



Universidade de Brasília

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais
Faculdade UnB Planaltina (FUP)

**Acesso Remoto a Dados de Sonar – Monitoramento de
Ictiofauna no Setor Hidrelétrico**

Alexandre Silva dos Santos

Orientador

Prof. Dr. Luiz Fabrício Zara

PLANALTINA - DF

2022

Universidade de Brasília — UnB
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais
Faculdade UnB Planaltina (FUP)
Mestrado em Ciências Ambientais

Coordenadora: Prof. Dr.^a Erina Vitório Rodrigues

Banca examinadora composta por:

Prof. Dr. Luiz Fabrício Zara (Orientador) — FUP/UnB

Prof. Dr. Luiz Felipe Salemi — FUP/UnB

Prof. Dr. Felipe André dos Santos — FCE/UNESP

CIP — Catalogação Internacional na Publicação

dos Santos, Alexandre Silva.

Acesso Remoto a Dados de Sonar – Monitoramento de Ictiofauna no Setor Hidrelétrico / Alexandre Silva dos Santos. Brasília:

UnB, 2022.

101 p. : il. ; 29,5 cm.

Dissertação (Mestrado) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

1. Hidrelétricas, 2. Sonar, 3. Acesso remoto, 4. Ictiofauna, 5. Impactos ambientais

CDU 004.4

Endereço: Universidade de Brasília Campus
Planaltina — PPGCA
Área Universitária 1, Vila Nossa Senhora de Fátima
CEP 73345-010
Brasília—DF — Brasil



Universidade de Brasília

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais
Faculdade UnB Planaltina (FUP)

Acesso Remoto a Dados de Sonar – Monitoramento de Ictiofauna no Setor Hidrelétrico

Alexandre Silva dos Santos

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais

Prof. Dr. Luiz Fabrício Zara (Orientador)
FUP/UnB

Prof. Dr. Luiz Felipe Salemi
FUP/UnB

Prof. Dr. Felipe André dos Santos
FCE/UNESP

Prof. Dr.^a Erina Vitório Rodrigues
Coordenadora do Mestrado em Ciências Ambientais

Planaltina - DF, 24 de fevereiro de 2022

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, Vilson e Solange, por terem me dado seu amor, carinho e educação. Aos meus filhos Maria Luísa e Tomás, por serem minha luz e sempre me motivarem com a alegria deles, e a minha querida e amada esposa, Ana Flávia, que me apoiou, deu suporte e teve paciência em todos os momentos dessa árdua caminhada. Sem ela, essa nova conquista jamais seria possível.

Finalmente, ao amigo, professor e orientador Antônio Felipe Couto Júnior, por acreditar em mim e abrir muitas portas para o meu crescimento profissional e humano. Neste momento, ele alegra o céu com sua risada e o alto astral que sempre emanava.

Agradecimentos

Ao longo do caminho muitas pessoas me ajudaram e possibilitaram este grande aprendizado, meu crescimento profissional e principalmente pessoal. Finalizo o mestrado sabendo mais sobre algumas coisas, e tendo a certeza que sei absolutamente nada sobre dezenas, centenas de outras coisas. Isso me motiva a continuar na caminhada de crescimento e buscar novas fontes de saber.

Primeiramente, agradeço ao meu irmão Eduardo Silva dos Santos, pela interface do sistema, ficou ótima. Também aos amigos e parceiros de trabalho: Alessandra Analu Moreira da Silva, Clarissa Jahns Schlabit, Glauber das Neves, Lucas Cardoso Cherigath, Patrícia Pereira Alves e Rafael Yoo. Muito obrigado pelo incentivo nos estudos e pelo suporte nos momentos que estive ausente.

Segundo, e não menos importantes, agradecer ao meu orientador Luiz Fabrício Zara e ao professor Julio Rocha, por todo trabalho desenvolvido, a parceria na coleta das informações em campo e todas as revisões de texto. Sem este esforço conjunto o trabalho não aconteceria.

Finalmente, agradeço imensamente a Universidade de Brasília (UnB) – Campus Planaltina, a empresa Venturo Consultoria Ambiental e ao Projeto regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL e desenvolvido no âmbito do Programa P&D da Energia Sustentável do Brasil S.A.

P&D: 06631-0009/2019

Contrato Jirau 076/19



Resumo

O presente trabalho apresenta as atividades de levantamento de requisitos, projeto, prova de conceito e desenvolvimento de uma solução de acionamento remoto e automação de equipamentos de SONAR - *Sound, Navigation and Ranging*. O uso de tecnologias baseadas em sonar torna possível o mapeamento de grandes áreas em um tempo relativamente curto, ao mesmo tempo em que obtém informações ricas e georreferenciadas para qualquer local das imagens obtidas. Paralelo a isso, o crescimento da matriz hidrelétrica no Brasil causa impactos reais aos ecossistemas hídricos, principalmente, nas proximidades das Usinas Hidrelétricas (UHE). Minimizar os impactos ambientais na ictiofauna próximo as UHE é um fato e o uso do sonar para monitorar a ictiofauna dessas regiões é uma opção viável. Entretanto, o alcance de pesquisadores a determinadas áreas de UHE muitas vezes é complexo e trabalhoso sendo muitas vezes uma atividade de difícil execução. Para minimizar essa complexidade, foi feito um mapeamento de atividades de campo na UHE de Jirau. O foco do estudo esteve nas operações que visam minimizar impactos na ictiofauna. O resultado do estudo foi uma proposta de automação do uso do sonar. A ideia foi possibilitar o acionamento e a operação do aparelho remotamente nos casos de instalação e monitoramento de pontos fixos, como vertedouros, sistemas de transposição de peixes (STP), cordões de isolamento como o *Log Boom* e comportas das unidades geradoras (UG) quando em manutenção. Para alcançar este objetivo foi projetado e construído um hardware de baixo custo, em conjunto com o desenvolvimento de um software de código livre e aberto. Ao final, tudo foi disponibilizado em um sistema de acesso pela web.

Palavras-chave: Hidrelétricas, sonar, acesso remoto, ictiofauna, impactos ambientais

Abstract

The present work presents the activities of requirements gathering, design, proof of concept, and development of a solution for remote activation and automation of sonar equipment - Sound, Navigation, and Ranging. The use of sonar-based technologies makes it possible to map large areas in a relatively short time, while obtaining rich, georeferenced information for any location from the images obtained. Parallel to this, the growth of the hydroelectric matrix in Brazil causes real impacts to the water ecosystems, mainly in the vicinity of the Hydroelectric Power Plants (UPE). Minimizing the environmental impacts on the ichthyofauna near the HPP is a fact, and the use of sonar to monitor the ichthyofauna in these regions is a viable option. However, the reach of researchers to certain areas of HPP is often complex and laborious, being often an activity of difficult execution. To minimize this complexity, a mapping of field activities was carried out at the Jirau HPP. The focus of the study was on operations that aim to minimize impacts on ichthyofauna. The result of the study was a proposal to automate the use of sonar. The idea was to make it possible to activate and operate the device remotely in cases of installation and monitoring of fixed points, such as spillways, fish transposition systems (FTP), insulating cords such as the Log Boom and gates of the generating units (GU) when under maintenance. To achieve this goal, low-cost hardware was designed and built, together with the development of free and open-source software. In the end, everything was made available on a web access system.

Keywords: Hydroelectric plants, sonar, remote access, ichthyofauna, environmental impacts

Sumário

Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Definição do problema	2
1.2.1 <i>Log Boom</i>	4
1.2.2 Vertedouro	6
1.2.3 Sistema de transposição de peixes - STP	6
1.3 Justificativa	7
1.4 Objetivo	8
1.5 Objetivos específicos	8
Capítulo 2 – Proposta Tecnológica.....	9
2.1 Resumo	9
2.2 Abstract	9
2.3 Introdução	10
2.4 Materiais e Métodos	11
2.4.1 Área de estudo	11
2.4.2 Requisitos	12
2.4.3 Tecnologias	12
2.4.4 Projeto	14
2.5 Resultados	15
2.6 Conclusão	16
2.7 Referências	17
Capítulo 3 - Plataforma de Acesso Remoto	19
Capítulo 4 - Integrações, Conclusão e Trabalhos Futuros.....	32
4.1 Software de detecção de peixes	32
4.2 Integração.....	32
Referências.....	35

Lista de Figuras

Figura 1. A esquerda UHE de Belo Monte, Rio Xingu, no Pará com seu reservatório de 478 km ² . A direita UHE Jirau, Rio Madeira, em Rondônia com seu reservatório de 361,6 km ²	3
Figura 2. A) Log Boom instalados em Jirau; B) Vertedouro de troncos em funcionamento; C) Retenção de troncos pela estrutura do Log Boom; D) Estrutura do Log Boom antes da instalação.....	4
Figura 3. A) Vertedouro da UHE Jirau com as comportas fechadas. O monitoramento é feito no vão das comportas em busca de ictiofauna confinada nessa área. B) Detalhe de um dos vãos do vertedouro.....	6
Figura 4. A) Rampa de acesso ao sistema de transposição de peixes. B) Detalhe do elevador do sistema de transposição de peixes.....	7
Figura 5. Localização da Usina Hidrelétrica (UHE) de Jirau. Fonte: ESBR - UHE JIRAU – Institucional.....	12
Figura 6. Proposta Conceitual da Plataforma. Fonte: Autor (2022).....	13
Figura 7. Diagrama esquemático da plataforma de acionamento remoto. (A – Módulo de controle de carga; B- Painel Solar; C- Display SONAR; D- Bateria selada de 12v/7a; E- Módulo GPS USB; F- Sensor de temperatura e humidade interno; G- Sensor de temperatura externo.....	14
Figura 8. Tecnologias de código aberto na criação da plataforma. No centro, existe a Application Programming Interface (API). Camada de serviços que define as regras de funcionamento e leitura do sistema em conjunto com a interface do usuário.....	15
Figura 9. Interface Web da POC: A) Tela inicial do PADS com lista de módulos ativos. No exemplo, apenas um módulo existente, mas a interface foi planejada para N PADS conectados; B) Tela de seleção de módulo e destaque das informações. Leitura das câmeras off.....	15
Figura 10. Sequência de montagem da POC: A) Planejamento de fixação dos componentes; B) Início da fixação na placa mãe; C) Preparo inicial para inserção da placa mãe em sua caixa final; D) Ligação dos módulos principais; E) Acréscimo dos módulos finais e rearranjo interno; F) Fixação dos conectores externos; G) Finalização do módulo principal; H) Adaptação provisória da placa do painel solar; I) Testes de bancada e externo utilizando uma piscina de 6,5 mil litros.....	16
Figura 1. Distribuição das estruturas civis da UHE Jirau. A) Casa de Força 1 (UG01 a UG28); B) Casa de Força 2 (UG29 a UG50); C) Vertedouro (V01 a V18); L1) Sistema de Log Boom / margem direita; L2) Sistema de Log Boom / margem esquerda; TS) Sistema descarregador/transposição de troncos (STT).....	22
Figura 2. Diagrama esquemático da plataforma de acionamento remoto. (A – Módulo de controle de carga (30A 12v 24v Pwm); B - Painel solar (Sinosola 60W); C - Display SONAR (GPSMAP 8612xsv da GARMIN); D. - Bateria selada de 12v/7a (qualquer marca); E. - Módulo antena GPS USB (Timezero Maxsea); F- Sensor de temperatura e humidade interno (código AM2320); G - Sensor de temperatura externo aprova d'água (código DS18B20); H - Módulo de processamento central – RaspberryPie 3B; I - Relay de acionamento; J - Conector de força principal); K - Módulo 4G para acesso à rede 4G (QR91F 4gwifi100M +).....	24

Figura 3. Transdutores hidroacústicos fixados no plano de face da comporta vagão da UHE Jirau, acoplados ao PADS. (9°16'06.7"S 64°38'41.9"W).....	25
Figura 4. Sistema hidroacústico posicionado no eixo transversal ao vão de jusante do vertedouro da UHE Jirau (9°15'55.8"S 64°38'57.9"W).....	25
Figura 5. PADS fixado no sistema de retenção de troncos superficiais (Log Boom) da UHE Jirau (9°15'55.8"S 64°38'57.9"W).....	26
Figura 6. Sequência de montagem do PADS: A) Caixa de montagem em PVC (500mm x 380mm x 200mm) com fecho e dobradiça (instalação de uma alça/puxador para virar uma maleta); B) Perfuração da placa de fixação dos módulos; C) Fixação do conjunto de baterias; D) Perfuração, instalação dos conectores e ligação dos cabos; E) Construção dos cabos externos - placas de painel solar, sensor de temperatura externa e alimentação externa; F) Fixação dos módulos e passagem de cabos e conexões; G) Finalização do módulo principal com a inserção do equipamento de SONAR definitivo (GARMIN GPSMAP 8612xsv); H) Conjunto preparado para acionamento com a maleta aberta; I) Conjunto fechado com ligações e sensores conectados(a esquerda o transdutor; no centro sensor de temperatura externo; a direita o painel solar).....	26
Figura 7. Imagem multifrequencial da movimentação da ictiofauna (círculos vermelhos) no tubo de sucção durante a parada da unidade geradoras utilizando o acesso remoto pela plataforma PADS.....	28
Figura 8. Imagem multifrequencial subaquática na parte interna do vão do vertedouro (esquerda) e no sistema de retenção de troncos superficiais (direita) utilizando o acesso remoto pela plataforma PADS. Os círculos vermelhos indicam a presença e movimentação de ictiofauna.....	29
Figura 19. PADS e SCDP lendo arquivos em um mesmo repositório. Fonte: Autor (2022).....	33
Figura 20. SCDP requisita arquivos para o PADS ao utilizar parâmetros de data e hora. Fonte: Autor (2022).....	33

Lista de Tabelas

Tabela 1. Quantidades diárias de troncos no STT.....	5
Tabela 2. Lista de componentes para montagem da POC/protótipo versão beta.....	13
Tabela 3. Monitoramento de operação do PADS (T _{lmin} = Temperatura interna mínima, T _{lmáx} = Temperatura interna máxima, T _{Emín} = Temperatura externa mínima, T _{Emáx} = Temperatura externa máxima, U _{lmin} = Umidade interna mínima, U _{lmáx} = Umidade interna máxima, V _{máx} = Voltagem máxima, V _{min} = Voltagem mínima e TT = Tempo de Teste; Temperaturas em °C; Umidade em %; Voltagem em Volts –V; Tempo de teste em minutos).....	27
Tabela 4. Informações de captura pela plataforma PADS (Intervalo em minutos; Alcance em metros).....	28

Capítulo 1 - Introdução

“O conceito de desenvolvimento sustentável é bom, mas não basta invocá-lo para que se resolvam os problemas das relações entre a humanidade e a natureza.”
Marc Dourojeanni, 2004

Este trabalho está dividido em 04 (quatro) capítulos que descrevem a análise do tema e as conclusões decorrentes do seu estudo. Essa distribuição visa melhorar o entendimento do assunto como, também, facilitar a consulta de informações relevantes encontradas neste material. Os Capítulos 2 e 3 estão na forma de artigo e trazem em sua essência a prova de conceito e a construção definitiva do aparelho como também sua aplicação em campo. Finalmente, o Capítulo 4 traz as percepções do trabalho desenvolvido, sugestões de integração com outras tecnologias e uma proposta de continuidade deste estudo.

1.1 Contextualização

O sistema elétrico brasileiro é nitidamente um sistema de preponderância hidrelétrica. Destaque para a Região Amazônica, que é a principal escolha para expansão da rede elétrica brasileira. Isso se deve ao esgotamento hidráulico nas demais regiões do Brasil e por essa região ter um grande potencial hídrico a ser explorado. A bacia amazônica eleva significativamente a disponibilidade de recursos hídricos, chegando a 177,9 mil m³/s, e responde por 20% da descarga de água doce do planeta (CORREA, 2019). Além disso, existem as quedas topográficas nos afluentes do rio Amazonas, a partir do Escudo Brasileiro (na parte sul) e do Escudo Guianense (no lado norte). Com esse recurso disponível, o governo pretende expandir a capacidade instalada de 22.757 MW para 75.000 MW até 2030, o que significa um crescimento de 340% (DOS SANTOS et al., 2018). Esses fatores impulsionaram a construção de UHE de fio d'água, ou seja, usinas com menor impacto ambiental, mas que ainda representam grandes desafios para o segmento hidrelétrico em termos de operação, pois são usinas não controláveis, ou seja, se caracterizam pela intermitência e sazonalidade da produção de energia.

Nesta região, três UHE concentram aproximadamente 80% da capacidade hídrica instalada:

- Tucuruí I e II (8.535 MW) - Rio Tocantins no estado do Pará;
- Santo Antônio (2.715 MW) - Rio Madeira no estado de Rondônia; e
- Jirau (3.075 MW) - Rio Madeira no estado de Rondônia.

Destaque especial para as UHE de Santo Antônio e Jirau por serem usinas de baixa queda, denominadas fio d'água, ou seja, não requerem grande área alagada e, portanto, têm um menor impacto ambiental, diferente de Tucuruí I e II, que por possuírem um grande reservatório promove um impacto maior ao ambiente amazônico.

Independente disso, seja com a criação de enormes áreas alagadas, ou de áreas menores com menor impacto ambiental, barragens afetam negativamente mais de 60% dos sistemas fluviais do mundo e seus ciclos de vida degradam o ambiente. Comprometem atividades econômicas a jusante, diminuem a qualidade da água, promovem o assoreamento do corpo hídrico, o aumento de doenças de veiculação hídrica e o deslocamento das populações e atividades localizadas nas áreas afetadas, em resumo, causam impactos nos locais inundados pelo represamento das águas (MORETTO et al., 2012)

A necessidade de mitigação de impactos ambientais é urgente, especialmente nos mais diversos ecossistemas aquáticos, localizados nas proximidades de UHE (WESTPHAL et al., 2016). O uso de tecnologias e equipamentos, como o sonar, tem tornado possível o mapeamento de grandes áreas em um tempo relativamente curto, ao mesmo tempo, obtém coordenadas georreferenciadas das imagens e dos dados obtidos (TORRENTE et al., [s.d.]) e possibilita a condução de estudos e pesquisas de forma mais rica e precisa.

O uso do som para a detecção de objetos em lagos, rios e oceanos tem seus principais avanços a partir do ano de 1912, após o trágico acidente que levou o navio Titanic a pique. Esse evento levou pesquisadores e cientistas a desenvolverem técnicas para a localização de icebergs na tentativa de impedir novos acidentes. O sucesso veio em 1914 quando um objeto foi detectado a cerca de 3km de distância, ou seja, a localização de icebergs era uma realidade. Nascia a hidroacústica, o estudo das técnicas de utilização, transmissão e propagação do som na água e sua penetração nesse meio para a análise e detecção de objetos, vivos ou inertes. Conhecida também como acústica submarina ou acústica subaquática, a hidroacústica está relacionada com outros campos de estudo, dentre eles sonares, transdução, processamento do sinal acústico, acústica oceanográfica, bioacústica e física acústica.

Dos campos citados, a utilização de sonares para a localização, verificação de abundância e análise comportamental da ictiofauna, teve seu início em 1929 (SIMMONDS; MACLENNAN, 2008). As principais vantagens dessa metodologia são: a ictiofauna não é machucada ou sofre interferência quando amostrada; possibilidade de amostragem de grandes áreas em períodos relativamente curtos; dados espaço-temporais de alta resolução e confiabilidade são adquiridos durante a amostragem (PRADO, 2012). A palavra SONAR vem do inglês *Sound, Navigation and Ranging*, que numa tradução literal é “Navegação e Medição de Distância pelo Som”. Essa terminologia foi utilizada pela primeira vez na Segunda Guerra Mundial pelos Estados Unidos da América (JENSEN, 2009). Basicamente, ondas sonoras geradas por um equipamento se propagam pelo corpo d'água até atingirem o alvo e retornam, por meio do eco, ao sistema de origem.

1.2 Definição do problema

Mesmo com todas as vantagens tecnológicas, pesquisadores encontram dificuldades quando trabalham com equipamentos de sonar. Algumas tecnologias de processamento de

imagens dos equipamentos são proprietárias e é necessária a utilização de softwares pagos, ou muitas vezes, de um conjunto de softwares livres para alcançar os devidos tratamentos, como, por exemplo, a remoção de sombras acústicas, a identificação dos leitos d'água, classificação de substrato do leito, a detecção de padrões natatórios da ictiofauna entre outras.

O foco deste estudo é facilitar o mapeamento das áreas de interesse, no caso específico a execução do “campo” nas proximidades de UHE, ou seja, o devido monitoramento da ictiofauna e outros materiais orgânicos (troncos de árvores, macrófitas etc.) nesta área. Como o meio de coleta de informações é hídrico, e ao mesmo tempo fala-se sobre barragens com a finalidade de criar grandes reservatórios (**Figura 1**), as áreas a serem mapeadas são enormes e muitas vezes, mesmo com o aparato tecnológico, as capturas são *in loco* e necessitam do deslocamento em grandes áreas de técnicos especializados no manejo, captura e obtenção dos dados de sonar.

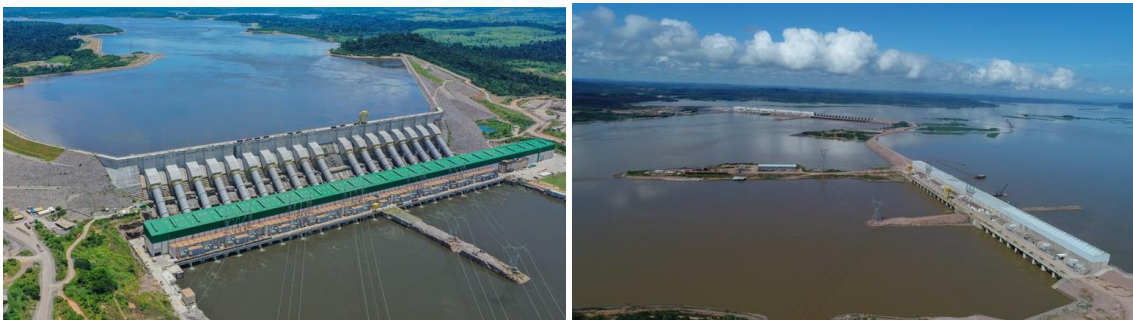


Figura 1. A esquerda UHE de Belo Monte, Rio Xingu, no Pará com seu reservatório de 478 km². A direita UHE Jirau, Rio Madeira, em Rondônia com seu reservatório de 361,6 km².

Fonte: Autor (2022)

Entre os trabalhos de monitoramento feitos na UHE Jirau quatro atividades foram foco de atenção no estudo. A intenção foi avaliar melhorias nestes processos de execução através da tecnologia proposta. Hoje, estas atividades são monitoramentos feitos com equipamentos de sonar como os seguintes: monitorar a ictiofauna e troncos no *Log Boom*, monitorar o confinamento de ictiofauna no vão do vertedouro e nas compartas das UG em operações de manutenção.

1.2.1 Log Boom

O *Log Boom* é um cordão de isolamento que faz parte do STT, e é sua principal estrutura. Constituído de boias em formato de tonéis, serve para sustentar painéis metálicos ou grades que vão desde a superfície da água até a profundidade de aproximadamente dois metros. Preenchidas com isopor, essas boias formam cordões flutuantes e são colocados no reservatório das UHE para interceptar os troncos, galhos e vegetação. As estruturas e dimensões podem variar, mas no geral cada conjunto do *Log Boom* possui boia, gaiola e grade sendo que cada boia tem 1,40 m de diâmetro, 2 m de comprimento e 86 quilos, sendo preenchida com 28 quilos de isopor. A **Figura 2** traz a ideia geral das estruturas citadas e seu funcionamento, e na **Tabela 1** o fluxo de troncos anualmente direcionados pelo sistema.

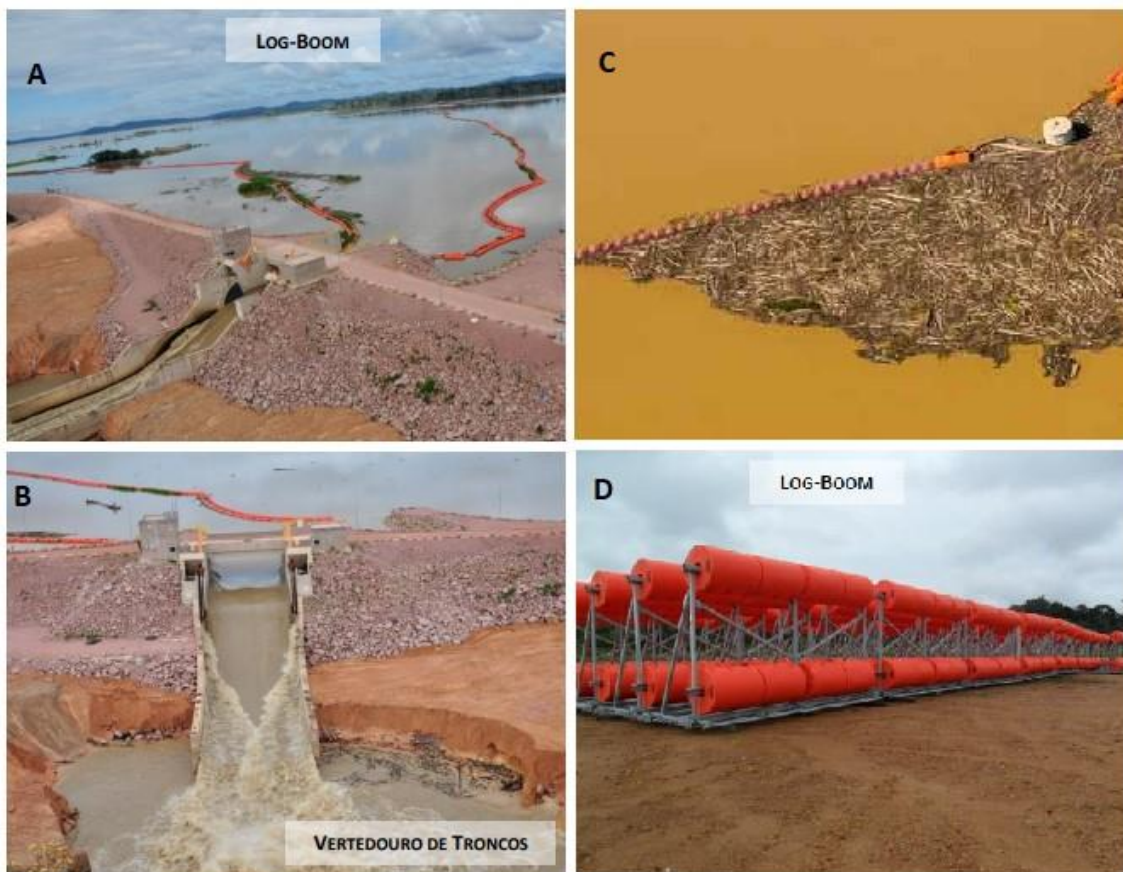


Figura 2. A) *Log Boom* instalados em Jirau; B) Vertedouro de troncos em funcionamento; C) Retenção de troncos pela estrutura do *Log Boom*; D) Estrutura do *Log Boom* antes da instalação.

Fonte: ESBR - UHE JIRAU - Institucional

Tabela 1. Quantidades diárias de troncos no STT.

Mês/Ano	Quantidade
Jan/10	6.494
Fev/10	6.208
Mar/10	14.180
Abr/10	3.149
Mai/10	6.005
Jun/10	1.364
Jul/10	1.159
Ago/10	88
Set/10	110
Out/10	1.760
Nov/10	4.234
Dez/10	29.839
Total Anual	2.284.809

Fonte: ESBR - UHE JIRAU - Institucional

O monitoramento do *Log Boom* tem como objetivo a verificação da passagem de grandes cardumes de peixes e a presença de macrófitas submersas (ROTTA et al., 2012). No primeiro caso, há impactos causados a ictiofauna devido a operação de abertura e fechamento das comportas dos vertedouros. Essa operação causa mudanças repentinas no ambiente e gera mortalidade na massa de peixes. No segundo caso, o monitoramento visa identificar a existência de altos níveis de infestação, pois as macrófitas podem entrar pela tomada d'água e prejudicar a produção de energia. Além disso, podem impedir a navegação e a recreação local e também afetar tanto a irrigação como o abastecimento. As macrófitas ainda contribuem para a eutrofização dos corpos d'água, quando geram alta concentração de matéria orgânica, causando prejuízos à biota aquática (JUNK; MELLO, 1990).

Atualmente, essa atividade possui as seguintes etapas de execução:

- Mobilização de 02 (dois) profissionais: piloto (carro e barco) e operador de sonar;
- Necessidade de veículos disponíveis para acessar o local de monitoramento: caminhonete, reboque e barco;
- Deslocamento até áreas de pesquisa;
- Instalação dos equipamentos de monitoramento - sonar;
- Capturas/Gravações da área de estudo em um bloco de horas (4h);
- Remoção dos equipamentos;
- Retorno ao local de origem;
- Descarga das capturas/gravações de sonar em um computador;
- Análises dos dados coletados.

1.2.2 Vertedouro

Constitui a estrutura reguladora do nível do reservatório em períodos de cheia. O vertedouro está localizado na margem direita do Rio Madeira e tem 18 comportas, cada uma com 35 metros de altura e 22 de largura, comparado a um prédio de aproximadamente 11 (onze) andares. Essa estrutura possui comportas do tipo segmento e permite vazão de 82.600 m³/s.

No período de estiagem as comportas permanecem fechadas. Com isso, pode ocorrer a presença de peixes nos vãos da UHE. Para executar o resgate de ictiofauna nos vãos, a utilização do sonar é necessária para constatação de peixes no local monitorado. Quando a ocorrência é positiva se inicia o processo de resgate.

Atualmente, o monitoramento dos vãos do vertedouro (**Figura 3**) possui as mesmas etapas de execução do monitoramento do *Log Boom*, ou seja, cada nova captura que utiliza um equipamento de sonar, depende da alocação de veículos (carros e barcos) para a movimentação dos equipamentos e pesquisadores envolvidos no processo.



Figura 3. A) Vertedouro da UHE Jirau com as comportas fechadas. O monitoramento é feito no vão das comportas em busca de ictiofauna confinada nessa área. B) Detalhe de um dos vãos do vertedouro.
Fonte: Autor (2022)

1.2.3 Sistema de transposição de peixes - STP

Basicamente, são dispositivos utilizados para facilitar a migração de ictiofauna através de barragens ou obstáculos naturais (DE PEIXES, 2005). Compostos basicamente de: entrada, corpo condutor e saída; possui a finalidade ajudar na migração reprodutiva ou trófica dos peixes vencendo obstruções naturais ou não, conforme a passagem de volumes de água, de montante para jusante. Essa passagem é favorecida pelo gradiente hidráulico em condições controladas: vazão, níveis, velocidades, linhas de fluxo e geometria da estrutura. Dessa forma, visa atender às necessidades da ictiofauna local sem causar seu cansaço excessivo.

No caso da UHE Jirau, o STP é uma alternativa para evitar, especialmente de espécies reofílicas, o confinamento nos tubos de sucção das UG (KUSMA; FERREIRA, 2009).

O monitoramento do STP (**Figura 4**) possui etapas diferentes por se tratar de área de acesso menos restritivo, ou seja, operada por terra. Com isso, as capturas com equipamentos

de sonar são complementares (contagem e volume da ictiofauna), pois são coletados pelas equipes operadoras da estrutura grande número de dados na operação do STP, dados como: identificação de espécies, peso e medidas de tamanho. Ao final, podem ser obtidas informações sobre a biologia e o comportamento dos peixes. Por exemplo, foi possível demonstrar que o canal do STP é utilizado durante todo o ano, ou seja, além do período prioritário para a migração dos peixes na época da piracema, várias espécies apresentam um comportamento de utilizar a estrutura durante todo tempo ao longo do ano.



Figura 4. A) Rampa de acesso ao sistema de transposição de peixes. B) Detalhe do elevador do sistema de transposição de peixes.

Fonte: Autor (2022)

1.3 Justificativa

O levantamento feito neste trabalho apontou uma lacuna tecnológica. Uma possível solução de automação do uso de equipamentos de sonar que possibilite todo o acionamento, operação e obtenção de dados, a longas distâncias, de forma barata e eficiente. Pontos fixos como vertedouros, sistemas de transposição de peixes (STP) (KUSMA; FERREIRA, 2009) e cordões de isolamento como o *Log Boom* (WINEMILLER et al., 2016) são áreas que sinalizam a utilização da tecnologia remota desenvolvida neste estudo.

A plataforma de acesso deve possuir as rotinas;

- Acionar remotamente um equipamento de sonar;
- Permitir funcionamento 24 x 7 (serviço disponível o tempo todo) após seu acionamento;
- Iniciar, parar e salvar gravações das áreas de interesse;
- Monitorar: voltagem, temperatura interna, umidade e temperatura externa durante a prova de conceito (POC);
- Fazer download e visualizar as informações gravadas em uma interface web (internet);
- e
- Integrar os dados obtidos com software de reconhecimento de padrões natatórios.

1.4 Objetivo

Desenvolver uma tecnologia, ou seja, um protótipo com hardware e software, que possibilitou o acesso remoto aos dados de sonar e sua operação.

1.5 Objetivos específicos

O trabalho pretendeu alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Integrar a plataforma de acesso remoto a dados de sonar ao monitoramento em tempo real da ictiofauna confinada no tubo de sucção durante as paradas previstas das unidades geradoras;
- Aplicar a plataforma de acesso remoto a dados de sonar ao monitoramento temporal da movimentação da ictiofauna próxima ao paramento de jusante da UHE;
- Acoplar a plataforma de acesso remoto a dados de sonar em estruturas distante do paramento da UHE;

Capítulo 2 – Proposta Tecnológica

Proposta Tecnológica para Acesso Remoto a Dados de Sonar – Uma Prova de Conceito

2.1 Resumo

O presente trabalho apresenta as atividades para o desenvolvimento de uma prova de conceito (POC) de acionamento remoto e automação do uso de tecnologias de sonar. O foco é demonstrar a viabilidade dessa tecnologia em termos de execução e custo. A justificativa é a contínua necessidade de minimizar impactos ambientais em ecossistemas aquáticos, próximos a áreas de operação de Usinas Hidrelétricas (UHE). O uso do sonar torna possível o mapeamento de grandes áreas em um tempo relativamente curto e promove a obtenção de informações ricas, precisas e georreferenciadas. Mesmo assim, as áreas mapeadas são enormes e muitas vezes são necessários grandes deslocamentos para a realização de capturas e obtenção de informações. Além disso, técnicos especializados no manejo, captura e obtenção dos dados de sonar são alocados para a realização dessas atividades. O estudo demonstra a possibilidade de pesquisadores acessarem os dados e configurações do aparelho de sonar remotamente. Os resultados evidenciam a viabilidade técnica da solução e indicam que futuramente, não será preciso a presença física de um pesquisador para coletar os dados e mudar padrões de captura do aparelho, o que resulta na diminuição dos custos de execução do campo e mais agilidade nos processos de captura.

Palavras-chave: Hidrelétricas, sonar, acesso remoto, impactos ambientais.

2.2 Abstract

The present work presents the activities for the development of a proof of concept (POC) of remote activation and automation of the use of sonar technologies. The focus is to demonstrate the feasibility of this technology in terms of execution and cost. The justification is the continuous need to minimize environmental impacts on aquatic ecosystems, close to areas of operation of Hydroelectric Power Plants (HPP). The use of sonar makes it possible to map large areas in a relatively short time and promotes rich, accurate, and georeferenced information. Even so, the areas mapped are huge displacements are often necessary to perform captures and obtain information. In addition, technicians specialized in handling, capturing, and obtaining sonar data are allocated to carry out these activities. The study demonstrates the possibility for researchers to access sonar device data and settings remotely. The results show the technical feasibility of the solution and indicate that, in the future, it will not be necessary to have a researcher physically present to collect data and change the capture patterns of the device, which results in a reduction in field execution costs and more agility in the processes. of capture.

Keywords: Hydropower, sonar, remote access, environmental impacts.

2.3 Introdução

O uso do som para a detecção de objetos em lagos, rios e oceanos tem seus principais avanços a partir do ano de 1912, após o acidente que levou o navio Titanic a pique. Esse evento levou pesquisadores e cientistas a desenvolverem técnicas para a localização de icebergs na tentativa de impedir novos acidentes. O sucesso veio em 1914 quando um objeto foi detectado a cerca de 3km de distância, ou seja, a localização de icebergs era uma realidade. Nascia a hidroacústica, o estudo das técnicas de utilização, transmissão e propagação do som na água e sua penetração nesse meio para a análise e detecção de objetos, vivos ou inertes. Conhecida também como acústica submarina ou acústica subaquática, a hidroacústica está relacionada com outros campos de estudo, dentre eles sonares, transdução, processamento do sinal acústico, acústica oceanográfica, bioacústica e física acústica.

Dos campos citados, a utilização de sonares para a localização, verificação de abundância e análise comportamental de peixes, teve seu início em 1929 (Simmonds e MacLennan 2008). As principais vantagens dessa metodologia são: os peixes não são feridos ou sofrem interferência quando amostrados; possibilidade de amostragem de grandes áreas em períodos relativamente curtos; aquisição de dados espaço-temporais de alta resolução e confiabilidade (Prado 2012). A palavra SONAR vem do inglês *Sound, Navigation and Ranging*, que numa tradução literal é “Navegação e Medição de Distância pelo Som”. Essa terminologia foi utilizada pela primeira vez na Segunda Guerra Mundial pelos Estados Unidos da América (Jensen 2009). Basicamente, ondas sonoras geradas por um equipamento se propagam pelo corpo d’água até atingirem o alvo e retornam, por meio do eco, ao sistema de origem.

Entretanto, algumas tecnologias de processamento de imagens nesses equipamentos são proprietárias. Dessa forma, é necessário a utilização de softwares pagos, ou muitas vezes, de um conjunto de softwares livres para alcançar os devidos tratamentos, como por exemplo, a remoção de sombras acústicas, a identificação dos leitos d’água, classificação de substrato do leito entre outras.

Além disso, em determinados locais as capturas de informações com equipamento de sonar se tornam complexas e desafiadoras. No caso específico é a realização do “campo” nas proximidades de UHE. Como o meio de coleta de informações é hídrico, e ao mesmo tempo, tratam-se de barragens para a criação de grandes reservatórios, as áreas a serem mapeadas são extensas e muitas vezes, mesmo com o aparato tecnológico as capturas são in loco e necessitam de grandes deslocamentos de técnicos especializados no manejo, captura e obtenção dos dados de sonar.

A proposta central do estudo foi desenvolver e apresentar uma solução de automação do uso do sonar e possibilitar o acionamento remoto, bem como toda a operação do aparelho, nos casos de instalação e monitoramento de pontos fixos, como vertedouros, sistemas de transposição de peixes (STP) (Kusma e Ferreira 2009), comportas de UG e cordões de isolamento como o *Log Boom* (Zanotele Hemery de Almeida, Sávio Cordeiro, e Lopes 2020).

Isso será possível devido a um hardware de baixo custo (Andrade, Soma, e Eiki 2016), e através do desenvolvimento de software de código livre e aberto (Buscombe 2017). Ao final, a solução será disponibilizado em um sistema de acesso pela web.

2.4 Materiais e Métodos

A criação de ferramentas tecnológicas segue etapas normalmente baseadas em boas práticas de desenvolvimento, engenharias e técnicas conceituadas (Sommerville 2012). Para a elaboração desta proposta, a base foi um modelo experimental. O trabalho levou em consideração o conhecimento prévio das necessidades e dificuldades encontradas na operação de equipamentos de sonar próximo às UHE. Foram ouvidos técnicos de empresas, pesquisadores e profissionais que trabalham dia a dia em uma UHE. O fundamento das necessidades partiu do relato desses profissionais na coleta de dados de sonar. O conhecimento de elaboração de hardware e software do estudo e a organização das etapas ocorreu conforme a seguinte ordem:

- Estudo das práticas de aquisição de dados de sonar;
- Levantamento de requisitos;
- Análise de tecnologias;
- Projeto e construção do hardware;
- Elaboração do software;
- Fase de testes (viabilidade da proposta);
- Estudo de integração com tecnologias de monitoramento de ictiofauna;

2.4.1 Área de estudo

As análises para realização desse estudo experimental levaram em consideração a UHE Jirau, suas características e relato dos profissionais lotados nessa unidade geradora de energia. Construída no Rio Madeira, no estado de Rondônia, a UHE Jirau está a 120 km de Porto Velho e possui um reservatório com uma área de 361,6 km² em seu volume máximo. A capacidade de geração energética é de 3.750 MW, sendo assegurados 2.184 MW de capacidade contínua (**Figura 5**). Num clima tropical úmido, tem precipitação anual por volta de 1.900 a 2.200 mm e a vazão média anual desse grande Rio e de cerca de 18.500 m³/s, e chega a 45.000 m³/s nos períodos de fortes inundações.

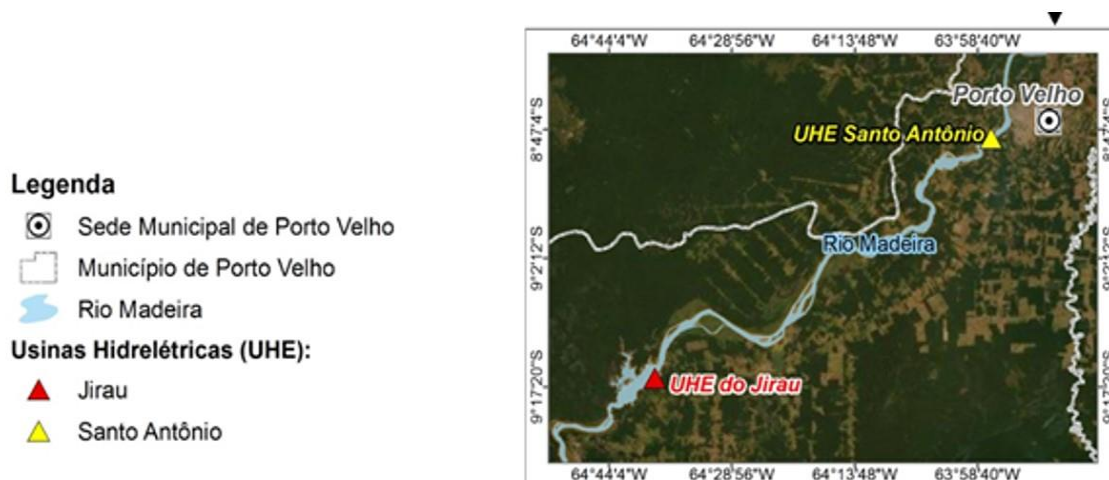


Figura 5. Localização da Usina Hidrelétrica (UHE) de Jirau. **Fonte:** ESBR - UHE JIRAU - Institucional

2.4.2 Requisitos

Reuniões com profissionais da empresa Venturo, pesquisadores da UnB e do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, foram feitas em dois momentos. O intuito foi explorar e saber como os equipamentos de sonar são operados. Como dito anteriormente, a essência foi a utilização, instalação e monitoramento de pontos fixos, como vertedouros, sistemas de transposição de peixes (STP) e cordões de isolamento como o *Log Boom*.

2.4.3 Tecnologias

Com base nos requisitos levantados definiu-se uma proposta idealizadora para uma POC (**Figura 6**).

A ideia inicial do projeto era fornecer apenas o acionamento remoto do equipamento de sonar. Como a central de processamento pensada, o *RaspberryPi* – um minicomputador próprio para automação, como seu uso seria subaproveitado novos sensores foram acrescentados ao projeto. Seria possível adicionar informações de temperatura, humidade, monitorar a voltagem da bateria e acrescentar um a painel solar para gerar autonomia da base como um todo. Os dados capturados seriam mais ricos. Com isso, o hardware da plataforma de acionamento remoto foi definido e a seguinte lista de materiais foi elaborada (**Tabela 2**).

Apenas a construção de um hardware não é suficiente para a fazer a plataforma funcionar. Para tanto, uma arquitetura de tecnologias foi pensada para dar suporte a ideia e ao conjunto de aplicações que seriam criados para fazer as tarefas de acionamento e monitoramento. Destaque para a linguagem de programação Python, pois é a linguagem mãe da codificação da plataforma.

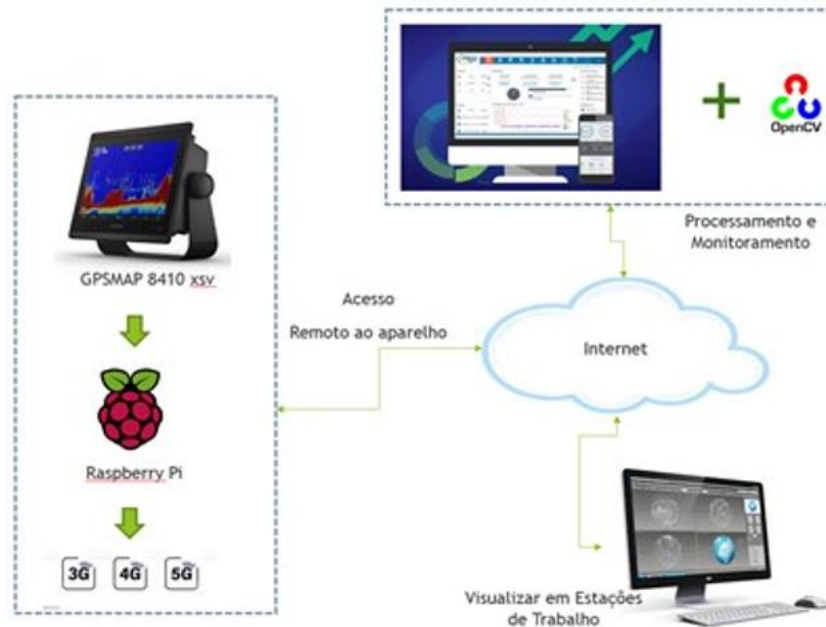


Figura 6. Proposta Conceitual da Plataforma. **Fonte:** Autor (2022)

Tabela 2. Lista de componentes para montagem da POC/protótipo versão beta.

Item	Descrição	Fornecedor
1	Raspberry Pi3 B	Raspberry
2	Sensor de temperatura DS18B20 (a prova d'água)	SLA SHOP
3	Sensor de umidade e temperatura - AM2320	ROBOMIX
4	Módulo GSM GPRS - SIM800L	Casa da Robótica
5	BATERIA SELADA 12V/7A (Unipower, Moura, Powerteck) típica de nobreak/alarme	Unipower/Moura
6	Placa de extensão Gpio + 40pin fita cabo plano para raspberry pi	ARMAZEMTECH
7	Caixa organizadora translúcida C/ Trava Plástica 20 Litros	Usual Plastic
8	Carregador automotivo para celular com duas portas USB - 3.1 A	ROHS
9	Kit painel placa solar fotovoltaica 10w e controlador de carga	Sinosola
10	Módulo relé 8 canais 5v arduino Pic Raspberry Esp32	Montimport
11	Qr91f 4g Lte Usb Wifi Modem Router 100m Mini	LTE
12	Sensor de tensão (voltagem) 0 - 25 Vdc	MJ
13	Localizador de peixe água mar - Pescaria - Fish Finder	Localiza peixe

Fonte: Autor (2022)

2.4.4 Projeto

Nesta etapa, um projeto esquemático foi elaborado (**Figura 7**). Posteriormente, com todos os materiais em mãos, iniciou-se a construção da POC e a posterior programação do módulo central. Todas as etapas de montagem, ocorreram com testes intermediários, era necessário saber se sensores e módulos de acionamento estavam em perfeito funcionamento.

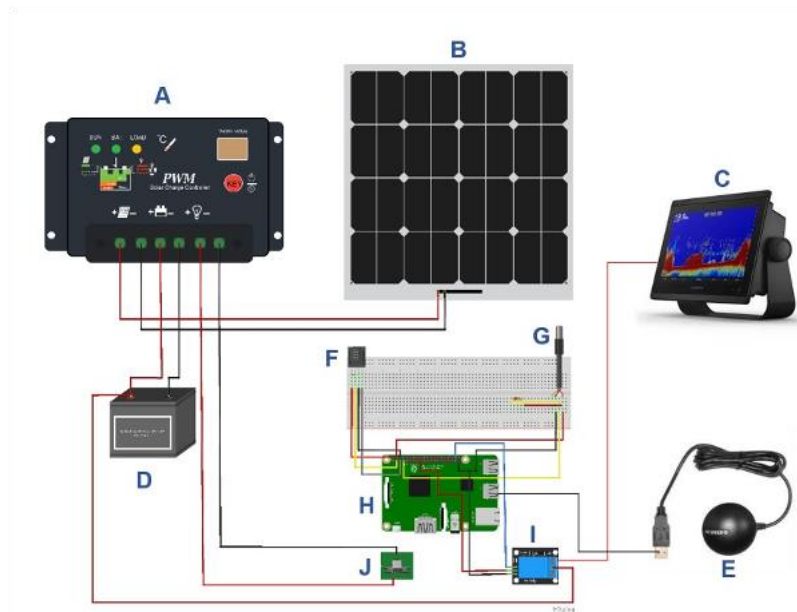


Figura 7. Diagrama esquemático da plataforma de acionamento remoto. (A – Módulo de controle de carga; B- Painel Solar; C- Display sonar; D- Bateria selada de 12v/7a; E- Módulo GPS USB; F- Sensor de temperatura e humidade interno; G- Sensor de temperatura externo.

Fonte: Autor (2022)

Para o sistema de controle, uma arquitetura de software foi montada e composta por elementos com propriedades externamente visíveis ao relacionamento entre eles. No desenvolvimento, optou-se pela utilização do modelo em camadas, onde cada camada fornece um conjunto de serviços para as camadas acima dela. Para isso acontecer, foi necessária uma interface de comunicação entre a camada superior e a camada inferior. Os requisitos do software apontaram para esse formato arquitetural (**Figura 8**).

O software seguiu alguns padrões de projeto, que são modelos de soluções para problemas e permitem implementações genéricas. Os padrões adotados foram: padrão *state* - permite a um objeto de determinada classe modificar seu comportamento baseado em seu estado interno, padrão *observer* - para transmitir informações de um objeto para um conjunto indefinido de objetos que esperam essas informações e o padrão *singleton* - garante a existência de apenas uma instância de uma classe.

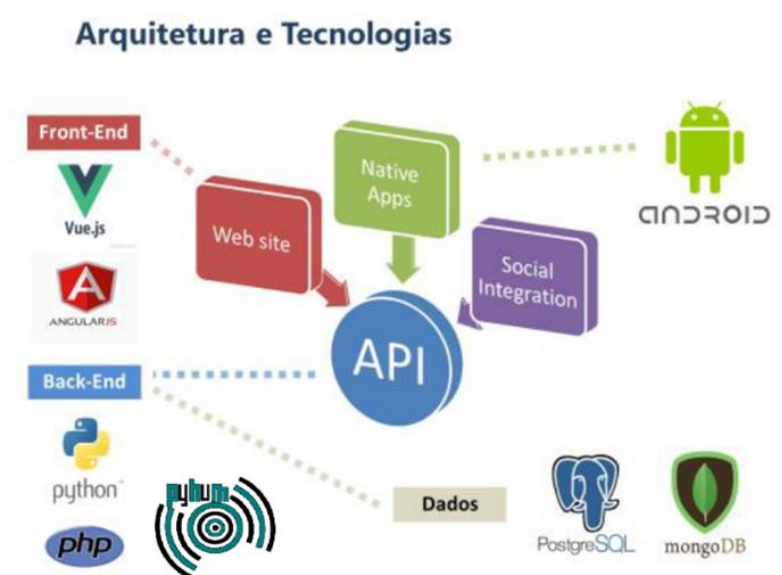


Figura 8. Tecnologias de código aberto na criação da plataforma. No centro, existe a *Application Programming Interface* (API). Camada de serviços que define as regras de funcionamento e leitura do sistema em conjunto com a interface do usuário.

Fonte: Autor (2022)

2.5 Resultados

Após três meses de trabalho a POC foi concluída. A aquisição de componentes eletrônicos direcionou a montagem conforme a seguinte ordem: construção do módulo principal de controle (*RaspberryPie*), monitoramento (sensores de temperatura e posição) e acionamento (relais de acionamento).

Para controle da plataforma uma interface web foi construída. Ela opera via uma VPN e é acessada por um link. Isso possibilita segurança na transferência dos dados e robustez quanto a conexão (**Figura 9**).

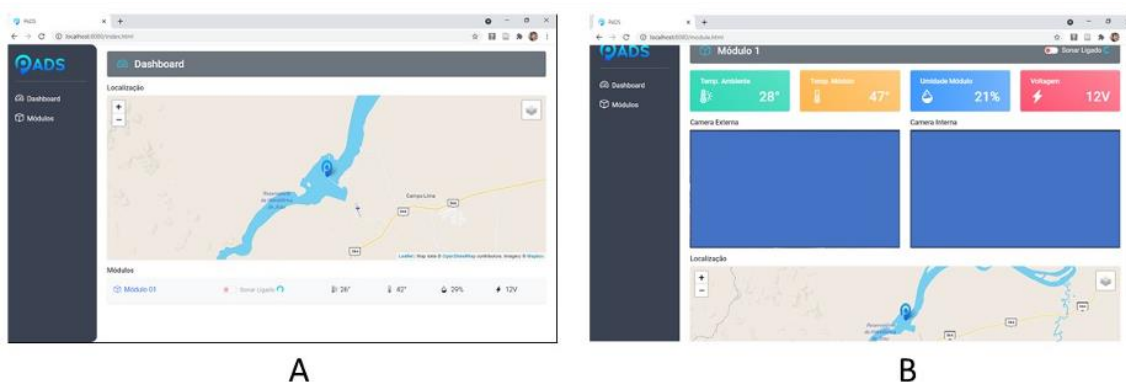


Figura 9. Interface Web da POC: A) Tela inicial do PADS com lista de módulos ativos. No exemplo, apenas um módulo existente, mas a interface foi planejada para N PADS conectados; B) Tela de seleção de módulo e destaque das informações. Leitura das câmeras *off*.

Fonte: Autor (2022)

Experimentos iniciais foram feitos e, tanto o acionamento remoto, quanto a aquisição de informações dos sensores ocorreram com sucesso. Isso mostrou a possibilidade do funcionamento remoto e aquisição de dados nesse modelo de operação (**Figura 10**).

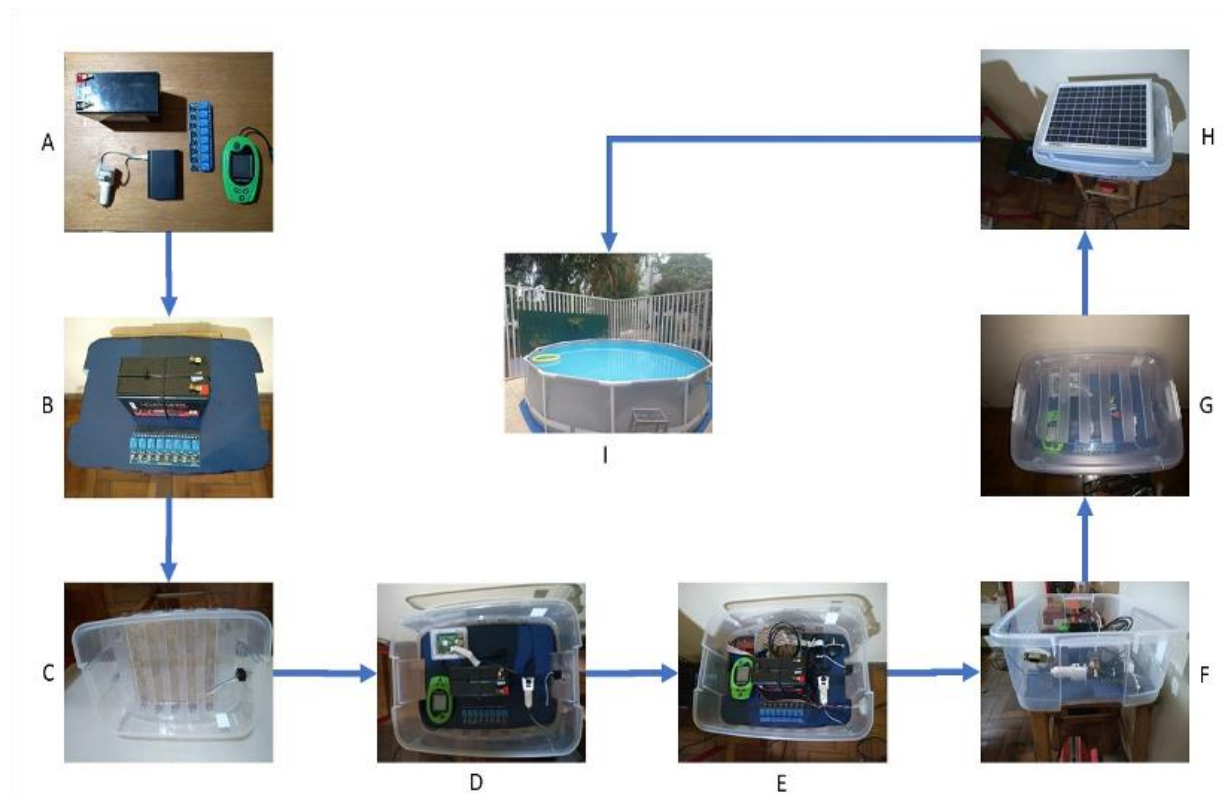


Figura 10. Sequência de montagem da POC: A) Planejamento de fixação dos componentes; B) Início da fixação na placa mãe; C) Preparo inicial para inserção da placa mãe em sua caixa final; D) Ligação dos módulos principais; E) Acréscimo dos módulos finais e rearranjo interno; F) Fixação dos conectores externos; G) Finalização do módulo principal; H) Adaptação provisória da placa do painel solar; I) Testes de bancada e externo utilizando uma piscina de 6,5 mil litros.

Fonte: Autor (2022)

2.6 Conclusão

A constatação da viabilidade do projeto possibilitou sua continuidade e testes de estresse devem ser executados na próxima etapa, a construção do protótipo final.

A construção do equipamento, seguida dos testes de estresse, validará a utilização do dispositivo em uso contínuo e na captura de grandes volumes de informações. Para tanto, testes em campo devem ser agendados com a empresa, pesquisadores e técnicos da UHE Jirau.

2.7 Referências

1. Alves, Diego Corrêa, Lilian Paula Vasconcelos, Luís Fernando da Câmara, Lisiane Hahn, e Angelo Antonio Agostinho. 2019. "Protocol for the Assessment of Mortality and Injuries in Fish Larvae Associated with Their Downstream Passage through Hydropower Dams". *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 29 (2): 501–12. <https://doi.org/10.1007/s11160-019-09564-0>.
2. Andrade, Alexandre, Andrea Soma, e Cassio Eiki. 2016. Automação de baixo custo baseada no Raspberry Pi. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1282.3920>.
3. BBC News Brasil. [s.d.]. "Hidrelétricas matam toneladas de peixes e ameaçam espécies nos rios brasileiros, aponta estudo". Acessado 5 de maio de 2021. <https://www.bbc.com/portug 56738148>.
4. Brown, Richard S., Thomas J. Carlson, Andrew J. Gingerich, John R. Stephenson, Brett D. Pflugrath, Abigail E. Welch, Mike J. Langeslay, et al. 2012. "Quantifying Mortal Injury of Juvenile Chinook Salmon Exposed to Simulated HydroTurbine Passage". *Transactions of the American Fisheries Society* 141 (1): 147–57. <https://doi.org/10.1080/00028487.2011.650274>.
5. Buscombe, Daniel. 2017. "Shallow Water Benthic Imaging and Substrate Characterization Using Recreational-Grade Sidescan-Sonar". *Environmental Modelling Software* 89 (março): 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.12.003>.
6. Carrington, Gerry, e Janet Stephenson. 2018. "The Politics of Energy Scenarios: Are International Energy Agency and Other Conservative Projections Hampering the Renewable Energy Transition?" *Energy Research Social Science* 46 (dezembro): 103–13. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.07.011>.
7. EschB.P.M, van, e SpiertsI.L.Y. 2014. "Validation of a Model to Predict Fish Passage Mortality in Pumping Stations". *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, setembro. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2014-0035>.
8. Harrison, Philip M., Eduardo G. Martins, Dirk A. Algera, Trina Rytwinski, Brent Mossop, Alf J. Leake, Michael Power, e Steven J. Cooke. 2019. "Turbine Entrainment and Passage of Potadromous Fish through Hydropower Dams: Developing Conceptual Frameworks and Metrics for Moving beyond Turbine Passage Mortality". *Fish and Fisheries* 20 (3): 403–18. <https://doi.org/10.1111/faf.12349>.
9. Jensen. 2009. "Livro:Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres". Sadeck - Geotecnologias (blog). 21 de março de 2009. <https://geotecnologias.wordpress.com/2009/03/21/livrosensoriamento-remoto-do-ambiente-uma-perspectivaem-recursos-terrestres/>.
10. Kusma, Camila Munareto, e Francesca Werner Ferreira. 2009. "Mecanismo de transposição de peixes de pequena central hidrelétrica". *Ciência Rural* 40 (1): 89–94. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000247>.

11. Moretto, Evandro Mateus, Carina Sernaglia Gomes, Daniel Rondinelli Roquetti, e Carolina de Oliveira Jordão. 2012. “Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: a antiga e atual fronteira Amazônica”. *Ambiente & Sociedade* 15 (3): 141–64. <https://doi.org/10.1590/S1414753X2012000300009>.
12. Prado, Ivo Gavião. 2012. “AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE PEIXES À MONTANTE DA BARRAGEM DA UHE TRÊS MARIAS COMO SUBSÍDIO PARA A CONSERVAÇÃO DA ICTIOFAUNA”, 93.
13. Simmonds, John, e David N. MacLennan. 2008. *Fisheries Acoustics: Theory and Practice*. John Wiley Sons.
14. Sommerville, Ian. 2012. *Engenharia de software*. 9a edição. Pearson. estphal, Gisela Geraldine Castilho, Antonio Ostrensky, Gisela Geraldine Castilho Westphal, e Antonio Ostrensky. 2016. “Use of Side-Scan Sonar for Estimations of *Crassostrea Brasiliana* (Lamarck, 1819) Stocks in Subtidal Banks on the South Coast of Brazil”. *Brazilian Journal of Oceanography* 64 (1): 49–56. <https://doi.org/10.1590/S167987592016104506401>.
15. Winemiller, K. O., P. B. McIntyre, L. Castello, E. Fluet-Chouinard, T. Giarrizzo, S. Nam, I. G. Baird, et al. 2016. “Balancing Hydropower and Biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong”. *Science* 351 (6269): 128–29. <https://doi.org/10.1126/science.aac7082>.
16. Zanotele Hemerly de Almeida, Rynaldo, Joao Carlos Sávio Cordeiro, e Luiz Eduardo Lopes. 2020. “Caracterização de carregamentos de campo sobre sistema fluvial de contenção de detritos”. *REVISTA IPT TECNOLOGIA E INOVAÇÃO* 4 (14). <https://doi.org/10.34033/2526-5830-v4>

Capítulo 3 - Plataforma de Acesso Remoto

*Submetido à revista *Ambiente & Água* (ISSN: 1980-993X)

Remote Access Platform to Sonar Data Applied to Ichthyofauna Monitoring in the Hydroelectric Sector

This paper presents the requirement gathering, design, proof of concept, and development of a solution for remote activation and automation of hydro-acoustic equipment (SONAR - Sound, Navigation and Ranging). The motivation of the study is the possibility of creating a remote access technology to minimize environmental impacts on the ichthyofauna in the area of direct influence of Hydroelectric Power Plants (HPP). After the promising results of the proof of concept, a prototype was conceived and validated in the field at HPP Jirau on the Madeira River, state of Rondônia, Brazil. The focus was the use of the technological solution in real-time monitoring of the movement of ichthyofauna at fixed points of the structures of the HPP Jirau, such as the spillway, the generating units (GU), and the surface trunk retention structure (*Log Boom*). The use of sonar technology with remote access technology made it possible to monitor the movement of the ichthyofauna in these areas over long periods with accurate information. The prototype commissioning phase required system adaptations and hardware and software improvements. The remote access technology applied to sonar presented high stability and robustness, being easy to adapt to different applications in different plants in the Brazilian hydroelectric sector, supporting decision-making during operational maneuvers.

Keywords: Hydroelectric power plant, sonar, remote access, ichthyofauna, environmental impacts.

Resumo

O presente trabalho apresenta as atividades de levantamento de requisitos, projeto, prova de conceito e desenvolvimento de solução de acionamento remoto e automação de equipamentos hidroacústico (SONAR - *Sound, Navigation and Ranging*). O estudo foi motivado pela possibilidade de criar uma tecnologia de acesso remoto para minimizar impactos ambientais na ictiofauna na área de influência direta de Usinas Hidrelétricas (UHE). Após os resultados promissores da prova de conceito, um protótipo foi concebido e validado em campo na UHE Jirau no Rio Madeira, estado de Rondônia. O foco foi a utilização da solução tecnológica no monitoramento em tempo real da movimentação da ictiofauna em pontos fixos das estruturas da UHE Jirau, como vertedouro, unidades geradoras (UG) e estrutura de retenção de troncos superficiais (*Log Boom*). A utilização da tecnologia de sonar somada a tecnologia de acesso remoto tornou possível o monitoramento em tempo real da movimentação da ictiofauna dessas áreas durante longos períodos com a obtenção de informações precisas. A fase de comissionamento do protótipo exigiu adaptações no sistema e melhorias de hardware e software. A tecnologia de acesso remoto aplicada a sonar apresentou eleva estabilidade e robustez, sendo de fácil adaptação para diversas aplicações em diferentes plantas do setor hidrelétrico brasileiro, respaldando a tomada de decisões durante as manobras operativas.

Palavras-chave: Hidrelétricas, sonar, acesso remoto, ictiofauna, impactos ambientais.

1. Introdução

A construção de Usinas Hidrelétricas (UHE) ou, como também são conhecidas, centrais hidrelétricas, são atividades complexas e envolvem projetos de engenharia elétrica, civil, energética e mecânica. Neste processo são envolvidas diversas áreas do conhecimento, tais como: geotécnica, geologia, hidráulica, computação, automação, controle ambiental, controle florestal etc. As UHE são um meio de produção energética cujas fontes de energia são renováveis e com baixa emissão de gases do efeito estufa (CARRINGTON; STEPHENSON, 2018). Esse conjunto de fatores motivam o crescimento da capacidade instalada, devido aos benefícios econômicos, sociais e energéticos para o país e, são para países como o Brasil um meio de produção energética com maior segurança e garantia temporal (MORETTO et al., 2012).

Outro fator importante é o grande potencial energético a ser explorado. Atualmente, o potencial brasileiro estimado varia entre 100.000 a 250.000 MW, e, no estado atual da tecnologia, cerca de 160.000 MW estão implantados e em funcionamento. Segundo dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Energética (EPE) no ano de 2019, a matriz de energia elétrica hidráulica estava em 65,7% com 1.254 usinas em operação, e apresentou entre 2018 e 2019 uma expansão de 2,3%, o que corresponde a 397.877 GW produzidos em 2019. Estes dados apontam para realidade energética do país e sua dependência das bacias hidrográficas, tanto em termos de crescimento como de gestão territorial (THÉRY; MELLO-THÉRY, 2016).

Ao acompanhar a expansão energética, por intermédio da construção de novas UHE, percebe-se que a Amazônia tem destaque como a nova fronteira de recursos hidrelétricos para o Brasil. A Bacia do Amazonas possui 42,2% de todo o potencial hidrelétrico brasileiro (DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016), sendo que das cinco maiores hidrelétricas do país, quatro estão na região da Amazônia. Além disso, existe um grande planejamento de construção e expansão de empreendimentos e a criação de diversas centrais hidrelétricas para a região.

Conseqüentemente, há necessidade de monitorar a ictiofauna presente nos ecossistemas aquáticos nas áreas de influência indireta e direta das UHE, com o intuito de minimizar os impactos ambientais nestas áreas (WINEMILLER et al., 2016). O uso de tecnologias e sistemas hidroacústicos, como o SONAR (*Sound, Navigation and Ranging*), tem tornado possível o mapeamento de grandes áreas em um tempo relativamente curto. Ao mesmo tempo, obtém coordenadas georreferenciadas das imagens e dos dados obtidos (WESTPHAL et al., 2016) e possibilita a condução de estudos e pesquisas de forma mais rica e precisa.

A utilização de sonares para a localização, verificação de abundância e análise comportamental da ictiofauna teve seu início em 1929 (SIMMONDS; MACLENNAN, 2008) e as principais vantagens dessa metodologia são: a ictiofauna não é machucada ou sofre interferência quando amostrada; possibilidade de amostragem de grandes áreas em períodos relativamente curtos; dados espaço-temporais de alta resolução e confiabilidade são adquiridos durante a amostragem (PRADO, 2012). Basicamente, ondas sonoras geradas por um equipamento se propagam pelo corpo d'água até atingirem o alvo e retornam, por meio do eco, ao sistema de origem.

Considerando as premissas do desenvolvimento sustentável do setor hidrelétrico são de grande importância tecnologias de acesso remoto a sistema hidroacústicos dedicados ao monitoramento da ictiofauna, utilizando hardwares de baixo custo (ANDRADE; SOMA; EIKI, 2016) em conjunto ao desenvolvimento de software baseado em código livre e aberto (BUSCOMBE, 2017). O presente trabalho apresenta as atividades de levantamento de requisitos, projeto, prova de conceito e desenvolvimento de solução de acionamento remoto e automação de equipamentos hidroacústicos.

2. Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento do trabalho, o foco foi um modelo experimental. O estudo levou em consideração o conhecimento prévio das necessidades e dificuldades encontradas na operação em tempo real e na aquisição de informações da movimentação da ictiofauna durante longos períodos de utilização de sistemas hidroacústicos nas áreas de influência direta e indireta de UHE. Foram ouvidos técnicos de empresas, pesquisadores e profissionais que trabalham dia a dia em UHE. O fundamento das necessidades partiu do relato desses profissionais na coleta de dados de sonar dedicado ao monitoramento da movimentação da ictiofauna. Com esta necessidade definida, a elaboração de hardware e software ocorreu conforme a seguinte ordem: Estudo das práticas de aquisição de dados de sonar; Levantamento de requisitos - Atividades; Análise de tecnologias; Projeto e construção do hardware; Elaboração do software; Validação do protótipo; Estudo de integração com tecnologias de reconhecimento de ictiofauna.

2.1. Área de Estudo

O comissionamento do sistema foi desenvolvido nas estruturas civis da UHE Jirau (**Figura 1**), contemplando a casa de força (L1/P1), vertedouro (C/P2) e sistema de retenção de troncos superficiais (L2/P3). A UHE Jirau foi construída no Rio Madeira, estado de Rondônia, a 120 km de Porto Velho e possui um reservatório com uma área de 361,6 km² em seu volume máximo. A capacidade de geração energética é de 3.750 MW, sendo assegurados 2.184 MW de capacidade contínua. Em um clima tropical úmido a precipitação anual fica por volta de 1.900 a 2.200 mm e a vazão média anual desse grande Rio é de cerca de 18.500 m³s⁻¹, e chega a 45.000 m³s⁻¹ nos períodos de fortes inundações. A usina tem um total de 50 turbinas do tipo bulbo (Unidades Geradoras - UG) e foi inaugurada em dezembro de 2016. Tem capacidade instalada para gerar 3.750MW e seu reservatório alagou uma área de 108 quilômetros quadrados.



Figura 11. Distribuição das estruturas civis da UHE Jirau. A) Casa de Força 1 (UG01 a UG28); B) Casa de Força 2 (UG29 a UG50); C) Vertedouro (V01 a V18); L1) Sistema de *Log Boom* / margem direita; L2) Sistema de *Log Boom* / margem esquerda; TS) Sistema descarregador/transposição de troncos (STT).

Fonte: Autor (2022)

2.2. Equipamento

Os requisitos levantados definiram a base para a proposta idealizadora do protótipo. Inicialmente, o projeto visava fornecer apenas o acionamento remoto do equipamento de sonar a grandes distâncias. A central de processamento pensada foi o *RaspberryPi* – um minicomputador próprio para automação, e devido ao elevado poder de processamento novos sensores foram acrescentados ao projeto. Foi possível adicionar informações de temperatura, umidade, monitorar a voltagem da bateria e acrescentar um painel solar para gerar autonomia energética da base. Os dados capturados ficaram mais ricos. Com isso, o hardware da plataforma de acionamento remoto foi definido e criado um diagrama (Figura 2) com os componentes principais do sistema.

Sobre o software desenvolvido para controle do Protótipo de Acesso Remoto a Dados de sonar (PADS), uma interface web foi construída e um código de controle do módulo elaborado. Seu acesso é feito por qualquer navegador web por intermédio de um link. Serviços web foram implementados com segurança e robustez para o caso de falhas com o uso de tecnologias livres e de código aberto. O conceito de *Application Programming Interface* (API) esteve presente em todo o desenvolvimento, e um conjunto de serviços foram criados: `setSonar`, `getSonarStatus`, `getTemperaturaInterna`, `getTemperaturaExterna`, `getUmidadeExterna`, `setMicroSd`, `getMicroSD`, `clearMicroSD`, `getDadoBase`, `setActivateTime` e `setSleep`.

As tecnologias utilizadas na montagem dos softwares de controle do PADS, tanto interface, quanto serviços foram basicamente: HTML5, Javascript, Bootstrap e JQuery para o front-end; e Python, Flask, pacote python AM2320 e pacote python DS18B20 para o back-end. Além disso, foram utilizadas tecnologias da GARMIN como o app ActiveCaptain e o TeamViewer, que combinados permitiram o acesso ao dispositivo.

Com base no diagrama, duas versões de equipamento foram elaboradas. Uma primeira unidade para testes conceituais, ou seja, a prova de conceito (POC) da ideia. Posteriormente, a versão 1.0 foi concebida do PADS. Esse modelo 1.0 basicamente seguiu o mesmo padrão de construção de sua versão conceitual. Todos os componentes foram aproveitados da POC, com exceção da base e o organizador de plástico. Foi acrescida robustez a montagem, pois a versão conceitual não levava em consideração as condições reais de operação na área de estudo. O PADS foi projetado para suportar condições de campo mais exigentes, a começar pela estrutura da montagem: caixa maior com base de metal, duas baterias para operação, dois painéis solares para carga, uma tecnologia de *Virtual Private Network* (VPN) para manter a comunicação segura e robusta ponto a ponto (utilizada a VPN *Hamachi*, muito popular entre jogadores de computador) e uma nova interface web para acionamento e leitura dos sensores.

Neste sistema foi utilizado o equipamento GARMIN GPSMAP 8612xsv, com 02 slots para cartão de memória microSD de 32GB (máximo suportado), com conexões para os transdutores 12-PIN XDCR, 8-PIN XDCR e LVS XDCR (LiveScope) e máxima potência de operação de 72 Watts a 12 Volts. O transdutor escolhido foi o GT40-TM que opera nas frequências de 77/220 kHz a 500 Watts nas visualizações DownVü/SideVü, e em CHIRP nas frequências de 455/880 kHz também a 500 Watts.

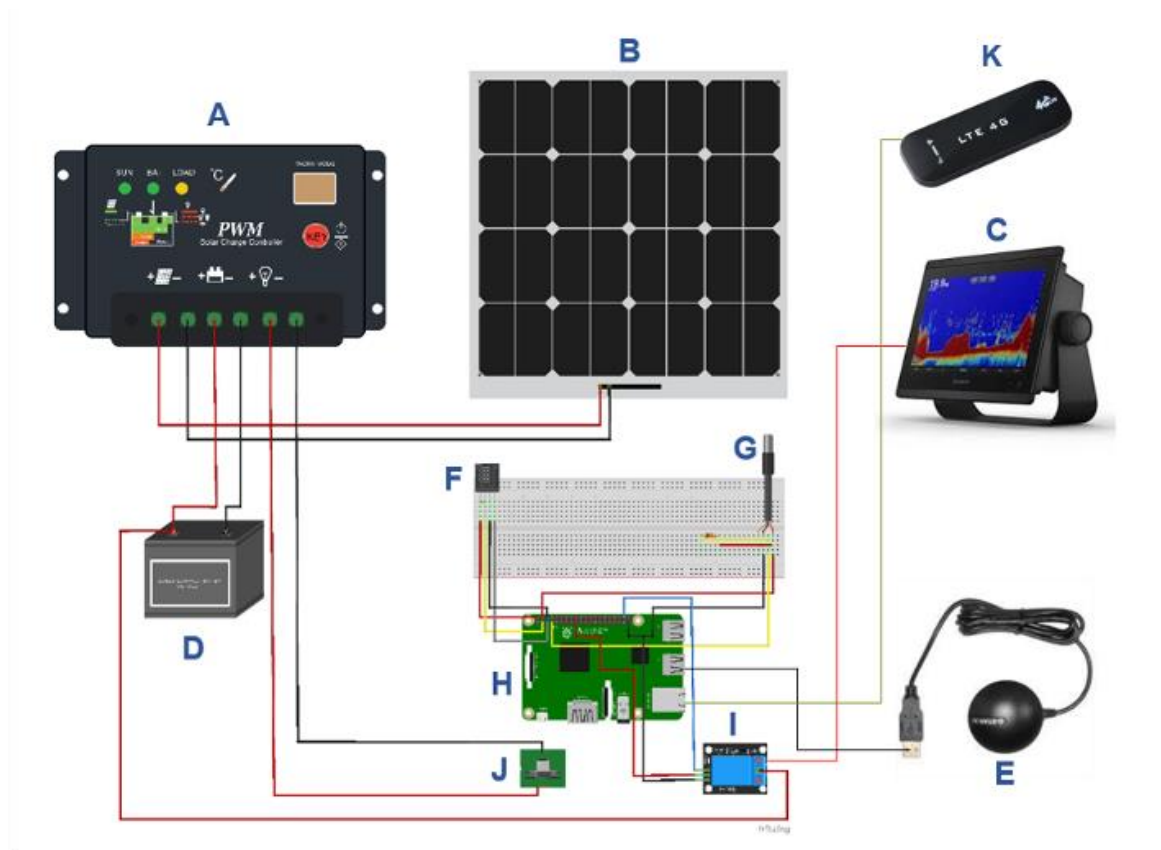


Figura 12. Diagrama esquemático da plataforma de acionamento remoto. (A – Módulo de controle de carga (30A 12v 24v Pwm); B - Painel solar (Sinosola 60W); C - Display sonar (GPSMAP 8612xsv da GARMIN); D. - Bateria selada de 12v/7a (qualquer marca); E. - Módulo antena GPS USB (Timezero Maxsea); F- Sensor de temperatura e humidade interno (código AM2320); G - Sensor de temperatura externa aprova d'água (código DS18B20); H - Módulo de processamento central – RaspberryPie 3B; I - Relay de acionamento; J - Conector de força principal); K - Módulo 4G para acesso à rede 4G (QR91F 4gwifi100M +).
Fonte: Autor (2022)

2.3. Comissionamento do sistema / Atividade de campo

Na casa de força da UHE Jirau, o PADS foi utilizado para o acompanhamento em tempo real da movimentação da ictiofauna no tubo de sucção durante a parada de máquina prevista. No painel frontal da comporta vagão, foram fixados os transdutores cerca de 14 m acima da base da comporta (**Figura 3**), sendo possível obter uma visada central do tubo de sucção após o fechamento da secção. Os transdutores foram conectados via cabeamento ao PADS na laje superior da casa de força e o sistema operado remotamente durante a manobra de operação MO-COPE-US-67-SH-UG-00002 (Silva et al., 2021).

O comissionamento do PADS, na área de jusante do vertedouro da UHE, utilizou um sistema de fixação dos transdutores no centro do vão possibilitando a avaliação temporal da movimentação da ictiofauna (**Figura 4**). Os transdutores foram conectados via cabeamento ao PADS na laje superior de jusante do vertedouro e o sistema operado remotamente ao longo de 8 horas.

O PADS foi fixado na estrutura do sistema de retenção de troncos superficiais (*Log Boom*) e conectado via cabo a um transdutor hidroacústico multifrequencial, sendo operado

remotamente ao longo de 8 horas. O ponto de fixação do PADS foi cerca de 1,0 km a montante da UHE Jirau (**Figura 5**).



Figura 13. Transdutores hidroacústicos fixados no plano de face da comporta vagão da UHE Jirau, acoplados ao PADS. ($9^{\circ}16'06.7''S$ $64^{\circ}38'41.9''W$).

Fonte: Adaptado de Silva Et. Al., 2021.

Durante os comissionamentos foram avaliados a autonomia e a recarga da bateria, a performance e o alcance da rede móvel 3G/4G nas proximidades da UHE Jirau, a operação remota do sonar durante as gravações, as condições de temperatura interna e externa do equipamento durante a operação e a robustez durante o transporte, ou seja, verificar a acomodação de componentes internos e possíveis avarias durante o deslocamento do PADS.

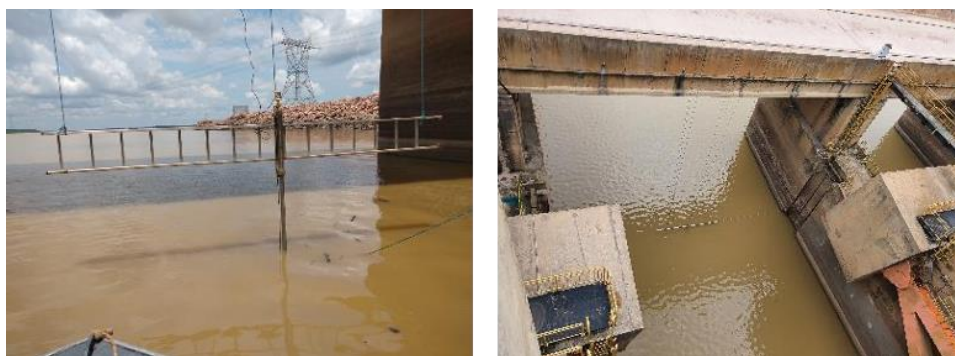


Figura 14. Sistema hidroacústico posicionado no eixo transversal ao vão de jusante do vertedouro da UHE Jirau ($9^{\circ}15'55.8''S$ $64^{\circ}38'57.9''W$).

Fonte: Autor (2021)

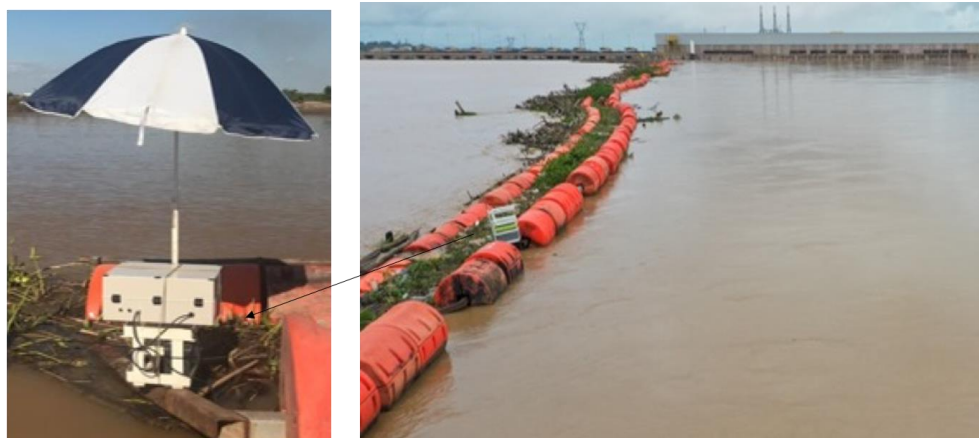


Figura 15. PADS fixado no sistema de retenção de troncos superficiais (*Log Boom*) da UHE Jirau (9°15'55.8"S 64°38'57.9"W).

Fonte: Autor (2021)

3. Resultados e Discussão

3.1. Montagem do equipamento

Com o fim da etapa de desenvolvimento, foi confeccionado o Protótipo de Acesso Remoto a Dados de sonar (PADS), conforme descrito na **Figura 6**. Uma proposta de equipamento com a premissa de, por intermédio de hardwares e softwares, executar a operação e acesso remotos a um equipamento de sonar e obter seus dados a longas distâncias. O objetivo do sistema é agilizar as análises das imagens de sonar e minimizar impactos ambientais a ictiofauna próxima a UHE Jirau.

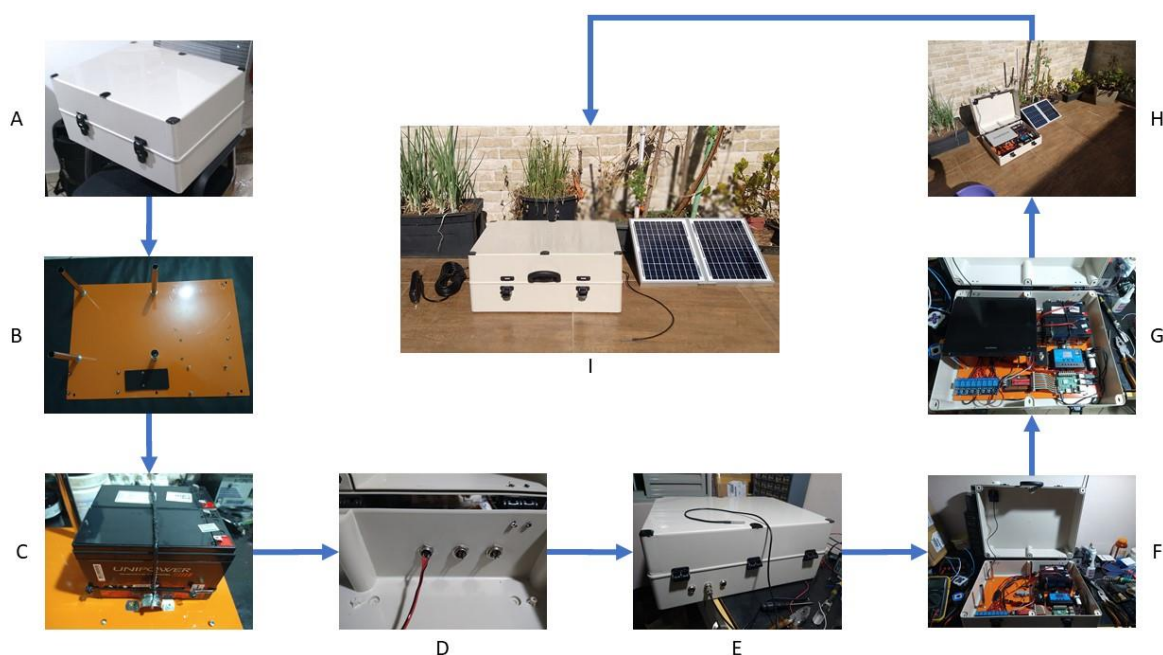


Figura 16. Sequência de montagem do PADS: A) Caixa de montagem em PVC (500mm x 380mm x 200mm) com fecho e dobradiça (instalação de uma alça/puxador para virar uma maleta); B) Perfuração da placa de fixação dos módulos; C) Fixação do conjunto de baterias; D) Perfuração, instalação dos conectores e ligação dos cabos; E) Construção dos cabos externos - placas de painel

solar, sensor de temperatura externa e alimentação externa; F) Fixação dos módulos e passagem de cabos e conexões; G) Finalização do módulo principal com a inserção do equipamento de sonar definitivo (GARMIN GPSMAP 8612xsv); H) Conjunto preparado para acionamento com a maleta aberta; I) Conjunto fechado com ligações e sensores conectados(a esquerda o transdutor; no centro sensor de temperatura externo; a direita o painel solar).

Fonte: Autor (2021)

3.2. Dados de captura e operação

Uma análise dos dados obtidos durante os testes iniciais na UHE Jirau (**Tabela 1**) sugeriram algumas melhorias no sistema, sendo elas: necessidade de refrigeração interna do equipamento (T_{Imáx} chegou a 65°C), instalação de manta térmica de isolamento, instalação de um limitador para a abertura da tampa e o aumento dos cabos do painel solar e sensor de temperatura da água.

Além disso, o painel solar de 20W não comportou o conjunto todo no pico da operação. Ao verificar o consumo final (passou dos 3A por hora), o cálculo indicou a necessidade de substituição do painel atual por um de 60W.

As tecnologias de conexão foram revistas e um módulo para o cartão de memória foi desenvolvido, o que permitiu baixar as informações do cartão de memória sem a necessidade do deslocamento de técnicos até o local de instalação do PADS.

Tabela 1. Monitoramento de operação do PADS (T_{Imín} = Temperatura interna mínima, T_{Imáx} = Temperatura interna máxima, T_{Emin} = Temperatura externa mínima, T_{Emáx} = Temperatura externa máxima, U_{Imin} = Umidade interna mínima, U_{Imáx} = Umidade interna máxima, V_{máx} = Voltagem máxima, V_{min} = Voltagem mínima e TT = Tempo de Teste; Temperaturas em °C; Umidade em %; Voltagem em Volts –V; Tempo de teste em minutos).

T _{Imín}	T _{Imáx}	T _{Emin}	T _{Emáx}	U _{Imin}	U _{Imáx}	V _{máx}	V _{min}	TT
35	65	26	28	26	53	12.4	11.9	157
36	48	26	27	32	32	12.4	12.0	269
31	43	25	25	28	56	12.7	12.6	92
35	36	29	30	55	56	12.7	12.0	31
40	43	32	35	38	43	12.7	12.7	153
34	38	32	34	51	61	12.0	11.7	151

Fonte: Autor (2022)

A operação remota funcionou a contento. Nos experimentos em movimento, a embarcação fez longos deslocamentos pelo Rio Madeira, a partir do local de instalação do PADS, até o momento da perda do sinal. Já nas capturas remotas, com o leitor de monitoramento em repouso, a base do PADS foi fixada a uma distância inferior a 1km (**Tabela 2**).

Tabela 2. Informações de captura pela plataforma PADS (Intervalo em minutos; Alcance em metros).

Intervalo	Alcance	Tipo de Captura	Local de fixação do PADS
15	920	Em repouso	Comporta da UG 26
15	920	Em repouso	Comporta da UG 26
15	8.270	Em movimento	Vão do vertedouro
20	7.960	Em movimento	<i>Log Boom</i> da margem esquerda
15	10.300	Em movimento	<i>Log Boom</i> da margem direita

Fonte: Autor (2022)

Após os ajustes estruturantes, o PADS foi utilizado nos comissionamentos na casa de força, vertedouro e sistema de retenção de troncos superficiais (*Log Boom*) da UHE Jirau. Na casa de força da UHE Jirau, o PADS foi utilizado para o acompanhamento em tempo real da movimentação da ictiofauna no tubo de sucção durante a parada de máquina prevista. Sendo possível identificar em tempo real a biomassa confinada no tubo de sucção (**Figura 07**) durante a parada convencional e a redução total do confinamento da ictiofauna após a manobra de operação para repulsão da ictiofauna baseada na elevação do fluxo hidráulico (Silva et al., 2021). A estabilidade do PADS possibilita a transmissão em tempo real das imagens do tubo de sucção para o setor de operação da usina, viabilizando a tomada de decisões para minimizar impactos na ictiofauna. No vão de jusante do vertedouro e no sistema de retenção de troncos superficial (*Log Boom*) da UHE Jirau (**Figura 08**), o PADS foi utilizado para a avaliação temporal da movimentação da ictiofauna por longo tempo, apresentando resultados robustos e viáveis para estudos de acompanhamento da movimentação de cardumes ao se aproximarem das estruturas da UHE ao longo do ciclo hidrológico.

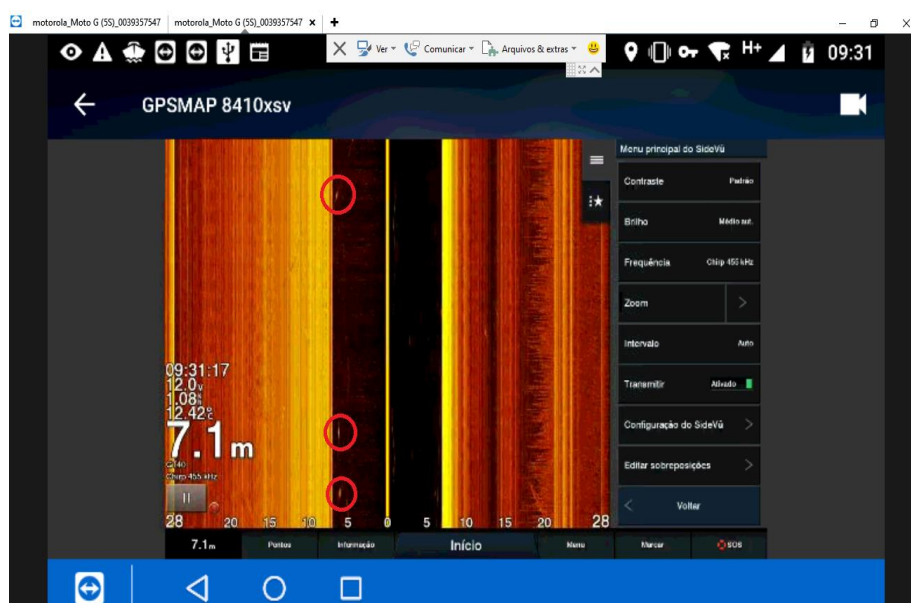


Figura 17. Imagem multifrequencial da movimentação da ictiofauna (círculos vermelhos) no tubo de sucção durante a parada da unidade geradoras utilizando o acesso remoto pela plataforma PADS.

Fonte: Autor (2022)

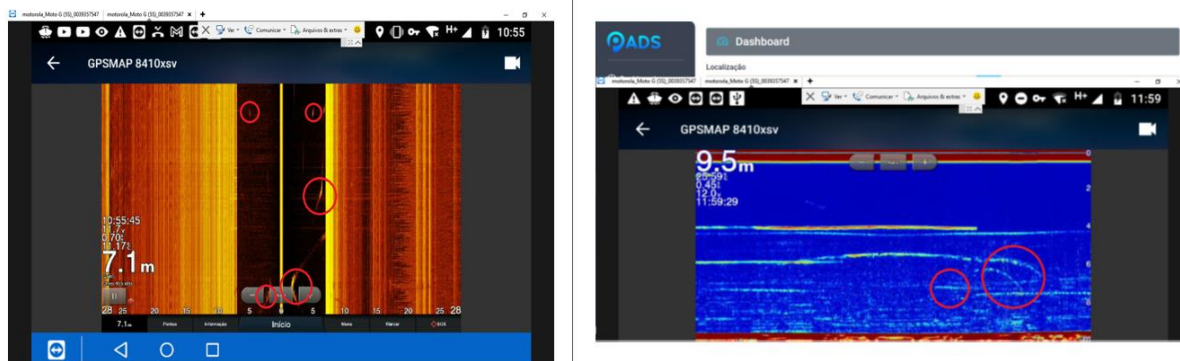


Figura 18. Imagem multifrequencial subaquática na parte interna do vão do vertedouro (esquerda) e no sistema de retenção de troncos superficiais (direita) utilizando o acesso remoto pela plataforma PADS. Os círculos vermelhos indicam a presença e movimentação de ictiofauna.

Fonte: Autor (2022)

3.3. Discussão

A plataforma PADS permite acessar dados de forma remota. Isso traz grandes vantagens ao trabalho de pesquisadores, principalmente, aos que fazem estudos nas proximidades ou nas próprias UHE. A tecnologia oferece uma série de benefícios, mas pode apresentar algumas dificuldades relacionadas a rede de internet local. A ideia é trazer uma discussão entre os benefícios e desvantagens, como também a possibilidade de automatizar outros processos. Um dos principais benefícios desse tipo de proposta é oferecer um excelente custo-benefício. A utilização de tecnologias de padrão aberto e livre facilita o acesso a ferramentas de desenvolvimento, muitas vezes gratuitas. E reduz o custo de construção, tanto de hardware, quanto de software.

Outra vantagem, é a possibilidade de pesquisadores acessarem os dados e configurações do aparelho de sonar. Isso dispensa a necessidade da presença física de um pesquisador para coletar os dados e mudar padrões de captura do aparelho, o que resulta em mais agilidade nos processos operacionais. No processo tradicional, cada nova captura que utilize um sonar, depende da movimentação dos equipamentos e pesquisadores envolvidos no processo.

Uma dificuldade de aplicação da metodologia proposta é a dependência a rede, conexão com a internet. Em resumo, para poder usufruir do PADS o pesquisador depende de uma boa conexão nas duas pontas: tanto em sua residência, universidade, local de trabalho quanto no próprio PADS, que também depende do acesso à rede.

4. Conclusão

Os comissionamentos executados com a plataforma PADS e seus serviços de acesso remoto mostram a possibilidade real de automatizar processos, monitorar atividades e capturar dados remotamente. A utilização do PADS pode reduzir custos operacionais de campo e provavelmente proporcionar um monitoramento remoto e contínuo de áreas onde outrora isto não seria possível.

Além disso, seu custo de construção é relativamente baixo. Esse fato aumenta a possibilidade de adoção e utilização da proposta. Com o uso de tecnologias livres, foi possível

uma rápida montagem. E o emprego de componentes amplamente utilizados no mercado de automação, torna a aquisição e reposição de partes uma tarefa relativamente simples.

Em síntese, os experimentos em campo confirmaram a viabilidade da tecnologia desenvolvida.

5. Agradecimentos

O autor agradece imensamente a Universidade de Brasília (UnB) – Campus Planaltina, a empresa Venturo Consultoria Ambiental, ao Programa de P&D da Energia Sustentável do Brasil (ANEEL/PD-06631-0009/2019), a equipe de operação e manutenção da UHE Jirau por todo apoio à realização do projeto.

6. Referências

ALVES, D. C. et al. Protocol for the assessment of mortality and injuries in fish larvae associated with their downstream passage through hydropower dams. **Rev Fish Biol Fisheries**, v. 29, n. 2, p. 501–512, 1 jun. 2019.

ANDRADE, A.; SOMA, A.; EIKI, C. **Automação de baixo custo baseada no Raspberry Pi**. [s.l.: s.n.].

BROWN, R. S. et al. Quantifying Mortal Injury of Juvenile Chinook Salmon Exposed to Simulated Hydro-Turbine Passage. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 141, n. 1, p. 147–157, 1 jan. 2012.

BUSCOMBE, D. Shallow water benthic imaging and substrate characterization using recreational-grade sidescan-sonar. **Environmental Modelling & Software**, v. 89, p. 1–18, 1 mar. 2017.

CARRINGTON, G.; STEPHENSON, J. The politics of energy scenarios: Are International Energy Agency and other conservative projections hampering the renewable energy transition? **Energy research & social science**, v. 46, p. 103–113, 2018.

CORREA, S. W. Reanálise hidrológica: estudo de caso na Bacia Amazônica. 2019.

DE ENERGIA ELÉTRICA, E. A. E. Empresa de Pesquisa Energética. **Rio de Janeiro**, 2016.

DE PEIXES, S. P. A. T. **SIDNEY LAZARO MARTINS**. PhD Thesis—[s.l.] Universidade de São Paulo, 2005.

DOS SANTOS, C. O. R. et al. As barragens hidrelétricas e os conflitos socioambientais na Amazônia. **Multidisciplinary Reviews**, v. 1, p. e2018005–e2018005, 2018.

EDISON VEIGA. Hidrelétricas matam toneladas de peixes e ameaçam espécies nos rios brasileiros, aponta estudo. **BBC News Brasil**, 2021.

ESCHB.P.M, VAN; SPIERTS.L.Y. Validation of a model to predict fish passage mortality in pumping stations. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 2 set. 2014.

HARRISON, P. M. et al. Turbine entrainment and passage of potadromous fish through hydropower dams: Developing conceptual frameworks and metrics for moving beyond turbine passage mortality. **Fish and Fisheries**, v. 20, n. 3, p. 403–418, 2019.

JENSEN. **Livro:Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres.** Disponível em: <<https://geotecnologias.wordpress.com/2009/03/21/livrosensoriamento-remoto-do-ambiente-uma-perspectiva-em-recursos-terrestres/>>. Acesso em: 6 maio. 2021.

JUNK, W. J.; MELLO, J. DE. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. **Estudos avançados**, v. 4, p. 126–143, 1990.

KUSMA, C. M.; FERREIRA, F. W. Mecanismo de transposição de peixes de pequena central hidrelétrica. **Cienc. Rural**, v. 40, n. 1, p. 89–94, 11 dez. 2009.

MORETTO, E. M. et al. Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: a antiga e atual fronteira Amazônica. **Ambiente & Sociedade**, v. 15, p. 141–164, 2012.

PRADO, I. G. AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE PEIXES À MONTANTE DA BARRAGEM DA UHE TRÊS MARIAS COMO SUBSÍDIO PARA A CONSERVAÇÃO DA ICTIOFAUNA. p. 93, 2012.

ROTTA, L. et al. Sensoriamento remoto hidroacústico no mapeamento de macrófitas aquáticas submersas. **Planta Daninha**, v. 30, n. 2, p. 229–239, 2012.

SIMMONDS, J.; MACLENNAN, D. N. **Fisheries Acoustics: Theory and Practice.** [s.l.] John Wiley & Sons, 2008.

THÉRY, H.; MELLO-THÉRY, N. A. DE. O sistema elétrico brasileiro. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasilera de geografia**, n. 26, 2016.

TORRENTE, L. J. DE Q. G. et al. peixes do rio madeira VOLUME I. [s.d.].

WESTPHAL, G. G. C. et al. Use of side-scan sonar for estimations of *Crassostrea brasiliana* (Lamarck, 1819) stocks in subtidal banks on the south coast of Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. 1, p. 49–56, mar. 2016.

WINEMILLER, K. O. et al. Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. **Science**, v. 351, n. 6269, p. 128–129, 8 jan. 2016.

Capítulo 4 - Integrações, Conclusão e Trabalhos Futuros

A construção de sistemas baseados em API's (micro serviços) visa a integração futura entre plataformas. O PADS nasceu sobre o paradigma de micro serviços, o que permite a integração dos dados gerados com outras tecnologias e expande as aplicações da solução. Este capítulo mostra a possibilidade do PADS executar uma integração de dados com um software de detecção de peixes. O grupo de pesquisa do laboratório de Química Analítica Ambiental (LQAA/CODAM) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, em parceria com a empresa Venturo Análises Ambientais, produziu um sistema com essa finalidade, contar e detectar peixes.

4.1 Software de detecção de peixes

Desenvolvido em C# (C-Sharp), o INPA em conjunto com a empresa Venturo Análises Ambientais produziu um sistema capaz de reconhecer padrões natatórios, ou seja, avaliar rastros de peixes em imagens de sonar. O procedimento está sedimentado na utilização da biblioteca de código aberto de visão computacional *OpenCvSharp*. Basicamente, o processo está dividido em duas etapas, uma de preparo das imagens e uma segunda de processamento por intermédio da biblioteca *OpenCvSharp* e suas técnicas de processamento de imagem, como por exemplo, limpar o ruído de fundo do sinal subtraindo imagens.

Há grande expectativa na utilização da ferramenta, pois atualmente a contagem de peixes é um processo manual, ou seja, é necessário um técnico especializado para analisar as imagens de sonar e executar a contagem visualmente. O PADS visa reduzir formas manuais de coleta, enquanto o software de detecção e contagem de peixes, visa resolver o processamento manual dessas informações. A união de ambos resultaria em um tempo de resposta maior nas análises de imagens coletadas, principalmente, nos pontos de interesse de estudo do PADS.

4.2 Integração

A fronteira dos dois sistemas está bem definida. Como descrito anteriormente, o PADS foca na aquisição dos dados de maneira remota e automática, enquanto o sistema de contagem e detecção de peixes (SCDP), no processamento dos dados gerados por sonar. Duas são as formas de integrar o funcionamento das soluções: 1- Compartilhar o repositório de arquivos utilizado pelo PADS, ou seja, as gravações feitas pelo sonar serão acessadas pelo SCDP (Figura 19); 2- O SCDP pode requisitar os arquivos por dia e horário que deseja processar (Figura 20). Um diagrama simples ilustra a visão dessas integrações, sendo que na segunda opção é necessária uma definição de serviços entre os dois sistemas.

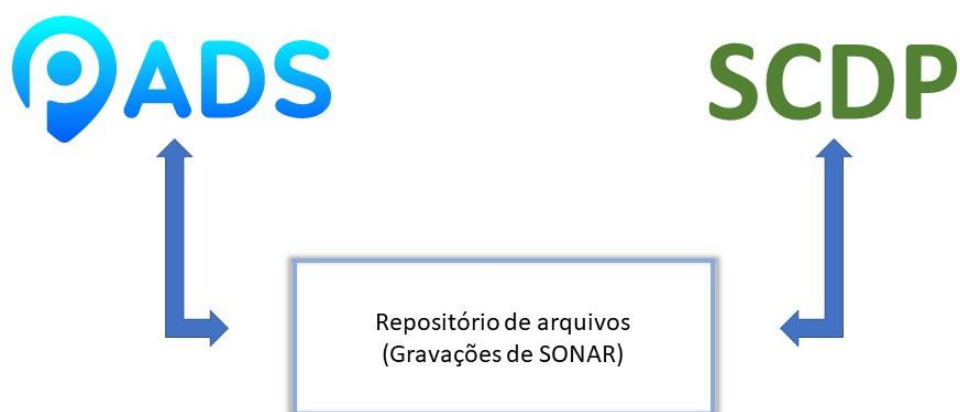


Figura 19. PADS e SCDP lendo arquivos em um mesmo repositório. **Fonte:** Autor (2022)

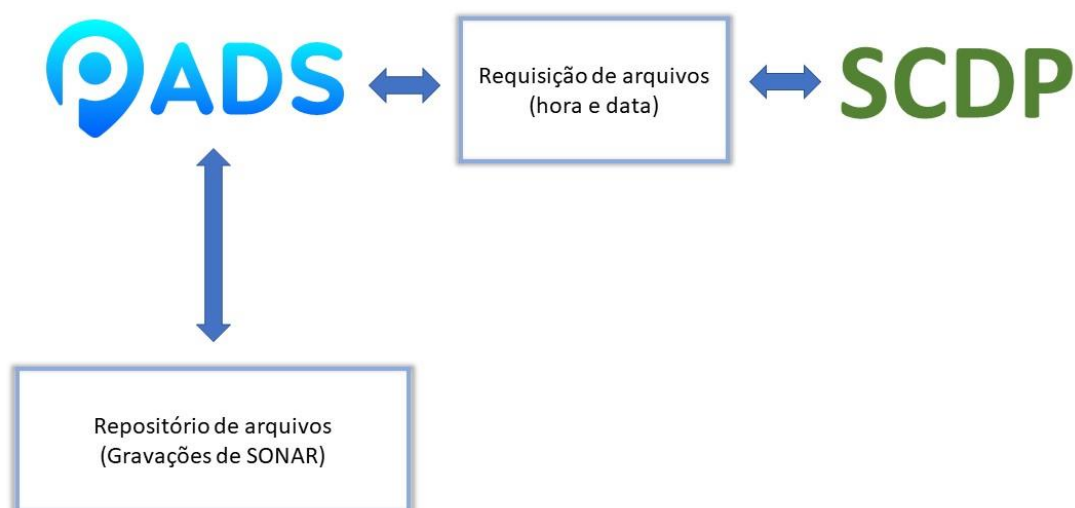


Figura 20. SCDP requisita arquivos para o PADS ao utilizar parâmetros de data e hora. **Fonte:** Autor (2022)

4.3 Conclusão

Os experimentos executados na fase de prototipação, como na fase de campo, confirmam a utilização da plataforma e seus serviços de acesso remoto. A possibilidade real de automatizar processos, monitorar atividades e capturar dados remotamente é real. A utilização dessa plataforma pode reduzir custos operacionais de campo e provavelmente proporcionar um monitoramento remoto e contínuo de áreas onde outrora isso não era possível.

Além disso, o custo de construção foi relativamente baixo, o que aumenta a possibilidade de adoção e utilização do equipamento. O uso de tecnologias livres torna a automação, a aquisição e reposição de partes uma tarefa simples. Em suma, o comissionamento da plataforma confirmou a viabilidade de utilização do sistema.

4.4 Trabalhos Futuros

O PADS pode ser expandido e receber melhorias em suas funcionalidades, como também ser utilizado como base para outros trabalhos e integrações:

- Ampliar as conexões com outros dispositivos ao PADS (câmeras e bases de monitoramento. Ex.: captura e estudos dos sons do Rio Madeira próximo a UHE JIRAU – busca de vazamento de água nas comportas);
- Transformar o PADS em um tipo de sonda (ver a instalação em um flutuador e realizar capturas para criação de uma série histórica);
- Integração de dados com o SCDP (processamento em tempo real - emitir alertas de proximidade de cardumes).

Referências

1. Hidrelétricas matam toneladas de peixes e ameaçam espécies nos rios brasileiros, aponta estudo. 2
2. Alves, D. C., Vasconcelos, L. P., da Câmara, L. F., Hahn, L., and Agostinho, A. A. Protocol for the assessment of mortality and injuries in fish larvae associated with their downstream passage through hydropower dams. 501–512. 2
3. Andrade, A., Soma, A., and Eiki, C. *Automação de baixo custo baseada no Raspberry Pi*. 4
4. Brown, R. S. et al. Quantifying Mortal Injury of Juvenile Chinook Salmon Exposed to Simulated Hydro-Turbine Passage. *Transactions of the American Fisheries Society*, v. 141, n. 1, p. 147–157, 1 jan. 2012. 2
5. Buscombe, D. Shallow water benthic imaging and substrate characterization using recreational-grade sidescan-sonar. 1–18. 4
6. Carrington, G., and Stephenson, J. The politics of energy scenarios: Are international energy agency and other conservative projections hampering the renewable energy transition? *Energy research & social science* 46 (2018), 103–113. 1
7. Correa, S. W. Reanálise hidrológica: estudo de caso na bacia amazônica. 6
8. de Energia Elétrica, E. A. E. Empresa de pesquisa energética. *Rio de Janeiro* (2016). 1
9. DE PEIXES, S. P. A. T. *SIDNEY LAZARO MARTINS*. PhD thesis, Universidade de São Paulo, 2005. 12
10. dos Santos, C. O. R., Marques, M. C., de Sousa, A. O., Ribeiro, D. S., and Júnior, A. P. As barragens hidrelétricas e os conflitos socioambientais na amazônia. *Multidisciplinary Reviews* 1 (2018), e2018005–e2018005. 6
11. EschB.P.M, v., and SpiertsI.L.Y. Validation of a model to predict fish passage mortality in pumping stations. Publisher: NRC Research Press. 2
12. Harrison, P. M., Martins, E. G., Algera, D. A., Rytwinski, T., Mossop, B., Leake, A. J., Power, M., and Cooke, S. J. Turbine entrainment and passage of potadromous fish through hydropower dams: Developing conceptual frameworks and metrics for moving beyond turbine passage mortality. 403–418. _eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/faf.12349>. 2
13. Jensen. Livro: sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 3
14. Junk, W. J., and Mello, J. d. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. *Estudos avançados* 4 (1990), 126–143. 10

15. Kusma, C. M., and Ferreira, F. W. Mecanismo de transposição de peixes de pequena central hidrelétrica. 89–94. 4, 13
16. Moretto, E. M., Gomes, C. S., Roquetti, D. R., and Jordão, C. d. O. Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: a antiga e atual fronteira amazônica. *Ambiente & Sociedade* 15 (2012), 141–164. 1, 2
17. Prado, I. G. AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE PEIXES À MONTANTE DA BARRAGEM DA UHE TRÊS MARIAS COMO SUBSÍDIO PARA a CONSERVAÇÃO DA ICTIOFAUNA. 93. 3
18. Rotta, L., Imai, N., Batista, L., Boschi, L., Galo, M. d. L. B. T., and Velini, E. D. Sensoriamento remoto hidroacústico no mapeamento de macrófitas aquáticas submersas. *Planta Daninha* 30, 2 (2012), 229–239. 10
19. Simmonds, J., and MacLennan, D. N. *Fisheries Acoustics: Theory and Practice*. John Wiley & Sons. 3
20. Théry, H., and Mello-Théry, N. A. d. O sistema elétrico brasileiro. *Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasilera de geografia*, 26 (2016). 1
21. Torrente, L. J. d. Q. G., Ohara, V. W. M., Jansen, T. H. d. S. P., and da Costa Doria, Z. C. R. peixes do rio madeiravolume i. 9
22. Westphal, G. G. C., Ostrensky, A., Westphal, G. G. C., and Ostrensky, A. Use of side-scan sonar for estimations of *crassostrea brasiliana* (lamarck, 1819) stocks in subtidal banks on the south coast of brazil. 49–56. Publisher: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. 2
23. Winemiller, K. O. et al. Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. *Science*, v. 351, n. 6269, p. 128–129, 8 jan. 2016.
24. Zanotele Hemerly de Almeida, R., Sávio Cordeiro, J. C., and Lopes, L. E. Caracterização de carregamentos de campo sobre sistema fluvial de contenção de detritos. 4