

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JORDANA DINORÁ DE LIMA

**DESASTRE DE MARIANA – MG:  
PREVALÊNCIA DO MERCÚRIO E SEUS EFEITOS EM SERES HUMANOS**

CURITIBA

2017

JORDANA DINORÁ DE LIMA

**DESASTRE DE MARIANA – MG:  
PREVALÊNCIA DO MERCÚRIO E SEUS EFEITOS EM SERES HUMANOS**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel, no Curso de Graduação em Ciências Biológicas, Setor de Ciências Biológicas, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Dalsenter

Curitiba

2017

## TERMO DE APROVAÇÃO

JORDANA DINORÁ DE LIMA

DESASTRE DE MARIANA – MG:  
PREVALÊNCIA DO MERCÚRIO E SEUS EFEITOS EM SERES HUMANOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Ciências Biológicas como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas, para a seguinte banca examinadora:

---

Prof.(a) Dr(a). Ana Cláudia Boareto  
Departamento de Farmacologia - UFPR

---

Prof.(a) Dr(a). Helena Cristina da Silva de Assis  
Departamento de Farmacologia - UFPR

---

Prof. Dr. Paulo Roberto Dalsenter  
Departamento de Farmacologia - UFPR

Curitiba, 17 de novembro de 2017.

*A toda minha família, grande fonte de amor, compaixão e alegria  
em quaisquer que sejam as adversidades.  
Vocês são minha maior e melhor base.*

## **AGRADECIMENTOS**

A minha mãe, Márcia, por ser fonte inesgotável de amor e compaixão. Companheira nas dancinhas mais divertidas na cozinha e também nas discussões filosóficas mais profundas. Meu melhor exemplo de vida.

A minha única e melhor irmã, Thaiza. Obrigada por me ajudar nas minhas dúvidas e aflições na vida acadêmica e fora dela. Tenho certeza que o mundo não poderia ter me dado uma irmã quase gêmea melhor que você.

Ao meu time, formado em ordem de chegada por Karol, Tami, Tathi, Lucas, Bru e Rafa. Obrigada por todas as tardes no gramado e por me acompanharem nos momentos que a faculdade e a vida não foram gentis.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Roberto Dalsenter, por me guiar e tranquilizar, por mais árduo que tenha sido o caminho da construção deste trabalho.

## RESUMO

O desastre de Mariana causou furor na mídia. Em 5 de novembro de 2015, a cidade de Mariana, no interior do estado de Minas Gerais, foi atingida por em torno de 60 milhões de metros cúbicos de lama provenientes do rompimento de uma barragem, o maior desastre deste tipo dos últimos 100 anos. A substância contida nesta barragem era resultado dos rejeitos de material obtidos após a mineração do ferro pela empresa SAMARCO. Após o acidente, e os comprovados impactos ambientais na flora e fauna local, podendo inclusive atingindo o Oceano Atlântico, a mídia especulou sobre a presença também de metais pesados nos rejeitos liberados no ambiente. Frente a esta especulação, o presente estudo pretendeu compreender a vulnerabilidade da população de Minas Gerais após o Desastre de Mariana e escolheu o metal pesado mercúrio para a investigação da problemática, principalmente, busca-se responder os seguintes questionamentos: O mercúrio estava presente na lama? Se o mercúrio não estava presente na lama, quais as outras atividades que podem contribuir para a manutenção da concentração de metais, com destaque ao mercúrio, no meio ambiente? Se mercúrio estava presente na lama ou está presente no ambiente em decorrência de outras atividades praticadas na região, então, quais são os principais efeitos que a população atingida estaria exposta? Este trabalho apresenta uma revisão sistemática do tema, contando com o aporte literário de três grandes bases de dados, são elas: PubMed, Scielo e Science Direct, e ainda com o portal Google Acadêmico e o buscador Google. Finalmente, foi encontrado que as notícias da mídia especulando a presença do mercúrio e outros metais pesados na lama não possuem confirmação em artigos científicos ou laudos técnicos. Entretanto, o impacto químico não comprovado não isenta a empresa SAMARCO dos impactos ambientais decorrentes de ações físicas da enxurrada de rejeitos. Mesmo assim, os possíveis impactos na saúde humana em decorrência do contato com o mercúrio foram elencados para a noção da dimensão do impacto em caso afirmativo. Este estudo atenta para o desenvolvimento da consciência ecológica, aplicação de medidas de prevenção e mitigação a desastres, inclusive através da educação ambiental.

Palavras chave: Desastre de Mariana, Desastre Ambiental, Mercúrio.

## **ABSTRACT**

The disaster of Mariana caused a furor in the media. On November 5, 2015, the city of Mariana, in the interior of the state of Minas Gerais, was hit by around 60 million cubic meters of mud from the rupture of a dam, the biggest disaster of its kind in the last 100 years. The substance contained in this dam was a result of material tailings obtained after the iron mining by SAMARCO. After the accident, and the proven environmental impacts on local flora and fauna, and even reaching the Atlantic Ocean, the media speculated about the presence of heavy metals in the tailings released into the environment. In view of this speculation, the present study aimed to answer the following: Was mercury present in the mud? If mercury was not present in the sludge, what other activities can contribute to the maintenance of the concentration of metals, especially mercury, in the environment? If mercury was present in the mud or is present in the environment as a result of other activities practiced in the region, then what are the main effects that the affected population would be exposed to? This work presents a systematic review of the theme, with the literary contribution of three large databases, namely PubMed, Scielo and Science Direct, as well as the Google Scholar portal and the Google search engine. Finally, it was found that the news speculating the presence of mercury and other heavy metals in the media does not have confirmation in scientific papers or technical reports. However, the unproven chemical impact does not exempt the SAMARCO company from the environmental impacts resulting from physical actions of the tailings runoff. Even so, the possible impacts on human health as a result of contact with mercury were listed for the notion of impact size if so. This study focuses on the development of ecological awareness, the application of disaster prevention and mitigation measures, including through environmental education.

Keywords: Mariana disaster, Environmental disaster, Mercury.

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

Pb - chumbo

Cu - cobre

Cd - cádmio

Zn - zinco

Ni - níquel

Cr - cromo

Hg - mercúrio

Co - cobalto

V - vanádio

As - arsênio

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

MG - Minas Gerais



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	9
2. OBJETIVOS .....	12
2.1. OBJETIVO GERAL .....	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3. METODOLOGIA.....	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	15
4.1. DESASTRE DE MARIANA – MINAS GERAIS .....	15
4.1.1. A abordagem do desastre pela mídia .....	15
4.1.2. Caracterização do desastre .....	18
4.2. DESASTRES AMBIENTAIS .....	20
4.2.1. Vulnerabilidade aos desastres ambientais .....	20
4.2.2. Principais desastres envolvendo metais pesados .....	22
4.3. MERCÚRIO .....	25
4.3.1. Características do mercúrio e seus efeitos nos seres humanos .....	25
4.3.2. Ações antrópicas que contribuem para o aumento da concentração do mercúrio e de metais pesados no ambiente .....	27
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	31
5. REFERENCIAS.....	32

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de maquinário industrial pelo homem para a utilização mais rápida dos recursos naturais pareceu de incrível ousadia e serventia para a população na época. Este período, denominado Revolução Industrial, passou a ser mal visto quando a ambição por linhas de produção altamente eficientes passou a ignorar os possíveis riscos relacionados ao uso desenfreado e irregular do meio ambiente.

Ao perceber as consequências das ações tomadas, empresas passaram a incluir o ambientalismo em seu programa de progresso, e a Revolução Industrial deu lugar a Revolução Ambiental. Castells (apud MELO 2012) defende que a modificação da organização social, individualmente e como grupo, é essencial para a remediação dos problemas ambientais mais basais de nossa sociedade. Esta modificação seria associada com a modificação do próprio sistema industrial e de consumo.

Somente após a segunda guerra mundial e os grandes prejuízos associados ao uso de energia nuclear como maquinário de batalha, a humanidade começou a perceber que o uso incorreto dos recursos ambientais pode resultar no fim de sua própria existência (MELO, 2012). Infelizmente, esse período foi necessário para que o homem pudesse atentar-se para a importância da discussão sobre a consciência ambiental. Porém, a questão do equilíbrio entre crescimento econômico e uso dos recursos naturais foi estabelecida com maior rigor somente após a constituição do Clube de Roma, em 1968, formado por estudiosos, políticos e industriais. A esta questão foi dada o termo: Desenvolvimento Sustentável (MELO, 2012). Industrialização acelerada, rápido crescimento demográfico, escassez de alimentos, esgotamento de recursos não renováveis e deterioração do meio ambiente foram apontados como maiores fatores a serem modificados para a promoção de um desenvolvimento sustentável real.

Entretanto, alguns acontecimentos da atualidade nos motivam a questionar a relevância das legislações propostas nesta época. Nesta revisão, dá-se destaque um evento importante ocorrido no Brasil, em 5 de novembro de 2015, no qual a cidade de Mariana localizada no interior de Minas Gerais foi atingida por um dos maiores desastres ambientais presenciados pelo país da última década. A cidade foi atingida por pelo

menos 60 milhões de metros cúbicos de lama (COSTA, 2015; FELIPPE *et al.*, 2015) proveniente de rejeitos produzidos pela empresa mineradora SAMARCO SA.

A empresa, controlada pela Vale, atua desde 1977 na mineração de ferro para a produção de aço em terras mineiras e capixabas foi questionada pela mídia a respeito dos componentes da lama que atingiu mais de 500 km de áreas rurais nos entornos do Rio Doce (FELIPPE, *et al.*, 2015). Segundo ela, a lama não possuía resíduos tóxicos e não ofereceria perigos químicos a população local, sendo classificado como material inerte e não perigoso. O material proveniente do minério de ferro conteria apenas água, partículas de óxido de ferro e sílica (Redação Folha Vitória, 12 de novembro de 2015). Estudos publicados em 2017, comprovam a presença de vários metais tóxicos nos afluentes do Rio Doce, tais como manganês, alumínio, fósforo, enxofre, mercúrio e muitos outros mesmo antes do evento de rompimento da barragem (FERNANDES, 2017). Entretanto, é válido investigar a presença de contaminantes nos rejeitos liberados, mesmo que não por contaminação direta da mineradora, uma vez que a região já esteve exposta a esta contaminação no passado; contaminantes estes, que podem ter sido mobilizados em decorrência do revolvimento dos sedimentos do rio (IBAMA, 2015) ou mesmo dos próprios processos de extração. Dentre os materiais possivelmente presentes nos rejeitos, um grande candidato é o mercúrio.

O mercúrio foi amplamente utilizado na década de 80 e 90 para a extração de ouro granulométrico. A partir da queima da amálgama de ouro, o mercúrio metálico auxiliava na extração do metal dos assoalhos hídricos em regiões Amazônicas (SILVA, *et al.*, 2015). Neste sentido, áreas garimpadas por muitos anos na Amazônia tem maior tendência a apresentarem níveis mais altos de mercúrio, e conseqüentemente seus processos de biomagnificação, como estudado em populações de peixes (LIMA, 2013 apud SILVA, *et al.*, 2015). Espera-se que o mesmo tenda a ocorrer para áreas garimpadas na região de Minas Gerais, ou seja, áreas mineiras tendem a ter mercúrio já presente, devido aos longos períodos de garimpo de ouro na região.

O mercúrio se destaca de outros metais pesados por ser o metal de maior toxicidade e potencial tóxico presente no meio ambiente (LOPES, 2012; MORAES, 2011 apud SILVA, *et al.* 2015). Também, por estar presente nos três estados físicos em seu ciclo biogeoquímico (SILVA, *et al.* 2015), o leque de contaminação deste metal pesado é

amplo, tornando sua prevalência no ambiente mais preocupante, atentando principalmente para o transporte do vapor de mercúrio pelo ar, o que contribui para a expansão das zonas contaminadas. A inalação do vapor de mercúrio pode ser intensamente prejudicial ao organismo, devido a sua capacidade de difusão em meio lipídico, atravessa facilmente as membranas dos pulmões sendo 80% do vapor inalado retido no organismo (VIEIRA, 2015). Isso é ainda mais prejudicial, considerando que o inalado é capaz de atravessar as barreiras hematoencefálica e placentária (VIEIRA, 2015), podendo causar ainda prejuízos para as próximas gerações em caso de uma exposição atual.

Finalmente, o objetivo central desta produção é compreender a vulnerabilidade da população de Minas Gerais ao metal pesado mercúrio em decorrência do Desastre de Mariana. Para tal, pretende-se buscar na literatura informações relevantes sobre os componentes presentes na lama escoada incluída o mercúrio, assim como quais atividades podem contribuir para o aumento da concentração do mercúrio no meio ambiente, além da explanação sobre os efeitos do mercúrio nos seres humanos. Em suma, o presente trabalho visa responder os seguintes questionamentos: O mercúrio estava presente na lama? Se o mercúrio não estava presente na lama, quais as outras atividades que podem contribuir para a manutenção da concentração de metais, com destaque ao mercúrio, no meio ambiente? Se mercúrio estava presente na lama ou está presente no ambiente em decorrência de outras atividades praticadas na região, então, quais são os principais efeitos que a população atingida estaria exposta?

Os capítulos a seguir estão organizados de acordo com as palavras-chave pesquisadas nos buscadores científicos ou de pesquisas acadêmicas e escolares. Dessa forma, o conteúdo será abordado em três unidades, intituladas: Desastre Ambiental de Mariana – Minas Gerais, Desastres Ambientais e Mercúrio, dentro das quais estão inseridos dois capítulos cada com os temas relevantes para a análise da problemática citada anteriormente, numa sequência que se julgou coerente.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Compreender a vulnerabilidade da população de Minas Gerais ao metal pesado mercúrio após o Desastre de Mariana

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Identificar os componentes presentes na lama despejada no ambiente em decorrência do rompimento da barragem.

Apresentar possíveis atividades antrópicas responsáveis pela liberação de metais na região antes mesmo da ocorrência do desastre ambiental em questão.

Compreender os efeitos do mercúrio nos organismos vivos.

### 3. METODOLOGIA

Esta pesquisa tem caráter qualitativo exploratório e realizou a revisão sistemática do tema. Para esta revisão foram escolhidos três bancos de dados, são eles: PubMed, Scielo e Science Direct. Sendo utilizado episodicamente o portal Google Acadêmico, para o aprofundamento e explanação de alguns conceitos. O portal Google também foi utilizado para a obtenção da forma pela qual a mídia abordou o tema nas matérias de revistas online citadas neste trabalho.

Foram pesquisadas em fontes primárias, como artigo e estudos científicos, e em fontes secundárias, como matérias de revistas online contendo as concepções e opiniões acerca do tema. Em ambas as fontes foram pesquisadas as palavras chave: *Desastre Ambiental*, *Desastre de Mariana*, *Contaminação por metal pesado* e *Mercúrio*. Nas plataformas PubMed, Scielo e Science Direct estes termos foram pesquisados em suas respectivas traduções em inglês, a saber: *Environmental Disaster*, *Mariana's Disaster*, *Heavy Metal contamination* e *Mercury*. Enquanto que no portal Google Acadêmico, os mesmos termos foram pesquisados em língua portuguesa. Já no portal Google, as matérias de revistas online foram obtidas através da pesquisa somente acerca do termo *Desastre de Mariana*.

Obviamente, a pesquisa inicial nas plataformas científicas gerou milhares de resultados, e para a filtragem inicial dos estudos foram escolhidos arbitrariamente algumas características dos links resultantes. Assim, a pesquisa se limitou aos 100 artigos considerados mais relevantes em cada uma das plataformas, publicados nos últimos 5 anos (2012-2017), que ofereciam acesso gratuito e publicação em formato PDF. Finalmente, os artigos retirados para a leitura obrigatoriamente deveriam conter a palavra-chave pesquisada em seu título.

Todos os artigos pesquisados nas plataformas PubMed, Scielo e Science Direct tiveram seus resumos lidos, sendo somente alguns deles escolhidos como bons representantes conceituais dos temas e lidos na íntegra. Todos os artigos pesquisados no portal Google Acadêmico foram lidos na íntegra, assim como as matérias de revista selecionadas encontradas pelo buscador Google.

Os artigos das plataformas foram escolhidos pois apresentam uma abordagem científica do tema, portanto, entendida como confiável e provada através de testes, medições e suportada por estudos adjacentes. Já as matérias de revista foram escolhidas por representar a forma com a qual a mídia aborda o Desastre Ambiental da cidade de Mariana.

Esta revisão resultou num compilado de todos os artigos destas referidas plataformas de publicações científicas, além da opinião da mídia acerca do assunto. Após, foi realizada uma abordagem qualitativa baseada na leitura dos textos, ou seja, foram descritos conceitos e ideias dentro da linha argumentativa apresentada neste trabalho.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. DESASTRE DE MARIANA – MINAS GERAIS**

#### **4.1.1. A abordagem do desastre pela mídia**

No decorrer desta pesquisa, percebeu-se a necessidade da abordagem da influência da mídia no reporte de informações. Para tal, este capítulo foi escrito e pretendeu esclarecer como a mídia reportou o desastre de Mariana, atentando para a possibilidade de sensacionalismo nas informações apresentadas.

Obviamente, por questões econômicas, alguns escritores da mídia buscam a construção de títulos e textos apelativos, entretanto, o risco se inicia a partir da possível distorção da informação pelo leitor, ou mesmo, a manipulação intencional deste último. Algumas das matérias publicadas em revistas no final do ano de 2015 que reportam o Desastre de Mariana representam um alerta para a necessidade de cautela dos mesmos ao subentender informações adicionais baseadas na possível causalidade entre elementos presentes nas matérias publicadas.

Neste sentido, podemos citar o caso da matéria de REUTERS, publicada em 26 de novembro de 2017 e escrita por Stephen Eisenhammer, que carrega o título “Arsênio e Mercúrio são encontrados no Rio Doce dias após desastre de SAMARCO”, o texto afirma que “Níveis ilegais de arsênio e mercúrio poluíram o Rio Doce nos dias após o rompimento da barragem da mineradora Samarco, no início de novembro, em Mariana (MG)”. Quando o autor afirma que os metais poluíram o rio após o rompimento da barragem, parece natural ao leitor responsabilizar o ato de poluição ao rompimento. Ainda na mesma matéria, o autor escreve “O Instituto de Gestão das Águas de Minas Gerais (Igam), chegou a encontrar níveis de arsênio mais de dez vezes acima do limite legal em um ponto do Rio Doce” e afirmou: “O relatório {do IGAM, citado anteriormente} [...] parece contradizer afirmações feitas pelas empresas responsáveis pela mina”.



Felizmente, neste ponto o autor tem o cuidado de citar que o relatório apenas “parece” contradizer os ditos afirmados pela mineradora.

O mesmo cuidado não foi tomado pela redação do jornal online Folha Vitória em matéria publicada em 12 de novembro de 2015 intitulada “Análise aponta presença de arsênio, chumbo, cobre e mercúrio em lama da barragem”, afirmando claramente que a lama conteria metais, sendo que o corpo do texto da matéria afirma que as análises foram realizadas em amostras de água do Rio Doce e não diretamente no material que foi despejado neste. Mais uma vez, a matéria escrita confunde o leitor, que facilmente pode concluir que os metais encontrados no Rio são provenientes da lama que invadiu os corpos d'água da região.

Outra matéria demonstra neutralidade, porém inclui relatos polêmicos de alguns dos envolvidos nas situações, como é o caso da matéria publicada pelo jornal Gazeta Online em 12 de novembro de 2015 (ROSI, 2015). Neste, a matéria delega a afirmativa ao prefeito de Baixo Guandu, a terceira cidade com maior registro de atividade pesqueira que foi atingida pela lama (IBAMA, 2015), que afirmou “O prefeito disse ainda que são 100 km de material tóxico descendo pelo rio”, afirmando que o material seria tóxico antes mesmo que alguma análise da própria lama fosse realizada. Entretanto, também apresenta um relato ponderado, dessa vez, segundo Eduardo Duarte Marques, pesquisador do serviço geológico do Brasil, que afirma: “Em certos pontos de extração do minério pode haver concentrações maiores desses metais – o que tornaria a lama realmente prejudicial. No entanto, para saber a concentração, será preciso fazer análises químicas”.

Preferivelmente, algumas matérias publicadas incluem informações técnicas. Dentre elas podemos citar o material publicado pela revista Época, publicado em 5 de novembro de 2015 redigido por Bruno Calixto, destacando o metal ao qual se tem foco neste trabalho, destacando:

“Os testes de qualidade de água identificaram 14 metais pesados fora dos parâmetros nos rios. Os metais mais {sic} presentes são ferro e manganês. O laudo indica que o **mercúrio**, que havia sido detectado em [testes em Governador Valadares \(MG\)](#), provavelmente **não veio da lama** e já estava presente nos rios

antes do acidente, já que a região tem um histórico de garimpo de ouro.”  
(CALIXTO, B., 2015 – grifo nosso)

Apesar da ausência de provas sobre a presença de algum material que não seria quimicamente inerte na lama despejada pela empresa SAMARCO, o IBAMA (Instituto brasileiro do Meio Ambiente) não a isentou da cobrança das devidas penalidades, já que não somente a composição do material seria relevante, mas também as alterações que este escoamento teria causado na paisagem local. Neste sentido, o Laudo Técnico Preliminar publicado pelo IBAMA em novembro de 2015 destaca:

“Mesmo que os estudos e laudos indiquem que a presença de metais **não esteja vinculada diretamente à lama** de rejeito da barragem de Fundão, há de se considerar que a força do volume de rejeito lançado quando do rompimento da barragem provavelmente revolveu e colocou em suspensão os sedimentos de fundo dos cursos d'água afetados, que pelo histórico de uso e relatos na literatura já continham metais pesados.

O revolvimento possivelmente **tornou tais substâncias biodisponíveis** na coluna d'água ou na lama ao longo do trajeto alcançado, sendo a empresa Samarco responsável pelo ocorrido e pela consequente recuperação da área. ” (IBAMA, 2015 p. 31)

A este respeito, vale adicionar o estudo de Strebonszka (2017) que investigou o sistema de rios mais poluído da Polônia, o rio Przemsza e seus afluentes. Este sistema aquático seria avaliado para a mensuração, também, do impacto da mineração na região. Para tal, sedimentos decantados, suspensos e águas do rio foram coletados para análise de contaminação por metais das últimas duas décadas. No resultado da análise, o rio se mostrou fortemente contaminado, com valores 100 a 240 vezes os valores indicados como limítrofes para os metais Pb, Zn e Cd. É importante destacar que neste estudo a maioria dos metais foi encontrada em águas suspensas ao invés de sedimentos decantados, o que traz o questionamento sobre a relevância da perturbação dos sedimentos para a concentração de metais em detrimento da concentração presente já na coluna d'água.

Vale salientar que os esclarecimentos sobre a presença de metais tóxicos na lama despejada na Bacia Hidrográfica do Rio Doce não foram consultados no período de montagem deste projeto de pesquisa, sendo a polêmica acerca da presença de metais pesados publicada na mídia a motivação para a investigação apresentada nos capítulos que compõem esta revisão. Dessa forma, dentre os metais encontrados nas águas do Rio Doce por estudos preliminares, como, por exemplo, o estudo realizado pelo IGAM, o mercúrio foi escolhido como representante para a investigação sobre a temática.

#### **4.1.2. Caracterização do desastre**

A década de 80 foi marcada pela criação de dois dos maiores órgãos nacionais de proteção do meio ambiente, o Ministério do Meio Ambiente (MMA), em 1985 e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA), em 1989. Além disso, a legislação de proteção ao meio ambiente está presente na Constituição Federal Brasileira de 1988, na qual no artigo 225, parágrafo IV está explícito que, é de responsabilidade do Poder Público *“exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade”*.

O aumento da consciência ecológica e ambientalismo preveem a diminuição da incidência de eventos envolvendo a degradação do meio ambiente. Além disso, o desenvolvimento de políticas de fiscalização e monitoramento de ações antrópicas prejudiciais potenciais reforça também a tendência de redução destes eventos.

Apesar disso, em 5 de novembro de 2015, quinta feira, a cidade de Mariana, localizada no estado de Minas Gerais – Brasil, foi atingida por rejeitos da empresa mineradora de ferro SAMARCO. Estes rejeitos eram represados e contidos por barragens. No desastre, ocorreu o rompimento de duas barragens aparentemente em seguida uma da outra. Primeiramente, a barragem do Fundão havia se rompido, sendo anunciado mais tarde o rompimento da barragem de Santarém também (BBC BRASIL, 2015).

Ainda não é claro o que causou o rompimento das barragens. A empresa relatou ter detectado a ocorrência de dois tremores sutis às 16h20 de quinta feira. Entretanto,

especula-se sobre a causa destes tremores, podendo elas serem somente abalos sísmicos ou se haviam decorrido do próprio rompimento. Após o desastre foram registrados quatro mortos, 22 pessoas desaparecidas e 631 desabrigadas. Felizmente, os vilarejos no entorno foram avisados a tempo sobre o rompimento e puderam, assim, se afastar do perigo e buscar abrigo (BBC BRASIL, 2015).

A onda de lama, que chegou a 2,5 metros de altura, foi definida pela empresa SAMARCO como inerte, contendo majoritariamente sílica proveniente dos procedimentos de mineração do ferro. Há possibilidade desta lama conter ainda outros metais, tais como alumínio, ferro, manganês entre outros; entretanto, estes compostos teriam baixo potencial poluidor (BBC BRASIL, 2015). Até o dia 10 de novembro de 2015, foi registrado também que a lama teria avançado cerca de 500 km adentro do leito do rio Doce em direção ao estado do Espírito Santo; as perspectivas são de que esta área se estenda para até 10 mil quilômetros quadrados do litoral e impacte até 3 áreas de conservação marinha (BBC BRASIL, 2015).

A revista EXAME publicou em 15 de janeiro de 2016 os relatos de um estudo realizado pela Bowker Associates. Neste estudo, estima-se que o acidente ocorrido em Mariana foi o maior desastre desta natureza dos últimos 100 anos a nível mundial. Em Mariana, foram despejados de 50 a 60 milhões de metros cúbicos rejeitos de minérios, o que equivale a soma dos dois maiores desastres deste tipo registrados no mundo. Ambos ocorreram nas Filipinas, em 1982 e 1992, liberando 28 e 32,2 milhões de metros cúbicos respectivamente. De todos os acidentes envolvendo barragens por todo o mundo, até a data da publicação, apenas cinco excederam 10 milhões de metros cúbicos de lançamentos.

O desastre de Mariana também ganha em termos de extensão. Em segundo lugar nos desastres mundiais dos últimos 100 anos, um evento ocorrido na Bolívia em 1996, atingiu apenas metade da extensão da cidade brasileira, com cerca de 300 km de extensão. Dentre os 70 desastres considerados “muito graves” calculou-se que 126,7 km de área foram tomados na década de 1955 a 1965 por cerca 6 milhões de metros cúbicos de rejeitos; este cálculo subiu para 722,2 km na década de 2005 a 2015 e 107 milhões de metros cúbicos, já incluindo a área atingida no desastre de Mariana (EXAME, 2016).

Fernandes (2017) destaca que os impactos ecológicos agudos podem afetar a vida de mais de 1 milhão de pessoas em 41 municípios, reduzindo o acesso a recursos pesqueiros, água potável, locais apropriados para agricultura, poder de geração de energia e extração de materiais.

Quanto a medidas de mitigação deste desastre, de forma mais ecologicamente-centrada, Meira-Neto (2017) sugere medidas de recuperação do ecossistema da Bacia hidrográfica do Rio Doce baseado em mapas de diversidade taxonômica, funcional e filogenética vegetal como potenciais provedores de serviços ecológicos vitais. Há ainda a necessidade de revisão dos padrões técnicos ambientais envolvidos no monitoramento das estruturas associadas da barragem que falharam ao conter os rejeitos (CARMO, 2017).

Enquanto que numa visão antropocêntrica e também de prevenção a futuras infrações contra o meio ambiente Pires (2017) sugere que a aplicação das normas presentes na Legislação Brasileira de proteção a vegetação nativa seria suficiente para a recuperação da área e comprometeriam apenas 59% do total de fundos propostos pela companhia de mineração destinados a medidas de mitigação desta natureza. Carmo (2017) também salienta o descumprimento das leis, já que, segundo o estudo um ano após a tragédia, a empresa SAMARCO não havia tomado medidas de remoção, monitoramento e descarte dos rejeitos, contrários a legislação vigente no país e a literatura mundial de gerenciamento pós-desastre. Afirmando ainda que houve um relaxamento na lei, uma queda nos recursos destinados pelas agências reguladoras e a ausência de medidas efetivas de recuperação.

## **4.2. DESASTRES AMBIENTAIS**

### **4.2.1. Vulnerabilidade aos desastres ambientais**

As ações antrópicas que contribuem para o aumento da concentração de mercúrio no ambiente, são em sua maioria desastres resultantes de ações consecutivas ou gradativas. Mas existem ainda desastres esporádicos de causa antrópica e de causa natural.

Segundo Freitas e colaboradores (2014) a vulnerabilidade de cada região ou população depende de fatores naturais e sociais, nos quais o impacto para a saúde coletiva dependeria de fatores como tanto a vulnerabilidade da população atingida quanto a incapacidade de reduzir danos e riscos à saúde após a ocorrência do desastre. Neste cenário, populações pouco favorecidas seriam mais vulneráveis aos impactos dos desastres naturais a saúde coletiva, agravada pelo uso incorreto do meio ambiente, como degradação, desmatamento de encostas, poluição e ocupação desordenada do solo no ambiente urbano, entre outras. Considerando isso, o caráter socioambiental é tido como determinante na avaliação de risco de uma determinada área, na qual, populações vulneráveis e condições ambientais susceptíveis devem ser considerados (FREITAS et.al, 2014).

Dentro das características naturais que alavancam a ocorrência de desastres Sena (2017) atenta para condições socioeconômicas como fatores essenciais na vulnerabilidade de populações a desastres no Brasil. A equipe de pesquisa explicita que Grande parte do Brasil, 20% ou porções de 9 estados, é coberto por uma região semiárida, contendo 12% da população do país. Estas regiões sofrem bastante com inundações, o que resulta em baixo desenvolvimento econômico, escassez de recursos naturais e dificuldade da produção de agricultura e pecuária. Já Van Der Berg (2015) salienta que a maioria dos desastres que atingem a África do Sul são relativos a inundações, tempestades intensas, incêndios, terremotos, entre outros, mas também, por consequências decorrentes de atividades garimpeiras.

Obviamente é necessário considerar que não é possível evitar este tipo de desastre, já que se tratam de desastres decorrentes de forças naturais, como furacões ou terremotos. E nestes casos, é válido focar em medidas de mitigação pós-desastre. A atenção a logística pós-desastre é de extrema importância em várias fases das medidas de mitigação. Uma porção importante é a condição dos profissionais destinados a cumprir estas medidas, como em Pourvakhshoori (2017) que explanou a problemática

da provisão de profissionais da enfermagem no cuidado à saúde em desastres no Ira. Assim como, outras medidas logísticas necessárias no período pós-desastre, dentre eles os processos que envolvem os doadores, os beneficiários e o centro de distribuição, como explanado em Scarpin (2014).

Entretanto, não é impossível sugerir medidas preventivas, até mesmo para os desastres que não podem ser evitados. Como em Hoffman (2017) que afirma que fortalecer a resiliência a perigos relacionados ao clima são um alvo urgente do objetivo 13 da Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. A preparação em caso de desastre, como a evacuação da população e o arrecadamento de mantimentos minimiza substancialmente a perda e os danos advindos de perigos ambientais. Entretanto essa preparação é rara, inclusive em áreas predispostas a desastres. O estudo encontrou que a educação formal cria a propensão de preparação de medidas preventivas contra desastres, principalmente mediada por capital social e percepção do risco ao desastre (HOFFMAN, 2017).

Claramente, a educação também é essencial na prevenção daqueles desastres que possuem causalidade antrópica, prevendo a promoção de uma consciência ecológica, atentando para a ética no uso dos recursos naturais.

#### **4.2.2. Principais desastres envolvendo metais pesados**

Na história, alguns episódios trágicos deixam claro a necessidade crucial de análise dos riscos associados a atividades industriais. Dentre eles podemos citar o acidente ocorrido em 1984 na Índia, com a empresa de pesticidas Union Carbide, no qual 40km<sup>2</sup> de gás tóxico foram liberados acidentalmente nos ares da cidade de Bhopal e região, causando cegueira ou queimaduras em mais de 200 mil pessoas, 10 mil mortos e consequências na saúde respiratória da população até os dias atuais (MELO, 2012). Outro caso importante na história ocorreu na Ucrânia em 1986. Neste, a usina nuclear Chernobyl experimentou um acidente no qual uma nuvem de radioatividade criada, esta

nuvem atingiu os territórios da União Soviética, Bielorrússia, Europa Oriental, Escandinávia e Reino Unido. Deste evento resultaram 56 mortes na data e uma estimativa de 4 milhões de mortes posteriores por doença decorrentes do contato com os gases (MELO, 2012). Por último, mas não menos importante; em 1989 o Alaska foi residência para um dos maiores acidentes marítimos da história. Neste caso, o navio Exxon Valdez que navegava pela região se chocou a um rochedo que causou um vazamento seu casco liberando 40 milhões de litros de petróleo no mar, atingindo uma área de 250 km<sup>2</sup> e um impacto inestimável na diversidade marítima da região (MELO, 2012).

No Brasil, ocorreram dois eventos marcantes de liberação de metais tóxicos no meio ambiente que causaram um impacto relevante na saúde da população. Um deles ocorreu em Bauru – SP em 2002, no qual a empresa Industria de Acumuladores Ajax, produtora de baterias automotivas, deixou escapar chumbo em forma de vapor por suas chaminés, sendo 113 crianças diagnosticadas com índices mais de 10 miligramas do metal por decilitro de sangue. Esta exposição contaminou também animais, leite e ovos; o que é mais preocupante já que artigos alimentícios são fontes eficientes de contaminação, visto que a mucosa gastrointestinal possui uma grande capacidade de absorção (NAKANO, 2017).

Além desta, a cidade de Paulínia – SP também sofreu com contaminação por metais pesados. Neste caso, a empresa Shell Química do Brasil foi responsável pela contaminação da população local por zinco, cádmio, mercúrio, chumbo, arsênico e manganês durante seu funcionamento de 1975 a 1993. Dos 166 moradores examinados, 53% apresentaram contaminação crônica, e 56% das crianças apresentaram altos níveis dos metais citados anteriormente (NAKANO, 2017).

Em terras brasileiras, dos 2,9 trilhões de toneladas de resíduos industriais produzidos por ano no país, apenas 600 mil recebem tratamento adequado conforme dados da Associação Brasileira de Empresas de Tratamento, Recuperação e Disposição de Resíduos Especiais (ABETRE). Todo o montante restante termina por ser descartado irregular e indevidamente, contaminando a população e o meio ambiente (CAMPANILI, 2002 apud NAKANO, 2017).



O poder tóxico do mercúrio foi bastante notado no período pós-guerra; no qual houve um evento de larga contaminação da população japonesa decorrente do descarte contínuo de resíduos por indústrias químicas na Baía de Minamata. Este evento ficou conhecido como Mal de Minamata, no qual mais de 2 mil pessoas morreram decorrente da intoxicação pelo metal pesado (SABBADINI, 2015).

Além deste, outro episódio marcante de contaminação por mercúrio ocorreu no Iraque em 1970. Neste, a zona rural foi exposta ao composto etilmercúrio, utilizado como pesticida agrícola. Os resíduos presentes nas sementes de trigo cultivadas na região estavam presentes nos pães consumidos pela comunidade. A contaminação da população resultou em 6 mil pessoas hospitalizadas, porém estimativas apontam para cerca de 40 mil habitantes contaminados (CLARKSON, 2002; GOLDMAN e SHANNOM, 2001 apud ABDALLA, 2010)

Em um estudo realizado por TORRES e colaboradores publicado em 2017, os estudiosos coletaram água e sedimentos de 50 tanques escavados em quatro porções de cada um dos tanques, denominadas: nascente, entrada do sistema, efluente e ponto de lançamento, no período de abril a maio de 2011. Dentre as amostras coletadas nas margens de Ribeirão da Mata no estado de Minas Gerais, em 16 foram encontrados valores de mercúrio acima do valor de referência de qualidade.

A importância de evitar a liberação de metais pesados no meio ambiente se dá principalmente pois estes podem seguir diferentes formas de fixação, liberação e transporte nos solos e nas águas, além disso, podem ser fixados por plantas e incorporados a cadeias tróficas nas quais suas trajetórias e destinos são de difícil rastreamento, o que torna mais difícil ainda, as formas de mitigação necessárias após a liberação destes compostos no meio natural.

### 4.3. MERCÚRIO

#### 4.3.1. Características do mercúrio e seus efeitos nos seres humanos

A periculosidade dos metais pesados para a saúde humana é largamente conhecida, ainda que seus efeitos específicos não sejam conhecidos pela população leiga, chamados de microcontaminantes ambientais, estão arsênio, chumbo, cádmio, mercúrio, alumínio, titânio, estanho e tungstênio. Porém, alguns metais são fundamentais para a manutenção da homeostase dos organismos, definidos como elementos essenciais, são eles: sódio, potássio, cálcio, ferro, zinco, cobre, níquel e magnésio. Entretanto, mesmo estes, são benéficos exclusivamente em baixas concentrações e podem ser prejudiciais quando fora desta faixa ótima, como cromo, zinco, ferro, cobalto, manganês e níquel. (NAKANO, 2017).

Estas substâncias possuem propriedades que permitem a bioacumulação, neste sentido, o composto pode ser transmitido por toda a cadeia alimentar, prejudicando posteriormente organismos que não tiveram o contato direto com o tóxico (TORRES, 2017). Grande parte dos estudos envolvendo a aferição do mercúrio em organismos vivos abordam a importância da bioacumulação (DOS ANJOS, 2016; ROCHA et. al, 2015; ARANTES, 2016), utilizando largamente peixes como modelos experimentais e indicadores ambientais.

Além da preocupação com a presença de metais entre os táxons macroscópicas, é válido considerar as influências da contaminação dentro de táxons microscópicos. Neste caso, a presença de metais no ambiente pode alterar a composição da comunidade microbiana em termos de composição, abundância e riqueza de espécies. Também, a associação de organismos pode trazer vantagens neste sentido, tornando espécies resistentes aos metais e suas espécies associadas mais predominantes em ambientes contaminados. Isso acontece na associação de plantas a fungos, exemplificado pela relação de vegetais com fungos da espécie *A. fluminensis* (PIETRO-SOUZA, 2017).

A atuação do mercúrio pode ainda influenciar na composição genética do indivíduo. Como visto na modificação epigenética de crocodilos em áreas contaminadas, sendo o

envelhecimento e a taxa de metilação é influenciado pela concentração do metal (NILSEN et. al, 2015).

Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) em dados publicados em 2010, o mercúrio foi classificado como tóxico, podendo ter efeitos deletérios no cérebro, rins e fígado (SABBADINI, 2015). As lesões ocorridas nas proteínas neurais decorrentes da intoxicação por mercúrio teriam as mesmas características celulares da doença de Alzheimer (SABBADINI, 2015).

Entretanto, os efeitos do mercúrio nos organismos são bastante variados. Seus meios de aquisição podem utilizar vias aéreas, tópicas ou orais sendo as formas orgânicas mais perigosas, geralmente encontradas em frutos do mar, pesticidas, fungicidas, inseticidas e conservantes de vacinas (PATRICK, 2002 apud ABDALLA, 2010).

O metilmercúrio, inclusive, pode ser obtido a partir do mercúrio iônico através de processos biológicos e incorporado pelos organismos. A disponibilidade do mercúrio depende de fatores bióticos, como a bioturbação (metilação realizada por bactérias), ou fatores abióticos, com o pH ou o potencial de oxi-redução, ou ainda da forma na qual está disponível (ARAUJO, 2015). Este é absorvido pelo trato gastrintestinal, sofre oxidação quando em contato com a corrente sanguínea e forma compostos solúveis ao se ligar a proteínas dos elementos da circulação. O MeHg especificamente se liga as sulfidrilas presentes nas proteínas (GOLDMAN e SHANNON, 2001; MICARONI, 2000; OSA, 1994 apud ABDALLA, 2010).

Os efeitos decorrentes da intoxicação por metilmercúrio podem abranger diferentes níveis, dentre eles podemos citar desde irritabilidade, falta de memória, ansiedade e depressão (OZUAH, 2000 apud ABDALLA, 2010) até como distúrbios de coordenação semelhantes aos presentes na esclerose lateral amiotrófica (CHUU, 2007 CLARKSON E STRAIN, 2003 apud ABDALLA, 2010) e o desenvolvimento de doenças neurodegenerativas, como a doença de Parkinson, esclerose múltipla e doença de Alzheimer (CHUU, 200; ROONEY, 2007 apud ABDALLA, 2010).

Além disso, devido a sua propriedade lipossolúvel, o metilmercúrio atravessa facilmente a barreira-hematoencefálica e placentária, se acumulando nos tecidos

cerebrais do feto, além de estar fixado também nos fios capilares da mãe (SHANKER, 2005; YIN, 2007; CLARKSON, 2002; PATRICK, 2002 apud ABDALLA, 2010).

O contato com o mercúrio pode se dar de diversas formas, dentre elas podemos citar a contaminação através da ingestão de alimentos contaminados, como fungos resistentes ao mercúrio (FALANDYSZ, 2015) ou peixes que acumularam o metal através da ingestão de outros animais contaminados ou mesmo de compostos de mercúrio presentes no ambiente aquático em que vivem (VAN DER FELLS-KLERX, 2014; ARANTES, 2016). Os compostos contendo mercúrio podem habitar os diversos elementos do próprio ambiente, os quais tiveram sua presença comprovada nos solos (MARTINEZ-TRINIDAD, 2013), ambientes fluviais (NAVARRO et. al, 2016) e, até mesmo, o gelo de ambientes árticos (CHÉTELAT, 2015). Além de poder estar contido em produtos cosméticos (COPAN, 2015).

#### **4.3.2. Ações antrópicas que contribuem para o aumento da concentração do mercúrio e de metais pesados no ambiente**

Ao liberar estes compostos no meio ambiente, o homem pode fazê-lo não-intencionalmente, como no caso de acidentes industriais; ou pode fazê-lo premeditadamente, como através uso de defensivos agrícolas ou descarte de resíduos industriais sem tratamento (OGA; CAMARGO; BATUSUZZO, 2008 apud TORRES, 2017). Atividades como a modernização da malha viária, o uso de maquinário agrícola e o incremento da indústria tem colaborado para a liberação de mais metais pesados no meio natural (MURTA, 1997 apud TORRES, 2017). Sendo que os metais tóxicos correspondem a maior fonte poluidora inorgânica de solos e água do planeta (TAVARES e CARVALHO, 1992 apud TORRES, 2017).

Na literatura, estudos que abordam metais pesados em geral focam na investigação de contaminações de áreas a longo prazo, ou seja, quando não há a presença de eventos pontuais que possam justificar estas contaminações, como impactos ambientais agudos.

El-Amier (2017) também cita a agricultura através da análise da dispersão espacial de metais pesados nos sedimentos do lago Burullus, no Egito. Dos metais analisados (Fe, Cu, Zn, Cr, Co, Cd e Pb) o estudo indica que o cádmio foi o metal mais abundante encontrado, devido ao enriquecimento do lago por resíduos industriais ou da agricultura.

Nesta temática, Kerr & Cooke (2017) aponta que transformações no ambiente podem ser responsáveis pela mobilização de substâncias. O estudo destaca que a erosão é um fator importante de dispersão de metais pesados para ambientes fluviais. Erosão esta muitas vezes provocada pelo processo de mineração.

De uma forma menos distante da realidade das populações, Suryawanshi e colaboradores (2016) mostraram que áreas industriais possuíam maiores concentrações de Ni, Cr e Pb; essas poderiam ser correlacionadas com Cu e Zn majoritariamente provenientes de áreas com trânsito veicular. Talvez em decorrência da mobilização de empregados de outras localidades para estes grandes polos industriais.

Entretanto, a indústria não oferece um risco somente quando associada ao trânsito veicular, mas ainda a produção de alimento. Chen (2012) mensura o risco da produção de alimentos próximo a indústrias produtoras de baterias, mensurando os metais Cr, Cd e Pb em vegetais. O estudo concluiu que fatores de transferência dos metais do solo para as plantas são variáveis entre as espécies, estes fatores são positivamente correlacionados com a quantidade de matéria orgânica encontrada no solo e negativamente correlacionados com o pH do mesmo.

Há ainda os riscos associados a prática de descarte incorreto de lixo. Damasceno (2015) atenta para a transformação destes metais no ambiente, os autores abordaram a como decomposição de componentes eletrônicos por vermes podem tornar disponíveis metais pesados presentes nestes, sendo o Pb o metal com maior biodisponibilidade. Em concordância com o impacto prejudicial do descarte incorreto de lixo, Roca e colaboradores (2015) estudou amostras de solo na cidade de Buenos Aires e tiveram mensurados seus níveis de Cd Cr, Ni, Pb e Zn, dentre os quais o Cd se destacou.

Dentro dos metais pesados destaca-se o mercúrio, um importante poluente global devido a sua alta toxicidade, prolongada fixação em elementos ambientais e vasta distribuição. A utilização deste metal especificamente pode abranger atividades garimpeiras ou agrícolas. Quando utilizado na agricultura, o tóxico está presente em

fungicidas organo-mercuriais (ARAUJO, 2015; GERMANO e GERMANO, 2001 apud TORRES, 2017). O uso de pesticidas foi analisado por Kütter e colaboradores (2015) que provaram que a concentração do mercúrio nos peixes que viviam adjacentes a lavouras de arroz que utilizavam pesticidas a base de mercúrio possuíam 4x a quantidade de metal dos peixes da área controle, na qual a cultura não era cultivada e, portanto, o pesticida não era utilizado. Ainda em atividades rurais, a queima da cana-de-açúcar contribui para a remobilização do mercúrio do solo, que volta a contaminar a atmosfera e pode ser dispersado mais facilmente (ARAUJO, 2015).

Em Copaja e colaboradores (2013) foi explanado que o aumento nas atividades garimpeiras do Chile e aumento também na geração de resíduos que continham mercúrio, geralmente dispersos no ar, água ou solo. Também, Strzebonska (2017) destacou que a contaminação do rio Przemsza em decorrência de atividades garimpeiras persistiu por 20 anos mesmo após a diminuição da atividade.

Quando utilizado em garimpos, o mercúrio é utilizado na mobilização do ouro, tornando-o disponível para extração (ARAUJO, 2015; GERMANO e GERMANO, 2001 apud TORRES, 2017). Segundo Gworek (2017) as fontes principais de emissão de mercúrio incluem combustíveis, principalmente fósseis e “mineração artesanal em pequena-escala” no sul e o sudeste da Ásia. Estes, são campeões em emissões de mercúrio, sendo responsáveis por 50% das emissões mundiais. Nestes locais, a concentração de mercúrio no ar se mantém relativamente constante desde 1980, quando o metal alcançou sua concentração máxima, o que atenta para a permanência longa do contaminante no ambiente. É importante considerar que a maioria do mercúrio reside no ar e seu tempo de residência nele é estimado em 6 a 18 meses (GWOREK, 2017). Podendo ainda transpassar materiais graníticos, já que concentrações de mercúrio foram encontradas em locais próximos a aquíferos aluviais cobertos por rochas ígneas (NAVARRO, 2016).

Os estudos realizados por Martinez-Trinidad (2013) apoiam a mineração como importante causador da contaminação do ambiente por mercúrio, neste exemplo, devido ao mau gerenciamento da mineração de cinábrio, que contribui para a dispersão de mercúrio nos solos da agricultura e de florestas. O estudo ainda cita Espanha, Eslovênia e China como as maiores produtoras de mercúrio do mundo.

Além destas situações, o mercúrio também pode ser utilizado na indústria na produção de lâmpadas fluorescentes, cloro, soda e termômetros (GERMANO e GERMANO, 2001 apud TORRES, 2017).

Finalmente, dentre os artigos que contém a palavra “Heavy Metal Contamination” ou “Heavy metal Pollution” nos seus títulos, podemos organizar os metais em ordem decrescente de popularidade em Pb, Cu, Cd, Zn, Ni, Cr, Hg, Co e V. Podemos notar dessa forma que o mercúrio é o terceiro metal pesado menos prevalente nos estudos sobre contaminação por metais pesados, uma vez que o As, também presente nos estudos consultados, é classificado como metalóide, ou semimetal (SANTOS-FRANCES et. al, 2017).

Dessa forma salientamos que o mercúrio ainda possui um grande campo de conhecimento a ser explorado, se comparado a outros metais pesados, devido a sua baixa representatividade na literatura.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Baseada na extensa revisão de literatura desta produção foi possível esclarecer acerca da presença do metal pesado mercúrio na lama escoada de um dos reservatórios da empresa mineradora SAMARCO. Também, foi possível elencar as possíveis atividades antrópicas responsáveis pela liberação de metais no ambiente, principalmente do mercúrio. E finalmente, foram os efeitos deletérios do mercúrio nos organismos vivos.

Em conjunto os objetivos alcançados citados acima contribuíram para a compreensão da vulnerabilidade da população de Minas Gerais ao metal pesado mercúrio após o Desastre de Mariana

Podemos destacar que o desastre de Mariana contribuiu para voltarmos a atenção para a importância da construção de uma consciência ecológica real. Dessa forma, este estudo recomenda uma maior profundidade nos estudos acerca das razões que mediam desastres, principalmente se estas razões tiverem raízes na atividade antrópica. Também, este estudo indica a educação ambiental e de proteção ao meio ambiente para a promoção de uma geração futura mais consciente e que utiliza os recursos naturais de forma ética e responsável.



## 5. REFERÊNCIAS

ABDALLA, F. H. Extrato de semente de *Syzygium cumini* (L.) skeels reduz o dano renal e hepático provocado pela exposição aguda a metilmercúrio em ratos neonatos. Santa Maria – RS. 2010

ARAUJO, B. F. Distribuição e fracionamento do Hg em sedimentos do Rio Paraíba do Sul – RJ, brasil. *Química. Nova*, Vol. 38, No. 1, p. 30-36. 2015.

ARANTES, F. et al. Bioaccumulation of mercury, cadmium, zinc, chromium, and lead in muscle, liver, and spleen tissues of a large commercially valuable catfish species from Brazil. Acesso em: 18 nov. 2017.

BBC BRASIL. Desastre em Mariana: 5 perguntas sem resposta sobre rompimento de barragem, 2015. Disponível em:  
<[http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/11/151106\\_minasgerais\\_perguntas\\_hb](http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/11/151106_minasgerais_perguntas_hb)>  
. Acesso em: 18/09/2017

CALIXTO, B. [Desastre em Mariana ameaça quase 400 espécies de animais. 2015.](http://epoca.globo.com/colunas-e-blogs/blog-do-planeta/noticia/2015/12/desastre-em-mariana-ameaca-quase-400-especies-de-animais.html)  
Disponível em:<http://epoca.globo.com/colunas-e-blogs/blog-do-planeta/noticia/2015/12/desastre-em-mariana-ameaca-quase-400-especies-de-animais.html>. Acesso: 10/11/2017.

CARMO, F. et al. Fundão tailings dam failures: the environment tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 15, n. 3, p. 145-151, 2017.

CHEN, Y. et al. Health risk assessment of heavy metals in vegetables grown around battery production area. *Scientia Agricola*, v. 71, n. 2, p. 126-132, 2014.

CHÉTELAT, J. et al. Special issue on mercury in Canada's North: Summary and recommendations for future research. Acesso em: 18 nov. 2017.

COSTA, C. O que já se sabe sobre o impacto da lama de Mariana? BBC Brasil. 2015. Disponível em: [http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/12/151201\\_dados\\_mariana\\_cc](http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/12/151201_dados_mariana_cc). Acesso: 2015.

COPAJA, S.; MOLINA, X.; Tessada, R. Determination Of Heavy Metals In Choapa River Sediments Using Bcr Sequential Extraction Procedure. Journal of the Chilean Chemical Society, v. 59, n. 1, p. 2353-2358, 2014.

COPAN L, et al. Mercury Toxicity and Contamination of Households from the Use of Skin Creams Adulterated with Mercurous Chloride (Calomel). Int J Environ Res Public Health. 2015

DAMASCENO, O. et al. Assessment Of Bioavailability Of Heavy Metals After Vermicomposting In The Presence Of Electronic Waste. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 39, n. 6, p. 1786-1795, 2015.

DOS ANJOS, M. et al. Bioaccumulation of methylmercury in fish tissue from the Roosevelt River, Southwestern Amazon basin. Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 11, n. 3, p. 508, 2016.

EISENHAMMER, S. Arsênio e mercúrio são encontrados no Rio Doce dias após desastre da Samarco. REUTERS. 2015. Disponível em: <https://br.reuters.com/article/businessNews/idBRKBN0TF26S20151126> Acesso: 10/11/2017.

EL-AMIER, Y.; ELNAGGAR, A.; EL-ALFY, M. Evaluation and mapping spatial distribution of bottom sediment heavy metal contamination in Burullus Lake, Egypt. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, v. 4, n. 1, p. 55-66, 2017.

EXAME. Mariana é o maior acidente mundial com barragens em 100 anos. 2016. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/brasil/mariana-e-o-maior-acidente-mundial-com-barragens-em-100-anos/>. Acesso em: 18/09/2017

FALANDYSZ J, et al. Evaluation of Mercury Contamination in Fungi Boletus Species from Latosols, Lateritic Red Earths, and Red and Yellow Earths in the Circum-Pacific Mercuriferous Belt of Southwestern China. *PLoS One*. 2015

FELIPPE, M. F. *et al.* A Tragédia Do Rio Doce: A Lama, O Povo e a Água. Relatório de Campo e Interpretações Preliminares Sobre as Consequências do Rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão (Samarco/Vale/H.P.). *GEOgrafias Edicao Especial Universidade Federal de Minas Gerais*. 2015

FERNANDES, K. N. Qualidade das águas nos rios Gualaxo do Norte, Gualaxo do Sul e do Carmo, afluentes do alto rio doce (watu): metais, metalóides e índice de qualidade das águas antes e após o rompimento da barragem de rejeitos fundão da SAMARCO/vale/bhp billiton, em Mariana, MG. *Repositório Institucional Universidade Federal do Rio Preto*. 2017

FREITAS, C. et al. Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 19, n. 9, p. 3645-3656, 2014.

GWOREK B, et. Al. Air Contamination by Mercury, Emissions and Transformations-a Review. *Water Air Soil Pollut*. 2017

HOFFMANN, R.; MUTTARAK, R. Learn from the Past, Prepare for the Future: Impacts of Education and Experience on Disaster Preparedness in the Philippines and Thailand. *World Development*, v. 96, p. 32-51, 2017.

IBAMA. Laudo Técnico Preliminar – Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. 2015.

KERR, J.; COOKE, C. Erosion of the Alberta badlands produces highly variable and elevated heavy metal concentrations in the Red Deer River, Alberta. Acesso em: 18 nov. 2017.

KÜTTER, V. et al. Mercury bioaccumulation in fishes of a paddy field in Southern of Brazil. Acesso em: 18 nov. 2017.

MARTÍNEZ-TRINIDAD, S. et al. Total mercury in terrestrial systems (air-soil-plant-water) at the mining region of San Joaquín, Queretaro, México. *Geofísica Internacional*, v. 52, n. 1, p. 43-58, 2013.

MEIRA-NETO, J.; NERI, A. Appealing the death sentences of the Doce, São Francisco and Amazonas rivers: stopping the Mining Lobby and creating ecosystem services reserves. 2017

MELO, M. A. O desenvolvimento industrial e o impacto no meio ambiente. Osorio – RS. *Jurisway*, ed. 952. 2012

NAVARRO A, FONT X, VILADEVALL M. Groundwater Contamination by Uranium and Mercury at the Ridaura Aquifer (Girona, NE Spain). *Toxics*. 2016

NAKANO, V. Metais Pesados: Um perigo eminente. 2017. Disponível em: [http://www.icb.usp.br/~bmm/mariojac/index.php?option=com\\_content&view=article&ca](http://www.icb.usp.br/~bmm/mariojac/index.php?option=com_content&view=article&ca)

[tid=13%3Alinks&id=33%3Ametais-pesados-um-perigo-eminente&Itemid=57&lang=br>](#)

Acesso em: 21/09/2017.

NILSEN F. M., et. Al. Global DNA methylation loss associated with mercury contamination and aging in the American alligator (*Alligator mississippiensis*). *Sci Total Environ*. 2016

POURVAKHSHOORI ET.AL. Nurse in limbo: A qualitative study of nursing in disasters in Iranian context. *PLoS One*. 2017

PIETRO-SOUZA W. et al. Endophytic fungal communities of *Polygonum acuminatum* and *Aeschynomene fluminensis* are influenced by soil mercury contamination. *PLoS One*. 2017

PIRES, A. et al. Forest restoration can increase the Rio Doce watershed resilience. *UFRJ*. 2017

Redação Folha Vitória. Análise aponta presença de arsênio, chumbo, cobre e mercúrio em lama da barragem. 2015. Folha Vitória. Disponível em: <http://www.folhavitoria.com.br/geral/noticia/2015/11/analise-aponta-presenca-de-arsenio-chumbo-cobre-e-mercurio-em-lama-da-barragem.html>. Acesso: 10/11/2017.

ROCA, N.; PAZOS, M.; BECH, J. Background levels of potentially toxic elements in soils: A case study in Catamarca (a semiarid region in Argentina). *CATENA*, v. 92, p. 55-66, 2012.

ROCHA, A. et al. Isotopic profile and mercury concentration in fish of the lower portion of the rio Paraíba do Sul watershed, southeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology*, v. 13, n. 4, p. 723-732, 2015.

ROSI, P. Análise aponta presença de mercúrio, arsênio, ferro e chumbo na água do Rio Doce. *Gazeta Online*. Disponível em:

<https://www.gazetaonline.com.br/noticias/cidades/2015/11/analise-aponta-presenca-de-mercurio-arsenio-ferro-e-chumbo-na-agua-do-rio-doce-1013914468.html>. Acesso:

10/11/2017

SABBATINI, L. M. Alerta para a sintomatologia de contaminação humana com liga mercurial advinda das restaurações odontológicas. *Revista Saúde Quântica*. 2015

SANTOS-FRANCÉS F, et al. A.Geochemical Background and Baseline Values Determination and Spatial Distribution of Heavy Metal Pollution in Soils of the Andes Mountain Range (Cajamarca-Huancavelica, Peru). *Int J Environ Res Public Health*. 2017

SCARPIN, M.; SILVA, R. Humanitarian Logistics: Empirical Evidences from a Natural Disaster. *Procedia Engineering*, v. 78, p. 102-111, 2014.

SENA A, et al. Indicators to measure risk of disaster associated with drought: Implications for the health sector. *PLoS One*. 2017

SILVA, M. W. *et al.* Concentração de mercúrio em peixes da Amazônia. *Associação Brasileira de Limnologia (Boletim ABLimno)*. Vol. 1. 08-14. 2015.

STRZEBOŃSKA, M.; JAROSZ-KRZEMIŃSKA, E.; ADAMIEC, E. Assessing Historical Mining and Smelting Effects on Heavy Metal Pollution of River Systems over Span of Two Decades. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 228, n. 4, 2017.

SURYAWANSHI, P. et al. Determining heavy metal contamination of road dust in Delhi, India. *Atmósfera*, v. 29, n. 3, p. 221-234, 2016.

TORRES, I. et al. Avaliação físico-química de amostras de água, sedimento e mata ciliar de uma piscicultura localizada em área agroindustrial à margem do Ribeirão da Mata (MG). *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 22, n. 4, p. 773-780, 2017.

VAN DER BERG, A. Public-private partnerships in local disaster management: a panacea to all local disaster management ills?. . 2017.

VAN DER FELLS-KLERX, H. et al. A framework to determine the effectiveness of dietary exposure mitigation to chemical contaminants. Acesso em: 18 nov. 2017.

VIEIRA, J. V. A. Efeitos Agudos do Cloreto de Mercúrio sobre o Leito Vascular Renal de Ratos. Universidade Federal do Espírito Santo. 2015