



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA
XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Reação da ictiofauna da região amazônica a diferentes impulsos sonoros

Maroja, A. M.¹; Garavelli, S. L.²; Silva, T. M.³; Zara, L. F.⁴

¹ Curso de Ciências Naturais, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, amaroja@unb.br

² Centro Universitário de Brasília, Brasília, DF, Brasil, sergio.garavelli@ceub.edu.br

³ Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, taniamachado91@gmail.com

⁴ Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, fabriciozara@unb.br

Resumo

Este trabalho é parte de um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D - 06631-0009/2019), que tem como objetivo desenvolver e validar estratégias tecnológicas integrando sistemas físico-químicos para a repulsão da ictiofauna do tubo de sucção durante o desligamento das unidades geradoras da Usina Hidroelétrica Jirau, localizada no rio Madeira, estado de Rondônia, Brasil. Uma das estratégias é a barreira acústica, que está sendo desenvolvida de forma a atender as particularidades das espécies de peixes amazônicos da área de estudo. A barreira irá evitar e/ou minimizar a entrada de peixes nos tubos de sucção durante a parada e retomada das turbinas. Numa primeira etapa, foram identificados parâmetros acústicos: limiar auditivo e faixa de frequência de audição dos peixes mais comuns capturados na Usina. Numa outra etapa foram realizadas simulações computacionais que definiram a configuração e a potência da fonte sonora necessária para a barreira. Numa terceira etapa foi realizada a caracterização dos sons aéreos e subaquático na vizinhança da Usina. Nesta etapa foram realizados testes in situ utilizando o arranjo simulado com a fonte sonora da Lubell LL916 e o hidrofone C75 da Cetacean Research, testando a eficiência de 4 diferentes configurações de ruído: rosa; trovão; de tiro e um com componentes tonais bem definidas. Os testes foram realizados no vertedouro da Usina de Jirau, onde foram monitoradas a movimentação de peixes antes e durante o acionamento da fonte sonora. Os resultados indicaram que todos os diferentes tipos de sons têm potencial de aumentar a movimentação dos peixes, entretanto com desempenhos diferentes. O som gerado com componentes tonais aumentou em 57% a movimentação, o ruído de trovão em 43%, o ruído de tiro em 37% e o ruído rosa em 29%. Os resultados servirão de subsídio para a próxima etapa, os testes nos tubos de sucção.

Palavras-chave: barreira sonora, peixes amazônicos, turbinas, hidrelétrica, ruído subaquático

PACS: 43.50.Rq, 43.30.-k

Abstract

This work is part of a research and development project (R&D - 06631-0009/2019), which aims to develop and validate technological strategies integrating physical-chemical systems for the repulsion of ichthyofauna from the suction tube during the shutdown of the generating units of the Jirau Hydroelectric Power Plant. The plant is located on the Madeira River, Rondônia state, Brazil. One of the strategies is the acoustic barrier, which is being developed in order to meet the particularities of the Amazonian fish species in the study area. The barrier will prevent and/or minimize the entry of fish into the draft tubes during turbine shutdown and restart. In a first step, acoustic parameters were identified: auditory threshold and hearing frequency range of the most common fish caught at the Plant. In another step, computer simulations were performed to define the configuration and power of the sound source needed for the barrier. In a third stage, the characterization of aerial and underwater sounds in the vicinity of the Plant was carried out. In this step, in situ tests were carried out using the simulated arrangement with the Lubell LL916 sound source and the C75 hydrophone from Cetacean Research, testing the efficiency of 4 different noise configurations: pink; Thunder; shot and one with well-defined tonal components. The tests were carried out in the spillway of the Jirau Power Plant, where the movement of fish was monitored before and during the activation of the sound source. The results indicated that all different types of sounds have the potential to increase fish movement, however with different performances. Sound generated with tonal components increased motion by 57%, thunder by 43%, gunshot by 37%, and pink noise by 29%. The results will serve as a subsidy for the next stage, the tests on the suction tubes.

Keywords: sound barrier, amazon fish, turbines, hydroelectric plant, underwater noise



1. INTRODUÇÃO

Apesar dos significativos avanços da energia eólica e solar, observados no Brasil na última década, a energia hidráulica, vinda da operação de Usinas Hidrelétricas, representa uma parcela relevante da matriz elétrica, aproximadamente 65%. A geração desta energia tem como externalidades impactos ambientais nos cursos d'água e na ictiofauna local. Para preservar rotas migratórias de peixes, usinas têm adotado sistemas de transposição de peixes e estudado alternativas de repulsão para evitar o acúmulo de peixes no sopé das barragens que algumas vezes resultam na mortandade em turbinas e vertedouros, em especial durante as manutenções periódicas ou intempestivas das turbinas.

Impactos adversos nas populações de peixes tais como mudanças na distribuição espacial e no comportamento, estresse, perda auditiva temporária e danos aos ouvidos são relatados na literatura [1],[2]. No caso das hidroelétricas o maior desafio ambiental é manter a funcionalidade do contínuo fluvial, permitindo o trânsito de peixes entre as áreas alteradas pelos barramentos do rio [3].

O foco do trabalho é a avaliação do ruído subaquático nas vizinhanças da usina hidroelétrica (UHE) Jirau (3750MW) localizada no rio Madeira, estado de Rondônia, Brasil. A UHE Jirau é uma das grandes usinas hidroelétricas na última década. Em conjunto com as hidroelétricas de Santo Antônio no Rio Madeira (3568MW) e Belo Monte no Rio Xingú (11233MW), contribuem hoje com mais de 10% da energia elétrica produzida no Brasil [4].

A propagação do som no ambiente subaquático difere da propagação no ar. Primeiro deve-se destacar que a mudança de meio afeta tanto a velocidade como a propagação e dispersão da onda sonora, existindo também outras variáveis como a pressão. A grandeza acústica mais utilizada para representar a intensidade do som nesse ambiente também é o Nível de Pressão Sonora (NPS), pois a pressão sonora é o estímulo físico que melhor se relaciona com a sensação de som. A diferença é que a pressão de referência na acústica subaquática é de $1,0\mu\text{Pa}$

[5]. Uma medida na acústica subaquática é escrita na forma "100dB re $1,0\mu\text{Pa}$ ".

Outra peculiaridade é que no ambiente subaquático muitas vezes a fonte não está disponível para medida de sua potência sonora. Geralmente são realizadas medidas em uma posição distante da fonte e então o ruído é corrigido para o nível a uma distância de 1 m de uma fonte hipotética, usando a hipótese de espalhamento hemisférico simples. Valores típicos de ruídos no ambiente subaquático (NPS em dB re $1\mu\text{Pa}$ a 1m): 181dB para um navio de abastecimento; 235dB para um sonar militar com frequência central de 3,2kHz; 100 dB para o mar moderado (estado 4) [6]. Em medidas ambientais realizadas pela equipe do projeto a uma profundidade de 5m os foram medidos NPS: 114dB re $1\mu\text{Pa}$ no leito do rio Madeira; 144dB re $1\mu\text{Pa}$ nas proximidades da barragem da UHE Jirau.

Este trabalho é parte de um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D ANEEL- 06631-0009/2019), que tem como objetivo desenvolver e validar estratégias tecnológicas integrando sistemas físico-químicos para a repulsão da ictiofauna do tubo de sucção durante o desligamento das unidades geradoras de usinas hidroelétricas. Uma das estratégias, foco do trabalho, é a barreira acústica, que está sendo desenvolvida de forma a atender as particularidades das espécies de peixes amazônicos da área de estudo. O presente trabalho corresponde a quarta etapa do projeto.

O objetivo do projeto é que a barreira acústica evite e/ou minimize a entrada de peixes nos tubos de sucção durante a parada e retomada das turbinas. Assim na primeira etapa da pesquisa foram coletados dados do inventário das espécies detectadas nos tubos de sucção ao longo dos últimos anos e feita uma comparação com dados obtidos por estudos em outros países levando em conta a ordem/família de peixes equivalentes, pois os dados não estão disponíveis para peixes amazônicos. Os resultados indicam que a fonte sonora para

produção da barreira acústica adequada a ictiofauna do Rio Madeira deve ter intensidade de pelo menos 161 dB (re 1 μ Pa) e ser capaz de reproduzir tanto baixas como médias frequências no intervalo de 100 a 5000Hz, faixa audível das espécies detectadas na usina [7].

Na segunda etapa foram realizadas simulações computacionais que definiram a configuração e a potência da fonte sonora necessária para a construção da barreira acústica. Como resultado foi verificado que a princípio uma única fonte sonora subaquática de alta potência: 180 dB re 1 μ Pa seria suficiente para produção da barreira acústica.

Na terceira etapa foi realizada a caracterização dos sons aéreos e subaquáticos na vizinhança da usina bem como o teste dos equipamentos para medida (hidrofone) e reprodução (fonte acústica subaquática) de ruídos no ambiente subaquático. Os resultados mostram que os ruídos ambientais aéreos na área externa da usina bem como no limite com a área de floresta que circunda o empreendimento os NPS estão de acordo com os valores estabelecidos pelas normas vigentes. O espectro sonoro não apresenta sons tonais mesmo nas medidas realizadas em pontos próximos as unidades geradoras. Os níveis sonoros variam de 65dB nas proximidades da casa de máquinas, onde existe fluxo de carros e caminhões a valores próximos a 40 dB na área de floresta que circunda a usina.

A Figura 1 apresenta os espectros do ruído subaquático em dois pontos a jusante da barragem. Medidas realizadas a uma profundidade de 5m. A localização do ponto p₁, mais próximo da barragem, é mostrada na Figura 2. Já o ponto p₂ está a mais de 1,5km da barragem, no meio do rio Madeira, fora do enquadramento apresentado na figura. Observa-se assim que próximo a barragem predominam baixas e médias frequências enquanto no meio do rio predominam as baixas frequências. Os níveis de pressão sonora já foram citados anteriormente, 144dB re 1 μ Pa para o ponto p₁ e 114dB re 1 μ Pa para o ponto p₂.

Os equipamentos funcionaram de forma satisfatória, a fonte sonora reproduziu o som

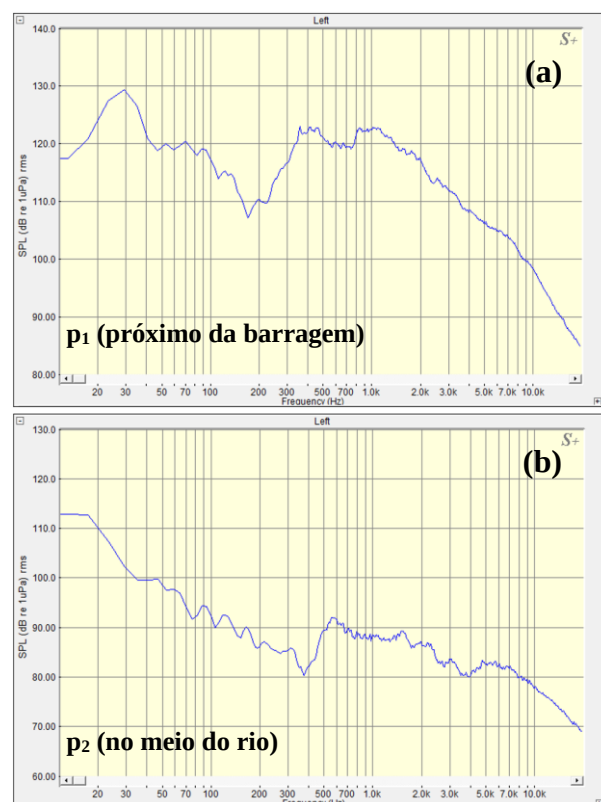


Figura 1: Espectro do ruído ambiental nas proximidades da barragem em (a) e no meio do rio em (b) (Fonte: Autores).

com a intensidade desejada na faixa de frequência estipulada pelo fabricante. Os testes foram realizados com a utilização de ruído rosa e ruídos tonais. Os espectros reproduzidos pela fonte sonora foram os captados pelo hidrofone, considerando variações de intensidade e frequência.

Neste trabalho foram realizados testes in situ utilizando a fonte acústica subaquática e o hidrofone a fim de verificar a eficiência de quatro diferentes configurações de ruído para o teste da barreira acústica. Destacamos que os resultados são preliminares, mas conduzem a considerações iniciais satisfatórias sobre a efetividade de cada tipo de ruído utilizado.

2. METODOLOGIA

Iniciamos com uma breve descrição da área de estudo, em seguida, realizamos a escolha do local para o teste piloto e por fim apresentamos os procedimentos e equipamentos utilizados no teste piloto. A metodologia foi balizada pelos resultados das etapas iniciais do projeto de pesquisa.



2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende a UHE Jirau, quarta maior hidrelétrica em geração de energia instalada no Brasil. Está localizada no rio Madeira a 120 Km da capital Porto Velho, no estado de Rondônia. Iniciou sua construção em 2010 e está em operação plena desde outubro de 2013. A UHE Jirau possui 50 unidades geradoras (UG) com turbinas tipo bulbo, com potência instalada de 3.750 MW. A área inundada com a instalação da UHE varia ao longo do ano, a depender dos ciclos hidrológicos da região, entre 21,0 km² e 207,7 km², e a área do reservatório é de 361,6 km². A UHE Jirau é gerida pela empresa Energia Sustentável do Brasil S.A (ESBR) [7].

A Figura 2 mostra a área de estudo com destaque das unidades geradoras da margem direita do rio, a respectiva casa de máquinas bem como a área do vertedouro. O quadro (a) à esquerda mostra o vertedouro, a comporta está fechada a montante assim não existe fluxo de água através da abertura a jusante. Uma pista passa acima da abertura a jusante. Já o quadro (b) à direita mostra a vista frontal da parte superior das aberturas dos tubos de sucção que estão submersos.

Na escolha do local para o teste piloto foram utilizados critérios de segurança, semelhança com os tubos de sucção das unidades geradoras em relação a dimensão e especialmente a presença de peixes e a disponibilidade do local de forma a não atrapalhar as atividades da usina.

O local selecionado foi um dos dutos do vertedouro da usina, Figura 2. O período de realização das medidas foi o de seca, quando parte dos dutos do vertedouro permanecem fechados a montante, mas ficam abertos a jusante. Situação semelhante a encontrada quando da parada de uma das turbinas da usina, quando também o tubo de sucção fica aberto a jusante possibilitando o livre acesso de peixes. O período de cheia do rio é chuvoso e a quantidade de água e as correntezas impedem a realização de medidas tanto no vertedouro, que ficam plenamente abertos, como nos tubos de sucção das unidades geradoras, em pleno funcionamento.

Destaca-se ainda que os tubos de sucção ficam disponíveis por curtos períodos durante a manutenção e mesmo nas paradas programadas

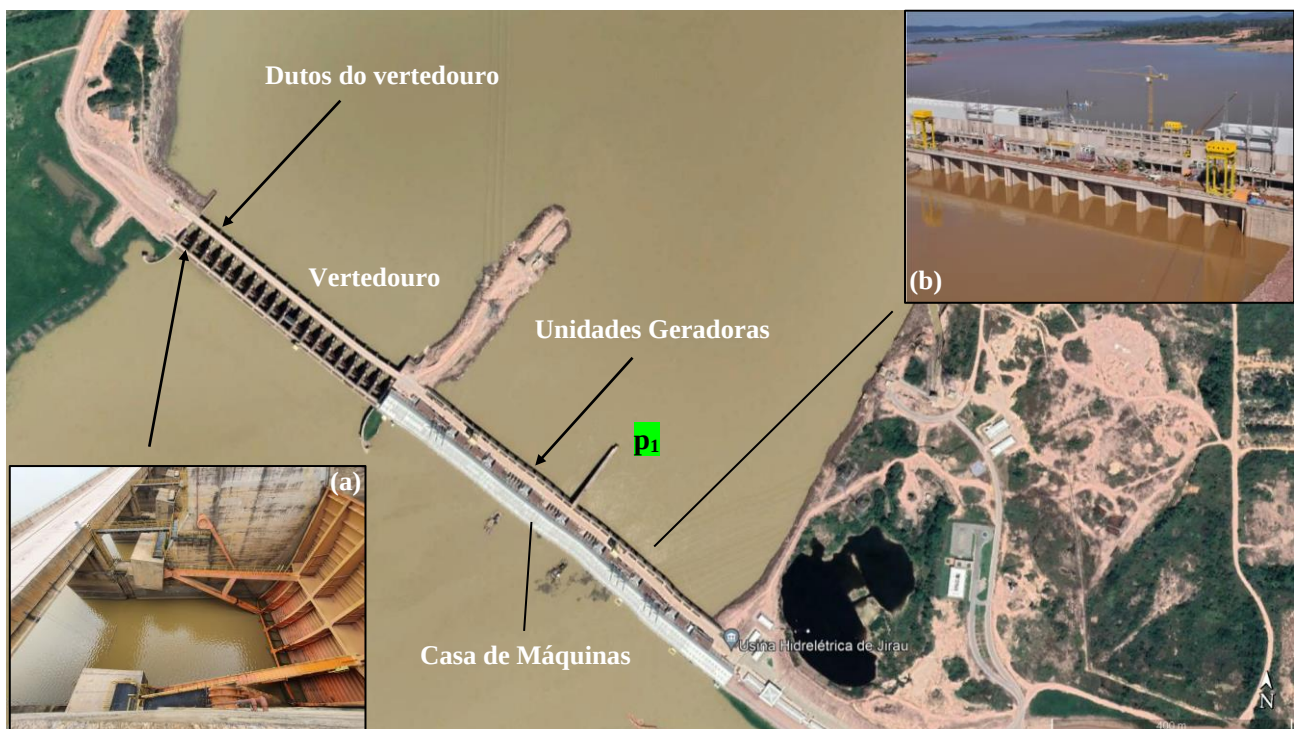


Figura 2: Área de estudo (Fonte: Google Earth) (a) Vista do vertedouro (Fonte: Autores) e (b) Vista frontal dos tubos de Sucção (Fonte: Divulgação ESBR).

o tempo disponível é pequeno, dado o custo econômico da parada das turbinas. Já o vertedouro fica disponível por um período de meses na época da seca.

2.2 Ruídos produzidos para teste da barreira acústica

Os ruídos para o teste da barreira acústica foram produzidos com os editores de áudio FL Studio e Audacity utilizando sons gerados nos editores e sons disponíveis no repositório de efeitos sonoros da BBC [8].

Foram produzidos quatro tipos de ruído para teste da barreira tendo como base os resultados da primeira etapa e da terceira etapa do projeto de pesquisa para a intensidade e a faixa de frequências do ruído subaquático nas proximidades da barragem da usina e no meio do rio (Figura 1): (i) Ruído Rosa (Padrão), (ii) Ruído Rampa (500 a 4000Hz), (iii) Trovão (baixas e médias frequências) e (iv) Tiro (baixas e médias frequências - Pulso).

2.3 Teste piloto da barreira acústica no vertedouro

O teste piloto da barreira acústica foi realizado no último duto do vertedouro da UHE Jirau, indicado na Figura 2 e mostrado no quadro de destaque (a) da mesma figura. A abertura frontal para jusante do vertedouro tem 12m de largura e 14m no comprimento (Figura 3). A profundidade da lâmina d'água é de 18m. As dimensões são semelhantes ao tubo de sucção que é um tubo assentado no fundo da barragem a uma profundidade média de 25m. A largura frontal do tubo para jusante é de 14m e a altura em relação ao fundo da barragem é de 12,5m.

Na entrada do vertedouro a jusante foi posicionado próximo a linha d'água o transdutor do sistema hidro acústico, que registra a movimentação de peixes no interior do vertedouro. O sistema utilizado é composto pelo GARMIM GPSMAP 8612xsv acoplado ao transdutor GT40-TM e operado nas frequências de 455 a 880 kHz nas visualizações DownVü e SideVü.

A fonte acústica é composta de alto falante subaquático Lubell LL916 (nível máximo de



Figura 3: Posicionamento do sonar na parte interna da ponte sobre o vertedouro. (Fonte: Autores)

saída de 180dB/ μ Pa/m @ 1kHz e resposta de frequência de 200Hz-23kHz), amplificador AC1400 e acessórios. O alto falante foi posicionado também na entrada do vertedouro a uma profundidade de 9m, centralizado no meio do vertedouro.

Próximo ao alto falante foi posicionado o hidrofone, também a 9m de profundidade. O conjunto do hidrofone C75 da Cetacean Research Technology é conectado a interface SpectraDAQ-200 USB calibrada. A interface ligada a um computador através de um cabo SCSI coleta os dados de medida por meio do software Spectra Plus-SC.

A Figura 3 mostra o suporte de alumínio onde o transdutor do sonar é posicionado próximo a superfície da água no centro do vertedouro. O conjunto é preso por cordas a parte interna da ponte que atravessa a entrada do vertedouro. Por razões de segurança, devido ao trânsito de automóveis e caminhões sobre a ponte, não foi possível posicionar nenhum aparelho na parte externa da fonte.

A tela do sonar é gravada em tempo real. A gravação, em momento posterior ao experimento, é analisada utilizando o software desenvolvido pela Venturo Consultoria Ambiental, participante do projeto de P&D, onde a contagem de movimentações por minuto é apurada para cada medida. A Figura 4 mostra a imagem da tela do software. Os traços brancos sobrepostos ao fundo cinza representam a movimentação dos peixes.

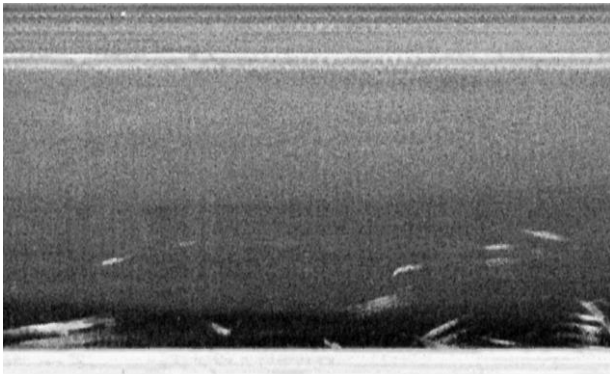


Figura 4: Imagens da tela do sistema de contagem de movimentação de peixe utilizando sonar na parte interna do vertedouro. (Fonte: Autores)

A fonte acústica também é presa a ponte, mas é posicionada a uma profundidade de 9m abaixo do transdutor. O hidrofone foi posicionado 1m a direita da fonte acústica a 9m de profundidade. A Figura 5 mostra os preparativos para a medida. Na parte de trás do carro de apoio o computador notebook e o amplificador que controlam o hidrofone e a fonte acústica. O quadro no canto superior direito mostra o sonar sobre o banco do passageiro do carro, que não fica visível na figura. As cordas que aparecem sobre a mureta sustentam o sonar, o hidrofone e a fonte acústica.



Figura 5: Preparativos para a medida. (Fonte: Autores)

Os testes foram realizados no período de 04/11/2021 a 12/11/2021 em seis dias distintos com tempo bom e sem ventanias. Em cada dia foram planejadas quatro medidas, sendo duas medidas no período da manhã e duas medidas no período da tarde com o mesmo grupo de ruídos, onde o GRUPO 1: (i) Rosa e (ii) Rampa e o GRUPO2: (iii) Trovão e (iv) Tiro. No total seis medidas para cada tipo de ruído com um total geral de 24 medidas.

No primeiro dia, antes de iniciar as medidas, foram realizadas medidas iniciais a fim de verificar se existe alguma influência do sonar no ruído residual subaquático, avaliado na faixa de frequência de 10Hz a 20kHz. Foram realizadas medidas do ruído residual com o sonar ligado e com o sonar desligado.

O procedimento foi o seguinte: o período da manhã inicia com a medida do ruído residual subaquático por três minutos com o hidrofone.

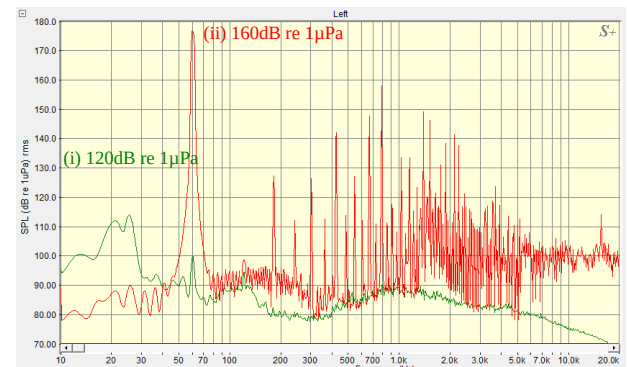


Figura 6: Ruído residual no vertedouro. NPS globais em destaque para cada medida. (Fonte: Autores)

Em seguida a movimentação por trinta minutos apenas com o sonar seguida da movimentação com o primeiro som por 15 minutos. Mais trinta minutos de medida da movimentação apenas com o sonar seguida da movimentação com o segundo som do dia por 15 minutos. O intervalo entre manhã e tarde com os equipamentos desligados foi de no mínimo 2h. No período da tarde são repetidas as medidas realizadas no período da manhã.

No primeiro dia de medidas foi verificado que o ruído residual apresenta valores superiores aos verificados nas medidas iniciais próximas a barragem, com forte tom harmônico em 60Hz. Nos dias seguintes foi incluída a medida do ruído residual de três minutos antes de cada medida bem como gravações de longa duração, tempo de 20 minutos, a fim de avaliar a variação da intensidade do ruído residual no tempo.

3. RESULTADOS

No teste da influência do sonar nas medidas do ruído ambiental subaquático no vertedouro não foi observada qualquer alteração na intensidade e no espectro do ruído residual quando o sonar

era ligado. A avaliação compreendeu o intervalo de 10Hz a 40kHz.

A análise do ruído residual mostrou que o tom de 60Hz aparece repentinamente, Figura 6, acarretando o aumento dos NPS global da medida de patamares em torno de 120dB re 1μPa na medida (i) em verde para 160dB re 1μPa na medida (ii) em vermelho. O som reproduzido no alto falante do notebook é claro e semelhante ao de um motor em funcionamento. Dada a frequência do som de 60Hz e o aumento repentino da intensidade, julgamos que possivelmente este ruído tem origem no maquinário de movimentação das comportas do vertedouro.

Observa-se que não foram vistas nos arredores da posição de medida nenhuma outra possível fonte de ruído, como dragas de mineração e de retirada de troncos, que transitam com certa frequência nas proximidades da barragem a montante e do vertedouro. A Figura 6 apresenta os espectros relativos as duas situações. Observe que o pico discreto em 60Hz é substituído por um forte tom ressonante em 60Hz. Vale observar que nenhum pico em 60Hz foi observado nas medidas do ruído ambiental subaquático realizadas nas proximidades da barragem, veja Figura 1.

A Figura 7 apresenta na parte superior o espectro do ruído ambiental no vertedouro,

medido com o hidrofone, quando a fonte acústica reproduz cada um dos ruídos pré-definidos (Sonar desligado): ruído Rosa (em rosa), ruído Rampa (em vermelho), ruído Trovão (em azul) e ruído tiro (em laranja). Em verde é apresentado o ruído residual, quando nenhum som é reproduzido pela fonte. As duas curvas na parte inferior da figura apresentam os espectros para o ruído rosa e ruído tiro retirando o ruído residual. Observa-se claramente forte ressonância dos diversos tipos de ruído com o tubo de sucção para altas frequências, mesmo para o ruído Rampa (500Hz-4000Hz). Nas curvas inferiores a ausência de sons abaixo de 200Hz é devido ao limiar inferior de resposta de frequência do alto falante subaquático ser de 200Hz [9].

A variação na movimentação de peixes apurada nas medidas realizadas com os diversos tipos de ruído foi a seguinte: som gerado com componentes tonais aumentou em 57% a movimentação, o ruído de trovão aumentou em 43%, o ruído de tiro aumentou em 37% e o ruído rosa aumentou em 29%. Os números representam a variação média da movimentação de peixes apurada nos 5 minutos **antes** da fonte sonora ser ligada comparada com o pico das movimentações durante os 15 minutos em que a fonte acústica permanece funcionando.

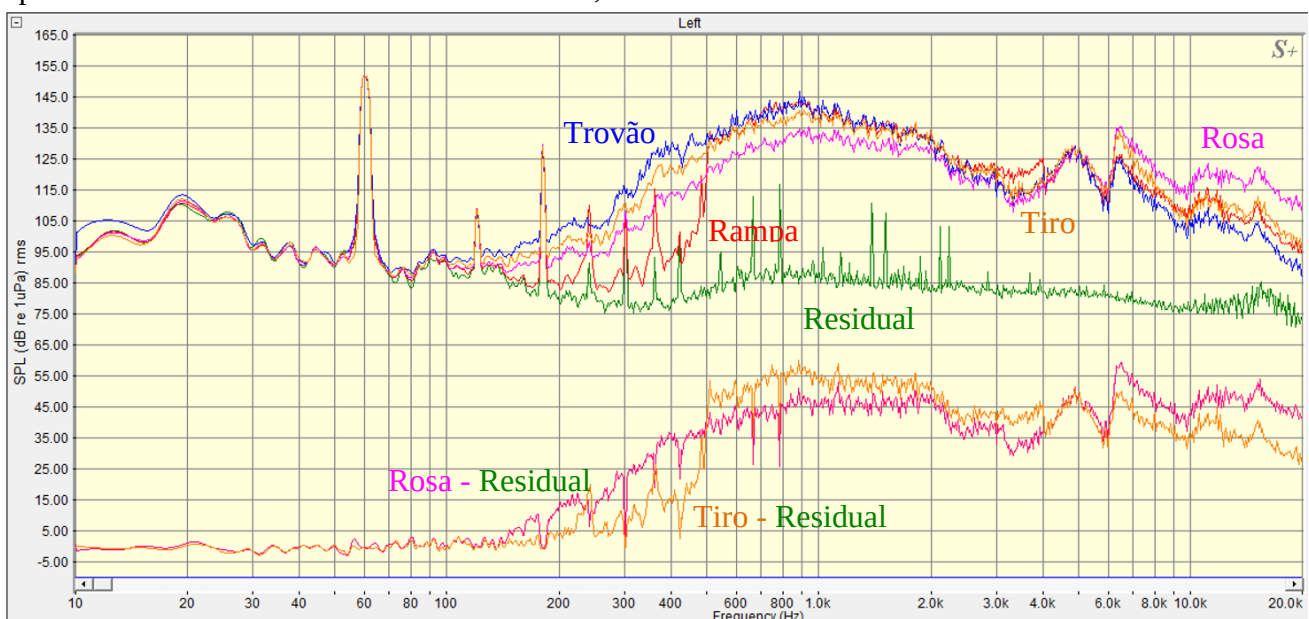


Figura 7: Espectro do ruído ambiental no vertedouro, medido com o hidrofone, quando a fonte acústica reproduz cada um dos ruídos pré-definidos. (Fonte: Autores)



Os resultados acima são preliminares, mas indicam que o ruído produzido pela fonte acústica tem o potencial de produzir a movimentação dos peixes que estão no vertedouro. Destaca-se que o sonar não permite a contagem dos peixes, detecta apenas a movimentação próxima a saída do tubo do vertedouro.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da movimentação dos peixes com o sonar é uma tarefa árdua que exige dedicação da equipe de medida. Os resultados apresentados neste artigo são parciais, ainda há dados coletados para analisar.

Os resultados obtidos indicam que os ruídos produzidos pela fonte acústica tem potencial de causar a movimentação de peixes. O que é promissor para os objetivos da pesquisa

No vertedouro, onde foram realizados os testes iniciais, a situação é semelhante ao tubo de sucção da UHE, assim são esperados que os resultados serão semelhantes. Essa resposta será obtida no teste final da barreira acústica, que será realizado em breve.

4. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de P&D da Energia Sustentável do Brasil (ANEEL/PD-06631-0009/2019) e a Universidade de Brasília (UnB) Campus Planaltina pelo apoio à realização do Projeto.

REFERÊNCIAS

- [1] Reis, R. E.; Albert, J. S.; Di Dario, F.; Mincarone, M. M.; Petry P. e Rocha, L. A. Fish biodiversity and conservation in South America. *Journal of Fish Biology*, 89:12–47, 2016. doi:10.1111/jfb.13016.
- [2] European Environmental Agency (EEA), 2020. Noise in Europe 2020. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/publications/environmental-noise-in-europe>
- [3] Queiroz, Luiz Jardim de; Torrente-Vilara, Gislene; Ohara, Willian Massaharu; Pires, Tiago Henrique da Silva; Zuanon, Jansen & Doria, Carolina Rodrigues da Costa (Org.) Peixes do rio Madeira Volume 1, Santo Antônio Energia, São Paulo, 2013. Disponível em: <https://www.santoantonioenergia.com.br/peixes/doriomadeira/ictio1.pdf>

- [4] Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2021. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuário_2021.pdf.
- [5] Finfer, D.C.; Leighton, T.G. e White, P.R. Issues relating to the use of a 61.5 dB conversion factor when comparing airborne and underwater anthropogenic noise levels. *Applied Acoustics*, 69: 464–471, 2008. doi: 10.1016/j.apacoust.2007.05.008.
- [6] Dosits.Org. What are common underwater sounds? Disponível em: <https://dosits.org/science/sounds-in-the-sea/what-are-common-underwater-sounds/>.
- [7] Dias, M. F.; Maroja, A. M. e Garavelli, S. L. Sistema para repulsão de ictiofauna em hidroelétricas brasileiras. *Fórum Ambiental da Alta Paulista*, 16(5): 180-191, 2020. doi:10.17271/1980082716520202657
- [8] BBC Sound Effects. Disponível em: <https://sound-effects.bbcrewind.co.uk/>.
- [9] Lubell Labs LL916H & LL916C Pistonic Piezoelectric Underwater Speakers. Disponível em: <https://www.lubell.com/LL916.html>