

IMPACTOS DE LONGO PRAZO DA EXPOSIÇÃO A METAIS PESADOS: UM ESTUDO ANALÍTICO SOBRE POSSÍVEIS EFEITOS NA SAÚDE DA POPULAÇÃO IDOSA ATINGIDA PELAS ENCHENTES EM BENTO GONÇALVES

LONG-TERM IMPACTS OF EXPOSURE TO HEAVY METALS: AN ANALYTICAL STUDY ON POSSIBLE EFFECTS ON THE HEALTH OF THE ELDERLY POPULATION AFFECTED BY FLOODS IN BENTO GONÇALVES

Ana Lara Cargnelutti Tiecker¹, Isadora Perlin Ribas¹, Yasmin de Moura Bernardi¹,
Yuri Falk¹, Luana Taís Hartmann Backes¹

¹Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus de Santo Ângelo, Santo Ângelo, Rio Grande do Sul, Brasil.

RESUMO

Metais pesados como chumbo (Pb), cádmio (Cd) e mercúrio (Hg) representam uma preocupação crescente devido aos seus impactos ambientais e riscos à saúde humana. Originários principalmente de atividades industriais e mineração, esses metais são liberados no meio ambiente em quantidades que, quando elevadas, podem contaminar solos e animais aquáticos, comprometendo a qualidade dos recursos hídricos, alimentícios e a saúde pública. Este estudo objetiva analisar as quantidades de metais pesados em uma amostra de água de Bento Gonçalves (RS), localizada na região das enchentes e investigar os efeitos tóxicos dos metais pesados, com ênfase na exposição crônica e seus potenciais impactos na saúde a longo prazo, especialmente em populações expostas a desastres naturais. Foram coletadas amostras de água e lama para análise dos metais Pb, Hg e Cd. Os resultados indicaram níveis significativos de Pb, apontando um risco para a saúde pública, o Hg e o Cd não foram detectados. A compreensão dos impactos dos metais pesados na saúde humana é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de proteção e gestão ambiental. Este estudo contribui significativamente para aumentar a conscientização sobre os riscos associados à exposição a metais pesados em contextos de desastres ambientais, destacando que tais cenários são particularmente susceptíveis à contaminação e, consequentemente, ao surgimento de doenças a longo prazo.

Descritores: Contaminação ambiental, metais pesados, enchentes, desastre ambiental.

ABSTRACT

Heavy metals such as lead (Pb), cadmium (Cd) and mercury (Hg) represent a growing concern due to their environmental impacts and risks to human health. Originating mainly from industrial and mining activities, these metals are released into the environment in quantities that, when high, can contaminate soils and aquatic animals, compromising the quality of water and food resources and public health. This study aims to analyze the amounts of heavy metals in a water sample from Bento Gonçalves (RS), located in the flood region, and to investigate the toxic effects of heavy metals, with an emphasis on chronic exposure and its potential long-term health impacts, especially in populations exposed to natural disasters. Water and mud samples were collected for analysis of the metals Pb, Hg and Cd. The results showed significant levels of Pb, indicating a risk to public health; Hg and Cd were not detected. Understanding the impacts of heavy metals on human health is fundamental to developing effective environmental protection and management strategies. This study contributes significantly to raising awareness of the risks associated with exposure to heavy metals in environmental disaster contexts, highlighting that such scenarios are particularly susceptible to contamination and, consequently, to the emergence of long-term illness.

Descriptors: *Environmental contamination, environmental disaster, floods, heavy metals.*

INTRODUÇÃO

Os metais pesados correm de forma livre e natural na natureza, porém, em quantidades baixas, e quando apresentados de forma elevada causam um impacto significativo no meio ambiente. A alta produção de rejeitos provenientes de metais pelas indústrias, práticas de mineração e seu descarte inadequado pode desencadear a contaminação de solos e corpos d'água, alterando a qualidade e quantidade dos recursos hídricos em um determinado local¹.

Qualquer alteração no meio ambiente pode causar desequilíbrio, e quando se trata de um desastre natural as consequências são devastadoras, tanto para a fauna e a flora, quanto para os seres humanos. Durante o século XX e, especialmente, nas últimas cinco décadas, a exposição das populações aos riscos de desastres tem aumentado de forma mais rápida do que as capacidades de redução da vulnerabilidade, tanto no Brasil, quanto no restante do mundo. Isso tem resultado em impactos intensos e generalizados, tanto em termos de duração quanto de abrangência geográfica².

Entre 24 de abril e 4 de maio de 2024 foi registrado estado de calamidade em 366 municípios do Rio Grande do Sul devido a ocorrência de $\frac{1}{4}$ de o que era previsto em níveis pluviais para o ano na região, deixando inúmeras famílias desabrigadas e devastação em boa parte dos territórios atingidos³. Apesar da enchente ser considerada como acontecimentos de sistemas naturais sobre a superfície terrestre que maiores alterações provocam no espaço geográfico, esses desastres são contaminantes de águas e alimentos^{2, 3}.

Entre os metais pesados mais conhecidos estão o chumbo (Pb), cádmio (Cd) e mercúrio (Hg), que são abundantes no meio ambiente e devido a alta utilização destes em processos produtivos, apresentam diversos riscos como a toxicidade para o homem. Todos os seres humanos são impactados pelos metais, dependendo do grau de contato, formas químicas de cada elemento, via de absorção e modo de exposição, podendo ser aguda ou crônica, além de que fatores como a idade do indivíduo, o tempo de exposição e o contexto social e econômico em que se insere são de suma importância para a determinação de possíveis efeitos em sua saúde decorrentes da contaminação por metais pesados⁴.

A análise dos impactos da contaminação de metais pesados como Hg, Pb e Cd é importante para se estimar os potenciais danos à saúde a longo prazo na população exposta. O contato com esses metais pode resultar em doenças crônicas que afetam principalmente a população idosa, devido a capacidade de bioacumulação dos metais pesados e a capacidade de ampliar a sua proporção no organismo com o passar do tempo, afetando principalmente o sistema nervoso⁵.

Deste modo, o presente estudo objetiva listar os principais efeitos tóxicos que os metais pesados exercem sobre a saúde humana a longo prazo, detalhando os sistemas mais afetados e os mecanismos de toxicidade, como o estresse oxidativo e inflamação crônica. Identificar especialmente as quantidades presentes em amostra retirada de Bento Gonçalves (RS), para projetar os possíveis efeitos futuros que a contaminação por esses metais podem exercer sobre a saúde das pessoas atingidas e sua relação com os padrões de contaminação para desenvolver estratégias de profilaxia à população exposta aos elementos climático extremos, levando em consideração o prognóstico de associação dos metais com doenças crônicas prováveis de acometer a população idosa do Estado do Rio Grande do Sul.

METODOLOGIA

CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

Trata-se de um estudo observacional, descritivo, analítico, quantitativo. O presente estudo consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de definir as formas de controle e observação dos efeitos que essas variáveis produzem em cada uma das populações, e comparar os resultados entre elas.

O material utilizado para a análise dos níveis de metais presentes na amostra foram: Tiras de teste de água precisas para água potável e titulação amperométrica.

COLETA DAS AMOSTRAS

Para conduzir esse estudo foram utilizadas amostras de água e lama provenientes da enchente no município de Bento Gonçalves (RS) em dois pontos da área. Amostra-1 de coordenadas, latitude / longitude -29.088755,-51.638438, Amostra-2 -29.088755,-51.638438, Amostra-3 -29.088755,-51.638438. As coletas foram realizadas com auxílio de garrafa pet e antes de armazenar o material foram feitas três lavagens com água amostrada do Rio das Antas para evitar contaminação de material anterior.

Foram coletados 500 ml de lama em duplicata e 1,5 litros de água em duplicata, as quais foram divididas para cada teste de análises de metais pesados pelo método de tira reagente e para o método de titulação amperométrica.

ANÁLISE DE METAIS PESADOS

A contaminação por metais pesados é um problema de saúde pública, mesmo em baixas concentrações esses elementos podem ocasionar a incidência de neoplasias por intoxicação. Dessa forma, somente foram realizadas dosagens dos metais pesados Pb, Hg e Cd para as amostras.

Para a detecção de Pb e Hg foram utilizadas tiras reagentes específicas para cada metal. Para maior precisão, as amostras foram preparadas da seguinte maneira: Colocou-se 15 ml de lama em solução com ácido nítrico (HNO₃) para lixiviação dos metais, em seguida filtrou-se a amostra tratada a fim de separar os sedimentos presentes na lama. Com a solução extraída, foi utilizada a tira reagente para análise dos metais de interesse, revelando os seguintes resultados: presença de 20mg/L para Pb e 0mg/L para Hg.

Para a detecção de Cd foi utilizado o método de titulação amperométrica, conforme descrito por Pereira, Rezende e Almeida (2013)⁶ em seu artigo intitulado “Uso da técnica amperométrica e equipamentos de baixo custo na determinação de Cd em amostras de água”. Utilizou-se 10 ml da amostra adicionada à 20 ml de acetato de sódio 0,01 mol/L, em seguida gotejou-se hidróxido de sódio 0,005 mol/L ml por ml, anotando o valor indicado pelo multímetro até se alcançar os 25 ml do titulante.

Não foi observada a precipitação de Cd nas amostras. Para as três foi notada alteração no valor da corrente elétrica, mantendo-se constante em torno de 3,44 mA a 5,89 mA, podendo ter sofrido interferência de outros metais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os efeitos tóxicos dos metais pesados sempre foram vistos como acontecimentos de curto prazo, agudos e claros. Hoje em dia, são observadas ocorrências a médio e longo prazo, com relações causa/efeito que são pouco claras e geralmente subclínicas^{7, 8}. Esses efeitos são, em geral, difíceis de distinguir e apresentam baixa especificidade, pois podem ser induzidos por

outras substâncias tóxicas ou pela interação entre esses agentes químicos. A expressão dos efeitos tóxicos está relacionada à dose e pode se disseminar pelo organismo, afetando múltiplos órgãos⁸.

Ao avaliar o risco associado à exposição a metais pesados, é essencial considerar fatores como idade, sexo, nutrição, condição socioeconômica, circunstâncias e duração da exposição, variabilidade genética e suscetibilidade, para uma análise precisa. Além disso, acredita-se que idosos e crianças tenham mais suscetibilidade às substâncias tóxicas^{9,10}.

As elevações nas concentrações de metais pesados encontrados em lama e água das enchentes é associada a forma em que essas substâncias, pela força do volume lançado, causaram um revolvimento e colocaram em suspensão os contaminantes inorgânicos que estavam presentes no solo, deixando-os biodisponíveis ao longo do trajeto em que se estenderam. Por não se degradarem e permanecerem solubilizados, esses elementos quando entram em contato com a dinâmica hídrica apresentam riscos elevados de contaminação¹⁰.

A exposição ambiental aos metais pesados pode ser relacionada com o surgimento de enfermidades relacionadas aos sistemas imunológico, renal, respiratório, cardiovascular, neurológico, reprodutivo e endócrino⁴. Isso acontece devido a afinidade dos metais com elementos presentes nos compartimentos celulares, como o oxigênio, o nitrogênio e o enxofre, podendo causar alterações e agregações em estruturas proteicas, além de apresentarem possivelmente um teor tóxico, sendo prejudicial às células, pois dependem dessas estruturas para realizarem suas determinadas funções¹¹.

Além disso, os metais podem causar oxirredução, que ocasiona a quebra de homeostase das células e, conseqüentemente, leva a estresse oxidativo. Esse pode ser responsável por oxidação de proteínas, aminoácidos e carboidratos e alterações importantes nos ácidos nucleicos, podendo induzir a um processo de carcinogênese⁸.

O Pb, o Hg e o Cd são metais que não estão naturalmente presentes em nenhum organismo. Eles não têm funções nutricionais ou bioquímicas em microorganismos, plantas ou animais. Ou seja, qualquer concentração é prejudicial. Esses metais pesados, quando ingeridos através de alimentos ou água, são os que mais têm causado casos de intoxicação prolongada ou crônica¹².

CHUMBO

O chumbo (Pb) é um dos metais tóxicos mais abundantes e sua exposição pode ser oriunda da água e do ar, resultante da combustão de emissões industriais e seus rejeitos no solo e, dependendo de sua forma (orgânica ou não) pode ser absorvido pelas vias aéreas, cutânea e pelo trato gastrointestinal. A ingestão média por dia de um adulto é de 0,1 a 2mg e o valor máximo de Pb presente na água consumida não pode ser maior que 0,01 mg/L¹³.

A maioria das intoxicações por Pb ocorre de forma lenta e aparece de forma gradativa. O aumento e acumulação do Pb depende também de fatores nutricionais, evidenciando a deficiência de alguns nutrientes, como o cálcio, ferro e fósforo, que são essenciais para o bom

funcionamento do organismo e, uma vez que não os recebe, o Pb se oportuniza e compete pelo mecanismo de transporte dos mesmos¹⁴. Ele é facilmente distribuído na corrente sanguínea e pode se acumular por diversos órgãos, como os ossos e músculos, devido à sua lenta eliminação, no fígado e rins, podendo, quando por acúmulo, desencadear quadros de osteoporose após exposição prolongada⁸.

No sistema nervoso, o Pb pode acarretar diversas complicações, tais como interferências na função de neurotransmissores, desregulação nos metabolismos, problemas no desenvolvimento cognitivo, tremores, alucinações, paralisia, esquecimento¹⁵.

Além desses efeitos, a intoxicação por Pb pode causar alterações no balanço redox das células, levando ao estresse oxidativo, gerando mutações na divisão e multiplicação celular. Em relação a isso, o Pb altera a síntese da hemoglobina, reduzindo o tempo de vida dos eritrócitos e desestimulando a eritropoiese, podendo causar doenças hematológicas a longo prazo⁸.

MERCÚRIO

O mercúrio (Hg) está presente no meio ambiente em três formas distintas: orgânico, inorgânico e metálico, sendo na maioria das vezes encontrado em lagos, rios e mares. A exposição crônica ao Hg ocorre de maneira prolongada, resultante do consumo de alimentos e água contaminados, especialmente peixes. Indivíduos que vivem nas proximidades de indústrias siderúrgicas, navais e metalúrgicas, bem como em áreas próximas a fábricas de baterias, enfrentam um maior risco de contaminação¹⁶.

A absorção do Hg, que pode ocorrer através das mucosas, da via respiratória e do trato digestivo, depende de seu estado físico, seja orgânico ou inorgânico. Ambas as formas podem resultar em uma variedade de complicações. Os sinais e consequências da exposição ao Hg são variados, desde diminuição da sensibilidade das extremidades do corpo humano até a redução parcial da visão e perda completa da audição. Além disso, o Hg é reconhecido como agente cancerígeno¹⁶. O sistema mais suscetível é o sistema nervoso central, manifestando sintomas como tremores, perda de memória, coordenação motora deficiente e, eventualmente, demência a longo prazo. Adicionalmente, tanto o sistema renal quanto o pulmonar podem ser afetados pelos efeitos tóxicos^{17, 18}.

Em geral, a interrupção da exposição ao Hg pode levar à reversão dos sintomas. Nos casos crônicos de intoxicação, a exposição a concentrações baixas afeta o sistema nervoso central, ocasionando fraqueza, fadiga, perda de apetite, emagrecimento e alterações comportamentais. Em concentrações moderadas, os sintomas persistem até que a exposição seja cessada. Em situações de exposição mais elevada, a alteração neurológica é claramente percebida, podendo levar a óbito¹⁸.

CÁDMIO

O cádmio (Cd), foi identificado em 1817, rapidamente se tornando um metal de grande relevância industrial, especialmente na produção de baterias, tintas e plásticos. É encontrado na crosta terrestre, sendo expansivamente difundido pela atividade humana, atividade vulcânica e erosão¹⁹.

O Cd penetra no organismo principalmente por duas rotas: a inalatória e a digestiva. A via inalatória ocorre predominantemente em ambientes industriais²⁰. O Cd está amplamente presente nos cigarros, representando a principal fonte de exposição a metais pesados, especialmente por meio da via respiratória, tanto para fumantes ativos quanto passivos. Enfisema e risco de câncer são alguns dos problemas que podem surgir quando a fumaça contendo Cd é inalada (um maço de cigarros contém entre 2 e 4 mg de Cd)²¹. Na via digestiva, podem ocorrer três possibilidades: a excreção, que não resulta em acúmulo, a ligação aos eritrócitos, causando pequenas acumulações, e a união à metalotioneína. A exposição geralmente ocorre através da alimentação, especialmente por meio de ostras, mariscos e plantas^{22,23}. A maior parte do Cd se acumula nos tecidos como fígado e rins, sendo o rim o primeiro a atingir concentração crítica. Resultando ao longo do tempo em condições como anemia, doença pulmonar obstrutiva, osteoporose e doenças cardiovasculares.

Os efeitos tóxicos crônicos do Cd são mais preocupantes do que as exposições agudas raras, pois pacientes cronicamente expostos apresentam danos renais, distúrbios no metabolismo do fósforo e cálcio, além do aumento no risco de desenvolver cálculos renais¹².

Para dimensionar os possíveis efeitos que metais pesados presentes na água poderão acometer a população idosa do estado, foi analisada uma amostra total de 4 litros de água e lama coletadas na cidade de Bento Gonçalves (RS), um dos locais atingidos pela enchente e deslizamentos de terra, através do método de tira reagente para identificação de Pb e Hg, onde foram encontrados 20 mg/L de Pb e 0 mg/L de Hg. Para a análise do Cd nas amostras, foi utilizada a técnica de titulação amperométrica, baseada no estudo realizado por Pereira e colaboradores⁶.

Ao obter as quantidades presentes nas amostras, foi realizada a confecção de uma tabela comparativa, onde pode-se visualizar os metais pesados, seus efeitos na saúde a longo prazo, os níveis encontrados nas amostras de Bento Gonçalves e os níveis toleráveis definidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)²⁴ na Resolução N° 357, publicada em 17 de março de 2005, os resultados estão descritos a seguir:

Tabela 1: Dados coletados e possíveis efeitos na saúde da população a longo prazo.

METAL PESADO	EFEITOS NA SAÚDE A LONGO PRAZO	NÍVEIS ENCONTRADOS	NÍVEIS TOLERADOS (CONAMA)
Chumbo	Saturnismo, carcinoma no pulmão e estômago, acometimento do sistema nervoso, sistema renal e ossos.	20 mg/L	0,01 mg/L
Mercúrio	Câncer no sistema nervoso e central, renal e pulmonar, leucemia e demência	0.00 mg/L	0,0002 mg/L
Cádmio	Câncer de pulmão e próstata, acumulação no pâncreas, testículo, tireoide, glândulas salivares, coração e rim	0.0 mg/L	0,001 mg/L

É evidente que o metal com maior presença é o Pb e sua quantidade encontrada na amostra se encontra acima dos níveis tolerados, portanto, mostra risco iminente para a população, de forma aguda e crônica, de modo que o Pb não é um metal encontrado naturalmente no organismo humano e a exposição a qualquer quantidade dessa substância pode levar a diversas consequências à saúde e qualidade de vida desses indivíduos⁵.

A presença do Pb na água e no solo do Rio Grande do Sul pode ser explicada a partir de estudos que mostram que o estado está entre as três principais reservas de Pb brasileiras, e a contaminação pode se dar a partir de deposição atmosférica, lançamento de efluentes industriais ou erosão de solos contaminados, e dissolução do Pb a partir de tubos, conexões e soldas usados nos sistemas de abastecimento de água⁷.

Como citado anteriormente, essa exposição, com o passar do tempo, pode ocasionar doenças a nível renal, como a nefropatia por Pb, doenças cardiovasculares, como a hipertensão e, principalmente, o comprometimento de funções neuropsiquiátricas, com o declínio da função motora e cognitiva. Esses níveis também podem ser associados ao aumento de doenças que acometem a população idosa, como catarata e gota²⁵. A exposição prolongada ao Pb também tem como consequência o estresse oxidativo, que leva a alterações na divisão e multiplicação celular, podendo gerar processos neoplásicos²⁶.

Existem evidências indicando que a exposição crônica ao Pb pode impactar o metabolismo de lipídios no corpo. Essa forma de exposição também está ligada à aterosclerose e ao aumento da mortalidade cardiovascular em seres humanos. Além disso, estudos recentes sugerem que mesmo níveis baixos de exposição a este metal estão gradualmente associados a diversos resultados adversos de saúde, como hipertensão e doença arterial periférica. Além disso,

conforme a intensidade e duração da exposição ao Pb, complicações cardíacas e vasculares podem ser potencialmente fatais²⁶.

Níveis de Pb no sangue entre 25 e 60 µg/dL (plumbemia) podem resultar em efeitos neuropsiquiátricos, como aumento dos tempos de reação, irritabilidade, dificuldade de concentração, diminuição da condução do nervo motor e dores de cabeça. Em concentrações maiores, as consequências possíveis são mais graves, como as encefalopatias, que podem ser acompanhadas de delírios, coma, convulsões e outros sintomas a nível do sistema nervoso central²⁷. Também, a toxicidade do Pb está diretamente ligada ao comprometimento do sistema hematológico, pois o metal interfere na produção e distribuição de células sanguíneas, além de diminuir a síntese de hemoglobina, promovendo a destruição das células hematopoiéticas²⁸.

Em comparação, em um estudo realizado por Silva *et al*²⁹, em 2019 com a população atingida pelo desastre ambiental em Mariana (MG), depois do rompimento da barragem em 2015, as internações por neoplasias aumentaram em 2% por dois anos, e a partir de 2017, os casos só aumentaram em relação aos meses anteriores, o que vem de acordo com o presente estudo.

A Serra Gaúcha, incluindo a cidade de Bento Gonçalves, possui uma grande produção vitícola, onde são produzidas uvas para produção de bebidas e alimentos provindos da fruta. A qualidade e quantidade de produção dependem do solo, temperatura e em certas fases de maior sensibilidade da planta, necessita-se do uso de fertilizantes e agrotóxicos, que podem ser condutores de metais pesados³⁰. O Hg é um metal que pode ser encontrado naturalmente nos solos, porém, o uso excessivo de fertilizantes agrícolas e o despejo de resíduos industriais leva a uma contaminação, pois com a diminuição do pH do solo, a disponibilidade desse metal aumenta. Ao final desse processo, a toxicidade leva a produção de alimentos potencialmente tóxicos à saúde humana³¹.

O estudo realizado por Bélle³⁰, evidenciou que os tipos de fertilizantes utilizados para a cultura nas áreas da Região Metropolitana da Serra Gaúcha não possuem cargas significativas de Hg em suas composições, apenas traços menores em relação ao limite tolerado, que são facilmente absorvidos em águas subterrâneas. Ademais, corpos hídricos também são diretamente afetados pela contaminação de metais pesados, porém, a ação de bióticos e abióticos sujeitam essas substâncias à degradação, fazendo com que sua concentração em ambientes aquáticos seja relativamente menor do que em sedimentos³².

Essas constatações coincidem com os resultados obtidos pela análise das amostras de água e lama do presente trabalho, onde as concentrações de Hg não se demonstraram relevantes e não se obteve números precisos e significativos sobre sua presença. Os resultados também podem ser comparados ao estudo de Angheben³², realizado em 2019, que realizou uma análise da quantidade de metais pesados em peixes em diferentes níveis no Rio das Antas e no Rio Tega, sendo a mesma área que as coletadas para a realização das atuais análises. O estudo relatou que o

Hg não teve valor expressivo nas amostras coletadas, estando abaixo dos limites de detecção, não sendo relevante para a expressão de cálculos e resultados.

Já as atividades antropogênicas que possibilitam a deposição de Cd em efluentes incluem a mineração, fundição de metais, fabricação de produtos metálicos e a produção de baterias e plásticos, bem como de aplicações agrícolas, como lamas de esgoto e fertilizantes fosfatados³³. O Cd pode se acumular nas camadas mais profundas de água devido à sedimentação de partículas contaminadas e à menor diluição nessas áreas. Na superfície, a concentração de metais pesados é comumente mais baixa devido à decomposição da matéria orgânica³⁴.

Um estudo realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul³⁵, apontou a quantidade de empreendimento e concentração média (mg/L-1) de metais nos efluentes brutos gerados por cada ramo de atividade. Destacou-se na região serrana uma considerável presença de Cd. Segundo o estudo, no Rio Grande do Sul o Cd é comumente encontrado em ramos de produção de fundidos (5,2 mg./L-1) e fabricação, montagem e reparação de veículos (0,936 mg/L-1).

No presente estudo, o metal não foi detectado nas amostras coletadas. Isso pode ser explicado pela ausência ou mínima presença de atividades industriais que utilizam ou liberam Cd na área circundante do rio. De acordo com informações da Secretaria do Planejamento, os segmentos metalmeccânico são bem desenvolvidos na região da Serra e Vale dos Sinos, o que poderia potencialmente aumentar a concentração do metal nas amostras, caso o teste realizado indicasse sua presença.

Partindo disso, tem-se duas hipóteses: como o Rio das Antas percorre pela região e o Cd e o Hg não foram detectados nas amostras do presente estudo, isso indica que a contaminação do Rio das Antas é mínima ou inexistente. A segunda seria que estas constatações apontam a possibilidade de o método apresentado por Pereira, Rezende e Almeida⁶ possa não ser suficientemente específico para a análise em questão. Segundo a literatura de Vogel³⁶ seria necessária uma análise com a espectrometria de absorção atômica (AAS) e métodos colorimétricos devido a maior sensibilidade e precisão na detecção de baixas concentrações do metal.

Portanto, é de suma importância que se mantenha uma análise constante dos metais nas águas provenientes das enchentes, visto que os níveis de Pb apresentam risco significativo para a saúde da população atingida. Futuramente, com a utilização de técnicas mais precisas, pode-se encontrar quantidades relevantes de Hg e Cd nessas localidades, sendo potenciais fatores para o surgimento de doenças crônicas e complicações à saúde e qualidade de vida dos indivíduos dessa região.

CONCLUSÃO

O Pb, Hg e Cd são três dos principais metais que podem afetar os seres humanos, causando várias doenças. Embora todos os processos que ocorrem no organismo após a

exposição ainda não estejam completamente compreendidos, sabe-se que, em certos níveis de concentração e exposição, rapidamente surgem sintomas associados a várias patologias, impactando significativamente a Saúde Pública.

Assim, através da realização da pesquisa, pode-se constatar que é de suma importância monitorar e fiscalizar os níveis de metais pesados na água e no solo, especialmente após eventos como enchentes e deslizamentos de terra. Esses ocorridos têm o potencial de liberar metais pesados anteriormente retidos no solo, tornando-os disponíveis para contaminação ambiental e consequentemente a exposição humana.

Deste modo, percebe-se o quão importante é a implementação de estratégias preventivas, como o controle rigoroso de fontes de contaminação, educação pública sobre os riscos associados e medidas eficazes de tratamento de água e saneamento básico após as enchentes. Essas ações são fundamentais para garantir um ambiente seguro e saudável para as gerações futuras, minimizando os impactos negativos desses poluentes ambientais.

REFERÊNCIAS

1. Barboza, A. R. C. DE A. et al. **CONTAMINAÇÃO POR CHUMBO E SUAS IMPLICAÇÕES AO AMBIENTE E À SAÚDE HUMANA: UMA REVISÃO NARRATIVA.** Estudos e Escrita Científica Multidisciplinar em Ciências da Saúde, p. 28–40, 2024. Disponível em: <https://www.editoracientifica.com.br/artigos/contaminacao-por-chumbo-e-suas-implicacoes-ao-ambiente-e-a-saude-humana-uma-revisao-narrativa>.
2. Pacchello, S. N. **IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICOS CAUSADOS PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE BRUMADINHO.** UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, São José dos Campos 2021. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/server/api/core/bitstreams/2052740f-0757-4da1-b77e-cd307754312b/content>.
3. Jornal da USP. Chuvas no Rio Grande do Sul devastam o Estado, provocando mortes e o deslocamento de populações. Disponível em: <https://jornal.usp.br/radio-usp/chuvas-no-rio-grande-do-sul-devastam-o-estado-provocando-mortes-e-o-deslocamento-de-populacoes/>. Acesso em: 22 mai. 2024.
4. Cruz, J. V. B. et al. **Influência dos metais pesados no acometimento do câncer: Uma revisão da literatura.** Research, Society and Development, v. 10, n. 6, p. e45810615992–e45810615992, 6 jun. 2021.
5. Barboza, F. et al., 2024. **Inimigo invisível: metais pesados e a saúde humana.** *Environmental Pollution*; 230, pp. 141-148; Disponível em: Acesso em: 21 jun. 2024.
6. Pereira, T. B.; Rezende, J. A. M.; Almeida, A. M. **USO DE TÉCNICA AMPEROMÉTRICA E EQUIPAMENTOS DE BAIXO CUSTO NA**

- DETERMINAÇÃO DE CÁDMIO EM AMOSTRAS DE ÁGUA.** X Congresso Nacional de Poços de Caldas, Centro Universitário de Formiga-MG, 2013. Disponível em: https://www.meioambientepocos.com.br/anais2013/272_USO%20DE%20T%C3%89CNICA%20AMPEROM%C3%89TRICA%20E%20EQUIPAMENTOS%20DE%20BAIXO%20CUSTO%20NA%20DETERMINA%C3%87%C3%83O%20DE%20C%C3%81DMIO%20EM%20AMOSTRAS%20DE%20%C3%81GUA.pdf
7. Gomes, F. B. R. et al. **Ocorrência de chumbo, cromo e mercúrio em mananciais de abastecimento e em água de consumo humano no Brasil.** Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 18, n. 2021, 14 jun. 2021. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/OJS/index.php/REGA/article/view/506/63>.
 8. Moschem, J. DA C.; Gonçalves, P. R. **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. 88–100, 31 ago. 2020.
 9. Oliveira, C. S. V. **Análise da concentração de metais pesados em escolares com dificuldades de aprendizagem.** 2019. Dissertação (Mestrado em Fonoaudiologia) - Faculdade de Odontologia de Bauru, University of São Paulo, Bauru, 2019. Disponível em: https://scholar.archive.org/work/oc4wsidvzngidgizclwrsxbvp4/access/wayback/https://teses.usp.br/teses/disponiveis/25/25143/tde-28082019-182210/publico/CristianeSabinoViannadeOliveira_Resumida.pdf.
 10. Kapepa, M. **Perfil de contaminação das águas e peixes por metais pesados e suas consequências para a saúde humana: uma revisão de literatura.** Revista Brasileira de Ciências Biomédicas, v. 1, n. 1, p. 16, 29 abr. 2020. Disponível em: <https://rbcbm.com.br/journal/index.php/rbcm/article/download/1/12a>.
 11. Gomes, W. R.. **Exposição ocupacional ao chumbo (Pb): efeitos sobre o estado redox celular e a influência de polimorfismos genéticos sobre a toxicocinética do metal.** 28 fev. 2020. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/60/60134/tde-19122019-084928/>.
 12. Bhardwaj, J. K.; Paliwal, A.; Saraf, P. - **Effects of heavy metals on reproduction owing to infertility. Journal of Biochemical and Molecular Toxicology.** ISSN 10990461. 35:8 (2021). Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jbt.22823>.
 13. Teixeira, D. C. L. et al. **Exposição a contaminantes ambientais inorgânicos e danos à saúde humana / Exposure to inorganic environmental contaminants and damage to human health.** Brazilian Journal of Health Review, v. 3, n. 4, p. 10353–10369, 17 ago. 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/download/14984/12373>.
 14. Filho, S.; Correia, R. **Avaliação da produção de espécies reativas em células linfomononucleares e do status redox celular em eritrócitos da população circunvizinha a laguna Mundaú (Maceió-AL) exposta a espécies químicas potencialmente tóxicas.** 5 mar. 2021. Disponível em: www.repositorio.ufal.br.

15. Silva, W. N. DA. **Papel das células de Schwann na progressão do melanoma murino experimental.** repositorio.ufmg.br, 17 fev. 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/53569>
16. Francisco, A. R. C. **Química e toxicidade do mercúrio.** repositorio.ul.pt, 23 set. 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10451/52985>
17. Bastos, W. R.; Lacerda, D.. **A contaminação por mercúrio na bacia do Rio Madeira: Uma breve revisão.** Geochimica Brasiliensis, v. 18, n.2, p. 99-114, 2004. Disponível em: <http://geobrasiliensis.org.br/geobrasiliensis/article/download/215/257>. Acesso em: 21 jun. 2024.
18. Fu, Z.; Xi, S. **The effects of heavy metals on human metabolism.** Toxicology Mechanisms and Methods, v. 30, n. 3, p. 167–176, 1 mar. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15376516.2019.1701594>
19. Kumar, S.; Sharma, A. - **Cadmium toxicity: Effects on human reproduction and fertility.** Reviews on Environmental Health. ISSN 00487554. 2019). Disponível em: <https://doi.org/10.1515/reveh-2019-0016>. Acesso em: 21, jun. 2024.
20. Vaz, F. S., Furlan, É. F. **Contaminantes inorgânicos em pescado.** In *TECNOLOGIA DE ALIMENTOS: TÓPICOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS-VOLUME 2* (Vol. 2, pp. 64-79), 2020. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/200801011.pdf>.
21. Santos, R. M. dos, Neto, L. T., & Junior, V. A. K. (2019). **Análise da presença de cádmio em amostras de saliva de pacientes fumantes e não fumantes / Analysis of the presence of cadmium in saliva samples of smoking and non-smoking patients.** *Brazilian Journal of Development*, 5(9), 15934–15944. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n9-159>. Acesso em: 21 jun. 2024.
22. Genchi, G. et al. **The effects of cadmium toxicity.** International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 17, n. 11, p. 3782, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/11/3782/pdf-vor>. Acesso em: 28 jun. 2024.
23. Filipini, T. et al. **Cadmium exposure and risk of breast cancer: a dose-response meta-analysis of cohort studies.** Environment International, v. 142, p. 105879-105888, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105879>. Acesso em: 28 jun. 2024.
24. Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução N° 357 Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63, 2005.** Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450
25. Coelho, M. et al. **A Exposição ao Chumbo na Base de um Quadro de Arritmias Cardíacas.** Acta Médica Portuguesa, 17 out. 2022. Disponível

em:<https://www.actamedicaportuguesa.com/revista/index.php/amp/article/download/18791/14980>.

26. Cardoso, M. C. DE O. et al. **Avaliação do sistema cardiovascular: risco de exposição aos metais pesados.** Revista Educação em Saúde, v. 7, p. 88–92, 3 jul. 2019. Disponível em:<https://revistas.unievangelica.edu.br/index.php/educacaoemsaude/article/download/3810/2648/>.
27. Correia, A. et al. **Estratégias in vitro para a Mitigação da Nefrotoxicidade induzida pelo Chumbo.** [s.l: s.n.]. Disponível em:https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/64460/1/TM_Ana_Candido.pdf. Acesso em: 22 jun. 2024.
28. Bressiani, E. E. et al. **Avaliação da concentração sérica de chumbo e sua relação com marcadores bioquímicos e hematológicos em população ambientalmente exposta à agrotóxicos.** Journal Archives of Health, v. 4, n. 3, p. 1098–1107, 16 out. 2023. Disponível em:<https://ojs.latinamericanpublicacoes.com.br/ojs/index.php/ah/article/download/1433/1263>.
29. Silva G. R. R. E et al. **Análise dos possíveis efeitos na incidência de neoplasias referentes a intoxicação por metais pesados após o desastre ambiental da Samarco em Mariana-MG.** repositorio2.unb.br, 1 jun. 2019. Disponível em: http://www.realp.unb.br/jspui/bitstream/10482/36966/1/EVENTO_AnalisePossiveisEfeitos.pdf.
30. Bellé, É. **Identificação de contaminação de solo em área vitícola: avaliação preliminar e investigação confirmatória.** repositorio.ucs.br, 2 jul. 2021. Disponível em:<https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/13423/TCC%20Erica%20Belle.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
31. Simons, J. P. **Distrito mineiro do Salto do Jacuí : estudo do potencial uso dos rejeitos da exploração de ágata como remineralizadores do solo agrícola.** lume.ufrgs.br, 2022. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/234826/001136817.pdf?sequence=1>.
32. Angheben, F. M. **Avaliação da concentração de metais em peixes de diferentes níveis tróficos ocorrentes no Rio das Antas e no Rio Tega - RS.** repositorio.ucs.br, 6 jun. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/5109/Dissertacao%20Fernanda%20Marcon%20Angheben.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
33. Kubier, A.; Wilkin, R. T.; Pilcher, T. **Cadmium in soils and groundwater: A review.** Applied Geochemistry, v. 108, p. 104388, set. 2019. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7147761/>
34. Talebzadeh, F.; Valeo, C.; Gupta, R. **Cadmium Water Pollution Associated with Motor Vehicle Brake Parts.** IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 691, n. 1, p. 012001, 1 mar. 2021. Disponível em: <https://10.1088/1755-1315/691/1/012001>

35. Rio Grande Do Sul. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão, 2019. Disponível em: www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/inicial.
36. Vogel, A. S. **Análise Química Quantitativa**. Grupo GEN, 2002. *E-book*. ISBN 978-85-216-2580-3. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2580-3/>.

Autor Correspondente: Luana Taís Hartmann Backes

E-mail: lbackes@san.uri.br

Recebido em: 2024-06-28

Aprovado em: 2025-12-10