

Análise comportamental de peixes em resposta a condroitina e sua aplicabilidade na proteção da ictiofauna no setor hidrelétrico

Wllyane Silva Figueiredo

Doutora, UnB, Brasil.
wllyane@gmail.com

Ézio Sargentini Junior

Professor Doutor, INPA, Brasil.
eziosargentini@gmail.com

Marcos Alexandre Bolson

Mestre, INPA, Brasil.
mabolson@gmail.com

Tania Machado da Silva

Doutora, UnB, Brasil.
taniamachado91@gmail.com

Luiz Fabrício Zara

Professor Doutor, UnB, Brasil.
fabriziozara@gmail.com

RESUMO

Sinais de alarme são liberados no ambiente pelas células epidérmicas de comunidades aquáticas para indicar situações de perigo. O sulfato de condroitina é indicado como um dos compostos ativos das substâncias de alarme, as quais podem induzir, nos espécimes receptores estímulos químicos, alterações comportamentais de evasão. A potencialidade da condroitina para o desenvolvimento de uma barreira comportamental para dissuasão da ictiofauna foi avaliada previamente em ensaios laboratoriais (1, 2 e 5 $\mu\text{g L}^{-1}$) e posteriormente no tubo de sucção (6 $\mu\text{g L}^{-1}$) de turbinas do tipo buldo na Usina Hidrelétrica, no rio Madeira – Rondônia. Nos ensaios em condições controladas com as espécies Matrinxã e Tambaqui, a natação rápida e o agrupamento foram as reações de alarme mais frequentes em ambas as espécies, sendo observado maior número de episódios em concentrações maiores. No tubo de sucção, a injeção da solução concentrada de condroitina causou uma diminuição (55%) na movimentação de peixes confinados, o que indica a dissuasão da ictiofauna. Os ensaios evidenciaram a potencialidade do uso sustentável do sulfato de condroitina na proteção da ictiofauna em empreendimentos hidrelétricos.

PALAVRAS-CHAVE: Substâncias de alarme. Ictiofauna confinada. Barreira comportamental.

1. INTRODUÇÃO

A transferência de informações entre animais pode ocorrer pelas vias visuais, sonoras, táteis, eletromagnéticas, por ondas de temperatura e químicas. O ambiente aquático é favorável para comunicação química, visto que os sinais químicos podem facilmente se dissolver na água. Além disso, os animais aquáticos, sobretudo os peixes, possuem alta sensibilidade no olfato para detecção de estímulos químicos (DA SILVA, 2010).

Sinais de alarme são liberados no ambiente pelas células epidérmicas de comunidades aquáticas para indicar situações de perigo, alterando o comportamento dos indivíduos expostos. Essas substâncias estão presentes nos teleósteos da superordem Ostariophysi, a qual inclui cerca de 55 famílias de peixes (PFEIFFER, 1963). Entretanto reações similares foram encontradas em Perciformes (Percidae), inferido uma ampla distribuição (SMITH; LAWRENCE, 1991; SMITH, 1979a e 1992b). A detecção desses sinais químicos pode resultar na busca por abrigo, imobilidade, formação de cardumes, natação rápida, além de outras reações de alarme (MATHURU et al., 2012).

Estudos dedicados à composição química das substâncias responsáveis por produzir os sinais de alarme indicaram o sulfato de condroitina e o ácido hialurônico no muco do *Salmo gairdner* (BROWN et al. 2000, VAN de WINKEL et al., 1986). Experimentos realizados por Mathuru et al. (2012) utilizando o fracionamento bioquímico, indicaram que as substâncias de alarme incluem os oligossacarídeos de condroitina, com tamanho mínimo de um tetrassacarídeo (~1.000 Daltons). Outros estudos sugerem a presença do sulfato de condroitina como um dos componentes das substâncias de alarme (FARNSLEY et al., 2016; BROWN et al., 2000; HINTZ et al., 2017).

A condroitina é um glicosaminoglicano sulfatado composto por uma cadeia polissacarídica não ramificada com uma estrutura de dissacarídeo de repetição (N-acetilgalactosamina e ácido glucurônico), estando ligada a proteínas como parte de um proteoglicano (ZHOU et al., 2010). A condroitina está distribuída em vários tecidos humanos e animais, sendo um importante componente de peles, cartilagens, tendões e outros tecidos, estando também relacionada à regulação da coagulação do sangue, e inflamações e

regeneração do sistema nervoso central (GUIDAN et al., 2014; KRYLOV et al., 2011; GUIDAN et al., 2014).

O estudo do potencial repulsivo dessa substância pode resultar em aplicações futuras importantes que aspiram pela proteção da ictiofauna no setor hidrelétrico. Durante manutenções programadas ou intempestivas das unidades geradoras de usinas hidrelétricas, ocorre frequentemente a sua drenagem, necessitando a inserção de comportas ou painéis “*stop log*” a montante e a jusante da unidade para isolamento do circuito hidráulico. Entretanto, antes que o fechamento seja concluído, peixes podem ingressar no tubo de sucção, provavelmente atraídos pela redução da vazão e/ou pelo turbilhonamento da água proveniente de unidades geradoras adjacentes em funcionamento (CEMIG, 2015). Operações de resgate devem ser, então, rapidamente acionadas, porém são sempre manuais em locais de difícil acesso e de espaço confinado, resultando em um processo oneroso (PERRY et al., 2014).

Existem técnicas que podem proteger a ictiofauna, impedindo sua entrada nessa instalações, como as barreiras físicas constituídas por telas ou grades (PERRY et al., 2014; CEMIG, 2015) e barreiras comportamentais utilizando sons, cortina de bolhas, luzes e corrente elétrica (ZIELINSKI et al., 2014; DIAS et al., 2020; FIGUEIREDO et al., 2021). Entretanto, as barreiras comportamentais em muitas situações, podem ser influenciadas pela espécie e seu tamanho corporal e/ou por variáveis ambientais, como a turbidez (WISENDEN & SMITH, 1997; PERRY et al., 2014).

Recentemente Da Silva et al. (2022) estudaram uma manobra operativa de elevação do fluxo hidráulico em turbina do tipo bulbo (3,6 para 11,0 m/s), sendo altamente eficiente na minimização do confinamento da ictiofauna nos tubos de sucção durante parada de unidades geradoras. Ao reduzir em cerca de 87% o confinamento da ictiofauna, esse procedimento de manutenção, combinado com o monitoramento em tempo real no tubo de sucção, tem um impacto positivo na conservação da fauna e nos custos econômicos relacionados à parada da unidade geradora, além de reduzir a carga de trabalho das equipes responsáveis pelo resgate da ictiofauna em espaços confinados.

O desenvolvimento do setor hidrelétrico na região Amazônica requer práticas de proteção da ictiofauna, nessa linha, este estudo investiga a potencialidade do sulfato de condroitina para o desenvolvimento de uma barreira comportamental visando a dissuasão de ictiofauna durante manobras operacionais do setor hidrelétrico.

2. MÉTODOS DE ANÁLISE

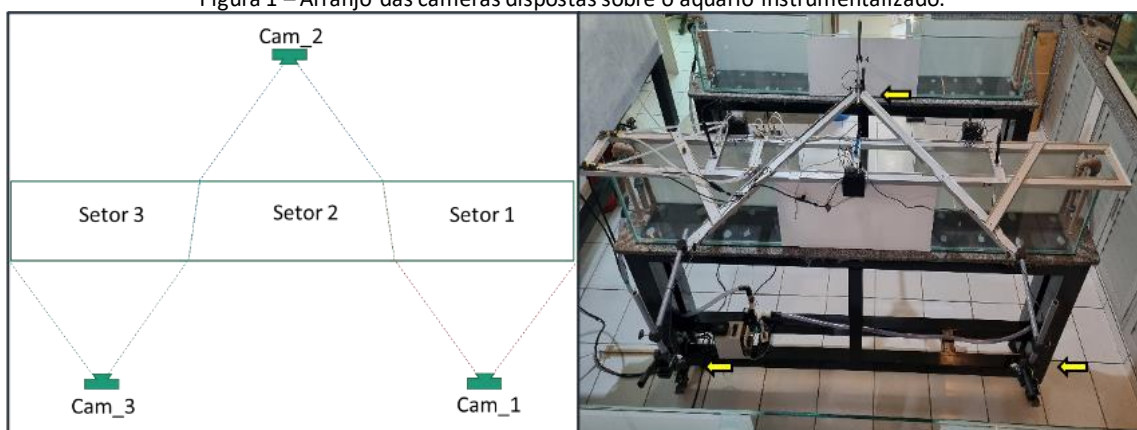
2.1 Estudos em ambiente controlado

2.1.1 Sistema remoto para análises comportamentais de peixes

Aquários de vidro com dimensões de 20 x 30 x 200 cm (L x A x C) foram equipados individualmente com sistemas de oxigenação, recirculação, injeção e injeção de amostra líquida (Figura 1). Uma estrutura de perfil alumínio foi desenvolvida de modo a ser acoplada em cada aquário durante os ensaios, com manutenção dos ajustes para captação de imagens de vídeo.

Nesse arranjo 3 (três) câmeras porta serial universal (USB), marca Logitech e modelo C920e Full HD foram dispostas alternadamente de modo a evitar sobreposição das imagens e/ou filmagens fora do campo de visão das câmeras. O padrão de movimentação dos indivíduos foi analisado considerando três setores, as quais foram definidas de acordo com as imagens das câmeras, sendo o setor 1 mais próximo da dispersão da substância alarme, o setor 2 na porção central e o setor 3 mais distante da introdução da substância. Todos os equipamentos operacionais do aquário e as aquisições das imagens das câmeras foram gerenciados por um software desenvolvido com linguagem computacional C# (C Sharp) e biblioteca “open source” de visão computacional “OpenCvSharp”.

Figura 1 – Arranjo das câmeras dispostas sobre o aquário instrumentalizado.



Fonte: Própria autoria.

2.1.2 Protocolo experimental

A seleção das espécies foi norteada pela facilidade de manejo e adaptabilidade às condições laboratoriais, boa sensibilidade da espécie aos estímulos externos e abundância na região Amazônica. Os espécimes de Matrinxã (*Brycon cephalus*) e Tambaqui (*Colossoma macropomum*) foram adquiridos comercialmente e mantidos em tanques de aclimatização aerado (5.000 L). Os peixes foram alimentados, com ração comercial, diariamente até 24 horas antes dos ensaios, e expostos ao fotoperíodo natural de 12/12 horas (luz e escuro) e temperatura média de 26 ± 1 °C por 60 dias.

No dia anterior aos experimentos 10 peixes foram selecionados ao acaso e inseridos em cada aquário, sendo mantidos em jejum. Os ensaios ocorreram em duas etapas, na primeira foi feita a filmagem por 20 min com interrupção da oxigenação e ajuste do fluxo de água para $1,7 \text{ L min}^{-1}$. Na segunda etapa, a solução de sulfato de condroitina foi injetada (2 min) e outro intervalo de 20 min foi monitorado. O sal sódico de sulfato de condroitina sintetizado da cartilagem de tubarão foi adquirido comercialmente (Sigma C4384, St. Louis, MO). Os ensaios ocorreram em triplicatas nas concentrações de condroitina de 1; 2 e $5 \mu\text{g L}^{-1}$, considerando a diluição da substância no volume total do aquário (100 L), seguindo o protocolo por Mathuru et al. (2012).

2.1.3 Padrões comportamentais

Os estímulos causados pela exposição ao sulfato de condroitina nas espécies Matrinxã e Tambaqui foram analisados a partir do cômputo manual por minuto de episódios de agrupamento, natação rápida e imobilidade na primeira e segunda etapas dos ensaios. Esses comportamentos de alarme são frequentes em estudos que comprovam a existência das substâncias de alarme na ictiofauna (BROWN; GODIN, 1997; BROWN et al., 2000; IDE et al., 2003; GOULART, 2010). O agrupamento consiste na formação de grupos com 3 ou mais indivíduos; a natação rápida ocorre quando os peixes movimentam energicamente suas nadadeiras; e a imobilidade é a suspensão dos movimentos em sua totalidade por períodos superiores a 30 segundos (LAWRENCE; SMITH, 1989).

2.2 Estudos no tubo de sucção da UHE Jirau

2.2.1 Área de estudo

A Usina Hidrelétrica (UHE) Jirau está localizada na região amazônica, no Rio Madeira (Figura 2). A UHE Jirau possui capacidade instalada de 3.750 MW, sendo a quarta maior geradora de energia elétrica do Brasil, representando cerca de 3,7% de toda a energia hidrelétrica do país. A usina conta com 50 unidades geradoras tipo bulbo, distribuídas em duas casas de força (CF1 e CF2), com descarga nominal de 550 m³/s e garantia física de 2.211,6 MW (JIRAU ENERGIA, 2022).

Figura 2 - Estrutura das áreas de estudo da UHE Jirau, no rio Madeira, Rondônia.



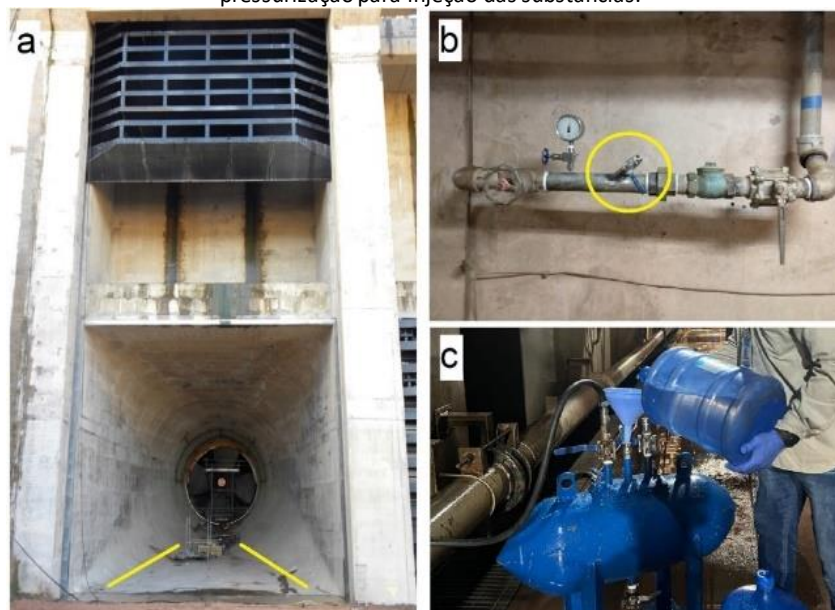
Fonte: Jirau Energia (2023).

2.2.2 Sistema de injeção e dispersão da condroitina no tubo de sucção

As unidades geradoras do tipo bulbo da UHE Jirau possuem um sistema de aeração embutidos na parte inferior do tubo de sucção, sendo passível a introdução e dispersão da solução de condroitina. Esse sistema é composto por 8 bicos injetores sextavados (3 cm), sendo 4 bicos distribuídos em cada lateral com espaçamento de 6,0 m. Na linha de alimentação desse sistema foi instalado um “by-pass” com uma válvula 3/4" e manômetro de 10 bar, possibilitando

a introdução de líquido e posteriormente o transporte pelo fluxo de arraste de ar comprimido (7 bar). As soluções de referência (80 L de água destilada) e solução concentrada de condroitina de $0,34 \text{ g L}^{-1}$ (80 L), foram previamente pressurizadas a 10 bar para injeção no sistema (Figura 3).

Figura 3 – Sistema adaptado de injeção de amostras líquidas no tubo de sucção de uma unidade geradora da UHE Jirau. a – Tubo de sucção com indicação da localização da tubulação do sistema de aerção; b – Sistema de aerção com válvulas de acionamento manual e manômetro, com indicação do “bay-pass” e; c – Arranjo técnico de pressurização para injeção das substâncias.



Fonte: Própria autoria.

2.2.3 Sistema de monitoramento de peixes no tubo de sucção

Para avaliações em tempo real da movimentação da ictiofauna no tubo de sucção das unidades geradoras foi utilizado o sistema hidroacústico de varreduras de baixa e alta frequências e uma ferramenta de mensuração. O sistema miniaturizado e robusto desenvolvido pela empresa Venturo Consultoria Ambiental é composto por dois transdutores fixados em um suporte, cerca de 9 m acima da parte inferior da soleira da unidade, de forma que o transdutor fique no centro do tubo de sucção. O cabeamento dos transdutores foi conectado ao “display”, em área segura, na laje superior do paramento a jusante da casa de força. O sistema hidroacústico foi ajustado para frequências de 350 a 400 kHz, sendo o módulo “side Imaging” com largura de feixe horizontal de $0,9^\circ$, largura de feixe vertical de 39° e ângulo de inclinação na vertical de 26° (DA SILVA et al., 2022; SANTANA et al., 2022). As aquisições das imagens subaquáticas ocorreram com injeção de água (1ª Etapa) e da solução concentrada de condroitina (2ª Etapa), por 25 minutos, com o tubo de sucção totalmente aberto. As imagens foram posteriormente analisadas utilizando software para visualização e contagem da movimentação da ictiofauna.

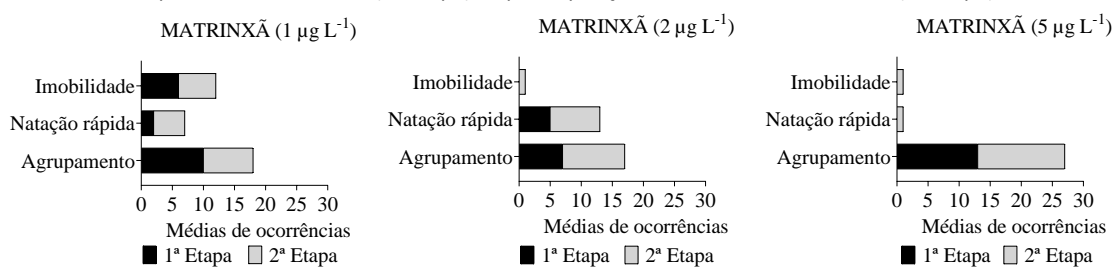
3. RESULTADOS

Em ambiente controlado foram feitos 18 ensaios comportamentais com as espécies Matrinxã (*Brycon cephalus*) e Tambaqui (*Colossoma macropomum*), totalizando 12 horas de filmagens para análise manual por minuto de episódios de agrupamento, natação rápida e imobilidade na primeira e segunda etapas.

A estatística multivariada da avaliação comportamental da espécie Matrinxã sob o efeito da condroitina em ambiente com concentrações de 1; 2 e 5 $\mu\text{g L}^{-1}$, não apresentou diferença para os estímulos de agrupamento, natação rápida e imobilidade, sendo esses comportamentos recorrentes antes e após a injeção da substância. Contudo outras reações de alarme, como letargia e movimentos estereotipados, que tiveram maior prevalência na 2ª etapa dos experimentos (Figura 4).

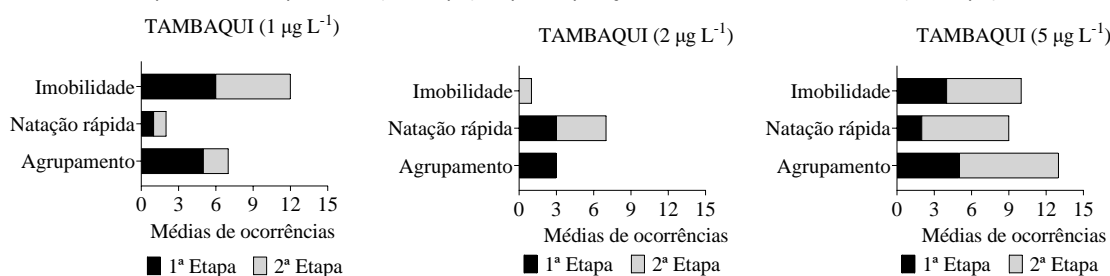
A espécie Tambaquí sob o efeito da condroitina apresentou comportamentos semelhantes aos observados com a espécie Matrinxã, sendo possível identificar a ampliação das reações de alarme no ambiente com 5 $\mu\text{g L}^{-1}$ de condroitina, com ênfase para o efeito de natação rápida (Figura 5).

Figura 4 – Valor médio de ocorrências das reações de alarme de agrupamento, natação rápida e imobilidade para a espécie Matrinxã, antes (1ª Etapa) e após exposição ao sulfato de condroitina (2ª Etapa).



Fonte: Própria autoria.

Figura 5 – Valor médio de ocorrências das reações de alarme de agrupamento, natação rápida e imobilidade para a espécie Tambaquí, antes (1ª Etapa) e após exposição ao sulfato de condroitina (2ª Etapa).



Fonte: Própria autoria.

Para os ensaios no tubo de sucção da unidade geradora do tipo bulbo da UHE Jirau foi considerado o volume para dispersão da condroitina cerca de 4.500 m^3 , sendo portanto injetada uma solução concentrada (0,34 g L^{-1}) visando atingir um ambiente com concentração cerca de 6 $\mu\text{g L}^{-1}$ de sulfato de condroitina ao longo do tubo de sucção. É importante destacar que as unidades geradoras adjacentes também permaneceram inoperantes.

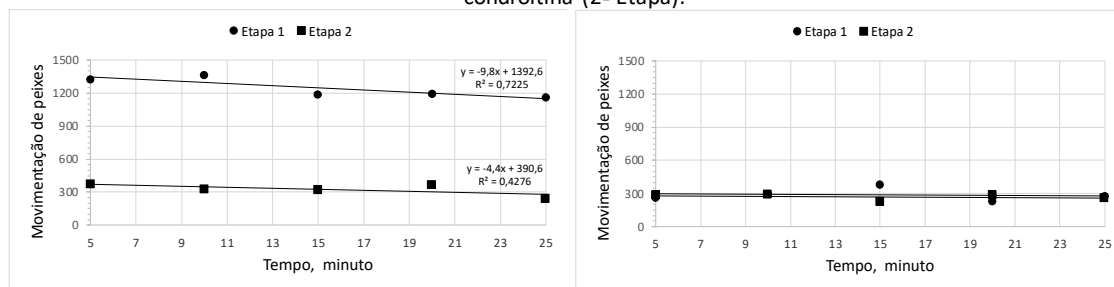
Os padrões de movimentação de peixes migradores neotropicais ao longo do dia ainda não estão totalmente elucidados. Algumas espécies de Siluriformes, os quais incluem bagres,

mandis, jundiás e ainda os caris ou cascudos, possuem hábitos noturnos. A ordem dos Characiformes, constituído por aproximadamente 270 gêneros e mais 1.700 espécies como a piranha, o lambari, o curimba e o dourado, apresentam padrão diverso (POMPEU; MARTINEZ, 2006).

As injeções das soluções concentradas de condroitina ocorreram em dois cenários distintos quanto à presença da ictiofauna dentro do tubo de sucção (Figura 6), sendo o primeiro com maior presença de espécimes (período matutino) e o segundo com menor presença de espécimes (período vespertino), com o segundo cenário cerca de 75% menor quando comparado ao primeiro cenário.

No ambiente com elevada presença de espécimes no tubo de sucção, a análise da movimentação da ictiofauna mostra uma expressiva diminuição de cerca de 55% após a injeção da condroitina (Etapa 2), sendo possível inferir a dissuasão da ictiofauna do tubo de sucção. Segundo Galhardo & Oliveira (2006) a resposta primária dos animais em situações de estresse é a fuga ou imobilização, porém, em ambientes que não permitem fuga, são comuns alterações comportamentais como aumento do ritmo e padrão natatório, busca por abrigo e até redução da frequência alimentar, de comportamentos territoriais e reprodutivos. A injeção da condroitina no ambiente com baixa presença de espécimes não apresentou diferença entre as Etapas 1 e 2, não sendo possível observar a ocorrência de reações de alarme.

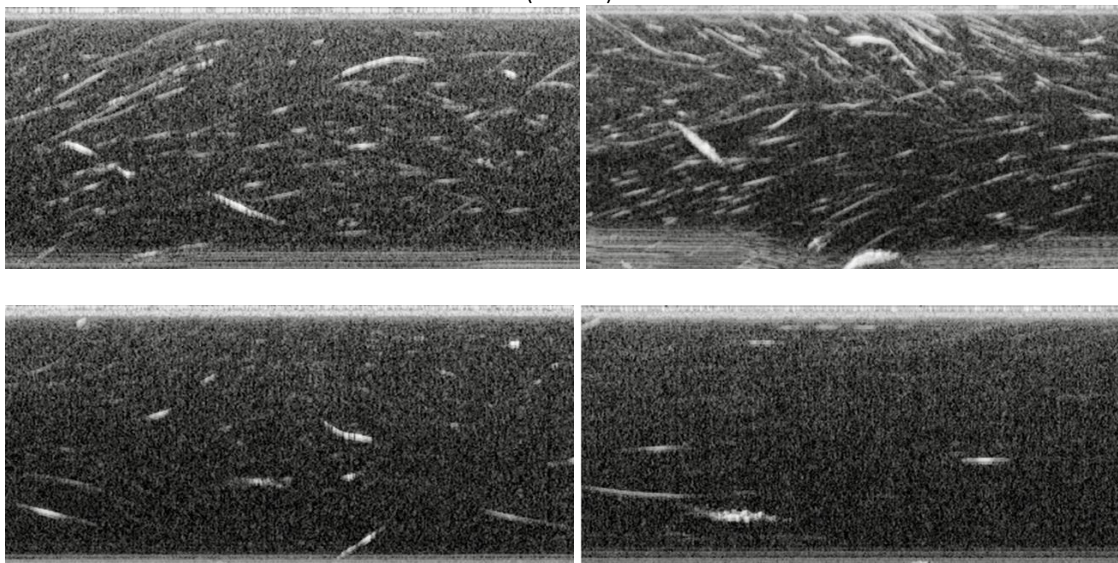
Figura 6 – Movimentação da ictiofauna em dois cenários com maior (esquerda) e menor (direita) quantidade de espécimes no tubo de sucção da unidade geradora da UHE Jirau, com aplicação de água (1ª Etapa) e de sulfato de condroitina (2ª Etapa).



Fonte: Própria autoria.

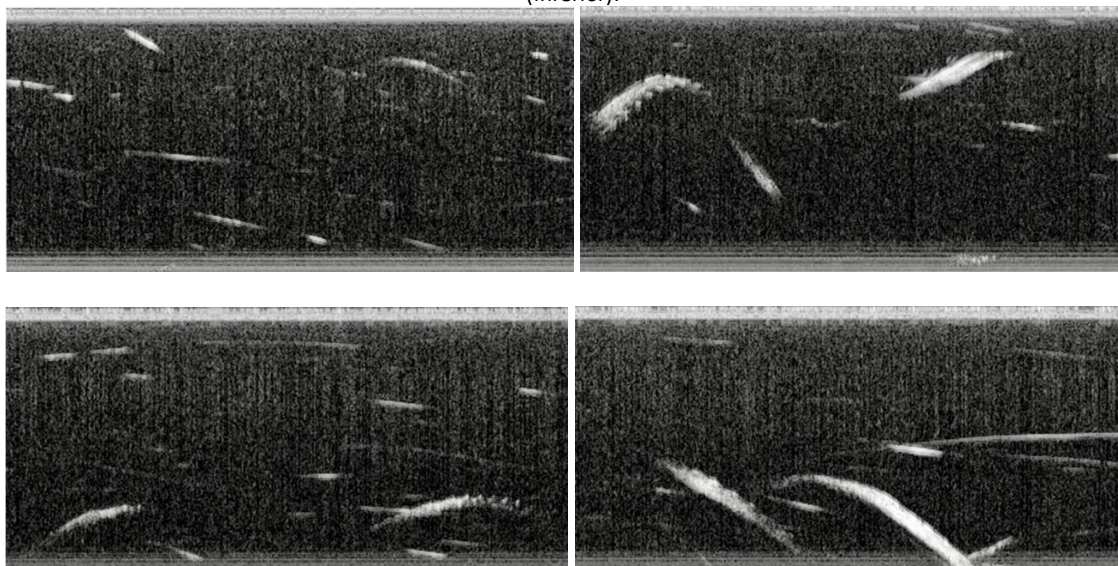
As imagens subaquáticas da movimentação da ictiofauna no tubo de sucção (Figura 7) no período matutino mostram a presença de um grande número de espécimes de pequeno porte e posterior diminuição na presença da condroitina. Enquanto que as imagens referentes ao ensaio no período vespertino (Figura 8), mostram ausência da ocorrência de reações de alarme após a injeção da condroitina. Além da presença de pequena quantidade de indivíduos e de espécimes de grande porte, os quais podem ser peixes predadores.

Figura 7 – Imagens subaquáticas da movimentação da ictiofauna nos cenários com maior quantidade de espécimes no tubo de sucção da unidade geradora da UHE Jirau, com aplicação de água (superior) e de sulfato de condroitina (inferior).



Fonte: Própria autoria.

Figura 8 – Imagens subaquáticas da movimentação da ictiofauna nos cenários com menor quantidade de espécimes no tubo de sucção da unidade geradora da UHE Jirau, com aplicação de água (superior) e de sulfato de condroitina (inferior).



Fonte: Própria autoria.

Estudos que comprovam a eficácia da condroitina na mudança comportamental de peixes são escassos. Farnsley et al. (2016) apresenta resultados, similares ao presente estudo, com a espécie *Fundulus catenatus*. Mathuru et al. (2012) observaram, na espécie *Danio rerio*, natação lenta, dardos e permanência no fundo. Os mesmos autores apontam que a condroitina ativa o bulbo mediodorsal posterior dos peixes através do olfato. Ide et al. (2003) identificaram como principal reação de alarme natação rápida seguida de imobilidade para a espécie *Brycon cephalus*, resultado que corrobora com os resultados observados neste estudo.

Contudo, a intensidade e frequência de reações de alarme de peixes expostos ao extrato de pele é superior quando comparados à condroitina, sendo as reações de desaceleração, imobilidade, aumento da atividade natatória e exploração com aplicação de extratos cutâneos (LAWRENCE & SMITH, 1989; CHIVERS & SMITH, 1994; BROWN & GODIN, 1999; DA SILVA, 2010; MATHURU et al., 2012).

A natação lenta, a qual consiste no movimento de aproximadamente $0,5 \text{ cm s}^{-1}$, e os movimentos estereotipados e curtos do peixe na posição horizontal foram observados com maior frequência nos ensaios com ambiente de $5 \mu\text{g L}^{-1}$ de sulfato de condroitina, para ambas as espécies Matrinxã e Tambaquí. De acordo com Pfeiffer (1977) esses comportamentos são característicos em situações de elevado estresse.

Na maioria dos ensaios laboratoriais não houve um padrão específico de repulsão, considerando a predileção dos indivíduos por setores dos aquários. O fato de ser um espaço confinado pode ter tendenciado os indivíduos a percorrerem o mesmo setor repetidamente. Dessa forma, conhecimentos de etologia, a qual é a ciência que analisa padrões de comportamento animal, são mais relevantes para este estudo (BRAITHWAITE & HUNTINGFORD, 2004).

Os estudos no tubo de sucção da unidade geradora do tipo bulbo na UHE Jirau, evidenciou a potencialidade da aplicação da condroitina na dissuasão de peixes de estruturas do setor hidrelétrico, favorecendo o desenvolvimento de novas tecnologias direcionadas à proteção da ictiofauna. Dias e colaboradores (2020), analisaram os relatórios do Programa de Conservação da Ictiofauna (PCI) da UHE Jirau ao longo de 10 anos (março/2009 a abril/2019) e constataram que mais de 500 espécies de peixes foram identificadas próximas as estruturas dessa hidrelétrica. Nem todas as espécies de peixes reagem às substâncias de alarme, como os peixes de ambientes cavernícolas ou predadores vorazes, os quais estão menos sujeitos às pressões seletivas e, portanto reduziram ou perderam essa capacidade (DUBOC, 2007).

A elevada sensibilidade olfativa da ictiofauna para detecção de estímulos químicos e a solubilização das substâncias alarme na água, tornam o ambiente aquático favorável à comunicação química (DA SILVA, 2010).

O rio Madeira apresenta elevada turbidez, principalmente em períodos chuvosos, devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos, algas e bactérias, plânctons, entre outros (Barbosa et al, 2018). Essas condições, certamente dificultam a dispersão homogênea das substâncias alarme, favorecendo interações com o material particulado suspenso e possíveis reações com detritos orgânicos.

Entretanto, mesmo neste ambiente aquático desfavorável, o estudo no tubo de sucção apresentou resultados relevantes de dissuasão da ictiofauna exposta à condroitina. Atentando às diretrizes da sustentabilidade do setor hidrelétrico, o desenvolvimento de barreiras comportamentais para peixes é de fundamental importância para redução dos possíveis impactos causados pelas estruturas hidráulicas.

4. CONCLUSÃO

Em ambiente controlado, as reações de alarme das espécies Matrinxã e Tambaquí foram similares quando expostas à condroitina, entretanto, maiores efeitos foram observados

sobre o comportamento da espécie Tambaqui. Os comportamentos mais recorrentes foram natação rápida seguida de agrupamento, com maior número de episódios durante a exposição a maiores concentrações de codroitina.

Os ensaios laboratoriais associados aos testes no tubo de sucção da unidade geradora do tipo bulbo da UHE Jirua, permitiram inferir a potencialidade do uso sustentável do sulfato de condroitina na proteção da ictiofauna em empreendimentos hidrelétricos. A estratégia de utilizar o sistema de “*by-pass*” para introdução de substâncias alarmes no tubo de sucção de unidades geradoras, por meio da tubulação de ar comprimido embutido, é facilmente adaptável para implementação em diferentes empreendimentos hidrelétricos.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de P&D da Energia Sustentável do Brasil (ANEEL/PD-06631-0009/2019) e a equipe da Jirau Energia, que forneceu todo o apoio necessário para o desenvolvimento da pesquisa.

7 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

BARBOSA, J.G.; GUIMARÃES, J.R.D; BRAGA, A.C. Análise da turbidez da água na bacia do rio das Almas, Goiás. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.22, n.2, p.620-628, 2018.

BRAITHWAITE, V. A.; HUNTINGFORD, F. A. Fish and welfare: Do fish have the capacity for pain perception and suffering? **Animal Welfare**, v.13, p. S87-92, 2004.

BROWN, G. E.; ADRIAN, JR, J. C.; SMYTH, E.; LEET, H.; BRENNAN, S. Ostariophysan alarm pheromones: Laboratory and field tests of the functional significance of nitrogen oxides. **Journal of Chemical Ecology**, v.26, n.1, p.139-154, 2000.

BROWN, G. E.; GODIN, J.G.J. Anti-Predator Responses To Conspecific and Heterospecific Skin Extracts By Threespine Sticklebacks: Alarm Pheromones Revisited. **Behaviour**, v.134, p.1123-1134, 1997.

BROWN, G. E.; GODIN, J. G. J. Who dares, learns: chemical inspection behaviour and acquired predator recognition in a characin fish. **Animal Behaviour**, v.57, n.2, p.475-481, 1999.

CHIVERS, D.P.; SMITH, R.J.F. Intra- and interspecific avoidance of areas marked with skin extract from brook sticklebacks (*Culaea inconstans*) in a natural habitat. **Journal of Chemical Ecology**, v.20, n.7, p.1517-1524, 1994.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Tópicos de manejo e conservação da ictiofauna para o setor elétrico**. Belo Horizonte: Cemig, 243p, 2015.

DA SILVA, L.G.M. **Estudo de sistemas para repulsão de peixes como alternativas de mitigação de impacto ambiental em usinas hidrelétricas e canais para abastecimento de água**. 178 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Minas Gerais. 2010.

DA SILVA, T.M.; FIGUEIREDO, W. S.; ZARA, L.F.; SILVA, L.L.O.; MELO JÚNIOR, J.O.; RIBEIRO, F.S.L.; OBRARA, M.K.T. Detering fish by increasing the flow rate in bulb turbines. **Hydropower & Dams**, v.29, n.4, p.62-65, 2022.

DIAS, M.F.; MAROJA, A.M.; GARAVELLI, S.L. Sistema para repulsão de ictiofauna em hidroelétricas brasileiras. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.16, n.5, p.180-191, 2020.

FARNSLEY, S.; KUHAJDA, B.; GEORGE, A.; KLUG, H. *Fundulus catenatus* (Northern Studfish) Response to the Potential Alarm Cue Chondroitin Sulfate. **Southeastern Naturalist**. v.15, n.3, p.523-533, 2016.

FIGUEIREDO, W.S.; DA SILVA, T.M. Promising chemical barrier substance applied to ichthyofauna in hydroelectric plants. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.17, n.4, p.43-51, 2021.

GOULART, V.D.L.R. **Importância da química de alarme no comportamento antipredatório do lambari, *Astyanax bimaculatus***. 2010. Dissertação (Mestrado em Zoologia de Vertebrados). Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

GUIDAN, H.; YONGGUANG, Y.; XIAOXIA, Y.; QINGYU, Y. Optimisation extraction of chondroitin sulfate from fish bone by high intensity pulsed electric fields. **Food Chemistry**, v.164, p.205-210, 2014.

HINTZ, H.A.; WEIHING, C.; BAYER, R.; LONZARICH, D.; BRYANT, W. Cultured fish epithelial cells are a source of alarm substance. **MethodsX**, v.4, p.480-485, 2017.

IDE, L.M.; URBINATI, E.C.; HOFFMANN. The role of olfaction in the behavioural and physiological responses to conspecific skin extract in *Brycon cephalus*. **Journal of Fish Biology**, v.63, p.332-343, 2003.

JIRAU ENERGIA. **A estrutura da Usina Hidrelétrica Jirau**. 2022. Disponível em: <<https://www.jirauenergia.com.br/conheca-a-uhe/>>. Acesso em: 20 mar. 2022.

KRYLOV, V.B.; GRACHEV, A.A.; USTYUZHANINA, N.E.; USHAKOVA, N.A.; PREOBRAZHENSKAYA, M.E.; KOZLOVA, N.I.; PORTSEL, M.N.; KONOVALOVA, I.N.; NOVIKOV, V.YU.; SIEBERT, H.CH.; SHASHKOV, A.S.; NIFANTIEV, N.E. Preliminary structural characterization, anti-inflammatory and anticoagulant activities of chondroitin sulfates from marine fish cartilage. **Russian Chemical Bulletin, International Edition**, v.60, n.4, p.746-753, 2011.

LAWRENCE, B.J.; SMITH, R.J.F. Behavioral response of solitary fathead minnows *Pimephales promelas*, to alarm substance. **Journal of Chemical Ecology**, v.15, n.1, p.209-219, 1989.

MATHURU, A.S.; KIBAT, C.; CHEONG, W.F.; SHUI, G.; WENK, M.R.; FRIEDRICH, R.W.; JESUTHASAN, S. Chondroitin fragments are odorants that trigger fear behavior in fish. **Current Biology**, v.22, n.6, p.538-544, 2012.

PERRY, R.W.; ROMINE, J.G.; ADAMS, N.S.; BLAKE, A.R.; BURAU, J.R.; JOHNSTON, S.V.; LIEDTKE, T.L. Using a non-physical behavioral barrier to alter migration routing of juvenile chinook salmon in the Sacramento–San Joaquin river delta. **River Research and Applications**, v.30, p.192-203, 2014.

PFEIFFER, W. Alarm Substances. **Experientia**, v.19, n.3, p.113-168, 1963.

PFEIFFER, W. The distribution of fright reaction and alarm substance cells in fishes. **Copeia**, United States, v.4, p.653-665, 1977.

SANTANA, M.L.E.; DA SILVA, T.M.; FIGUEIREDO, W.S.; ZARA, L.F. Diversidade taxonômica e funcional da ictiofauna confinada durante parada de unidade geradora em hidrelétrica. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.8, 2022.

SMITH, R.J.F. Alarm reaction of Iowa and Johnny darters (*Etheostoma*, Percidae, Pisces) to chemicals from injured conspecifics. **Canadian Journal of Zoology**, v.57, p.1278-82, 1979a.

SMITH, R.J.F. Alarm signals in fishes. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v.2, p.33-63, 1992b.

SMITH, R.J.F.; LAWRENCE, B.J. The response of a bumblebee goby, *Brachygobius sabanus*, to chemical stimuli from injured conspecifics. **Environmental Biology of Fishes**, 1991.

VAN DE WINKEL, J.G.J., VAN KUPPEVELT, T.H.M.S.M., JANSSEN, H.M.J., LOCK, R.A.C. 1986. Glycosaminoglycans in the skin mucus of rainbowtrout (*Salmo gairdneri*). **Comparative Biochemistry and Physiology PartB.**, v.85, p.473-475.

ZHOU, J.; NAGARKATTI, P.; ZHONG, Y.; NAGARKATTI, M. Immune modulation by chondroitin sulfate and its degraded disaccharide product in the development of an experimental model of multiple sclerosis. **Journal of Neuroimmunology**, v.223, p.55-64, 2010.



ZIELINSKI, D.P.; VOLLER, V.R.; SVENDSEN, J.C.; HONDZO, M.; MENSINGER, A.F.; SORENSEN, P. Laboratory experiments demonstrate that bubble curtains can effectively inhibit movement of common carp. **Ecological Engineering**, v.67, p.95-103, 2014.

WISENDEN, B.D.; SMITH, R.J.F. The effect of physical condition and shoalmate familiarity on proliferation of alarm substance cells in the epidermis of fathead minnows. **Journal of Fish Biology**, v.50, p.799-808, 1997.