diminuir a liberação de CO_2 , as fontes de energia renováveis tem ganhado cada vez mais destaque, dentre elas, as hidrelétricas são as mais difundidas globalmente (UN, 2022; BAGHER, et al., 2015; BP,2022; BAKIS, 2007).

O Brasil é um dos países onde a matriz energética é, predominantemente, originária de fontes renováveis (BEN, 2022). Em 2021, a energia de fontes renováveis no país correspondia a 78,1 %, sendo sua principal fonte energética a hidráulica (56,8%), gás natural (12,8%), eólica (10,6%) e solar (2,47%) (BEN, 2022). As hidrelétricas se tornaram a principal fonte de energia do Brasil, devido da posição geográfica do país, onde planaltos e montanhas estão próximos às costas e pelos rios que possuem uma forte vazão; dessa forma, as hidrelétricas permitem o uso de uma fonte de energia renovável e barata (KAHN, FREITAS, PETRERE, 2014; BATISTA & MIRANDA, 2019; BAGHER, et al; ZARFL, et al., 2015).

Dessa forma, as usinas hidrelétricas começaram a ser espalhadas pelo país com incentivo governamental e privado. Atualmente o domínio sobre a eletricidade no Brasil é dividido entre a Eletrobras, que comanda majoritariamente as empresas hidrelétricas, nucleares e eólicas do Brasil e em seguida, as empresas estatais, e por último as companhias privadas (MIESEN & HUBERT, 2010).

O setor energético no país teve seu ápice no início do século XX, levando a uma apropriação das águas nacionais para que houvesse o desenvolvimento de energia nacional, com a instalação de hidrelétricas por todo o país (IORIS, 2010). A região Norte do Brasil começou a ser visada para o desenvolvimento energético em razão da sua hidrografia, pois a Amazônia Brasileira concentra 81% de toda a disponibilidade de água superficial do Brasil, dessa forma o território amazônico é detentor da maior disponibilidade de água doce do país (ANA, 2022). A partir dessa avaliação, a região Norte teve maior incentivo para a construção de hidrelétricas nos últimos anos, com a incorporação grandes usinas como as de Belo Monte (rio Xingu), Jirau e Santo Antônio (rio Madeira), que representam 10% de toda a capacidade instalada do Sistema Interligado Nacional (SIN) (PDE, 2020).

A primeira hidrelétrica com geração de energia construída na Amazônia Brasileira foi a hidrelétrica de Coaracy Nunes (Paredão) no rio Araguari no Amapá, inaugurada em 13 de janeiro de 1976. Simultaneamente em 1975, começa a ser construída a primeira grande usina da Amazônia, a Usina de Tucuruí no Rio Tocantins (ELETRONORTE, 2022).

A Usina de Tucuruí (UHT) estimulou a introdução de fábricas na região Norte, através de incentivos vindos do governo brasileiro, tendo por base o discurso de elevar a economia regional e a do país. E foi a partir desse momento que os planos de construções de hidrelétricas na Amazônia começaram a ganhar força no Brasil (CAMPOS, 2019).

Atualmente, somente na região Norte do país, existem 41 empreendimentos de pequenas e grandes usinas em processo de estudo para implantação; 138 em processo de implantação; e 57 usinas já em operação (ANEEL, 2022). E até 2023, espera-se o maior aumento de geração de energia hidrelétrica na região Norte em comparação ao resto do país, isso se deve a operação de grandes empreendimentos de usinas que foram construídas na região, em especial a Usina de Belo Monte (PDE, 2023).

Estudos e trabalhos sobre o impacto ambiental e social da construção de pequenas e grandes hidrelétricas nas Bacias Amazônica no Brasil são escassas, ainda é necessário que se tenha mais estudos sobre o assunto, a fim de haver melhorias das discussões das consequências que a incorporação de tantas hidrelétricas na Amazônia podem gerar (ATHAYDE, et al., 2019).

1.2.1. Hidrelétricas do Rio Madeira

1.2.1.1. Hidrelétrica de Santo Antônio

O Rio Madeira possui quatro projetos de hidrelétricas por toda sua extensão, com o intuito do uso total do potencial gerador de energia. No território brasileiro, as duas usinas já em operação no rio Madeira são a UHE Santo Antônio e Jirau, ambas localizadas em Rondônia. A próxima usina a ser construída é a binacional UHE Guajará - Mirim, hidrelétrica pertencente ao Brasil e Bolívia. A última usina do Rio Madeira, fica inteiramente em território boliviano chamada, de UHE Cachuela Esperanza (FEARNSIDE, 2015).

A Usina Hidrelétrica de Santo Antônio, está localizada na Ilha do Presídio, a 10 km de Porto Velho em Rondônia (RO) (EIA/RIMA, 2005) e é administrada pela Santo Antônio Energia. A construção da usina teve início em setembro de 2008, com um investimento total de 20 bilhões de reais; em 30 de março de 2012 às duas primeiras turbinas entraram em operação, inaugurando a usina com nove meses de antecedência ao prazo estipulado no contrato de concessão (SANTO ANTÔNIO ENERGIA, 2018).

As usinas construídas na porção brasileira do Rio Madeira possuem a tecnologia das turbinas do tipo bulbo, por conta da grande vazão do rio foi possível a adoção dessa tecnologia, que é aplicada em usinas com baixas quedas e assim não é necessário a construção de grandes reservatórios, por isso as usinas possuem pequenos reservatórios e têm um impacto ambiental reduzido, mas ainda com capacidade de gerar grandes quantidades de energia (EIA/RIMA, 2005).

Por conta dessa tecnologia, o reservatório de UHE Santo Antônio tem uma área total de 421, 56 km², incluindo a calha natural do rio. Desde de 2016, a usina opera na de fase geração plena com capacidade de gerar 3.568 Mw, e com garantia física de 2.424 Mw médios (SANTO ANTÔNIO ENERGIA, 2018).

A energia produzida pela UHE Santo Antônio pode atender mais de 45 milhões de pessoas, os seus consumidores são a população local, os moradores de Acre e Rondônia (a usina faz parte do sistema Acre – Rondônia e atende 40% do consumo total dos dois estados); a usina está conectada ao Sistema Interligado Nacional (SIN), podendo levar energia para o país (SANTO ANTÔNIO ENERGIA, 2018).



Imagem 1: Panorâmica da UHE Santo Antônio

Fonte: Santo Antônio Energia, 2018.

O surgimento de uma usina tem grandes impactos ambientais, e a fim de amenizar os países possuem leis onde a usina deve tomar ações voltadas à comunidade e ambiental para que haja compensação. No Brasil, a Lei 9.991/2000 obriga as hidrelétricas a investirem em pesquisa e desenvolvimento de projetos, a empresa Santo Antônio Energia investiu 2 bilhões de reais em projetos socioambientais (BRASIL, 2000; SANTO ANTÔNIO ENERGIA, 2018).

As UHEs de Santo Antônio e Jirau contam com os mesmos 28 programas socioambientais, estes são distribuídos em programas socioeconômicos e meio bióticos (EIA/RIMA, 2005). Dentre os programas de meio biótico aplica-se o programa de conservação da ictiofauna, o único exclusivamente voltado aos peixes do Rio Madeira das usinas. O programa conta com sete conjuntos de atividades a serem aplicadas, sendo elas o monitoramento da fauna de peixes; estudo da abundância de ovos e larvas; caracterização genética das populações de peixes; inventário de peixes do Rio Madeira; monitoramento da atividade pesqueira; avaliação da eficácia dos Sistema de Transposição de Peixes (STP) e a última atividade sendo o resgate de peixes (EIA/RIMA, 2005).

O STP em atividade na hidrelétrica é do tipo escada de peixes ou “*fishway*”, “*fishpass*”, “*fishladder*”, é o STP descrita como mais adequada às espécies de peixes migratórias; o construído para a UHE Santo Antônio foi voltada às espécies de bagres da região do Madeira (DIÁRIO DA UNIÃO, 2000; SANTO ANTÔNIO ENERGIA, 2018; SANTOS, 2005.. Também se integra a esse subprograma o Resgate de Ictiofauna e o Comissionamento das UGs, ambas ações ocorrem de forma conjunta durante a parada das máquinas, permitindo a retirada dos peixes das unidades geradoras com

o auxílio de uma estrutura específica para agilizar os processos e reduzir o stress durante a manipulação dos peixes (SANTO ANTÔNIO ENERGIA, 2018).

1.2.1.2. Hidrelétrica de Jirau

A Usina de Jirau foi construída na região da Ilha do Padre, a 120 km de Porto Velho. As obras iniciaram em 2009, com a primeira unidade geradora entrando em operação para a distribuição de energia comercial em 2013 e chegando à sua operação total em 2016 (Imagens 3, 4). A construção da usina foi feita de forma a otimizar o recolhimento de energia, além disso a empresa teve como princípios o favorecimento com o meio ambiente, a modicidade tarifária e novas tecnologias em suas turbinas e geradores (JIRAU ENERGIA, 2021). Para sua construção, a Jirau Energia obteve algumas Autorizações de Supressão de Vegetação (ASV) que chegou a 3.202,63 hectares (Relatório Semestral 2010)

Durante o processo de elaboração da AHE Jirau foram desativadas a cidade Mutum - Paraná e algumas outras pequenas comunidades também se fez necessário realizar a realocação dessas pessoas, e assim foi criado o canteiro residencial nomeado de Nova Mutum Paraná, em uma área de 2 milhões de m² é composta por 1600 casas, com uma média de 4,3 moradores por residência (Relatório Semestral, 2010). A nova cidade tem capacidade para acomodar 6 mil pessoas na área (JIRAU ENERGIA, 2021). Outra mudança realizada para que a hidrelétrica fosse construída, foi a construção de novas vias de acesso para a locomoção da população de Nova Mutum Paraná e demais pessoas, a rodovia BR - 364 precisou ser realocada/alteada, alguns dos seus trechos passando por modificações sem ser completamente perdida (Relatório Semestral, 2010).



Imagem 2: Vertedouros da Hidrelétrica de Jirau.

Fonte: Jirau Energia, 2021.

A UHE Jirau possui um reservatório com área total de 361,6 km², com o nível máximo de 90 m e uma garantia física de 2.211,6 Mw. A usina tem capacidade de 3.750 Mw, fornecendo 3,7% de toda a energia hidrelétrica do país e podendo atender a 40 milhões de pessoas (JIRAU ENERGIA, 2021).

A Jirau Energia, segundo documentos enviados ao IBAMA durante seu processo de concessão, declarou que os programas desenvolvidos na AHE teriam como metas garantir com que houvesse uma translocação dos ovos, larvas e juvenis de peixes migradores efetiva, assim como, permitir com que os sedimentos tivessem passagem entre montante e a jusante, para garantir a qualidade da água e preservação da sua ecologia (Relatório Semestral, 2010). Para tal, a empresa destinou cerca de 1,3 bilhões de reais em programas de socioambientais (JIRAU ENERGIA, 2021).



Imagem 3: Panorâmica da UHE Jirau.

Fonte: Jirau Energia, 2021.

A UHE de Jirau, utiliza 3 STP; o *STP Escavado* ou escada de peixes, um canal escavado em rocha e revestido com alvenaria, construído ao lado da Casa de Força 1 (CF1) na Margem Direita do Rio Madeira; o *STP Metálico*, que também é um modelo de escada de peixe, instalado na Ilha do Padre e o *por Captura e Transporte*, sistema manual de transposição (DAMASCENO & VASCONCELOS, 2014).

A Jirau Energia também mantém outros programas voltados à ecologia aquática como o programa de Resgate e Salvamento de Ictiofauna da UHE Jirau, que tem por foco a retirada de animais que ficam presos nos tubos de sucção, nas tomadas de água e nos poços de drenagem e esgotamento; após serem capturados, os indivíduos devem ser soltos a jusante. Outro programa é o Monitoramento

de Ictiofauna, que acompanha os ovos e larvas, tanto a jusante quanto a montante da barragem, o programa tem um prazo de 5 anos após a instalação da hidrelétrica a fim de analisar o impacto do empreendimento (Aproveitamento Hidrelétrico Jirau, 2012).

Os Programas Socioambientais voltados a Ictiofauna de ambas as UHEs tem por objetivo, registrar a variação da riqueza, diversidade, estrutura das comunidades e abundância das espécies de peixes que habitam o Rio Madeira e analisar os resultados após 5 anos da conclusão das hidrelétricas, comparando o períodos antes e após introdução das UHEs no rio (EIA/RIMA, 2005).

Outro objetivo dos programas voltados aos peixes do rio Madeira é a verificação da dieta, atividade e a composição desses indivíduos na sua cadeia alimentar; e também acompanhar as alterações nos processos e estratégias reprodutivas e se houve alguma modificação na atividade reprodutiva das espécies (EIA/RIMA, 2005). Dessa forma, compreendendo o impacto gerado pelo barramento do Rio Madeira nos peixes da região.

Para a identificação das espécies de peixes coletadas, a UHE Jirau possui uma parceria com a Santo Antônio Energia, dessa forma os peixes recebem uma identificação antes de serem soltos para acompanhar seu trajeto e caso, for novamente capturado em alguma das duas UHE do Madeira, é possível descrever o caminho percorrido pelo animal (EIA/RIMA, 2005).

A ideia de construir duas hidrelétricas no Rio Madeira ocorreu pensando nos impactos ambientais; a primórdio a ideia era da instalação de uma única barragem na região da Ilha do Presídio, entre Porto Velho e Abunã, porém os danos ambientais seriam muito grandes, com inundações em grandes áreas. Buscando utilizar todo o potencial energético presente no Rio Madeira, a alternativa adotada foi o levantamento de duas barragens, tentando diminuir o impacto ambiental e áreas a serem inundadas, sendo as usinas de Jirau e Santo Antônio (EIA/RIMA, 2005).

1.2.1.3. Hidrelétrica de Cachoeira Esperanza

Desde 1980, é explorada a ideia de construção de uma hidrelétrica na Cachoeira Esperanza, localizada no Rio Beni na Bolívia. O projeto passou por discussões internas do governo boliviano até o ano de 2000, que passou a ser parte da Iniciativa para a Integração da Infraestrutura Regional na América do Sul (IIRSA) (Moraes, 2011). Em 2009, o projeto da hidrelétrica foi concluído e sua viabilidade constatada, sendo um projeto de hidrelétrica binacional, inspirado na hidrelétrica de Itaipu/PR (AKN et al., 2014). A UHE de Cachoeira Esperanza teria a capacidade de gerar aproximadamente 990 Mw para a Bolívia e Brasil e alagaria uma área de 690 km; as obras eram estimadas para duram um período de 7 a 8 anos e necessitariam de um capital de 2 milhões de dólares (MHE, 2014).

O alto custo da implementação desses megaprojetos e a necessidade de cooperação com o Brasil, que colocou o projeto somente no plano de expansão de energia no ano de 2014 (MOURA et al., 2017; PDE, 2014). Estas situações, somadas aos estudos de impacto ambiental, fazem com que o projeto esteja, até o atual momento, sem data para início da sua construção (MHE, 2014).

1.2.1.4. Hidrelétrica de Guajará-Mirim

A UHE de Guajará-Mirim é outro projeto de usina binacional entre a Bolívia e o Brasil na bacia do Rio Madeira, no rio Mamoré, na região acima do município de Guajará-Mirim (Platonow, 2020). O projeto ainda se encontra no processo de estudo de inventário, processo esse conduzido pela Eletrobras e a Empresa Nacional de Electricidad (ENDE) (Eletrobras, 2018). A hidrelétrica tem uma estimativa de custo aproximado de US\$ 5 bilhões, podendo gerar entre 5 a 6 mil Mw; as linhas de transmissão da usina seriam feitas através das já operantes nas UHEs Santo Antônio e Jirau (Platonow, 2020). Com esta construção, haveria o encerramento dos megaprojetos hidrelétricos na bacia do Rio Madeira (Fearnside, 2014)

1.3. Impacto das UHEs em ecossistemas aquáticos

Os rios apresentam características únicas e específicas, como a morfologia de seus canais fluviais, as planícies de inundação, os sedimentos transportados, as inundações anuais, os processos morfodinâmicos de erosão e deposição (SALO, et al., 1986). As atividades antropogênicas, como hidrelétricas, colocam em risco toda a dinâmica única desses processos e a ecologia aquática presente no rio (LIU, et al., 2013).

Durante o processo de construção de uma usina hidrelétrica, os rios passam por modificações em seus corredores fluviais e em sua dinâmica sazonal, fazendo com que não tenha a ciclagem de nutrientes, escoamento de sedimentos e nutrientes, composição das comunidades biológicas e a interrupção da rota migratória dos peixes (BATISTA & MIRANDA, 2019; TIMPE & KAPLAN, 2017; TORRENTE-VILARA, et al., 2018; SANTOS et al., 2018). A transformação ocasionada pelo barramento do rio através de uma hidrelétrica pode ainda levar a mudanças no comportamento hidrológico, como alteração dos níveis e da correnteza dos rios, disponibilidade de oxigênio e temperatura, modificação para um ambiente lântico, composição do substrato; afetando de forma direta as formas de vida presentes nesse ambiente e desse modo alterando a composição das comunidades biológicas (FORIO, et al., 2017; Turgeon, Turpin, Gregory-Eaves, 2019; SCRUTON et al, 2008).

O impacto da construção de hidrelétricas sobre os peixes pode ser dividido em três ordens; os primeiros impactos são aqueles relacionados diretamente com a introdução da hidroelétrica no habitat, os mais conhecidos dessa fase é a interrupção da migração de inúmeras espécies por conta da barreira

física imposta pela barragem da usina e a mudança de habitat, ocasionada pelo represamento da água no reservatório, fazendo com que se perca o fluxo de água e as correntezas.

Os impactos denominados por secundários são aqueles onde ocorrem mudanças no ambiente físico/químico e atingem, de forma direta, aos peixes como mudança na temperatura da água, velocidade das correntezas e alteração na quantidade de sedimentos que desaguam no rio e por último, os terceiros impactos, que são as respostas bióticas do ecossistema afetado, como mudança na composição dos grupos de espécies aquáticas, levando a queda de disponibilidade de presas e/ou predadores e o aumento na manifestação de parasitas (ZHONG & POWER, 1996).

No processo de construção das hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau, os próprios pescadores foram extremamente afetados, eles indicaram a diminuição do pescado no Rio Madeira, mudança no padrão de migração dos peixes e alterações no sistema aquático (DORIA et al., 2021). No trecho de Humaitá, a queda dos pescados foi de 39% após o barramento; esse processo, associado à falta de comunicação e suporte por parte das hidrelétricas, deslocamento da população para áreas afastadas dos locais de pesca e maiores restrições para a atividade pesqueira afetou a renda familiar e econômica da região (SANTOS et al., 2018; SANTOS, et al., 2020; DORIA et al., 2021).

No trabalho de Santos (2018), após a construção das hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau a queda do desembarque pesqueiro em Humaitá chegou a 39%; em Lima (2020), foi identificado o declínio de 50% no desembarque no município de Porto Velho após as usinas entrarem em atividade. A diminuição da pesca após as usinas foi o primeiro sinal de desequilíbrio ambiental sentido pelos ribeirinhos na bacia do Madeira com a introdução de usinas hidrelétricas (Santos et al., 2020).

1.4. Peixes como bioindicadores e o uso de atributos funcionais

Os atributos funcionais ou características funcionais, podem ser descritos como os traços de um indivíduo que irão influenciar em seu desempenho ecológico e na sua evolução, podendo ser qualquer característica biológica que seja mensurável, que influencie no desempenho, sobrevivência do indivíduo, produtividade e na adaptação no ambiente de forma direta (TILMAN, 2001; VIOLLE, et al., 2007; MOUILLOT, et al., 2013; LOREAU, et al., 2001; HE, et al., 2019).

As características funcionais são características morfológicas, fisiológicas e/ou fenológicas; que são compartilhadas pelas espécies que possuem um ancestral em comum recente (VIOLLE, et al., 2007; KRAFT, et al., 2007). Tais características chegam a ser mediadoras entre as interações das espécies com o ambiente; e assim, qualquer alteração que de alguma forma afete a alguma característica funcional de algum grupo de indivíduos afetam sua distribuição e até mesmo, a estrutura das comunidades em determinado ambiente (FLOETER, et al., 2018).

Os atributos podem ser fonte de respostas da estrutura de uma comunidade e dos processos de um ecossistema; além de chegar a prever a abundância e distribuição de uma espécie em um ambiente a partir da análise de um atributo funcional (LAIGLE, et al., 2018; ZIRBEL, et al., 2017; BERNHARDT-RÖMERMANN, et al., 2011).

Os peixes são indivíduos altamente sensíveis a estressores naturais como variações da temperatura da água, contaminantes liberados na água, modificações na vegetação e no substrato próximo, e a estressores físicos, sendo estes as modificações físicas do rio (HIGGINBOTTOM, GREEN, NORTHROPE, 2003; PALACIO - NÚÑEZ, et al., 2007; JENKINS, 2004). Por tais características, esses animais são normalmente utilizados como bioindicadores, pois contém neles as informações da qualidade e conservação dos ambientes em que estão inseridos; normalmente podendo ser feitos através da análise das alterações dos grupos encontrados nessas áreas e quais os mais vulneráveis (RYTI, et al., 1992; CHOVANEC, HOFER, SCHIEMER, 2003).

Assim sendo, é possível compreender e quantificar a perturbação sobre um ecossistema a partir da análise de toda característica biológica que possa ser mensurável (Mouillot et al., 2013). Alguns grupos, com traços funcionais compartilhados entre si apresentaram maior vulnerabilidade a serem expostos a alguma perturbação, levando ao declínio ou extinção de espécies com características específicas; dessa forma a diferença de algumas características entre os indivíduos pode levar a diferenças interespecíficas para as respostas a perturbações (HADDAD, et al., 2008).

A combinação entre as alterações ambientais recentes mais as ações antrópicas, constroem um cenário de extinção para muitos indivíduos, sendo o primeiro impacto sobre a abundância das espécies com determinadas características no ambiente e em seguida, a queda na riqueza de alguns animais com características semelhantes (OLDEN,POFF, BESTGEN, 2006). Por isso, a análise das características funcionais pode detectar os impactos sobre determinados grupos de indivíduos e quais os mais suscetíveis às perturbações antes que se tenha perdas e extinções (Mouillot et al., 2013).

Os organismos bioindicadores são todos aqueles que possuem informações relevantes sobre a qualidade do ambiente; o uso desses organismo deve, obrigatoriamente, descrever o ambiente em qual este habita, detectar e avaliar os impactos que ocorrem nessa área e que se busca compreender melhor (MARKERT, 1994; CHOVANEC, HOFER, SCHIEMER, 2003). Os peixes são amplamente utilizados como bioindicadores da qualidade da água e alterações físicas do ambiente, tradicionalmente através da análise das mudanças espaciais das comunidades dos peixes através de todo o canal fluvial (FRITSCH, 1872).

Os peixes que realizam migração são utilizados como indicadores adequados sobre a conectividade do ambiente e a fragmentação do habitat (JUNGWIRTH, 1998). Outra forma de utilizar o peixe como bioindicador é através da pesca, a condição na qual essa comunidade de peixes se

encontra é um fator crucial na gestão dos recursos hídricos e ambiental, para toda uma comunidade de pessoas que dependem do peixe como alimento e fonte de renda (SANTOS et al., 2020; CHOVANEC, HOFER, SCHIEMER, 2003).

Para que se tenha uma melhor abordagem e entendimento do impacto ambiental através de um bioindicador, uma das melhores formas de análise desses organismos é através da avaliação das mudanças das comunidades desses organismos em seu ambiente (CHOVANEC, HOFER, SCHIEMER, 2003). Os peixes são organismos excelentes para serem utilizados bioindicadores já que atendem a todos os critérios de monitoramento biológico, principalmente por serem indivíduos sensíveis a estressores locais e o acompanhamento das mudanças na comunidade é possível, além de serem de fácil acesso e baratos (KARR et al., 1999; CAIRNS, MCCORMICK, NIEDERLEHNER, 1993).

Para a análise de impacto ambiental voltando a gestão ambiental, os peixes são utilizados como bioindicadores de alerta precoce, pois é possível detectar qual o extensão do impacto e implementar novas formas de gestão ambiental que minimizem tal (CAIRNS, MCCORMICK, NIEDERLEHNER, 1993).

Referências

- AKN, C., CF, V., DEV, C., & SMG, G. Brasil y sus intereses en la construcción de Cachuela Esperanza, Bolivia. *Polis. Revista Latinoamericana*, (39), 2014.
- AMAZON FISH. Amazonian Freshwater Fish Biodiversity. **Amazon Fish Project**, 2022. Disponível em: < <https://www.amazon-fish.com/about> > Acesso em: 27 de maio de 2022.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Ministério do Desenvolvimento Regional. 2022. Disponível em: < <https://www.gov.br/ana/pt-br> > Acesso em 16 de julho de 2022.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Sistema de Informações de Gerações da ANEEL (SIGA). 2022. Disponível em: < <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel/resource/11ec447d-698d-4ab8-977f-b424d5deee6a?filters=SigUFPrincipal%3ARR> > Acesso em: 20 de julho de 2022.
- ARANTES, Caroline C. et al. Functional responses of fisheries to hydropower dams in the Amazonian Floodplain of the Madeira River. **Journal of Applied Ecology**, v. 59, n. 3, p. 680-692, 2022.
- ATHAYDE, Simone et al. Mapping research on hydropower and sustainability in the Brazilian Amazon: advances, gaps in knowledge and future directions. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 37, p. 50-69, 2019.
- BAGHER, Askari Mohammad et al. Hydroelectric energy advantages and disadvantages. **American Journal of Energy Science**, v. 2, n. 2, p. 17-20, 2015.
- BASTOS, Wanderley R. et al. Dynamics of Hg and MeHg in the Madeira River basin (Western Amazon) before and after impoundment of a run-of-river hydroelectric dam. **Environmental Research**, v. 189, p. 109896, 2020.
- BATISTA, Iane Maria da Silva; MIRANDA, Leila Mourão. The “Hydrobusinesses” in the Rivers of the Amazon. **Revista Brasileira de História**, v. 39, p. 117-139, 2019.
- BAKIS, R. The current status and future opportunities of hydroelectricity. **Energy Sources, Part B**, v. 2, n. 3, p. 259-266, 2007.
- BEN. Balanço Energético Nacional, Relatório Final. **Ministério de Minas e Energia**, v.1, p. 15 – 17, 2022.
- BERNHARDT-RÖMERMANN, Markus et al. Functional traits and local environment predict vegetation responses to disturbance: A pan-European multi-site experiment. **Journal of Ecology**, v. 99, n. 3, p. 777-787, 2011.

BP 2022 *BP Statistical Review of World Energy* 71°. Disponível em: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>.

BRASIL. Lei N° 9.991, de Julho de 2000. Diário Oficial da União, Seção 1. pg. 1 de 25 de Julho de 2000.

CAMPOS, Pedro Henrique Pedreira. Ditadura, interesses empresariais e desenvolvimentismo: a obra da usina hidrelétrica de Tucuruí. **Revista Tempo e Argumento**, v. 11, n. 26, p. 255-286, 2019.

CAIRNS, John; MCCORMICK, Paul V.; NIEDERLEHNER, B. R. A proposed framework for developing indicators of ecosystem health. **Hydrobiologia**, v. 263, p. 1-44, 1993.

CHEN, Ang et al. Review of global and China's policies on fish passages. **Water Policy**, v. 21, n. 4, p. 708-721, 2019.

CHOVANEC, Andreas; HOFER, Rudolf; SCHIEMER, Fritz. Fish as bioindicators. In: Trace metals and other contaminants in the environment. Elsevier. p. 639-676, 2003.

DAMASCENO, Ivanete; VASCONCELOS, Vanessa. Usina de Jirau usa caminhão para fazer migração de peixes em reservatórios. G1, Rondônia, 2014. Disponível: < <https://g1.globo.com/ro/rondonia/noticia/2014/07/usina-jirau-usa-caminhao-para-fazer-migracao-de-peixes-em-reservatorio.html> > Acesso em: 18 de maio de 2022.

DORIA, Carolina Rodrigues da Costa et al. The Commercial fisheries of the Madeira river basin in the Rondônia state, Brazilian Amazon. **Acta Amazonica**, v. 42, p. 29-40, 2012.

DORIA, CR da C.; LIMA, M. A. L. Rio Madeira: seus peixes e sua pesca. **Porto Velho: EDUFRO/RIMa Editora**, 2015.

DORIA, Carolina Rodrigues da Costa et al. A pesca em comunidades ribeirinhas na região do médio rio Madeira, Rondônia. **Novos Cadernos NAEA**, v. 19, n. 3, p. 163-188, 2016.

DORIA, Carolina RC et al. Review of fisheries resource use and status in the Madeira River Basin (Brazil, Bolivia, and Peru) before hydroelectric dam completion. **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, v. 26, n. 4, p. 494-514, 2018.

DORIA, Carolina Rodrigues da Costa et al. Understanding impacts of dams on the small-scale fisheries of the Madeira River through the lens of the Fisheries Performance Indicators. **Marine Policy**, v. 125, p. 104261, 2021.

DIÁRIO DA UNIÃO. Lei N° 9.991, de 24 de julho de 2000. Seção 1, p. 1, 25/7/2000.

ENERGIA SUSTÉTAVEL DO BRASIL. Programa de Conservação da Ictiofauna, Estratégia de transposição de peixes. p. 5- 20, 2011.

- EIA/RIMA. Estudo de Impacto Ambiental das Hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio. Furnas, 2005.
- Eletrobras. Eletrobras e Ende iniciam estudos de inventário hidrelétrico binacional. Agência Eletrobras de Notícias, 2018. Disponível em: <<https://eletrobras.com/pt/Lists/noticias/ExibeNoticias.aspx?ID=836>>. Acesso: 27 de abril de 2023.
- ELETRONORTE. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, ELETROBRAS. Disponível em: <<https://www.eletronorte.com.br/>>. Acesso em: 01 de janeiro de 2023.
- FEARNSIDE, Philip Martin. Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras-Volume 2. 2015.
- FREITAS, Helen Cristina Parazzi; DORIA, Carolina Rodrigues da Costa; SOUSA, Raniere Garcez Costa. Hydroelectric dams from Madeira river seasonally impacts the fisheries production in the Guaporé basin (Rondônia, Brazil). **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 46, n. 4, 2021.
- FRITSCH, A. J. Die Wirbeltiere Böhmens. Ein Verzeichnis aller bisher in Böhmen beobachteten Säugetiere, Vögel, Amphibien und Fische. **Archiv für naturwissenschaftliche Landesdurchforschung von Bohmen**, v. 2, p. 1-152, 1872.
- FLOETER, Sergio R. et al. Phylogenetic perspectives on reef fish functional traits. **Biological Reviews**, v. 93, n. 1, p. 131-151, 2018.
- FORIO, Marie Anne Eurie et al. Assessment and analysis of ecological quality, macroinvertebrate communities and diversity in rivers of a multifunctional tropical island. **Ecological Indicators**, v. 77, p. 228-238, 2017.
- OLDEN, Julian D.; POFF, N. LeRoy; BESTGEN, Kevin R. Life-history strategies predict fish invasions and extirpations in the Colorado River Basin. **Ecological Monographs**, v. 76, n. 1, p. 25-40, 2006.
- GOULDING, Michael; BARTHEM, Ronaldo; FERREIRA, Efreim Jorge Gondim. The Smithsonian atlas of the Amazon. 2003.
- HADDAD, Nick M. et al. Species' traits predict the effects of disturbance and productivity on diversity. **Ecology letters**, v. 11, n. 4, p. 348-356, 2008.
- HE, Nianpeng et al. Ecosystem traits linking functional traits to macroecology. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 34, n. 3, p. 200-210, 2019.
- HIGGINBOTTOM, Karen; GREEN, Ronda; NORTHROPE, Chelsea. A framework for managing the negative impacts of wildlife tourism on wildlife. *Human dimensions of wildlife*, v. 8, n. 1, p. 1-24, 2003.

IORIS, Antonio AR. Da foz às nascentes: análise histórica e apropriação econômica dos recursos hídricos no Brasil. **ALMEIDA, AWB de et al**, p. 211-255, 2010.

JENKINS, Jill A. Fish bioindicators of ecosystem condition at the Calcasieu Estuary, Louisiana. 2004.

JIRAU ENERGIA. Conheça a UHE – Jirau Energia, 2021. Disponível em: <<https://www.jirauenergia.com.br/conheca-a-uhe/>> Acesso em: 21 de março de 2022.

JÚNIOR, J. L.; TOMASELLA, J.; RODRIGUEZ, D. A. Impacts of future climatic and land cover changes on the hydrological regime of the Madeira River basin. **Climatic change**, v. 129, n. 1, p. 117-129, 2015.

JUNGWIRTH, Mathias. River continuum and fish migration—going beyond the longitudinal river corridor in understanding ecological integrity. **Fish migration and fish bypasses**, p. 19-32, 1998.

KARR, James R. et al. **Restoring life in running waters**. Island press, 1999.

LATRUBESSE, Edgardo M. et al. Damming the rivers of the Amazon basin. **Nature**, v. 546, n. 7658, p. 363-369, 2017.

LAIGLE, Idaline et al. Species traits as drivers of food web structure. **Oikos**, v. 127, n. 2, p. 316-326, 2018.

LAVOREL, Sandra; GARNIER, Éric. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. **Functional ecology**, v. 16, n. 5, p. 545-556, 2002.

LIU, Shiliang et al. Assessing the impact of hydroelectric project construction on the ecological integrity of the Nuozhadu Nature Reserve, southwest China. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 27, n. 7, p. 1709-1718, 2013.

MARTINS, Sidney Lazaro. System for the transposition of fish. Masters dissertation. **Polytechnic School of the University of São Paulo**. São Paulo, 2000.

MARKERT, Bernd. Biomonitoring—quo vadis. **Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung**, v. 6, p. 145-149, 1994.

MHE, Plan Electrico del Estado Plurinacional de Bolivia 2025, Ministerio de Hidrocarburos y Energia, La Paz, 2014. Disponível em: <http://www2.hidrocarburos.gob.bo>. Acesso em 12 de maio de 2023.

MIESEN, P.; HUBERT, Jordi. Renewable energy potential of Brazil. **Global Energy Network Institute: San Diego, CA, USA**, 2010.

MOURA, Gustavo Nikolaus Pinto et al. South America power integration, Bolivian electricity export potential and bargaining power: An OSeMOSYS SAMBA approach. *Energy strategy reviews*, v. 17, p. 27-36, 2017.

- MORAES, Renata Albuquerque de. Impactos na Bolívia do desenvolvimentismo brasileiro: o caso de Cachoeira Esperança. 36º Encontro anual da ANPOCS, 2011.
- MOUILLOT, David et al. A functional approach reveals community responses to disturbances. **Trends in ecology & evolution**, v. 28, n. 3, p. 167-177, 2013.
- NGUYEN, Thi Hanh Tien et al. Modelling tools to analyze and assess the ecological impact of hydropower dams. **Water**, v. 10, n. 3, p. 259, 2018.
- OBERDORFF, Thierry et al. Unexpected fish diversity gradients in the Amazon basin. **Science advances**, v. 5, n. 9, p. eaav8681, 2019.
- UN. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects 2022: Summary of Results. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3. 2022.
- PDE. Plano Decenal de Expansão de Energia. **Ministério de Minas e Energia**, 2023. 2020.
- PLATONOW, V. Brasil estuda construir usina binacional com Bolívia. AgênciaBrasil, 2020. Disponível em: <
<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2020-02/brasil-estuda-construir-usina-binacional-com-bolivia> > Acesso em: 27 de abril de 2023.
- QUEIROZ, L. J. et al. Peixes do Rio Madeira I, III. **Santo Antônio Energia**. p. 78 – 113, 2013.
- RYTI, Randall T. Effect of the focal taxon on the selection of nature reserves. **Ecological Applications**, v. 2, n. 4, p. 404-410, 1992.
- KAHN, James Randall; FREITAS, Carlos Edwar; PETRERE, Miguel. False shades of green: the case of Brazilian Amazonian hydropower. **Energies**, v. 7, n. 9, p. 6063-6082, 2014.
- KRAFT, Nathan JB et al. Trait evolution, community assembly, and the phylogenetic structure of ecological communities. **The American Naturalist**, v. 170, n. 2, p. 271-283, 2007.
- LOREAU, Michel et al. Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. **science**, v. 294, n. 5543, p. 804-808, 2001.
- LI, Dengqiu et al. Examining water area changes accompanying dam construction in the Madeira River in the Brazilian Amazon. **Water**, v. 12, n. 7, p. 1921, 2020.
- Relatório Semestral 3º, Aproveitamento Hidrelétrico Jirau, Situação dos Programas Ambientais. **Energia Sustentável do Brasil**. 2010.
- SIBLY, R. M.; BROWN, J. H.; KODRIC-BROWN, A. Metabolic ecology: A scaling approach (pp. 1–375). John Wiley & Sons. 2012.

SUDING, Katharine N. et al. Scaling environmental change through the community-level: A trait-based response-and-effect framework for plants. **Global Change Biology**, v. 14, n. 5, p. 1125-1140, 2008.

SANTO ANTÔNIO ENERGIA. Programas Socioambientais. Hidrelétrica Santo Antônio Energia. Disponível em: < <https://www.santoantonioenergia.com.br/sustentabilidade/programas-socioambientais/>> Acesso em: 07 de maio de 2022.

SANTOS, M. **Passing devices for fish in Portugal**. Directorate General of Forest Resources. Lisbon. Portugal, 2005.

SANTOS, Rangel E. et al. The decline of fisheries on the Madeira River, Brazil: The high cost of the hydroelectric dams in the Amazon Basin. **Fisheries Management and Ecology**, v. 25, n. 5, p. 380-391, 2018.

SANTOS, Rangel Eduardo et al. Damming Amazon Rivers: Environmental impacts of hydroelectric dams on Brazil's Madeira River according to local fishers' perception. **Ambio**, v. 49, n. 10, p. 1612-1628, 2020.

SALO, Jukka et al. River dynamics and the diversity of Amazon lowland forest. **Nature**, v. 322, n. 6076, p. 254-258, 1986.

SCHELLE, Patricia; COLLIER, Ute; PITTOCK, Jamie. Rivers at risk: dams and the future of freshwater ecosystems. In: **World wildlife fund (WWF). Paper to the 7th international river symposium, Sept. 2004**.

SCRUTON, D. A. et al. A synopsis of 'hydropeaking' studies on the response of juvenile Atlantic salmon to experimental flow alteration. **Hydrobiologia**, v. 609, n. 1, p. 263-275, 2008.

SENRA, João Bosco. Água para todos: Avaliação qualitativa do processo de implementação do Plano Nacional de Recursos Hídricos. 2014.

SIC TV. Conheça o sistema de transposição de peixes da Santo Antônio Energia. **Record TV em Rondônia**. Disponível em: < https://www.youtube.com/watch?v=q_AkAtym9jI > Acesso em: 07 de maio de 2022.

TILMAN, D. Functional diversity. Encyclopedia of biodiversity. **Elsevier, New York**, p. 109-120, 2001.

TIMPE, Kelsie; KAPLAN, David. The changing hydrology of a dammed Amazon. **Science Advances**, v. 3, n. 11, p. e1700611, 2017.

TORRENTE-VILARA, Gislene et al. Spatial segregation between *Chalceus guaporensis* and *Chalceus epakros* (Osteichthyes: Characiformes) in the Madeira River, Amazon Basin. **Acta Amazonica**, v. 48, p. 239-247, 2018.

TURGEON, K.; TURPIN, C.; GREGORY-EAVES, I. Dams have varying impacts on fish communities across latitudes: a quantitative synthesis. *Ecology Letters*, 22(9), pp. 1501-1516, 2019.

VAL, A. L.; DE ALMEIDA-VAL, V. M. F. The amazon ichthyofauna. In: **Fishes of the Amazon and their Environment**. Springer, Berlin, Heidelberg. p. 28-69, 1995.

VIOLLE, C., et al. Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116(5), 882–892.,2007.

WAINWRIGHT, Peter C. Functional morphology as a tool in ecological research. **Ecological morphology: integrative organismal biology**, v. 42, p. 59, 1994.

YI, Yujun; WANG, Zhaoyin; YANG, Zhifeng. Impact of the Gezhouba and Three Gorges Dams on habitat suitability of carps in the Yangtze River. **Journal of Hydrology**, v. 387, n. 3-4, p. 283-291, 2010.

ZARFL, Christiane et al. A global boom in hydropower dam construction. **Aquatic Sciences**, v. 77, n. 1, p. 161-170, 2015.

ZHONG, Yiguang; POWER, Geoff. Environmental impacts of hydroelectric projects on fish resources in China. **Regulated Rivers: Research & Management**, v. 12, n. 1, p. 81-98, 1996.

ZIRBEL, Chad R. et al. Plant functional traits and environmental conditions shape community assembly and ecosystem functioning during restoration. **Journal of Applied Ecology**, v. 54, n. 4, p. 1070-1079, 2017.

Objetivos

Neste capítulo serão apresentados os objetivos da dissertação, com o objetivo principal deste estudo e os específicos.

1. Objetivo Geral

Avaliar o impacto ambiental gerado pela construção das usinas hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau na bacia do Rio Madeira a partir da análise de características funcionais dos pescados desembarcados nos portos dos municípios de Humaitá e Guajará-Mirim.

2. Objetivos específicos

Analisar quais grupos funcionais (migração e habitat) apresentaram maior declínio no desembarque após instalação das UHEs;

Compreender se a gestão ambiental adotada pelas usinas tem apresentado êxito.



**Impacto de Hidrelétricas na Pesca Amazônica: Avaliação de Atributos
Funcionais no Rio Madeira**

Artigo submetido à revista: River Research and Applications

Data de envio: 06 de julho de 2023

Status: Sob revisão

Fator de impacto: 2,2

Impacto ambiental de Hidrelétricas na Bacia Amazônica: Análise com bioindicadores aquáticos no Rio Madeira

Ana Laura Monteiro de Souza^{a,e}, Rogério Fonseca^{a,b,d,e}, Rangel Eduardo Santos^e, Raniere Garcez Costa Sousa^f, Felipe Micali Nuvoloni^{c,e}, Isys Nathyally de Lima Silva^{d,e}, Karen Sayuri Takano^{d,e}, Fabrício Berton Zanchi^{c,e}

^aPrograma de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Amazonas, AM, Brasil.

^bPrograma de Pós-graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros, Universidade Federal do Amazonas, AM, Brasil.

^cPrograma de Pós-graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais, Universidade Federal do Sul da Bahia, BA, Brasil.

^dCurso de Engenharia Florestal, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Amazonas, AM, Brasil.

^eNúcleo de Pesquisas em Ecossistemas Tropicais, Universidade Federal do Sul da Bahia, BA, Brasil.

^fPrograma de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Rondônia, RO, Brasil.

Resumo

O Rio Madeira é um dos maiores rios da bacia Amazônica e abriga mais de 1300 espécies de peixes. Neste rio, foram construídas em 2011, as usinas hidrelétricas (UHEs) Jirau e Santo Antônio. O impacto ambiental dessas grandes obras implicaram em danos profundos nesse ecossistema, assim, o estudo e análise das características funcionais de organismos bioindicadores podem contribuir com o manejo adequado desses ambientes visando entender e minimizar os impactos causados. No intuito de compreender quais características ambientais dos pescados desembarcados no Rio Madeira foram mais afetadas pelos barramentos do rio, foram analisadas os padrões de migração e habitat dos pescados desembarcados nos Portos de Humaitá (Jusante) e Guajará-Mirim (Montante) entre os anos de 2000 a 2019; sendo divididos em períodos pré e pós construção das UHEs. Os dados obtidos indicam que os peixes de migração regional diminuíram em 85,50% a montante e 51,63% a jusante, sendo o atributo migratório mais afetado. Para os grupos de peixes mais afetados por habitat, os indivíduos bentopelágicos diminuíram em 70,55% a montante e 51,30% a jusante, os pelágicos 82,16% a montante e 41,80% a jusante. Dessa forma, após a instalação e funcionamento das UHEs do Rio Madeira observou-se uma queda abrupta na produção da pesca e alteração nas estruturas das

comunidades de peixes de maior valor comercial. Portanto, os resultados indicam também uma maior pressão de pesca nos estoques de peixes locais (curta migração) o que sugere a necessidade de uma revisão na gestão ambiental adotada pelas UHEs do Rio Madeira a fim de que os impactos ambientais e sociais gerados sejam minimizados.

Palavras-chave: Gestão ambiental, características funcionais, gestão pesqueira.

Abstract

The Madeira River is one of the largest rivers in the Amazon basin and is home to more than 1,300 known species of fish. The Jirau and Santo Antônio hydroelectric dams (HEDs) were built on this river in 2011. The environmental impact of these major works caused deep damage to this ecosystem; as such, the study and analysis of the functional characteristics of bioindicator organisms may contribute to the proper management of these environments in order to understand and minimize the impacts caused. In order to understand which fish species and environmental characteristics were most affected by the dams, the migration and habitat patterns of fish landed in the ports of Humaitá (downstream) and Guajará-Mirim (upstream) between the years 2000 and 2019 were analyzed after being divided into pre- and post-construction periods of the HEDs. The data obtained indicate that regional migration fish decreased by 85.55% upstream and 51.75% downstream, with the migratory attribute being the most affected. The fish groups most affected according to their habitat were the benthopelagic individuals, which decreased by 70.55% upstream and 51.3% downstream, and the pelagic individuals, which decreased by 82.17% upstream and 41.8% downstream. Thus, after the installation and operation of the HEDs on the Madeira River, there was an abrupt drop in fishery production and a change in the structures of the fish communities of greater commercial value. Therefore, the results also indicate a greater fishing pressure on local fish stocks (shorter migration distances), which suggests the need for a review of the environmental management practices adopted by the HEDs on the Madeira River in order to minimize the environmental and social impacts generated.

Keywords: Environmental management, functional characteristics, fisheries management.

1. Introdução

Estima-se que até o ano de 2050, a população mundial chegue a 9,7 bilhões de pessoas, fator que requer um maior consumo de alimento e energia elétrica, sendo que as fontes renováveis de baixo custo e de maior abrangência a população, tendem a ser as mais exploradas (Bagher, et al., 2015; Demirbas, 2006; UN, 2022). No Brasil, o grande número de rios com forte vazão, levou o país a

investir em hidrelétricas como a principal matriz energética (BEN, 2022). Na região amazônica, onde a hidrografia dos rios é mais propícia para esse tipo de empreendimento, a construção de hidrelétricas vem avançando nos últimos anos (Fearnside, 2014; Kahn, Freitas, Petrere, 2014).

O Rio Madeira, é o maior tributário de águas brancas do rio Amazonas, com 1.500 km² e uma vazão média de 17.686 m³s⁻¹, 24 vezes superior ao rio Yangzi na área da barragem de Três Gargantas na China (Fearnside, 2014; Goulding, Barthem, Ferreira, 2003). Em 2011, foram construídas no leito do rio Madeira as usinas hidrelétricas Santo Antônio e Jirau, nos trechos próximos à capital do estado, Porto Velho, no estado de Rondônia (EIA/RIMA, 2005). As UHEs Santo Antônio e Jirau têm capacidade de fornecer 3.568 Mw e 3.750 Mw, respectivamente (Jirau Energia, 2021; Santo Antônio Energia, 2018).

A presença das hidrelétricas no rio Madeira, contribuem com o processo de fragmentação e perda de habitats naturais, mudança na dinâmica sazonal e dos canais fluviais, e a interrupção da migração dos peixes (Liu, et al., 2013; Timpe & Kaplan, 2017). Como resposta, o ecossistema fica fragilizado pela perda de biodiversidade, invasão de espécies exóticas e alteração de sua estrutura abiótica (Scruton, et al., 2008; Pestana, et al., 2019). A construção das barragens pelas hidrelétricas afeta principalmente a rota migratória das espécies aquáticas reofílicas, sobretudo aquelas que realizam migrações de longas distâncias e regionalmente, sendo espécies com elevado valor econômico comercializadas nos pequenos e grandes centros urbanos, sendo também fonte de renda e alimento para as comunidades ribeirinhas (Arantes, et al., 2023; Bunt, Castro-Santos, Haro, 2012; Santos et al., 2018; Santos, et al., 2020).

A pesca, dentre outras atividades humanas que dependem dos rios, é uma das mais afetadas diretamente pela construção das hidrelétricas (Arantes, et al., 2022; Doria, 2012; Doria, et al., 2021; Santos et al., 2018). Alterações que influenciam a qualidade dessa atividade, afetam diretamente a principal fonte alimentar e de renda de inúmeras famílias na região amazônica, já que essa atividade depende majoritariamente dos rios estarem aptos aos organismos aquáticos, com temperatura adequada, nutrientes e sedimentos controlados, presença de oxigenação e fluxo contínuo das águas (Fearnside, 2014; Doria & Lima., 2015; Santos, et al., 2020).

O Rio Madeira, corresponde 19,1% da área total da bacia Amazônica; abrigando 1.373 espécies de peixes já catalogadas (Amazon Fish, 2022; Pimm, et al., 2014). Esses animais são sensíveis a fatores de estresses ambientais, assim, situações de impacto que alterem a sazonalidade do nível dos rios e as rotas de migração das espécies, resultam na alteração do comportamento da biota aquática (Jenkins, 2004; Palacio-Núñez, et al., 2007). A mudança no fluxo do rio, sua estrutura física e características químicas devido ao barramento pode afetar de forma distinta as espécies e também os grupos de animais que compartilham características morfológicas, fenológicas e fisiológicas

semelhantes, classificadas como atributos funcionais (Haddad, et al., 2008; Mouillot et al., 2013; Violle, et al., 2007).

A análise dos atributos funcionais das características mais afetadas dos peixes da região, pode indicar quais são os grupos e táxons mais vulneráveis às perturbações do seu habitat (Mouillot et al., 2013). Assim, é possível avaliar a distribuição e abundância dos grupos de peixes nos períodos antes e depois da introdução do fator de estresse, e dessa forma, compreender quais características foram mais afetadas pelo barramento do rio (Bernhard-Römermann, et al., 2011). O estudo dos atributos funcionais pode detectar, descrever e explicar o impacto das hidrelétricas, no qual uma espécie alvo se torna um bioindicador da qualidade do ambiente em que está inserida (Mouillot et al., 2013; Wainwright, 1994).

Dessa forma, o presente trabalho analisou os dados dos desembarques pesqueiros oriundos das áreas a jusante e a montante dos empreendimentos hidrelétricos (Santo Antônio e Jirau), ocorridos durante os anos de 2000 a 2019. O estudo teve por foco a avaliação dos impactos ambientais, por meio da análise dos atributos funcionais dos pescados desembarcados nos Portos de Humaitá e Guajará-Mirim. Os atributos avaliados neste estudo foram as formas de rotas de migração e habitat de preferência das espécies. Para dessa forma, compreender o impacto ambiental gerado pelas duas UHEs construídas no Rio Madeira, e assim, embasar e auxiliar as tomadas de decisões para a gestão ambiental nas regiões de influência das UHEs.

2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo

A pesquisa foi realizada em duas regiões distintas, no porto de desembarque pesqueiro a jusante, sendo a cidade de Humaitá, ao sul do estado do Amazonas (7°30'29.8"S 63°01'09.4"W), esta região possui uma população estimada de 57.195 e território de 33.000.000 km², aproximadamente (IBGE, 2023). E na região a montante, o porto de desembarque da cidade de Guajará-Mirim (10°47'33.6"S 65°20'52.9"W), o município do estado de Rondônia, fronteira com a Bolívia, que possui um território de cerca de 9.000.000 km² e uma população de 213.317.639 habitantes (IBGE, 2023) (Figura 1).

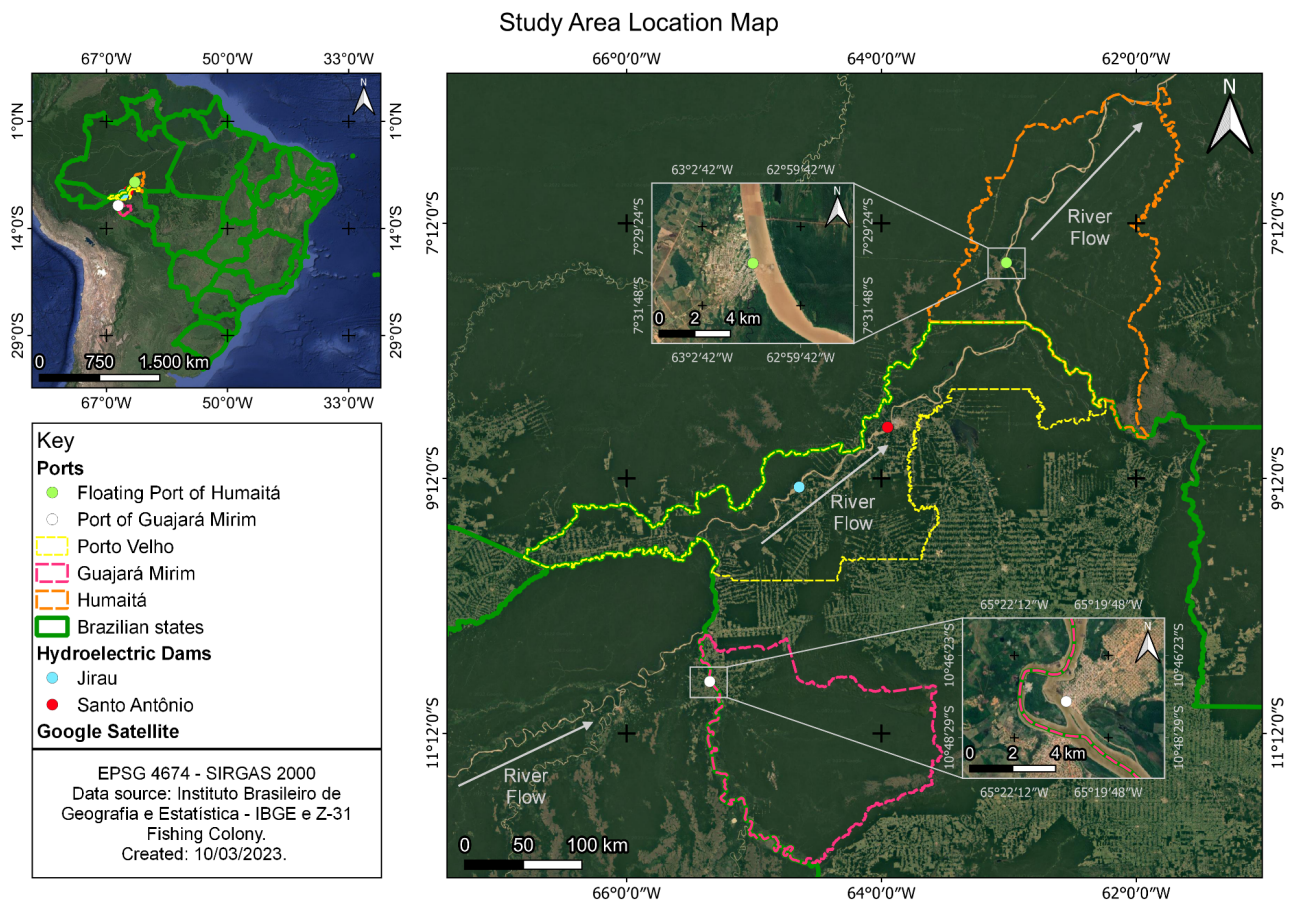


Figura 1: Localização das Usinas Hidrelétricas e dos pontos de coleta de dados nos portos de Guajará-Mirim e Humaitá.

2.2. Coleta de dados

Para o estudo, foi utilizado o banco de dados de produtividade da colônia de pescadores Z2 de Guajará - Mirim (Rondônia) e da colônia de pescadores "Dr. Renato Pereira Gonçalves - Z31" de Humaitá (Amazonas). O banco de dados de Guajará - Mirim contemplou dados de desembarques pesqueiros de 2000 até o ano de 2018, enquanto que o banco de dados de Humaitá possui registros de desembarques dos anos de 2002 até 2019.

O ano de 2013 foi retirado das análises de Humaitá, pois o Porto Flutuante de Humaitá passou por uma forte enchente ocorrida na região somados aos efeitos das barragens das UHEs, precisou ser retirado e as atividades de desembarque suspensas, ação essa conduzida pelo Conselho da Cidade de Humaitá (Santos et al., 2018). Os dados utilizados no trabalho, foram registrados diariamente nas colônias de pescadores, estes registros contam com as informações de identificação pelo nome popular dos peixes e pelo peso desembarcado (em kg). Todas as informações dos desembarques foram tabuladas em planilhas eletrônicas para posteriores análises estatísticas.

2.3. Análise dos Dados

Os peixes capturados nos portos de Guajará-Mirim e Humaitá, foram classificados conforme seus atributos funcionais, sendo eles a migração realizada e o habitat de preferência para cada espécie. No primeiro, foram classificados os peixes conforme sua migração, replicando o modelo adotado por Arantes, et al., (2022). O segundo classificou os peixes em seu habitat preferencial, as informações foram retiradas do site FishBase (<https://www.fishbase.se/search.php>) e de artigos científicos.

Os atributos foram analisados utilizando o teste de *Mann-Whitney*, avaliando as diferenças dos pesos de cada espécie capturada Antes do Barramento (AB) e Depois do Barramento (DB) para a instalação das UHEs, sendo 2011 o ano de referência, quando foram fechadas as comportas (Santos et al., 2018). A Análise de NMDS (*Non-metric Multi-dimensional Scalling*) foi empregada considerando o índice de dissimilaridade de *Bray-Curtis* para avaliar as diferenças na produção pesqueira e os atributos funcionais a montante e a jusante para os períodos AB e DB, permitindo a solução para um número específico de dimensões por processos de ordenação que minimizam o STRESS (*Standardized Residual Sum of Quadrados*). Os dados foram analisados através do programa estatístico *R studio* (R Core Team, 2022), considerando as diferenças significativas quando $p < 0,05$.

3. Resultado e Discussão

3.1. Efeito sobre as espécies migratórias

No total, 41 espécies de peixes foram coletadas nos portos do Rio Madeira, sendo 33 no Porto de Guajará-Mirim e 36 no Porto de Humaitá durante os períodos de coleta. Os indivíduos foram classificados conforme a sua migração e habitat, dessa forma, obteve-se 23 espécies de migração local, 7 de migração regional, 7 de migração de longa-distância e 4 espécies sedentárias. Para o habitat de preferência, 14 espécies bentopelágicas, 7 pelágicas e 20 demersais (Tabela 1 e Tabela 2)(Santos, et al., 2020).

Após a instalação das UHEs na bacia do Rio Madeira, foi verificado um declínio de 76,02% ($p < 0,001$) no pescado a montante das usinas, no Porto de Guajará-Mirim. Com destaque para as espécies de migração de longa-distância e regional que apresentaram diminuição de 81,45% e 85,50% ($p < 0,001$), respectivamente, no total de quilos capturados por mês em comparação ao período pré-barramento. Essa diminuição na produção pesqueira também foi reportada para a região das bacias

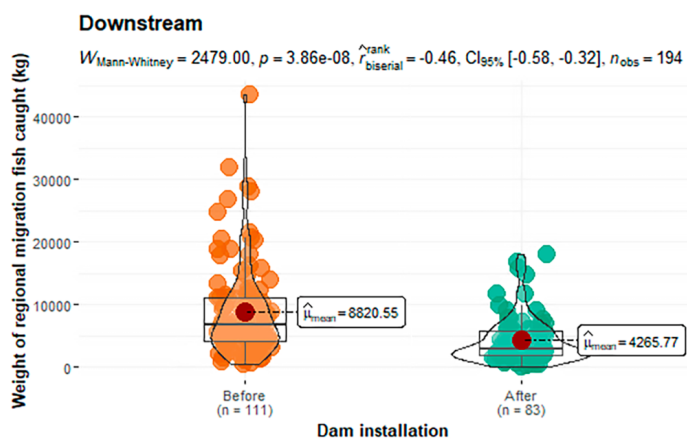
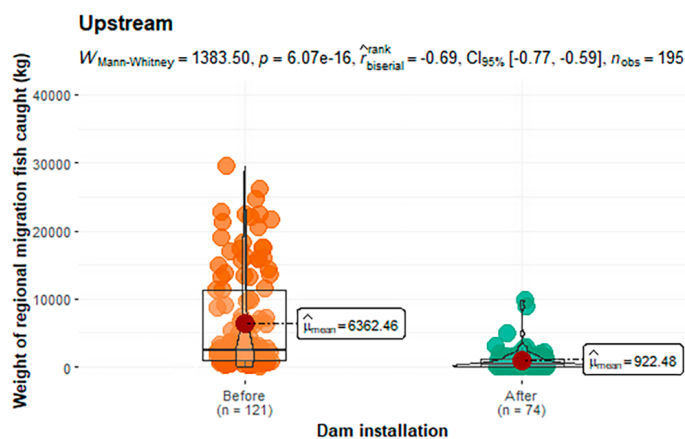
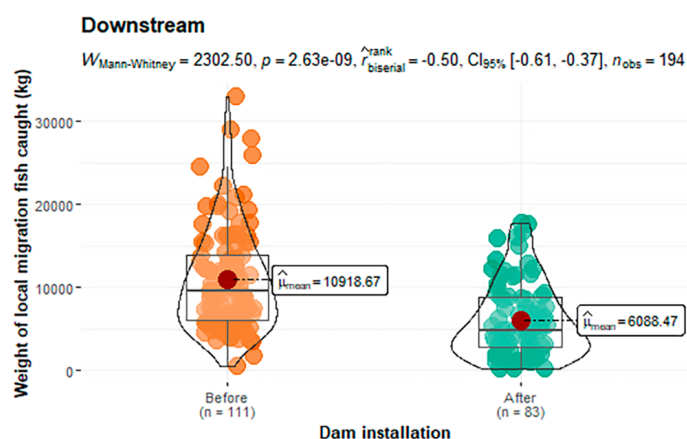
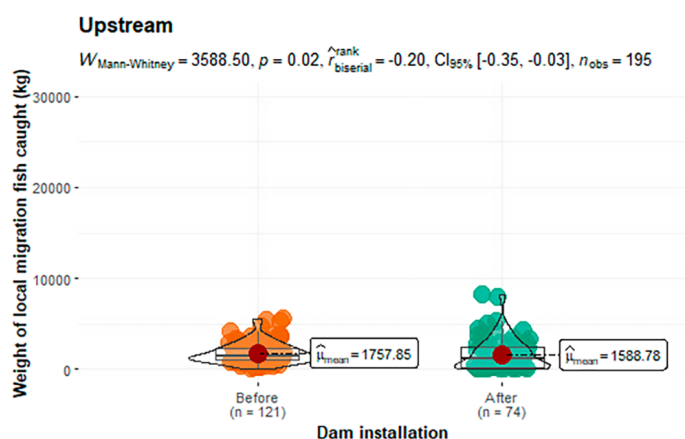
dos rios Guaporé e Mamoré, que contemplam várias colônias de pescadores, onde ficou evidente a queda na produção dos peixes migradores de escamas e o aumento de espécies carnívoras no período de pós-barramento, interferindo assim na estrutura das populações de peixes e por consequência alterando o padrão de captura dos pescadores locais (Arantes, et al., 2022; Sousa et al., 2021).

No presente estudo, foi observado que para o habitat, as espécies bentopelágicas e pelágicas foram as que tiveram maior queda de captura, correspondendo a 70,55% e 82,16% ($p < 0,001$), respectivamente (Figura 2 e Tabela 3).

No Porto de Humaitá, a média de pescados desembarcados após as UHEs entrarem em atividade, teve uma queda de 56,63% ($p < 0,001$). As espécies de migração Regional e Local apresentaram maior significância na diminuição 51,75% e 44,23% ($p < 0,001$), respectivamente. Com relação ao uso do habitat, houve similaridade com o Porto de Guajará-Mirim, sendo que em ambos foi observada queda significativa no pescando de peixes com menos captura para os bentopelágicos e pelágicos, representando 51,30% e 41,80% ($p < 0,001$), respectivamente. De forma diferente aos demais, após a instalação da hidrelétrica, os peixes sedentários foram os únicos que tiveram crescimento de desembarque no Porto de Humaitá, aumentando 13,65% (Figura 2 e Tabela 3).

Características Funcionais	Captura anual de peixes a montante – Guajará-Mirim (kg)				Captura anual de peixes a jusante - Humaitá (kg)			
	BHD	AHD	Declínio anual de captura	Declínio (%)	BHD	AHD	Declínio anual de captura	Declínio (%)
Migração								
Longa - distância	1,608.97	298.36	1,310.61	81.45	1,116.52	1,019.64	96.88	8.67
Regional	6,362.46	922.48	5,439.98	85.50	8,820.55	4,265.77	4,554.78	51.63
Local	1,757.85	1,588.78	169.07	9.61	10,918.67	6,088.47	4,830.2	44.23
Sedentário	1,814.25	754.34	1,059.91	58.42	957.7	821.31	136.39	14.24
Habitat								
Bentopelágico	7,752.56	2,282.75	5,469.81	70.55	14,235.26	6,931.71	7,303.71	51.30
Pelágico	2,048.78	365.39	1,683.39	82.16	6,220.51	3,620.48	2,600.03	41.80
Demersal	2,138.97	1,242.26	896.71	41.92	2,653.40	3,015.77	362.37*	13.65*
Total	22,988.32	13,450.28	9,538.04	41.49	13,787.04	5,404.92	8,382.35	60.76

Tabela 1¹: Tabela das características funcionais dos peixes desembarcados no Rio Madeira.



¹ Os valores marcados com “*”, indicam que os resultados obtidos se diferenciam dos outros na tabela, neste caso os pescados classificados como demersais apresentaram aumento de desembarque no Porto de Humaitá após o barramento do rio Madeira.

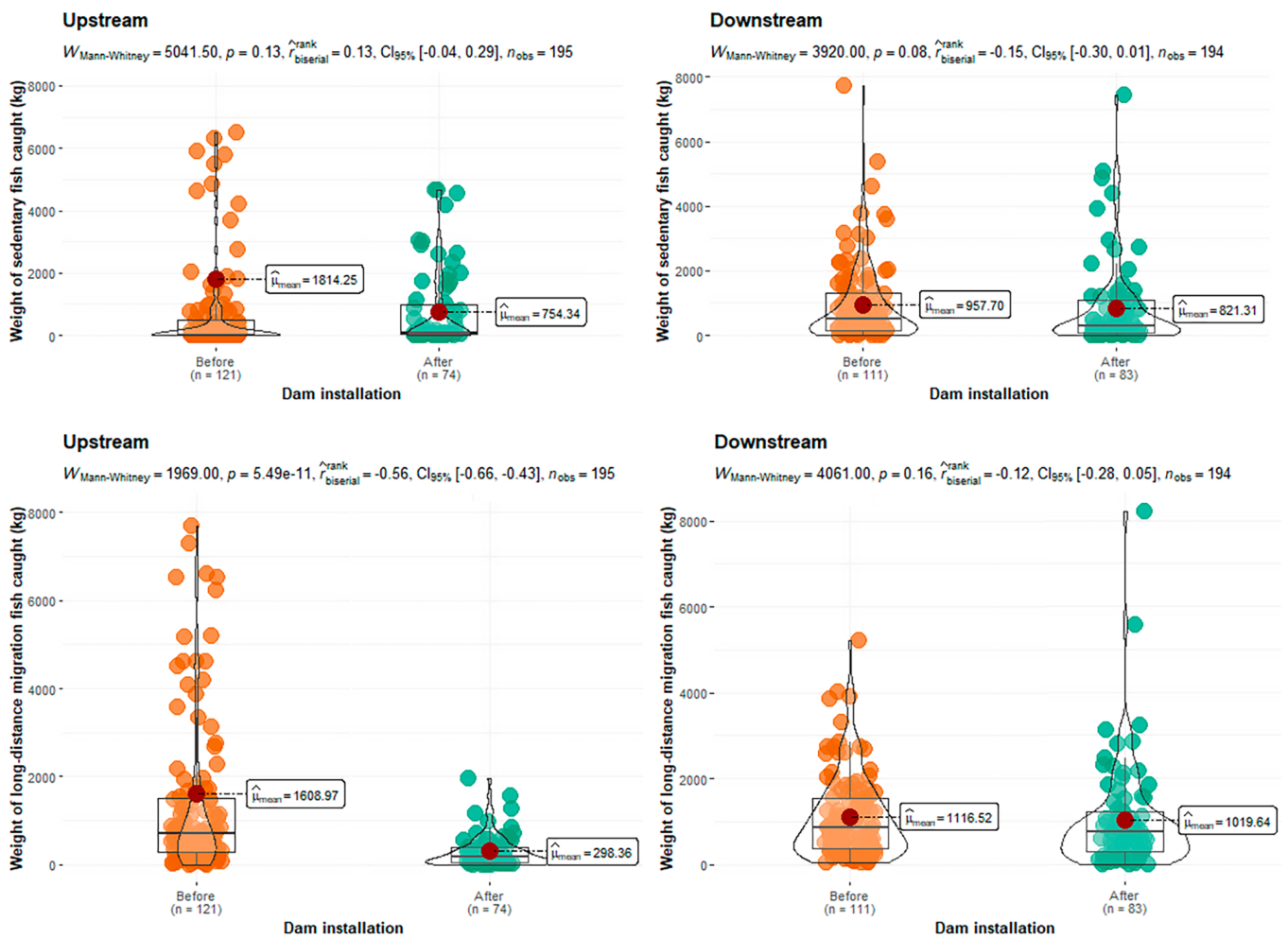


Figura 2: Box violin das formas de migração dos peixes coletados a Jusante e Montante do Rio Madeira.

No presente trabalho, foi possível visualizar o impacto negativo das UHEs sobre as espécies que têm migração de longa-distância e regional a montante, algo já visto em outros trabalhos na região de Porto Velho a Guajará-Mirim (Arantes, et al., 2022). De forma similar, no Porto de Humaitá também foi registrada queda no desembarque pesqueiro das espécies de migração regional e também houve diminuição de desembarque das espécies de migração local.

Os peixes de migração de longa-distância são em sua maioria compostos pelos bagres no Brasil (Siluriformes), comumente declarados como os mais vulneráveis a introdução de hidrelétricas já que estas bloqueiam suas rotas migratórias (Duponchelle, et al, 2021; Haraldstad, et al., 2019). Neste trabalho, as espécies de migração de longa-distância apresentaram um declínio no desembarque mais acentuado somente a montante, sendo elas a dourada (*Brachyplatystoma rousseauxii*) e piauí (*Schizodon fasciatus*, *Leporinus* spp.), que tiveram uma queda de 91% e 92,77%, respectivamente (Tabela 1).

A obstrução das rotas migratórias pelas hidrelétricas afetou em algum nível todas as espécies migradoras, mas sobretudo as espécies que realizam migração regional. Estas tiveram sua diminuição em ambos os portos, a montante e a jusante do rio (Tabela 3). O declínio do pescado na região do Rio Madeira já havia sido constatado em trabalhos anteriores, após as usinas hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau entrarem em operação. No trabalho de Santos, et al., (2018), foi descrita a queda de 39% da pesca anual do Porto de Humaitá após a construção das usinas. A alteração da fluviometria do rio e o bloqueio da rota migratória são os principais fatores da diminuição dos peixes no Rio Madeira após o seu barramento (Freitas, Doria, Sousa, 2020; Santos et al., 2018; Santos et al., 2020; Souza et al., 2021).

Os resultados aqui apresentados indicam a possibilidade de que os sistemas de transposição de peixes aplicados nas UHEs são ineficientes, visto que as espécies não estão transpondo para a região a montante das UHEs (Santos, et al. 2020). Outro fator que pode estar contribuindo para o aumento da produção pesqueira a jusante, pode ser o fato que estarem presas e não estarem conseguindo realizar a subida do rio, facilitando assim sua captura (Arantes, et al., 2023; Fearnside, 2014; Zhong & Power, 1996).

As espécies de migração regional que apresentaram maior diminuição nos desembarques em ambos os portos, foram o curimatã (*Prochilodus nigricans*) e a pirapitinga (*Piaractus brachypomus*). O curimatã é um dos peixes de maior valor econômico para a região amazônica, onde seu declínio afeta de forma direta a população ribeirinha, visto que com a diminuição dos peixes de alto valor comercial a pesca tende a ser realizada em outras espécies mais abundantes, mas consideradas de menor valor comercial para manterem a atividade econômica e fonte de renda (Freitas, Doria, Sousa, 2020; Melo, Torrente-Vilara, Röpke, 2019; Santos, et al., 2020).

Notamos que a tendência de diminuição do desembarque dos pescados de alto valor juntamente com o aumento do desembarque de espécies de menor valor em ambas as áreas de amostragens; principalmente para os peixes de migração local, estes que antes tinham menor procura apresentaram aumento de desembarque após o ano de 2011 (Tabela 1 e 2). No entanto, após o barramento, houve uma maior procura que pode ter sido provocada pelo declínio das espécies de migração regional e longa distância, afetadas, principalmente, pela falta de regularização da vazão do Rio Madeira, provocado pela flutuação artificial que as comportas geraram no fluxo do rio podendo ter afetado diretamente na composição do pescado da região (Santos, et al., 2020).

3.2. Efeito sobre o habitat de preferência das espécies

A implantação das usinas hidrelétricas culmina com uma barreira física nos rios que altera sua dinâmica hidrológica, sobretudo nos parâmetros de turbidez e sedimentos, além de transformar o ambiente lótico em lêntico (Freire, et al., 2017; Turgeon, Turpin, Gregory-Eaves, 2019). A mudança do fluxo das correntezas de um rio causa alterações sobre toda a ecologia aquática e consequentemente no comportamento da comunidade dos peixes chega a refletir no seu comércio (Alcântara, et al., 2015; Arantes, et al., 2023; Santos, et al., 2020).

Os resultados desse trabalho indicam que para ambas regiões do rio Madeira houve a diminuição significativa das espécies de pescado que possuíam também hábitos bentopelágicos e pelágicos. Para a região a montante, o declínio das espécies bentopelágicas foi de 70,55% ($p < 0,001$), e para as espécies pelágicas 82,16% ($p < 0,001$); e para a região a jusante, o declínio para os bentopelágicos chegou a 51,30% ($p < 0,001$) e os animais pelágicos diminuíram 41,80% ($p < 0,001$) (Figura 3 e Tabela 3).

As espécies bentopelágicas que tiveram maior declínio nos desembarques foram o curimatã (*P. nigricans*), jatuarana/matrinxã (*Brycon amazonicus*, *B. melanopterus*, *B. falcatus*) e tucunaré (*Cichla* spp.). As espécies pelágicas que mais diminuíram nos desembarques foram a piranha (*Serrasalmus* sp.) e a pirapitinga (*Piaractus brachypomus*). Essas espécies possuem elevado valor comercial na região amazônica (Santos, et al., 2020; Souza, Hortellani, Souza, 2019) (Tabela 1 e 2).

A mudança fluviométrica e a possível alteração do fluxo de água dos rios pela introdução das usinas hidrelétricas afetou, de forma direta, as espécies caracterizadas por habitarem ambientes com fluxo contínuo da água, principalmente as espécies bentopelágicas (Bondarev, et al., 2023; Oliveira, et al., 2018). Nos trabalhos de Agostinho, Pelicice, Gomes, (2008); Hoeninghaus, Winemiller, Birnbaum, (2007) e Lima, et al., (2018), o declínio desse grupo já havia sido documentado. Um ambiente transformado em lêntico leva a diminuição de oxigênio no ambiente, na oferta de alimentos e o aumento de concentração de nutrientes na água, fazendo com que suas populações diminuam gradativamente com os anos.

As ações de mitigação que vêm sendo empregadas pelas usinas hidrelétricas no Brasil não apresentam resultados tão positivos como o esperado. |As aplicações que até o momento atual são aplicadas, têm sido questionadas já que os mesmos grupos de peixes continuam a decair após a construção das UHEs em diversas localidades avaliadas (Agostinho, et al., 2016; Arantes, et al., 2019; Fearnside 2014). As usinas de Jirau e Santo Antônio não apresentaram nenhuma ação mitigatória, somente monitoramento para a descarga de sedimentos, qualidade da água, concentração de cardumes principalmente a jusante, alteração da comunidade de peixes, redução da diversidade dos peixes e o aumento de plantas aquáticas (EIA/RIMA, 2005).

A única ação mitigatória direta das usinas para a comunidade aquática foi a instalação dos sistemas de transposição em ambas as usinas, para que os peixes realizassem suas migrações, todavia,

esses sistemas se demonstraram ineficientes para a maioria das espécies. Para a população local, ações de realocação, indenizações e requalificações profissionais foram disponibilizadas (EIA/RIMA, 2005).

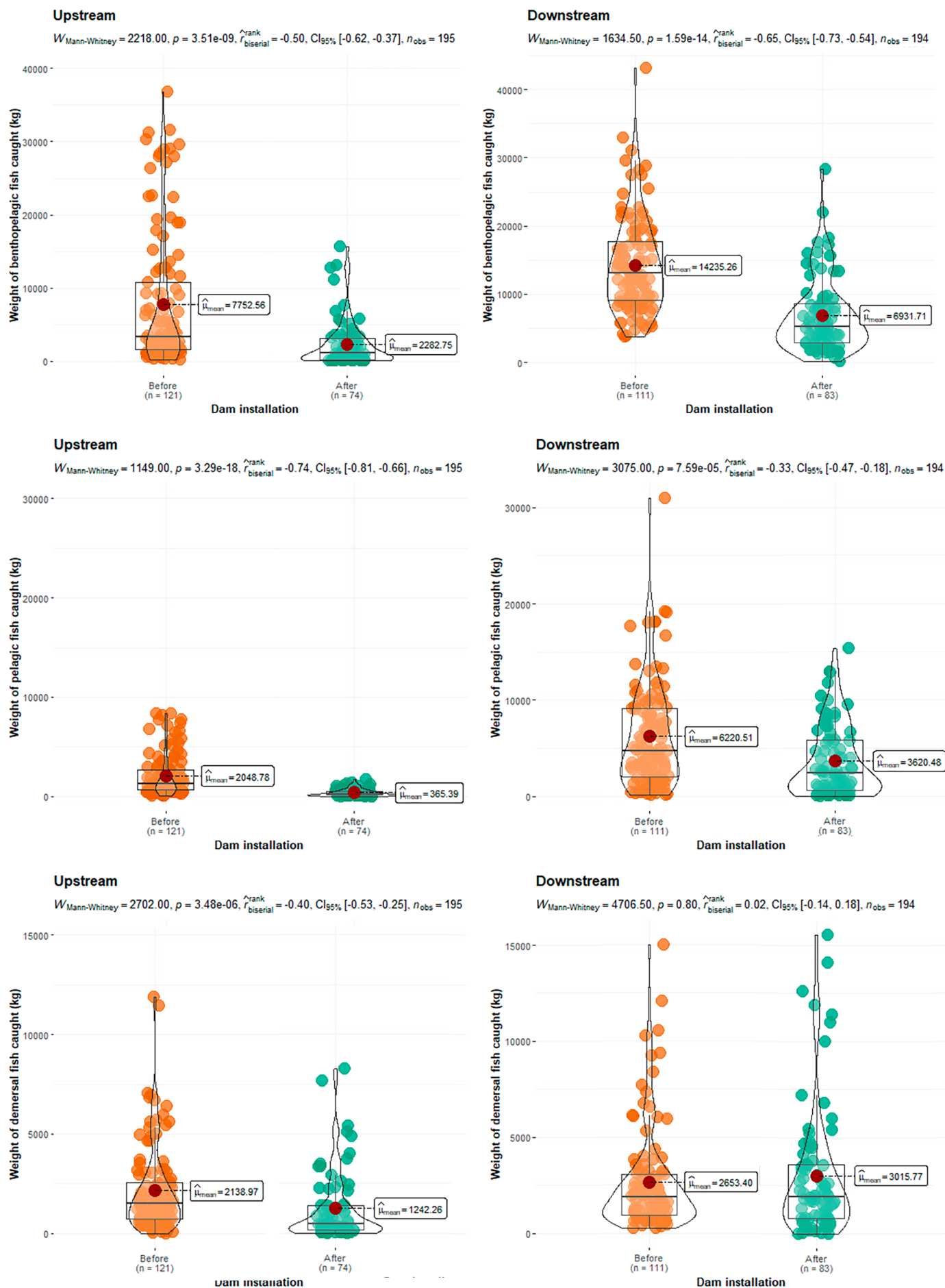


Figura 3: Box violin dos habitats dos peixes coletados a jusante e montante das UHEs do Rio Madeira.

3.3. Composição do pescado do Rio Madeira

A composição dos pescados capturados pelo Rio Madeira após a implementação das barragens construídas pelas usinas hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau, ainda não teve grandes alterações, o maior impacto foi na quantidade de pescado desembarcado nos portos. Na PERMANOVA rodada para os dados analisados, foi observado que a composição do pescado desembarcados nos portos após a implementação dessa barreira física não teve grande alteração ($R^2 = 0.04699$; $F = 22.734$; $p = 0.001$). As composições dos pescados das regiões a montante e a jusante apresentaram heterogeneidade dos grupos ($R^2 = 0.15518$; $F = 75.079$; $p = 0.001$).

Na análise de NMDs, foi observada a diminuição da composição dos pescados do Rio Madeira após seu barramento, em 2011. Os pescados desembarcados no Porto de Guajará-Mirim a montante, não tiveram distinção das comunidades após a construção das UHEs, mas houve a diminuição das comunidades após a incorporação desse fator de estresse. Para os habitats das espécies analisadas, os vetores indicam que todos sofreram impactos importantes, entretanto, o grupo bentopelágico foi o que teve maiores mudanças com as usinas em operação. Os grupos migratórios, os vetores dos grupos de migração regional e de longa-distância foram maiores, indicando maior importância a esses indivíduos (Fig.4).

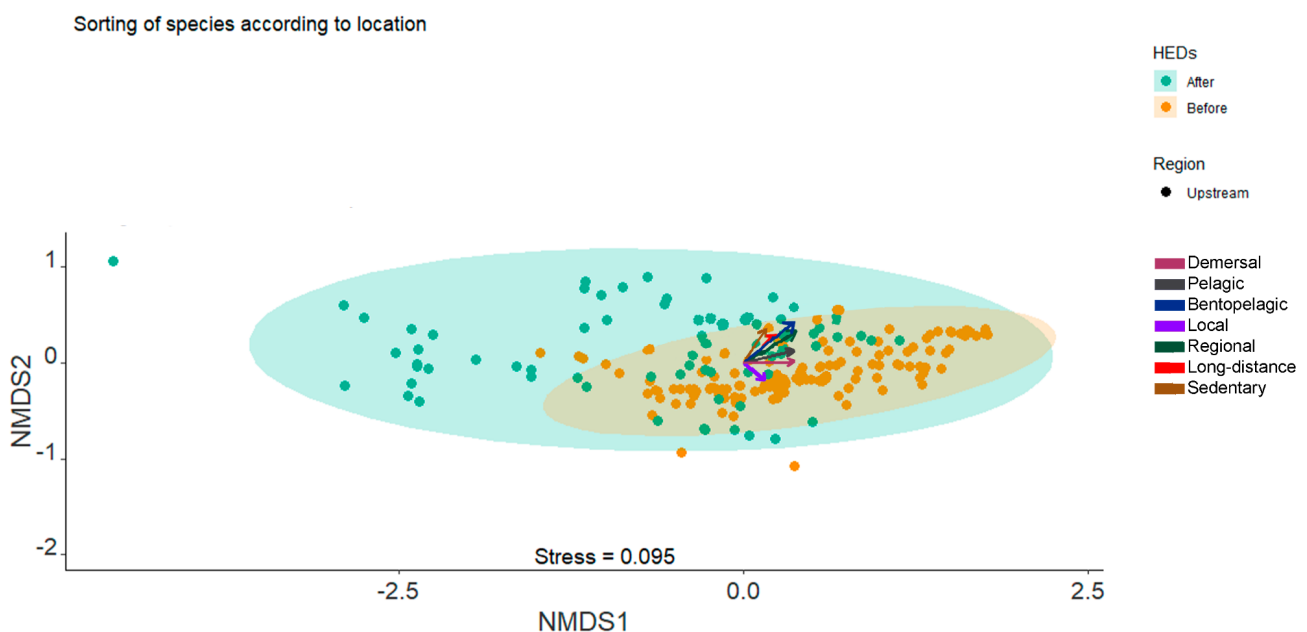


Figura 4: Escalonamento multidimensional não dimensional (NMDs) para a Montante antes e após construção das UHEs no Rio Madeira e a ordenação das espécies por atributo funcional.

No Porto de Humaitá, a jusante, a composição dos pescados desembarcados não teve alterações, mas houve a diminuição nos quilos coletados de peixes igualmente a montante. As espécies que habitam as áreas bentopelágicas e pelágicas, os vetores demonstram que estas têm maior importância, portanto o impacto sobre essas regiões foi superior. Os grupos migratórios de longa-distância e regionais, através dos vetores, foi possível determinar que estes foram os de maior importância na região a jusante, sendo os mais impactados pela operação das usinas. Dessa forma, esses grupos são os mais vulneráveis e afetados pelo uso de hidrelétricas na região da bacia do Rio Madeira (Fig. 5).

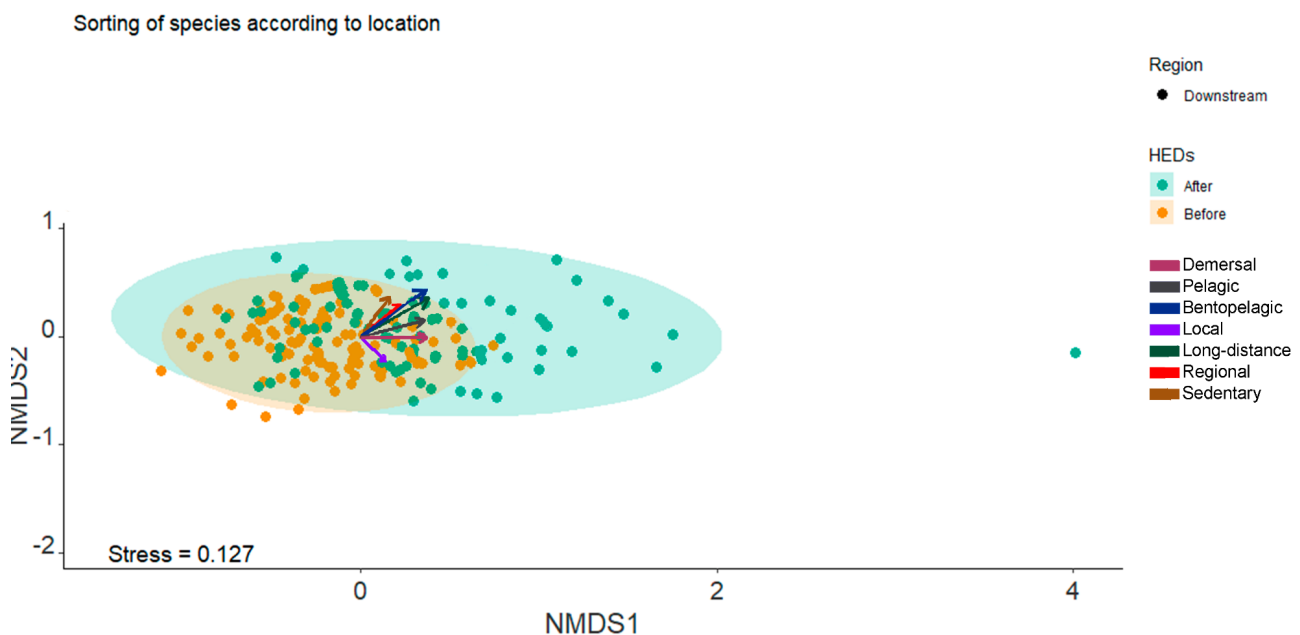


Figura 5: Escalonamento multidimensional não dimensional (NMDs) para a Jusante antes e após a construção das UHEs no Rio Madeira e a ordenação das espécies por atributo funcional.

As modificações dos rios por ações antrópicas alteram as comunidades aquáticas ao longo dos anos, levando a uma nova estruturação dessas comunidades, onde as espécies mais vulneráveis tendem a diminuir e desaparecer (Daufresne & Boet, 2007; Franchi, et al., 2014; Gehrke, Gilligan, Barwick, 2002). Neste estudo, foi possível observar alterações nas duas características funcionais analisadas, sendo os grupos mais vulneráveis ao barramento do rio pelas usinas hidrelétricas as espécies de migração regional e de longa-distância; e os de habitats bentopelágicos e pelágicos. Os resultados são semelhantes para ambas as regiões do Rio Madeira, a jusante e a montante.

4. Conclusão

Os resultados indicam que o desembarque de pescados nos portos de Humaitá e Guajará-Mirim diminuíram drasticamente após a implantação das hidrelétricas no Rio Madeira. Os grupos de migração regional e que habitam as regiões bentopelágicas foram os que exibiram as maiores alterações e declínio após o barramento do Rio Madeira, sendo os grupos mais vulneráveis às alterações do ambiente. A construção de hidrelétricas pelos rios amazônicos leva a alterações das rotas migratórias dos peixes e também mudanças em seus habitats.

As espécies que apresentaram maior declínio de desembarque foram aquelas de maior interesse comercial na Amazônia, afetando de forma direta as populações ribeirinhas e populações tradicionais que dependem do bom estado de conservação do ambiente da região onde vivem para que tenham acesso a fonte alimentar de qualidade e de renda.

Os resultados apresentados neste trabalho indicam a necessidade da revisão e melhoria da gestão ambiental e dos planos de ações que são adotadas pelas hidrelétricas, para que o impacto ambiental resultante das ações desses empreendimentos sejam minimizados ou extinguidos e que tenha compensação ambiental pelos impactos já ocasionados pelas usinas. Além da necessidade de novos planos a serem desenvolvidos a fim de apoiar a população de pescadores que foram afetados pela diminuição da sua fonte de renda.

5. Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Laboratório de Interações Fauna e Floresta (LaIFF) e ao Núcleo de pesquisas em ecossistemas tropicais (NuPEco Tropic) que deram todo o apoio necessário para que esta pesquisa fosse realizada. Também agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas pela disposição de apoio financeiro (EDITAL 005/2022)

Referências

- Amazon Fish, 2022. Amazonian Freshwater Fish Biodiversity. Amazon Fish Project. <https://www.amazon-fish.com/about>. (accessed 27 May 2022).
- Arantes, C. C., et al., 2019. Impacts of hydroelectric dams on fishes and fisheries in tropical rivers through the lens of functional traits. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 37, 28-40. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.04.009>.
- Arantes, C. C., et al., 2022. Functional responses of fisheries to hydropower dams in the Amazonian Floodplain of the Madeira River. *Journal of Applied Ecology*, 59(3), 680-692. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14082>.
- Arantes, C. C., et al., 2023. Large-scale hydropower impacts and adaptation strategies on rural communities in the Amazonian floodplain of the Madeira River. *Journal of Environmental Management*, 336, 117240. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117240>.
- Alcântara, N. C., et al., 2015. Avaliação do desembarque pesqueiro (2009-2010) no município de Juruá, Amazonas, Brasil. *Biota Amazônia (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota)*, 5(1), 37-42. <https://doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v5n1p37-42>.
- Agostinho, A. A., Pelicice, F. M., & Gomes, L. C., 2008. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian journal of biology*, 68, 1119-1132. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000500019>.
- Agostinho, A. A., et al., 2016. Fish assemblages in Neotropical reservoirs: Colonization patterns, impacts and management. *Fisheries Research*, 173, 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2015.04.006>.
- Bagher, A. M., et al., 2015. Hydroelectric energy advantages and disadvantages. *American Journal of Energy Science*.
- BEN, 2022. Balanço Energético Nacional, Relatório Final. Página 12 - 15, vol. 1 em Ministério de Minas e Energia.
- Bondarev, D., et al., 2023. Temporal dynamics of the fish communities in the reservoir: The influence of eutrophication on ecological guilds structure. *Ichthyological Research*, 70(1), 21-39. <https://doi.org/10.1007/s10228-021-00854-x>
- Bunt, C. M., Castro-Santos, T., & Haro, A., 2012. Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration. *River Research and Applications*, 28(4), 457-478. <https://doi.org/10.1002/rra.1565>

Daufresne, M., & Boet, P. 2007. Climate change impacts on structure and diversity of fish communities in rivers. *Global Change Biology*, 13(12), 2467-2478. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01449.x>

Demirbaş, A., 2006. Global renewable energy resources. *Energy sources*, 28(8), 779-792. <https://doi.org/10.1080/00908310600718742>

Duponchelle, F., I., et al., 2021. Conservation of migratory fishes in the Amazon basin. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31(5), 1087-1105. <https://doi.org/10.1002/aqc.3550>

Doria, C. R. et al., 2012. The Commercial fisheries of the Madeira river basin in the Rondônia state, Brazilian Amazon. Páginas 29 - 40, vol. 42 em *Acta Amazonica*. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000100004>

Doria, C. R. & Lima, M. A. L., 2015. Rio Madeira: seus peixes e sua pesca. *Porto Velho: EDUFRO/RIMA Editora*, pp.07-158.

Doria, C. R., et al., 2021. Stakeholder Perceptions on the Governance of Fisheries Systems Transformed by Hydroelectric Dam Development in the Madeira River, Brazil. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 575514. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.575514>.

EIA/RIMA, 2005. Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental das Hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau. vol. 1. *Odebrecht*.

Fearnside, P. M., 2014. Impacts of Brazil's Madeira River dams: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. Páginas 164 - 172, vol. 38 em *Environmental Science & Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.11.004>.

Franchi, E., Carosi, A., Ghetti, L., Giannetto, D., Pedicillo, G., Pompei, L., & Lorenzoni, M. (2014). Changes in the fish community of the upper Tiber River after construction of a hydro-dam. *Journal of Limnology*, 73(2). <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2014.876>

Freitas, H. C. P., Doria, C. R. C, & Sousa, R. G. C., 2020. Hydroelectric dams from Madeira river seasonally impacts the fisheries production in the Guaporé basin (Rondônia, Brazil). *Boletim do Instituto de Pesca*, 46(4). <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2020.46.4.601>

Freire, J. C. A., et al., 2017. Influence of the Amazon Hydrological Regime on Eutrophication Indicators of a Hydroelectric Power Plant Reservoir. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 98, 677-681. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2030-9>.

Floeter, S. R., et al., 2018. Phylogenetic perspectives on reef fish functional traits. *Biological Reviews*, 93(1), 131-151. <https://doi.org/10.1111/brv.12336>.

Gehrke, P. C., Gilligan, D. M., & Barwick, M. 2002. Changes in fish communities of the Shoalhaven River 20 years after construction of Tallowa Dam, Australia. *River Research and Applications*, 18(3), 265-286. <https://doi.org/10.1002/rra.669>.

Goulding, M., Barthem, R., & Ferreira, E. J. G., 2003. The Smithsonian atlas of the Amazon. Smithsonian Institution.

Haddad, Nick M. et al., 2008. Species' traits predict the effects of disturbance and productivity on diversity. *Ecology letters*, pp. 348 - 356, vol. 11, n. 4. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01149.x>.

Haraldstad, T., et al., 2019. Migratory passage structures at hydropower plants as potential physiological and behavioural selective agents. *Royal society open science*, 6(11), 190989. <https://doi.org/10.1098/rsos.190989>

Hoeinghaus, D. J., Winemiller, K. O., & Birnbaum, J. S., 2007. Local and regional determinants of stream fish assemblage structure: inferences based on taxonomic vs. functional groups. *Journal of Biogeography*, 34(2), 324-338. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01587.x>.

IBGE, 2023. Cidades. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/humaita/panorama>.(accessed 10 January 2023).

Liu, S., et al., 2013. Assessing the impact of hydroelectric project construction on the ecological integrity of the Nuozhadu Nature Reserve, southwest China. Páginas 1709 - 1718, vol. 27 em *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*.

Lima, A. C., et al., 2018. Using a trait-based approach to measure the impact of dam closure in fish communities of a Neotropical River. *Ecology of Freshwater Fish*, 27(1), 408-420.

Melo, T., Torrente-Vilara, G., & Röpke, C. P., 2019. Flipped reducetarianism: A vegan fish subordinated to carnivory by suppression of the flooded forest in the Amazon. *Forest Ecology and Management*, 435, 138-143. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.12.050>.

Mouillot, David et al., 2013. A functional approach reveals community responses to disturbances. *Trends in ecology & evolution*, pp. 167 - 177, vol. 28, n. 3. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.004>.

Oliveira, A. G., et al., 2018. Long-term effects of flow regulation by dams simplify fish functional diversity. *Freshwater Biology*, 63(3), pp. 293-305. <https://doi.org/10.1111/fwb.13064>.

Palacio-Núñez, J., et al., 2007. Birds and fish as bioindicators of tourist disturbance in springs in semi-arid regions in Mexico: a basis for management. *Animal Biodiversity and Conservation*, pp. 29 - 41, vol. 20. <https://raco.cat/index.php/ABC/article/view/71556>.

Pestana, I. A., et al., 2019. The impact of hydroelectric dams on mercury dynamics in South America: A review. *Chemosphere*, pp. 546 - 556, vol. 219. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.035>.

Pimm, S. L., et al., 2014. The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *science*, pp. 1246752, vol. 344, n. 6187. <https://doi.org/10.1126/science.1246752>.

Kahn, J. R., Freitas, C. E., & Petrere, M., 2014. False shades of green: the case of Brazilian Amazonian hydropower. *Energies*, pp. 6063 - 6082, vol. 7, n.9. <https://doi.org/10.3390/en7096063>

Jenkins, H., 2004. Corporate social responsibility and the mining industry: conflicts and constructs. *Corporate social responsibility and environmental management* pp. 23 - 34, vol. 1, n. 1. <https://doi.org/10.3390/en7096063>.

Jirau Energia, 2021 Conheça a UHE – Jirau Energia. <https://www.jirauenergia.com.br/conheca-a-uhe/> (accessed 21 March 2022).

R Core Team, 2022. R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

Santos, R. E., et al., 2018. The decline of fisheries on the Madeira River, Brazil: The high cost of the hydroelectric dams in the Amazon Basin. *Fisheries management and ecology*, pp. 280 - 391, vol. 25, n.5. <https://doi.org/10.1111/fme.12305>.

Santos, R. E., et al., 2020. Damming Amazon Rivers: Environmental impacts of hydroelectric dams on Brazil's Madeira River according to local fishers' perception. *Ambio*, pp. 1612 - 1628, vol. 49, n. 10. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01316-w>

Santo Antônio Energia, 2018. Hidrelétrica Santo Antônio Energia. Disponível em: <https://www.santoantonioenergia.com.br/sustentabilidade/programas-socioambientais/> (accessed 07 may 2022).

Scruton, D. A., et al., 2008. A synopsis of 'hydropeaking' studies on the response of juvenile Atlantic salmon to experimental flow alteration. *Hydrobiologia*, pp. 263 - 275, vol. 609, n. 1. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9409-x>

Souza, A., J., Hortellani, M. A., & de Souza, J. E. S., 2019. Organotropism of total mercury (THg) in *Cichla pinima*, ecological aspects and human consumption in fish from Amazon region,

Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, pp. 21363-21370. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05303-x>.

Sousa, R. G. C., de Freitas, H. C. P., Zacardi, D. M., and Faria-Junior, C. H. 2021. Effects of river dams on the fish guilds in the northwest region of the Brazilian Amazon. *Fish. Res.* 243, 106091. doi:10.1016/j.fishres.2021.106091

Turgeon, K., Turpin, C., & Gregory-Eaves, I., 2019. Dams have varying impacts on fish communities across latitudes: a quantitative synthesis. *Ecology Letters*, 22(9), pp. 1501-1516. <https://doi.org/10.1111/ele.13283>.

Timpe, K., & Kaplan, D., 2017. The changing hydrology of a dammed Amazon. *Science Advances*, pp. e1700611, vol. 3, n. 11. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700611>.

Violle, C., et al., 2007. Let the concept of trait be functional!. *Oikos*, pp. 882 - 892, vol. 116, n. 5. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x>.

UN, 2022. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division . *World Population Prospects 2022: Summary of Results*. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3.

Wainwright, Peter C., 1994. Functional morphology as a tool in ecological research. *Ecological morphology: integrative organismal biology*, pp. 59, vol. 42.

Zhong, Y., & Power, G., 1996. Environmental impacts of hydroelectric projects on fish resources in China. *Regulated Rivers: Research & Management*, 12(1), pp. 81-98. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1646\(199601\)12:1%3C81::AID-RRR378%3E3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1646(199601)12:1%3C81::AID-RRR378%3E3.0.CO;2-9)

Material Suplementar

Espécies	Desembarque (kg)				Migração	Habitat
	BHD	AHD	Diferença (kg)	Diferença (%)		
Acará						
<i>Astronotus crassipinnis</i>	403	1,447	+ 1,044	+ 259.05	Local	Bentopelágico
<i>Aequidens tetramerus</i>						
<i>Satanoperca acuticeps</i>						
Apapá						
<i>Pellona castelnaesana</i>	249	1,017	+ 768	+ 308.43	Local	Pelágico
<i>P. flavipinni</i>						
Babão						
<i>Brachyplatystoma platynemum</i>	21	676	+ 655	+ 3,119.04	Longa-distância	Demersal
Barba-chata	1219	7788	+ 6569	+ 538,88	Local	Demersal
<i>Pirirampus pirinampu</i>						
Bodó						
<i>Hypostomus</i> sp.	50,685	17,682	- 33,003	- 65.11	Local	Demersal
<i>Pseudorinelepis genibarbis</i>						
Branquinha						
<i>Potamorhina latior</i>	5,196	21,406	+ 16,210	+ 311.97	Local	Bentopelágico
<i>P. altamazonica</i>						
Cachorra	178	751	+ 573	+ 321.91	Regional	Bentopelágico
<i>Hydrolycus scomberoides</i>						
Coroatá	56	64	+ 8	+ 14.28	Regional	Demersal
<i>Platynemataichthys notatus</i>						
Cubiu	44,490	1,998	- 42,492	- 95.50	Local	Pelágico
<i>Anodus elongatus</i>						
Cuiú-cuiú	41,122	2,288	- 38,834	- 94.43	Local	Demersal
<i>Oxydoras niger</i>						
Curimatã	445,360	29,407	- 415,953	- 93.4	Regional	Bentopelágico
<i>Prochilodus nigricans</i>						
Dourada						
<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>	14,468	1,302	- 13,166	- 91.00	Longa-distância	Demersal
Filhote						
<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	120,307	14,117	- 106,190	- 88.26	Longa-distância	Demersal
Jaraqui	148,047	4,654	- 143,393	- 96.85	Regional	Bentopelágico
<i>Semaprochilodus insignis</i>						
Jatuarana/Matrinxã						
<i>Brycon amazonicus</i>	27,276	4,222	- 23,054	- 84.52	Regional	Bentopelágico
<i>B. melanopterus</i>						
<i>B. falcatus</i>						
Jaú	54,095	8,103	- 45,992	- 85.02	Regional	Demersal
<i>Paulicea luetkeni</i>						
Jundiá	0	11	+ 11	0	Local	Bentopelágico
<i>Rhamdia quelen</i>						
Jurupoca	184	468	+ 284	+ 154.34	Local	Demersal
<i>Hemisorubim platyrhynchos</i>						

Lambari <i>Astyanax</i> spp.	9	603	+ 594	+ 6,600	Local	Bentopelágico
Mandi <i>Pimelodus</i> sp.	0	12	+ 12	0	Local	Demersal
Mandubé <i>Ageneiosus brevifilis</i>	977	6,980	+ 6,003	+ 614.43	Longa-distância	Demersal
Mapará <i>Hypophthalmus</i> spp.	134	6,451	+ 6,317	+ 4,714.18	Local	Pelágico
Pacu <i>Mylossoma</i> spp.	2,115	3,954	+ 1,839	+ 86.95	Local	Pelágico
Peixe-lenha <i>Sorubimichthys planiceps</i>	0	143	+ 143	0	Local	Demersal
Pescada <i>Pachypops fourcroy</i> <i>Plagioscion squamosissimus</i>	1,246	8,733	+ 7,487	+ 600.88	Local	Bentopelágico
Piau <i>Schizodon fasciatus</i> <i>Leporinus</i> spp.	61,432	4,441	- 56,991	- 92.77	Longa-distância	Bentopelágico
Pintado <i>Pseudoplatystoma</i> spp.	113,576	35,098	- 78,478	- 69.1	Longa-distância	Demersal
Piranha <i>Serrasalmus</i> sp.	26,520	5,182	- 21,338	- 80.46	Local	Pelágico
Pirapitinga <i>Piaractus brachypomus</i>	113,655	3,304	- 110,351	- 97.10	Regional	Pelágico
Pirarara <i>Phractocephalus hemioliopterus</i>	45,692	25,141	- 20,551	- 44.97	Local	Demersal
Pirarucu <i>Arapaima gigas</i>	169,536	87,189	- 82,347	- 48.57	Local	Demersal
Traira <i>Hoplias malabaricus</i>	623	4,209	+ 3,586	+ 575.60	Sedentário	Bentopelágico
Tucunaré <i>Cichla</i> spp.	226,139	44,374	- 181,765	- 80.37	Sedentário	Bentopelágico

Tabela 2²: Distribuição taxonômica dos grupos de peixes desembarcados no Porto de Guajará-Mirim.

² BH: “Before Hydroelectric”; AH: “After Hydroelectric”. As características funcionais são características biológicas que podem ser mensuráveis e levar a compreensão das interações presentes no ambiente (Floeter, et al., 2018). Por isso, neste trabalho foi utilizada a forma de migração dos peixes, uma característica que pode dividir os peixes em grupos para avaliação e sendo, a migração um dos fatores biológicos mais afetados com a construção de barragens (Moiullot, et al., 2013; Violle, et al., 2017). O habitat de preferência das espécies foi outro atributo analisado, onde também pode dividir os pescados em grupos e avaliar alterações desses grupos pelas mudanças físicas do rio decorrentes das UHEs (Haddad, et al., 2008).

Espécies	Desembarque (kg)		Diferença (kg)	Diferença (%)	Migração	Habitat
	BHD	AHD				
Acará						
<i>Astronotus crassipinnis</i>	25,124	20,206	- 4,918	- 19.58	Local	Bentopelágico
<i>Aequidens tetramerus</i>						
<i>Satanoperca acuticeps</i>						
Apapá						
<i>Pellona castelnaeana</i>	263	847	+ 584	+ 222.05	Local	Pelágico
<i>P. flavipinni</i>						
Aruaná	57,890	21,469	- 36,421	- 62.91	Local	Bentopelágico
<i>Osteoglossum bicirrhosum</i>						
Babão						
<i>Brachyplatystoma platynemum</i>	13,465	14,615	+ 1,150	+ 8.54	Longa-distância	Demersal
Bacú	2,237	2,702	+ 465	+ 20.78	Local	Demersal
<i>Platydoras costatus</i>						
Barba-chata	7,764	5,837	- 1,927	- 24.82	Local	Demersal
<i>Pirirampus pirinampu</i>						
Bodó						
<i>Hypostomus sp.</i>	46,013	24,818	- 21,195	- 46.06	Local	Demersal
<i>Pseudorinelepis genibarbis</i>						
Branquinha						
<i>Potamorhina latior</i>	322,480	64,214	- 258,266	- 80.09	Local	Bentopelágico
<i>P. altamazonica</i>						
Cubiu	0	1,948	+ 1,948	0	Local	Pelágico
<i>Anodus elongatus</i>						
Cuiú-cuiú	1,235	3,472	+ 2,237	+ 181.13	Local	Demersal
<i>Oxydoras niger</i>						
Curimatã	368,121	139,794	- 228,327	- 62.02	Regional	Bentopelágico
<i>Prochilodus nigricans</i>						
Dourada						
<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>	45,923	26,881	- 19,042	- 41.46	Longa-distância	Demersal
Filhote						
<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	21,607	14,505	- 7,102	- 32.86	Longa-distância	Demersal
Jandiá	1,972	764	- 1,208	- 61.25	Longa-distância	Demersal
<i>Leiarius marmoratus</i>						
Jaraqui	305,172	117,939	- 187,233	- 61.35	Regional	Bentopelágico
<i>Semaprochilodus insignis</i>						
Jatuarana/Matrinã						
<i>Brycon amazonicus</i>	258,795	76,364	- 180,431	- 70.50	Regional	Bentopelágico
<i>B. melanopterus</i>						
<i>B. falcatus</i>						
Jaú	4,519	7,028	+ 2,509	+ 55.52	Regional	Demersal
<i>Paulicea luetkeni</i>						
Jeju	101	62	- 37	- 38.61	Sedentário	Pelágico

<i>Hoplerythrinus unitaeniatus</i>						
Mandi	570	1,943	+ 1,373	+ 240.87	Local	Demersal
<i>Pimelodus</i> sp.						
Mapara	9,927	781	- 9,146	- 92.13	Local	Pelágico
<i>Hypophthalmus</i> spp.						
Pacu	583,411	243,241	- 340,170	- 58.30	Local	Pelágico
<i>Mylossoma</i> spp.						
Peixe-cachorro						
<i>Acestrorhynchus falcatus</i>	994	836	- 158	- 15.90	Local	Bentopelágico
<i>A. falcirostris</i>						
Peixe-lenha	4,296	2,252	- 2,044	- 47.58	Local	Demersal
<i>Sorubimichthys planiceps</i>						
Pescada						
<i>Pachypops fourcroi</i>	9,160	8,212	- 948	- 10.35	Local	Bentopelágico
<i>Plagioscion squamosissimus</i>						
Piau						
<i>Schizodon fasciatus</i>	37,994	26,069	- 11,925	- 31.38	Longa-distância	Bentopelágico
<i>Leporinus</i> spp.						
Pintado	130,412	104,175	- 26,237	- 20.11	Longa-distância	Demersal
<i>Pseudoplatystoma</i> spp.						
Pirambutaba	2,973	1,796	- 1,177	- 39.59	Longa-distância	Demersal
<i>Brachyplatistoma vaillantii</i>						
Piranha	16,307	14,618	- 1,689	- 10.35	Local	Bentopelágico
<i>Serrasalmus</i> sp						
Pirapitinga	42,474	12,934	- 29,540	- 69.54	Regional	Bentopelágico
<i>Piaractus brachypomus</i>						
Pirarara						
<i>Phractocephalus hemioliopus</i>	42,933	38,602	- 4,331	- 10.08	Local	Demersal
Sardinha						
<i>Triportheus auritus</i>	81,368	49,345	- 32,023	- 39.35	Local	Bentopelágico
<i>T. angulatus</i>						
Tamoatá	39,201	42,041	+ 2,840	+ 7.24	Sedentário	Demersal
<i>Hoplosternum litorale</i>						
Traíra	12,649	6,875	- 5,774	- 45.64	Sedentário	Bentopelágico
<i>Hoplias malabaricus</i>						
Tucunaré	54,354	19,191	- 35,163	- 64.70	Sedentário	Bentopelágico
<i>Cichla</i> spp.						

Tabela 2: Distribuição taxonômica dos grupos de peixes desembarcados no Porto de Humaitá.

Considerações finais

Ao finalizar este estudo, é possível demonstrar a falha em toda a sequência de implantação dos programas socioambientais atuais das usinas hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau na Bacia do Rio Madeira. Os programas socioambientais adotados pelas UHEs tinham por objetivo a mitigação do impacto ambiental e social e para tal, obtiveram investimentos de bilhões de reais.

Todavia, os programas se apresentam imprecisos e sem resultados já que não existe mitigação de impacto ambiental e nem mesmo social, a queda do pescado nas regiões onde o Rio Madeira deságua demonstra tal erro. Além disso, a sociedade ribeirinha dessas áreas se encontra em estado vulnerável sem apoio ou ressarcimento financeiro das empresas, já que o peixe é a fonte primária de renda e alimentar.

É necessário que as empresas hidrelétricas tenham maior contato com a população, para que os planos estejam alinhados com a real necessidade dessas pessoas. A partir deste trabalho, deixamos recomendado que periodicamente exista uma reavaliação dos planos socioambientais que vêm sendo adotados pelas usinas, para que estas acompanhem as mudanças ambientais e supram as carências ambientais da bacia do Rio Madeira. Dessa forma, esperamos que com este trabalho, as futuras tomadas de decisões para a construção de Usinas Hidrelétricas na Amazônia Brasileira tragam planos socioambientais mais bem definidos para as reais necessidades do ambiente e da população local; e que estes tenham mitigação do impacto trazido por estes mega empreendimentos.