



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO POR METAIS NÃO ESSENCIAIS
EM DUAS ESPÉCIES DE PEIXES PREDADORAS E NA ÁGUA DO
RIO AMAPARI, ESTADO DO AMAPÁ**

**MACAPÁ-AP
2022**

JADNA COSTA SILVA

**AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO POR METAIS NÃO ESSENCIAIS EM DUAS
ESPÉCIES DE PEIXES PREDADORAS E NA ÁGUA NO RIO AMAPARI, ESTADO DO
AMAPÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Disciplina de TCC-II da
Universidade Federal do Amapá -
UNIFAP, no Curso de Licenciatura em
Química, como requisito de avaliação de
Conclusão do
Curso de Licenciado em Química.
Orientador: Prof. Dr. Alexandro Cezar
Florentino
Coorientador: Me. Daniel Pandilha de
Lima

**MACAPÁ-AP
2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP
Elaborado por Mário das Graças Carvalho Lima Júnior – CRB-2 / 1451

S586 Silva, Jadna Costa.

Avaliação da contaminação por metais não essenciais em duas espécies de peixes predadoras e na água no rio Amapari, estado do Amapá / Jadna Costa Silva. - Macapá, 2022.
1 recurso eletrônico. 61 folhas.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Química, Macapá, 2022.

Orientador: Alexandro Cezar Florentino.

Coorientador: Daniel Pandilha de Lima.

Modo de acesso: World Wide Web.

Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Química - Poluição. 2. Bioacumulação. 3. Metais pesados. I. Florentino, Alexandro Cezar, orientador. II. Lima, Daniel Pandilha de, coorientador. III. Universidade Federal do Amapá. IV. Título.

CDD 23. ed. – 540

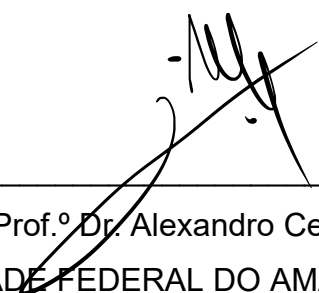
SILVA, Jadna Costa. **Avaliação da contaminação por metais não essenciais em duas espécies de peixes predadoras e na água no rio Amapari, estado do Amapá.** Orientador: Alexandro Cezar Florentino. Coorientador: Daniel Pandilha de Lima. 2022. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Coordenação do Curso de Química. Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2022.

JADNA COSTA SILVA

Avaliação da contaminação por metais não essenciais em duas espécies de peixes predadoras e na água no rio Amapari, estado do Amapá

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Disciplina de TCC-II da Universidade Federal do
Amapá - UNIFAP, no Curso de Licenciatura em
Química, como requisito de avaliação de
Conclusão do Curso de Licenciado em Química.
Orientador: Prof. Dr. Alexandro Cezar Florentino
Coorientador: Me. Daniel Pandilha de Lima

DATA DE APROVAÇÃO: 16 de dezembro de 2022



Orientador: Prof.º Dr. Alexandro Cezar Florentino
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ – UNIFAP



Examinador: Profa. Dra. Jéssica Caroline Evangelista Vilhena
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ – UNIFAP



Examinadora: Dra. Adriana Maciel Ferreira
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ - UNIFAP

Dedico este trabalho, com muito amor e gratidão, a minha mãe Adagilsa Costa. Ela não mediu esforços para lutar pela minha educação. Essa vitória é nossa!

RESUMO

A poluição do solo e dos sistemas aquáticos por metais pesados é um fator que influencia a qualidade ambiental e constitui um perigo para intoxicação humana. No decorrer dos anos, diversos estudos têm sido realizados para avaliar os possíveis impactos ambientais associados ao aumento da concentração de metais pesados no meio ambiente. Diante disso, o trabalho objetiva avaliar a presença de Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Ni, Pb e Zn na água e nos músculos, brânquias, fígados e gônadas das espécies de peixes, *Boulengerella cuvieri* e *Hoplias aimara*, na bacia do rio Amapari, Estado do Amapá, Brasil. A coleta ocorreu no mês de setembro de 2021, onde foram coletadas água em 10 pontos e 74 amostras de peixe para a análise de metais. Para a digestão das amostras de água, adicionou-se 1,5 ml de solução de ácido nítrico a 30% (v/v), 2,0 ml de solução de ácido sulfúrico a 30% (v/v) e 0,5 ml de solução aquosa de permanganato de potássio a 5%(m/v). As amostras foram agitadas vigorosamente e deixadas em repouso por 3 min e então adicionou-se solução de cloreto de estanho a 10% (m/v) em solução de ácido sulfúrico a 10% (v/v). E para a digestão das amostras de tecidos, adicionou-se 10 ml de mistura sulfonítrica (HNO₃/H₂SO₄ 1:1 v/v) com 0,1% (p / v) que ficou em repouso por 2 h no tubo de digestão, e posteriormente feito leituras por meio da técnica de absorção atômica com atomização de chamas. Dentre os metais analisados na água, os que apresentaram desacordo com as resoluções CONAMA (357/2005), foram os metais Cd Cu, Hg, Mn, Pb e Zn. Para os tecidos, de todos os metais analisados, o Cd demonstrou concentrações elevadas nos peixes *B. cuvieri* e *H. aimara*, sendo mais expressivas nos músculos, brânquias, fígados e gônadas, já o Pb se fez presente nos fígados e gônadas, ultrapassando os limites estipulados pelas legislações ANVISA (2013/2021). Tais resultados, permite inferir que o consumo da água e dos peixes pode colocar em risco a saúde da população local e comunidades ribeirinhas. Nesse sentido, faz se necessário ações para mitigar os processos e as fontes de poluição do ambiente aquático.

Palavras-chave: Poluição; Bioacumulação; Metais pesados; Legislações.

ABSTRAT

The pollution of soil and aquatic systems by heavy metals is a factor that influences environmental quality and constitutes a near danger of human intoxication. Over the years, several studies have been conducted to evaluate the possible environmental impacts associated with the increased concentration of heavy metals in the environment. Therefore, this study aimed to evaluate the presence of Zn, Cu, Fe, Hg, Cr, Ni, Cd, Pb and Mn in the water and in the muscles, gills, livers and gonads of the fish species *Boulengerella cuvieri* and *Hoplias aimara*, popularly known as pirapucu and trairão, from the Amapari River basin, a tributary of the Araguari River, Amapá State, Brazil. The collection occurred in the month of September 2021, where water was collected from 10 points in the river and 74 fish samples were collected for metals analysis. Two devices were used for the analyses, a digester tube and an atomic absorption spectrophotometer (Shimadzu, model AA7000) with flame atomization. Among the metals analyzed in the water, those that presented non-compliance with the resolutions CONAMA (357/2005) obtained the following concentrations (mean $\pm$ standard deviation) of Cd (0.005 ± 0.000), Cu ranged (0.060 ± 0.000 to 0.075 ± 0.007), Hg ranged (0.0005 ± 0.000 to 0.0006 ± 0.000), Mn ranged (0.080 ± 0.000 to 0.100 ± 0.000), Pb ranged (0.080 ± 0.000 to 0.090 ± 0.000) and Zn which ranged (0.180 ± 0.000 to 0.190 ± 0.014). For tissues, of all metals analyzed, Cd showed high concentrations in different organs of fish *B. cuvieri* and *H. aimara*, being more significant in muscles, gills, livers and gonads, while Pb was present in livers and gonads, exceeding the limits stipulated by legislation ANVISA (2013/2021), indicating contamination in the aquatic environment. Such results allow us to infer that the consumption of water and fish can endanger the health of the local population and riverside communities. In this sense, it is necessary to take actions to mitigate the processes and sources of pollution of the aquatic environment.

Keywords: Pollution; Bioaccumulation; Heavy metals; Legislation.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
Cd	Cádmio
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cr	Cromo
Cu	Cobre
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations.
Fe	Ferro
Hg	Mercúrio
HNO ₃	Ácido nítrico
KMnO ₄	Permanganato de sódio
Mn	Manganês
Ni	Níquel
Pb	Chumbo
RQ	risk quotient (Quociente de risco)
UFGD	Universidade Federal da Grande Dourados
UNIFAP	Universidade Federal do Amapá
WHO	World Health Organization
Zn	Zinco

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1. METAIS PESADOS/ METAIS NÃO ESSENCIAIS/ ELEMENTOS-TRAÇO	12
Cádmio (Cd)	12
Cobre (Cu).....	12
Cromo (Cr).....	13
Chumbo (Pb)	13
Ferro (Fe)	14
Níquel (Ni)	15
Zinco (Zn)	15
Manganês (Mn).....	16
Mercúrio (Hg).....	17
2.2. PRESENÇA DE METAIS PESADOS NA BIOTA AQUÁTICA.....	18
2.3. ESPÉCIE <i>BOULENGERELLA CUVIERI</i> (AGASSIZ, 1829).....	19
2.4. ESPÉCIE <i>HOPLIAS AIMARA</i> (VALENCIENNES,1987)	20
3. PROBLEMA.....	22
4. OBJETIVOS.....	23
4.1. Objetivo geral.....	23
4.2. Objetivos específicos	23
5. MATERIAIS E MÉTODOS	24
6. RESULTADOS	30
7. DISCUSSÃO.....	37
7.1. CONCENTRAÇÕES DE METAIS NA ÁGUA.....	37
7.2. CONCENTRAÇÃO DE METAIS NOS PEIXES	38
8. CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS.....	Erro! Indicador não definido.
APÊNDICES A- PROPOSTA EDUCACIONAL	56

1. INTRODUÇÃO

A Bacia Amazônica é a maior do mundo, com 63 % dela localizada em território brasileiro (ESPINOZA VILLAR et al., 2009; PACA et al., 2019). Esta bacia sozinha corresponde por 15% a 20% do volume de água doce despejada no oceano (MEDEIROS et al., 2015). Por seu tamanho e extensão, possui uma grande variedade de espécies de peixes, com estimativas que variam de 2.000 a 3.000 espécies (BARTHEM; GOULDING, 1997; DE ARAÚJO, 2021). Muitas dessas espécies são de interesse comercial e agregam valor ao comércio local e regional ao norte (ALMEIDA, 2022).

Apesar da Bacia Amazônica ser uma das mais importantes bacias hidrográficas do mundo, ela apresenta uma série de problemas causadas por ações antrópicas, tais como desmatamento (RIVERO et al., 2009; LIMA, 2021), a agricultura extensiva (fazendas de criação de gado e búfalo) (BRITO et al., 2020), os grandes empreendimentos hidrelétricos (FEARNSIDE, 2015), a mineração de ouro legal (FEARNSIDE, 2019) e ilegal (BRASIL, 2020), a mineração de manganês e outros minérios (AFONSO, 2019) e as cidades que margeiam os rios e não possuem tratamento adequado de esgoto (ANA, 2017), que podem desencadear a contaminação no ambiente aquático.

Observa-se atualmente a crescente contaminação no ambiente aquático, poluindo águas e os organismos vivos, por meio de despejos impróprios de resíduos, sendo eles de origem industrial, domésticos e de exploração mineral (KASPER, 2019). Os indícios de poluição ou contaminação podem ser medidos por parâmetros químicos, físicos e microbiológicos (KASPER, 2019).

Um dos meios de contaminação e o mais presente no estado do Amapá é a mineração. O Diagnóstico do Setor Mineral do Amapá (OLIVEIRA, 2010) retrata que há algumas décadas, a região do rio Amapari possuía uma quantidade muito grandes garimpos ativos, tendo mais de 14 (quatorze) áreas de garimpagem em total atividade.

Dados atualizados da região demonstram que em 2018 havia mais ou menos 10 garimpos ativos em Pedra Branca do Amapari (PBA) (OLIVEIRA, 2020). Essas atividades mineradoras acarretam diversos impactos no meio ambiente e influenciam diretamente no ecossistema e na qualidade da água, pois seus resíduos contendo metais pesados, são despejados nos rios sem nenhum tratamento adequado, poluindo peixes, águas, plantas e sedimentos (OLIVEIRA, 2020).

No estado do Amapá, o peixe é utilizado como principal fonte de alimento e de renda através da pesca por grande parte das comunidades, essa pesca ocorre em

igarapés, lagos, e rios, a exemplo do Rio Araguari que perpassa por várias áreas de proteção no estado do Amapá (OLIVEIRA et al., 2018).

Os ambientes aquáticos são considerados ricos em sua biodiversidade. Porém alguns organismos aquáticos são frágeis e capazes de responder a sutis alterações na qualidade da água, um desses organismos são os peixes, que se tornaram excelentes bioindicadores pois respondem às condições de estresse ajustando o seu metabolismo celular e vários mecanismos de defesa e são capazes de revelar o potencial mutagênico e genotóxico do ambiente aquático (HEMACHANDRA; PATHIRATNE, 2017; RIBEIRO; AMÉRICO-PINHEIRO, 2018)

O consumo de peixes com a presença de metais não-essencial como Zn, Cu, Fe, Hg, Cr, Ni, Cd e Pb podem acarretar sérios riscos para a saúde humana, pois são tóxicos, mesmo em concentrações baixas (VELUSAMY et al., 2014; JAYAPRAKASH et al., 2015; YOUNIS et al., 2021). O Amapá tem registro de contaminação por vários metais nos seus principais rios, como exemplo, podemos citar os rios Cassiporé (LIMA et al., 2015), Araguari (VIANA et al., 2020), Jari (ABREU; CUNHA, 2015) e Igarapé Fortaleza (SOUZA, 2021).

Diante do exposto, este trabalho possui grande importância social e econômica, uma vez que esses peixes e a água fazem parte da alimentação diária da população amapaense. Com isso, tem-se o objetivo de avaliar metais não essenciais na água e nas espécies carnívoras *Boulengerella cuvieri* e *Hoplias aimara* no rio Amapari, afluente do Rio Araguari-Ap.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. METAIS PESADOS/ METAIS NÃO ESSENCIAIS/ ELEMENTOS-TRAÇO

Metais pesados são elementos com peso específico superior a 5 g/cm³, incluindo os metais, semimetais e não metais como selênio e arsênio (SOARES, 2004). Esses metais são altamente reativos e conservativos, assim quando lançados no meio ambientes, se tornam persistentes, podendo ser incorporado na cadeia alimentar através do processo de biomagnificação, acarretando stress para os ecossistemas naturais e humanizados, uma vez que os metais pesados se acumulam nos organismos vivos e podem ocasionar a morte por contaminação (LANEIRO, 2012; COSTA, 2020).

Essa contaminação pode acontecer por fontes antropogênicas como mineração, fertilizantes, pesticidas, água de irrigação e queima de biomassa em zona rural, combustão de carvão e óleo, emissões veiculares, incineração de resíduos urbanos e industriais (RIOS; RABELO, 2021).

2.1.1. Metais e sua importância

Cádmio (Cd)

O metal menos abundante na crosta terrestre é o cádmio, suas fontes são geralmente corrosão de tubos galvanizados, refinarias de metal, águas residuais das indústrias siderúrgica e plástica e descarte de baterias, tintas e fertilizantes agrícolas (BRASIL, 2006).

A introdução do cádmio no organismo, no caso da exposição ocupacional, acontece principalmente através da aspiração de fumos do metal (FERNANDES; MAINIER, 2014). Por ser um elemento acumulável em plantas e animais, podendo afetar o homem, acumulando no organismo humano por longo tempo (CARDOSO; CHASIN, 2001; FERNANDES; MAINIER, 2014), especialmente nos rins e fígado, onde foi detectado que sua meia vida biológica é de aproximadamente 10 anos (TAVARES; CARVALHO, 1992).

Cobre (Cu)

O cobre é um elemento mais abundante na natureza e fundamental para o funcionamento do metabolismo dos organismos, tendo capacidade de agir como cofator de enzimas bióticas de neurotransmissores e desenvolve papel importante na respiração celular (PORTUGAL, 2022). O cobre é encontrado naturalmente nas águas, em

concentrações abaixo de 20 µg. L⁻¹. Esse metal em alta concentração, se torna prejudicial à saúde, e a água produz um sabor diferente. É necessária uma concentração de 20 mg/L-1 de cobre ou um teor de 100 mg. L⁻¹ por dia na água par produzirem intoxicações, ocasionando lesões no fígado (FURTADO, 2007).

Entretanto, pequenas quantidades de cobre são vitais para os seres humanos, em contrapartida exposição à curto prazo pode causar distúrbios gastrointestinais, enquanto a exposição a longo período pode acarretar sérios danos no fígado e nos rins, outras disfunções, pode causar síndrome e imunodeficiência de Wilson (ZORODDU et al., 2019).

Cromo (Cr)

Os resíduos no solo contaminados com cromo são obtidos por precipitação, parte da água escorre da superfície ou permanece no solo e a outra parte se infiltra ou evapora, quando atinge o solo e interage com as fases sólida e líquida e sua microflora e fauna, essas interações determinam a mobilidade do metal e afetam seu transporte e retenção no ambiente físico (SOARES; YOKOYAMA; FREIRE, 2006).

A absorção do cromo pelo corpo humano pode ocorrer por inalação, contato com a pele e ingestão (JAISHANKAR, et al., 2014; INCA, 2012). A superexposição ao Cr (VI) pode causar úlceras e perfurações do septo nasal e câncer do trato respiratório, no caso da ingestão, por ser um metal bioacumulativos ao longo da cadeia alimentar, altas concentrações podem atingir o corpo humano e causar danos a proteínas e ácidos nucléicos com alto potencial carcinogênico (WILBUR et al., 2012).

Chumbo (Pb)

O chumbo natural não causa problemas para o ser humano e logo surgiu a preocupação social, pois era cada vez mais utilizado em processos industriais e, portanto, lançado no meio ambiente, o que o tornava um dos principais poluentes do planeta (PAOLIELLO & CHASIN, 2001). Este metal é amplamente utilizado na indústria eletrônica para tubos de raios catódicos e solda, e muitas vezes é descartado de forma inadequada (AFONSO, 2018).

Estima-se que cerca de 40% dos equipamentos eletrônicos seja feita de chumbo (OLIVEIRA; GOMES; AFONSO, 2010). O que acaba gerando riscos causados pelo descarte inadequado de baterias e pilhas que deram início no final da década de 1970, porque algumas baterias são produzidas com grandes quantidades de metal e o conteúdo de Hg (mercúrio) das baterias chega a 30%, tornando-se perigoso para a maioria dos organismos (NYEKWERE, 2021).

O chumbo pode causar problemas de saúde, interferir na formação de hemoglobina e causar doenças renais, nervosas e cerebrais (RAHMAN; SINGH, 2019). De acordo com a Organização Mundial da Saúde (1992), a exposição humana ao chumbo pode vir de diferentes fontes: ar, água, solo e outras formas de ingestão. A partir do momento em que este metal entra no corpo humano, o chumbo pode se distribuir por todo o corpo e ser excretado pelo suor, rins, bile e até pelo leite materno, noventa (90%) dos depósitos totais do corpo são depositados nos ossos e entram em contato direto com o cálcio (MOREIRA E MOREIRA, 2004). Durante a gravidez, o chumbo tem a capacidade de passar facilmente pela placenta, fazendo com que o feto tenha uma concentração de metais semelhante à da mãe (GUO et al., 2022).

O efeito do chumbo também pode alterar o metabolismo dos carboidratos e reduzir a circulação da glicose no cérebro, junto com o oxigênio, a glicose no cérebro é a fonte de energia básica para os neurônios, causando problemas na área sensório-motora (GUO et al., 2022). É acumulação deste metal que causa envenenamento crônico denominado de saturnismo e tem um impacto muito sério no sistema nervoso central (FERNANDES, 2015).

Por este metal não possuir funções fisiológicas no corpo, o contato deste elemento pode causar deficiências no desenvolvimento físico e mental das crianças, problemas renais, aumento do estresse em adultos e interferência no metabolismo da vitamina D (NAVAS-PEREIRA et al., 1985).

Ferro (Fe)

O ferro compõe cerca de 5,6% da crosta terrestre, sendo o 4º elemento mais abundante no planeta (KUMAR et al., 2017). Alguns elementos-traços, como manganês e ferro, são contaminantes inorgânicos presentes comumente nas águas de abastecimento (FILHO, 2012).

As funções do ferro originam-se das propriedades físicas e químicas, especialmente do seu potencial de interagir nas reações de oxidação e redução, como por exemplo, as enzimas envolvidas no processo de respiração celular (GROTTO, 2008). Com a deficiência de ferro, ocorre o aumento nas taxas de mortalidade e morbidade, prejudica o desenvolvimento no trabalho e afeta o progresso mental, reduzindo a capacidade de ser produtiva e saudável (WELCH et al., 2000).

A anemia se manifesta devido a deficiência de Ferro, porém seu excesso também prejudica o organismo, ocasionando vários danos devido a sua toxicidade (BRASIL, 2002). Por isso, o equilíbrio do ferro no metabolismo assegura o bom desempenho das

funções celulares essenciais, ao mesmo tempo em que previne possíveis danos teciduais ocasionados pela toxicidade deste elemento.

Quando a quantidade de ferro absorvida é insuficiente na alimentação, ocorre um déficit no organismo, incluindo as perdas obrigatórias para o organismo, os recursos nutricionais para o crescimento, metabolização irregular, perda sanguínea crônica (BRASIL, 2002; CARPENTER; MAHONEY, 1992).

Níquel (Ni)

Níquel, o 24º elemento mais abundante na crosta terrestre, é encontrado no meio ambiente comumente ligado com oxigênio e o enxofre, formando minérios de óxido ou sulfetos (BUNJAKU; KEKKONEN; TASKINEN, 2012). Este metal é inserido no meio ambiente através do processo de mineração e nas ações industriais que usam dele ou seus compostos, por exemplo, quando ocorre a queima do óleo combustível ou carvão, na produção de aço ou ligas e na queima de lixo (HERRERO FERNÁNDEZ, 2017).

A degradação ambiental por níquel acontece de forma natural, ocasionado por meteoritos, por vulcões, e incêndios florestais (CAMEROM *et al.*, 2011). E degradação ambiental ocorre também, por maneiras antropogênicas, nas áreas industrializadas, está a maior concentração de níquel no ar e lagos, que incluem mineração, refinamento e fundição. (SOUZA; MOURASSUTI; DEUS, 2018).

Estudos relatam que o níquel tem capacidade de produzir compostos inorgânicos insolúveis, como sulfetos e óxidos e compostos solúveis, como: nitratos, hidróxidos, cloretos e sulfatos, dentre os compostos formados, os solúveis são considerados mais nocivos à saúde (DAS; DAS; DHUNDASI, 2008 E SCHAUMLÖFFEL, 2012). Entretanto, o sulfato e cloreto de níquel são mais tóxicos, os dois são considerados carcinogênicos (ASTDR, 2005). Da mesma maneira que os demais metais, a toxicidade do níquel depende do meio de exposição, da maneira em que se encontra o composto e da solubilidade (SCHAUMLÖFFEL, 2012).

Zinco (Zn)

O zinco é um mineral extensamente distribuído em todo o corpo humano, entretanto, em pequenas concentrações de 1,5g a 2,5g, a deficiência deste metal está associada a casos patológicos pertinentes que surgem na maioria das vezes em função da deficiência alimentar, a existência de compostos quelantes nos alimentos, disfunções no processo de absorção gastrointestinal ou acréscimo na excreção urinária (PEDROSA; COZZOLINO, 2001). As recomendações diárias de ingestão (RDI) desse metal são de 11

mg/dia para homens e 8 mg/dia para mulheres adultas. Em algumas fases da vida, a carência deste mineral aumenta, como na gestação, infância, puberdade e senilidade (CHENG; CHEN, 2021).

Na alimentação, nem toda quantidade de Zn consumida é empregada pelo organismo, isso se dá devido a biodisponibilidade deste metal, que pode ser afetada no processo de absorção intestinal ou na circulação sanguínea (SILVA, REIS E COZZOLINO, 2016). A absorção intestinal de Zn é pequena por aspectos antagonistas na alimentação, como o fitato, o oxalato, os taninos e os polifenóis, esta absorção é capaz de ser facilitada diante da presença de aminoácidos, fosfatos, ácidos orgânicos e proteína (SILVA E SILVA, 1999). Na circulação, pode haver competição do Zn com os minerais de cobre e ferro, dependendo da quantidade desses elementos na corrente sanguínea (OLIVEIRA et al., 2021).

Quando ocorre a absorção do Zinco, é conduzido rapidamente para o fígado, a proteína plasmática responsável por esse deslocamento foi determinada como albumina. (ACOSTA; VALCARCEL, 2004). A disposição para os outros tecidos acontece pelo plasma, que concentra cerca de dez a vinte por cento (10%-20%) do zinco total do organismo (ACOSTA; VALCARCEL, 2004).

A carência do Zinco pode causar danos no metabolismo dos processos em que ele está envolvido e atinge em torno de 2 bilhões de pessoas, geralmente, crianças e gestantes nos países em desenvolvimento (OH; KEATS; BHUTTA, 2020).

E por isso, a atribuição do zinco na nutrição humana está cada vez mais proeminente e tem ocorrido um crescimento das informações no que diz respeito aos aspectos bioquímicos, imunológicos e clínicos. A relevância do Zinco foi determinada com a descoberta de processos metabólicos, que envolve esse nutriente em várias atividades enzimáticas (SENA; PEDROSA, 2005).

Manganês (Mn)

Os compostos de manganês podem ser classificados em orgânicos e inorgânicos, entre as formas o manganês pode se transformar de um composto para outro, mas não se decompõe ou desaparece do meio ambiente, exemplos de formas inorgânicas incluem aquelas encontradas em produtos de combustão de escapamentos de carros ou caminhões e na poeira encontrada na fabricação de aço ou baterias, as formas orgânicas de manganês são principalmente aditivos para gasolina e pesticidas (MARTINS; LIMA, 2001; ATSDR, 2010).

O manganês é um elemento importante para a vida animal e vegetal, mas o consumo ou exposições prolongadas, por inalação ou oralmente, podem provocar efeitos adversos no sistema nervoso, respiratório e pode também ser absorvido pelo intestino delgado, acumulando a maior parte no fígado, se dirigindo para as demais partes do corpo (TOLEDO; MANZINI; LIMA, 2018).

Quem consome água com níveis de manganês acima da média apresenta sintomas como rigidez muscular, tremores das mãos e fraqueza, sendo responsável por sintomas semelhantes a doença de Parkinson, por esses e outros efeitos prejudiciais o manganês é, também, considerado tóxico (SOUZA et al., 2011).

Em animais foi constatado que o excesso de metal no organismo provoca mudanças no cérebro podendo, também, levar à impotência, pois danifica os testículos. Por outro lado, a deficiência desse micronutriente causa perda de peso, além de afetar a capacidade reprodutiva, a função pancreática e o metabolismo de carboidratos. O consumo ideal deve estar entre 1 e 5 mg por dia, quantidade que se consegue através dos alimentos como grãos integrais, leguminosas, nozes e chás (SOUZA, 2011).

Mercúrio (Hg)

O mercúrio elementar é usado na fabricação de cloro-soda, lâmpadas fluorescentes, amálgamas dentários e principalmente na mineração de ouro, já os compostos de mercúrio são utilizados em baterias, tintas e catalisadores industriais (MICARONI; BUENO, 2002).

O mercúrio não possui nenhuma função metabólica no organismo humano, mesmo em pequenas concentrações pode ser considerado extremamente nocivo para os seres vivos, a toxicidade do mercúrio depende da forma química a qual está exposta, da via de acesso e da intensidade de exposição (HACON et al., 2020).

Dentre as formas químicas do mercúrio, o metilmercúrio é o mais prejudicial para o organismo, evidenciando elevadas taxas de absorção e menores de excreção (FERREIRA, 2012). Desde o momento em que acontece a absorção, o metilmercúrio irá acumular-se nos rins, no fígado e no sistema nervoso central (OLIVEIRA-DA-COSTA MG, 2017).

A exposição ao mercúrio orgânico ocorre pela ingestão de peixes e frutos do mar contaminados, gerando danos à saúde pública, especialmente para as populações dependentes do pescado, ou que tem nele como meio de obtenção sua principal fonte de proteína (MENESES et al., 2022). A procura por qualidade de vida fez com que a população aderisse uma dieta mais equilibrada, o que gerou um crescimento mundial do

consumo de pescados, em consequência, houve aumento da exposição a alguns xenobióticos (OLIVEIRA-DA-COSTA MG, 2017).

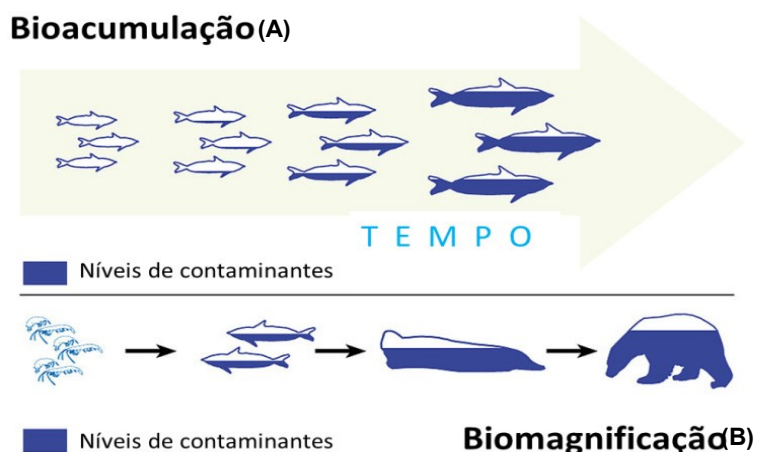
2.2. PRESENÇA DE METAIS PESADOS NA BIOTA AQUÁTICA

Os organismos aquáticos tendem a acumular metais pesados e poluentes orgânicos em seus tecidos, existindo um risco significativo de contaminação dentro da cadeia trófica, mesmo que os níveis desses compostos na água estejam abaixo das concentrações máximas permitidas pela legislação (SOUZA; MOURASSUTI; DEUS, 2018).

Dentro dos processos bioquímicos que ocorrem no ambiente aquático, podemos destacar a bioacumulação e biomagnificação (GRAY, 2002). No caso dos peixes, a rota principal de entrada de contaminantes, é através da ingestão de alimentos e água (GRAY, 2002). A bioacumulação é caracterizada por um processo de absorção e acúmulo de substâncias ou compostos químicos no organismo de determinado ser vivo, as espécies de peixes não predadoras, ou seja, não se alimentam de outros peixes, tem a capacidade de bioacumular concentrações de metais mais elevadas, devido seus hábitos alimentares (SANTOS et al., 2020)

Os peixes predadores, ou seja, aqueles que comem outros peixes e estão no topo da cadeia alimentar, acumulam mais metais em seu organismo por meio do consumo de presas de nível trófico menor, pelo processo chamado de biomagnificação (SANTOS et al., 2020). Neste processo, os peixes absorvem e retêm substâncias químicas (no caso o metal) em seu corpo pelo trato digestivo a partir da alimentação, além do que seu organismo absorve da água (LIMA et al., 2015; VIANA et al., 2020).

Figura 1 - Bioacumulação e biomagnificação.



Fonte: Adaptada World Wide Fund for Nature (WWF).

Embora as fontes naturais de metais tenham potencial para poluição, está claro que o grave problema da poluição da água vem do comportamento humano (BRASIL, 2006). Esses metais estão presentes em muitos compostos usados pela indústria e medicina (BRASIL, 2006).

A presença de metais como o alumínio, cromo, cádmio, ferro, cobre, magnésio, chumbo, zinco, manganês e entre outros presente na água potável, se dá por causas geogênicas, como o desprendimento de fontes naturais (RAJAN et al., 2012; RAZAK et al., 2015), ou são provenientes de ações antropogênicas, como o despejo abundante de resíduos industriais de diferentes segmentos ou pelo contato com atividades de mineração, lixiviação de aterros e lixões que contribuem para a poluição de metais na água (KIOKO; OBIRI, 2012; SHARMA; TYAGI, 2013; BHOWMIK et al., 2015). Esta influência das atividades antrópicas pode interferir no ciclo bioquímico e alterar a forma e a intensidade do transporte ou a forma original do metal (BRASIL, 2006).

2.3. ESPÉCIE *BOULENGERELLA CUVIERI* (AGASSIZ, 1829)

Boulengerella cuvieri (Figura 1) é a maior espécie do gênero, com os adultos atingindo cerca de 1m de comprimento, possuindo a maior disposição geográfica dentro do gênero e, por conta disso, possui uma grande variação morfológica quanto à coloração, que varia de acordo com a região onde se encontra. É definida por apresentar uma mácula escura na base do pedúnculo caudal, nadadeira dorsal anterior à nadadeira anal, possui uma faixa escura ligeiramente lateral e algumas manchas na superfície do corpo. Está distribuída nas bacias do Essequibo, Orinoco e Amazonas, Tocantins, Oiapoque, rios costeiros dos Estados do Amapá e Pará, bacia do médio e baixo rio Madeira, nos lagos do Cuniã, Puruzinho e Sampaio, rio Machado e rio Manicoré (VARI, 1995; BUCKUP et al., 2007; QUEIROZ et al., 2014).

Figura 1: *Boulengerella cuvieri* capturado no rio Amapari – AP.



Foto: autora

Alimentam-se basicamente de peixes pequenos e insetos, são extremamente vorazes e grandes saltadores. Um dos aspectos marcantes dessas espécies é a capacidade de saltar fora d'água quando se alimentam, atacando suas presas com saltos sucessivos e acrobáticos, impulsionados somente pela nadadeira caudal. Podem habitar águas lânticas, correntezas e águas rasas, sendo comumente encontrados em águas claras ou negras, devido ao seu hábito de predador visual. Possuem grande importância na pesca artesanal (SANTOS; JEGU; MERONA, 1984; SANTOS et al., 2004) e comercial de subsistência e no mercado aquarista ornamental (SANTOS; JEGU; MERONA, 1984; CASTRO, 1986; VARI, 1995, 2003).

2.4. ESPÉCIE *HOPLIAS AIMARA* (VALENCIENNES, 1987)

Hoplias aimara (Figura 2) é onívora enquanto juvenil, tornando-se quase exclusivamente piscívoro quando adulto, embora ocasionalmente consuma caranguejos, iguanas e pássaros (HOREAU; CERDAN; CHAMPEAU, 1998). Devido aos seus hábitos carnívoros, a espécie é severamente impactada pela contaminação e bioacumulação de mercúrio ao longo da cadeia trófica em áreas de mineração de ouro (CHAVENT; LACOMBLEZ, 2000). Apresentam características morfológicas que os permitem ingerir presas relativamente maiores, sendo essa uma característica que os segregou as espécies avaliadas.

Figura 2: *Hoplias aimara* capturado no rio Amapari-Ap

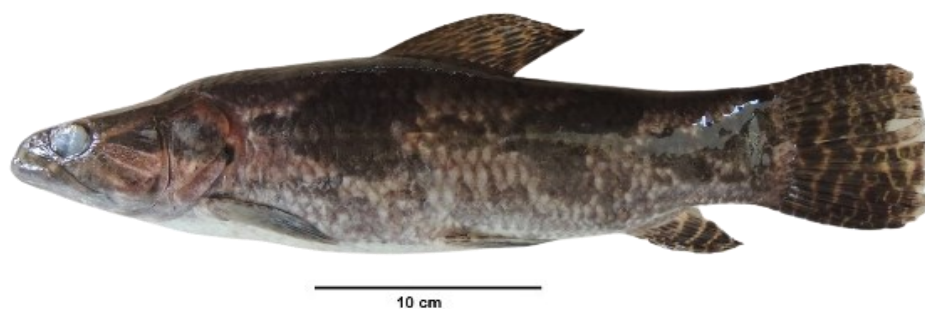


Foto: autora

Este peixe pertence à ordem Characiformes e família Erythrinidae. Isto é uma espécie de alto nível trófico, bem representada nas seis principais bacias hidrográficas na Guiana Francesa. Esta espécie tem uma vida sedentária; ele só faz deslocamentos limitados durante a estação chuvosa, para riachos próximos para capturar presas (PLANQUETTE; KEITH; LE BAIL, 1996).

3. PROBLEMA

As taxas de consumo de pescado na Amazônia são as maiores do mundo, com média estimada em 369 g/pessoa/dia ou 135 kg/pessoa/ano, chegando a cerca de 600 g/dia em certas áreas da Amazônia (JOÃO; JÚNIOR, 2015). Entretanto, diversos estudos apontam o risco que o meio ambiental e seres humanos correm pela presença de metais pesados na água e nos peixes (VIANA et al., 2020; VIANA et al., 2021; COSTA et al., 2022; VIANA et al., 2022). Diante disso, se fez necessário investigar a presença de metais na água da bacia do rio Amapari e peixes usualmente consumidos na região.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo geral

Avaliar a presença de cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), mercúrio (Hg), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn) em duas espécies de peixes, *Boulengerella cuvieri* e *Hoplias aimara* e na água do rio Amapari, Estado do Amapá, Brasil.

4.2. Objetivos específicos

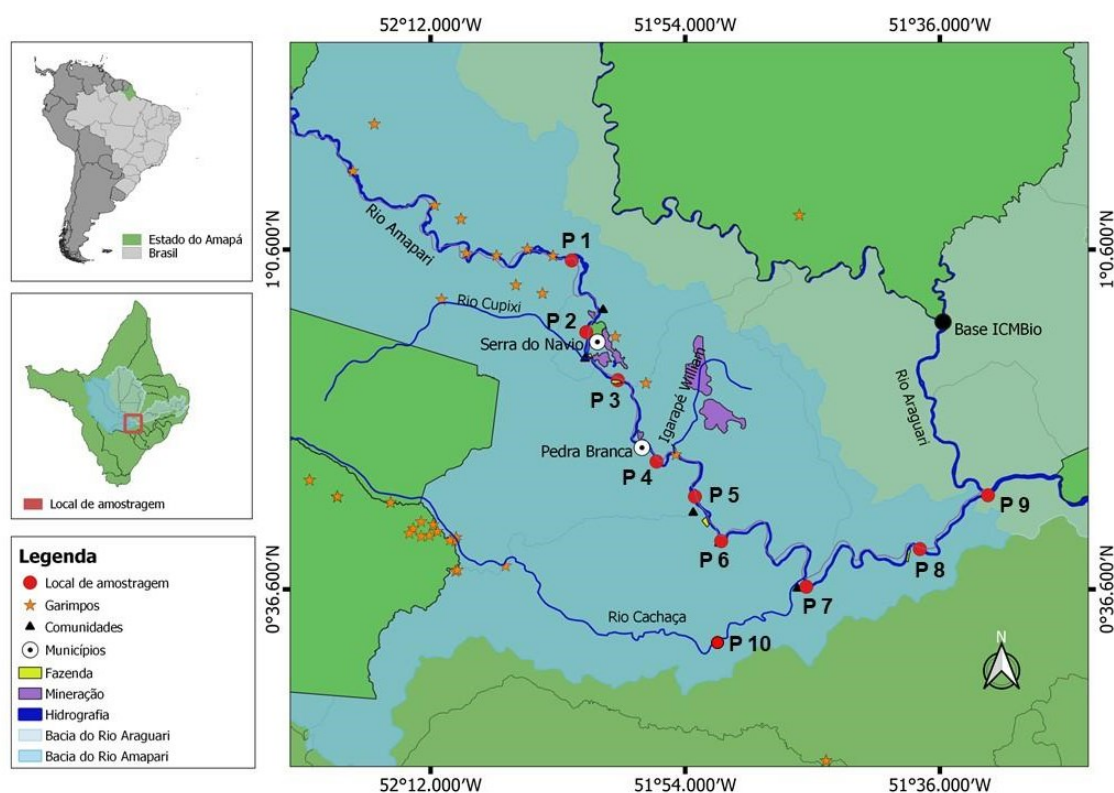
- Quantificar a concentração dos metais na água;
- Determinar a presença desses metais nas brânquias, gônadas, fígado e músculos dos peixes;
- Comparar os resultados das concentrações dos metais pesados com os valores estabelecidos pela legislação nacional.
- Determinar se os níveis de metais presentes na água causam riscos para preservação da biota aquática;
- Determinar se a concentração de metais detectada no músculo dos peixes traz riscos para a saúde humana decorrentes do seu consumo.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. ÁREAS DE ESTUDO

O rio Amapari nasce no Parque Nacional Montanhas do Tumucumaque (PARNA Tumucumaque) e corre no sentido noroeste-centro do estado do Amapá porção média do rio Araguari, próximo da cidade de Porto Grande, da nascente a foz, percorre os territórios dos municípios de Serra do Navio, Pedra Branca e Porto Grande (Figura 3) (ATLAS, 2008). O Amapari compõe a bacia hidrográfica do rio Araguari no qual é o principal afluente, tendo suma importância para a hidrografia regional (CUNHA et al., 2014).

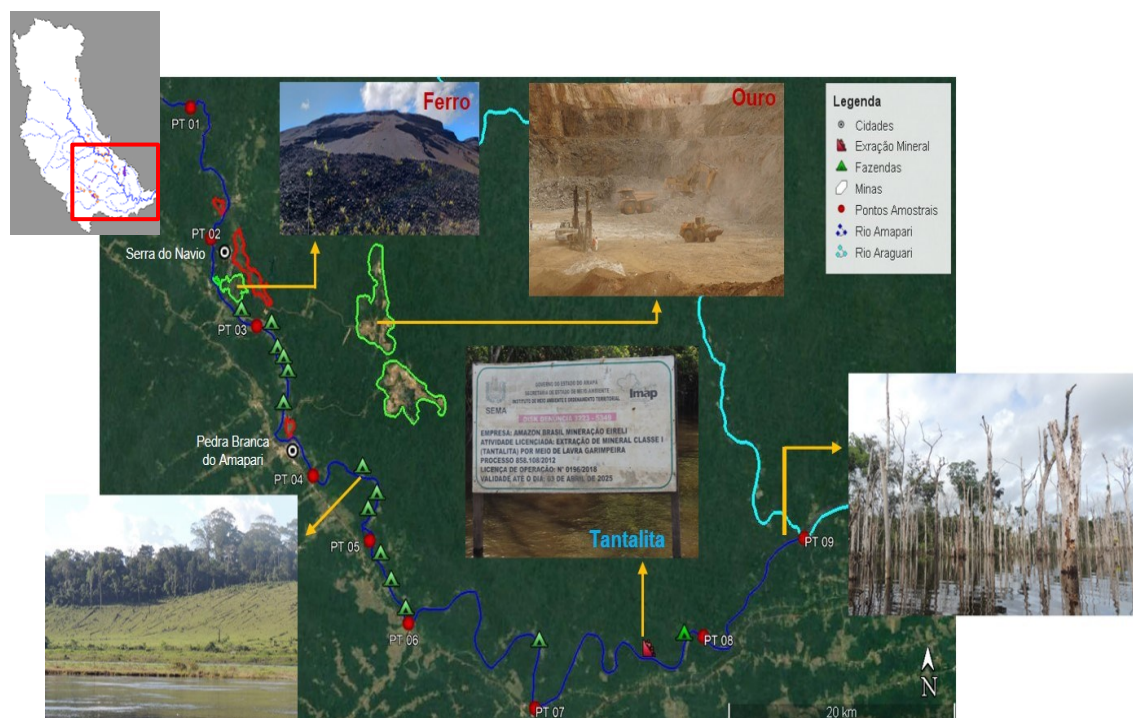
Figura 3. Localização da área de estudo dos pontos amostrais ao longo do rio Amapari, Estado do Amapá, Brasil.



Fonte: LIMA (2021)

As ações antrópicas são frequentes sobre o rio Amapari ao longo de seu curso. A montante, as atividades mineradoras exercidas por empresas do setor garimpos é o principal impacto, causando a retirada e modificação da cobertura vegetal, exposição do solo e subsequente lixiviação, liberação de líquidos e assoreamento do rio. No trecho médio tem-se a presença de fazendas exercendo a pecuária e agricultura. Esta última, praticada mais intensidade no rio pelos moradores locais, pelo sistema de roças. Nessa atividade uma parte da margem é desmatada e queimada, ficando o solo totalmente exposto a erosão para dentro do rio (Figura 4).

Figura 4. Múltiplos usos na bacia ao longo do rio Amapari, Estado do Amapá, Brasil.



Fonte: LIMA (2021)

5.2. COLETA E DIGESTÃO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA

Ocorrem duas coletas em campo, amostras de água foram coletadas em cada ponto amostral em frascos de polietileno com capacidade de 1000ml em duplicata (Figura 5), adicionando-se 1 mL de ácido nítrico (HNO_3) nas amostras para conservação de suas propriedades. Em seguida, foram conservadas em caixas térmicas com gelo e transportadas até o laboratório. No laboratório, as amostras foram homogêneas e retirados 100 mL de cada em frasco de polietileno de mesma capacidade e encaminhadas para Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) para processamento e leituras das concentrações.

Figura 5. Coleta das amostras de água (A) e amostras armazenadas em recipientes estéreis (B).



Para digestão das amostras de água, adicionou-se 1,5 ml de solução de ácido nítrico a 30% (v/v), 2,0 ml de solução de ácido sulfúrico a 30% (v/v) e 0,5 ml de solução aquosa de permanganato de potássio a 5%(m/v). As amostras foram agitadas vigorosamente e deixadas em repouso por 3 min e então adicionou-se solução de cloreto de estanho a 10% (m/v) em solução de ácido sulfúrico a 10% (v/v) (VIEIRA; PASSARELLI, 1996).

5.3. COLETA E DIGESTÃO DAS AMOSTRAS DE PEIXES

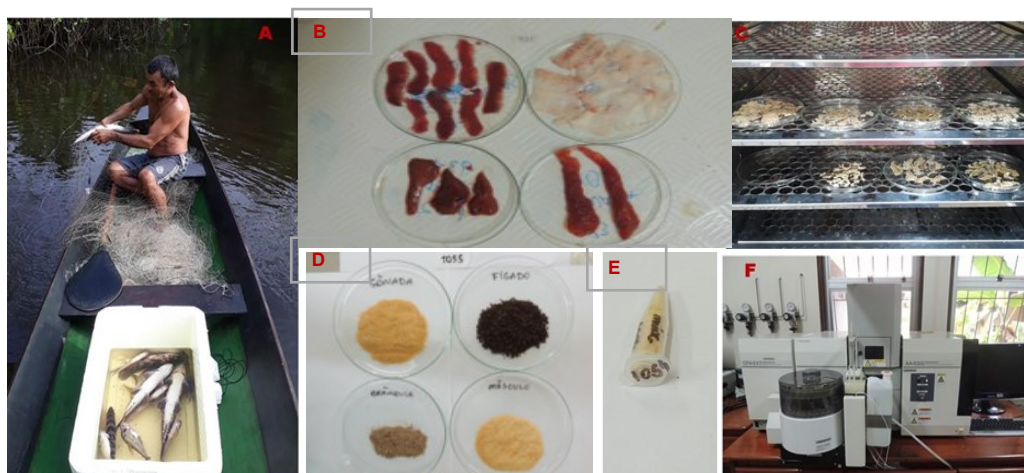
As duas coletas de água e de peixes ocorreram no mês Setembro de 2021, em consonância com projeto “Efeitos da alteração na paisagem e dos contaminantes ambientais sobre a qualidade da água e em algumas espécies de peixes de importância comercial na bacia hidrográfica do rio Araguari, Estado do Amapá, Brasil” e foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da UNIFAP (017/2019) e SISBIO/ICMBIO (65643-ANEXO A)

Os peixes foram coletados usando malhadeiras de 50m, com malhas de 25 a 50 e 70 cm, cada bateria possuía 3 redes, totalizando 150 m. Após a captura, os peixes foram imersos em água gelada, para reduzir a atividade metabólica e sacrificados para coleta de amostras.

Após a coleta dos espécimes *Boulengerella cuvieri* e o *Hoplias aimara* no laboratório, foram separadas 74 amostras para análises dos metais, foram retirados os músculos, fígados, brânquias e gônadas dos peixes e foram filetados, colocados em placas de petri com as suas identificações, em seguida foram colocadas na estufa a 80 °C por 3h para a desidratação do tecido, posteriormente, foram macerados, com a ajuda de dois utensílios (almofariz e pistilo) (Figura 6).

Posteriormente foram pesados 0,5g de todas as amostras e estas passaram pelo tubo de digestão, adicionou-se 10 ml de mistura sulfonítrica ($\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ 1:1 v/v) com 0,1% (p / v) que ficou em repouso por 2 h.

Figura 6. Coleta e tratamento das amostras de peixes: A) captura dos exemplares, B) separação tecido muscular, branquial, fígado e gônada, C) Desidratação em estufa, D) tecidos após processos de desidratação, maceração e peneiração, E) amostra pesada e acondicionada para análise e F) Equipamento de leitura das concentrações dos metais nas amostras.



Fonte: LIMA (2021)

Após esse tempo, a mistura foi aquecida em banho-maria a 90°C por 3 h. Em seguida, 5 mL 7% (w / v) de permanganato de sódio (KMnO_4) foi adicionado, e aqueceu-se a mistura em banho-maria a 90°C por 3 h. O excesso de oxidante foi reduzido em 900 μL 20% (p / v) solução de cloridrato de hidroxilamina. Após isso, transferiu-se o conteúdo do tubo de digestão para um balão volumétrico de 50 mL, completando o volume com água bidestilada.

5.4. ANÁLISE QUÍMICA

Para a análise das amostras dos tecidos e da água, as etapas de preparação das amostras em branco seguiram o protocolo descrito por Vieira e Passarelli (1996) e Morgano et al. (2005). As amostras foram analisadas utilizando um espectrofotômetro de absorção atômica (Shimadzu, modelo AA7000) com atomização de chama para estimar as concentrações de Cd, Pb, Cr total, Ni, Fe, Mn, e Zn nas amostras. Para determinar o Hg total presente nas mostras estudadas, foi utilizado um gerador de hidreto acoplado com espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS) (Varian Model AA 240FS).

5.5. QUOCIENTE DE RISCO PARA BIOTA AQUÁTICA

O quociente de risco (RQ) foi calculado a partir do valor das concentrações do contaminante inorgânico quantificadas na água dos locais analisados no rio Araguari, dividido pelo valor estipulado na legislação brasileira para água doce Classe II, CONAMA 357/2005 (Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conselho Nacional do Meio Ambiente). Um $RQ \geq 1$ indica possíveis riscos à preservação da biota aquática (GODOY et al., 2015). O índice de risco (RI) para a preservação da biota aquática também será calculado, usando a soma dos valores RQ obtidos para cada contaminante inorgânico individual onde altos valores de $RI > 1$ aumentam o nível de preocupação para riscos à vida aquática (RM EVANS; SCHOLZE, 2015; GUSTAVSSON et al., 2017; VIANA et al., 2021). RQ será calculado de acordo com a equação abaixo:

$$RQ = \text{Água} / RfD$$

onde RQ = quociente de risco, água = as concentrações dos metais nas amostras de água e RfD = Limite máximo (ML) estabelecido pelo CONAMA 357/2005 (mg. L-1).

5.6. AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE RISCO PARA A SAÚDE HUMANA DECORRENTE DO CONSUMO DE PEIXE.

Será realizado uma avaliação preliminar do risco à saúde humana decorrente da concentração do contaminante inorgânico quantificado no tecido muscular das espécies de peixes. Para isso, usaremos a abordagem do quociente de risco (RQ). Os RQs representam a razão entre a concentração do contaminante inorgânico presente nas amostras de tecido muscular dos peixes e os limites máximos (ML) estabelecidos pela legislação da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2021). Esses MLs serão estabelecidos como uma estimativa de linha de base do consumo diário, apresentando o menor risco para a saúde humana pela menor concentração do contaminante inorgânico nos alimentos. Se o valor RQ calculado for <1 , é improvável que ocorram efeitos adversos à saúde. No entanto, se o valor de RQ for > 1 , possíveis efeitos adversos são possíveis e o risco aumenta com cada incremento de RQ (ULLAH et al., 2017; VAROL et al., 2017). RQs serão calculados de acordo com a equação abaixo:

$RQ = \text{Músculo} / RfD$, onde RQ = quociente de risco, Músculo = concentração de cada contaminante inorgânico detectado nas amostras de água e RfD = limites máximos (MLs) estabelecidos pela ANVISA (2021).

5.7. LEGISLAÇÕES UTILIZADAS PARA COMPARAR AS CONCENTRAÇÕES ENCONTRADAS NA ÁGUA E NOS PEIXES.

Para a comparação de concentrações dos limites máximos na água será utilizada a RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

E para a comparação de concentrações dos limites máximos nos tecidos será utilizada a RESOLUÇÃO - RDC Nº 42, DE 29 DE AGOSTO DE 2013 que dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos e a INSTRUÇÃO NORMATIVA - IN Nº 88, DE 26 DE MARÇO DE 2021 que estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos.

6. RESULTADOS

6.1. ANÁLISES DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS NA ÁGUA

As análises de contaminantes na água dos 10 pontos amostrais no rio Amapari, evidenciou que os metais Cd, Cu, Hg, Mn, Pb e Zn apresentaram altos níveis de concentrações (Tabela 1).

A concentração de Cd não variou entre os pontos, mantendo índices de $0,005 \pm 0,000$. Diferentemente, o Cu variou de $0,060 \pm 0,000$ a $0,075 \pm 0,007$ entre os pontos, o Hg variou de $0,0005 \pm 0,000$ a $0,0006 \pm 0,000$, o Mn variou de $0,080 \pm 0,000$ a $0,100 \pm 0,000$, o Pb variou de $0,080 \pm 0,000$ a $0,090 \pm 0,000$ e o Zn teve variação de $0,180 \pm 0,000$ a $0,190 \pm 0,014$ entre os locais. Estes valores apresentados, estão acima dos limites máximos recomendados pela Legislação CONAMA (357/2005) que são (Cd 0,001), (Cu 0,009), (Hg 0,0002), (Mn 0,025), (Pb 0,010) e (Zn 0,180). Os demais metais como o Cr, Fe e Ni estão dentro dos limites recomendados pelas legislações.

Para Cr as concentrações foram de $0,041 \pm 0,000$ a $0,044 \pm 0,000$, para Fe foram de $0,220 \pm 0,056$ a $0,255 \pm 0,091$ e para Ni foram de $0,021 \pm 0,002$ a $0,022 \pm 0,000$ entre os pontos.

O agrupamento hierárquico demonstrou que Zn e Fe foram muito mais similares em concentrações que Hg, Pb, Mn, Ni, Cu e Cr. Estes últimos citados formaram um agrupamento separado dos dois primeiros. No entanto, Hg e Pb estão altamente correlacionados nos pontos três e seis, enquanto, Mn e Ni nos pontos três, dez e cinco. Por sua vez, o Cu apresentou picos de concentração nos pontos sete e dez, enquanto o Cr, nos pontos dois e nove (Figura 7).

Figura 7: Agrupamento hierárquico de metais nas águas do Rio Amapari. Na escala de cores: bege = média; vinho = desvio padrão acima da média e vermelho= desvio padrão abaixo da média

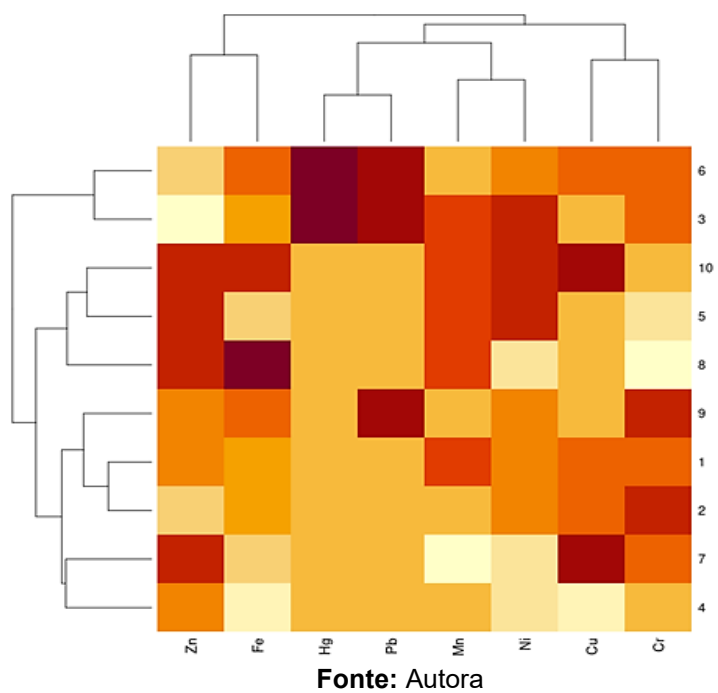


Tabela 1. Valores das concentrações de metais pesados (ml. L⁻¹; média ± desvio padrão) na água do rio Amapari, Estado do Amapá, Brasil.

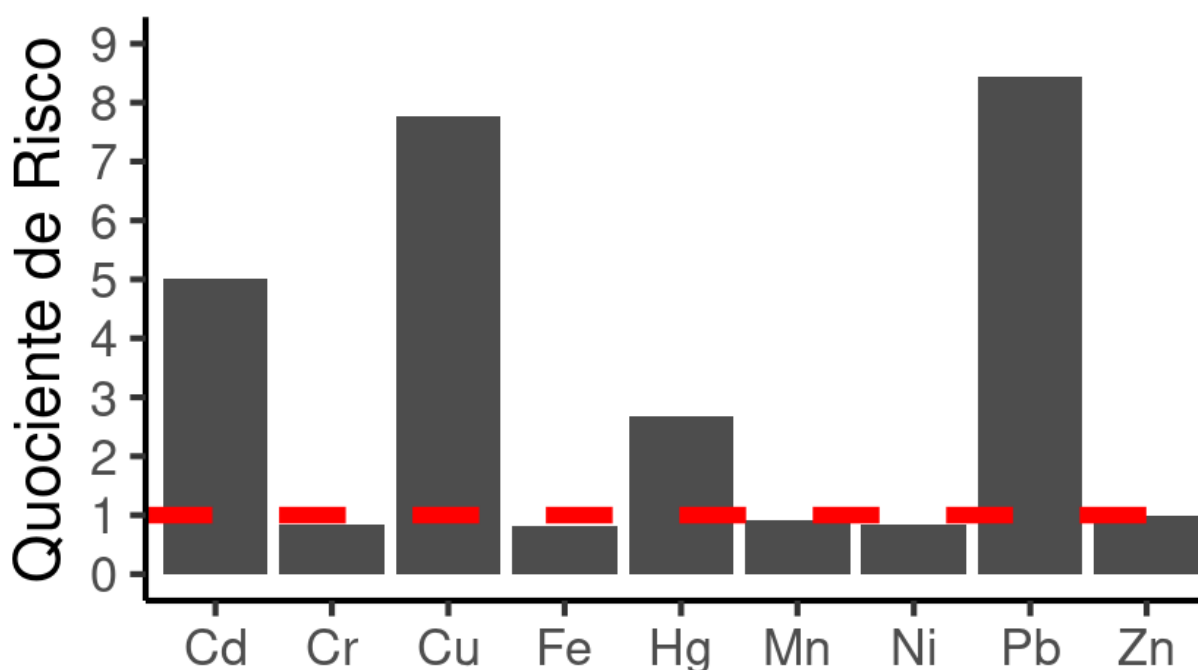
Metais	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10	CONAMA 357/2005
Cd	0,005±0,000	0,005±0,000	0,005±0,000	0,005±0,000	0,005±0,000	0,005±0,000	0,005±0,000	0,005±0,000	0,005±0,000	0,005±0,000	0,001
Cr	0,043±0,001	0,043±0,003	0,044±0,000	0,043±0,000	0,041±0,000	0,042±0,003	0,042±0,003	0,041±0,000	0,042±0,004	0,041±0,002	0,050
Cu	0,075±0,007	0,070±0,014	0,070±0,000	0,060±0,000	0,065±0,007	0,070±0,014	0,075±0,021	0,065±0,000	0,070±0,000	0,075±0,021	0,009
Fe	0,245±0,063	0,240±0,070	0,245±0,063	0,220±0,056	0,235±0,063	0,250±0,084	0,240±0,056	0,275±0,091	0,250±0,084	0,255±0,091	0,300
Hg	0,00055±0,000	0,0005±0,000	0,0006±0,000	0,0005±0,000	0,0005±0,000	0,0006±0,000	0,0005±0,000	0,0005±0,000	0,00055±0,000	0,00055±0,000	0,0002
Ni	0,021±0,001	0,022±0,000	0,021±0,002	0,021±0,000	0,021±0,002	0,021±0,001	0,021±0,000	0,021±0,000	0,022±0,000	0,021±0,002	0,100
Mn	0,090±0,014	0,090±0,000	0,100±0,000	0,085±0,007	0,100±0,000	0,090±0,000	0,080±0,000	0,095±0,007	0,090±0,000	0,100±0,000	0,025
Pb	0,085±0,007	0,080±0,000	0,090±0,000	0,085±0,007	0,080±0,000	0,090±0,000	0,085±0,007	0,080±0,000	0,090±0,000	0,080±0,000	0,010
Zn	0,185±0,007	0,170±0,014	0,170±0,000	0,175±0,021	0,190±0,014	0,180±0,000	0,180±0,028	0,180±0,028	0,180±0,014	0,190±0,014	0,180

*Valores em negrito estão acima dos limites estabelecidos pela legislação

6.2. QUOCIENTE DE RISCO PARA PRESERVAÇÃO DA BIOTA AQUÁTICA

Na avaliação de risco para preservação da biota aquática nos diferentes ambientes aquáticos, alguns metais apresentaram valores >1 . Foi possível verificar risco para preservação da biota aquática em relação às concentrações, no qual o Cd apresentou quociente de risco igual a 5 em todos os pontos, para Cu o valor oscilou entre 6,66 e 8,33, para o Hg houve oscilação de 2,5 a 3 entre pontos, para Mn o valor foi igual a 1 nos pontos três, cinco e dez, para Pb o valor do quociente oscilou entre 8 e 9 e o Zn apresentou valores >1 nos pontos um, cinco, seis, sete, oito, nove e dez (Figura 8).

Figura 8. Quociente de risco (QR) das concentrações médias de contaminantes inorgânicos presentes nas águas do rio Amapari, no Estado do Amapá, Brasil. RQ/RI acima da linha pontilhada vermelha representa valores > 1 e, consequentemente, riscos à biota aquática.



Fonte: Autora

6.3. ANÁLISES DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS NOS DIFERENTES ÓRGÃOS

Analisou-se um total de 74 amostras de duas espécies de peixes, *B. cuvieri* e *H. aimara*, sendo 37 exemplares de cada espécie. Para a espécie *H. aimara*, as concentrações encontradas para o Cd foram de $0,051 \pm 0,003$ para brânquias, $0,081 \pm 0,007$ para fígados e $0,056 \pm 0,005$ para gônadas. Para a espécie de *B. cuvieri*, as concentrações

encontradas foram de $0,052 \pm 0,004$ para músculos e $0,082 \pm 0,010$ para fígados. Estes valores obtidos ultrapassaram os limites de $0,05 \text{ mg.kg}^{-1}$ estabelecidos pela ANVISA (2021).

O Chumbo (Pb) apresentou concentrações acima do permitido no fígado e gônadas de *B. cuvieri* e apenas no fígado de *H. aimara*, com média superior a $0,30 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Tabela 2). Para o Cromo (Cr), nenhum dos tecidos analisados de ambas as espécies excederam os limites estabelecidos por lei de $0,10 \text{ mg.kg}^{-1}$. Dentre os tecidos, as maiores concentrações de Cr foram de $0,077 \pm 0,011$ e $0,078 \pm 0,010$ no fígado de ambas as espécies (Tabela 2).

Para o Cobre (Cu) nenhum dos órgãos das espécies analisadas excederam os limites estabelecidos de $0,30 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Tabela 2). Dentre eles, os valores mais altos foram encontrados as concentrações de $14,207 \pm 0,330$ nos músculos e $25,401 \pm 0,376$ nos fígados de *B. cuvieri*. Já as concentrações em *H. aimara* foram de $14,285 \pm 0,221$ para músculos e $25,418 \pm 0,298$ para fígados.

Para os elementos Ferro (Fe) e Manganês (Mn) não há uma legislação que estabeleça um limite máximo para comparação das concentrações de metais. Em relação ao Mercúrio (Hg), sua concentração nos tecidos de *B. cuvieri* e *H. aimara* não excederam os limites estabelecidos pela legislação, sendo limitada para peixes não predadores a concentração de $0,50 \text{ mg.kg}^{-1}$ e para peixes predadores $1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$.

A concentração de Níquel (Ni) nos tecidos analisados de ambas as espécies, não ultrapassou os limites estabelecidos de $5,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Tabela 2). E para o Zinco (Zn), a concentração também não excedeu o seu limite tolerável de $50,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ para ambas as espécies. Mas os níveis no fígado de *B. cuvieri* ($44,265 \pm 0,188$) e *H. aimara* ($44,396 \pm 0,241$) se aproximando assim, do valor máximo permitido (Tabela 2).

Tabela 2: Valores (médio±desvio padrão) das concentrações de metais (ug.kg⁻¹) em tecidos e órgãos de *Boulengerella cuvieri* e *Hoplias aimara* do rio Amapari-AP.

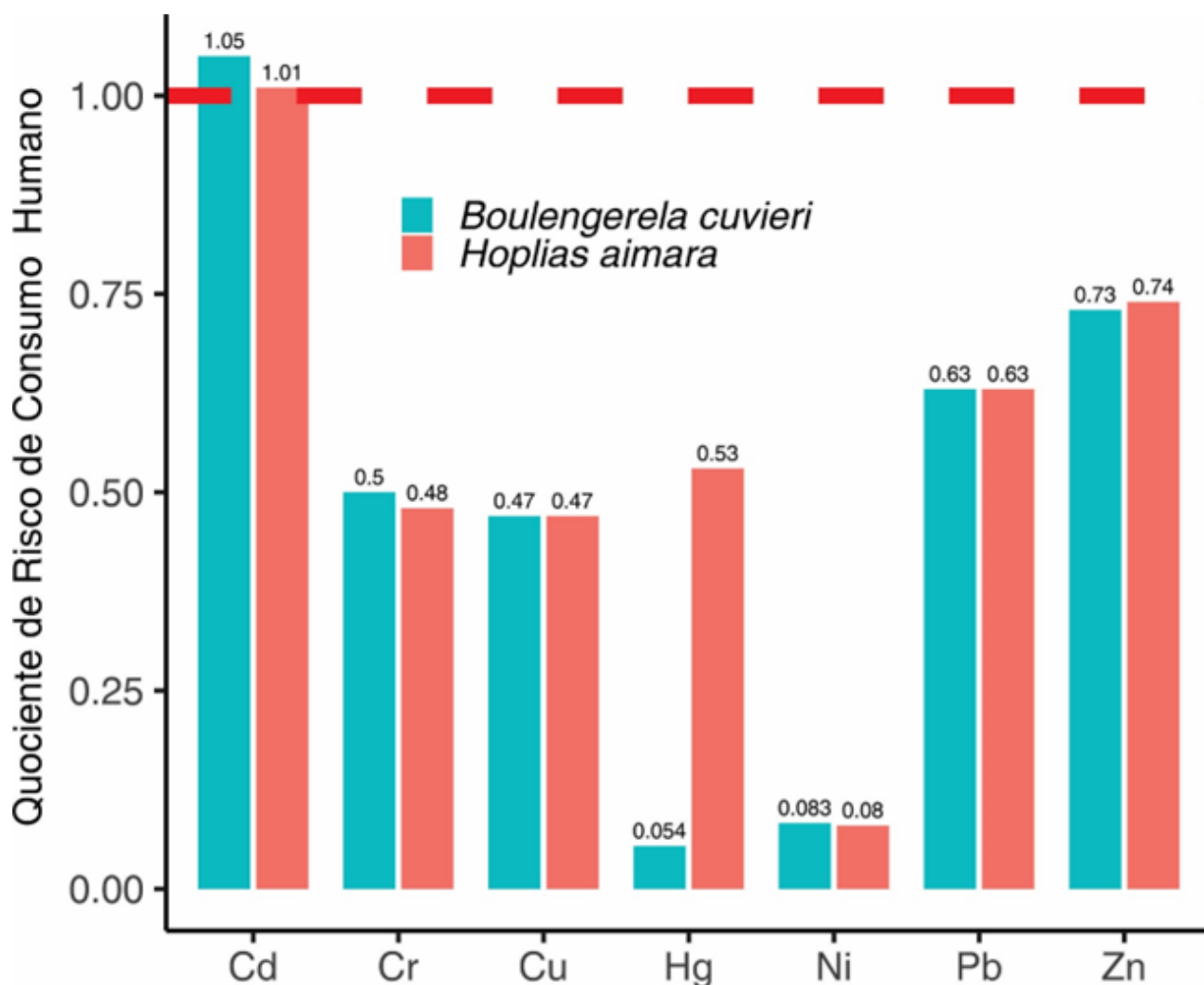
Metais	<i>Boulengerella cuvieri</i>				<i>Hoplias aimara</i>				ANVISA (2013)
	Músculos	Brânquias	Fígados	Gônadas	Músculos	Brânquias	Fígados	Gônadas	
Cd	0,052±0,004	0,050±0,003	0,082±0,010	0,050±0,002	0,050±0,004	0,051±0,003	0,081±0,007	0,056±0,005	0,050
Cr	0,050±0,003	0,050±0,002	0,077±0,011	0,049±0,002	0,049±0,002	0,052±0,005	0,078±0,010	0,053±0,005	0,10
Cu	14,207±0,330	7,183±0,166	25,401±0,376	7,150±0,162	14,285±0,221	7,202±0,154	25,418±0,298	7,123±0,195	30,0
Fe	25,466±0,329	13,305±1,008	27,570±0,607	13,054±1,295	25,395±0,405	12,889±1,191	27,709±0,400	11,536±1,661	-
Hg	0,053 ± 0,004	0,050 ± 0,002	0,078±0,010	0,050±0,000	0,053±0,006	0,052±0,004	0,079±0,008	0,053±0,005	1,0 (espécies predadoras)
Mn	0,053±0,004	0,052±0,005	0,051±0,005	0,050±0,000	0,051±0,003	0,052±0,005	0,051±0,004	0,053±0,005	--
Ni	0,414±0,015	0,203±0,027	0,435±0,053	0,294±0,023	0,410±0,013	0,207±0,048	0,450±0,058	0,306±0,030	5,0
Pb	0,013±0,019	0,181 ±0,016	0,314±0,024	0,315±0,025	0,191±0,024	0,187 ±0,014	0,312±0,026	0,296±0,015	0,30
Zn	36,714±0,307	27,445±0,533	44,265±0,188	27,292±0,200	36,802±0,248	27,534±0,347	44,396±0,241	27,326±0,120	50,0

*Negrito evidencia que excedeu o limite estabelecido pela legislação.

6.4. QUOCIENTE DE RISCO DE CONSUMO HUMANO

Os resultados demonstram um alto risco de consumo para as espécies *B. cuvieri* e *H. aimara*, principalmente quanto a ingestão do Cd, que apresentou Quociente de Risco Consumo Humano maior que 1. Os demais metais, Cr, Cu, Hg, Ni, Zb e Pb apresentam teores de concentração menor que 1, indicando que há pouco ou nenhum risco (Figura 9).

Figura 9. Avaliação de risco para a saúde humana relacionado ao consumo de pescado das duas espécies coletadas no rio Amapari, Estado do Amapá, Brasil. Linha pontilhada vermelha representam risco para a saúde humana (RQs/RI>1).



Fonte: Autora

7. DISCUSSÃO

7.1. CONCENTRAÇÕES DE METAIS NA ÁGUA

Os resultados demonstram que Cd, Cu, Hg, Mn, Pb e Zn apresentam teores de concentração acima do que preconiza as Legislações CONAMA (357/2005) e WHO (2017) para água doce, apresentando possível risco a saúde dos peixes e para pessoas que as utilizam.

Esses metais também foram encontrados em concentrações elevadas no rio Cassiporé no norte do Estado, que destacam a exploração de minério como uma das atividades antrópicas que mais prejudica o ambiente aquático, perante a atuação de diversas mineradoras e garimpos na região (LIMA et al., 2015), semelhante aos resultados encontrados neste estudo. Essas atividades são realizadas desde os anos de 1935 no rio Amapari e seus afluentes (MORAIS.; MORAIS, 2005), sendo uma possível fonte desses metais para água no rio avaliado, devido degradação do solo e uso de elementos contaminantes na extração mineral.

Outro estudo que também detectou a presença Cd, Pb, Fe, Hg, Cu e Zn na água do rio Araguari, foi Viana et al., (2021) correlacionando a diversas fontes de contaminação, como o desmatamento, a disposição de resíduos tóxicos e evidenciou também a forte influência das mineradoras nos resultados obtidos, conforme os resultados obtidos no trabalho.

Além disso, outras possíveis fontes de entrada de Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Hg e Cr na água do rio Amapari, podem ser oriundos da deposição de resíduos sólidos dispostos em aterros e lixões de cidades a margem do rio, assim como lixeiras residenciais das comunidades locais e moradores ribeirinhos. Isso porque, os resíduos como lâmpadas, pilhas, baterias, restos de tintas, latas, dentre muitos outros produtos possuem substâncias tóxicas presentes na sua composição no qual os metais anteriormente citados fazem parte (CAVALLET; DE CARVALHO; FORTES NETO, 2013).

Diante disso, pode haver a migração dessas substâncias através do processo de lixiviação, que consiste na liberação de líquidos dos resíduos sólidos no decorrer do processo de deterioração e em seguida migram para o solo, e com absorção de águas das chuvas podendo permear as camadas nos lençóis freáticos e contaminar águas subterrâneas, prejudicando a qualidade da água (CAMPOS, 2010).

O mercúrio, chumbo e cádmio são metais pesados que não contribuem para os organismos vivos, são metais que não ocorrem naturalmente em nenhum organismo (MARQUES E AMÉRICO-PINHEIRO, 2018). Eles não desempenham funções

nutricionais ou bioquímicas em microrganismos, plantas ou animais, ou seja, a presença desses metais em organismos vivos é nociva em qualquer concentração, especialmente o Hg que apresenta potencial acumulativo nos tecidos/órgão biológicos (SOUZA; MORASSUTI; DEUS, 2018).

O acúmulo excessivo de metais na água, até mesmo os essenciais para o organismo vivo, são considerados prejudiciais para a saúde dos peixes, apresentados efeitos carcinogênicos e genotóxicos, podendo levar a morte celular (HUSSAIN et al., 2019; MAURYA et al. 2019).

O quociente de risco para a biota aquática apresentou índices elevados (>1) para metais não essenciais (Cu, Hg e Pb) e essenciais (Cd, Mn e Zn), mas, até os essenciais em altas concentrações se tornam genotóxicos e prejudiciais a biota aquática, comprometendo a saúde dos peixes (COSTA et al., 2022)

7.2. CONCENTRAÇÃO DE METAIS NOS PEIXES

Diversos estudos já foram realizados para analisar as concentrações de contaminantes inorgânicos presentes em espécies de peixes, principalmente em rios onde predominam as atividades pesqueiras (LIMA et al., 2015; ARAÚJO et al., 2019; HACON et al. 2020; COSTA et al., 2022). Dentre as partes do peixe, o músculo é a principal porção explorada, pôr ser a mais consumida e fácil de remover, sendo assim o mais utilizado na avaliação de riscos à saúde humana, os efeitos bioacumulativos de metais tóxicos em peixes afeta inúmeros órgãos desde o músculo, brânquias, fígado e outros tecidos, dificultando o metabolismo e afetando o crescimento, tornando esse órgão alvo de estudos (LUZ et al., 2019)

Estudos relataram que tecidos metabolicamente ativos, como o fígado, mostraram concentrações mais elevadas de metais, em comparação com outros tecidos em peixes. No entanto, o fígado não é o órgão primeiramente exposto a contaminantes, e sim o oposto, o fígado exerce uma função de acumulador e biotransformador de agentes tóxicos, seguido de transferências para outros órgãos (VIANA et al., 2017; MAURYA et al., 2019).

Nos músculos, brânquias, fígados e gônadas dos peixes *B. cuvieri* e *H. aimara*, o Cd apresentou acumulação elevada em comparação a outros metais analisados nesse trabalho (Tabela 2). O acúmulo de Cd além do tolerável no organismo, torna-o nocivo ao desenvolvimento dos peixes, comprometendo o crescimento, fertilidade e até a reprodução, causando também, danos a fisiologia geral, interferindo na divisão celular e

na mitose – resultando em anomalias genéticas irreversíveis, podendo causar a extinção das espécies locais (WANG et al., 2018; ARAÚJO et al., 2019; HUSSAIN et al., 2019).

Nos humanos, o cádmio pode ocasionar disfunções renais, enfisema pulmonar, distúrbios imunológicos e osteoporose (BEHBAHANI et al., 2013). Esses sintomas também podem ser afetados nos peixes, através da exposição a elementos potencialmente tóxicos no ambiente aquático amazônico (DA SILVA MONTES et al., 2020; ALBUQUERQUE et al., 2020).

O cádmio é um metal não essencial que é altamente tóxico e difícil excreção. (ALBUQUERQUE et al. 2020). Mesmo em níveis baixos, o que não foi no caso deste estudo (Tabela 2), pode causar disfunção fisiológica em peixes impossibilitando sua sobrevivência no ambiente (PETERSON, 2016). O fato de o Cd ser encontrado acima da concentração máxima permitida em indivíduos de *B. cuvieri* e *H. aimara* (Tabela 2) é um reflexo de seu incremento no ambiente aquático da região pelas ações das mineradoras, exploração irregulares de minério e outras atividades antrópicas, podendo estar relacionada com a biodisponibilidade deste metal no curso d'água.

Foi detectado a presença do mercúrio em diversos estudos, como Hacon et al. (2020) no rio Araguari e Lima et al. (2015) no rio Cassiporé, em espécies de peixes carnívoras no Amapá, sendo elas, *B. cuvieri* seguido por *Cichla monoculus* e *H. aimara*.

Este estudo também constatou a existência de elementos tóxicos nessas duas espécies de peixes nativas, porém, o valor do Hg está dentro do permitido pelas legislações (Tabela 2), mas este metal mesmo em concentrações baixas acarreta danos a biota aquática, devido seu nível alto de toxicidade.

O autor Hacon et al. (2020), também alerta a população para reduzir o consumo de tais espécies, pois os efeitos do mercúrio no organismo humano são adversos e prejudiciais, e que segundo Guedes (2009), estão ligadas ao retardo mental, paralisia cerebral e outros efeitos genotóxicos.

De acordo com Malik et al. (2010) a concentração de metais se distingue entre os tecidos dos peixes, especialmente, conforme as necessidades ecológicas e atividades metabólicas. O fato de o fígado ter apresentado maior concentração de metais neste estudo, possivelmente é determinado por esse órgão ser metabolicamente ativo, possuindo facilidade em acumular (VIANA et al., 2017; MAURYA et al., 2019; ANANDKUMAR et al. 2019) se tornando um fator preocupante, pois o acúmulo desses metais nos peixes, podem ocasionar alterações nas suas estruturas devido a toxicidade do metal e pode ser transportado para cadeia alimentar (CHEHADE et al., 2014). Essas

anomalias podem depender do tempo de exposição (aguda ou crônica) aos metais e do nível de concentração específica de cada metal.

Ambas as espécies apresentaram o índice de risco humano acima do aceitável (<1) para Cd (Fig. 9). Portanto, essas duas espécies de peixes não são recomendadas para consumo frequente, principalmente para populações vulneráveis que necessitam dos peixes para sua alimentação, abrangendo as comunidades ribeirinhas e indígenas às margens do rio Amapari (ALI: KHAN, 2018; VIANA et al., 2022).

8. CONCLUSÃO

Diante do exposto, foi possível quantificar a presença dos nove metais (Zinco, Cobre, Ferro, Mercúrio, Cromo, Níquel, Cádmio, Chumbo e Manganês) na água do rio Amapari e nas espécies estudadas (*B. cuvieri* e *H. aimara*). Nas amostras de água, os metais Cd, Cu, Hg, Mn, Pb e Zn ultrapassaram os limites estabelecidos pela legislação brasileira CONAMA (2005), tornando assim, a essa água inapropriada para utilização e consumo da população local, a água do rio Amapari está comprometida negativamente, de acordo com índice de risco para a biota aquática.

O cádmio foi o único elemento que esteve presente em excesso nas duas espécies de peixes estudadas, o único elemento que excedeu os limites nos órgãos dos peixes, a presença desse metal se situou nos fígados e gônadas de *Boulengerella cuvieri* e brânquias, fígados e gônadas de *Hoplias aimara*, lembrando que essas são duas espécies carnívoras, tendo facilidade em bioacumulação, logo, este estudo mostra que essas duas espécies devem ser consumidas com certa moderação, visto a constatação de metais em seu organismo.

REFERÊNCIAS

ABREU, C. H. M.; CUNHA, A. C. Qualidade da Água em Ecossistemas Aquáticos Tropicais Sob Impactos Ambientais no Baixo Rio Jari-AP: Revisão Descritiva. **Biota Amazônia**, v. 5, n. 2, p. 119–131, 2015.

AFONSO, J. C. **Manganês no Brasil: Descoberta, extração, consumo e comercialização numa perspectiva histórica**. Química nova, v. 42, n. 10, p. 1172–1183, 2019.

AFONSO, J. **Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos: O Antropoceno Bate à Nossa Porta**. Rev. Virtual Quim, p. 1849–1897, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Região Hidrográfica Amazônica**, 2017. Disponível em <https://www.ana.gov.br/as-12-regioes-hidrograficas-brasileiras/amazonica>, acessado em 20/08/2021.

ALBUQUERQUE, F. E. A. et al. **Toxic and essential trace element concentrations in fish species in the Lower Amazon, Brazil**. The Science of the total environment, v. 732, n. 138983, p. 138983, 2020.

ALI H, KHAN E. **Bioaccumulation of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in freshwater fish. Risk to human health**. Environ Chem Lett 16:903–917, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0734-7>

ALMEIDA, G.A. **Utilização da fibra de poliéster para determinação de Cádmio em amostras de águas**. 2022. 58 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2022.

ANANDKUMAR, A. et al. **Bioaccumulation of trace metals in the coastal Borneo (Malaysia) and health risk assessment**. Marine Pollution Bulletin, v. 145, p. 56–66, 2019.

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Brasil. **Portaria no 685 de 27 de agosto de 2013**. http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2013/rdc0042_29_08_2013.html. Acessado em 15/04/2021

ARAÚJO, A. P. DA C. et al. **Anti-cancer drugs in aquatic environment can cause cancer: Insight about mutagenicity in tadpoles**. The Science of the total environment, v. 650, n. Pt 2, p. 2284–2293, 2019.

Atlas das Unidades de Conservação do Estado do Amapá / Texto de José Augusto Drummond; Teresa Cristina Albuquerque de Castro Dias e Daguinete Maria Chaves Brito - Macapá: MMA/IBAMA-AP; GEA/SEMA, 2008.

ATSDR. AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCE AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological profile for nickel**. Atlanta, 2005.

BARTHEM, R. B.; GOULDING, M. **The catfish connection: ecology, migration, and conservation of Amazon predators. Biology and Resource Management in the Tropics Series.** 184 p: Columbia University Press, 1997.

BEHBAHANI, M. et al. **Application of multiwalled carbon nanotubes modified by diphenylcarbazide for selective solid phase extraction of ultra traces Cd (II) in water samples and food products.** Food chemistry, v. 141, n. 1, p. 48–53, 2013.

BHOWMIK, A. K. et al. **Mapping human health risks from exposure to trace metal contamination of drinking water sources in Pakistan.** Sci Total Environ, v. 538, p. 306–316, 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Área técnica de alimentação e nutrição.** 03 fev. 2002

BRASIL. Ministério da Saúde. **Secretaria de Vigilância em Saúde.** Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília: Ministério da Saúde. 2006. 212 p. – (Série B. Textos Básicos de Saúde)

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde.** Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília: Ministério da Saúde. 2006. 212 p. – (Série B. Textos Básicos de Saúde)

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357.** de 15 de junho de 2005.

BRASIL. Ministério Público Federal. Câmara de Coordenação e Revisão, 4. **“Mineração ilegal de ouro na Amazônia: marcos jurídicos e questões controversas – Brasília: MPF, 2020.”** (“4ª Câmara de Coordenação e Revisão Série Manuais de Atuação”) 259 p. – (Série manuais de atuação; v. 7)

BRITO, D. et al. Conflitos por território e as comunidades em áreas de influência de usinas hidrelétricas na bacia do rio Araguari/AP. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, p. 599–615, 2020.

BUCKUP, P. A.; MENEZES, N. A.; GHAZZI, M. S. **Catálogo das espécies de peixes de água doce do Brasil.** Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2007. v. 1

BUNJAKU, A.; KEKKONEN, M.; TASKINEN, P. **Effect of mineralogy on reducibility of calcined nickel saprolite ore by hydrogen.** Mineral processing and extractive metallurgy, v. 121, n. 1, p. 16–22, 2012.

CAMERON, K. S.; BUCHNER, V.; TCHOUNWOU, P. B. **Exploring the Molecular Mechanisms of Nickel-Induced Genotoxicity and Carcinogenicity: A Literature Review.** Reviews on Environmental Health, 26(2):81–92, 2011

CAMPOS, M. C. C. Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais. **Ambiência Guarapuava**, p. 547–565, 2010.

CARDOSO, L. M. N.; CHASIN, A. A. M. **Ecotoxicologia do cádmio e seus compostos**. Salvador: Centro de Recursos Ambientais, 2001. 121p. v. 6. (Série Cadernos de Referência Ambiental).

CARPENTER, C. E.; MAHONEY, A. W. Contributions of heme and nonheme iron to human nutrition. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.** v. 31, p. 333–367, 1992.

CASTRO, D. M. **Los principales peces ornamentales de Puerto Inirida**. v. 8, p. 7–14, 1986.

CAVALLET, L. E.; DE CARVALHO, S. G.; FORTES NETO, P. Heavy metals in the waste and in the water discharge area of municipal solid waste. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 8, n. 3, 2013.

CHAVENT, M. C.; LACOMBLEZ, A. Par le de contaminação mercure et classification d'especes en ecotoxicologie: approche classique. approche simbólico. **La Revue Modulad**, v. 26, p. 19–32, 2000.

CHEHADE, C. et al. Morphologic study of the liver of lambari (*Astyanax altiparanae*) with emphasis on the distribution of cytokeratin. **Fish physiology and biochemistry**, v. 40, n. 2, p. 571–576, 2014.

CHENG, Y.; CHEN, H. Aberrance of zinc metalloenzymes-induced human diseases and its potential mechanisms. **Nutrients**, v. 13, n. 12, p. 4456, 2021.

COSTA, K. D. I. DA; CABRAL, E. S.; CARVALHO, B. S. O mecanismo de ação do cromo e magnésio como nutrientes fundamentais no tratamento da hiperglicemia. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e27111528256, 2022.

COSTA, L. S. DA. Bioacumulação de metais pesados em pequenos mamíferos em áreas de remanescentes de mata atlântica e monocultura de cana-de-açúcar na Paraíba, Brasil. 2020.

COSTA, M. da S., et al. **Landscape composition and inorganic contaminants in water and muscle tissue of *Plagioscion squamosissimus* in the Araguari River (Amazon, Brazil)**. Environmental Research, 208(112691), 112691, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112691>

CUNHA, A. C. DA et al. Evento extremo de chuva-vazão na bacia hidrográfica do rio Araguari, Amapá, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. spe, p. 95–110, 2014.

DA SILVA MONTES, C. et al. **Evaluation of metal contamination effects in piranhas through biomonitoring and multi biomarkers approach**. Heliyon, v. 6, n. 8, p. e04666, 2020.

DAS, K. K.; DAS, S. N.; DHUNDASI, S. A. Nickel, its adverse health effects & oxidative stress. **The Indian journal of medical research**, v. 128, n. 4, p. 412–425, 2008.

DE ARAÚJO, P. G. **Microparasitos eucariotos de *pristobrycon striolatus* (steindachner, 1908) (characiformes: serrasalmidae) e *hemiodus gracilis* (günther, 1864) (characiformes: hemiodontidae) oriundos do rio tartarugalzinho, estado do Amapá, Amazônia oriental**. Pós-Graduação em Ciências Ambientais: Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Amapá, 2021.

DE LIMA, D. P. **Avaliação na estrutura de paisagem e níveis de mercúrio na água e peixes do rio Amapari, estado do Amapá, Amazônia Oriental**. RELATÓRIO SEMESTRAL DE PESQUISA: UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ - UNIFAP, 2021.

ESPINOZA VILLAR, J. C. et al. **Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador)**. International Journal of Climatology, v. 29, p. 1574–1594, 2009.

FEARNSIDE, P. M. **Exploração mineral na Amazônia brasileira: O custo ambiental. Dossiê Desastres e Crimes da Mineração em Barcarena Mariana e Brumadinho**. Belém, Pará: Editora do Núcleo de Altos Estudos Amazônicos (NAEA), p. 256. 2019.

FEARNSIDE, P. M. **Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras / Philip M. Fearnside. (“(PDF) Hidrelétricas na Amazônia: Impactos Ambientais e**. Manaus: Editora do INPA, 2015.

FERNANDES, L.; MAINIER, F. Os Riscos da Exposição Ocupacional ao cádmio. **Sistemas & Gestão**, v. 9, n. 2, p. 194–199, 2014.

FERNANDES, M. S. **Análise proteômica e morfológica em fígado de ratos submetidos à exposição ao chumbo e suplementados com ferro / Mileni da Silva Fernandes**. -- São Carlos: UFSCar, 188 p. Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2015.

FERREIRA, M. DA S. et al. Mercúrio total em pescado marinho do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência Veterinária**, v. 19, n. 1, p. 50–58, 2012.

FILHO, E. R.; POLIDORO, G.; HARUM, T.; LISBOA, A. A.; RIBAS, A.; ZOJER, H. **Projeto Carste: relatório conclusivo final, instituto de hidrogeologia e geotermia**, 2012, disponível em http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/rel_final.pdf>, acesso em 12/01/2023

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Pesticide residues in food**: Report 2009: Joint FAO/WHO meeting

on pesticide residues. Rome, Italy: Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2009.

FURTADO, J. G. **Estudo de impactos ambientais causados por metais pesados em água do mar na baía de São Marcos: correlações e níveis Background**. João Pessoa - Paraíba: (Dissertação de mestrado), 2007.

GRAY, J. S.; **Biomagnification in marine systems: The perspective of an ecologist**. Department of Biology, University of Oslo: Marine Pollution Bulletin. 45(1-12):46-52. doi: 10.1016/s0025-326 (01) 00323-x. 2002.

GROTTO, H. Z. W. Metabolismo do ferro: uma revisão sobre os principais mecanismos envolvidos em sua homeostase. **Revista brasileira de hematologia e hemoterapia**, v. 30, n. 5, 2008.

GUO, X. et al. Effects of single and combined exposure to lead and stress during pregnancy on offspring neurodevelopment. **Developmental cognitive neuroscience**, v. 56, 2022.

GUSTAVSSON, M. et al. Misturas de pesticidas nos riachos suecos: riscos ambientais, contribuições de compostos individuais e consequências da mitigação de risco orientada a uma única substância. **Sci. Ambiente Total**, v. 598, p. 973–983, 2017.

HACON, S. DE S. et al. Mercury exposure through fish consumption in traditional communities in the Brazilian northern Amazon. **International journal of environmental research and public health**, v. 17, n. 15, p. 5269, 2020.

HAMBIDGE, M. K.; MILLER LELAND, V.; WESTCOTT, J. E. Dietary Reference Intakes for Zinc May Require Adjustment for Phytate Intake Based upon Model Predictions. **J. Nutr.** v, v. 138, p. 2363–2366, 2008.

HEMACHANDRA, C. K.; PATHIRATNE, A. Cytogenotoxicity screening of source water, wastewater and treated water of drinking water treatment plants using two in vivo test systems: Allium cepa root based and Nile tilapia erythrocyte-based tests. **Water research**, v. 108, p. 320–329, 2017.

HERRERO FERNÁNDEZ, Z. **Análise de metais pesados em solos de Pernambuco com diferentes atividades antrópicas**. 92 f: Universidade Federal de Pernambuco, 31 Jul. 2017.

HOREAU, V. P.; CERDAN, A.; CHAMPEAU E S, R. Importance of aquatic invertebrates na dieta de peixes de corredeiras do rio Sinnamary. **Guiana Francesa. Diário de Tropical Ecology**, v. 14, p. 851–864, 1998.

HUSSAIN, B. et al. Influence of habitat degradation on the fatty acid profiles of fish, microalgae, and zoobenthos in a river ecosystem. **Process safety and environmental protection: transactions of the Institution of Chemical Engineers, Part B**, v. 123, p. 24–32, 2019.

INCA - Instituto Nacional do Câncer José de Alencar Gomes da Silva. Ministério da Saúde. Diretrizes para a vigilância do câncer relacionado ao trabalho. Brasil 2012. Disponível em: Acesso em: 22 de janeiro de 2023

JAISHANKAR M, et al. **Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals**. Interdiscip Toxicol., v.7, n. 2, p. 60–72, Jun, 2014.

JAYAPRAKASH, M. et al. Bioaccumulation of metals in fish species from water and sediments in macrotidal Ennore creek, Chennai, SE coast of India: A metropolitan city effect. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 120, p. 243–255, 2015.

JOÃO, U.; JÚNIOR, R. **DIAGNÓSTICO DA CADEIA PRODUTIVA DO PESCADO NA AMAZÔNIA E SEUS IMPACTOS AOS RECURSOS HÍDRICOS**. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/VIII-011.pdf>>. Acesso em: 9 sep. 2022.

KAUR, R.; DUA, A. Fish scales as indicators of wastewater toxicity from an international water channel Tung Dhab drain. **Environmental monitoring and assessment**, v. 184, n. 5, p. 2729–2740, 2012.

KIOKO, K. J.; OBIRI, J. F. Household attitudes and knowledge on drinking water enhance water hazards in peri-urban communities in Western Kenya. **Journal of Disaster Risk Studies. África do Sul**, v. 4, n. p. 1–5, 2012.

KUMAR, V. et al. Studies on high iron content in water resources of Moradabad district (UP), India. **Water Science**, v. 31, n. 1, p. 44–51, 2017.

LANEIRO, C. F. M. **Avaliação da biodisponibilidade de metais em solos contaminados por atividades mineiras: métodos químicos, bioquímicos e ecotoxicológicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Instituto Politécnico de Beja, Escola Superior Agrária, Beja, 2012.

LIMA, D. P. DE et al. Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Brasil. **Acta amazonica**, v. 45, n. 4, p. 405–414, 2015.

LIMA, R. A. M. **Impactos ambientais ocasionados por atividades antrópicas na área de preservação permanente**. Goiânia: Ed. Kelps, 2021.

LUZ, E. O. et al. Analysis of inorganic contaminants in Hoplias aimara Valenciennes 1846 (Trairão) explored by the fishing activity in the high Rio Araguari, Amapá, Brazil. **Ciência e Natura**, v. 41, p. e56, 2019.

MALIK, N. et al. Bioaccumulation of heavy metals in fish tissues of a freshwater lake of Bhopal. **Environmental monitoring and assessment**, v. 160, n. 1–4, p. 267–276, 2010.

Marques, M. B. L., & Américo-Pinheiro, J. H. P. **Efeitos ecotoxicológicos de metais aos organismos aquáticos**. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental Da Alta Paulista, 14(4), 2018. <https://doi.org/10.17271/1980082714420181952>

MAURYA, P. K. et al. Bioaccumulation and potential sources of heavy metal contamination in fish species in River Ganga basin: Possible human health risks evaluation. **Toxicology reports**, v. 6, p. 472–481, 2019.

MEDEIROS, P. M. et al. Fate of the Amazon River dissolved organic matter in the tropical Atlantic Ocean: DOM IN THE AMAZON RIVER-OCEAN CONTINUUM. **Global biogeochemical cycles**, v. 29, n. 5, p. 677–690, 2015.

MENESES, H. DO N. DE M. et al. Mercury contamination: A growing threat to riverine and urban communities in the Brazilian Amazon. **International journal of environmental research and public health**, v. 19, n. 5, p. 2816, 2022.

MICARONI R, C. C. M.; BUENO M, I. M. S. Compostos de mercúrio. Revisão de métodos de determinação. tratamento e descarte. Química Nova. 2000. 23. 4. 487-495. UNEP (United Nation Environment Programme - Chemicals). Global mercury assessment. **Geneva. Suíça**, 2002.

MORAIS., P. D.; MORAIS, J. **O Amapá em perspectiva: Uma abordagem histórico-geográfica**. Macapá: Gráfica JM., 2005.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. **A cinética do chumbo no organismo humano e sua importância para a saúde**. Ciência e Saúde Coletiva, v. 1, p. 167-181, 2004

MOREIRA, M.; VERGÍLIO, TEIXEIRA, R. Estado da arte tecnológico em processamento do couro: revisão bibliográfica no âmbito internacional. Porto Alegre: Centro Nacional de Tecnologias Limpas, **(Projeto Desenvolvimento Sustentável da Indústria do)**. p. 242, 2003.

MORGANO, M.A. et al. **Níveis de mercúrio total em peixes de água doce de pisciculturas paulistas**. Food Sci. Technol 25 (2), 2005. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612005000200011>

NASERI, K. et al. Health risk assessment of Cd, Cr, Cu, Ni and Pb in the muscle, liver and gizzard of hen's marketed in East of Iran. **Toxicology reports**, v. 8, p. 53–59, 2021.)

NAVAS-PEREIRA, D.; DE PADUA, H. B.; PIVA-BERTOLETTI, S. A. **Níveis de contaminação por metais pesados e pesticidas na água, sedimento e peixes da Represa de Barra Bonita**. Anais do 13º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. p. 1–21, 1985.

NYEKWERE, E. H. Uma avaliação legal do impacto do descarte inadequado de resíduos médicos na Nigéria. **Nnamdi Azikiwe University Journal of International Law and Jurisprudence**, v. 12, n. 1, p. 25–45, 2021.

OH, C.; KEATS, E. C.; BHUTTA, Z. A. Vitamin and mineral supplementation during pregnancy on maternal, birth, child health and development outcomes in low- and middle-income countries: A systematic review and meta-analysis. **Nutrients**, v. 12, n. 2, p. 491, 2020.

OLIVEIRA, I. C. DE et al. **Desenvolvimento de receitas para minimizar a carência nutricional de ferro e zinco auxiliando no tratamento da alotriofagia**. 2021.

OLIVEIRA, M. J. **Mineração e desenvolvimento no Amapá: Uma análise sobre o município de Pedra Branco do Amapari**. São Carlos; Pedro & João, 2020.

OLIVEIRA, N. S. et al. A PESCA ARTESANAL NO ALTO E MÉDIO RIO ARAGUARI, AMAPÁ, BRASIL. **HOLOS - ISSN 1807-1600**, v. 8, p. 81–98, 2018.

OLIVEIRA, R. S.; GOMES, E. S.; AFONSO, J. C. **Uma Abordagem para o Ensino Fundamental e Médio**. Química Nova na Escola. v. 32, p. 240–248, 2010.

OLIVEIRA. M. J. **Diagnóstico do setor mineral do Estado do Amapá / coordenador**. Marcelo José de Oliveira. – Macapá: Iepa, p. 148, 2010.

OLIVEIRA-DA-COSTA MG, C. J. Mercury Contamination within Protected Areas in the Brazilian Northern Amazon. **Amap Journal Of Environmental Sciences**, v. 13, p. 11–21, 2017.

PACA, V. H. DA M. et al. The spatial variability of actual evapotranspiration across the Amazon River Basin based on remote sensing products validated with flux towers. **Ecological processes**, v. 8, n. 1, 2019.

PAVESI, T.; MOREIRA, J. C. Mechanisms and individuality in chromium toxicity in humans. **Journal of applied toxicology: JAT**, v. 40, n. 9, p. 1183–1197, 2020.

PEDROSA, L.C.; COZZOLINO.S.M.F, **Alterações metabólicas e funcionais do Zinco em diabetes mellitus**. São Paulo, Rev.bras. epidemiol, 2011.

PETERSEN, B. C. **Estudo das alterações metabólicas em peixes da lagoa Tramandaí/RS**. Canoas: Centro Universitário La Salle, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11690/731>. Acesso em: 19 de setembro de 2022

PLANQUETTE, P.; KEITH, P.; LE BAIL, P. Y. **Atlas DES Poissons d'Eau Douce De Guyane: Vol 1**. Leiden, Netherlands: Backhuys, 1996.

Portugal, W. M. **Biomonitorização de oligoelementos e elementos traços em sangue de pacientes infectados por COVID-19 internados em unidade de terapia intensiva. Universidade Federal de Pernambuco.** Dissertação de mestrado, 2022.

QUEIROZ, L. et al. Peixes do Rio Madeira. **1 ed. São Paulo: Dialetto**, v. 2, p. 91, 2014.

RAHMAN, Z.; SINGH, V. P. The relative impact of toxic heavy metals (THMs) (arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview. **Environmental monitoring and assessment**, v. 191, n. 7, p. 419, 2019.

RAJAN, S. et al. Effects of climate changes on dissolved heavy metal concentrations among recreational park tributaries in Pahang. **Malaysia. Biomedical Research**, v. 23, n. 1, p. 23–30, 2012.

RAZAK, N. H. A. et al. Drinking water studies: a review on heavy metal. application of biomarker and health risk assessment (a special focus in Malaysia). **Journal of Epidemiology and Global Health. Arábia Saudita.** , v. 5, n. 4, p. 297–310, 2015.

RIBEIRO, N. U. F.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P. Peixes como bioindicadores de agrotóxicos em ambientes aquáticos. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 11, n. 22, 2018.

RIOS, I. H. R.; RABELO, J. L. Estudo do risco de contaminação de aquíferos de sub-bacias baianas. **Águas Subterrâneas**, v. 35, n. 2, 2021.

RIVERO, S. et al. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova economia (Belo Horizonte, Brazil)**, v. 19, n. 1, p. 41–66, 2009.

RM EVANS, M.; SCHOLZE, A. Examinando a viabilidade da avaliação de risco de mistura: um estudo de caso usando uma abordagem em camadas com dados de 67 pesticidas da Reunião Conjunta FAO/OMS sobre Resíduos de Pesticidas (JMPR) Química Alimentar. **Toxicol**, v. 84, p. 260–269, 2015.

SANTANA, C. Á. et al. Laser-induced fluorescence in fish scales to evaluate the environmental integrity of ecosystems. **Journal of photochemistry and photobiology. B, Biology**, v. 165, p. 80–86, 2016.

SANTOS, G. B. DOS et al. BIOQUÍMICA AMBIENTAL: AS MACRÓFITAS AQUÁTICAS COMO FITORREMEIADORAS E BIOINDICADORAS DE POLUENTES. **Revista Macambira**, v. 4, n. 2, 2020.

SANTOS, G. M. DOS; JEGU, M.; MERONA, B. DE. **Catálogo de peixes comerciais do baixo Rio Tocantins: Projeto Tucuruí /**. Manaus: ELETRONORTE, 1984.

SANTOS, G.M.S., MÉRONA, B., JURAS, A.A. AND JÉGU, M. **Peixe do Baixo Rio Tocantins 20 Anos Depois da Usina Hidrelétrica Tucuruí. Eletronorte, Brasília, 216. - References - Scientific Research Publishing.** Disponível em: <[https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjct55\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2008555](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjct55))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2008555)>. Acesso em: 2 nov. 2022.

SCHAUMLÖFFEL, D. Nickel species: analysis and toxic effects. **Journal of trace elements in medicine and biology: organ of the Society for Minerals and Trace Elements (GMS)**, v. 26, n. 1, p. 1–6, 2012.

SENA, K. C. M.; PEDROSA, L. F. Efeitos da suplementação com zinco sobre o crescimento. sistema imunológico e diabetes. **Revista de Nutrição. Campinas**, v. 18, n. 2, p. 251–259, 2005.

SHARMA, B.; TYAGI, S. Simplification of metal ion analysis in fresh water samples by atomic absorption spectroscopy for laboratory students. **Journal of Laboratory Chemical Education. India**. v, v. 1, p. 54–58, 2013.

SILVA, A. M. DA. Determinação de cobre em brânquias e fígado de peixes por espectrometria de absorção atômica com chama. Universidade Federal da Fronteira Sul, 2018.

SILVA, G. B.; REIS, B. Z.; COZZOLINO, S. Cozzolino SMF. **Biodisponibilidade de nutrientes**. 5ed. Barueri, SP: Manole. p. 729–760, 2016.

SILVA, M. R.; SILVA, M. A. A. P. DA. **Aspectos nutricionais de fitatos e taninos**. Revista de Nutrição, v. 12, n. 1, p. 21–32, 1999

SOARES, M. R. Coeficiente de Distribuição (Kd) de metais pesados em solos do estado de São Paulo. Tese de doutorado. Escola Superior de agricultura Luiz de Queiroz. **Universidade de São Paulo**. Piracicaba, 2004.

SOARES, P. S. M.; YOKOYAMA, L.; FREIRE, D. D. C. O transporte de metais pesados no solo no contexto da disposição de resíduos sólidos. Centro de Tecnologia Mineral. **Centro de Tecnologia Mineral**, p. 43, 2006.

SOUZA, A. K. R.; MORASSUTI, C. Y.; DEUS, W. B. DE. POLUIÇÃO DO AMBIENTE POR METAIS PESADOS E UTILIZAÇÃO DE VEGETAIS COMO BIOINDICADORES. **Acta Biomédica Brasiliensia**, v. 9, n. 3, p. 95, 2018

SOUZA, C. F. M. et al. **A doença de Parkinson e o processo de envelhecimento motor: uma revisão de literatura**. Revista Neurociências, São Paulo, v. 19, n. 4, p. 718-723, 2011.

SOUZA. A. K. R. MOURASSUTI. C. Y. DEUS. W.B. **Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores**. Acta Biomédica Brasiliense, Rio de Janeiro, v. 3, n. 9, p. 95-106, 2018

SOUZA. D. **Impactos negativos do estresse antropogênico na qualidade da água e em peixes em ambientes aquáticos urbanos em Macapá. Estado do**

Amapá. Amazônia. Brasil. Macapá. 2021. Dissertação (Mestre em Biodiversidade Tropical) – Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Tropical – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - Universidade Federal do Amapá.

TAVARES. T. M.; CARVALHO. F. M. **“Avaliação da exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: exemplos do Reconcavo Baiano”.** Química Nova. v. 15. n. 2. pp. 147-154. 1992

TOLEDO, B., MANZINI, F. F., & LIMA, M. de F. **Considerações sobre a concentração de manganês nas águas de abastecimento público da cidade de São José do Rio Preto (SP).** *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental Da Alta Paulista*, 14(2), 2018. <https://doi.org/10.17271/1980082714220181921>.

TOLEDO, B.; MANZINI, F. F.; LIMA, M. D. F. Considerações sobre a concentração de manganês nas águas de abastecimento público da cidade de São José do Rio Preto (SP). **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 14, n. 2, 2018. <https://doi.org/10.17271/1980082714220181921>

TORRES ACOSTA, R.; BAHR VALCARCEL, P. El zinc: la chispa de la vida. *Revista cubana de pediatria*, v. 76, n. 4, 2004.

ULLAH, A.A. et al. 2017. **Dietary intake of heavy metals from eight highly consumed species of cultured fish and possible human health risk implications in Bangladesh.** *Toxicol. Rep.* 4, 574–579. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.10.002>.

VARI, R. P. et al. Check list of freshwater fishes of South and. p. 252–253, 2003.

VARI, R. P. The Neotropical Fish Family Ctenoluciidae (Teleostei: Ostariophysi: Characiformes): Supra and Intrafamilial Phylogenetic Relationships. **Smithsonian Contributions to Zoology**, p. 97, 1995.

VAROL, M., KAYA, G.K., Alp, A., 2017. **Heavy metal and arsenic concentrations in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farmed in a dam reservoir on the Firat (Euphrates) River: risk-based consumption advisories.** *Sci. Total Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.052>.

VELUSAMY, A. et al. Bioaccumulation of heavy metals in commercially important marine fishes from Mumbai Harbor, India. **Marine pollution bulletin**, v. 81, n. 1, p. 218–224, 2014.

VIANA, L. F et al. **Metal bioaccumulation in fish from the Araguari River (Amazon biome) and human health risks from fish consumption.** *Environmental Science and Pollution Research International*, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22457-3>

VIANA, L. F. et al. Bioaccumulation of metal in liver tissue of fish in response to water toxicity of the Araguari-Amazon River, Brazil. **Environmental monitoring and assessment**, v. 192, n. 12, p. 781, 2020.

VIANA, L. F. et al. High concentrations of metals in the waters from Araguari River lower section (Amazon biome): Relationship with land use and cover, ecotoxicological effects and risks to aquatic biota. **Chemosphere**, v. 285, n. 131451, p. 131451, 2021.

VIANA, L. F. et al. **Mutagenic and genotoxic effects and metal contaminations in fish of the Amambai River, Upper Paraná River, Brazil.** Environmental Science and Pollution Research, 24(35), 27104–2711, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0276-8>.

VIEIRA, J. L. F.; PASSARELLI, M. M. Determinação de mercúrio total em amostras de água, sedimento e sólidos em suspensão de corpos aquáticos por espectrofotometria de absorção atômica com gerador de vapor a frio. **Revista de saude publica**, v. 30, n. 3, p. 256–260, 1996.

WANG, H. et al. Synthesis of nitrogen and sulfur co-doped yolk-shell porous carbon microspheres and their application for Pb (II) detection in fish serum. **Journal of solid state chemistry**, v. 266, p. 63–69, 2018.

WELCH, R. M. et al. Genetic selection for enhanced bioavailable levels of iron in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 48, n. 8, p. 3576–3580, 2000.

WILBUR, S. et al. **Toxicological Profile for Chromium. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US). 592 p.** Georgia: Atlanta (GA), 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Human Exposure Assessment Series: Human Exposure to Lead.** Bangkok: United Nations Environment Programme. 1992.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for drinking water quality.** 4th ed. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. 2017.

YOUNIS, E. M. et al. Nutritional value and bioaccumulation of heavy metals in muscle tissues of five commercially important marine fish species from the Red Sea. **Saudi journal of biological sciences**, v. 28, n. 3, p. 1860–1866, 2021.

ZORODDU, M. A. et al. The essential metals for humans: a brief overview. **Journal of inorganic biochemistry**, v. 195, p. 120–129, 2019.

ANEXO A- Parecer do comitê de ética no uso de animais- CEUA



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COMITE DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS – CEUA – UNIFAP**

CERTIFICADO

A Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal do Amapá **APROVOU**, na data de 25 de junho de 2019, o parecer referente ao protocolo no. **017/2019** e certifica que o Projeto de Pesquisa intitulado "**Efeitos da alteração na paisagem e dos contaminantes ambientais sobre a qualidade da água e em algumas espécies de peixes de importância comercial na bacia hidrográfica do Rio Araguari, Estado do Amapá, Brasil**" coordenado por **Alexandro Cezar Florentino**, está de acordo com os princípios de ética e bem estar animal.

CERTIFICATE

The Ethics Committee on Animal Use of the Amapá Federal University **APPROVED** at the meeting of June 25, 2019, the final decision about the Protocol **017/2019** and certify that the research project entitled "**Efeitos da alteração na paisagem e dos contaminantes ambientais sobre a qualidade da água e em algumas espécies de peixes de importância comercial na bacia hidrográfica do Rio Araguari, Estado do Amapá, Brasil**" coordinated by **Alexandro Cezar Florentino**, is in accordance with the principles of ethics and animal welfare.

Macapá, 25 de junho de 2019

Prof. Tit. José Carlos Tavares Carvalho
Presidente CEUA-UNIFAP
Port. No. 1733/2014

Universidade Federal do Amapá
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Comitê de Ética no Uso de Animais – CEUA – UNIFAP
Rod. Juscelino Juscelino Kubitschek, km 02 – Campus Marco Zero,
Macapá - AP, 68903-419 email: farmacos@unifap.br
Fone (96)4009-2907

APÊNDICES

APÊNDICES A- PROPOSTA EDUCACIONAL

Disciplina	Ciências da Natureza - Química
Professora	Jadna Costa Silva
Série	2º Série Ensino Médio
Tema	Impactos Ambientais causados pelo descarte de Metais Pesados no Meio Ambiente
CH	6h
Conteúdos	Eletroquímica: eletrodeposição de metais por eletrólise; Reações de oxirredução e neutralização; Reações Químicas de pilhas e baterias; Pilha de Daniell.
Habilidades BNCC	EM13CNT104 - Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis. EM13CNT301 - Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.
Competências	Consciência ambiental, Conhecimento científico sobre Reações Químicas, desenvolvimento de capacidade argumentativa, pensamento crítico, tomada de decisões e resolução de problemas.

OBJETIVOS

Geral:

Conhecer os impactos ambientais relacionados com a descarte de metais pesados, de que forma eles prejudicam o meio ambiente e como preservar o ecossistema fazendo o descarte correto dessas substâncias, utilizando uma abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), inserido conhecimento científico sobre Eletroquímica e suas reações, procedimentos tecnológicos que envolve a Química Experimental e as questões Socioambientais que norteiam essa temática.

Específicos:

- Identificar as principais questões socioambientais acerca de metais pesados descartados no meio ambiente.
- Definir as características dos metais pesados que são encontrados em rios, no solo e animais que fazem parte da cadeia alimentares do homem.

- Compreender os processos de Reações Químicas de Oxirredução, reações de neutralização e eletrólise que envolvem componentes de pilhas e baterias.
- Desenvolver uma prática experimental através da fabricação da Pilha de Daniell, para compreender as reações de oxirredução que ocorrem e entender a capacidade dos metais e de outras substâncias em transferir e doar elétrons para a produção de correntes elétricas.

METODOLOGIA

Esta sequência didática será dividida em três momentos, sendo os dois primeiros em aula expositiva e dialogada com auxílio de recursos didáticos como slides e texto base, o terceiro momento será o desenvolvimento de uma prática experimental referente aos assuntos discutidos na primeira aula. Ao final da aula será feita uma avaliação com os discentes.

1º Momento: Questões Socioambientais

A fim de investigar os conhecimentos prévios dos alunos, a turma se dividirá em 4 ou 5 grupos e será distribuído um pequeno texto que fala sobre as questões ambientais como conceitos sobre metais pesados e suas características, poluição, impactos causados, danos aos seres vivos. Os alunos terão um tempo para lerem e refletirem entre seus colegas sobre o texto, posteriormente será proposto que os alunos discutam as questões ambientais que norteiam o descarte incorreto de resíduos no meio ambiente, focando na temática de metais pesados, expondo sua opinião e uma possível solução para que possa diminuir esses danos. Partindo dessas soluções serão feitas perguntas como: “Quais os problemas ambientais que podem ser causados através de metais pesados poluentes? Quais os danos que os metais pesados causam no organismo de seres vivos? Você já fez o descarte incorreto de algum metal na natureza? Seria viável a não utilização/produção/extração desses metais pesados para diminuir os danos causados ao meio ambiente? Onde podemos encontrar metais pesados em nosso cotidiano? “

2º Momento: Eletroquímica

Nesse momento será desenvolvida uma aula expositiva e dialogada com o auxílio de slides para iniciar o assunto de Eletroquímica, abordando os principais

conceitos, tipos de reações que envolvem transferências de elétrons, como redução e oxidação, diferenciar as reações, aplicações de reações no cotidiano, compreender o funcionamento de uma pilha e bateria, quais as reações e as substâncias que estão presentes nesses produtos e no corpo humano.

3º Momento: Prática Experimental

O último momento será uma aula prática envolvendo o conteúdo já explanado nas aulas anteriores, focando no processo de oxirredução que ocorre em pilhas e baterias, e como fabricar uma pilha de Daniell. Ao final da prática será feito uma atividade avaliativa.

PRÁTICA EXPERIMENTAL

Materiais 1 vela de filtro Palha de aço 2 béqueres 250 mL 2 pedaços de fio elétrico encapado de 15 cm cada 1 Placa de cobre – 10 cm x 2 cm 1 Placa de zinco – 10 cm x 2 cm 1 mini lâmpada de led pequena 1 multímetro 1 tubo em formato de U Algodão	Reagentes 100 mL de sulfato de cobre 30 mL de sulfato de zinco 30 mL de Cloreto de Sódio
Procedimento Experimental 1 – Limpar a placa de zinco com a palha de aço até polir, depois mergulhar a placa de zinco na solução de sulfato de cobre; 2 – Limpar a placa de cobre com palha de aço até polir; 3 – Colocar a vela de filtro no béquer e mergulhar a placa de zinco no sulfato de zinco dentro da vela de filtro; 4 - Mergulhar a placa de cobre no sulfato de cobre dentro do béquer; 5 – Depois ligar os fios elétricos na mini lâmpada de LED e observar o que acontece. 6 - Medir a voltagem com o auxílio de um multímetro, colocando-o em paralelo no circuito; 7 – Medir a intensidade da corrente elétrica inserindo o multímetro no circuito para que essa corrente atravessasse o aparelho e você possa fazer a leitura; 8 – Anote esses dados.	

NORMAS DE SEGURANÇA

A aula prática será realizada em Laboratório, portanto é importante que os discentes sigam as normas de biossegurança, a fim de evitar acidentes durante a prática:

- A aula será iniciada com uma breve explicação sobre os cuidados e sobre os métodos da prática.
- Utilizar corretamente os EPI's.
- Cuidado ao manusear reagentes químicos, vidrarias e aparelhos do laboratório, em caso de dúvidas peça ajuda.
- Manter cabelos longos presos.
- Não fumar, beber ou se alimentar no laboratório.
- Mantenha sua bancada limpa e organizada.
- Ao final da prática fazer a limpeza das vidrarias, bancada e o descarte de resíduos em local apropriado.
- Lavar as mãos ao final de cada prática laboratorial.

EPI's Obrigatórios:

- Jaleco
- Calça
- Sapato fechado
- Máscara descartável

RECURSOS DIDÁTICOS

Quadro branco, pincel, apagador, slides, data show, texto de referência, livro didático.

AValiação

A avaliação será diagnóstica, formativa e somativa, através de atividades, relatórios e participação em sala de aula.

- Conhecimentos prévios investigados durante as primeiras aulas.
- Relatório sobre a prática experimental abordando o tema, Introdução, Metodologia, Resultados e Discussão e Considerações Finais.

- Atividade sobre os conteúdos de Eletroquímica e Impactos Ambientais causados pelo descarte de Metais Pesados no Meio Ambiente. (Apêndice A).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GODOY, L.; AGNOLO, R. M. D.; MELO, W. C. **Multiversos Ciências da Natureza** Editora FTD, 1ª Edição. São Paulo – SP, 2020.

PERUZZO, F. M C.; LEITE, E. **Química na abordagem do cotidiano, Físico-Química**, Vol. 2, Editora Moderna, 2003.

REFRÊNCIAS COMPLEMENTARES

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular: **Ensino Médio**. Brasília: MEC/Secretaria de Educação Básica, 2018.

MARCONDES, D. L. Z. et. al. Simulando a toxicidade de pilhas e baterias por meio de um bioensaio simples e de baixo custo. In. **Chemical education in Point of view**. v.3, n. 1, 2019.

MOREIRA, F.R. e MOREIRA, J.C. A importância da análise de especiação do chumbo em plasma para avaliação dos riscos à saúde. **Química Nova**, v. 27, n. 2, p. 251-260, 2004.

SOUZA, J.R. e BARBOSA, A.C. Contaminação por mercúrio e o caso da Amazônia. **Química Nova na Escola**, v. 12, p. 3-7, 2000.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO E GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

ATIVIDADE AVALIATIVA

1 - Quais são os problemas ambientais provocados pelos metais pesados?

2 - Quais os danos causados aos seres vivos pela contaminação por metais?

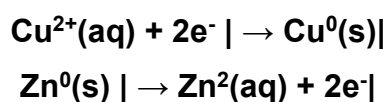
3 - Por que pilhas não devem ser descartadas, juntamente com o lixo doméstico?

4 – Conceitue reação de Oxidação e reação de Redução.

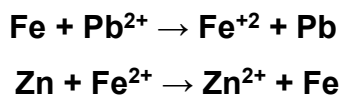
5 – Escreva a reação global da Pilha de Danielle diferencie o cátodo e ânodo e qual o agente redutor e o agente que sofreu oxidação.

6 - Identifique o **Cátodo e Ânodo**, depois escreva a equação global das Reações Químicas abaixo:

a)



b)



7 - (FUVEST) Numa pilha do tipo comumente encontrado nos supermercados, o polo negativo é constituído pelo revestimento externo de zinco. A semirreação que permite ao zinco funcionar como polo negativo é:

- a) $\text{Zn}^{+} + \text{e}^{-} \rightarrow \text{Zn}$
- b) $\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Zn}$
- c) $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{+} + \text{e}^{-}$
- d) $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^{-}$
- e) $\text{Zn}^{2+} + \text{Zn} \rightarrow 2\text{Zn}^{+}$