



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

CASSIANE DA SILVA VIDEIRA

**AVALIAÇÃO DE METAIS PESADOS NA BACIA DO RIO AMAPARI, AMAPÁ E
UMA PERSPECTIVA DA TOXICOLOGIA PARA O ENSINO DE QUÍMICA**

MACAPÁ-AP

2023

CASSIANE DA SILVA VIDEIRA

**AVALIAÇÃO DE METAIS PESADOS NA BACIA DO RIO AMAPARI, AMAPÁ E
UMA PERSPECTIVA DA TOXICOLOGIA PARA O ENSINO DE QUÍMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Disciplina de TCC II, no curso de Licenciatura em
Química, da Universidade Federal do Amapá –
UNIFAP como requisito para obtenção de
Licenciada em Química.

Orientador: Prof. Dr. Alexandro Cezar Florentino

Coorientadora: Profa. Dr. Jéssica Caroline
Evangelista Vilhena

MACAPÁ-AP

2023

CASSIANE DA SILVA VIDEIRA

**AVALIAÇÃO DE METAIS PESADOS NA BACIA DO RIO AMAPARI, AMAPÁ E
UMA PERSPECTIVA DA TOXICOLOGIA PARA O ENSINO DE QUÍMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Disciplina de TCC II, no curso de Licenciatura em
Química, da Universidade Federal do Amapá –
UNIFAP como requisito para obtenção de
Licenciada em Química.

Orientador: Prof. Dr. Alexandro Cezar Florentino

Coorientadora: Profa. Dr. Jéssica Caroline
Evangelista Vilhena

DATA DE APROVAÇÃO: 16/05/2023

Dr. Iracirema da Silva Sena

Examinador(a)

Universidade Federal do Amapá

Mestranda Raquellyne Baia Machado

Examinador(a)

Universidade Federal do Amapá

Prof. Dr. Alexandro Cezar Florentino

Orientador(a)

Universidade Federal do Amapá

Dr. Jéssica Caroline Evangelista Vilhena

Coorientadora(o)

Universidade Federal do Amapá

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

- V652 Videira, Cassiane da Silva.
Avaliação de metais pesados na bacia do rio Amapari, Amapá e uma perspectiva da toxicologia para o ensino de química / Cassiane Da Silva Videira. - Macapá, 2023.
1 recurso eletrônico. 38 folhas.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá ,
Coordenação do Curso de Química , Macapá, 2023.
Orientador: Alexandro Cezar Florentino .
Coorientadora: Jéssica Caroline Evangelista Vilhena.
- Modo de acesso: World Wide Web.
Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).
1. Toxicidade. 2. Zebrafish . 3. Educação . I. Florentino, Alexandro Cezar, orientador. II.
Universidade Federal do Amapá . III. Título.

CDD 23. ed. – 540

VIDEIRA, Cassiane da Silva. **Avaliação de metais pesados na bacia do rio Amapari, Amapá e uma perspectiva da toxicologia para o ensino de química.** Orientador: Alexandro Cezar Florentino. 2023. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Coordenação do Curso de Química . Universidade Federal do Amapá , Macapá, 2023.

AGRADECIMENTOS

À Deus primeiramente, por me amparar durante todo o percurso para eu chegar até aqui e nunca ter me abandonado.

A minha mãe Diana pelo suporte e confiança que depositou em mim.

A minha família os quais me apoiaram e a “Lora”.

Aos amigos “de verdade” que encontrei ao longo do curso por terem sido ótimos companheiros e incentivadores.

A Universidade Federal do Amapá pelas oportunidades dadas.

A todos os meus mestres e doutores pelo aprendizado.

Ao Laboratório de Ictiologia e Genotoxicidade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de iniciação científica concedida.

A todos, muito obrigada!

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Localização dos pontos amostrais ao longo do rio Amapari, estado do Amapá, Brasil.....	17
FIGURA 2. Fotografias de diferentes anormalidades nucleares em células sanguíneas de <i>Danio rerio</i> de diferentes grupos do bioensaio.....	22
FIGURA 3. Filamento branquial de zebrafish exposto a água do rio Amapari.....	23
FIGURA 4. Tecido hepático de zebrafish exposto a água do rio Amapari.....	24
FIGURA 5. Tecido renal de zebrafish exposto a água do rio Amapari... Error! Bookmark not defined.	

RESUMO

Os metais pesados são poluentes tóxicos não biodegradáveis que podem bioacumular em organismos apresentando risco ao meio ambiente e seres vivos. A ecotoxicologia pode ser atribuída ao ensino de química por ser uma ciência interdisciplinar. Os objetivos deste trabalho são a) Determinar a concentração de zinco, cobre, ferro, manganês, cromo e cádmio na água do rio Amapari, b) Avaliar efeitos mutagênicos e genotóxicos provocados por contaminantes presentes na água através de bioensaios com *Danio rerio* e c) Apresentar a toxicologia no ensino de química como disciplina interdisciplinar e uma proposta didática com experimento para detecção de metais na água. Para alcançar esses objetivos amostras de água foram coletadas em onze locais na bacia do rio Amapari utilizando recipientes de polietileno de 1 L e 20 L. Em cada amostra de 1 L foi adicionado 1 mL de ácido nítrico, já as amostras de 20 L não foram preservadas com ácido. Para determinação dos metais utilizou-se Espectrofotômetro de Absorção Atômica. Para os bioensaios de toxicidade as amostras de 20 L de água foram adicionadas em aquário por pontos, totalizando onze amostras. Além disso, um aquário com água do sistema do biotério foi utilizado como controle. O bioensaio teve duração de 96 horas. Foram utilizados 108 animais adultos mantidos em jejum por 24 horas a partir da exposição a água, sendo alimentados suas vezes ao dia. Para análise histopatológica das brânquias, fígado e rins, os animais foram fixados em solução de Bouin por 24 horas, e em seguida descalcificados em solução de EDTA a 7% por 48hs. As amostras foram desidratadas em séries de álcoois, diafinizados em xilol, incluídos em parafina, seccionadas a 5 µm, coradas com hematoxilina e eosina e analisadas em Microscópio Olympus BX41-Micronal e fotografadas com câmera MDCE-5C USB 2.0. As análises das amostras de água demonstraram que Cd (0,018 ml/L), Cr (0,048 ml/L), Cu (0,024), Fe (0,701 ml/L), Mn (0,273) e Zn (0,140ml/L) foram detectados na água acima do limite estabelecido pelo CONAMA (357/2005) e WHO (2017) nos seguintes pontos amostrais P2, P7, P11. P1, P2, P3, P5, P6, P8, P9 e P10. P1, P2, P3, P4, P6, P7, P8, P10 e P11, respectivamente. Fe e Mn se mostraram superiores em todos os pontos. Na leitura das lâminas sanguíneas foram encontradas 276 alterações nucleares no total, dando ênfase para micronúcleo (68%), brotamento nuclear (67%) e invaginação nuclear (50%). O P1 se destacou por apresentar os maiores valores percentuais das anormalidades (51%). Foi observado na análise histológica alterações no tecido branquial em todos os grupos, exceto no controle, sendo mais significativas no P7, P8 e P9. No fígado e rins foram observadas apenas alterações leves, o IAH foi inferior a 10 que classifica esse órgão como normal. Diante disto, os testes toxicológicos realizados neste estudo dão ênfase para a necessidade de um monitoramento de atividades antrópicas realizadas na área de estudo. Além disso, a proposta de ensino da toxicologia aqui apresentada nos remete a importância da educação ambiental na escola ainda mais quando se trata da nossa região.

Palavras-chaves: Toxicidade; zebrafish; ecossistema; educação.

ABSTRACT

Heavy metals are non-biodegradable toxic pollutants that can bioaccumulate in organisms, posing risk to the environment and living beings. Ecotoxicology can be assigned to the teaching of chemistry because it is an interdisciplinary science. The objectives of this work are a) To determine the concentration of zinc, copper, iron, manganese, chromium and cadmium in the water of the Amapari River, b) To evaluate mutagenic and genotoxic effects caused by contaminants present in the water through bioassays with *Danio rerio* and c) To present toxicology in the teaching of chemistry as an interdisciplinary subject and a didactic proposal with an experiment to detect metals in water. To achieve these objectives water samples were collected from eleven sites in the Amapari River basin using 1 L and 20 L polyethylene containers. In each 1 L sample 1 mL of nitric acid was added, while the 20 L samples were not preserved with acid. An Atomic Absorption Spectrophotometer was used to determine the metals. For the toxicity bioassays, 20 L water samples were added in an aquarium per point, totaling eleven samples. In addition, an aquarium with water from the animal house system was used as a control. The bioassay lasted 96 hours. A total of 108 adult animals were used, fasted for 24 hours from exposure to water, and fed twice a day. For histopathological analysis of the gills, liver, and kidneys, the animals were fixed in Bouin's solution for 24 hours, and then decalcified in 7% EDTA solution for 48 hours. The samples were dehydrated in a series of alcohols, diaphanized in xylene, embedded in paraffin, sectioned at 5 μm , stained with hematoxylin and eosin and analyzed under an Olympus BX41 -Micron Microscope and photographed with a MDCE-5C USB 2.0 camera. The analyses of the water samples showed that Cd (0.018 ml/L), Cr (0.048 ml/L), Cu (0.024), Fe (0.701 ml/L), Mn (0.273) and Zn (0.140ml/L) were detected in the water above the limit established by CONAMA (357/2005) and WHO (2017) at the following sampling points P2, P7, P11. P1, P2, P3, P5, P6, P8, P9 and P10. P1, P2, P3, P4, P6, P7, P8, P10 and P11, respectively. Fe and Mn were higher at all points. In the reading of the blood slides, 276 nuclear alterations were found in total, emphasizing micronucleus (68%), nuclear budding (67%) and nuclear invagination (50%). P1 stood out for presenting the highest percentage values of abnormalities (51%). Histological analysis showed changes in gill tissue in all groups, except in the control group, being more significant in P7, P8 and P9. In the liver and kidneys only mild alterations were observed, the AHI was less than 10, which classifies this organ as normal. In view of this, the toxicological tests carried out in this study emphasize the need to monitor anthropogenic activities carried out in the study area. In addition, the proposal to teach toxicology presented here reminds us of the importance of environmental education at school, especially when it comes to our region.

Keywords: Toxicity; zebrafish; ecosystem; education.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 METAIS PESADOS	12
2.2 <i>DANIO RERIO</i>	13
2.3 ESPECTROFOMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA	14
2.4 O ENSINO DE QUÍMICA E ECOTOXICOLOGIA	15
3 PROBLEMA	15
4 OBJETIVOS	16
4.1 OBJETIVO GERAL	16
4.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS	16
5 MATERIAL E MÉTODOS	16
5.1 ÁREA DE ESTUDO	16
5.2 COLETA E ANÁLISE DA ÁGUA	17
5.3 BIOENSAIO	18
5.4 ANÁLISE DE MUTAGENICIDADE E GENOTOXIDADE	18
5.5 ANÁLISE HISTOPATOLÓGICA DAS BRÂNQUIAS, FÍGADO E RINS	18
5.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	19
5.7 ELABORAÇÃO DA PROPOSTA DIDÁTICA	19
6 RESULTADOS	20
6.1 METAIS PESADOS	20
6.2 MUTAGENICIDADE E GENOTOXIDADE	21
6.3 HISTOPATOLOGIA DAS BRÂNQUIAS, FÍGADO E RINS	22
7 DISCUSSÃO	25
7.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS COM A PESQUISA TOXICOLÓGICA	25
7.2 POSSIBILIDADE DE RELACIONAR A TOXICOLOGIA COM O ENSINO DE QUÍMICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA	27
8 CONCLUSÃO	28
REFERÊNCIAS	29
APÊNDICES	36

1 INTRODUÇÃO

Metais pesados são elementos químicos que não sofrem um processo de biodegradação por serem altamente bioacumulativos em organismos vivos ameaçando o meio ambiente, tendo em vista que em altas concentrações é possível apresentar efeitos tóxicos (MOSCHEM; GONÇALVES, 2020; SOUZA; MORASSUTI; DEUS, 2018). Assim, contaminando bacias hidrográficas causando a morte de diversos organismos aquáticos que ali vivem, como peixes por pertencerem ao nível superior do sistema aquático tornando-lhes um dos alvos mais preocupantes da cadeia trófica (BRIFFA; SINAGRA; BLUNDELL, 2020). Os peixes por pertencerem a cadeia alimentar dos seres humanos se tornam uma via de contaminação por metais pesados, o que pode ocasionar o desenvolvimento de várias doenças em decorrência do seu processo acumulativo (MWALIKENGA; VITAL, 2020).

As atividades humanas principalmente as de origem industrial contribuem para os ecossistemas terrestres e aquáticos globais somando mais de até 1,16 milhões de toneladas de metais anualmente originários de processos litogênicos e/ou atividades antrópicas (NEGRÃO; OLIVEIRA; BUTIK, 2021). Os efeitos tóxicos dos metais se classificam pelo índice e alcance em que estes compostos se tornam biodisponíveis ao serem ingressados no meio ambiente liberando íons livres que podem ligar-se com matérias orgânicas do meio e alterar sua disponibilidade (ZHONG et al., 2018). Esses contaminantes presentes em solos e sistemas aquáticos põem em situação de risco a qualidade do meio ambiente e perigo iminente de intoxicação ao homem (VIANA et al., 2021). Diante disso, nas últimas décadas foram feitas diversas pesquisas para avaliar os possíveis efeitos tóxicos e impactos ambientais de acordo com biodisponibilidade dos metais no meio ambiente (NUNES; JESUS, 2018).

Apesar de serem considerados importantes para a composição alimentar dos seres vivos, os metais representam um potencial risco para a ictiofauna e seus consumidores via cadeia alimentar sendo necessária as pesquisas toxicológicas para determinar os níveis de concentração de metais em peixes e águas de onde vivem (LIU; CAO; DOU, 2019). O desequilíbrio na biodisponibilidade dos metais no ambiente favorece a contaminação dos organismos vivos (incluindo o homem), o que contribui para a sua permanência em diversos tecidos e órgãos destes animais expostos a estes contaminantes, como fígado, rim e tecidos adiposos (MARQUES; AMÉRICO-PINHEIRO, 2018).

A pesquisa toxicológica busca compreender e prever os efeitos adversos de substâncias químicas em ecossistemas, sendo uma ferramenta imprescindível no auxílio da avaliação

toxicológica e monitoramento de recursos naturais (SILVA et al., 2020). Os peixes são organismos sensíveis a baixas concentrações de substâncias químicas no ecossistema aquático, característica que contribuiu para seu uso em estudos ambientais como modelos biológicos relevantes em testes e estudos de ecotoxicidade para identificar alterações no ambiente aquático, além de serem constituintes importantes na dieta do homem e apresentar a capacidade de acumular metais pesados como cádmio e cobre (VIANA et al., 2020).

Com objetivo de correlacionar esta pesquisa com o ensino de química na educação básica, é realizada a elaboração de uma proposta didática como uma possibilidade de contextualização e construção de novos significados quanto aos conteúdos programáticos da disciplina de química, como também conscientização ambiental, crítica e social.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 METAIS PESADOS

O metal é uma substância química com aspecto lustroso quando polida, boa condutora de calor e eletricidade (KAPAHÍ; SACHDEVA, 2019). Este elemento possui uma massa determinada de $6,0\text{g/cm}^3$ e número atômico superior a 20 (COSTA, 2015). Os metais pesados são moléculas não biodegradáveis pela natureza, sendo responsável pela maior parte da poluição em ambientes aquáticos em ordem mundial, com altas taxas de proliferação a cada ano (MALIK et al., 2019). Estes metais, na maioria dos casos tem como último recipiente o ecossistema aquático, e por não serem degradáveis acabam sendo assimilados nas águas e peixes, causando vários danos aos corpos de água e até doenças nos organismos que ocorrem ali (COSTA et al., 2022).

Alguns tipos de metais são considerados micronutrientes que compõe parte essencial do metabolismo dos ambientes aquáticos como o magnésio, ferro, zinco, cobre, manganês e boro (MWALIKENGA; VITAL, 2020). Em contrapartida, mercúrio, chumbo, cádmio, cromo, níquel e prata não desempenham nenhuma função nutricional para as espécies, sendo tóxicos em qualquer quantidade por não serem biodegradáveis e sofrerem um processo de bioacumulação, assim, contribuindo para a preocupação em relação à sua presença (SILVA, 2018). Portanto, é necessário considerar que um ecossistema é poluído quando contém concentrações de determinado contaminante que chegue a afetar os componentes bióticos que comprometam a funcionalidade e sustentabilidade do ecossistema (AGUILLAR et al., 2020).

Uma das principais fontes naturais dos metais no ambiente aquático é a lavagem geológica de solos e rochas que ficam diretamente expostos a água, e por meio de fontes

antrópicas como, processos de mineração, efluentes industriais e domésticos, grande número de garimpos ilegais (MUNDURUKU et al., 2021) e através de precipitação em áreas com poluição atmosférica (MORAIS, 2022). O nível e tempo de exposição ao metal envolvido se tornam um fator decisivo para os efeitos tóxicos dos metais, conhecido como fator de bioconcentração (SÁ et al., 2022).

Dentre as características dos metais pesados podemos destacar o seu processo acumulativo que ocorre por não sofrerem biodegradação envolvendo a bioconcentração, bioacumulação e biomagnificação que é determinado de acordo com o aumento da concentração de poluentes nos animais em nível trófico (CAMPANELLI, 2022). A bioconcentração refere-se ao processo de absorção da substância pelos organismos aquáticos através de superfícies respiratórias e/ou pele de acordo com sua concentração na água (BIENFANG; TRAPIDO-ROSENTHAL; LAWS, 2012). O processo de bioacumulação se dá a partir os meios de exposição aos contaminantes relacionada à concentração absorvida pelo organismo consecutivo da cadeia alimentar (BIENFANG; TRAPIDO-ROSENTHAL; LAWS, 2012). A biomagnificação consiste na acumulação de uma substância através dos níveis tróficos por extensão da cadeia alimentar através da ingestão direta dos alimentos contaminados (BIENFANG; TRAPIDO-ROSENTHAL; LAWS, 2012).

Desse modo, é de extrema importância identificar a presença de metais nos recursos hídricos e a dimensão da sua concentração considerando o seu potencial impacto diante da cadeia trófica e sua ameaça à saúde do homem (GOMES et al., 2021).

2.2 *DANIO RERIO*

O *Danio rerio* (zebrafish) é um peixe de pequeno porte da família Cyprinidae que abita em regiões tropicais de água doce no sul da Ásia medindo aproximadamente entre três e quatro centímetros (PIMENTEL; GAMA, 2021). O zebrafish é conhecido no Brasil popularmente como paulistinha ou peixe-zebra, esse pequeno onívoro de comportamento pacífico destaca-se como um modelo experimental da atualidade em testes crônicos e toxicológicos por diversos pesquisadores por fornecer resultados em um curto período (FUKUSHIMA et al., 2020). Dentre as características que tornam do zebrafish um excelente organismo-modelo para pesquisas toxicológicas podemos destacar seu pequeno porte, baixo custo, fácil manipulação, ciclo biológico curto, alta taxa de reprodução, genoma sequenciado e a sua alta similaridade com mamíferos (74%) (CANEDO; ROCHA, 2021).

A espécie vem sendo integrada desde a década de 1960 como organismo de pesquisa. Porém, somente em 1980 houve o desenvolvimento de técnicas para análise genética que lhe

apresentou como um excelente organismo modelo para diversas áreas de estudo, como biologia celular e toxicologia (BRADFORD et al., 2022).

Em estudos toxicológicos são considerados um modelo experimental de grande interesse em diversos laboratórios em pesquisas fundamentais e aplicadas apresentando-se como um modelo rápido, barato e fácil para avaliação dos efeitos de inúmeros contaminantes, isso foi confirmado em diversos estudos que avaliaram os efeitos adversos de metais pesados usando a espécie (MARINS, 2018). O *Danio rerio* é considerado um bom indicador de contaminantes por apresentar adaptação e sensibilidade a diferentes condições ambientais. Além disso não demandam de um grande espaço para manejo e criação (MEYERS, 2018).

Segundo Lopes-Ferreira et al., (2021), o uso de zebrafish em pesquisas sobre o meio ambiente vem se fazendo presente a cada ano, o que coopera para o entendimento sobre os poluentes, destacando-se a bioacumulação e a toxicidade. Uma pesquisa feita na base de dados digital PubMed para os termos zebrafish and environmental (zebrafish e meio ambiente) gerou 6.542 artigos, comprovando que desde a primeira publicação de um artigo relacionado ao zebrafish em 1977 esse número só vem aumentando, sendo 1.016 artigos só no ano de 2019 (LOPES-FERREIRA et al., 2021).

2.3 ESPECTROFOMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA

A técnica de espectrometria de absorção atômica por forno de grafite é a mais largamente utilizada para detecção de metais em nível traço ou elevado em amostras de águas para caracterizar possíveis contaminações (SILVA, 2018). Após Kirchhoff e Bunsen descreverem pela primeira vez o processo de absorção emissão de radiação pela queima de átomos na década de 1860 a emissão de óptica de luz permaneceu como foco dos espectroscopistas, no século seguinte Alan Walsh deu início a seus primeiros experimentos observando atentamente que a absorção tinha muitas vantagens sobre a emissão atômica como temperaturas de atomização mais baixas e limites de detecção mais baixos, assim, na década de 1950 (LUVIZON, 2022). Walsh propôs o primeiro modelo de espectrômetro de absorção atômica, e a técnica desde então é pesquisada e refinada para aumentar a sensibilidade, reduzir a interferência e alcançar bons limites de detecção e quantificação (LUVIZON, 2022).

O princípio da absorção atômica por chama e por grafite fundamenta-se na absorção de luz pelos metais em seu estado fundamental em um comprimento de onda específico de acordo com a quantidade de luz absorvida pelos íons (NEGRÃO; OLIVEIRA; BUTIK, 2021). Ao início das análises é necessário proceder à digestão das amostras para destruir a matéria orgânica dando relevância para os metais e calibração do aparelho em uma curva de calibração

baseada na lei de Beer indicando uma linearidade entre a absorvência e a concentração do analito, seguindo em muitos casos desvios para leitura correta das amostras (SILVA, 2022).

2.4 O ENSINO DE QUÍMICA E ECOTOXICOLOGIA

A toxicologia vem da palavra veneno derivada do grego toxikon e logos que significa estudo (SPRADA, 2018). A pesquisa toxicológica tem como alvo a realização de testes de toxicidade o qual permite avaliar feitos adversos de substâncias químicas e desenvolver padrões para assegurar a segurança do meio ambiente e do homem (OGA; CAMARGO; BATISTUZZO, 2014). No âmbito ambiental a toxicologia permite investigar o impacto adverso de poluentes químicos descartados no meio ambiente afetando organismos biológicos que ali vivem (AMÉ *et al.*, 2021).

A ecotoxicologia ganhou destaque a partir dos anos 60, trata-se de uma área dentro da toxicologia ambiental especializada nos impactos adversos de substâncias tóxicas ao nível molecular até o ecológico em um determinado grupo-alvo num ecossistema por meio de testes ecotoxicológicos (AMÉ *et al.*, 2021). A educação ambiental pode atribuir aos discentes a compreensão de problemáticas ambientais em escalas locais e globais (GOMES; SANTOS; RODRIGUES, 2018). A química está diretamente ligada aos nossos processos cotidianos para diversos fins, porém, apesar de avanços nesta área, o uso destas substâncias químicas pode atribuir riscos para a humanidade (MONTAGNER *et al.*, 2019).

A ecotoxicologia é considerada uma ciência interdisciplinar correlacionando conhecimentos das áreas de ecologia, biologia, química, bioquímica, fisiologia, estatística, oceanografia, limnologia, entre outras (RAUPP; FRANSCISCATO; LIMA, 2019). Ela pode ser atribuída ao ensino de química incentivando o pensamento crítico dos alunos por abordar conteúdos relevantes que estão diretamente ligados ao cotidiano do educando, as abordagens destas temáticas contribuem para a desmistificação da química dentro da sala de aula, principalmente por estudantes que tendem a ter dificuldade em aprender determinados conteúdos por serem de definições abstratas (COSTA; QUADRA; SOUZA, 2022). Além de incentivar subsidiar discussões voltadas para a prática da educação ambiental e cooperar para a formação de cidadãos críticos (ARAUJO; DOMINGOS, 2018).

3 PROBLEMA

Será que as espécies locais e a água vem sendo contaminada pela presença de metais que são considerados não essenciais ao longo da bacia do rio Amapari e como podemos correlacionar a toxicologia no ensino de química como uma ciência interdisciplinar?

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a presença de contaminantes ambientais na água do Rio Amapari usando o *Danio rerio* (zebrafish) para analisar possíveis feitos mutagênicos e genotóxicos e visar uma proposta didática para o ensino de química com a toxicologia.

4.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Determinar a concentração de zinco (Zn), cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), cromo (Cr) e cádmio (Cd) na água do rio Amapari;
- Realizar bioensaios com *Danio rerio* e avaliar os efeitos mutagênicos e genotóxicos provocado pelos contaminantes ambientais presentes na água do rio Amapari;
- Compreender a toxicologia no ensino de química como uma disciplina indisciplinar;
- Elaborar proposta didática com experimento para detecção de metais na água como possibilidade de correlacionar a toxicologia com o ensino de química.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 ÁREA DE ESTUDO

O rio Amapari tem sua nascente no Parque Nacional Montanhas do Tumucumaque (PARNA Tumucumaque) e percorre sentido noroeste-centro do estado do Amapá e desaguando no trecho médio do rio Araguari as proximidades do município de Porto Grande (CUNHA *et al.*, 2014). Além disso, percorre os territórios dos municípios de Serra do Navio e Pedra Branca do Amapari entre sua nascente e foz (CORRÊA, 2018). É o principal afluente que compõe a bacia hidrográfica do rio Araguari e representa grande importância para a hidrografia da região. Isso é evidenciado pelo seu grande volume de água, que contribui com cerca de 1/3 da vazão do rio Araguari (CUNHA *et al.*, 2014).

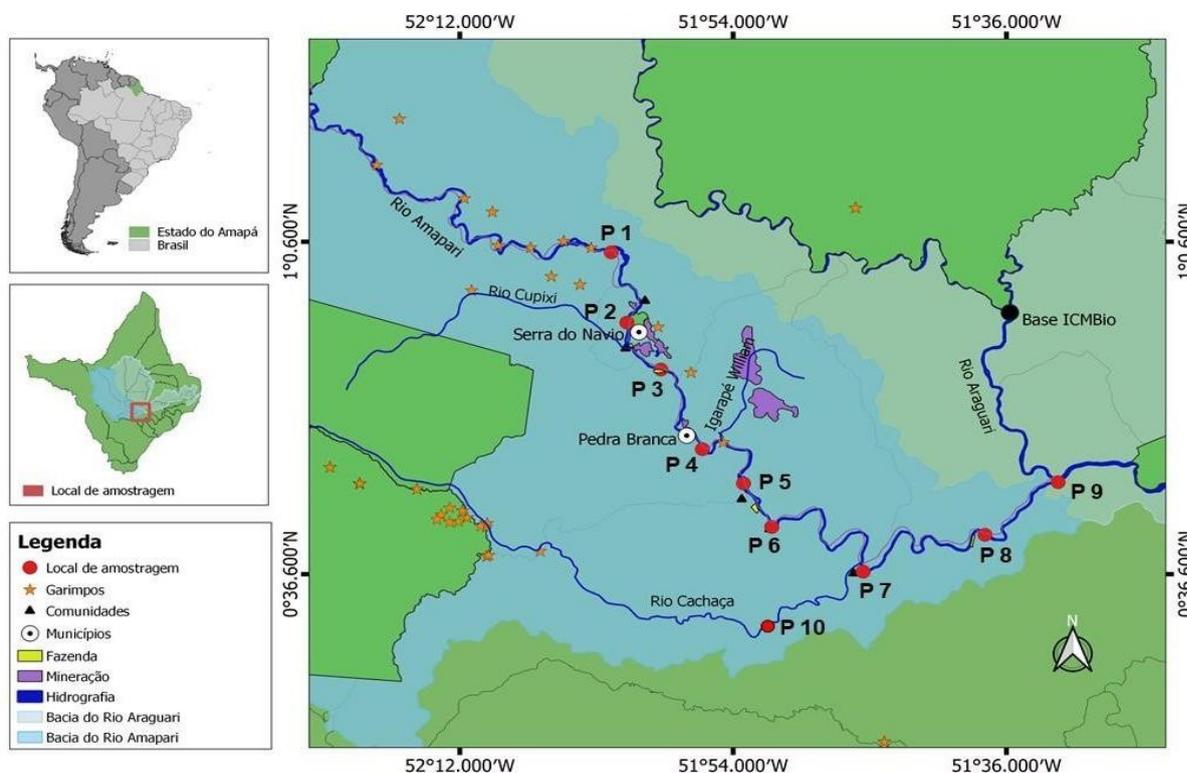
As atividades antrópicas são atuantes ao longo percurso do rio Amapari, e essas ações de mineradoras exercidas pelas empresas do setor e pequenos garimpos é apontada como principal responsável pelos impactos ambientais se dado ao rio Amapari, causando remoção e alteração da cobertura vegetal, exposição do solo e posteriormente lixiviação, lançamento

de resíduos sólidos e líquidos e assoreamento do rio (LIMA, 2021). Em seu médio trecho há a presença de fazendas que compõem as atividades de pecuária e agricultura praticada pelos moradores locais das regiões pelo sistema de roças a jusante do rio, conseqüentemente nesta prática uma parte da margem é desmatada e queimada expondo totalmente o solo e deixando susceptível a erosão para o interior do rio (CUNHA, 2009).

5.2 COLETA E ANÁLISE DA ÁGUA

Coletou-se amostras em onze pontos amostrais da bacia do rio Amapari (Figura 1) em fevereiro de 2022. Foram coletadas 11 amostras de 20 L para o bioensaio e 11 amostras de 1 L para análise de metais na água. Para a coleta de todas as amostras foram utilizados recipientes de polietileno. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em gelo e transportadas até o laboratório. No laboratório foi retirada uma alíquota de 10 ml de cada amostra, foram adicionados 2mL de ácido nítrico P.A e em seguida a amostra foi aquecida a 100 °C utilizando uma chapa aquecedora durante meia hora. Após atingir a temperatura ambiente, foram adicionados 4 mL de água-régia (HNO₃ e HCl, na proporção de 1:3 em volume), a fim de obter uma solução final de 10 mL de amostra (FERREIRA et al., 2010). As amostras filtradas foram analisadas no Espectrofotômetro de Absorção Atômica (Shimadzu, modelo AA7000) com atomização em chama.

FIGURA 1. Localização dos pontos amostrais ao longo do rio Amapari, estado do Amapá, Brasil.



5.3 BIOENSAIO

Os animais foram fornecidos pela empresa Psicultura Power Fish localizada em Itaguaí- RJ, Brasil. Para realização do bioensaio as amostras de água de 20 L coletadas em cada ponto amostral foi adicionada em aquário, sendo um aquário para cada ponto amostral. Foram distribuídos 9 animais adultos por aquário. Ao todo 108 indivíduos entre machos e fêmeas com peso variando entre 0,3g a 0,5g, medindo entre 2,5cm e 3cm. Além dos 11 aquários com a água coletada em cada ponto amostral e os *D. rerio*, também houve mais um aquário com o grupo controle que contou com água do sistema do biotério e nove exemplares de *D. rerio*. Os animais foram mantidos em jejum por 24 horas a partir da exposição a água para manter constante sua exposição aos contaminantes. Durante o período do bioensaio (96 horas) os indivíduos foram alimentados duas vezes ao dia com ração comercial nutritiva.

5.4 ANÁLISE DE MUTAGENICIDADE E GENOTOXIDADE

Para a obtenção das amostras sanguíneas os animais foram anestesiados em água fria com variação de temperatura entre 8 °C e 12 °C. Com o auxílio de seringas heparinizadas de 1mL foi feita uma pulsão direta no coração de cada *D. rerio*. Em seguida, foram preparadas distensões sanguíneas em lâminas histológicas limpas e codificadas. Para cada exemplar foram montadas duas lâminas, cada qual com uma gota de sangue, de modo a formar uma camada fina. Os esfregaços foram secos ao ar durante 15 min, fixados em álcool absoluto durante 10 min e em seguida, corados com Panótico Rápido (SCHMID, 1976; JESUS et al., 2016).

Para a análise de micronúcleos (MCN), anormalidades nucleares (AN) analisou-se 2000 células sanguíneas por lâmina, resultando em um total de 4000 células com o auxílio de um microscópio óptico com ampliação de 1000x. Os MCN foram identificados seguindo o critério proposto por Fenech et al., (2003) e para as AN foi empregue a classificação proposta por Carrasco et al., (1990).

5.5 ANÁLISE HISTOPATOLÓGICA DAS BRÂNQUIAS, FÍGADO E RINS

Para análise histopatológica das brânquias, fígado e rins dos *D. rerio*, os animais foram fixados em solução de Bouin por 24 hora, descalcificados em solução de EDTA a 7% (Ácido etilenomediamina tetraacético) por 48 horas. As amostras foram desidratadas em séries de álcoois (70,80, 90 e 100%), diafinizados em xilol e incluídos em parafina (SOUZA, 2015). As amostras foram seccionadas a 5 µm usando um micrótomo (Brand Rotary Microtome Cut 6062, Slee Medical, Alemanha) e a análise histopatológica foi realizada após as seções de tecido serem coradas com hematoxilina e eosina, conforme descrito por Souza et al., (2016). As

imagens foram analisadas em Microscópio Olympus BX41-Micronal e fotografadas com câmera MDCE-5C USB 2.0 (digital).

O Índice de Alterações Histopatológicas (IAH) foi calculado a partir dos níveis de alterações teciduais observadas nas brânquias, fígado e rins. As alterações foram classificadas em níveis I, II e III, e o valor do IAH indica se o órgão está saudável (0 a 10), com alterações de leves a moderadas (11 a 20), com alterações moderadas a graves (21 e 50), ou contendo alterações irreversíveis (> 100) (CARVALHO et al., 2018; POLEKSÍĆ; MITROVIĆ-TUTUNDŽIĆ, 1994). Assim, os índices serão calculados de acordo com a seguinte equação:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^{na} ai + 10 \sum_{i=1}^{nb} bi + 10^2 \sum_{i=1}^{nc} ci}{N}$$

Onde: a: mudanças do primeiro estágio; b: alterações do segundo estágio; c: alterações do terceiro estágio; na: número de alterações consideradas como primeira etapa; nb: número de alterações consideradas como segunda etapa; nc: número de alterações consideradas como terceira etapa; N: número de peixes analisados por tratamento.

5.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram apresentados por meio de médias e erros padrões associados e comparados com os valores de referência. A Análise de Variância foi utilizada para avaliar se tem diferenças nas concentrações dos metais entre os pontos de amostragens. Os testes foram realizados usando a plataforma Excel. Os valores obtidos a partir da análise dos metais na água serão comparados com os valores do CONAMA (357/2005) e WHO (2017) para verificar se ultrapassaram os limites de tolerância recomendado pelas organizações.

Os resultados obtidos a partir da histologia foram expressos em média \pm Desvio Padrão (SD) da média de cada grupo experimental. Foi aplicado o teste ANOVA, seguido do teste de Tukey. O nível de significância considerado será de 5% ($p < 0.05$). O software empregado será o Graph Pad Prisma[®] (versão 5.03).

5.7 ELABORAÇÃO DA PROPOSTA DIDÁTICA

A proposta didática apresentada neste trabalho será estruturada segundo os três momentos pedagógicos de Delizoicov; Angotti, (1990), que são:

- **Problematização inicial:** seu objetivo é provocar nos alunos a necessidade de aquisição de novos conhecimentos. O professor deve trazer situações do cotidiano do aluno que estejam presentes saberes científicos para que haja um pensamento crítico a partir das situações propostas pelo professor (GEHLEN; MALDANER; DELIZOICOV, 2012).

- **Organização do conhecimento:** é o momento de esclarecer aos conceitos selecionados como necessário para que os alunos possam compreender as situações abordadas na problematização inicial (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990).
- **Aplicação do conhecimento:** deve-se abordar o conhecimento que foi adquirido pelo aluno a fim de proporcionar a este uma nova interpretação do problema inicial empregando seus conhecimentos científicos articulando sobre as relações entre estes conhecimentos e outras situações problemáticas (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014).

6 RESULTADOS

6.1 METAIS PESADOS

Na análise da concentração de contaminantes inorgânicos nas amostras, o Cd foi detectado somente no P2, P7 e P11, obtendo uma média máxima de 0,018 mg/L e mínima de 0,008 mg/L, ultrapassando os limites de tolerância recomendado pelo CONAMA (357/2005) e WHO (2017). O metal Cr não foi identificado apenas no P4, P7 e P11, nos demais pontos apresentou uma média máxima de 0,048 mg/L e mínima de 0,024 mg/L, não excedendo os limites recomendado pelas organizações (Tabela 1). De acordo com a detecção de metais o Cu não esteve presente no P5 e P9, sendo observado em uma concentração média máxima de 0,024 mg/L e mínima de 0,018 mg/L nos demais pontos, transcendendo os limites de acordo com o CONAMA (357/2005). Porém, estando dentro da normalidade de acordo com o WHO (2017) que possui uma concentração limite determinada de 2,0 mg/L.

O Fe foi observado em todos os pontos destacando-se com o maior índice de concentrações, apresentando uma média máxima de 0,701 mg/L ultrapassando a concentração estimada pela organização CONAMA (357/2005). Entretanto, o Fe não ultrapassou o limite de concentração no P11, onde apresentou uma média mínima de 0,005 mg/L (Tabela 1). O Mn mostrou-se presente em todos os pontos, destacando-se por apresentar altas concentrações de acordo com as análises. O Mn apresentou uma média máxima de 0,273 mg/L e mínima de 0,134 mg/L, superando as concentrações estabelecida pelo CONAMA (357/2005) e WHO (2017). O Zn obteve baixas concentrações em todos os pontos de coleta, apresentando uma média máxima de 0,140 mg/L e mínima de 0,037 mg/L. Quando comparamos os níveis encontrados de Zn na água aos limites de tolerância estabelecido pelo CONAMA (357/2005) de 0,180 mg/L este esteve dentro dos limites estabelecidos pela legislação (Tabela 1).

TABELA 1. Resultados das análises de metais no rio Amapari.

Local	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)
P1	-	0,048±0,006	0,024±0,007	0,701±0,017	0,273±0,003	0,134±0,012
P2	0,018±0,00	0,025±0,000	0,019±0,001	0,607±0,016	0,187±0,000	0,037±0,012
P3	-	0,030±0,005	0,018±0,000	0,516±0,017	0,163±0,002	0,071±0,001
P4	-	-	0,020±0,002	0,401±0,004	0,169±0,001	0,118±0,011
P5	-	0,024±0,004	-	0,377±0,005	0,212±0,002	0,100±0,005
P6	-	0,034±0,007	0,018±0,001	0,393±0,011	0,160±0,000	0,053±0,020
P7	0,008±0,006	-	0,019±0,001	0,445±0,008	0,162±0,001	0,074±0,010
P8	-	0,026±0,001	0,019±0,000	0,342±0,011	0,134±0,001	0,140±0,008
P9	-	0,024±0,003	-	0,352±0,008	0,134±0,002	0,111±0,013
P10	-	0,030±0,003	0,019±0,001	0,358±0,015	0,139±0,001	0,076±0,009
P11	0,017±0,003	-	0,018±0,001	0,005±0,005	0,155±0,001	0,068±0,008
CONAMA (357/2005)	0,001	0,050	0,009	0,300	0,025	0,180
WHO (2017)	0,003	0,050	2,0	-	0,070	-

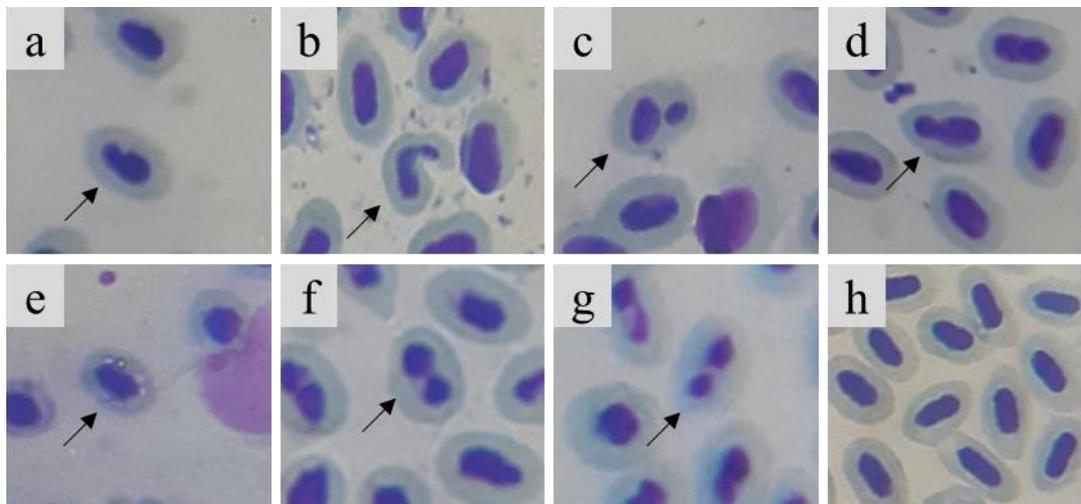
Resultados representados pela média e desvio padrão em mg/L. Valores destacados em cinza ultrapassaram os limites recomendados pelo CONAMA (357/2005) e WHO (2017).

6.2 MUTAGENICIDADE E GENOTOXIDADE

Foram encontradas durante as análises das lâminas sanguíneas um total absoluto de 276 alterações nucleares (NA) entre invaginação nuclear, brotamento nuclear, invaginação do citoplasma, citoplasma vacuolizado, célula binucleada, micronúcleo, ponte nuclear e núcleo lobulado. O citoplasma vacuolizado foi observado com mais frequência durante o período das análises com um percentual de 52% seguido com um percentual que não ultrapassou 10% das alterações totais. O P1 se destacou por apresentar os maiores valores percentuais de alterações (51%), dando ênfase para o micronúcleo com 68% das alterações somente neste ponto de tratamento, seguido pelo brotamento nuclear (67%), invaginação nuclear e citoplasma vacuolizado (50%) e a ponte nuclear com o menor número de NA (41%).

As principais alterações encontradas foram micronúcleo, ponte nuclear, invaginação nuclear e citoplasma vacuolizado. Esta última a mais frequente (52%). Além disso, nas lâminas analisadas foram observadas ainda as seguintes alterações, núcleo lobulado, célula binucleada e brotamento nuclear que foram identificadas em pequenas quantidades na contagem das células. A partir da análise das lâminas sanguíneas do grupo controle não foram apresentadas NA, se mostrando dentro de sua normalidade para a espécie (Figura 2).

FIGURA 2. Fotografias de diferentes anormalidades nucleares em células sanguíneas de *Danio rerio* de diferentes grupos do bioensaio.

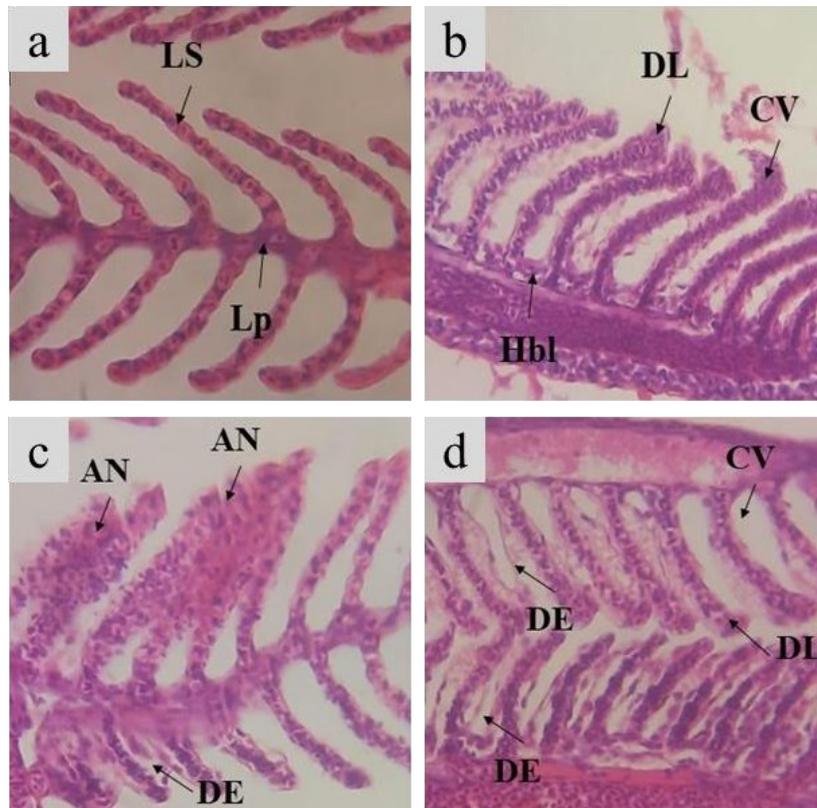


As setas indicam a presença das seguintes alterações micronucleares: invaginação nuclear (a), núcleo lobulado (b), célula micronucleada (c), brotamento nuclear (d), núcleo vacuolizado (e), ponte nuclear (f), célula binucleada (g), e controle (h) para comparação dos resultados. Fonte: Acervo pessoal.

6.3 HISTOPATOLOGIA DAS BRÂNQUIAS, FÍGADO E RINS

Nesse estudo, foi observado alterações no tecido branquial em todos os grupos de tratamento, exceto no controle. As alterações mais significativas e que podem alterar o funcionamento normal do órgão, foram observados nos animais expostos ao P7 (16.0 ± 6.9), P8 (16.0 ± 2.6) e P9 (14.6 ± 4.1). As alterações de estágio I mais frequentes foram: o deslocamento das células epiteliais, a hipertrofia do epitélio respiratório, hiperplasia das células epiteliais, dilatação dos capilares e congestão vascular. As alterações de nível II mais observadas foram a presença de degeneração celular e aneurisma lamelar (Figura 3).

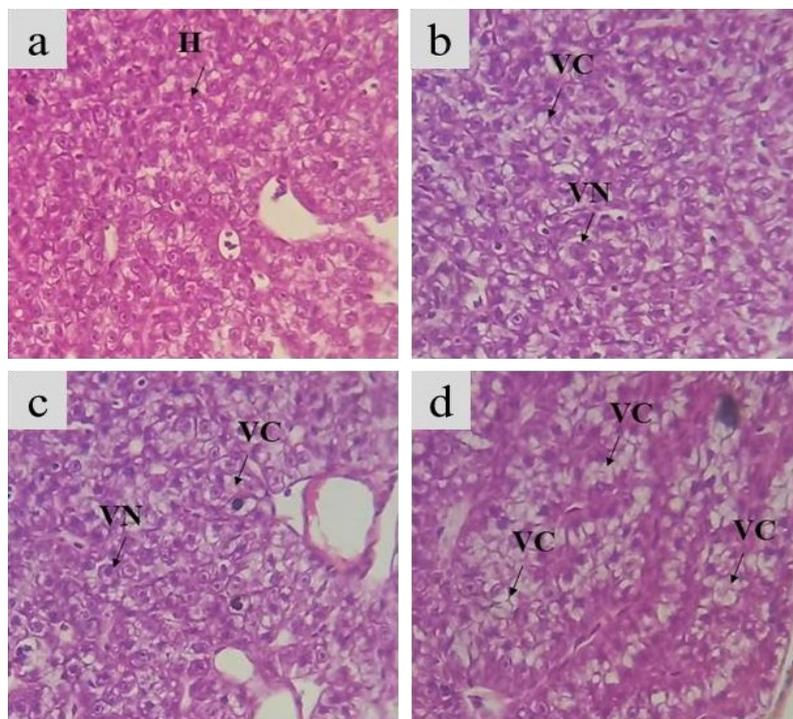
FIGURA 3. Filamento branquial de zebrafish exposto a água do rio Amapari.



Em A, observa-se tecido branquial normal com lamela primária (Lp) e lamela secundária (LS); Em B, observa-se hiperplasia das células epiteliais na base das lamelas (Hbl), dilatação dos capilares (DC) e congestão vascular (CV); Em C, observa-se o deslocamento ou elevação do epitélio (DE) e Aneurisma (AN); Em D, observa-se dilatação dos capilares (DC) deslocamento ou elevação do epitélio (DE) e congestão vascular (CV). (H&E 40X).

No fígado, em todos os grupos de tratamento foram observados apenas alterações leves, o IAH foi inferior a 10 que classifica esse órgão como normal, pois as alterações observadas não comprometem seu funcionamento normal. As únicas alterações registradas foram de nível I, como a intensa vacuolização citoplasmática e a vacuolização nuclear (Figura 4).

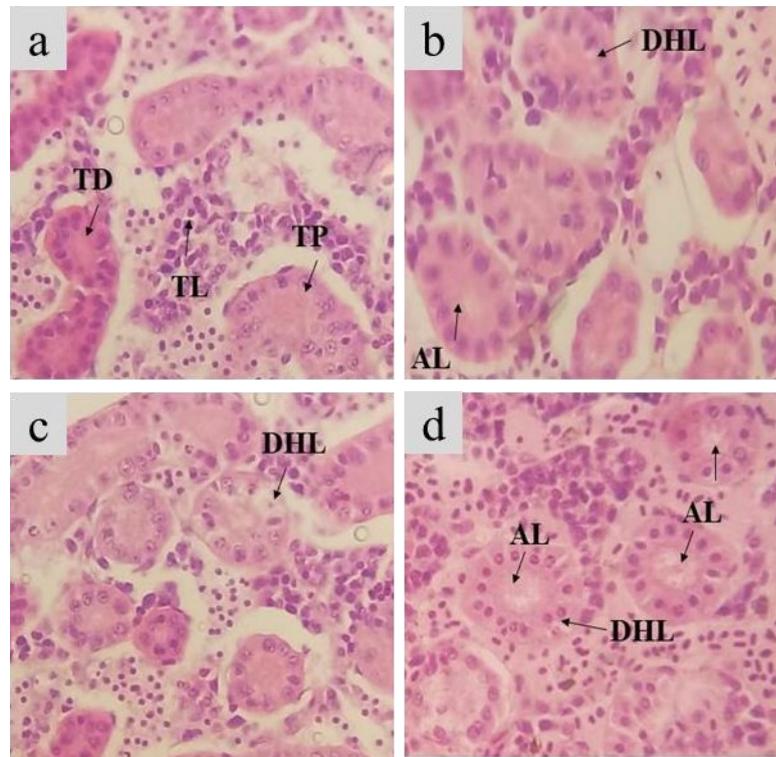
FIGURA 4. Tecido hepático de zebrafish exposto a água do rio Amapari.



Em A, observa-se tecido normal com hepatócitos (H); Em B, observa-se vacuolização citoplasmática (VC) e vacuolização nuclear (VN); Em C, observa-se vacuolização citoplasmática (VC) e vacuolização nuclear (VN); Em D, observa-se vacuolização citoplasmática (VC). (H&E 40X).

De forma similar, nos rins também foram observadas apenas alterações leves, o IAH calculado foi inferior a 10 que classifica esse órgão como normal, pois as alterações registradas não comprometem o funcionamento normal do órgão. As principais alterações observadas foram a degeneração hialina tubular leve e aumento do lúmen tubular (Figura 5).

FIGURA 5. Tecido renal de zebrafish exposto a água do rio Amapari



Em A, observa-se tecido normal com túbulo distal (TD), túbulo proximal (TP) e tecido linfoide (TL); Em B, observa-se a degeneração hialina tubular leve (DHL); Em C, observa-se a degeneração hialina tubular leve (DHL); Em D, observa-se a degeneração hialina tubular leve (DHL) e aumento do lúmen tubular (AL). (H&E 40X).

7 DISCUSSÃO

7.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS COM A PESQUISA

TOXICOLÓGICA

Neste estudo o Cd, Cu, Fe e Mn se destacaram por ultrapassarem os limites de tolerância recomendado pelo CONAMA (357/2005) e WHO (2017) na maioria dos pontos onde formaram identificados. Em hipótese essa alta concentração de metais no rio Amapari se relaciona com a atividade de mineração que são atuantes no rio ou que de empresas que já atuaram na região e o garimpo ilegal. Este resultado indica que a água do trecho estudado do rio Amapari não é segura para os seres vivos e para o consumo humano. Angheben et al (2019), afirma que a alta concentração de metais na água está diretamente ligada com a poluição por resíduos industriais.

Para compreensão da presença de metais na bacia do rio Amapari devemos considerar o fato deste ser um importante afluente do rio Araguari. Em seu estudo Viana et al (2019) e Viana et al (2021) afirmam que mesmo que as concentrações de Cd observadas no rio Araguari sejam relativamente baixas podem causar sérias consequências para a biota aquática e para as

comunidades que usam dos recursos dos rios para a sua sobrevivência e subsistência (VIANA et al., 2019; VIANA et al., 2021).

Os peixes são uma fonte alimentar e de renda para a maioria das pessoas que vivem nas comunidades que perpassam pelo rio Amapari. Podemos ainda afirmar que o peixe é considerado a principal via de contaminação por metais para os seres humanos por se acumularem nos organismos destes animais. O consumo de peixes contaminados pode desencadear diversas doenças como problemas nos rins e disfunções cerebrais, consequências essas que se assemelham para os organismos aquáticos afetando a qualidade de vida da espécie. A partir da metodologia de análise de mutagenicidade e genotoxicidade foram encontradas diversas alterações nucleares se destacando o micronúcleo, ponte nuclear, invaginação nuclear e citoplasma vacuolizado. Lassen (2020) afirma em seu estudo que alterações genotóxicas encontradas em células sanguíneas de peixes indicam um estado fisiológico e bioquímico comprometido. Por serem consideradas mudanças cruciais no núcleo, quando há essas divisões celulares durante o período do bioensaio indica que o núcleo tenta reorganizar seu genoma apesar dos erros encontrados. A presença de alterações nucleares na análise das lâminas sanguíneas é oriunda de fragmentos cromossômicos derivados de quebras que não são acrescentadas ao núcleo principal das células filhas ao fim da mitose provenientes de danos introduzidos nas células parentais (GALVAN, 2011).

Na análise histopatológica das brânquias, fígado e rins, a alteração mais frequente foi a vacuolização citoplasmática. Segundo Sá (1998) essa alteração pode ser devido a diminuição da concentração do glicogênio no fígado e aumento da quantidade de lipídios e que estes, por sua vez, podem se combinar com agentes tóxicos, os quais se acumulariam nos hepatócitos.

De acordo com Souza et al., (2016), as brânquias são consideradas como um órgão de dominância na absorção de substâncias presentes na água mesmo as substâncias tóxicas. Podemos afirmar que houve uma absorção de metais pesados a partir das brânquias do *D. rerio* de acordo com as diferentes alterações encontradas em seu rim e fígado.

Souza et al., (2019) afirmam que substâncias tóxicas presentes na água podem provocar alterações histopatológicas nas brânquias. Como foi observado nesse estudo, destacando-se a elevação epitelial por ser a alteração mais frequente observada no tecido branquial. Nos animais em que se observou a dilatação dos capilares das lamelas secundárias, foi também observado a congestão vascular que segundo Souza et al., (2016) é caracterizado pela estagnação do sangue. Lassen (2020) afirma que quando ocorre a congestão vascular severa condição, em que muitos eritrócitos são observados no capilar, pode ocorrer um aneurisma. Esta situação foi observada

em *D. rerio* dos grupos de tratamento dos pontos amostrais P7, P8 e P9, onde aneurismas ocorreram.

A exposição do *D. rerio* a substâncias presentes na água pode desencadear diversas alterações histopatológicas (BRADFORD et al., 2022; SOUZA et al., 2016, 2019). Em nosso estudo houve a presença da intensa vacuolização citoplasmática e a vacuolização nuclear. Freitas et al., (2018) afirma que essas alterações no tecido hepático podem afetar conseqüentemente as suas funções e danificar o metabolismo vital do organismo dos indivíduos comprometendo a sua qualidade de vida e reprodução. Em nosso estudo houve a presença da intensa vacuolização citoplasmática e a vacuolização nuclear.

Nesse estudo, as alterações renais foram leves e observou-se a prevalência de alterações tubulares, como a degeneração hialina tubular severa. (BORGES, 2018) grande parte das alterações tubulares observada nos rins de zebrafish são provocados por distúrbios metabólicos causados por agentes tóxicos o que pode ter ocorrido em nosso estudo também.

7.2 POSSIBILIDADE DE RELACIONAR A TOXICOLOGIA COM O ENSINO DE QUÍMICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA

A interdisciplinaridade é a relação entre duas ou mais disciplinas com o objetivo de correlacionar diversos conteúdos ou áreas para promover uma interação entre o aluno e o cotidiano (FORTES, 2009). Dessa forma, permitindo alcançar novas vias de aprendizagem recriando os conceitos teóricos na prática com os alunos, tendo auxílio indispensável da contextualização (PAVIANI, 2008). A sua presença no ambiente escolar é indispensável para desenvolver recursos inovadores e dinâmicos para o ensino além da sala de aula, tendo em vista que o ambiente escolar é considerado ideal para aprender sobre a boa conduta social (BONATTO et al., 2012).

Para Coelho e Marques (2007) para eficaz contextualização dos conteúdos químicos em sala de aula é necessário considerar como ferramenta Temas Químicos Sociais (TQS) para desenvolver a cidadania crítica aos alunos, como saber se posicionar e tomar decisões dentro da sociedade contribuindo para a organização do ensino-aprendizagem. Saúde, alimentação, minerais e hídricos, poluição e doenças estão entre os principais temas discutidos na sociedade havendo a correlação entre diversos conceitos químicos. A partir do uso dessa ferramenta os alunos irão construir seus conhecimentos reconhecendo as TQS como parte do seu cotidiano (VOGEL; MARI, 2014).

Seguindo tais argumentações, o uso de um bom e eficaz instrumento pedagógico, didático e prático, portanto uma proposta didática é um método eficaz para os alunos

compreenderem conteúdos de forma com que ele possa notar sua similaridade com a vida. A proposta elaborada durante a produção deste trabalho (APÊNDICES) tem como objetivo correlacionar a toxicologia com o ensino de química, a fim de trazer questões ambientais para serem discutidas dentro da sala de aula. O contato do aluno com pautas ambientais pode favorecer o aprendizado de boas ações na sociedade principalmente sobre o perigo e as consequências da contaminação por metais pesados (CRUZ, 2017). Essa conscientização sobre a importância da pesquisa toxicológica deve ser validada como uma forma de desmistificar o ensino da química na educação básica através de práticas e demonstrações experimentais que intuem ao diálogo entre professor-aluno e aluno-aluno (MALDANER; ZANON, 2004).

8 CONCLUSÃO

Em relação a análise de metais na água concluímos que o Fe e o Mn foram identificados em todos os pontos e apresentaram as maiores médias de concentrações comparado com os outros metais, ultrapassando a concentração determinada pelo CONAMA (357/2005) e WHO(2017). A presença destes metais na água do rio Amapari são em hipótese oriundas de atividades de mineração realizadas durante anos na região e do garimpo ilegal. A alta concentração de metais presentes no percurso do rio Amapari consequentemente trazem riscos à saúde humana a partir do consumo de peixes contaminados da região.

Os resultados das análises de mutagenicidade, genotoxicidade e histopatológica no *D. rerio* confirma a presença de contaminantes ambientais nos pontos de amostragem. Tendo em vista que esse tipo de alterações é proveniente de substâncias tóxicas presentes na água. Diante disto, essas alterações são prejudiciais por desencadear doenças hepáticas e nos rins afetando a qualidade de vida desses organismos, e possivelmente, em outros peixes que habitam esse rio.

Dessa forma, é necessário considerar o decaimento da qualidade da água do rio Amapari e o risco que isso representa para a biota aquática, principalmente para as espécies que são mais sensíveis. Além disso, a proposta de ensino da toxicologia aqui apresentada nos remete a importância da educação ambiental na escola ainda mais quando se trata da nossa região.

REFERÊNCIAS

- AGUILLAR, C. N.; SOARES, L. Q.; MENDES, F. Q.; CARVALHO, A. M. X. de; NASSER, V. G. Evaluation of heavy metal contents in water in Rio Paranaíba – MG. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 64781–64880, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-064>
- AMÉ, M. V. *et al.* **Principios de Ecotoxicología**. 1. ed. Argentina: EDULP, 2021.
- ARAÚJO, M. I. O.; DOMINGOS, P. Perspectiva teórico-metodológica da educação ambiental na escola. **Pesquisa em Educação Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 182–195, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.18675/2177-580x.vol13.n1.p182-195>
- BIENFANG, P. K.; TRAPIDO-ROSENTHAL, H.; LAWS, E. A. Bioaccumulation/Biomagnifications in Food Chains. *In*: MEYERS, R. A. (org.). **Encyclopedia of Sustainability Science and Technology**. New York: Springer, 2012. v. 1, p. 35–69. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3>
- BONATTO, A.; BARROS, C. R.; GEMELI, R. A.; LOPES, T. B.; FRISON, M. D. **Interdisciplinaridade no ambiente escolar**. [S. l.: s. n.]
- BORGES, R. S. **Estudo da atividade anti-inflamatória de nanoemulsões a base do óleo essencial de Rosmarinus officinalis L.** 2018. Tese (Doutorado em Inovação Farmacêutica) - Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2018. Disponível em: https://www2.unifap.br/ppgdif/files/2017/10/TESE_RAPHAELLE_SOUSA_BORGES_08-06-2018.pdf. Acesso em: 30 nov. 2022.
- BRADFORD, Y. M. *et al.* Zebrafish information network, the knowledgebase for Danio rerio research. **Genetics**, v. 220, n. 4, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/genetics/iyac016>
- BRIFFA, J.; SINAGRA, E.; BLUNDELL, R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. **Heliyon**, v. 6, n. 9, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>
- CAMPANELLI, E. D. **A relação saúde pública-meio ambiente e o biomonitoramento como ferramenta para a avaliação, promoção e conservação da saúde ambiental**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/54837>. Acesso em: 8 fev. 2023.
- CANEDO, A.; ROCHA, T. L. **Zebrafish (Danio rerio) using as model for genotoxicity and DNA repair assessments: Historical review, current status and trends**. [S. l.]: Elsevier B.V., 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144084>
- CARRASCO, K. R.; TLBURY, K. L.; MYERS, M. S. Assessment of the Piscine Micronucleus Test as an in situ Biological indicator of Chemical Contaminant Effects. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 47, n. 11, 1990. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1139/f90-237>

CARVALHO, J. C. T.; KEITA, H.; SANTANA, G. R.; SOUZA, G. C. de; SANTOS, I. V. F. dos; AMADO, J. R. R.; KOUROUMA, A.; PRADA, A. L.; OLIVEIRA CARVALHO, H. de; SILVA, M. L. Effects of *Bothrops alternatus* venom in zebrafish: a histopathological study. **Inflammopharmacology**, v. 26, n. 1, p. 273–284, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10787-017-0362-z>

COELHO, J. C.; MARQUES, C. A. M. Contribuições freireanas para a contextualização no ensino de Química. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, 2007.

CORRÊA, K. M. A. **A formação do complexo hidrelétrico no Rio Araguari: impactos no ordenamento territorial de Ferreira Gomes, Amapá**. 2018. Dissertação Mestrado - Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unifap.br:80/jspui/handle/123456789/276>. Acesso em: 24 abr. 2024.

COSTA, G. B. **Avaliação dos efeitos dos metais pesados cádmio, chumbo, cobre e manganês, na morfologia e na fisiologia da macroalga *Sargassum cymosum***. 2015. Dissertação (Mestrado em Biologia de Fungos, Algas e Plantas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/95817>. Acesso em: 8 ago. 2022.

COSTA, M. da S.; VIANA, L. F.; CARDOSO, C. A. L.; ISACKSSON, E. D. G. S.; SILVA, J. C.; FLORENTINO, A. C. Landscape composition and inorganic contaminants in water and muscle tissue of *Plagioscion squamosissimus* in the Araguari River (Amazon, Brazil). **Environmental Research**, v. 208, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112691>

COSTA, R. dos S.; QUADRA, G. R.; SOUZA, H. de O. Chemistry, Ecotoxicology, and School: Interdisciplinary Proposals. **Ecotoxicology and Environmental Contamination**, v. 17, n. 1, p. 22–32, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5132/eec.2022.01.02>

CRUZ, R. P. da. **Investigando o meio ambiente através da interdisciplinaridade**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2017.

CUNHA, A. C. da. **Uso do sistema de modelagem. Qual é para o estudo de impacto ambiental na qualidade da água causado pela barragem e cidades ribeirinhas no Alto e Médio rio Araguari- Amapá**. Macapá: [s. n.], 2009. Disponível em: <https://www.bionorte.org.br/bionorte/ppg-numeros-producao.html?idp=187060>. Acesso em: 10 ago. 2024.

CUNHA, A. C. da *et al.* Extreme precipitation-streamflow event in the river araguari basin, amapá/brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 95–110, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-778620130051>

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P. **Metodologia do ensino de ciências**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1990.

FENECH, M.; CHANG, W. P.; KIRSCH-VOLDERS, M.; HOLLAND, N.; BONASSI, S.; ZEIGER, E. HUMN project: detailed description of the scoring criteria for the cytokinesis-block micronucleus assay using isolated human lymphocyte cultures. **Mutation Research**, v. 534, p. 65–75, 2003. Disponível em: <http://HUMN.org>

FORTES, C. C. Interdisciplinaridade: origem, conceito e valor. **Revista acadêmica Senac on-line**, Santa Maria, 2009.

FREITAS, J. dos S.; LACERDA, E. M. da C. B.; MARTINS, I. C. V. da S.; RODRIGUES JUNIOR, D.; BONCI, D. M. O.; CORTES, M. I. T.; CORVELO, T. C. O.; VENTURA, D. F.; SILVEIRA, L. C. de L.; PINHEIRO, M. da C. N.; SOUZA, G. da S. Cross-sectional study to assess the association of color vision with mercury hair concentration in children from Brazilian Amazonian riverine communities. **NeuroToxicology**, v. 65, p. 60–67, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2018.02.006>

FUKUSHIMA, H.; BAILONE, R. L.; BAUMGARTNER, I.; BORRA, R. C.; CORREA, T.; DE AGUIAR, L. K.; JANKE, H.; ROÇA, R.; SETTI, P. G. Potenciais usos do modelo animal Zebrafish *Danio rerio* em pesquisas na Medicina Veterinária. **Revista de Educação Continuada em Medicina Veterinária e Zootecnia do CRMV-SP**, v. 18, n. 1, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.36440/recmvz.v18i1.38049>

GALVAN, G. L. **Avaliação genotóxica de efluentes químicos de laboratórios de instituição de ensino e pesquisa utilizando como bioindicador o peixe *Astyanax altiparanae* (Characidae)**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1884/25590>. Acesso em: 12 nov. 2022.

GEHLEN, S. T.; MALDANER, O. A.; DELIZOICOV, D. Momentos pedagógicos e as etapas da situação de estudo: complementaridades e contribuições para a educação em ciências. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 1, p. 1–22, 2012.

GOMES, B. L. C.; MALATO, A. M. P.; RIBEIRO, I. do N.; SILVA, C. C. F. da; SILVA, E. V. da; SANTANA, D. S.; MARTINS, M. E. L.; LOURINHO, M. C. L.; SANTOS, R. C. dos; MONTEIRO, E. L. Análise temporal da exposição ao mercúrio na população ribeirinha da Amazônia: revisão integrativa. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, Belém, v. 13, n. 5, p. e7172, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.25248/reas.e7172.2021>

GOMES, J.; SANTOS, D.; RODRIGUES, C. Educação ambiental no ensino de Química: a “água” como tema gerador Environmental education in the teaching of Chemistry: “water” as a generative theme. **Rev. Eletrônica Mestr. Educ. Ambient. Rio Grande**, v. 35, n. 2, p. 62–86, 2018.

KAPAH, M.; SACHDEVA, S. Bioremediation Options for Heavy Metal Pollution. **Journal of Health & Pollution**, v. 9, 2019. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.5696%2F2156-9614-9.24.191203>

LASSEN, M. F. M. **Alterações histopatológicas, genotóxicas e estresse oxidativo em peixes submetidos a águas superficiais antropizadas**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2020. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/3973>. Acesso em: 19 out. 2022.

LIMA, D. P. **Avaliação na estrutura de paisagem e níveis de mercúrio na água e peixes do rio Amapari, estado do Amapá**. Macapá: [s. n.], 2021.

LIU, J.; CAO, L.; DOU, S. Trophic transfer, biomagnification and risk assessments of four common heavy metals in the food web of Laizhou Bay, the Bohai Sea. **Science of the Total Environment**, v. 670, p. 508–522, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.140>

LOPES-FERREIRA, M.; FALCÃO, M. A. P.; DISNER, G. R.; LIMA, C. O Modelo Zebrafish e sua Contribuição ao Meio Ambiente. In: **RECURSO ÁGUA - Tecnologias e pesquisas para o uso e a conservação de ecossistemas aquáticos**. [S. l.]: Editora Cubo, 2021. p. 188–219. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/978-65-86819-07-6-07>

LUVIZON, F. **Aplicação de solventes eutéticos profundos para extração de metais em amostras biológicas: uma alternativa ambientalmente amigável para determinação de cádmio e chumbo por espectrometria de absorção atômica com forno de grafite**. 2022. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/234722>. Acesso em: 31 jul. 2022.

MALDANER, O. A.; ZANON, L. B. **Situação de Estudo: uma organização de ensino que extrapola a formação disciplinar em ciências**. 4. ed. Ijuí: Educação em ciências: produção de currículos e formação de professores, 2004. v. 2.

MALIK, L. A.; BASHIR, A.; QUREASHI, A.; PANDITH, A. H. **Detection and removal of heavy metal ions: a review**. [S. l.]: Springer Verlag, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00891-z>

MARINS, K. **Alterações bioquímicas, genotóxicas e comportamentais em peixes-zebra (danio rerio) decorrentes da exposição a metais pesados presentes em águas subterrâneas**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Chapecó, 2018. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=6528261#. Acesso em: 10 out. 2022.

MARQUES, M. B. L.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P. Efeitos ecotoxicológicos de metais aos organismos aquáticos. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 14, n. 4, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.17271/1980082714420181952>

MORAIS, P. A. de. **Poluição hídrica no contexto brasileiro: Uma análise de produções da revista química nova na escola**. 2022. Monografia (Licenciatura em Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/232971>. Acesso em: 8 jan. 2023.

MOSCHEM, J. da C.; GONÇALVES, P. R. Moschem & Gonçalves Impacto Toxicológico de Metais Pesados: Uma Análise de Efeitos Bioquímicos e Celulares Impact of Heavy Metals: An Analysis of Biochemical and Cellular Effects. **Health and Biosciences**, v. 1, n. 2, p. 88, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/healthandbiosciences>. Acesso em: 17 jun. 2022.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro “Física”. **Ciência & Educação**, v. 20, n. 3, 2014. Disponível em: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/1516-73132014000300007>

MUNDURUKU, A. karo *et al.* **Consequências do mercúrio na saúde humana e no meio ambiente.** [S. l.]: Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio - Fundação Oswaldo Cruz, 2021. *E-book*. Disponível em: https://www.epsjv.fiocruz.br/sites/default/files/files/LIVRO_Mercurio_Saude.pdf. Acesso em: 13 set. 2023.

MWALIKENGA, M. K.; VITAL, F. A. C. Perfil de contaminação das águas e peixes por metais pesados e suas consequências para a saúde humana. **Revista Brasileira de Ciências Biomédicas**, Paraíba, p. 8, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.46675/rbcbm.v1i1>

NEGRÃO, G. N.; OLIVEIRA, B. H. M. de; BUTIK, M. Monitoramento ambiental de metais pesados em macrófita aquática pela análise de espectrometria de absorção atômica- ASS na bacia do Rio Cascavel, Guarapuava, PR. 2021. Disponível em: <https://orcid.org/0000-0003-3367-408X>

NUNES, V. de J.; JESUS, T. B. de. Determinação de metais pesados (Mn, Cd, Cr, Cu, Pb) em peixes das espécies *Astyanax bimaculatus*, *Hoplias malabaricus* e *Oreochromis niloticus* presente na Lagoa Salgada – Rio Subaé – Feira de Santana (Bahia). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, 2018.

PIMENTEL, I. M.; GAMA, J. F. **Zebrafish (Danio rerio): Uma história de sucesso como modelo comportamental e bioquímico na ciência moderna.** 2021. Monografia (Bacharelado em Farmácia) - Centro Universitário FG (UniFG), Guanambi, 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/13752>. Acesso em: 20 out. 2022.

POLEKSIĆ, V.; MITROVIĆ-TUTUNDŽIĆ, V. Fish gills as a monitor of sublethal and chronic effects of pollution. *In*: MULLER, R.; LLOYD, R. (org.). **Sublethal and chronic effects of pollutants on freshwater fish**. 17. ed. [S. l.: s. n.]. p. 371.

RAUPP, D. T.; FRANSCISCATO, L.; LIMA, L. de B. Abordando a temática poluição hídrica no Ensino Médio: uma proposta de sequência didática com foco nos contaminantes emergentes para o ensino de funções orgânicas mistas. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.5335/rbecm.v2i2.10015>

SÁ, A. dos S.; OLIVEIRA, A. de L. da P.; COLLETO, P. B. C.; XIMENES, H. C. nery; MALTA, A. P. C. de B.; QUEIROZ, A. T. A.; XAVIER, J. de S.; PAULA, I. A. de; ROCHA, I. de A. da; ALVES, R. de C. **Peso Mortal: A toxicologia dos metais pesados.** [S. l.: s. n.]

SÁ, O. R. de. **Toxicidade do Herbicida Roundup (Glifosato) e do Acaricida Omite (Propargito) nas fases iniciais da ontogenia do bagre, Rhamdia hilarii (Valenciennes, 1840) (Pimelodidae, Siluriformes).** 1998. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1998. Disponível em: https://books.google.com.br/books/about/Toxicidade_do_Herbicida_Roundup_Glifosat.html?id=g_MIGwAACAAJ&redir_esc=y. Acesso em: 3 set. 2022.

OGA, S.; CAMARGO, M. M. de A.; BATISTUZZO, J. A. de O. **Fundamentos de Toxicologia.** 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2014.

SILVA, A. M. **Determinação de cobre em brânquias e fígado de peixes por espectrometria de absorção atômica com chama**. 2018. Monografia (Licenciatura em Química) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2018. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/2436>. Acesso em: 8 nov. 2022.

SILVA, M. dos S. **Determinação de mercúrio total em águas do estado do Ceará por análise direta empregando espectrometria de absorção atômica com amalação e decomposição térmica**. 2022. Monografia (Bacharelado em Química) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/66584>. Acesso em: 10 jun. 2022.

SILVA, T. V.; MACHADO, C. S.; ZAGUI, G. S.; MACHADO, G. P.; MICAS, A. F. D.; SAVAZZI, E. A.; SEGURA-MUÑOZ, S. I. Avaliação toxicológica de ambientes aquáticos: importância da análise em sedimento. **Gaia Scientia**, v. 14, n. 1, 2020. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2020v14n1.50281>

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. Disponível em: <https://doi.org/10.18571/acbm.189>

SOUZA, G. C. de. **Estudo da toxicidade da nanoemulsão de álcool perfílico (NPOH) sobre zebrafish (danio rerio Hamilton, 1822)**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2015. Disponível em: https://www2.unifap.br/ppgcf/files/2015/04/Dissertacao-Final_Gisele-Custodio-de-Souza_02-03-2015.pdf. Acesso em: 4 jun. 2022.

SOUZA, G. C. de; DUARTE, J. L.; FERNANDES, C. P.; MOYADO, A. V.; CARVALHO, J. C. T. Obtainment and Study of the Toxicity of Perillyl Alcohol Nanoemulsion on Zebrafish (Danio rerio). **Journal of Nanomedicine Research**, v. 4, n. 4, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.15406/jnmr.2016.04.00093>

SOUZA, G. C. De; SILVA, I. D. R. Da; VIANA, M. D.; MELO, N. C. De; SÁNCHEZ-ORTIZ, B. L.; OLIVEIRA, M. M. R. De; BARBOSA, W. R.; FERREIRA, I. M.; CARVALHO, J. C. T. Acute toxicity of the hydroethanolic extract of the flowers of acmella oleracea l. in zebrafish (danio rerio): Behavioral and histopathological studies. **Pharmaceuticals**, v. 12, n. 4, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ph12040173>

VIANA, L. F.; CARDOSO, C. A. L.; LIMA-JUNIOR, S. E.; SÚAREZ, Y. R.; FLORENTINO, A. C. 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, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08696-2>

VIANA, L. F.; KUMMROW, F.; CARDOSO, C. A. L.; DE LIMA, N. A.; SOLÓRZANO, J. C. J.; CRISPIM, B. do A.; BARUFATTI, A.; FLORENTINO, A. C. 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, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131451>

VOGEL, M.; MARI, C. F. **O uso de Temas Químicos Sociais como proposta de Ensino de Química**. São Carlos: [s. n.], 2014.

ZHONG, W.; ZHANG, Y.; WU, Z.; YANG, R.; CHEN, X.; YANG, J.; ZHU, L. Health risk assessment of heavy metals in freshwater fish in the central and eastern North China. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 157, p. 343–349, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.048>

APÊNDICES

APÊNDICE A - PROPOSTA DIDÁTICA

I – IDENTIFICAÇÃO	
Disciplina	Química
Conteúdo	Metais pesados e solubilidade
Tema da Aula	Toxicologia
Período letivo	3º bimestre
Série	1ª série - Ensino Médio
Carga horária total	2 horas/aulas -50min/50min

II – OBJETIVO GERAL
- Correlacionar a pesquisa toxicológica com o ensino de química.
III – OBJETIVO ESPECIFICO
- Realizar a demonstração de detecção do metal bário em uma mostra de água através de experimentação e correlacionar aos conteúdos programáticos da disciplina Química; - Promover conscientização sobre a importância da pesquisa toxicológica para a manutenção da vida nos ecossistemas aquáticos. - Instruir os alunos quanto a educação ambiental através da apresentação da Química ambiental e sua importância.

IV - CONTEUDO PROGRAMÁTICO
- Substâncias puras e misturas; - Misturas heterogêneas e homogêneas; - Número de fases de uma mistura; - Número de fases de uma substância pura.

V – METODOLOGIA

A realização da proposta didática dar-se-á por meio de um encontro na escola com a utilização de duas aulas de cinquenta minutos cada, sendo este dividido em três momentos pedagógicos para a conclusão e alcance dos objetivos da proposta.

Primeiro momento: Será entregue aos alunos o Questionário A para levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos sobre a temática da pesquisa. Em seguida será aberto um espaço para discussão de questões iniciais juntamente com os alunos em relação aos metais pesados na água e seus efeitos adversos. As questões propostas serão as seguintes: Você já ouviu falar em contaminação de rios por metais pesados? Se sim, quais são suas principais fontes? Como os metais agem nos organismos? Você já ouviu falar em pesquisa toxicológica? Você consegue identificar a olho nu quando uma água está contaminada? Então será apresentado aos alunos a temática e conteúdo programático da aula. Tempo estimado para este momento é de 15 minutos no máximo.

Segundo momento: De forma expositiva e dialogada, serão apresentados aos alunos conceitos breves sobre os metais pesados e pesquisa toxicológica para a compreensão da temática, assim, respondendo as questões iniciais feitas no primeiro momento dando ênfase nas colocações ditas pelos estudantes. Para desenvolvimento será utilizado slide e Datashow (projektor) para abordagem de tais tópicos: definição de um metal pesado, toxicidade, contaminantes ambientais, pesquisa toxicológica e sua importância para o meio ambiente, consequências da exposição à metais pesados para animais e seres humanos e conceitos de solubilidade. Tempo estimado para este momento é de 50 minutos no máximo.

Terceiro momento: o professor realizara uma atividade experimental para que o alunos em sala de aula observem, sendo este um método para inicio da discussão sobre processos de identificação dos contaminantes ambientais em águas de rios da sua região e os animais modelos atuais que são usados para prever os efeitos nocivos destas substâncias toxicas para os organismos. Ao final será disponibilizado aos alunos novamente o Questionário A para que respondam de acordo com os conhecimentos adquiridos durante a aplicação da proposta didática.

VI - RECURSOS DIDATICOS

- Notebook, Projetor de vídeo, cabo hdmi, pincel para quadro branco.
- 4 Tubetes de 13cm com tampa plástica preta; 2 copos descartáveis; Garrafa pet 250ml contendo a amostra de água; Seringa de 10mL; 2 Colheres descartáveis pequenas; Luvas para agentes Químicos; Cloreto de Bário; Sulfato de Sódio.

VII – AVALIAÇÃO

- Os alunos serão avaliados de acordo com sua participação na aula, entrega dos questionarios respondidos, os quais serão instrumentos para análise comparativa para diagnosticar se houve aprendizagem e se os objetivos propostos foram alcançados.

VIII – REFERÊNCIAS

- CANTO, E.L.; PERUZZO, F.M. A química na abordagem do cotidiano: Química geral e inorgânica. 3ª ed. São Paulo: Moderna, 2003.
- FELTRE, R. Química: Química geral. 6ª ed. São Paulo: Moderna, 2004.

APÊNDICE B - ROTEIRO EXPERIMENTAL – contaminação das águas por metais pesados

Objetivo: Identificação de um metal pesado em água (bário)

Materiais e Reagentes

- 4 Tubetes de 13cm com tampa plástica preta;
- 2 copos descartáveis;
- Garrafa pet 250ml contendo a amostra de água;
- Seringa de 10mL;
- 2 Colheres descartáveis pequenas;
- Luvas para agentes Químicos;
- Cloreto de Bário;
- Sulfato de Sódio.

Procedimento experimental

Passo 1: Preparar uma solução concentrada de cloreto de bário em copo descartável e identifique-o(nomeie);

Passo 2: Preparar uma solução de sulfato de sódio em copo descartável e identifique-o(nomeie);

Passo 3: Prepare a seguinte bateria de tubetes, identificando-os:

- (1) Amostra de água
- (2) Amostra de água
- (3) Solução de cloreto de bário
- (4) Amostra de água

Passo 4: A cada um dos tubetes adicionar 1 mL da solução de sulfato de sódio com a seringa, tampar e agitar levemente;

Passo 5: Deixe-o em pé e observe por 5 a 10 minutos e em seguida discuta com seus colegas de turma os resultados.

APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO A

Aluno(a): _____

Prezado(a) Aluno(a): Este questionário tem por objetivo obter dados em relação a toxicologia no ensino de química como uma ciência interdisciplinar. Sua participação será de grande importância.

ORIENTAÇÕES PARA RESPONDER AS QUESTÕES: Para responder as questões, dos números 1 a 5, utilize a seguinte legenda: 1- Muito Pouco. 2- Pouco. 3- Intermediário. 4- Com frequência. 5- Sempre.

1. Você considera os metais pesados tóxicos para o meio ambiente?

A	B	C	D	E
1	2	3	4	5

2. Já ouviu falar sobre a química ambiental?

A	B	C	D	E
1	2	3	4	5

3. Os rios de sua região já foram alvos da contaminação por metais pesados?

A	B	C	D	E
1	2	3	4	5

4. Você sabe a importância da pesquisa toxicológica?

A	B	C	D	E
1	2	3	4	5

5. Você consegue obter uma relação entre a toxicologia e a química?

A	B	C	D	E
1	2	3	4	5