



**Universidade de Brasília**

**FACULDADE UnB PLANALTINA LICENCIATURA EM CIÊNCIAS NATURAIS**

**Ambiente sonoro subaquático na vizinhança de Hidrelétricas**

**AUTOR:** Ronan dos Santos Barbosa

**ORIENTADOR:** Armando de Mendonça Maroja

**Planaltina – DF 2022**



**Universidade de Brasília**

**FACULDADE UnB PLANALTINA LICENCIATURA EM CIÊNCIAS NATURAIS**

**Ambiente sonoro subaquático na vizinhança de Hidrelétricas**

**AUTOR:** Ronan dos Santos Barbosa

**ORIENTADOR:** Armando de Mendonça Maroja

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora, como exigência parcial para a obtenção de título de Licenciado do Curso de Licenciatura em Ciências Naturais, da Faculdade UnB Planaltina, sob a orientação do Prof. Dr. Armando de Mendonça Maroja.*

**Planaltina - DF 2022**

## **Resumo**

O ruído ambiental gerado por usinas hidrelétricas sobre a paisagem subaquática causa impacto ambiental, originando injúrias aos animais aquáticos, onde conseqüentemente é o caso dos peixes que habitam as proximidades das unidades geradoras. Desse modo, considerando a implementação de novos empreendimentos hidroelétricos, torna-se relevante perceber a importância de se buscar estratégias, como as barreiras acústicas, de modo a mitigar os impactos na Ictiofauna. Assim, neste trabalho são apresentados os resultados de uma pesquisa bibliográfica sobre o ambiente sonoro subaquático nas proximidades de usinas hidroelétricas, no qual foram pesquisados artigos com informações acerca dos níveis de pressão sonora subaquática, tecnologias que ajude guiar os peixes em direção de uma rota segura, e afastá-los das unidades geradoras, propiciando reduzir os impactos ambientais deste tipo de empreendimento nas espécies locais de peixes. Com efeito, também foram estudados em paralelo temas pertinentes ao ensino de ciências, bem como a medida e propagação do som na água e no ar, e os mecanismos de audição dos peixes. Por fim, apesar de se verificar impacto do ruído ambiental das usinas hidroelétricas em comunidades de peixes, todavia, foi constatado que seus potenciais efeitos sobre o comportamento dos peixes ainda são pouco estudados, principalmente em espécies de água doce dos rios brasileiros.

**Palavras-chave:** Ruído ambiente, hidrelétricas, ictiofauna, som subaquático, barreira acústica.

## **Abstract**

The environmental noise generated by hydroelectric plants on the underwater landscape causes environmental impact, causing injuries to aquatic animals, which consequently is the case of fish that inhabit the vicinity of the generating units. Thus, considering the implementation of new hydroelectric projects, it becomes relevant to realize the importance of seeking strategies, such as acoustic barriers, in order to mitigate the impacts on Ichthyofauna. Thus, in this work, the results of a bibliographic research on the underwater sound environment in the vicinity of hydroelectric power plants are presented, in which articles with information about underwater sound pressure levels, technologies that help guide fish towards a safe route were searched., and move them away from the generating units, helping to reduce the environmental impacts of this type of project on local fish species. In fact, topics relevant to science teaching were also studied in parallel, as well as the measurement and propagation of sound in water and air, and the hearing mechanisms of fish. Finally, despite verifying the impact of environmental noise from hydroelectric plants on fish communities, however, it was found that its potential effects on fish behavior are still poorly studied, especially in freshwater species from Brazilian rivers.

**Keywords:** noisy environment, hydroelectric plants, ichthyofauna, underwater sound, acoustic barriers.

## 1. INTRODUÇÃO

As usinas hidrelétricas (UHE) têm um papel fundamental na geração de energia elétrica no Brasil. Isso principalmente porque o Brasil detém 12 % do volume total de água doce disponível no mundo (Silva; Figueiredo; Zara, 2021). Por causa da grande disponibilidade hídrica armazenada em reservatórios artificiais, o setor hidrelétrico brasileiro contribui com mais de 60% de energia elétrica gerada. O potencial hídrico no Brasil está concentrado na Região Amazônica (SOUSA, 2019).

Com efeito, em consequência da implementação de usinas hidroelétricas, uma das necessidades que surgem é a de redução dos impactos ambientais sobre a região subaquática, em especial sobre a Ictiofauna, causado pelo ruído ambiente. O ruído gerado nas UHE tem como fonte a grande quantidade de maquinários, como turbinas, compressores de ar e rotores associados a cada unidade geradora.

De certo modo, é considerável a intensidade da produção de ruído ambiental gerado nas hidroelétricas. Em outras palavras, no interior das unidades geradoras (UG) o ruído gerado atinge em alguns pontos valores semelhantes aos observados nas proximidades de um avião (CARVALHO et al., 2005).

Transportes como os automóveis, os ônibus urbanos e o metrô, são as principais fontes de ruído ambiental nas grandes cidades (PERIS et al., 2020). Nos oceanos, os portos, o tráfego dos navios e estruturas de produção de energia, usinas eólicas offshore e instalações petrolíferas, são as principais fontes do ruído ambiental (SLABBEKOORN et al., 2010).

Nos rios, além do tráfego de barcos e os portos, os peixes são afetados de forma direta pelo ruído industrial das UG das hidroelétricas. O ruído ambiental acerca da paisagem subaquática pode causar incômodo em diversos aspectos para os peixes, onde por consequência surgem problemas como o de distribuição na região subaquática e no que diz respeito ao comportamento (KUNC e SCHMIDT, 2019).

Em continuidade aos efeitos gerados pelo ruído de hidroelétricas no ambiente subaquático em relação a Ictiofauna, o Mascaramento sonoro é um dos efeitos resultantes do ruído ambiental, onde uma das consequências é a redução na distância de detecção do som ambiente pelos peixes (WYSOCKI e LADICH, 2005).

Dado as consequências causadas pelo ruído ambiental sobre a Ictiofauna, surgiu na Europa projetos no sentido de limitar o nível de ruído ambiental gerado nos mares europeus. Em dezembro de 2007, a Comissão Europeia aprovou a primeira norma que reconhece o ruído submarino como uma forma de poluição que deve ser controlada, com vista a atingir metas gerais de qualidade ambiental.

Em contrapartida, de acordo com Carvalho et al. (2005) não existem leis específicas sobre os limites de ruído ambiental das UHE, incluindo no Brasil.

O Quadro 1 destaca os principais efeitos sobre os peixes devido ao ruído dos transportes e ao ruído industrial no ambiente subaquático (**Adaptado:** Peris, 2020, cap.5, p. 59-67).

**Quadro 1:** Efeitos do ruído antropogênico em comunidade de peixes

<b>Resposta comportamental</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>I. Mudanças na distribuição parcial;</li> <li>II. Mudanças no comportamento territorial e social;</li> <li>III. redução na detecção de sinal de comunicação.</li> </ul>
<b>Resposta fisiológica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>I. Aumento dos hormônios do estresse;</li> <li>II. Perda auditiva temporária e danos aos ouvidos.</li> </ul>
<b>Resposta fisiológica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>I. Aumento dos hormônios do estresse;</li> <li>II. Perda auditiva temporária e danos aos ouvidos.</li> </ul>

Como podemos observar no quadro acima, o som é fundamental para sobrevivência e reprodução dos peixes. O aumento do nível de ruído no ambiente subaquático causa efeitos negativos, ao mesmo tempo também promove prejuízos para comunidades ribeirinhas que têm sua subsistência baseada na pesca, além da própria indústria pesqueira.

Lemos e Lima (2022) evidenciam que o desenvolvimento de hidroelétricas na Amazônia, por exemplo, tem gerado perturbações sociais e ambientais. No que diz respeito ambiental, tem causado alterações no rio com inserção de barragens, enquanto no campo social, aconteceu de ter a necessidade de reassentar as pessoas em outras regiões longe dos seus locais de origem.

De acordo com Cataldo et al. (2020), uma das consequências que advém da construção de UHE, é o impedimento da livre movimentação de peixes migratórios. De forma similar, Sá-

Oliveira et al. (2015) avaliaram que as hidroelétricas trazem também impactos na transformação física do canal de rios e lagos, resultando em mudanças de canais léticos para lóticos<sup>1</sup>.

Por outro lado, Gilbert et al. (2020) afirmam que os distúrbios gerados por atividades humanas em comunidades de peixes, trazem a possibilidade de entender melhor em como se adaptam a novos ambientes.

No que concerne a propagação do som no ambiente terrestre em relação ao ambiente subaquático, há diferença de densidade entre o ar ( $1,29\text{kg/m}^3$ ) e a água ( $1000\text{kg/m}^3$ ) e também variação significativa da pressão com o aumento da profundidade. No ambiente subaquático é utilizado Nível de Pressão Sonora NPS (Sound Pressure Level – SPL) para representar a intensidade do som (RUEBUSH et al., 2011). A pressão sonora é a variação média (RMS – root mean square) de pressão em relação à pressão atmosférica, sendo medida em Pascal (Pa) ou em Newton por metro quadrado ( $\text{N/m}^2$ ).

O NPS em um determinado ponto do espaço no ar é uma grandeza relativa, tendo como referência o valor de  $P_0 = 20 \mu\text{Pa}$  ( $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ ), sendo expresso em decibel (dB). O nível de pressão sonora é apresentado como:

$$L_p = 10 \log \left( \frac{P_{\text{eficaz}}^2}{P_0^2} \right) = 20 \log \left( \frac{P_{\text{eficaz}}}{P_0} \right) \text{ dB (re. } p_0)$$

Sendo  $L_p$  o nível de pressão sonora e  $P_0$  a pressão sonora de referência, em que normalmente é tomada como a do limiar da audição<sup>2</sup>, ou seja,  $P_0 = 20 \mu\text{Pa}$  ( $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ ). De acordo com Bistafa (2011, pág.): “O nível de pressão sonora é a medida física preferencial para caracterizar a sensação subjetiva da intensidade dos sons”.

Há uma diferença de pressão sonora quando o NPS é calculado para ondas sonoras no ambiente subaquático. A referência na acústica subaquática é de re:  $1,0 \mu\text{Pa}$  (FINGER, LEIGHTON, WHITE, 2007). Assim uma medida de "100 dB" na acústica subaquática é expressa como “100dB re:  $1,0 \mu\text{Pa}$ ”. Os NPS também são determinados através da equação apresentada anteriormente, com  $P_0 = 1,0 \mu\text{Pa}$ . O quadro 2 apresenta valores de NPS característicos de ruídos no ambiente subaquático.

---

<sup>1</sup> Lótico é o sistema aquático que está presente nos rios, nos riachos e nos córregos. Ele se caracteriza pelo fluxo de água constante que se desloca da nascente à foz. Já o lético se refere a lagos, lagoas, reservatórios e pântanos, caracterizado por águas paradas e sem corrente.

<sup>2</sup> A pressão sonora mais baixa que pode ser ouvida é chamada de limiar de audição. Por outro lado, a mais alta que pode ser suportada é conhecida como limiar da dor.

**Quadro 2:** NPS no ambiente subaquático.

NPS (dB re:1μPa)	Sons subaquáticos
200	Navio grande, banda larga (1m)
160	Navio grande, banda larga (100m)
149	Ruído na UHE Jirau próximo a uma das turbinas (10 m)
140	Chamada de baleia-comum (100m)
128	Pico Ruído - nas proximidades da hidrelétrica de 3 Marias (Duarte et al., 2019)
107	Ruído no leito do Rio Madeira (Maroja et al., 2022)
100	Ruído ambiente, estado do mar- 4 <sup>3</sup>
60	Ruído ambiente, estado do mar 0 <sup>4</sup> (calmo, plano)

**Adaptado:** Dados em conjunto do site Miscellaneous Technical Articles By Dr A R Collins.

O ruído ambiental subaquático é verificado através de medições efetuadas numa determinada área. Com efeito, é feita medição em várias profundidades, em decorrência do fato da intensidade do ruído ambiente variar de forma significativa de acordo com a profundidade.

É utilizado equipamentos como o hidrofone para realizar as medições. Esse tipo de equipamento permite efetuar medições em qualquer zona subaquática. O monitoramento acústico passivo é uma outra forma tecnológica que permite monitorar o ruído ambiente

<sup>3</sup> O estado do mar é a condição geral da superfície livre de grande corpo de água, no que diz respeito às ondas oceânicas e, numa determinada localidade e momento. O estado do mar é caracterizado por estatísticas, que incluem altura de onda, frequência e densidade espectral.

<sup>4</sup> O mar calmo e plano significa que a altitude média do oceano é considerada 0, onde é utilizada como padrão de referência para indicar o tamanho das montanhas, a altitude de voos e das camadas da atmosfera.



subaquático, no qual acontece detecção automática de sinais, em que é definido as características do som gerado (LINDSETH e LOBEL, 2018).

O ruído ambiental gerado pelas atividades humanas também afeta diretamente outras espécies subaquáticas, todavia, não somente em água doce. Os cetáceos<sup>5</sup> (golfinhos e baleias) por exemplo, dependem do som que emitem e recebem para a procura de alimentos, formação de parceiros e detecção de predadores.

De outro modo, o eco do som que emitem é essencial para a sobrevivência. Em vista disso, o ruído antropogênico mascara o som inicialmente emitido pelos cetáceos, impedindo que ouçam os ecos, isto é, que este seja ouvido por outros animais da mesma espécie.

Para reduzir as consequências do ruído antropogênico sobre os peixes no meio subaquático, métodos e ferramentas são elaboradas para o fluxo e migração dos peixes para águas abertas (ANDRADE e ARAÚJO, 2011). Sousa (2019) destaca que vários tipos de tecnologias são principalmente voltados para possibilitar passagem dos peixes nas UG das hidroelétricas. Barreiras acústicas (sistema de repulsão físico e comportamental) são exemplos de métodos criados para mitigar o impacto ambiental na Ictiofauna.

Acerca de barreiras acústicas, no que diz respeito ao sistema de repulsão, existe o sistema físico e o comportamental, no qual são utilizados, a grosso modo, como meio de reduzir o impacto sobre os peixes. De certo modo, quando uma barreira acústica é instalada entre uma fonte sonora (como as UHE) e seu respectivo ouvinte (os peixes), o comportamento das ondas sonoras é modificado. Assim, a presença de barreira acústica resulta em regiões de sombra acústica, propiciando regiões resguardadas de ruído, onde os níveis sonoros são bastante reduzidos.

Em continuação sobre o sistema físico e o comportamental, em barreira física existem telas, passagem de escadas, passagem alternativa de água (*bypass*), além da manobra de elevação do fluxo hidráulico. Por outro lado, barreira comportamental diferencia-se por meio da cortina de bolhas, eletricidade, luzes e som.

**A figura 1** na seção 3.2 (página 12) acerca de **ruídos das hidroelétricas e tecnologias** mostra um fluxograma em que dispõe de forma geral, o funcionamento do sistema de repulsão dos peixes em UHE. No mais, existe também sistemas tecnológicos onde acontece passagens dos peixes, por meio de elevadores, em que são sistemas de transposição de peixes – STP.

---

<sup>5</sup> Os cetáceos são mamíferos exclusivamente aquáticos que vivem em sua maioria nos mares (água salgada). O que diferencia essa classe de animais dos peixes (Ictiofauna) é o fato de possuir glândulas mamárias e ter pelos no corpo. Além disso, tem também pulmões, onde gera a necessidade de subir até a superfície para absorver oxigênio, ou seja, não respiram embaixo d'água. Já os peixes são animais aquáticos que têm cores, tamanhos e comportamentos diversos, mas que não têm capacidade de produzir leite ou pelos. Vivem em água salgada e doce, vária de cada espécie. Aqui está sendo tratado apenas de peixes de água doce.

Apesar do ruído ambiental gerado pelas UHE causar diversos impactos em comunidade de peixes, seus efeitos potenciais sobre o comportamento ainda são pouco estudados, principalmente em espécies de água doce (REIS et al., 2016).

Efetivamente, através desta pesquisa bibliográfica foi constatado a necessidade do levantamento inicial de dados relativos a problemática, dados inerentes a tecnologias para solução do problema, com foco principalmente em barreiras acústicas, além de dados relativos à paisagem sonora subaquática, em especial nas proximidades de hidroelétricas, portos e cidades.

Deste modo, neste trabalho é apresentado uma pesquisa bibliográfica sobre o ambiente sonoro subaquático nas proximidades de UHE, onde foram pesquisados artigos com informações sobre NPS subaquático e tecnologias acústicas, tendo em vista mitigar os impactos ambientais deste tipo de empreendimento nas espécies locais de peixes.

## 2. METODOLOGIA

Foi aplicado uma abordagem qualitativa, onde segundo Turato (2003): "A curiosidade e o empenho do pesquisador estão voltados para o processo, definido como ato de proceder do objeto, quais são seus estados e mudanças e, sobretudo, qual é a maneira pela qual o objeto opera" (p.262). Em outras palavras, essa metodologia busca mais compreender do que explicar o que está sendo estudado. De acordo com Câmara (2013):

Nessa análise, o pesquisador busca compreender as características, estruturas ou modelos que estão por trás dos fragmentos de mensagens tornados em consideração. O esforço do analista é, então, duplo: entender o sentido da comunicação, como se fosse o receptor normal, e, principalmente, desviar o olhar, buscando outra significação, outra mensagem, passível de se enxergar por meio ou ao lado da primeira (CÂMARA, 2013, p. 179-191).

Deste modo, as seguintes etapas foram seguidas até a análise do conteúdo dos artigos, conforme o Quadro 3 (adaptado de Bardin, 2011).

**Quadro 3:** Análise do conteúdo - procedimento construção dos dados.

1° etapa	2° etapa	3° etapa
Pré-análise	Exploração do material	Tratamento dos resultados:
		Inferência e interpretação

Assim, foram tabelados os dados e em seguida os materiais tabelados foram explorados. Por fim, iniciou-se a inferência e interpretação dos dados tabelados, por meio de recortes similares dos artigos pesquisados.

### **3. RESULTADOS**

Em continuidade com a sequência gradativa do **Quadro 3**, primeiro foi realizado seleção inicial de artigos, no qual as buscas se deram principalmente no Portal de Periódicos da CAPES, através do CAFE. Depois de amplamente selecionar artigos para a conjunção da pesquisa, foi feita a escolha de palavras-chave que auxiliaram para a base da pesquisa bibliográfica. Por fim, foi realizado tabelamento dos dados em forma de recortes de trechos dos textos originais e classificação das informações por similaridade, no qual serviram como base para produção do texto final.

#### **3.1 Efeitos do ruído ambiental sobre a biodiversidade.**

O ruído ambiental produzido pelas UHE atinge principalmente as espécies que realizam migrações (ANDRADE e ARAÚJO, 2011). As migrações de longa distância dos peixes estão ligadas com as adaptações do ciclo de vida às variações sazonais, períodos de cheia e de seca dos rios (SÁ-OLIVEIRA et al, 2015). A construção de barragens modifica as atividades de trânsito de uma grande diversidade de peixes (SPERLING, 2012; BAIRD et al., 2020; DORIA et al., 2020). As atividades de mudanças sazonais estão diretamente conectadas com a necessidade de adaptação de sobrevivência e reprodução ao ambiente subaquático.

Agostinho et al. (2007), destacam que uma das maiores ameaças aos peixes diante das barragens em hidroelétricas no Brasil está conectada à mortalidade por causa da “entrada de peixes e aprisionamento nos tubos de sucção das turbinas”. Loures et al. (2016) observam que certamente as unidades geradoras das UHE poderão necessitar de manutenção ou revisão periódica, assim peixes que estão no canal de fuga podem entrar no tubo de sucção, possivelmente em grandes quantidades, onde ocasionará dificuldades do resgate dos peixes confinados.

Na usina hidroelétrica de Jirau, em Rondônia, Porto Velho – Brasil - por exemplo, durante as manutenções programadas e periódicas uma equipe desce no interior dos tubos de sucção para realizar o resgate da Ictiofauna remanescente após a manobra de elevação de fluxo hidráulico da água (SILVA; FIGUEIREDO; ZARA, 2021).

Nesse sentido, tendo em conta uma iminente necessidade de manutenção ou revisão periódica, Cataldo et al. (2020) observam a necessidade de inserir tecnologias adequadas a situação, como os parafusos de Arquimedes, para reduzir os possíveis impactos negativos das turbinas sobre os peixes.

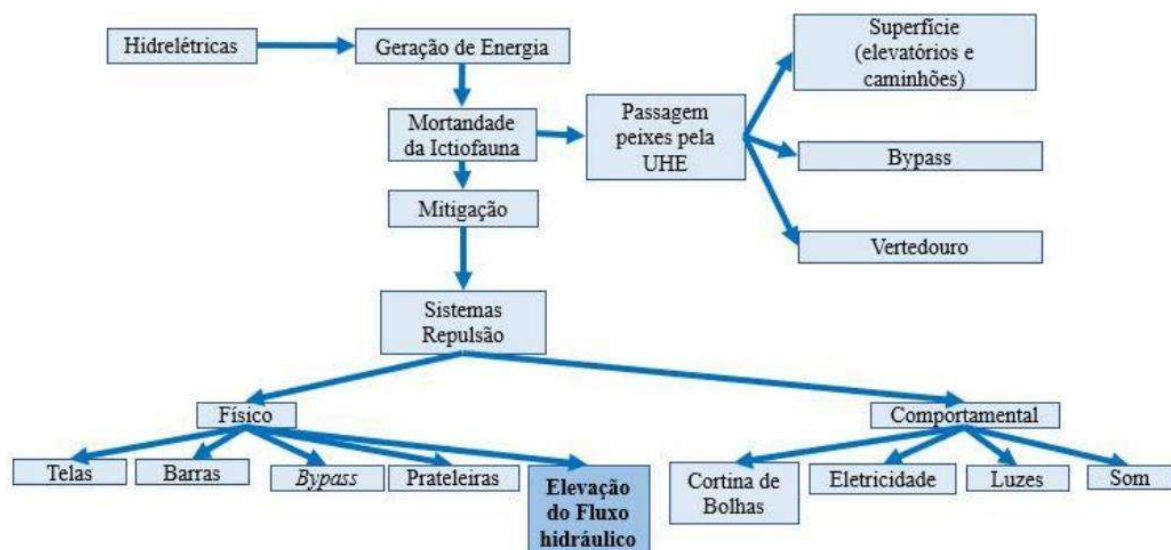
Acerca do Parafuso de Arquimedes, com efeito, é uma tecnologia muito antiga em que servia basicamente para transporte de líquidos ou grãos de um ponto mais baixo a outro mais elevado. Em outras palavras, de certa forma, é um aparato básico que consiste em um grande parafuso inserido e confinado no interior de um tubo.

Dias, Maroja e Garavelli (2020), apontam um número expressivo de espécies de peixes detectado nas vizinhanças da UHE de Jirau, mais de 500 espécies aproximadamente. Os mesmos relatam que, na mesma usina, de março/2009 a abril/2019, aproximadamente 10 anos, foram registradas a captura de quase dois milhões de espécimes, no qual 100 mil foram resgatados.

Duarte et al. (2019) fizeram um experimento com o *Leporinus taeniatus* onde mostrou que as turbinas das UG de UHE têm a capacidade efetiva de influenciar o comportamento dos peixes. O experimento realizado consistia em investigar o impacto do ruído de turbinas hidrelétricas no comportamento do *Leporinus taeniatus* (Piau jejo, nome comum) em cativeiro. A partir dessa constatação, como defende Hawkins (1986), torna-se essencial considerar o conhecimento dos parâmetros acústicos de frequência e limiares audíveis dos peixes.

### 3.2 Ruídos das hidroelétricas e tecnologias

Para reduzir a mortalidade (morte em grande quantidade) dos peixes a montante para jusante em UHE, de acordo com Larinier (2000), foi implementado tecnologias de repulsão para possibilitar a passagem dos peixes, e ao mesmo tempo contribuir com a redução de danos na Ictiofauna. A **figura 1** (fluxograma), logo abaixo, apresenta os tipos de tecnologias de repulsão físico e comportamental.



**Figura 1:** Visão geral de tecnologias para repulsão dos peixes em UHE. (Fonte: Sousa, 2019)

Taft (2000) similarmente relata que as tecnologias de sistemas de coleta, transposição de peixes, barreiras físicas e comportamentais, são tecnologias básicas que podem ser viáveis para minimizar as consequências e impactos nos peixes. Paralelamente, é significativo de notar que o som gerado pelas barreiras acústicas deve ser específico para as espécies de peixes amplamente mais distribuídas na área da UHE (JESUS et al., 2019).

De certa maneira, as barreiras acústicas possuem características favoráveis para ajudar nas mudanças de movimentos dos peixes, em especial nos rios turvos da região amazônica. Exemplos destas características são: independência da turbidez e da luminosidade do rio, a capacidade de ser direcionada e a reduzida atenuação à medida que vai se aprofundando no meio subaquático (ANDRADE et al., 2012).

Maroja et al. (2022), através de simulações computacionais identificaram que de início uma fonte sonora com intensidade de 180 dB re:1  $\mu$ Pa é o bastante para construir uma barreira acústica. Contudo, Sousa (2019), observa que o processo de implementação tecnologias acústicas em um empreendimento hidrelétrico necessita de ocorrer de forma cautelosa firmado em critérios sustentáveis.

Ruebush *et al.* (2011), demonstraram que a tecnologia de barreira de luz estroboscópica pode ser usada para repelir os peixes das proximidades da UHE. Porém, ressalta-se ser necessário avaliar as potenciais influências negativas desta tecnologia em diversas espécies de peixes antes da implementação, como ferramenta de mitigação.

Silva, Figueiredo e Zara (2021) mencionam que a elevação da velocidade do fluxo hidráulico em turbina tipo bulbo apresenta elevada eficiência na minimização do confinamento da Ictiofauna nos tubos de sucção das UG. Nesse sentido, esse procedimento por consequência traz retorno positivo como um todo para o resgate dos peixes em espaço confinado.

### **3.2.1 Água VS Ar**

Devido à sua alta densidade molecular, a água transmite excelentemente o som. A viagem que o som faz na água é cerca de cinco vezes mais rápida do que no ar (1500 m/s na água vs 300 m/s no ar). Por consequência, os comprimentos de onda também são cerca de cinco vezes maiores na água do que no ar. A título de exemplo, para um sinal de 100 Hz, o comprimento da onda chega aproximadamente a 3 metros no ar e 15 metros na água, aproximadamente.

Efetivamente, na água o som quase não perde tanto da sua intensidade se for comparado com o ar em mesma distância. Por causa da intensidade ser razoavelmente mantida na água, de certo modo, isso possibilita com que o som possa percorrer distâncias maiores, em níveis de amplitude mais altos em comparação ao ar. Isso também contribui com a comunicação de longa distância na região subaquática, porém também propicia o impacto do ruído de longa distância nos animais aquáticos.

Finger, Leighton, White (2008) fizeram o uso de um fator de conversão de 61,5 dB ao comparar os níveis de ruído antropogênico aéreo e subaquático. É importante observar que no ambiente aéreo a pressão referente ao limiar de audição é estabelecida em 20µPa, enquanto no ambiente subaquático é de 1µPa. Esta diferença adiciona + 25,5 dB ao NPS em dB no ar, desde que:

$$10 \log_{10} \left( \frac{P_{ar}}{P_{agua}} \right)^2 = 20 \log_{10} \left( \frac{20 \mu Pa}{1 \mu Pa} \right) = 25.5 \text{ dB}$$

É feito uma correção de 36 dB justificada pela diferença de impedância acústica ( $Z = \text{densidade} \times \text{velocidade de propagação no meio}$ ), que é significativamente maior na água do que no ar,  $Z_{água} = 3600 Z_{ar}$ . Desse modo, o fator de correção é de 65,5 dB no total. É importante ressaltar que a Organização Mundial de Saúde estabelece que, de certo modo, o efeito do ruído ambiental sobre os seres humanos é mais significativo por volta de 55 dB (PERIS et al., 2020).

Assim, no ambiente subaquático teríamos para um NPS de 55dB (re:20µPa) + 65,5 dB (fator de correção) => 120,5 dB re:1µPa. Não é possível uma comparação direta, mas NPS com valores em torno deste devem ser observados com atenção como impactantes sobre a vida selvagem no ambiente subaquático.

Destaca-se que os limiares auditivos são característicos de cada espécie, assim o fator de 61,5 dB deve ser utilizado com cautela. O **quadro 2** apresenta valores NPS característicos de ruídos no ambiente subaquático.

A impedância acústica  $Z$  é análoga a impedância elétrica em circuitos de corrente alternada, onde a impedância é a grandeza que indica a resistência que o dispositivo oferece à passagem da corrente alternada. Este dispositivo em tese é uma resultante de elementos lineares resistivos e outros não lineares, dependentes da frequência do sinal como indutores e capacitores. Símbolo: “Z”, Unidade W, Ohms.

### 3.2.2 Audição de Peixes

De forma geral, a sensibilidade e faixa de frequências audível das diferentes espécies de peixes variam, e essa variação está relacionada a ausência ou presença de estruturas morfológicas particularmente evoluídas de cada espécie. Como afirma Slabbekoorn et al. (2010):

Também pode haver uma ligação mecânica direta entre a bexiga natatória e o ouvido interno através de uma série de ossos, como em um grande grupo de espécies de peixes, *Otophysi*, que inclui peixes dourados, *Carassius auratus*, e bagres. De um modo geral, os peixes escutam melhor dentro de 30 a 1.000 Hz, enquanto espécies com adaptações especiais podem detectar sons de até 3.000 a 5.000 Hz. Algumas espécies excepcionais são sensíveis ao infra-som ou ultra-som (pág. 421).

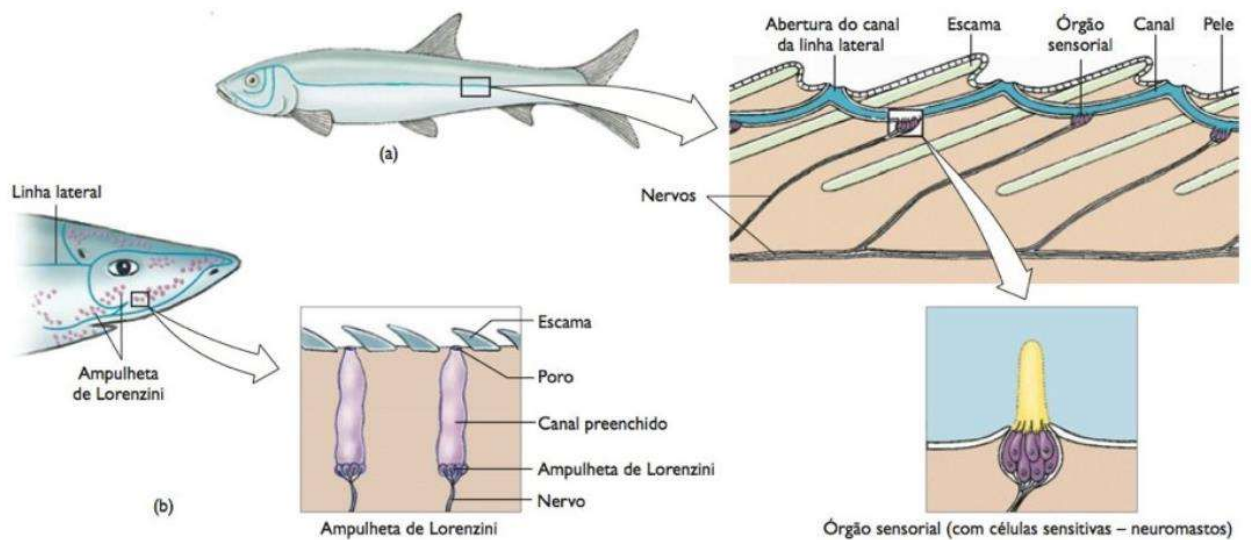
Ou seja, os peixes têm estruturas auditivas em sua anatomia que permitem detectar sons tanto em baixas frequências quanto em altas frequências. Todavia, na detecção de sons em baixas frequências os peixes contam com um sistema de linha lateral ao longo de ambos os lados do corpo. Na prática, o mecanismo de linhas laterais desempenham o papel de capturar o movimento de partículas na água, convertendo esses movimentos em sinais elétricos que estimulam o sistema nervoso.

A seguir, a **figura 2** (página 16, a seguir) mostra o sistema de linha lateral, que permite os peixes terem a percepção de vibrações do nado na água, além também do deslocamento de água ocasionado por ondas sonoras. Há também um órgão de sentido localizado na cabeça de peixes cartilagosos<sup>6</sup>, chamado de **ampulheta de Lorenzini**<sup>7</sup>, no qual tem a capacidade de detectar campos elétricos fracos, e ao mesmo tempo servir como um tipo de bússola eletromagnética para orientação dos peixes em região subaquática.

---

<sup>6</sup> Os condrictes, também conhecidos como peixes cartilagosos, pertencem à classe *Chondrichthyes* e são representados por tubarões, arraias e quimeras.

<sup>7</sup> A Ampola de Lorenzini, identificada em 1678 por Stefano Lorenzini, é um conjunto de poros presentes na pele ao redor da cabeça e na parte de baixo dos tubarões e arraias.



**Figura 2:** Sistema de linha lateral e ampulheta de **Lorenzini** em peixes cartilagosos.

(Fonte: Castro e Huber, 2012, cap. 8, p. 167)

- Demonstra o sistema de linhas laterais de um peixe através de um corte de pele. O cérebro recebe informação através de impulsos nervosos enviados pelos órgãos sensoriais;
- Os peixes cartilagosos além de possuírem linhas laterais possuem também a ampulheta de Lorenzini, uma rede de canais preenchidos com material gelatinoso e que tem a capacidade de detectar campos elétricos na água.

Castro e Hube (2012, cap. 8) afirmam que os peixes também são capazes de perceber ondas sonoras por meio de seus ouvidos internos, em um par de órgãos auditivos localizados nas laterais do cérebro, atrás dos olhos. Em continuidade, é também ressaltado a capacidade de alguns peixes em amplificar o som por intermédio da bexiga natatória, onde em consequência disso transmitem vibrações de ondas sonoras para o ouvido interno.

Com efeito, a bexiga natatória funciona como órgão hidrostático, permitindo variar o volume de água e de gás que contém. Assim, os peixes podem permanecer a diversas profundidades do meio líquido, de acordo com a quantidade de ar que se acumula no órgão.

### 3.3 Limiares auditivos e faixa audível

De modo efetivo, Dias, Maroja e Garavelli (2020) apresentaram em uma pesquisa realizada acerca da Ictiofauna, informações concernentes a limiares auditivos e faixas de frequência audível de peixes amazônicos mais abundantes nas vizinhanças da UHE de Jirau, no qual são complementados com estudos de potencial evocado auditivo (PEA) e audiogramas comportamentais, realizados por Ladich e Fay (2013).



Avaliando as semelhanças entre as espécies de peixes observados na UG de Jirau e os resultados dos estudos PEA de Ladich e Fay (2013), foram constatadas semelhanças com duas ordens parecidas: *Characiformes* e *Gymnotiformes* e, três ordens e famílias iguais, sendo *Perciformes/Centrarchidae*, *Siluriformes/Doradidae* e *Siluriformes/Pimelodidae*. O motivo desta comparação por similaridades entre as espécies de peixes aconteceu porque, de certa forma, não foram encontradas na literatura dados comportamentais de espécies de peixes do Rio Madeira. Logo abaixo o **quadro 4** resume os resultados organizado pelos autores.

**Quadro 4** - Correlação entre as espécies da UHE Jirau no Rio Madeira e espécies estudadas. Faixa de frequência audível (**f<sub>min</sub>-f<sub>máx</sub> em Hz**) limiar de audição **dB re:1µPa**.

Espécies do Rio Madeira			Ladich e Fay, 2013	
Ordem	Família	Espécie (Nome Comum)	LOCAL	<i>f<sub>min</sub></i> (Hz) - <i>f<sub>máx</sub></i> (Hz) / Limiar (dB)
<i>Characiformes</i>	<i>Prochilodontidae</i>	<i>Prochilodus nigricans</i> (Curimatã)	UG	<b>Piranha Vermelha (<i>Pygocentrus nattereri</i>) / Família <i>Characidae</i> (100-5.000 /70)</b>
		<i>Semaprochilodus insignis</i> (Jaraqui)	UG	
	<i>Serrasalminidae</i>	<i>Colossoma macropomum</i> (Tambaqui)	UG	
		<i>Piaractus brachypomus</i> (Pirapitinga)	STP	
<i>Gymnotiformes</i>	<i>Apteronotidae</i>	<i>Sternarchogiton nattereri</i> (Ituí Espada)	UG	<b>Glass knifefish (<i>Eigenmannia virescens</i>) / Família <i>Sternopygidae</i> (100-5.000 /75)</b>
<i>Perciformes</i>	<i>Centrarchidae</i>	<i>Micropterus coosae</i> (Peixe sol)	UG	<b>Sargo (<i>Lepomis macrochirus</i>) (300-2.000 /120) Alabama Bass (<i>Micropterus henshalli</i>) (100-500/ 90)</b>
<i>Siluriformes</i>	<i>Doradidae</i>	<i>Pterodoras granulosus</i> (Abotoado)	UG	<b>Bagre listrado de Rafael (<i>Platydoras armatulus</i>) (200-5.000/ 60)</b>
<i>Siluriformes</i>	<i>Pimelodidae</i>	<i>Brachyplatystoma platynemum</i> (Babão)	STP	<b>Bagre de Bloch (<i>Pimelodus blochii</i>) (100-3.000 /70) Bagre Pictus (<i>Pimelodus pictus</i>) (100-3.000 /65)</b>
		<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i> (Dourada)	UG	
		<i>Brachyplatystoma vaillantii</i> (Piramutaba)	STP/UG	
		<i>Calophysus macropterus</i> (piracatinga)	UG	
		<i>Hemisorubim platyrhynchus</i> (Jurupoca)	UG	
		<i>Leiarius marmoratus</i> (Jundiá)	UG	
		<i>Pimelodus blochii</i> (Mandi)	UG	
		<i>Pinirampus pirinampu</i> (Pirinampu)	STP/UG	
		<i>Pseudoplatystoma punctifer</i> (Surubim)	STP/UG	

**FONTE:** Dados do relatório ESBR-13º Relatório semestral – Programa de Conservação da Ictiofauna-Resgate e Salvamento no Vertedouro e Unidades Geradoras e Ladich e Fay, 2013. **Adaptado:** Dias, Maroja e Garavelli, 2020.

De forma geral, para a maioria das espécies a faixa detectável de frequência vai de 100 Hz a alguns KHz. Porém, como em toda regra pode haver uma exceção, nesse sentido, apenas para a espécie *Lepomis macrochirus* da família Centrarchidae o limiar de audição é superior a 100 dB re:1µPa.

Com efeito, foi constatado que o Salmão Chinook e a Truta Arco Iris, por exemplo, possuem sensibilidade a infrassons (10 Hz), embora com a repetição foi verificado que na verdade não há tolerância do sinal com o passar do tempo. Contudo, o que acontece de fato é de nadarem para o mais longe possível da fonte sonora.

Em contrapartida, a espécie Arenques Americanos (nome comum) dispõe de sensibilidade a altas frequências. De acordo com Nestler et al., conforme citado por Dias, Maroja e Garavelli (2020, pág. 188) foi verificado que o som de alta frequência pode ajudar a aplicar método mais eficiente e de custo-benefício na redução do aprisionamento do arenque azul nas UHE.

Ademais, em seguimento ao que foi exposto acerca da variação de sensibilidade audível dos peixes, Scruton et al. (2007) afirmam nesse sentido, a importância de reparar o movimento de saída dos peixes do canal de fuga, pois esse resultado pode ser devido as condições não favoráveis dentro da área, por causa de ruído, vibrações e gás.

O **Quadro 5** que virá logo em seguida apresenta Faixa de frequência de audição mínima e máxima detectável para os peixes característicos da América do Norte com os respectivos limiares auditivos. Nota –se que os peixes da família *Clupeidae* possuem mais sensibilidade a altas frequências com limiares auditivos semelhantes ou acima de 130 dB (re:1u Pa).

**Quadro 5:** Faixa de frequência de audição mínima e máxima detectável para peixes característicos da América do Norte.

Ordem	Família	Espécie	Nome Comum	Artigo	fmin (Hz) - fmax (Hz) / Limiar (dB) re:1microPa
<i>Salmoniformes</i>	<i>Salmonidae</i>	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	Salmão Chinook	Ladich e Fay, 2013	100 – 1.000 /105
		<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truta Arco Iris	Ladich e Fay, 2013	150 – 500 /115
<i>Clupeiformes</i>	<i>Clupeidae</i>	<i>Alosa sapidissima</i>	Savêl Americano	Mann <i>et al.</i> , 2001	100 - 80.000 /130
		<i>Alosa pseudoharengus</i>	Arenque Cinzento	Dunning <i>et al.</i> , 1992	~150 kHz / > 150
		<i>Alosa aestivalis</i>	Arenque Azul	Nestler <i>et al.</i> , 1992	

**Fonte:** adaptado de Dias, Maroja e Garavelli (2020).

É de se notar que de modo efetivo, Ladich e Fay (2013), apresentam uma ampla revisão bibliográfica sobre limites auditivos e faixas de frequência audíveis de mais de uma centena de espécies de peixes.

Apesar de normalmente a faixa audível variar de menos de 100 Hz até próximo de 1.000 Hz (Loures et al., 2016), alguns estudos apontam haver peixes menos sensíveis, no qual em algumas espécies é possível a detecção audível variar de 5.000 - 7.000 Hz (MANN et al., 2001).

Em continuidade, Hawkins (1986) afirma ser possível encontrar informações catalogadas onde indicam que existem peixes como os *Salmonídeos* que detectam somente sons de baixa frequência, entre 10 Hz e 1000 Hz. Contudo, estes dados catalogados são registros em pequena escala. Por fim, há um número grande de espécies que não respondem a sons de alta frequência.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O ruído ambiente pode ter influência direta na taxa de sobrevivência e reprodução dos peixes. O ruído gerado pelas atividades humanas além de causar impacto na mobilidade dos peixes, ao mesmo tempo causa impactos perceptíveis na abundância, biomassa, riqueza de espécies e diversidade (SÁ-OLIVEIRA et al., 2015).

No que diz respeito em repelir os peixes dos tubos de sucção em paradas previstas ou intempestivas, barreiras acústicas são mais apontadas para ajudar a reduzir os impactos na Ictiofauna (ANDRADE et al., 2012; LINDSETH e LOBEL, 2018), porque a logística como um todo geralmente pode ser mais favorável.

Por outro lado, existe a necessidade de compreender melhor a sensibilidade auditiva dos peixes, pois compreendendo melhor como os ruídos de atividades humanas afetam a audição dos peixes, torna-se possível planejar com mais assertividade os mecanismos para, por exemplo, guiar ou afastar os peixes dos tubos de sucção nas UHE e reduzir o estresse que seria causado na Ictiofauna.

Paralelamente existe a discussão de que as barreiras acústicas podem favorecer o entendimento de como as diversas espécies de peixes lidam com os efeitos do ruído subaquático em se tratando de sobrevivência e sucesso reprodutivo (Gilbert et al., 2020), dado que os peixes passam a ter necessidade de se adaptar a esse tipo de estresse (CATALDO et al., 2020).

Observa-se também a existência de uma variação considerável de limiares audíveis entre as espécies de peixes pesquisadas (LADICH e FAY, 2013), no qual, desse modo, expõe a necessidade de mais pesquisas acerca da temática (REIS et al., 2016). Nesse sentido, foi feito buscas no Portal da Capes, google escolar, entre outras bases, e verificou-se que são poucos os artigos que apresentam informações quantitativas, dos níveis de pressão sonora e espectros em bandas, acerca do ruído ambiental subaquático nas proximidades de UHE.

Por fim, é importante de se notar que os conceitos de propagação do som em meios materiais, conceitos especialmente ensinados em ciências da natureza, desempenham papel fundamental na capacidade de entendimento acerca da implementação das UHE.

Ademais, certamente conhecer a importância do som no ambiente subaquático para a sobrevivência e sucesso reprodutivo dos peixes, nas proximidades em UHE, decerto, possibilita em pensar de forma crítica a implementação deste tipo de empreendimento, sobretudo em pensar quais impactos seriam gerados para a sociedade como um todo.

## **5. AGRADECIMENTOS**

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

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOSTINHO, Angelo Antônio et al. Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil. UEM, 2007.
- ANDRADE, Estefânia de Souza e ARAÚJO, Jamile da Costa. Medidas mitigadoras dos impactos ambientais causados por usinas hidrelétricas sobre peixes. *Revista Electronica de Veterinaria*, 2011, v. 12, n. 3, p. 1–30.
- Andrade F., Prado I.G., Loures R.C. & Godinho A.L. (2012) Evaluation of techniques to protect tailrace fishes during turbine maneuvers at Três Marias Dam, Brazil. *Neotropical Ichthyology*, **10** (4), 723-730.
- BAIRD, I. G.; MANOROM, K.; PHENOW, A.; GAJA-SVASTI, S. Opening the gates of the Pak Mun Dam: fish migrations, domestic water supply, irrigation projects and politics. *Water Alternatives*, 2020, vol. 13, nº 1, p. 141-159.
- BARDIN, L. Análise de conteúdo. Lisboa: Edições 70, 2011.
- BISTAFA, Sylvio R. Acústica aplicada ao controle do ruído. Editora Blucher, 2018.
- BITTENCOURT, L. et al. Underwater noise pollution in a coastal tropical environment. *Marine Pollution Bulletin*, v. 83, n. 1, p. 331-336, 2014.
- CÂMARA, Rosana Hoffman. Análise de conteúdo: da teoria à prática em pesquisas sociais aplicadas às organizações.  *Gerais: Revista Interinstitucional de Psicologia*, v. 6, n. 2, p. 179-191, 2013.
- CARVALHO, Maria Luiza de U.; LEROY, Wagner; CALIXTO, Rodrigo J.; BORGES, Cynthia I. R. Noise evaluation of hydroelectric power plants. In: INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings. Institute of Noise Control Engineering, 2005. p. 1609-1618.
- CASTRO, Peter; HUBER, Michael E. *Biologia Marinha*. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012. Cap. 8. Peixes Marinhos: biologia dos peixes, p. 151-176. Tradução de: Monica Ferreira da Costa.
- COLLINS, Miscellaneous Technical Articles By Dr A R. Sound Pressure Levels: underwater sound pressure levels. Underwater sound pressure levels. (Disponível em: <https://www.arc.id.au/SoundLevels.html>). Acesso em: 4 agosto de 2022.
- DIAS, Mônica Ferreira; MAROJA, Armando de Mendonça; GARAVELLI, Sérgio Luiz. Sistema para repulsão de ictiofauna em hidroelétricas brasileiras.  *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 16, n. 5, 2020.
- DORIA, C. R. C.; CATÂNEO, D. T. B. S.; TORRENTE-VILARA, G.; VITULE, J. R. S. Is there a future for artisanal fishing in the Amazon? The case of *Arapaima gigas*. *Management of Biological Invasions*, 2020, vol. 11, nº 1, p. 1-8.
- DUARTE, Marina HL et al. Effects of hydroelectric turbine noise on the behaviour of *Leporinus taeniatus* (Characiformes: Anostomidae) in captivity. *Journal of Ethology*, v. 37, n. 1, p. 59-65, 2019.

ESBR – Energia Sustentável do Brasil 13º Relatório semestral – Programa de Conservação da Ictiofauna. Rio de Janeiro, RJ, 2019.

FINGER, D. C.; LEIGHTON, T. G.; 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*, v. 69, n. 5, p. 464-471, 2008.

GILBERT, Michelle C.; AKAMA, Alberto; FERNANDES, Cristina Cox; ALBERTSON, R. Craig. Rapid morphological change in multiple cichlid ecotypes following the damming of a major clearwater river in Brazil. *Evolutionary applications*, v. 13, n. 10, p. 2754-2771, 2020.

HAWKINS, A. D. Underwater sound and fish behaviour. In: Picher, T. J. (ed.). *The behavior of teleost fishes*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, p. 14-51, 1986.

JESUS, Joaquim; AMORIM, Maria Clara P.; FONSECA, Paulo J.; TEIXEIRA, Amílcar; NATÁRIO, Silvestre; CARROLA, João; VARANDAS, Simone; PEREIRA, Luís Torres; CORTES, Rui M. V. Acoustic barriers as an acoustic deterrent for native potamodromous migratory fish species. *Journal of fish biology*, v. 95, n. 1, p. 247-255, 2019.

KUNC, Hansjoerg P.; SCHMIDT, Rouven. The effects of anthropogenic noise on animals: a meta-analysis. *Biology Letters*, v. 15, n. 11, p. 20190649, 2019.

LADICH, Friedrich e FAY, Richard.R. Auditory evoked potential audiometry in fish. *Ver Fish Biology Fisheries*, 2013, 23:317–364.

LARINIER, M. Dams and Fish Migration. Institut de Mecanique des Fluides. Prepared for thematic Review II, 1: Dams, ecosystem functions and environmental restoration, France, 2000.

LEMOS, Natasha Sousa Araujo; LIMA, Renato Abreu. Hidrelétricas na amazônia brasileira: Um estudo sobre desenvolvimentismo e impactos socioambientais. *GeoGraphos: Revista Digital para Estudantes de Geografia y Ciencias Sociales*, v. 13, n. 142, p. 1-28, 2022.

LINDSETH, Adelaide V.; LOBEL, Phillip S. Underwater soundscape monitoring and fish bioacoustics: a review. *Fishes*, v. 3, n. 3, p. 36, 2018.

LOURES, R.C., SCHMIDT, N.J.P., SILVA, R.J., JONCEW, I., DIAS, J.S; PONTELO, E.G.G. Recomendações para proteção de peixes em novos empreendimentos hidrelétricos. In: R.C. Loures & A.L. Godinho (orgs.) *Avaliação de Risco de Morte de Peixes em Usinas Hidrelétricas*. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais, p. 273-295, 2016 (Série Peixe Vivo, 5).

MANN D., Higgs D., TAVOLGA W. & SOUZA M.J. (2001) Ultrasound detection by clupeiform fishes. *Acoustical Society of America* 109, 3048-3054.

MAROJA, Armando de Mendonça.; GARAVELLI, Sérgio Luiz.; SILVA, Tânia Machado da; ZARA, Luiz Fabrício. Reação da ictiofauna da região amazônica a diferentes impulsos. Florianópolis: XII Congresso Iberoamericano de Acústica - Sobrac, 2022.

PERIS, Eulalia. Effects of noise on biodiversity. In: PERIS, Eulalia. *Environmental noise in Europe*. Europa: European Environment Agency, 2020. Cap. 5. p. 59-67.

PERIS, Eulalia; BLANES, Núria; FONS, Jaume; SAINZ DE LA MAZA, Miquel; RAMOS JOSÉ, Maira; DOMINGUES, Francisco; BIALA, Katarzyna; GANZLEBEN, Catherine; ADAMS, Martin. *Environmental noise in Europe*. Europa: European Environment Agency, 2020.

REIS, R. E.; ALBERT, J. S.; DI DARIO, F.; MINCARONE, M. M. PETRYLAND, P. L.; ROCHA, A. Fish biodiversity and conservation in South America. *Journal of fish biology*, v. 89, n. 1, p. 12-47, 2016.

RUEBUSH, Blake; SASS, Greg G.; CHICK, John H. In-situ tests of sound-bubble-strobe light barrier technologies to prevent the range expansions of Asian carp. 2011.

SÁ-OLIVEIRA, Júlio C.; HAWES, Joseph E.; ISAAC-NAHUM; Victoria J.; PERES, Carlos A. Upstream and downstream responses of fish assemblages to an eastern Amazonian hydroelectric dam. *Freshwater biology*, v. 60, n. 10, p. 2037- 2050, 2015.

SILVA, Tania Machado da; FIGUEIREDO, Wllyane Silva; ZARA, Luiz Fabrício. Manobra de elevação da velocidade do fluxo hidráulico para a repulsão da ictiofauna em unidades geradoras tipo bulbo–Usina Hidrelétrica Jirau. 2021.

SLABBEKOORN, Hans; BOUTON, Niels; OPZEELAND, Ilse Van; COERS, Aukje; CATE, Carel ten; POPPER, Arthur N. A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish. *Trends in ecology & evolution*, v. 25, n. 7, p. 419-427, 2010.

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

SPERLING, E. V. Hydropower in Brazil: overview of positive and negative environmental aspects. *Energy Procedia*, 2012, vol. 18, p. 110-118.

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

TURATO, Egberto Ribeiro. Tratado da metodologia da pesquisa clínico-qualitativa. Petrópolis RJ.: Editora Vozes, 2003.

WYSOCKI, Lúcia Eva; LADICH, Frederico. Audição em peixes em condições de ruído. *Revista da Associação de Pesquisa em Otorrinolaringologia*, v. 6, n. 1, pág. 28-36, 2005.