

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA QUÍMICA

EDUARDA VERZA FRANCESCOTTO

AVALIAÇÃO DE METAIS PESADOS EM PEIXES DO GÊNERO *ASTYANAX*:
ESTUDO DE CASO EM UM RIO NA CIDADE DE ANTÔNIO PRADO

CAXIAS DO SUL

2025

EDUARDA VERZA FRANCESCOTTO

**AVALIAÇÃO DE METAIS PESADOS EM PEIXES DO GÊNERO *ASTYANAX*:
ESTUDO DE CASO EM UM RIO NA CIDADE DE ANTÔNIO PRADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.
Orientador Prof. Dr. Matheus Poletto

CAXIAS DO SUL

2025

EDUARDA VERZA FRANCESCATTO

**AVALIAÇÃO DE METAIS PESADOS EM PEIXES DO GÊNERO ASTYANAX:
ESTUDO DE CASO EM UM RIO NA CIDADE DE ANTÔNIO PRADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.
Orientador Prof. Dr. Matheus Poletto.

Aprovada em 02/07/2025.

Banca Examinadora

Prof. Dra. Camila Baldasso
Universidade de Caxias do Sul

Me. Oscar de Almeida Neuwald
Universidade de Caxias do Sul

À minha mãe, que me ensinou a contar nos dedos. Ao meu pai, que me ensinou a fazer contas. Aos meus avós, que me ensinaram a contar com Deus. Aos meus familiares e amigos, que são com quem eu posso contar.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecer imensamente a Deus por me conceder o privilégio de acordar a cada dia com saúde, e por me permitir chegar até aqui. Nos dias de incerteza, encontrei Nele a força que faltava. Obrigada, Senhor, por nunca me deixar desistir.

Um agradecimento especial aos meus pais, Juliane e Valmor, que foram meu braço direito nessa caminhada e sempre me deram o apoio que necessitava. Esta conquista é tão minha quanto de vocês!

Aos meus avós, minha fonte de sabedoria e inspiração, um agradecimento especial por todo cuidado, amor, zelo e por sempre me manterem em suas orações.

Ao meu namorado Jonas, meu companheiro de vida. Obrigada pelo carinho, paciência, compreensão e por entender as minhas ausências durante esta trajetória acadêmica. Sou grata por você ter entrado na minha vida e ter escolhido o meu coração para sua morada.

Agradeço também ao orientador do meu trabalho de conclusão de curso, Matheus, pela paciência dedicada e incentivo constante, que foram fundamentais para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

E por último, mas não menos importante, as minhas colegas da engenharia química, Bianca, Ingrid, Nicole e Vitória. Vocês se tornaram minhas grandes amigas com quem tive o privilégio de compartilhar momentos marcantes. Graças a vocês, a graduação se tornou muito mais leve. Levarei para a vida a amizade e cada memória construída ao lado de vocês.

RESUMO

A contaminação de ambientes aquáticos por metais pesados é uma preocupação ambiental significativa, sobretudo quando envolve espécies de peixes consumidas pela população. Este estudo teve como objetivo avaliar os níveis de contaminação por metais pesados em peixes do gênero *Astyanax*, coletados em três corpos hídricos localizados no município de Antônio Prado, Rio Grande do Sul: o Arroio Colombo, o Rio Leão e o Rio das Antas. As coletas foram realizadas com caniço sendo obtidos nove exemplares no total. Os peixes foram transportados em caixas térmicas em temperaturas próximas a 0 °C, e após, as amostras foram categorizadas, medidas e pesadas. Em seguida, foram removidas as vísceras, cabeça, escamas, nadadeiras e espinhos, com o objetivo de minimizar as interferências analíticas. As amostras foram agrupadas por rio de origem e analisadas por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), utilizando os métodos 999.10 e 2013.06 (21ª edição, 2019) da AOAC. Foram quantificados os teores de cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco. As concentrações obtidas foram comparadas com os limites máximos permitidos pela legislação brasileira e internacional. Afim de estimar se o consumo destes peixes traria algum malefício a saúde, as concentrações de metais encontradas foram utilizadas para calcular a Ingestão Diária Estimada (EDI), o Quociente de Risco (HQ) e o Índice de Perigo (HI), com base na taxa média de consumo de carne de peixe pela população brasileira e pela população do Rio Grande do Sul. Os resultados demonstraram que todos os metais analisados estavam abaixo dos limites legais, sendo o zinco o elemento de maior concentração, embora ainda em níveis considerados seguros. A avaliação de risco indicou valores de HQ e HI inferiores a 1, sugerindo risco insignificante à saúde humana. Este estudo contribui para o monitoramento da qualidade ambiental dos recursos hídricos da região e para a segurança alimentar da população consumidora.

Palavras-chave: *Astyanax*, metais; peixe; rio; bioacumulação; monitoramento ambiental; qualidade da água.

ABSTRACT

Contamination of aquatic environments by heavy metals is a significant environmental concern, especially when it involves fish species consumed by the population. This study aimed to evaluate the levels of contamination by heavy metals in fish of the genus *Astyanax*, collected in three water bodies located in the municipality of Antônio Prado, Rio Grande do Sul: Arroio Colom-bo, Rio Leão and Rio das Antas. The collections were carried out with rods, and nine specimens were obtained in total. The fish were transported in thermal boxes at temperatures close to 0 °C, and the samples were then categorized, measured and weighed. Then, the viscera, head, scales, fins and spines were removed, in order to minimize analytical interferences. The samples were grouped by river of origin and analyzed by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES), using AOAC methods 999.10 and 2013.06 (21st edition, 2019). The levels of cadmium, lead, copper, chromium, mercury, nickel and zinc were quantified. The concentrations obtained were compared with the maximum limits allowed by Brazilian and international legislation. In order to estimate whether the consumption of these fish would cause any harm to health, the metal concentrations found were used to calculate the Estimated Daily Intake (EDI), the Risk Quotient (HQ) and the Hazard Index (HI), based on the average rate of fish meat consumption by the Brazilian population and the population of Rio Grande do Sul. The results showed that all the metals analyzed were below the legal limits, with zinc being the element with the highest concentration, although still at levels considered safe. The risk assessment indicated HQ and HI values lower than 1, suggesting an insignificant risk to human health. This study contributes to the monitoring of the environmental quality of the region's water resources and to the food security of the consumer population.

Keywords: *Astyanax*, metals; fish; river; bioaccumulation; environmental monitoring; water quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Regiões hidrográficas brasileiras.	16
Figura 2- Mesorregiões Hidrográficas.	17
Figura 3- Microrregiões hidrográficas	18
Figura 4- Bacia hidrográfica taquari-antas.	19
Figura 5- Fluxograma de processo.....	36
Figura 6- Pontos de coletas das amostras de peixes.	37
Figura 7- Grupo A, Grupo B e Grupo C, respectivamente.	38
Figura 8- Pontos de monitoramento da qualidade da água.	44
Figura 9- Pontos de monitoramento próximos a segunda coleta dos peixes.	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Efeitos comuns provocados por ingestão de metais pesados.....	27
Quadro 2- Limites máximos tolerados para contaminantes em peixes.	29
Quadro 3- Índice de toxicidade dos parâmetros.	46
Quadro 4- Legenda para melhor entendimento do Quadro 3.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Valores de IDA para metais.	31
Tabela 2- Valores de R ^f D ₀ para metais.	32
Tabela 3- Dados das amostras.....	37
Tabela 4- Resultados da análise.	39
Tabela 5- Avaliação do risco por consumo dos peixes coletados no Arroio Colombo.	41
Tabela 6- Avaliação do risco por consumo dos peixes coletados no Rio Leão.....	41
Tabela 7- Avaliação do risco por consumo dos peixes coletados no Rio das Antas. .	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVO GERAL	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 BACIA HIDROGRÁFICA.....	15
2.2 A BACIA TAQUARI-ANTAS.....	18
2.3 METAIS PESADOS EM RECURSOS HÍDRICOS	20
2.4 QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL DA BACIA TAQUARI-ANTAS.....	23
2.4.1 Classificação das águas doces	23
2.5 RELAÇÃO DOS METAIS PESADOS COM ORGANISMOS AQUÁTICOS E SUA TOXICIDADE	25
2.6 EFEITOS DA CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS NA SAÚDE HUMANA	26
2.7 LEGISLAÇÃO QUE ESTABELECE OS LIMITES MÁXIMOS TOLERADOS DE METAIS EM PEIXES	28
2.8 DOSES SEGURAS PARA INGESTÃO DE PEIXES	30
2.9 O GÊNERO ASTYANAX.....	33
2.10 ESTADO DA ARTE	34
3 MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1 COLETA DAS AMOSTRAS.....	36
3.2 PREPARO E ANÁLISE DAS AMOSTRAS	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 TEOR DE METAIS NOS PEIXES	39
4.2 LIMITE DE INGESTÃO.....	40
4.3 MONITORAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS	43
5 CONCLUSÃO	48
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	50
REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

A contaminação dos ecossistemas aquáticos por metais é um problema ambiental e de saúde pública de grande relevância. O descarte inadequado de resíduos industriais, o uso excessivo de fertilizantes e a poluição urbana têm contribuído para o aumento das concentrações desses metais em rios e lagos, comprometendo a qualidade da água e a biodiversidade aquática (Cesar *et al.*, 2014).

Segundo Tchounwou *et al.* (2012), metais pesados como arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco apresentam diferentes níveis de toxicidade e impactos nos ecossistemas aquáticos. A presença desses metais é frequentemente associada a atividades humanas, como lançamento de efluentes industriais, mineração, uso de fertilizantes e esgoto urbano, reforçando a necessidade de medidas rigorosas para seus controles e monitoramento.

A contaminação por metais tende a se acumular nos organismos aquáticos e em toda a cadeia alimentar, com destaque para os peixes, que em contexto mundial, seu consumo vem crescendo significativamente, com uma média de consumo anual de 20,5 kg per capita, conforme dados da FAO, a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (2020). No Brasil, o consumo anual de peixe é de aproximadamente 9,5 kg per capita, representando uma importante fonte de proteínas e nutrientes para a população (IBGE, 2022).

A Agenda 2030 das Nações Unidas, por meio dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), destaca em sua meta 14 “vida na água” a importância de prevenir e reduzir significativamente a poluição marinha de todos os tipos, inclusive a poluição por metais pesados. Esses poluentes não apenas afetam os ecossistemas, mas também põem em risco a saúde humana e a segurança alimentar, em especial para populações ribeirinhas e comunidades que dependem da pesca para seu sustento. Já a meta 6 “água potável e saneamento” da ODS reforça a necessidade de melhorar a qualidade da água ao reduzir a poluição e aumentar a reciclagem e reutilização de resíduos seguros.

Neste contexto, os peixes do gênero *Astyanax*, popularmente conhecidos como lambari, sardinha ou piaba, amplamente distribuídos nos rios brasileiros, é de particular interesse devido à sua popularidade tanto na pesca quanto na alimentação, tornando-se uma espécie indicadora útil para avaliar a presença de metais em ambientes aquáticos. A análise da contaminação desses peixes é crucial para entender os

riscos associados ao consumo humano, uma vez que a ingestão de alimentos contaminados por metais pesados pode levar a sérios problemas de saúde. Dessa forma, estudos envolvendo os peixes do gênero *Astyanax* contribuem não apenas para o monitoramento ambiental, mas também para a proteção da saúde pública, especialmente de populações que dependem diretamente da pesca como fonte de alimento e renda.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o nível de contaminação por metais pesados presentes em peixes do gênero *Astyanax* nos rios Arroio Colombo, Rio Leão e Rio das Antas na cidade de Antônio Prado.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar o teor de metais como cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco, contidos na carne dos peixes utilizando Espectroscopia de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES).

Comparar as concentrações de metais obtidas nas amostras de peixe com os limites de segurança estabelecidos por normas de saúde pública;

Avaliar o risco à saúde humana associado ao consumo de peixe do gênero *Astyanax* contaminado por metais.

Relacionar os teores de metais nos peixes com os dados de monitoramento da qualidade da água dos rios analisados.

Discutir a influência do nível trófico e hábitos alimentares dos peixes na bioacumulação de metais pesados

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BACIA HIDROGRÁFICA

Uma bacia hidrográfica é uma área que capta a água da chuva através da gravidade para áreas mais baixas do relevo, como canais e córregos, até alcançar o rio principal. Os limites da bacia hidrográfica são definidos conforme a topografia da área, sendo as regiões mais altas do relevo denominadas como divisores de água (Piroli, 2022).

Além desses aspectos, segundo a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, conhecida como a Lei das Águas, bacia hidrográfica é definida como a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos atua para coordenar, planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos, garantindo que o uso da água seja feito de forma equilibrada (Brasil, 1997).

Segundo a classificação de Christofolletti (1980) as bacias hidrográficas podem ser categorizadas conforme seu escoamento:

a) exorreicas: quando o escoamento da água se faz de modo contínuo até o mar, isto é, quando as bacias deságuam diretamente no mar;

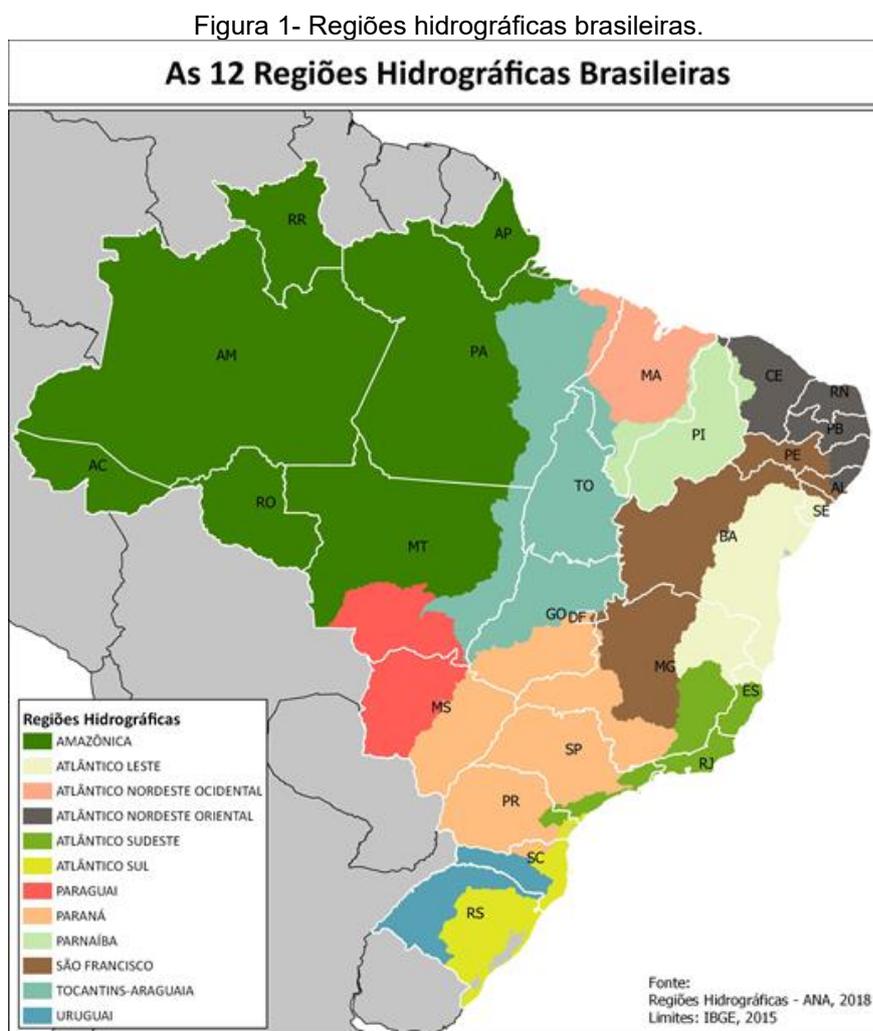
b) endorreicas: quando as drenagens são internas e não possuem escoamento no mar, desembocando em lagos, dissipando-se nas areias do deserto ou perdendo-se nas depressões cársticas;

c) arreicas: quando não há qualquer estruturação em bacias, como nas áreas desérticas;

d) criptorreicas: quando as bacias são subterrâneas, como nas áreas cársticas.

A Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) estabeleceu a Divisão Hidrográfica Nacional (DHN) que organiza o território brasileiro em 12 Regiões Hidrográficas, atualmente denominadas como Macrorregião Hidrográfica. Estas divisões compõem o chamado primeiro nível de recorte hidrográfico, e possuem pouco detalhamento. Essas áreas foram definidas conforme a similaridade de bacias, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas, observando suas características naturais, sociais e econômicas similares. São elas:

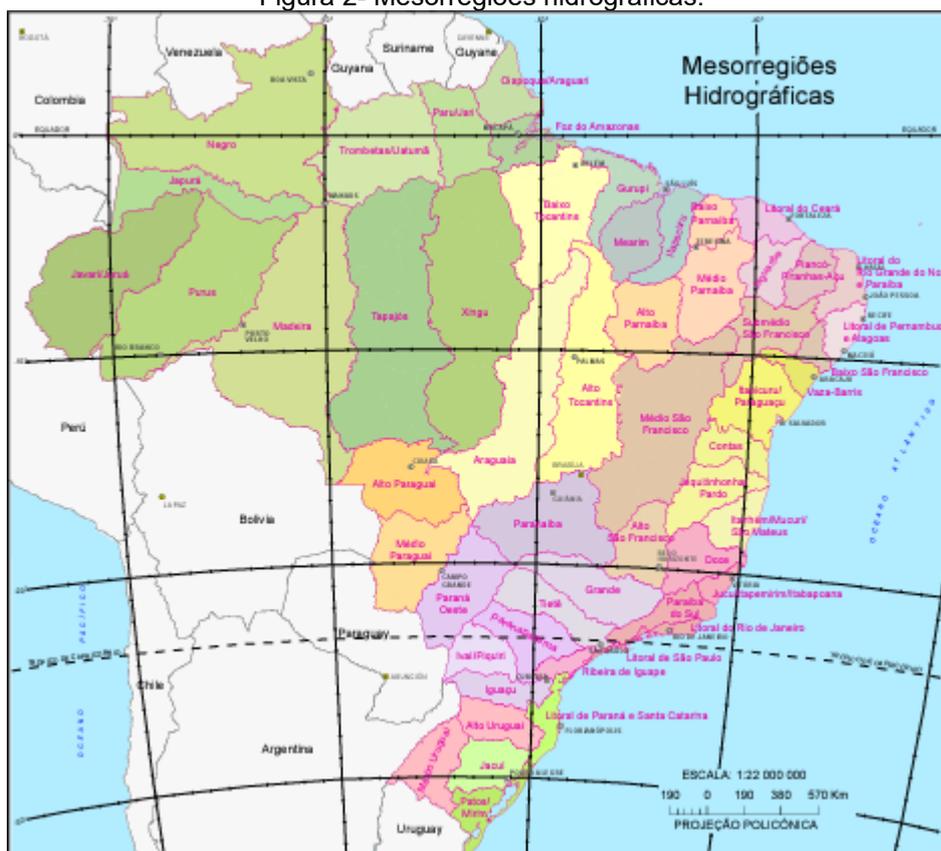
Amazônica, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste, Atlântico Nordeste Ocidental, Atlântico Nordeste Oriental, Tocantins-Araguaia, Parnaíba, São Francisco, Atlântico Sul, Paraguai, Paraná, Uruguai (IBGE, 2021). Os limites das regiões hidrográficas podem ser observados na Figura 1.



Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (2018).

O segundo nível de recorte hidrográfico do território brasileiro, atualmente denominado como Mesorregião Hidrográfica, possuem um detalhamento mediano, somando inicialmente 56 unidades (IBGE, 2021). As divisões da Mesorregião Hidrográfica podem ser observadas na Figura 2.

Figura 2- Mesorregiões hidrográficas.



Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (2018).

As Microrregiões Hidrográficas, por sua vez, eram o terceiro nível de recorte hidrográfico. Possuem detalhamento maior e são divididas em 456 unidades (IBGE, 2021). As divisões da Microrregião Hidrográfica podem ser observadas na Figura 3.

Figura 3 - Microrregiões hidrográficas



Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (2018).

Diante da complexidade e diversidade das divisões hidrográficas do território brasileiro, que envolvem diferentes escalas de análise e gestão, torna-se essencial compreender a importância de bacias hidrográficas específicas no cenário regional.

2.2 A BACIA TAQUARI-ANTAS

Localizada ao norte da Mesorregião Hidrográfica do Guaíba, a bacia Taquari-Antas ocupa uma área de 26.428 km², o que corresponde a 9% do estado do Rio Grande do Sul. Possui uma população estimada de 1.383.442 habitantes (2020), sendo 1.081.261 habitantes em áreas urbanas e 302.181 habitantes em áreas rurais (SEMA, 2020). Faz parte da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica reconhecida pela UNESCO em 1993, e abriga 18,2% dos remanescentes florestais do estado. (SEMA e UFMS, 2001). A Figura 4 ilustra em vermelho onde está localizada a Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas no mapa do estado do Rio Grande do Sul.

Figura 4-Bacia hidrográfica taquari-antas.



Fonte: SEMA (2020).

O principal rio possui sua nascente no extremo leste da bacia, no município de São José dos Ausentes, com um trecho de 390 km, denominando Rio das Antas. (Kornowski, 2019). Após se juntar com o Rio Guaporé, passa a denominar-se Rio Taquari, onde seu trecho alarga-se por 140 km, até desembocar no Rio Jacuí, maior formador do Lago Guaíba. Além destas confluências, outros afluentes formam o rio Taquari-Antas. Pela margem esquerda, juntam-se os rios Camisas, Tainhas e Lajeado Grande, enquanto pela direita, os rios Quebra-Dentes, da Prata, Carreiro, Forqueta e Taquari-Mirim (FEPAM, 2001).

A diferença da altitude no relevo da região sul confere aos rios da bacia Taquari-Antas diversas características, desde suas nascentes, situadas a mil metros de altitude, até o seu deságue, variando em torno de cinco metros de altitude. Desta maneira, conforme seu relevo, pode-se caracterizar três áreas com padrões de paisagens distintos: planaltos, encostas e baixadas (FEPAM, 2001).

Os planaltos são caracterizados por possuírem altitudes superiores a setecentos metros e uma declividade acentuada (média de 4,8 m/km), com rios confinados em uma formação geológica e com muitas corredeiras. O trecho do rio Taquari-Antas, em sua nascente, até a junção com o rio Tainhas, possuem esta caracterização (FEPAM, 2001).

O trecho do rio, no deságue do Rio Tainhas e do Rio Guaporé, por exemplo, é denominado por encostas, onde possuem altitudes que variam de duzentos até setecentos metros, apresentando uma declividade menor (média de 1,6 m/km) com rios em regiões de relevo acidentado ou montanhoso. Enquanto as baixadas, possuem altitudes inferiores a 200 metros, como por exemplo, o deságue do Rio Guaporé, até na confluência com o Rio Jacuí, possuindo pouca declividade (média de 0,2 m/km) e raras corredeiras (FEPAM, 2001).

Durante o século XIX, a bacia hidrográfica Taquari-Antas serviu de refúgio e se tornou lar de muitos imigrantes que vieram de países como Itália e Alemanha, encontrando na região condições favoráveis para estabelecerem comunidades e desenvolverem atividades agrícolas, contribuindo significativamente para o crescimento econômico e cultural do Rio Grande do Sul. Nos dias atuais, a bacia continua tendo grande relevância econômica para os municípios formados, pois suas águas são amplamente utilizadas para o consumo humano e animal e para a agricultura (Kornowski e Fan, 2019). No entanto, apesar de sua grande importância econômica e ambiental, com o constante crescimento de desmatamentos, indústrias e a consequente e progressiva poluição dos rios, todo o ecossistema juntamente com os dependentes de seus recursos são ameaçados (Diegues, 2001).

2.3 METAIS PESADOS EM RECURSOS HÍDRICOS

Metais pesados são um grupo de elementos químicos que podem ser tóxicos mesmo em baixas concentrações. Os principais metais pesados incluem: arsênio, cádmio, cobre, estanho, antimônio, chumbo, bismuto, prata, mercúrio, molibdênio, índio, ósmio, paládio, ródio, rutênio, cromo, níquel e vanádio (UFSM, 2019).

Os metais podem ser introduzidos no meio aquático de forma natural ou artificial (Paula, 2006). De forma natural, através de chuvas, que lavam rochas ou solos que já possuem esses compostos. Já a introdução de forma artificial se dá por meio de despejo de efluentes domésticos e industriais, agricultura e atividades de garimpo (Gomes; Sato, 2011).

Metais pesados estão presentes em níveis elevados no ambiente devido ao seu amplo uso em diferentes setores industriais, como o metalúrgico, a mineração e a produção de fertilizantes. Essas substâncias são valorizadas por suas propriedades químicas, mas acabam sendo liberadas no ambiente através de efluentes industriais

e domésticos, contribuindo para a contaminação ambiental (Virga; Geraldo; Santos, 2007).

O aumento da produtividade e a expansão de diversos setores industriais têm intensificado a liberação de metais pesados nos ecossistemas aquáticos por meio de efluentes. Esse processo tem contribuído de maneira significativa para a contaminação ambiental, ampliando os impactos sobre a qualidade da água e os organismos aquáticos (Rocha; Azevedo, 2015).

O cobre II é amplamente utilizado em diversas atividades devido às suas propriedades. Na forma metálica, destaca-se por sua alta durabilidade e resistência à corrosão, sendo aplicado na fabricação de fios elétricos, lâminas e bastões. (Rodrigues; Silva; Guerra, 2012). Já os compostos à base de cobre, como o sulfato de cobre, têm uso frequente como fungicidas para controlar doenças em plantas. Além disso, o cobre é empregado em piscinas para evitar o crescimento de algas e em tintas anti-incrustantes, utilizadas para proteger os cascos de embarcações contra incrustações marinhas (Pereira, 2004).

O zinco é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre, ocupando a vigésima quinta posição em abundância. Sua principal aplicação está na galvanização de produtos de ferro, criando uma camada protetora que previne a corrosão. Além disso, o zinco é amplamente utilizado em baterias, fertilizantes, tintas, plásticos, borrachas, produtos farmacêuticos e até em cosméticos, como pós e bases faciais, devido às suas propriedades versáteis (Gobbi, 2007).

As indústrias de fundição metalúrgica são frequentemente apontadas como grandes contribuidoras para a liberação de metais como cobre e zinco no meio ambiente. Essa liberação ocorre tanto pelo despejo de efluentes não tratados quanto pela emissão de gases que contêm esses metais, resultando em impactos negativos sobre a qualidade do ar e da água (Rocha, 2011).

Metais como chumbo e níquel são amplamente utilizados na produção de pilhas, baterias e em processos de fabricação na indústria cerâmica. O cromo, por outro lado, tem aplicação significativa nas indústrias de curtume de couro e na produção de tintas (Rocha, 2011). Já o mercúrio é empregado em atividades como o garimpo (Jesus *et al.*, 2018), fundição de metais e em diversos processos industriais (Garcia, 2017).

A agricultura é uma das principais fontes de metais potencialmente tóxicos, especialmente devido ao uso de produtos como fertilizantes e pesticidas. Fertilizantes

podem conter elementos químicos como cádmio (Cd), cromo (Cr), chumbo (Pb) e zinco (Zn), enquanto pesticidas frequentemente incluem cobre (Cu), chumbo, manganês (Mn) e zinco. Além disso, dejetos de produção intensiva de bovinos, suínos e aves também contribuem com metais como cobre, manganês e zinco. Após a chuva, esses compostos podem ser levados para os recursos hídricos, contaminando-os (Magaalhães; Cruz; Zeilhofer; Dores, 2016).

Em seu estudo, Pimenta (2010) monitorou a qualidade das águas em sete pontos distintos do Rio das Antas, antes e após a construção da usina hidrelétrica Monte Carlo, na época de seca e de cheias, para comparar a sua influência sobre o mesmo. Como resultado a maioria das variáveis analisadas não apresentou alteração significativa antes e depois do enchimento. Das 26 variáveis avaliadas, apenas 11 tiveram mudanças relevantes em alguns pontos monitorados, sendo o pH o único parâmetro que variou em todos os pontos do rio das Antas.

Outras contaminantes, como surfactantes, fluoretos, óleos e graxas, indicam influência antrópica, possivelmente devido à urbanização, e não à formação do reservatório. Os índices de qualidade da água não mostraram variações expressivas, classificando-a como boa. Segundo a Resolução CONAMA 357/05, a água permaneceu dentro das classes 1 e 2, adequada para consumo humano, preservação da vida aquática e outras atividades (Pimenta, 2010).

Um estudo realizado no ano de 2017 no Rio Tega, que atravessa os municípios de Caxias do Sul, Flores da Cunha e Nova Pádua, analisou de forma qualitativa e quantitativa amostras de água em cinco regiões distintas. As amostras foram coletadas nas seguintes áreas: perto de áreas residenciais; em regiões densamente urbanizadas e industrializadas; em um afluente que drena a área do distrito industrial; no Reservatório da Central Geradora Hidrelétrica Dona Maria Piana; no exutório da bacia, antes de as águas desembocarem no rio das Antas (Schimitz, 2017).

Schimitz (2017) identificou a presença dos metais cobre (Cu), níquel (Ni), zinco (Zn), cromo (Cr), além de cianetos, parâmetros esses associados a despejos industriais, sendo os metais utilizados nas indústrias galvanotécnicas, além de outras atividades industriais. De acordo com Pereira (2003), a maioria dos compostos que contém cianeto provém de atividades humanas, destacando-se os efluentes das indústrias galvânicas e químicas, o processamento de minérios, a exaustão veicular e a lixiviação de pesticidas.

Em âmbito internacional, diversos estudos são realizados monitorando a qualidade dos recursos hídricos. Okyere *et al* (2023) realizaram a análise da água em nove pontos na lagoa Muni, em Gana, na África Ocidental durante períodos chuvosos e também de seca. Os resultados indicam que o cádmio apresentou níveis elevados na estação seca, ultrapassando os limites estabelecidos, enquanto o zinco foi encontrado em todas as áreas amostradas, associado a atividades agrícolas e contaminação por produtos industriais.

O ferro também apresentou concentrações elevadas, relacionadas às práticas agrícolas e ao uso de sulfato de ferro, enquanto o manganês superou os limites em algumas regiões. Embora o chumbo não tenha sido detectado, a presença de concentrações elevadas em áreas chuvosas levanta preocupações sobre possíveis contaminações a lagoa. Esses resultados sugerem uma complexa interação entre os fatores ambientais e as atividades humanas, impactando a qualidade da água e representando riscos à saúde dos ecossistemas aquáticos (Okyere *et al*, 2023).

2.4 QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL DA BACIA TAQUARI-ANTAS

A Região Hidrográfica do Guaíba desempenha um papel fundamental para o desenvolvimento econômico e social do Rio Grande do Sul, devido aos múltiplos usos de suas águas. Conforme as bases da FEPAM, essas águas são amplamente utilizadas para abastecimento urbano, industrial e irrigação. No entanto, a região enfrenta diversos problemas ambientais que afetam a qualidade da água. Nos grandes centros urbanos, como a Região Metropolitana de Porto Alegre e Caxias do Sul, o despejo de efluentes industriais e domésticos, sem o tratamento adequado, é uma das principais fontes de poluição. Além disso, a erosão do solo e a contaminação por agrotóxicos e resíduos orgânicos nas áreas rurais agravam a situação, colocando em risco os recursos hídricos da região (FEPAM, 2023).

2.4.1 Classificação das águas doces

Com o objetivo de criar instrumentos para avaliar a evolução da qualidade das águas, a resolução nº 357/2005 do CONAMA, no capítulo II, Art 4º, classificou as águas doces em 5 classes: classe especial, classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4, onde o aumento da classe condiz com a piora da qualidade da água.

a) Águas de classe especial: são aquelas desinfectadas e destinadas ao abastecimento para consumo humano, à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e à proteção dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral (Brasil, 2005).

b) Águas de classe 1: usadas para o abastecimento humano, após tratamento simplificado, e para a proteção das comunidades aquáticas. Elas também são indicadas para recreação de contato primário, como natação, esqui aquático e mergulho, conforme a Resolução CONAMA nº 274 de 2000, além de serem usadas para irrigação de hortaliças consumidas cruas e frutas que se desenvolvem rentes ao solo e são ingeridas cruas sem remoção de película. A proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas também está incluída nessa classe (Brasil, 2005).

c) Águas de classe 2: destinam-se ao abastecimento humano, após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas e à recreação de contato primário, como natação, esqui aquático e mergulho, conforme a Resolução CONAMA nº 274 de 2000. Além disso, podem ser usadas na irrigação de hortaliças, plantas frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer onde o público possa ter contato direto, além de atividades de aquicultura e pesca (Brasil, 2005).

d) Águas de classe 3: podem ser usadas para o abastecimento humano, após tratamento convencional ou avançado, irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, além de serem indicadas para pesca amadora, recreação de contato secundário e dessedentação de animais (Brasil, 2005).

e) Águas de classe 4: destinam-se apenas à navegação e à harmonia paisagística (Brasil, 2005).

Desde 1993, a FEPAM realiza o monitoramento trimestral da qualidade da água do Rio das Antas e do Rio Taquari. Com base nos dados obtidos, a classificação atual de qualidade desses trechos, conforme a Resolução CONAMA nº 20/86, é a seguinte: o trecho superior do Rio das Antas, desde as nascentes até a ponte de Bom Jesus, é classificado como Classe 1; o trecho entre Nova Roma do Sul e Santa Teresa, entre a foz do Rio Tega e a foz do Rio Guaporé, é classificado como Classe 2. Já no Rio Taquari, os trechos entre Encantado e Roca Sales, e de Lajeado/Estrela até Bom Retiro do Sul, são classificados como Classe 4; por fim, o trecho na foz do rio Taquari em Triunfo é classificado como Classe 2 (FEPAM, 2001).

Conforme atualização de enquadramento das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas, no ano de 2022, a unidade de gerenciamento do

Médio Taquari-Antas, onde está localizada a serra gaúcha, apresentou uma média de classificação das suas águas como Classe 3. Conforme a proposta de enquadramento do Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul, para o ano de 2032, o objetivo é alcançar a classificação de Classe 2 para a Unidade de Gerenciamento do Médio Taquari-Antas (Brasil, 2022).

A avaliação de enquadramento de classes de águas doces leva em conta a análise quantitativa de diversos componentes presentes na água, como metais, fenóis, cloretos e parâmetros como Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), pH e turbidez (Brasil, 2005).

Em síntese, a classificação das águas doces, conforme a Resolução nº 357/2005 do CONAMA, é um instrumento essencial para a gestão e monitoramento da qualidade dos recursos hídricos, possibilitando o direcionamento de ações para preservação e recuperação ambiental. O enquadramento das águas na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas evidencia o impacto das atividades humanas na qualidade dos recursos hídricos e a necessidade de esforços conjuntos para reverter os danos e alcançar melhorias significativas nas próximas décadas. Contudo, a degradação da qualidade da água é agravada pela presença de poluentes, incluindo metais pesados, que são frequentemente introduzidos nos corpos hídricos através de efluentes.

2.5 RELAÇÃO DOS METAIS PESADOS COM ORGANISMOS AQUÁTICOS E SUA TOXICIDADE

Os metais podem ser considerados como essenciais enquanto outros como não essenciais. Os componentes que possuem função biológica conhecida e constituem o metabolismo dos organismos aquáticos são denominados como essenciais, como o cobre (Cu), ferro (Fe) e zinco (Zn) (Corrêa, 2006). Já os metais não essenciais, não possuem uma função biológica no metabolismo, como o arsênio (As), cádmio (Cd), cromo (Cr), mercúrio (Hg), manganês (Mn), níquel (Ni) e chumbo (Pb) (Castro, 2002; Lall, 2002). No entanto, qualquer metal, dependendo da quantidade ingerida, pode se tornar tóxico (Kalay; Canli, 2000).

Os metais possuem uma alta resistência à degradação química, física e biológica nos recursos hídricos, o que permite que permaneçam por vários anos no ambiente. Essa persistência resulta em um aumento gradual da concentração dos metais

no sistema aquático, levando à sua absorção pelos organismos e ao acúmulo nos sedimentos (Magalhães; Cruz; Zeilhofer; Dores, 2016).

A este acúmulo, biologicamente denomina-se de bioacumulação. Bioacumulação é o termo que define o processo no qual substâncias são absorvidas por um organismo e não são completamente eliminadas, resultando em seu acúmulo ao longo do tempo. No caso da fauna aquática, essa acumulação pode se dar através da ingestão da água ou de alimentos contaminados (Montone, 2015).

Neste processo, peixes, por exemplo, se alimentam de crustáceos, plânctons e até mesmo de outros peixes menores, absorvendo e retendo metais em seu corpo. À medida que sobe na cadeia alimentar, maior será a contaminação de metais, pois o predador, além de já ter absorvido alguns metais, também ingere mais ao consumir outros peixes contaminados (Bueno *et al.*, 2008; Monteiro *et al.*, 1996; Murugan *et al.*, 2008).

Portanto, o peixe pode servir como um indicador da qualidade ambiental das águas em relação à presença de metais pesados, além de ser avaliado o seu potencial de transferir esses metais para os seres humanos através do seu consumo (Abdel-Baki *et al.*, 2011).

2.6 EFEITOS DA CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS NA SAÚDE HUMANA

Embora o peixe seja uma carne amplamente recomendada para a alimentação devido aos seus benefícios, quando está contaminado, pode causar vários problemas ao ser humano. Isto ocorre devido aos metais acumulados na carne do peixe os quais são transferidos a quem a consome (Meneses, 2008).

Os efeitos tóxicos manifestam-se de acordo com a dose ingerida e podem se espalhar por todo o corpo, impactando diversos órgãos e alterando processos bioquímicos, bem como as organelas e membranas celulares (Campos e Nakano, 2017). Devido suas características químicas, os metais podem formar complexos com grupos funcionais de proteínas e enzimas, o que altera a sua funcionalidade (Muniz e Oliveira-Filho, 2006). Além disso, muitos metais pesados possuem caráter bioacumulativo, ou seja, tendem a se acumular progressivamente nos tecidos dos organismos ao longo do tempo, intensificando seus efeitos tóxicos mesmo em exposições repetidas a baixas doses (Tchounwou *et al.*, 2012).

Segundo Rachid (2023), os efeitos da exposição aos metais pesados podem levar danos nos pulmões, cérebro, estrutura musculoesquelética, órgãos principais como os rins e fígado, no sangue, sistema metabólico e trato gastrointestinal. A gravidade dos efeitos depende do tipo de contaminante, da sua concentração, do tempo de exposição e da vulnerabilidade do ser humano (Tavares e Carvalho, 1992). Conforme estudo de Larson e Weincek (1994), os efeitos mais comuns provocados à saúde humana por ingestão de metais pesados estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1- Efeitos comuns provocados por ingestão de metais pesados.

Metal Pesado	Símbolo	Efeitos nocivos
Arsênio	As	Intoxicação crônica provocando ferido, câncer de pele e danos a órgãos vitais.
Cádmio	Cd	Disfunção renal, distúrbios imunológicos, enfisema pulmonar e osteoporose
Chumbo	Pb	Alterações neurológicas, distúrbios em enzimas, febre, náuseas
Cobre	Cu	Vômitos, hipotensão, icterícia, coma e morte.
Cromo	Cr	Câncer, tumores hemorrágicos
Manganês	Mn	Lesões cerebrais, danos aos testículos e impotência
Mercúrio	Hg	Lesões no sistema neurológico, imunológico, deformações no corpo, má formação do feto

Zinco	Zn	Fisionomia empalidecida, diarreia, anemia
-------	----	--

Fonte: Larson e Weinck (1994).

2.7 LEGISLAÇÃO QUE ESTABELECE OS LIMITES MÁXIMOS TOLERADOS DE METAIS EM PEIXES

No Brasil, a Resolução da Diretoria Colegiada - RDC No - 42, de 29 de agosto de 2013 (ANVISA, 2013) juntamente com a Instrução Normativa da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) n° 160 de 1° de julho de 2022 estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos, incluindo de peixes. No entanto, elemento como cobre, cromo, níquel e zinco não são abordados. Esses metais, entretanto, são regulamentados pelo Decreto N° 55.871, de 26 de março de 1965 (BRASIL, 1965), que estabelece limites para diversas substâncias químicas em alimentos. Na época, os peixes eram incluídos na categoria "qualquer ou outros alimentos".

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) também contribui para o estabelecimento de diretrizes internacionais sobre contaminantes em alimentos. Em parceria com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a FAO promove o *Codex Alimentarius*, um conjunto de normas e práticas recomendadas que busca garantir a segurança e a qualidade dos alimentos. Esses parâmetros globais servem de referência para os países ao estabelecerem seus próprios regulamentos, ajudando a alinhar os limites de metais pesados e outros contaminantes em alimentos, incluindo peixes, de forma a proteger a saúde pública em nível internacional (FAO, 2019).

Essas diretrizes visam minimizar os riscos associados ao consumo de produtos contaminados e garantir que os alimentos que chegam à mesa do consumidor estejam dentro de padrões seguros. O Quadro 2 a seguir apresenta os limites máximos tolerados para diversos contaminantes em peixes, conforme estipulado por essa normativa.

Quadro 2- Limites máximos tolerados para contaminantes em peixes.

Contaminante	ANVISA ¹		FAO ²
	Categoria	Limite Máximo Tolerado (mg/kg)	Limite Máximo Tolerado (mg/kg)
Arsênio Total	Peixes crus, congelados ou refrigerados	1,0	1,5
Cádmio	Peixes bonito, carapeba, enguia, tainha, jurel, imperador, cavala, sardinha, atum e linguado crus, congelados ou refrigerados	0,1	0,25
	Peixes melva	0,2	
	Peixes anchova e espada	0,3	
	Outros peixes crus, congelados ou refrigerados	0,05	
Chumbo	Peixes crus, congelados ou refrigerados	0,3	2
Cobre	Qualquer ou outros alimentos	30	15
Cromo	Qualquer ou outros alimentos	0,1	1
Mercúrio	Peixes predadores	1,0	0,5
	Peixes, exceto predadores	0,5	

Níquel	Qualquer ou outros alimentos	5	-
Zinco	Qualquer ou outros alimentos	50	50

Fonte: ¹ Brasil (1965), Brasil (2013) e Brasil (2022), ² Mediana de todos os valores para peixe em 34 países (FAO, 1983).

As variações na tolerância de metais em alimentos entre os países são resultado da implementação de métodos diferentes na avaliação de riscos. Esses métodos consideram dados toxicológicos, hábitos alimentares e condições ambientais específicas, além de considerarem as prioridades e pressões econômicas e sociais locais. Isso leva à estipulação de limites flexíveis de acordo com a exposição da população e o contexto regional, com o objetivo de equilibrar a proteção da saúde pública com a sustentabilidade econômica dos setores envolvidos (FAO, 2005).

A legislação ressalta a importância de regulamentar os níveis de metais pesados em alimentos, incluindo peixes, para garantir a segurança alimentar e proteger a saúde pública. No caso dos peixes do gênero *Astyanax*, amplamente distribuídos na América do Sul e utilizados tanto como alimento quanto em estudos ecotoxicológicos, torna-se essencial avaliar sua vulnerabilidade à contaminação por metais pesados. Esses peixes, populares na pesca artesanal e na aquicultura, desempenham um papel significativo na alimentação de diversas comunidades. No entanto, sua segurança alimentar pode ser comprometida devido à presença de poluentes, incluindo metais pesados, nos habitats aquáticos que ocupam, evidenciando a necessidade de monitoramento constante e regulamentações mais abrangentes.

2.8 DOSES SEGURAS PARA INGESTÃO DE PEIXES

Para avaliar o risco à saúde humana associado ao consumo de peixe contaminado por metais pesados, é essencial estimar a quantidade do alimento que pode ser ingerida diariamente sem causar efeitos à saúde. Essa estimativa é feita por meio de fórmulas que calculam a Ingestão Diária Estimada (*Estimated Daily Intake* - EDI), apresentada na Equação 1.

$$EDI = \frac{M_C * IR}{Bw} \quad (1)$$

Onde:

Mc= Concentração de metais (mg/kg).

IR= Taxa de ingestão de peixe por pessoa (mg/pessoa/dia).

Bw= Peso corporal médio (kg).

Após calcular o EDI, é necessário comparar o valor encontrado com a Ingestão Diária Aceitável (*Acceptable Daily Intake* - ADI), permitindo avaliar se a exposição ao contaminante está dentro de limites considerados seguros para a saúde humana. Se o EDI for inferior à ADI, a exposição é considerada aceitável. Se for igual ou superior, há potencial risco à saúde. A ADI foi calculada a partir da Ingestão Semanal Tolerável Provável (ITQP) definida pelo comitê de especialistas da FAO/OMS (Zrizghi *et al.*, 2020). A Tabela 1 resume os valores definidos.

Tabela 1- Valores de ADI para metais.

Metal	Valor de ADI (µg/kg)
Cádmio (Cd)	1,00
Chumbo (Pb)	Sem nível seguro conhecido
Cromo (Cr)	0,36
Cobre (Cu)	500,00
Mercúrio (Hg)	0,57
Níquel (Ni)	0,013
Zinco (Zn)	300,00

Fonte: FAO/OMS (2011).

Além da Ingestão Diária Estimada, é necessário quantificar o risco potencial à saúde humana por meio do Quociente de Risco (*Hazard Quotient*- HQ), que permite avaliar se a exposição a um determinado metal pesado está dentro de limites considerados seguros. O HQ é uma ferramenta amplamente utilizada em avaliações de risco não carcinogênico, e sua interpretação baseia-se na comparação entre a dose estimada de exposição e a dose de referência (Zrizghi *et al.*, 2020). Quando HQ menor ou igual a 1, sugere que a exposição ao contaminante não representa um risco significativo à saúde humana, no entanto se for superior a 1, indica que a exposição ao

contaminante pode exceder os níveis seguros, representando um possível risco à saúde (Oliveira e Poletto, 2020). A Equação 2 representa o cálculo do HQ.

$$HQ = \frac{EDI}{R^f D_0} \quad (2)$$

Onde:

EDI= Ingestão Diária Estimada ($\mu\text{g}/\text{kg}$).

$R^f D_0$ = Dose de referência oral ($\mu\text{g}/\text{kg}$), valor abaixo do qual a exposição diária é considerada segura ao longo da vida.

A Dose de Referência Oral ($R^f D_0$) representa uma estimativa da quantidade diária de uma substância que pode ser ingerida ao longo da vida sem causar efeitos adversos à saúde humana (Zrizghi *et al.*, 2020) A Tabela 2 apresenta os valores de $R^f D_0$.

Tabela 2- Valores de $R^f D_0$ para metais.

Metal	Valor de $R^f D_0$ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
Cádmio	1,00
Chumbo	Sem nível seguro conhecido
Cromo	3,00
Cobre	40,00
Mercúrio	0,10
Níquel	50,00
Zinco	300,00

Fonte: USEPA IRIS (2025).

Além da análise individual de risco por meio do HQ, é fundamental considerar que, ao consumir o peixe, o indivíduo está exposto simultaneamente a todos os metais presentes na amostra, e não a apenas um contaminante isolado. Por esse motivo, torna-se essencial avaliar o risco de forma total, por meio do Índice de Perigo (*Hazard Index* – HI). Desta maneira, o HI é calculado pela soma dos valores de HQ de todos os metais analisados (Oliveira e Poletto, 2020). Um valor de HI menor ou igual a 1 indica que a exposição combinada está dentro dos limites considerados seguros, sem

representar risco significativo à saúde. Por outro lado, um HI superior a 1 aponta um possível risco à saúde humana (Zrizghi *et al.*, 2020).

2.9 O GÊNERO *ASTYANAX*

O gênero *Astyanax*, popularmente conhecido como lambari e piaba, faz parte da família de peixes dos caracídeos (*Characidae*) (Menezes e Lucena, 2014) e participa da ordem dos Characiformes. A ordem dos Characiformes é uma das mais diversas, possuindo cerca de 24 famílias, 520 gêneros e aproximadamente 2.300 espécies (Nelson *et al.*, 2016).

Estão amplamente distribuídos pela região Neotropical, abrangendo áreas da América do Sul, América Central e parte do México. Esses peixes ocupam diversos tipos de habitats aquáticos, como rios, lagos e até zonas montanhosas, evidenciando sua notável capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais Kavalco (2008).

Os peixes deste gênero são de pequeno porte, atingindo comprimentos de até 200 mm (Garutti, 1999). São amplamente conhecidos por serem apreciados na culinária, sendo preparados fritos ou até mesmo em conservas. Além disso, são frequentemente utilizados como isca viva na pesca e em avaliações ecotoxicológicas para diagnósticos ambientais (Almeida e Sampaio, 2009).

A contaminação por resíduos industriais, agroquímicos e esgoto doméstico pode comprometer a saúde e a capacidade reprodutiva de espécies do gênero *Astyanax*, contribuindo para a redução de suas populações. A presença de poluentes nos ecossistemas aquáticos pode provocar alterações fisiológicas e comportamentais nesses peixes, causando impactos significativos na biodiversidade local (Osório, 2016).

Além disso, a sobrepesca e a captura de exemplares para o mercado de aquarismo representam riscos adicionais. Apesar de serem populares em aquários, a coleta desenfreada pode reduzir drasticamente as populações em seus habitats naturais. Da mesma forma, a pesca realizada sem controle pode desequilibrar as comunidades aquáticas, afetando não só os peixes do gênero *Astyanax*, mas também outras espécies que compartilham o mesmo ambiente (Osório, 2016).

Conforme o estudo de Silva *et al.* (2012), este gênero é constituído de peixes onívoros que se alimentam de elementos de origem animal e vegetal, como insetos,

larvas, escamas e ovos de outros peixes, algas, sementes e fitoplâncton. Estes peixes são uma das principais fontes de alimentos de peixes maiores, e formam um papel fundamental na cadeia alimentar nos recursos hídricos da América do Sul (Fernandes e Martins-Santos, 2006). Também fazem parte da dieta de diversos mamíferos aquáticos, aves e até mesmo de alguns anfíbios e répteis (Almeida e Sampaio, 2009).

2.10 ESTADO DA ARTE

Oliveira (2019) analisou a carne de seis diferentes espécies de peixes, dentre elas a traíra, o jundiá, a tilápia, o anjo, o cação e a merluza, todos comprados em peixarias e supermercados da cidade de Caxias do Sul. Todas as amostras apresentaram de forma geral, índices de metais com concentração superior à legislação vigente. Para as amostras de peixes de água salgada, foram apresentados índices elevados de arsênio (As) variando entre 1,1 e 2,6 mg/kg, cádmio (Cd) entre 0,5 e 1,0 mg/kg, chumbo (Pb) com 2 mg/kg, cromo (Cr) entre 1 e 7 mg/kg, mercúrio (Hg) entre 1,3 e 4,4 mg/kg, e níquel (Ni) entre 6,6 e 13,2 mg/kg. Para os peixes de água doce, foram encontrados índices superiores aos legalmente permitidos para cromo (Cr) entre 1,3 e 10 mg/kg, mercúrio (Hg) entre 2,1 e 2,4 mg/kg, níquel (Ni) com 76,2 mg/kg, e zinco (Zn) variando entre 51,3 e 59,6 mg/kg. Destaca-se que apenas o cobre (Cu) e o zinco (Zn) das amostras de água salgada ficaram dentro dos limites legais.

Lima (2016) teve como objetivo analisar 55 espécies de peixes coletados nos períodos chuvoso e seco do ano, em rios na região de Lourenço, no estado do Amapá, onde possui uma forte atividade de garimpeiros. Como resultado, as espécies coletadas não apresentaram uma concentração de cádmio (Cd), cobre (Cu), chumbo (Pb) e zinco (Zn) acima do limite permitido pela legislação brasileira. No entanto, 13 espécies apresentaram uma concentração de cromo (Cr) acima do permitido por lei, sendo maior nas espécies *Poptella cf. compressa*, *Pimelodus ornatus*, *Acestrorhynchus falcatus*. Já para o mercúrio, as espécies *Plagioscion squamosissimus*, *Pseudoplatystoma fasciatum* e *Hoplias aimara* apresentaram uma concentração acima do permitido.

Ayanda, Ekhaton e Bello (2019) analisaram a carne de quarenta peixes de quatro espécies diferentes: *Oreochromis niloticus*, *Malapterurus electricus*, *Parachanna obscura*, *Chrysichthys nigrodigitatus*, todas coletadas no Rio Ogun, na Nigéria. A análise revelou variações na acumulação dos metais entre as espécies estudadas. O

chumbo (Pb) foi identificado apenas em peixes da espécie *Oreochromis niloticus*, enquanto o manganês (Mn) esteve presente apenas na espécie *Chrysichthys nigrodigitatus*. De maneira geral, os níveis de metais foram mais elevados no fígado e nas guelras em comparação com os músculos, com exceção de alguns casos específicos, como a presença significativa de chumbo (Pb) em *Oreochromis niloticus* e de níquel (Ni) em *Parachanna obscura*. As concentrações dos metais detectadas ultrapassaram os limites estabelecidos por normas internacionais em todos os casos.

Okyere *et al* (2023) analisaram peixes coletados em nove pontos na lagoa Muni, em Gana, na África Ocidental. A tilápia da espécie *Sarotherodon melanotheron* (blackchin) foi o principal peixe capturado. Os peixes capturados no centro da lagoa apresentaram níveis mais altos de ferro, manganês e zinco em comparação com os de outros locais. A média de ferro foi de 1,076 mg/kg, manganês de 0,187 mg/kg e zinco de 0,152 mg/kg, todas abaixo dos limites máximos permitidos. Já a concentração média de cádmio foi de 0,369 mg/kg, também abaixo do limite estabelecido pela OMS enquanto o chumbo não foi detectado nas amostras.

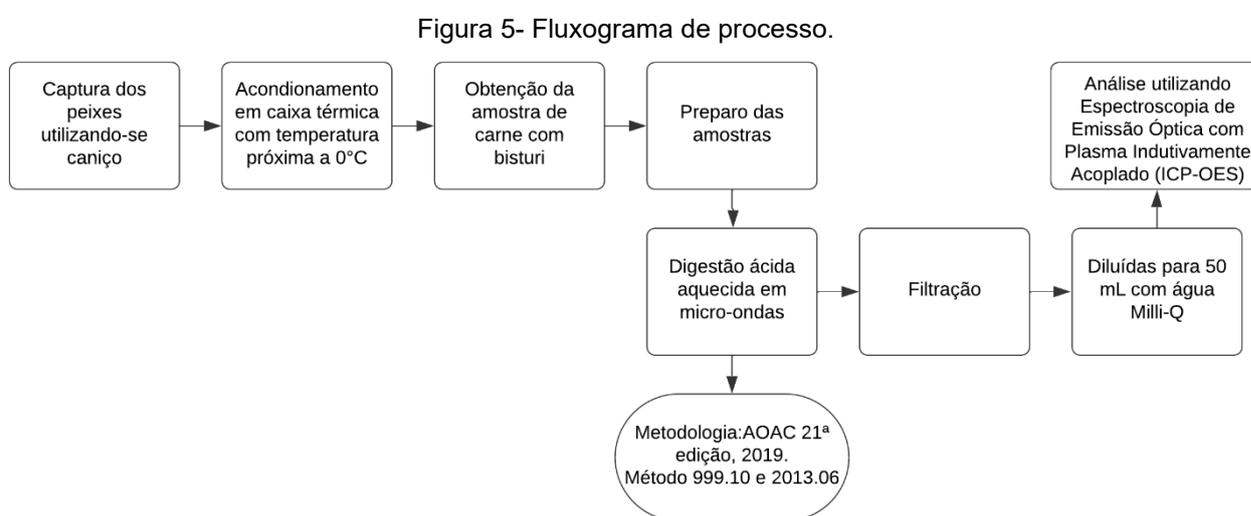
Angheben (2019) analisou 15 amostras de peixes pescados no Rio Tega e 15 amostras de peixes do Rio das Antas. Foram escolhidas 5 amostras de 3 espécies: lambaris (*Astyanax sp*), jundiás (*Rhandia quelem*) e cascudos (*Loricariichthys anus*, *Hemiancistrus punctulatus*, *Hypostomus commersoni*, *Loricariichthys anus*). Como resultado, o cromo (Cr) apresentou concentrações acima do que permite a legislação brasileira, variando entre 0,65 mg/kg e 2,2 mg/kg. O zinco (Zn) apresentou altas concentrações nas espécies de lambaris, com valores variando entre 50,79 mg/kg e 71 mg/kg. Por outro lado, o mercúrio (Hg) e o chumbo (Pb) estavam abaixo do limite de detecção de leitura do equipamento.

Vignatti, Schneider e Poletto (2016) analisariam nove amostras de carne de tubarão-azul doadas por uma empresa pesqueira da região portuária de Itajaí, em Santa Catarina. A análise de metais revelou que o cromo total excedeu em 44% das amostras o limite tolerado pela legislação, enquanto os níveis de cobre, zinco e alumínio total estavam abaixo do que é permitido.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 COLETA DAS AMOSTRAS

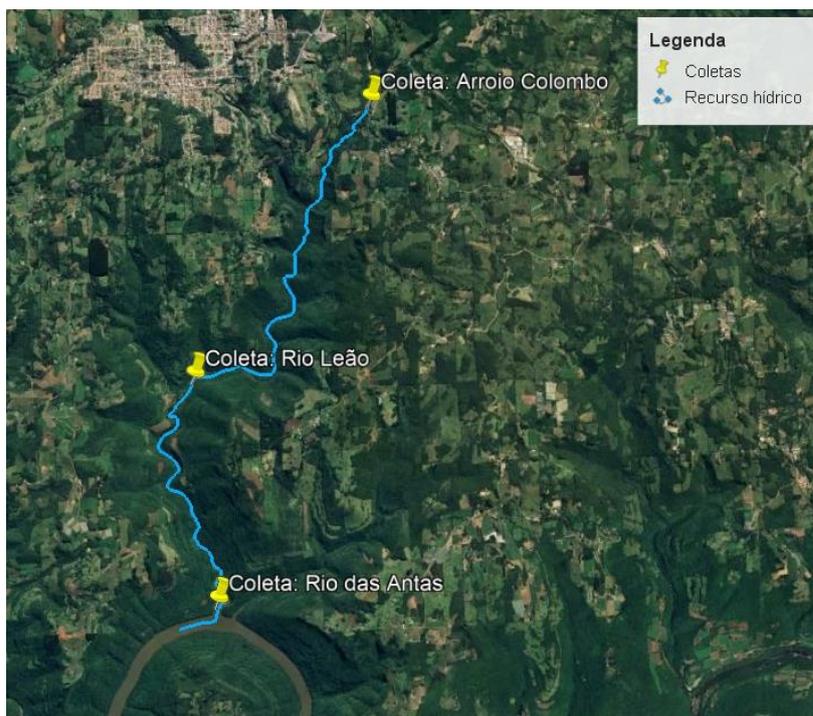
Foram coletados 9 peixes do gênero *Astyanax* em 3 pontos distintos: no Arroio Colombo, no Rio Leão e no Rio das Antas. A coleta foi realizada com caniço como instrumento para a pesca dos mesmos. O Arroio Colombo, localizado no interior de Antônio Prado, percorre a região até se juntar com o Rio Leão e desaguarem juntos no Rio das Antas. A Figura 5 apresenta um fluxograma do processo que foi realizado desde a recepção das amostras até a análise de presença dos metais.



Fonte: A autora (2025).

A primeira coleta foi realizada logo após o Rio Leão se juntar ao recurso hídrico (Latitude 28°53'45.46" S; Longitude 51°16'51.76" O), enquanto a segunda, após o corpo hídrico desaguar no Rio das Antas (Latitude 28°55'27.04" S; Longitude 51°16'39.62" O) ambas no dia 23 de fevereiro de 2025. Já a terceira coleta, realizada no dia 23 de março de 2025, foi feita ao lado de uma residência no interior de Antônio Prado (Latitude 28°51'39.76" S; Longitude 51°15'19.70" O), em uma distância de aproximadamente 4 quilômetros de sua nascente. Na Figura 6 é apresentado no mapa os pontos de coleta.

Figura 6- Pontos de coletas das amostras de peixes.



Fonte: Google Earth (2025).

Após realizadas as coletas, os peixes foram acondicionados em caixas térmicas com temperaturas próximas a 0°C, a fim de preservar a sua integridade. A Tabela 3 apresenta os dados dos espécimes coletados.

Tabela 3- Dados das amostras.

Local de coleta	Peixe	Massa (g)	Média da massa (g)	Comprimento (cm)	Média do comprimento (cm)
Arroio Colombo	1	16	13	10	9,8
	2	12		10	
	3	11		9,5	
Rio Leão	1	8	7,6	8	8
	2	8		8	
	3	7		8	
Rio das Antas	1	24	17,6	12,5	11,3
	2	17		11,5	
	3	12		10	

Fonte: A autora (2025).

3.2 PREPARO E ANÁLISE DAS AMOSTRAS

Para o preparo das amostras, os peixes foram abertos por meio de uma incisão na região inferior, sendo removidas todas as vísceras e espinhos visíveis. Logo após, suas cabeças e nadadeiras também foram removidas. Em seguida, foi realizada a retirada das escamas, com o objetivo de garantir a homogeneidade das amostras e minimizar interferências durante as etapas analíticas subsequentes. Após restar somente a carne do peixe, as amostras foram agrupadas em três grupos, A, B e C, contendo três peixes cada, conforme o rio de origem. A Figura 7 ilustra os três grupos de peixes.

Figura 7- Grupo A, Grupo B e Grupo C, respectivamente.



Fonte: A autora (2025).

Em seguida, todas as amostras foram novamente congeladas e enviadas para o Laboratório de Análise e Pesquisas em Alimentos (LAPA) da Universidade de Caxias do Sul (UCS), conduzindo a análise utilizando Espectroscopia de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES), por meio do equipamento modelo iCAP 7000 da Thermo Scientific. Os procedimentos analíticos seguiram os métodos 999.10 e 2013.06 da AOAC, conforme estabelecido na 21ª edição de 2019.

Esses métodos consistem na digestão ácida das amostras, geralmente com ácido nítrico e peróxido de hidrogênio, para decompor a matriz orgânica e liberar os metais presentes. Após a digestão, a solução obtida é analisada por ICP-OES, técnica que permite a detecção simultânea e precisa de diversos metais.

As etapas analíticas foram realizadas exclusivamente pela equipe técnica do laboratório, seguindo os protocolos internos de validação e controle de qualidade. É importante destacar que segundo os critérios técnicos do laboratório, a quantidade mínima de amostra necessária para a análise individual de cada peixe era de 20 gramas, o que não foi possível obter para todos os exemplares coletados. Por esse motivo, optou-se por agrupar os três indivíduos de cada rio em um único conjunto de amostra, a fim de garantir volume suficiente para a digestão e análise. Dessa forma, foram obtidos três resultados finais, correspondentes a uma análise compósita para cada local de coleta: Arroio Colombo, Rio Leão e Rio das Antas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TEOR DE METAIS NOS PEIXES

A Tabela 4 apresenta os teores de metais para as amostras analisadas. Foram observados valores abaixo do limite de detecção para os elementos como cádmio, mercúrio e níquel. Isto demonstra que esses metais estão ausentes ou que não estão presentes em concentrações preocupantes no ambiente analisado, o que reduz os riscos de contaminação para a saúde humana e os ecossistemas locais.

Tabela 4- Resultados da análise.

Metais	L.Q.	Resultados (mg/kg)			Limites máximos tolerados pela legislação (mg/kg)
		Arroio Colombo	Rio Leão	Rio das Antas	
Cádmio	0,0057	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	0,1
Chumbo	0,0184	0,024	<L.Q.	0,023	0,3
Cobre	0,0423	0,698	0,929	0,420	30
Cromo	0,0396	0,054	<L.Q.	<L.Q.	0,1
Mercúrio	0,0046	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	0,5
Níquel	0,0388	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	5
Zinco	0,0476	23,933	25,084	21,713	50

Legenda: L.Q.: Limite de Quantificação do método

Fonte: A autora (2025).

O cobre, o cromo e o chumbo também foram detectados nas análises, com concentrações específicas para cada ponto de amostragem. O cobre apresentou 0,698 mg/kg no Arroio Colombo, 0,929 mg/kg no rio Leão e 0,420 mg/kg no rio das Antas. O cromo foi detectado em concentração de 0,054 mg/kg no Arroio Colombo, enquanto nos demais pontos (Rio Leão e Rio das Antas) esteve abaixo do limite de quantificação do método ou ausente. Já o chumbo apresentou 0,024 mg/kg nos peixes do Arroio Colombo, 0,023 mg/kg para as amostras de peixe do Rio das Antas, e esteve abaixo do limite de quantificação do método ou ausente no Rio Leão. Todas as concentrações encontradas estão abaixo dos limites estabelecidos pela legislação ambiental, sendo 30 mg/kg para o cobre, 0,1 mg/kg para o cromo e 0,3 mg/kg para o chumbo.

No entanto, é importante destacar que diferente do cobre, que é um elemento essencial em pequenas quantidades para os organismos vivos, o chumbo e cromo não são elementos essenciais e por natureza, não deveriam ser encontrados no meio aquático e sua ocorrência indica possíveis fontes de contaminação (Castro, 2002; Lall, 2002).

Diante dos resultados, é possível observar que os níveis de metais não ultrapassaram os limites máximos tolerados pela legislação em nenhum dos três grupos. Os elementos detectados como chumbo, cobre, cromo e zinco, permaneceram dentro dos parâmetros considerados seguros, enquanto cádmio, chumbo e cromo apresentaram concentrações abaixo do limite de quantificação do método ou podendo sugerir ausência.

4.2 LIMITE DE INGESTÃO

Para avaliar o risco à saúde humana devido ao consumo de peixes contaminados por metais pesados, foram realizados os cálculos da ingestão diária estimada (EDI) e do quociente de perigo (HQ) para as amostras coletadas. O cálculo da EDI foi realizado utilizando a Equação 1, considerando a taxa de ingestão (IR) de 12,25 g/pessoa/dia, conforme dados do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022), representando o consumo médio nacional de pescado. Para os cálculos com base regional, referentes ao Rio Grande do Sul, foi adotada uma taxa de ingestão (IR) de 9,2 g/pessoa/dia (IBGE, 2020). Já o peso corporal médio (Bw) foi considerado 70

kg. Já o quociente de perigo (HQ) foi calculado com o uso da Equação 2, a partir da divisão entre o valor de EDI e a dose de referência ($R^f D_0$) para cada metal.

Além da avaliação individual por meio do HQ, é importante considerar que ao consumir o peixe, o indivíduo está exposto simultaneamente a todos os metais presentes na amostra. Por esse motivo, também foi calculado o Índice de Perigo (*Hazard Index* – HI), que corresponde à soma dos HQs de todos os metais, permitindo uma análise integrada do risco à saúde. Os valores calculados para cada ponto de coleta estão apresentados na Tabela 5, Tabela 6 e Tabela 7.

Tabela 5- Avaliação do risco por consumo dos peixes coletados no Arroio Colombo.

Metais	Mc (mg/kg)	EDI ($\mu\text{g}/\text{kg}$) (Brasil)	EDI ($\mu\text{g}/\text{kg}$) (RS)	ADI	$R^f D_0$ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	HQ (Brasil)	HQ (RS)	
Cádmio	<L.Q.	-	-	1,00	1,00	-	-	
Chumbo	0,024	0,004	0,003	Sem nível seguro conhecido	Sem nível seguro conhecido	-	-	
Cobre	0,698	0,122	0,091	0,36	3,00	0,04	0,03	
Cromo	0,054	0,009	0,007	500,00	40,00	0,0002	0,0001	
Mercúrio	<L.Q.	-	-	0,57	0,10	-	-	
Níquel	<L.Q.	-	-	0,013	50,00	-	-	
Zinco	23,933	4,187	3,147	300,00	300,00	0,014	0,01	
Mc= Concentração de metais; ADI e $R^f D_0$ = Valores de referência.						HI \sum HQ=	0,0542	0,0401

Fonte: A autora (2025).

Tabela 6- Avaliação do risco por consumo dos peixes coletados no Rio Leão.

Metais	Mc (mg/kg)	EDI ($\mu\text{g}/\text{kg}$) (Brasil)	EDI ($\mu\text{g}/\text{kg}$) (RS)	ADI	$R^f D_0$ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	HQ (Brasil)	HQ (RS)	
Cádmio	<L.Q.	-	-	1,00	1,00	-	-	
Chumbo	<L.Q.	-	-	Sem nível seguro conhecido	Sem nível seguro conhecido	-	-	
Cobre	0,929	0,162	0,122	0,36	3,00	0,054	0,04	
Cromo	<L.Q.	-	-	500,00	40,00	-	-	
Mercúrio	<L.Q.	-	-	0,57	0,10	-	-	
Níquel	<L.Q.	-	-	0,013	50,00	-	-	
Zinco	25,084	4,388	3,298	300,00	300,00	0,014	0,011	
Mc= Concentração de metais; ADI e $R^f D_0$ = Valores de referência.						HI \sum HQ=	0,068	0,051

Fonte: A autora (2025)

Tabela 7- Avaliação do risco por consumo dos peixes coletados no Rio das Antas.

Metais	Mc (mg/kg)	EDI ($\mu\text{g}/\text{kg}$) (Brasil)	EDI ($\mu\text{g}/\text{kg}$) (RS)	ADI ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	R ^f D ₀ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	HQ (Brasil)	HQ (RS)	
Cádmio	<L.Q.	-	-	1,00	1,00	-	-	
Chumbo	0,023	0,004	0,003	Sem nível seguro conhecido	Sem nível seguro conhecido	-	-	
Cobre	0,42	0,073	0,055	0,36	3,00	0,024	0,018	
Cromo	<L.Q.	-	-	500,00	40,00	-	-	
Mercúrio	<L.Q.	-	-	0,57	0,10	-	-	
Níquel	<L.Q.	-	-	0,013	50,00	-	-	
Zinco	21,713	3,798	2,855	300,00	300,00	0,012	0,009	
Mc= Concentração de metais; ADI e R ^f D ₀ = Valores de referência.						HI Σ HQ=	0,036	0,027

Fonte: A autora (2025).

Os resultados obtidos referentes aos três locais de coleta foram positivos, indicando que os valores de HI permaneceram abaixo do limite de risco à saúde humana, tanto considerando o consumo médio nacional quanto o regional. Isso demonstra que, dentro das condições estudadas, o consumo dos peixes analisados não representa um risco expressivo à saúde da população. No Arroio Colombo, os valores de HI foram de 0,0542 para o Brasil e 0,0401 para o Rio Grande do Sul. No Rio Leão, os valores foram 0,068 (BR) e 0,051 (RS), enquanto no Rio das Antas, os índices foram ainda menores, 0,036 (BR) e 0,027 (RS).

Em comparação, Oliveira e Poletto (2020) relataram valores significativamente mais elevados para peixes comercializados em Caxias do Sul, sendo 8,801 e 14,351 para duas espécies de tubarão e 4,529 para uma espécie de peixe, indicando risco potencial à saúde humana. Já Zerizghi *et al.* (2020), ao avaliarem peixes coletados em um lago na China, encontraram HI de 0,637, ainda muito superior aos verificados nas amostras do presente estudo.

Um dos fatores que pode ser associado aos baixos valores de HI encontrados para as amostras coletadas, pode ser relacionado ao nível trófico dos peixes do gênero *Astyanax*, que apresentam hábitos alimentares onívoros (Menezes *et al.*, 2007), consumindo uma grande variedade de itens alimentares de origem vegetal e animal (Bennemann *et al.*, 2005; Mazzoni e Costa, 2007). Os metais pesados tendem a se acumular nos sedimentos do fundo dos rios devido à sua alta afinidade por partículas sólidas, enquanto esses peixes apresentam hábitos alimentares oportunistas, obtendo

seu alimento principalmente da coluna d'água (Förstner; Wittmann, 2012; Casatti *et al.*, 2003).

No entanto, a literatura também registra variações no hábito alimentar entre as espécies do gênero, com comportamentos herbívoros, detritívoros ou insetívoros, a depender das condições ambientais e da disponibilidade de recursos (Abelha *et al.*, 2006; Peretti e Andrian, 2008). Portanto, essas espécies tendem a bioacumular menores concentrações de metais pesados quando comparadas a predadores de topo, como tubarões, o que contribui para o menor risco toxicológico associado ao seu consumo.

4.3 MONITORAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS

No ano de 2009, a Universidade de Caxias do Sul (UCS), em parceria com hidrelétricas da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas e o Instituto de Saneamento Ambiental (ISAM), iniciou um projeto voltado à preservação e monitoramento ambiental da região, onde resultou na criação de um banco de dados para armazenar informações sobre a qualidade da água, clima e fauna.

A partir disso, foi criado o Sistema de Informação Ambiental (SIA), que centraliza dados ambientais da bacia e fornece informações ágeis para órgãos como a FEPAM e as hidrelétrica. O SIA permite a visualização de relatórios com análises de pontos específicos de coleta de amostras, representados por meio de um mapa. Conforme ilustrado na Figura 8, é possível visualizar os limites da Bacia Taquari-Antas, os recursos hídricos destacados em azul e os pontos de monitoramento da qualidade da água, sob responsabilidade da FEPAM, da UCS e das hidrelétricas envolvidas.

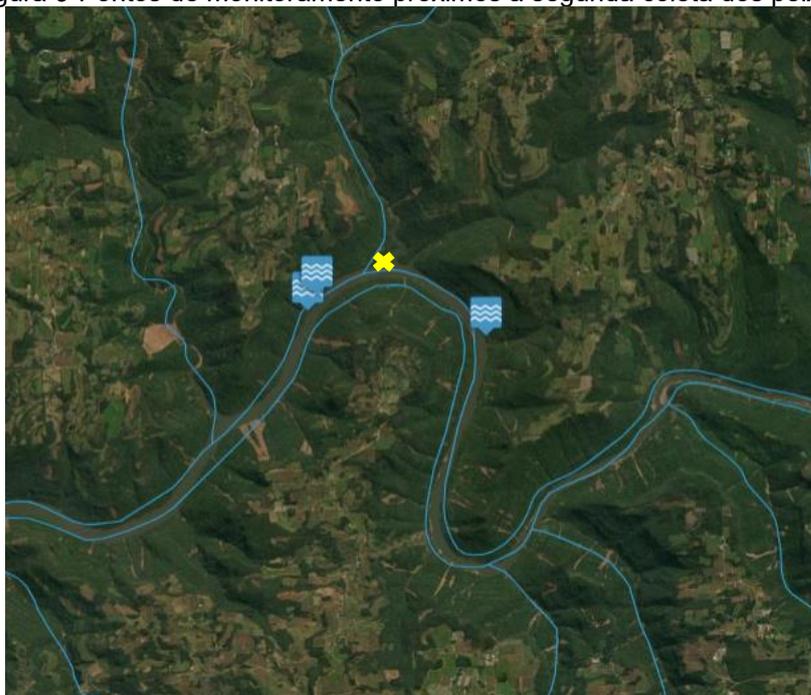
Figura 8- Pontos de monitoramento da qualidade da água.



Fonte: Sistema de Informação Ambiental (SIA) (2009).

Próximo ao local da segunda coleta, do grupo C, encontram-se três pontos de monitoramento da qualidade da água: Leão 1, Antas 9, Antas 10, todos sob responsabilidades da CERAN – Companhia Energética Rio das Antas. Na Figura 9, é possível visualizar o mapa com a localização dos três pontos de monitoramento, assim como a identificação do local da coleta do grupo C, marcado por um "X" amarelo.

Figura 9-Pontos de monitoramento próximos a segunda coleta dos peixes.



Fonte: Sistema de Informação Ambiental (SIA) (2009).

No ponto Antas 9, os últimos resultados das análises realizadas foram publicados no dia 21 de setembro de 2017, com base em amostras de água da superfície. Os parâmetros avaliados foram: chumbo total, cobre dissolvido, cromo total, fenóis totais, ferro dissolvido, mercúrio total, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, onde todos foram classificados com índice de toxicidade baixa, o que significa que a concentração do analito foi igual ou inferior a 1,2 vezes o limite estabelecido para a classe em que o corpo hídrico está enquadrado no local da amostragem, conforme a Resolução CO-NAMA 357/05, resultando em um índice de qualidade da água bom para o referido ponto.

Enquanto no ponto Leão 1, as últimas análises foram realizadas no dia 1 de janeiro de 2006, apresentando índice de toxicidade baixa para os parâmetros: cádmio total, chumbo total, mercúrio total, cromo total, fenóis totais, nitrogênio amoniacal, nitrato e nitrito.

Já no ponto Antas 10, a análise mais recente foi feita na data de 27 de fevereiro de 2023, também com base em amostras de água da superfície, onde analisou os seguintes parâmetros: nitrato, fenóis totais, nitrogênio amoniacal, nitrito, e mercúrio total. Todos os resultados foram positivos, sendo classificados com índice de toxicidade baixa, apresentando um bom índice de qualidade da água.

No entanto, nos últimos 6 anos, os resultados não foram sempre positivos para este ponto. Apesar da análise de 2023 não ter apresentado altos índices de toxicidade, em registros anteriores, parâmetros como fenóis totais e mercúrio total foram indicados com índice de contaminação médio, com concentrações entre 1,2 e 2 vezes o limite da classe, ou alta, com concentrações superam o dobro do limite estabelecido para a classe de enquadramento do corpo hídrico. O Quadro 3 apresenta um resumo dos resultados conforme o ano em questão.

Quadro 3- Índice de toxicidade dos parâmetros.

	Fenóis totais	Mercúrio total	Nitrato total	Nitrogênio amoniacal	Nitrito
2018	Alto	Alto	Baixo	-	Baixo
2019	Alto	Baixo	Baixo	-	Baixo
2020	Baixo	Baixo	Baixo	-	Baixo
2021	Médio	-	Baixo	-	Baixo
2022	-	-	-	-	-
2023	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo

Fonte: Sistema de Informação Ambiental (SIA) (2025).

A legenda dos níveis de contaminação apresentados no Quadro 3 pode ser compreendida melhor a partir do Quadro 4, que descreve a classificação das concentrações dos parâmetros analisados em relação aos limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente.

Quadro 4- Legenda para melhor entendimento do Quadro 3.

Contaminação	Cor	Relação da concentração com o valor limite da classe (padrão de qualidade)
Baixa	Verde	Concentração $\leq 1,2.P$
Média	Amarela	$1,2.P < \text{Concentração} \leq 2.P$
Alta	Vermelha	Concentração $> 2.P$

P= valor padrão (limite de classe), segundo a Resolução CONAMA 357/05.

Dessa forma, os dados de monitoramento da qualidade da água dos pontos Leão 1, Antas 9 e Antas 10 são fundamentais para contextualizar os resultados obtidos

nas amostras de peixes analisadas neste estudo. A análise mais recente da água superficial desses pontos demonstrou um índice de toxicidade baixo, evidenciando que os corpos hídricos da região estavam apresentando naquele ano um nível de poluição mais baixo, conforme os critérios da Resolução CONAMA 357/05. Essa condição é coerente com os teores de metais encontrados nos peixes das respectivas localidades, que, apesar da presença de metais como zinco, cobre, chumbo e cromo, apresentaram valores abaixo dos limites estabelecidos pela legislação vigente.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo avaliar o nível de contaminação por metais pesados como cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco em peixes do gênero *Astyanax*, coletados nos rios Arroio Colombo, Rio Leão e Rio das Antas, localizados no município de Antônio Prado, no estado do Rio Grande do Sul. Para isto, foram analisadas as concentrações de metais presentes na carne dos peixes, utilizando Espectroscopia de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES), comparando-se os resultados obtidos com os limites de segurança definidos por normas de saúde pública. Também foi avaliado o potencial risco à saúde humana decorrente do consumo desses peixes.

Os resultados obtidos indicaram que as concentrações de metais nos peixes analisados estão abaixo dos limites estabelecidos pela legislação vigente, evidenciando uma condição de baixa contaminação ambiental nas localidades estudadas. Essa avaliação considerou os parâmetros definidos em normativas nacionais e internacionais, como a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 42, de 29 de agosto de 2013, e a Instrução Normativa da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) nº 160, de 1º de julho de 2022, que estabelecem limites máximos de contaminantes em alimentos. Também foi considerado o Decreto nº 55.871, de 26 de março de 1965, que trata da inspeção sanitária e condições para comercialização de produtos de origem animal no Brasil, além dos padrões internacionais recomendados pelo Codex Alimentarius, desenvolvido pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em parceria com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), desde 1983.

A análise dos índices de toxicidade da água superficial, obtida por meio do Sistema de Informação Ambiental (SIA), reforça essa avaliação, visto que os pontos de monitoramento na região apresentaram predominantemente índices de toxicidade baixos nos últimos anos. Além disso, a avaliação do risco à saúde humana por meio dos cálculos de ingestão diária estimada (EDI), quociente de perigo (HQ) e índice de perigo (HI) demonstrou que, a princípio, o consumo dos peixes analisados não representa risco significativo para a população, considerando tanto a taxa de ingestão média nacional quanto regional. Os baixos valores de HI, muito inferiores a 1, indicam que o consumo destes peixes representa uma baixa ingestão de metais pesados

presentes, o que está em concordância com os baixos índices de contaminação encontrados na água.

Acredita-se que o perfil trófico dos peixes do gênero *Astyanax*, caracterizado por hábitos alimentares onívoros e uma posição relativamente baixa na cadeia alimentar, contribua para o menor bioacúmulo de metais pesados quando comparado a predadores de topo, o que reforça a segurança do consumo desses peixes quanto à contaminação por metais. Espera-se que estudos futuros ampliem o monitoramento em outras espécies e regiões, fortalecendo a compreensão dos riscos ambientais e assegurando a qualidade dos recursos pesqueiros disponíveis para a população.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Análise de espécies marinhas, a fim de comparar os níveis de contaminação entre ambientes dulcícolas e marinhos;

Análise de peixes pertencentes a níveis tróficos mais elevados, como carnívoros e predadores de topo, que apresentam maior potencial de bioacumulação de metais;

A avaliação de peixes comercializados em feiras, supermercados e peixarias, com o objetivo de verificar a qualidade dos produtos disponíveis para o consumo humano e identificar possíveis riscos à saúde pública.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-BAKI, A. S.; DKHIL, M. A.; AL-QURAI SHY, S. **Bioaccumulation of some heavy metals in tilapia fish relevant to their concentration in water and sediment of Wadi Hanifah, Saudi Arabia.** African Journal of Biotechnology, v. 10, n. 13, p. 2541-2547, 2011.
- ALMEIDA, F. ; SAMPAIO, W. **Bicho da vez** – n°.10 Universidade Federal de Viçosa. Museu de Zoologia João Moojen. p. 03. 2009.
- ANGHEBEN, F. M.; SCHNEIDER, V. E.; BACCIN, K.; POLETTO, M. **Concentração de metais em peixes de diferentes níveis tróficos, ocorrentes no Rio das Antas e no Rio Tega - RS.** 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências Ambientais) - Universidade de Caxias do Sul (UCS). Caxias do Sul, 2019.
- AYANDA, I. O; EKHATOR, U. I; BELLO, O. A. **Determination of selected heavy metal and analysis of proximate composition in some fish species from Ogun River, Southwestern Nigeria.** *Heliyon*, v. 5, n. 10, 2019. Disponível em: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(19\)36172-97](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(19)36172-97). Acesso em: 27 mar. 2025.
- BRASIL. Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul. Resolução CRH nº 405/2022: atualiza o enquadramento das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas. 2022. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/202203/22152145-2022-resolucao-crh-405-22-atualiza-enquadramento-aguas-superficiais-bacia-rio-taquari-antas-22-03.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.** 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. Acesso em: 15 set. 2024.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Decreto nº 55.871, de março de 1965. Dispõe sobre normas reguladoras do emprego de aditivos para alimentos. Acesso em: 12 nov. 2024.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução nº 42, de 29 de Agosto de 2013,** Dispõe sobre o regulamento técnico Mercosul sobre limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos. Acesso em: 11 nov. 2024.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Instrução Normativa nº 160, de 1º de julho de 2022.** Dispõe dos limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos. Acesso em: 22 out. 2024.
- BUENO, G. W.; MARENGONI, N. G.; GONÇALVES JÚNIOR, A. C.; BOSCOLO, W. R.; TEIXEIRA, R. A. **Estado trófico e bioacumulação do fósforo total no cultivo de peixes em tanques-rede na área aquícola do reservatório de Itaipu.** Acta Scientiarum Biology Science, v. 30, n. 3, p. 237-243, 2008.

CAMPOS, M. J. A.; NAKANO, V. **Metais Pesados: Um Perigo Eminente**. Departamento de Microbiologia - Universidade de São Paulo (USP). 2017. Disponível em: <https://microbiologia.icb.usp.br/cultura-e-extensao/textos-de-divulgacao/bacteriologia/microbiologia-ambiental/>. Acesso em: 8 out. 2024.

CASATTI, L.; MENDES, H. F.; FERREIRA, K. M. **Aquatic macrophytes as feeding site for small fishes in the Rosana Reservoir, Paranapanema River, Southeastern Brazil**. Brazilian Journal of Biology, v. 63, n. 2, p. 213-222, 2003.

CASTRO, N. **Cádmio, chumbo, cromo, mercúrio e níquel nos rios do Estado de São Paulo e em peixes do Rio Sorocaba**. 2002. 120 f. Dissertação (Mestrado em Conservação e Manejo de recursos) - Centro de Estudos Ambientais, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

Cesar, R.; Natal-da-Luz, T.; Souza, J. P.; Colonese, J.; Bidone, E.; Castilhos, Z.; Egler, S. & Polivanov, H. 2014. **Disposal of dredged sediments in tropical soils: ecotoxicological effects on earthworms**. Environmental Monitoring and Assessment, 186: 1487-149.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CORRÊA, T. L. **Bioacumulação de metais pesados em plantas nativas a partir de suas disponibilidades em rochas e sedimentos: o efeito na cadeia trófica**. 2006. 157 f. 110 Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Universidade de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

DIEGUES, A. C. S.; ARRUDA R. S. V. **Saberes tradicionais e biodiversidade no Brasil. Núcleo de apoio à pesquisa sobre populações humanas em áreas úmidas**. Brasília, DF, 2001, 176 p. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001225638>. Acesso em: 15 set. 2024.

Food and Agriculture Organization / World Health Organization. (2005). Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) – Evaluation of certain food additives and contaminants: seventy-first report.

Food and Agriculture Organization / World Health Organization. **Evaluation of certain food contaminants**. WHO Technical Report Series, nº 959. Genebra: World Health Organization, 2011.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Codex Alimentarius: General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed**. FAO/WHO, Rome, 2019. Disponível em: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius>. Acesso em: 12 nov. 2024.

FERNANDES, C. A.; MARTINS-SANTOS, I. C. **Mapping of the 18S and 5S ribosomal RNA genes in *Astyanax altiparanae* Garutti & Britski, 2000 (Teleostei, Characidae) from the upper Paraná river basin, Brazil**. Genet Mol Biol, 2006.

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. **Metal pollution in the aquatic environment**. 2. ed. Berlin: Springer-Verlag, 2012.

GARCIA, J. B. P. **Avaliação de chumbo (Pb), mercúrio (Hg) e cádmio (Cd) no sedimento da margem da Represa de Guarapiranga: uma questão de saúde pública**. 2017. Dissertação - Mestrado em Ciências da Saúde. Universidade de Santo Amaro, São Paulo, 2017.

GARUTTI, V. **Descrição de *Astyanax argyrimarginatus* sp. N. (characiformes, characidae) procedente da bacia do Rio Araguaia, Brasil**. Revista Brasileira de Biologia, São Paulo, v. 4, n. 59, p.585-591, 22 fev. 1999. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbbio/a/YGCcFT4CGHBK5VzFrPNXHdP/?format=pdf&lang=pt> . Acesso em: 31 out. 2024.

GOBBI, J. M. **Estudo sobre a presença de metais em diferentes tecidos de peixes surubins (*Pseudoplatystoma coruscans*) capturados no Rio São Francisco (MG)**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal). Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, MG, 2007.

GOMES, M. V.; SATO, Y. **Avaliação da contaminação por metais pesados em peixes do Rio São Francisco à jusante da represa Três Marias, Minas Gerais, Brasil**. Saúde & Ambiente em Revista, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, 2011. Acesso em: 27 set. 2024

IBGE. **Censo demográfico**. 2022.

IBGE. **Pesquisa de Orçamentos Familiares – POF 2017-2018**. 2019.2020. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Bacias e divisões hidrográficas do Brasil**. Série Relatórios Metodológicos Rio de Janeiro, 2021, v.48, 160 p., Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/bibliotecacacatologo?view=detalhes&id=2101854>. Acesso em: 4 set. 2024.

JECFA (Joint Food and Agriculture Organization/World Health Organization Expert Committee on Food Additives). In: Summary and conclusions of the 61st Meeting of the Join FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 2003.

JESUS, L. D. F. de; MOREIRA, M. F. R.; AZEVEDO, S. V. de; BORGES, R. M.; GOMES, R. A. A.; BERGAMINI, F. P. B.; TEIXEIRA, L. R. **Avaliação dos níveis de chumbo e mercúrio em população exposta ambientalmente na Região Centro-Oeste do Brasil**. Caderno Saúde Pública, v. 34, n. 2, 2018.

KALAY, M.; CANLI, M. **Elimination of Essential (Cu, Zn) and Non-Essential (Cd, Pb) Metals from Tissues of a Freshwater Fish *Tilapia zilli***. Turkish Journal of Zoology, v. 24, p. 429-436, 2000.

KAVALCO, Karine Frehner. **Estudos evolutivos no gênero *Astyanax* (Pisces, Characidae)**. 2008. Tese (Doutorado em Biologia (Genética)) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41131/tde-29102008-174719/pt-br.php>. Acesso em: 17 nov. 2024.

KORNOWSKI, L. W; FAN, F. M. **Calibração e verificação do modelo hidrológico mgb-iph para a bacia do rio taquari-antas**. In: XXIII simpósio brasileiro de recursos hídricos. 2019 Foz do Iguaçu-PR. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/107/XXIII-SBRH1261-1-20190807-144025.pdf>. Acesso em: 15 set. 2024.

LABORATÓRIO DE ANÁLISES QUÍMICAS, INDUSTRIAIS E AMBIENTAIS (LAQIA). In: UFSM. **Os metais pesados**. Santa Maria, RS, 2019. Disponível em: <https://www.ufsm.br/laboratorios/laqia/metais-pesados-heavy-metals>. Acesso em: 27 set. 2024.

LACERDA, L. D. **Contaminação por mercúrio no Brasil: fontes industriais vs garimpo de ouro**. Química Nova. Departamento de Geoquímica - Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40421997000200012>. Acesso em: 24 set. 2024.

LALL, S. P. **The minerals**. In: HALVER, J. E., HARDY, R. W. Fish Nutrition. USA: Elsevier Science, 2002. p. 259-308.

LARSON, K. A.; WEINCEK, J. M., **Mercury removal from aqueous streams utilizing micro emulsion liquid membranes**. Environmental Progress, v. 11, n. 2, p. 456-464, 1994.

LIMA, D. P. **Avaliação da contaminação por metais pesados na água e nos peixes da bacia do Rio Cassiporé, estado do Amapá, Amazônia, Brasil**. 147 pg. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) - Universidade Federal do Amapá - UNIFAP. Macapá, AP, 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/985380/1/Dissertacao-Daniel.pdf> Acesso em 23 out. 2024.

Lima, E. R., Santos, D. F., Rodrigues, M. A., & Oliveira, L. C. (2018). **Bioacumulação de metais pesados em *Astyanax altiparanae*: um modelo para o biomonitoramento de ecossistemas aquáticos brasileiros**. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 150, 42–50. Acesso em: 31 out. 2024.

MAGALHÃES, G. C.; CRUZ, I. F.; ZEILHOFER, P. DORES, E. F. G. C. **Metais potencialmente tóxicos em rios a montante do Pantanal Norte**. Revista Ambiente e água. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1827>. Acesso em: 27 set. 2024.

MENESES, T. S. **Fauna, pesca e contaminação por metais pesados em pescado no litoral de Sergipe**. 2008. 115 f. Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente) – Universidade Tiradentes, Aracaju, 2008.

MENEZES, N. A.; LUCENA, C. A. S. **A taxonomic review of the species of *Charax Scopoli, 1777* (Teleostei: Characidae: Characinae) with description of a new species from the rio Negro bearing superficial neuromasts on body scales, Amazon basin, Brazil.** 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20130175>. Acesso em: 31 out. 2024.

MONTEIRO, L. R.; COSTA, V.; FURNESS, R. W.; SANTOS, R. S. **Mercury concentrations in prey fish indicate enhanced bioaccumulation in mesopelagic Environments.** Marine Ecology progress series, v. 141, p. 21-25, 1996.

MONTONE, R. C. **Bioacumulação e Biomagnificação.** Instituto oceanográfico. Universidade de São Paulo (USP). 2015. Disponível em: <https://www.io.usp.br/index.php/oceanos/textos/antartida/31-portugues/publicacoes/series-divulgacao/poluiacao/811-bioacumulacao-e-biomagnificacao.html>. Acesso em: 1 out. 2024.

MOSCHEM, J. C; GONÇALVES, P. R. **Impacto Toxicológico de Metais Pesados: Uma Análise de Efeitos Bioquímicos e Celulares.** Health and Biosciences. v.1, n.2, ago. 2020 Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/healthandbiosciences>. Acesso em: 1 out. 2024.

MURUGAN, S. S.; KARUPPASAMY, R.; POONGODI, K.; PUVANESWARI, S. **Bioaccumulation pattern of zinc in freshwater fish *Channa punctatus* (Bloch.) after chronic exposure.** Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, v. 8, p. 55-59, 2008.

NELSON, Joseph S. *et al.* Fishes of the world. 5^a. ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2016. 708 p.

NÚÑEZ, J. E. V.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; PALMIERI, F.; MESQUITA, A. A. **Consequências de diferentes sistemas de preparo do solo sobre a contaminação do solo, sedimentos e água por metais pesados.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 23, p. 981-990, 1999.

OKYERE, E. Y; ADU-BOAHEN, K; BOATENG, I; DADSON, I. Y; BOANU, N. Y; KYEREMEH, R. **Analysis of ecological health status of the Muni Lagoon: Evidence from heavy metal content in its water and fish samples.** Geo: Geography and Environment, v. 10, n. 1, 18 jan. 2023. Disponível em: <https://rgs-ibg.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/geo2.115>. Acesso em: 27 mar. 2025.

OLIVEIRA, J. G. **Avaliação do teor de metais contidos em peixes consumidos na região nordeste do Rio Grande do Sul.** 58 p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia química) – Universidade de Caxias do Sul (UCS). Caxias do Sul, RS, 2019.

OLIVEIRA, J. G.; POLETTO, M.; **Drying characteristics and heavy metal levels in three marine fishes commercialized in Brazil.** Brazilian Journal of Development. Acesso em: 14 jun. 2025.

OSORIO, F. H. T. **Validação do gênero *Astyanax* (Baird e Girard, 1854) como bioindicador de testes ecotoxicológicos.** 2016. Tese (Doutorado em Ecologia e Conservação), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em:

<https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/bitstream/handle/1884/43529/R%20-%20T%20-%20FLAVIO%20HENRIQUE%20TINCANI%20OSORIO.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 17 nov. 2024.

PAULA, M. **Inimigo invisível: metais pesados e a saúde humana**. Periódicos Tchê-Química, v. 3, n. 6, 17 p. 2006. Disponível em: http://www.deboni.he.com.br/arquivos_jornal/2006/AGOSTO/5.pdf Acesso em: 27 set. 2024.

PEREIRA, L. B. F. **Distribuição de metais pesados e cianeto total nos sedimentos de drenagem e pilha de rejeito na área da mina Bonfim, município de Lajes (RN)**. Natal, 2003. 134 p.

PEREIRA, R. S. **Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos**. Revista Eletrônica de Recursos Hídricos, IPH – UFRGS, v. 1, n. 1. p. 20- 36, 2004.

PIMENTA, A. M. **Avaliação da qualidade da água do Rio das Antas na área de influência da UHE Monte Claro – RS**. 87 f. Dissertação (Mestrado em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2010. Disponível em: <https://repositorio.furg.br/handle/1/8506>. Acesso em: 28 mar. 2025.

PIROLI, E. L. **Água e bacias hidrográficas: planejamento, gestão e manejo para enfrentamento das crises hídricas** [online]. São Paulo: Editora UNESP, 2022, 141 p. ISBN: 978-65-5714-298-1. Disponível em: <https://doi.org/10.7476/9786557142981>. Acesso em: 4 set. 2024.

PORTO, L. C. S; ETHUR, E. M. **Elementos traço na água e em vísceras de peixes da Bacia Hidrográfica Butuí-Icamaquã, Rio Grande do Sul, Brasil**. 2009 Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000213>. Acesso em 23 out. 2024.

RACHID, I. **Efeitos dos metais pesados no organismo**. Grupo de longevidade saudável. 2023. Disponível em: <https://dritalorachid.com.br/efeitos-dos-metais-pesados-no-organismo/>. Acesso em: 15 out. 2024

RIO GRANDE DO SUL. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (Fepam). **Qualidade ambiental do estado do Rio Grande do Sul: Qualidade da água superficial nas regiões hidrográficas do RS (Guaíba, Litoral e Uruguai)**. Porto Alegre, RS, 2023, 52 p. Disponível em: <https://fepam.rs.gov.br/upload/arquivos/202306/02153953-relatorio-qualidade-das-regioes-hidrograficas-rs-2023.pdf>. Acesso em: 15 set 2024.

RIO GRANDE DO SUL. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (Fepam). **Diagnóstico Ambiental da Bacia Taquari-Antas / RS: Diretrizes regionais para o licenciamento ambiental das hidrelétricas**. 2001. Disponível em: <https://fepam.rs.gov.br/upload/arquivos/202305/30153834-taquari-antas-diretrizes-rel-final-2001.pdf>. Acesso em: 6 set 2024.

ROCHA, B. C. P. **Relações entre acúmulo de metais em tecido muscular de peixes com diferentes hábitos alimentares coletados na Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande, Estado de São Paulo, Brasil.** 2011. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho", Programa de Pós-Graduação em Química, Campus de São José do Rio Preto, São Paulo, 2011

ROCHA, C.H. B.; AZEVEDO, L. P. de. **Avaliação da presença de metais pesados nas águas superficiais da Bacia do Córrego São Mateus, Juiz de Fora (MG), Brasil.** Revista Espinhaço, v. 4, n. 2, p. 33-44, 2015.

RODRIGUES, M. A.; SILVA, P. P.; GUERRA, W. Cobre. Química Nova na Escola, v. 34, n. 3, p. 161-162, ago. 2012.

SCHMITZ, M. **Análise de metais biodisponíveis em sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Tega - RS.** 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2017, 108 p. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/3439/Dissertacao%20Michele%20Schmitz.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 4 out. 2024.

SEMA; UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Apresentação do Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 2001. (não publicado) Disponível em: <http://coralx.ufsm.br/ifcrs/frame.htm>. Acesso em: 17 set. 2024.

SILVA, D. A.; PESSOA, E. K. R.; COSTA, S. A. G.; COSTA, L.; CHELLAPPA, N. T.; CHELLAPPA, S. **Ecologia alimentar de Astyanax lacustris (Osteichthyes: Characidae) na Lagoa do Piató, Assu, Rio Grande do Norte, Brasil.**, v. 2, n.1, Macapá, 2012. Disponível em <http://periodicos.unifap.br/index.php/biota>. Acesso em: 31 out. 2024.

SOUZA, G. R; GARCEZ, M. A. P; SANTOS, V. C. G; SILVA, D. B; CAETANO, J; DRAGUNSKI, D. C. **Quantificação de metais pesados em peixes de um peixeiro localizado na cidade de Umuarama - Pr.** Arq. Ciênc. Vet. Zool. Unipar, Umuarama, v. 12, n. 1, p. 61-66, jan./jun. 2009.

TAVARES, T. M.; CARVALHO, F. M. **avaliação de exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: exemplos do Recôncavo Baiano.** Química Nova, v. 15, n. 2, p. 147-155, 1992.

TCHOUNWOU, P. B.; YEDJOU, C. G.; PATLOLLA, A. K.; SUTTON, D. J. **Heavy metal toxicity and the environment.** In: LÜSCHER, A.; MARMÉ, D. Molecular, clinical and environmental toxicology. Basel: Springer, 2012. p. 133–164. (Experientia Supplementum, v. 101). Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6. Acesso em: 16 abr. 2025.

US EPA (United States Environmental Protection Agency). Risk-based concentration table. Region 3, Philadelphia. PA. 2011.

USEPA. Integrated Risk Information System (IRIS) – Assessment Detail. Washington, D.C.: EPA, 2025. Disponível em: <https://iris.epa.gov>. Acesso em: 05 jun. 2025.

VIGNATTI, G.; SCHNEIDER, V. E; POLETO, M. Biological assessment and metals concentration in blue shark (*Prionace glauca*) caught in the southeast-south coast of Brazil. **Scientia cum Industria**, Caxias do Sul, v. 6, n. 3, p.7-11, dez. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v6iss3p7>. Acesso em: 24 abr. 2025.

VIRGA, R. H. P.; GERALDO. L. P.; SANTOS, F. H. **Avaliação de contaminação por metais pesados em amostras de siris azuis**. Ciência, Tecnologia e Alimentos, Campinas (SP), v. 27, n. 4, p. 779-785, out.-dez. 2007.

ZERIZGHI, T.; YANG, Y.; WANG, W.; ZHOU, Y.; ZHANG, J.; YI, Y. **Ecological risk assessment of heavy metal concentrations in sediment and fish of a shallow lake: a case study of Baiyangdian Lake, North China**. Environmental Monitoring and Assessment, v. 192, art. 154, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8078-8>. Acesso em: 4 jun. 2025