



Relações entre saúde e ambiente: potenciais impactos decorrentes do rompimento de barragens de rejeitos – uma revisão da literatura nos casos de Mariana e Brumadinho, MG

Relations between health and the environment: potential impacts resulting from the disruption of tailings dams – a literature review in the cases of Mariana and Brumadinho, MG

Fabio Leandro da SILVA^{1*}, Marcela Bianchessi CUNHA-SANTINO¹, Ângela Terumi FUSHITA², Vivian Aline MININEL¹, Irineu BIANCHINI JR¹

¹ Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, SP, Brasil.

² Universidade Federal do ABC (UFABC), Santo André, SP, Brasil.

* E-mail de contato: fabioleodasilva@gmail.com

Artigo recebido em 12 de junho de 2020, versão final aceita em 16 de junho de 2021, publicado em 31 de março de 2022.

RESUMO: A mineração pode resultar em impactos adversos para os ecossistemas naturais e saúde humana. Tendo em conta os graves rompimentos que ocorreram recentemente no Brasil (nos municípios de Mariana e de Brumadinho, no estado de Minas Gerais) e a relação existente entre saúde e meio ambiente, o presente trabalho buscou levantar, por meio de uma revisão bibliográfica, os impactos desencadeados pelo rejeito de mineração sobre a saúde humana e ecossistemas naturais. Os impactos ambientais implicaram diretamente na alteração do metabolismo e funcionamento dos ecossistemas naturais, devido à contaminação dos compartimentos ambientais e dos prejuízos à biodiversidade. Quanto à saúde humana, foram evidentes os riscos de intoxicação, prejuízos à saúde mental, agravos de doenças existentes, arboviroses e zoonoses. Os resultados deste estudo podem contribuir para o estabelecimento de estratégias e formulação de políticas públicas que visem a reversão do cenário encontrado.

Palavras-chave: saúde humana; ecossistemas naturais; Mariana; Brumadinho; barragem de rejeitos.

ABSTRACT: Mining can result in adverse impacts on natural ecosystems and human health. Considering the serious disruptions that occurred recently in Brazil (Mariana and Brumadinho municipalities, in the State of Minas Gerais), and the relationship between health and the environment, the present study aimed to identify, by a bibliographic review, the impacts induced by mining waste on human health and ecosystems. Environmental impacts affected the

ecosystem's natural metabolism and functioning due to the environmental compartments' contamination and the damage to biodiversity. Concerning human health, the risks of intoxication, damage to mental health, worsening of existing diseases, arboviruses, and zoonoses were evident. The findings can contribute to the establishment of strategies and public policy formulations to reverse the found scenario.

Keywords: human health; natural ecosystems; Mariana; Brumadinho; mining waste.

1. Introdução

A desregulação do funcionamento dos ecossistemas e o desencadeamento de doenças na população são processos caracterizados por possuírem fatores associados. Dentre eles, destaca-se a forte relação entre o ambiente e suas implicações na saúde humana, em decorrência dos possíveis riscos e adversidades oriundas da interação entre os fatores abióticos e bióticos (Oliveira & Cruz, 2015). Assim, eventuais desequilíbrios ambientais acabam influenciando na saúde da população.

Nesse sentido, os fatores determinantes surgem para auxiliar no entendimento de como ocorrem as relações entre ambiente e saúde (Ceballos, 2015). Tarlov (1999), ao descrever os determinantes sociais da doença, elencou os elementos de ordem ecológica como um dos principais fatores influenciadores. Ainda se tratando das questões ambientais, Rockström *et al.* (2009) salientam que as pressões antrópicas resultaram em profundas transformações do meio natural através do rompimento dos limites planetários (e.g. mudanças de uso da terra, uso da água, poluição/contaminação), situação que ocasiona disfunções ecológicas que, por sua vez, afetam a sociedade como um todo.

Dessa forma, infere-se que o processo de transformação dos ecossistemas naturais decorrente do crescimento econômico resulta em impactos adversos para o ambiente e saúde humana. Tal situação

é válida para o Brasil e consiste em grande desafio, visto a necessidade de promoção do desenvolvimento econômico e as implicações advindas desse processo, cujo enfoque é estritamente produtivista e não visa salvaguardar o 'capital natural' (Metzger *et al.*, 2019). Emerge a necessidade de se identificar os possíveis impactos associados e elaborar estratégias de gerenciamento. Desse modo, é possível a redução dos impactos sobre a saúde dos seres humanos e ecossistemas, além do enfrentamento dos possíveis riscos associados com o desenvolvimento das atividades antrópicas e alterações dos sistemas naturais.

O setor de mineração é um importante fator de desenvolvimento nacional e supre a demanda de vários países, porém, desde o processo de colonização, tem se observado a destruição de ecossistemas naturais (Dantas & Freitas, 2018). A mineração é uma área estratégica, dada a sua importância para suprir necessidades humanas, mas é preciso evitar as externalidades para toda a população, visto que os sistemas de exploração conferem riscos (Sznalwar *et al.*, 2019) à saúde e ao ambiente equilibrado. Isso se deve à exploração e geração de resíduos advindos do beneficiamento, ou seja, os rejeitos. Dentre esses riscos, merece destaque os rompimentos de barragens de rejeito, eventos que têm sido mais frequentes nas últimas décadas (Carmo *et al.*, 2017).

O sistema brasileiro é marcado por fragilidades em relação à prevenção de 'desastres', ainda mais no setor de mineração, em que temos a participação de diversas partes (acionistas, *stakeholders*,

profissionais) e a desarticulação de vários atores governamentais (Almeida *et al.*, 2019). O setor de mineração desempenha um importante papel na economia do país e permitiu a manutenção da liderança do Brasil nesse setor, em especial, o estado de Minas Gerais foi de fundamental importância (IBRAM, 2019) para a realização das exportações. Contudo graves episódios de rompimento de barragens de rejeito de mineração ocorreram, sendo os casos de maior repercussão o da barragem de Fundão, em Mariana (MG), no dia 5 de novembro de 2015, e o caso mais recente, o rompimento da barragem do Feijão, em Brumadinho (MG), em 25 de janeiro de 2019.

As referidas barragens foram construídas devido à extração do minério de ferro. Tratando-se de Mariana, o rompimento liberou 40 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração, que afetaram 36 municípios e percorram 663 km até a foz do rio Doce, chegando ao oceano Atlântico (Zonta & Trocate, 2016; Fundação Oswaldo Cruz, 2019; Rezende & Silva, 2019). Em relação a Brumadinho, 13 milhões de metros cúbicos de rejeito afetaram 18 municípios e atingiram o ribeirão Ferro-Carvão, desaguando no rio Paraopeba (afluente do rio São Francisco), percorrendo uma extensão de 250 km (Fundação Oswaldo Cruz, 2019).

Tais rompimentos implicaram em impactos severos que decorrem, principalmente, do emprego de técnicas inadequadas de baixo custo na construção dessas barragens. Tal situação afeta adversamente todos os compartimentos ambientais e a sociedade. Os danos envolvem a contaminação do meio físico, perdas humanas, desabrigados, perda de qualidade da água, prejuízos à saúde e/ou agravamento de quadros clínicos, perecimento de espécies, entre

outros (IBAMA, 2015; Silva Júnior *et al.*, 2018; Omachi *et al.*, 2018; Freitas *et al.*, 2019; Losekan *et al.*, 2020; Reis *et al.*, 2020).

Surge, então, a necessidade de elencar os principais impactos dos rejeitos de mineração sobre os seres humanos e o ambiente, situação que pode proporcionar bases para a elaboração de medidas de intervenção e implementação de políticas públicas. Diante desse contexto, o presente trabalho buscou identificar os potenciais impactos relacionados com os rejeitos da barragem da Mina Córrego do Feijão e da barragem do Fundão, nos municípios de Brumadinho e Mariana, estado de Minas Gerais. Para tanto, foram elencados os principais impactos adversos sobre a saúde humana e ecossistemas naturais apontados pela literatura, com o intuito de favorecer a elaboração de estratégias e subsidiar o debate para a formulação de políticas públicas.

2. *Materiais e métodos*

A presente pesquisa tratou-se de uma revisão da literatura, para tanto, adotou-se as diretrizes propostas por Pullin & Stewart (2006) para a condução de revisões sistemáticas na gestão ambiental e conservação da biodiversidade. A questão norteadora foi a seguinte: Quais os impactos sobre o meio ambiente e a saúde humana decorrentes do rompimento das barragens de rejeito de mineração de Mariana e Brumadinho? A busca foi conduzida em três bases bibliográficas: (i) *Web of Science*, (ii) *Scopus*, e (iii) *US National Library of Medicine* (PubMed).

A estratégia de busca fez uso de operadores booleanos e, devido à diversidade de termos na literatura para se referir ao rompimento de uma barragem, utilizou-se a seguinte expressão: "*bar-*

rage disruption" OR "dam disruption" OR "tailing dam collapse" OR "dam break" AND "Mariana" OR "Fundão Dam" OR "Brumadinho" OR "Feijão stream". A seleção e exclusão dos artigos ocorreram por meio da leitura dos títulos e/ou conteúdo dos resumos. Quanto ao critério de qualidade, adotou-se como base a adequação do artigo (abrangência total ou parcial) ao foco e à questão norteadora, conforme realizado por Martins & Carmo Júnior (2018). Optou-se por selecionar somente artigos *peer-reviewed* indexados e publicados em inglês ou português, que abordassem os impactos ambientais e/ou danos à saúde humana decorrentes do rompimento das barragens de rejeito de Brumadinho e/ou Mariana, em Minas Gerais. Como critérios de exclusão, adotou-se: a duplicidade dos artigos, artigos em outro idioma que não o português ou inglês, artigos que não atendiam ao objetivo da presente pesquisa, dissertações, teses, trabalhos apresentados em eventos científicos, capítulos de livros e arquivos editoriais.

Foram recuperados 104 artigos científicos, dos quais nove eram duplicados. Por meio do processo de triagem e leitura dos títulos e resumos, 32 artigos foram selecionados para análise (Tabela 1). Após a leitura minuciosa dos artigos selecionados na íntegra, 27 artigos foram incluídos no estudo, uma vez que somente estes atenderam aos critérios definidos

e respondiam à questão norteadora. A extração dos dados possibilitou a identificação dos impactos ambientais e prejuízos para a saúde humana, assim como a síntese possibilitou a identificação de elementos chave que podem ser utilizados para a tomada de decisão.

3. Resultados e discussão

3.1. Descrição dos achados

Na Figura 1, observam-se os periódicos nos quais os artigos selecionados durante o processo de triagem estão disponibilizados. Ao todo, 20 periódicos diferentes foram identificados, sendo a grande maioria internacional. É possível destacar a grande variedade de abordagens na literatura acerca do rompimento das barragens de rejeitos de mineração no Brasil. Notou-se que os periódicos com o maior número de publicações foram *Science of the Total Environment* (n = 5), *Marine Pollution Bulletin* (n = 2), *Integrated Environmental Assessment and Management* (n = 2) e *Ecotoxicology and Environmental Safety* (n = 2). Os demais periódicos continham uma única publicação.

TABELA 1 – Artigos encontrados nas bases de busca em abril de 2020.

	Encontrados	Duplicados	Excluídos	Selecionados	Analisados
Web	78	9	50	19	17
Scopus	4	0	2	2	2
Pubmed	22	0	13	9	8
TOTAL	104	9	63	32	27

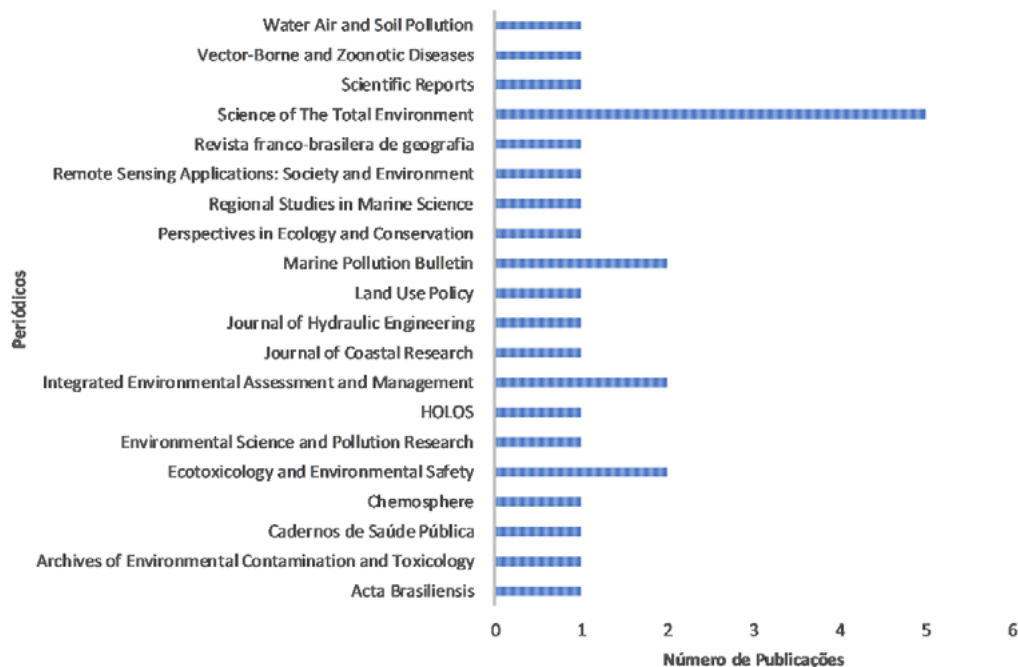


FIGURA 1 – Periódicos de publicação e a distribuição dos artigos analisados.

Quanto à distribuição temporal dos artigos (Figura 2), verificou-se que as publicações são datadas de 2016, ano que sucede o rompimento da barragem de Mariana. Houve um aumento do número de publicações em 2017, porém o maior número de publicações está concentrado entre 2019 e 2020 (ca. 78%), situação que pode estar atrelada ao rompimento da barragem de Brumadinho, no início de 2019.

3.2. Impactos ambientais nos ecossistemas naturais e áreas antrópicas

O rompimento das barragens de rejeitos de

mineração implicou na alteração das variáveis físicas e químicas dos ambientes aquáticos, situação que afetou diretamente os organismos e o funcionamento dos ecossistemas. Claramente, ocorreu a contaminação dos compartimentos (solo, água, ar), danos ao agronegócio, condições adversas à biota e a inundação de algumas áreas (Freitas *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2019).

No caso de Mariana, mudanças físicas e químicas ocorreram nas propriedades dos sedimentos nas áreas afetadas, situação evidenciada pelas concentrações de Fe, matéria orgânica e predomínio da fração de sedimentos finos (Reis *et al.*, 2020). Ademais, um grande acúmulo de resíduos ocorreu na bacia do rio Doce (Francini-Filho *et al.*, 2019).

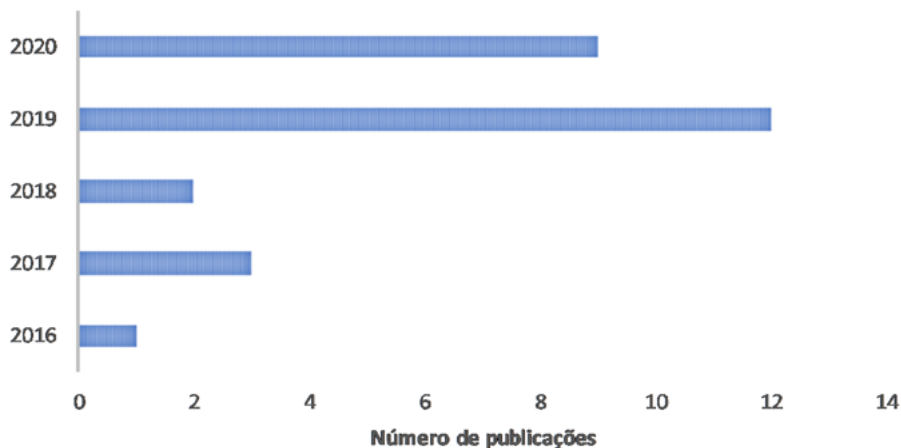


FIGURA 2 – Distribuição das publicações ao longo dos anos.

Devido à grande adução de sedimentos, verificou-se a o assoreamento de corpos hídricos (Omachi *et al.*, 2018), variações na temperatura, redução das concentrações de oxigênio dissolvido ($< 5 \text{ mg/L}^{-1}$), aumento das concentrações de fósforo e nitrogênio na água (Thompson *et al.*, 2020), aumento do material particulado suspenso ($225\text{-}1877 \text{ mg/L}^{-1}$) (Cordeiro *et al.*, 2019), prejuízos ao abastecimento público e redução da vida útil de reservatórios (Palu & Julien, 2019). Ao se depositar em reservatórios, o rejeito de mineração contribui para o aumento das concentrações de Fe e Al, como observado no reservatório de Candonga (Figueiredo *et al.*, 2019).

Altos valores de turbidez (530,4 UNT) foram registrados após o rompimento da barragem em Brumadinho, valor superior às diretrizes estabelecidas nacionalmente (Furlan *et al.*, 2020) pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). O rompimento da barragem de Mariana também afetou a turbidez, a penetração da luz na coluna

d'água foi fortemente atenuada (K_{d490} : $0,35 \text{ m}^{-1}$) e somente se reestabeleceu com a deposição dos sedimentos, um mês após o ocorrido (Coimbra *et al.*, 2019; Cordeiro *et al.*, 2019; Reis *et al.*, 2019).

Um grande aumento de microrganismos foi observado com a ruptura da barragem de Brumadinho, principalmente colônias bacterianas tolerantes ao Fe nos ambientes afetados pelo rejeito, além da presença de eucariotos potencialmente tóxicos e cianobactérias (209 mil células/ml) em ambientes aquáticos impactados (Thompson *et al.*, 2020). Ainda, em relação às comunidades microbianas, também se observou um aumento de Actinobactéria, Bacteroides e sequências de genes relacionadas à virulência microbiana, motilidade e funcionamento celular (Cordeiro *et al.*, 2019).

As concentrações de metais pesados na água (Al, Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, U, Cr, Cd) e sedimentos (Cr, Ni, Cu e Cd), após a ruptura da barragem em Brumadinho, ficaram muito acima dos valores de re-

ferência brasileiros, algumas concentrações estavam de 2 a 200 vezes acima do recomendado (Furlan *et al.*, 2020; Vergilio *et al.*, 2020; Weber *et al.*, 2020). Quanto à Mariana, ocorreu a contaminação da água e sedimento, as maiores concentrações desses elementos foram encontradas nas áreas impactadas (Freitas *et al.*, 2019; Quadra *et al.*, 2019). Observou-se concentrações de Fe (14,97-1632.53 $\mu\text{g L}^{-1}$) e Mn (12,39-321,68 $\mu\text{g L}^{-1}$) na água muito acima dos valores de referências (Cordeiro *et al.*, 2019; Reis *et al.*, 2019). Quadra *et al.* (2019) salientam que as concentrações de Fe, Al e Mn foram de 23 a 5 mil vezes maiores nas localidades impactadas em relação aos sítios não impactados, como também estavam acima dos valores orientadores. Carvalho (2017) também constatou que os valores obtidos para Cu e Ni estavam acima dos valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/07.

Os ecossistemas de água salgada também foram afetados, já que a pluma de rejeitos oriunda do rio Doce chegou ao mar 17 dias após o rompimento; sendo encontrada a presença de isótopos da pluma e material particulado nos recifes de corais (Francini-Filho *et al.*, 2019). A contaminação por metais (Cd, Cr, Pb, As, Cu e Zn) e potenciais impactos a organismos de importância econômica foram evidenciados no estuário do rio Doce (Gabriel *et al.*, 2020).

As concentrações elevadas de metais na água e sedimento podem ser nocivas para a biota. Por exemplo, Quadra *et al.* (2019) constataram citogenotoxicidade nas localidades impactadas pelos rejeitos da barragem de Mariana, situação decorrente da observação de aberrações cromossômicas em *Allium cepa L.* Os sedimentos e a água foram tóxicos para organismos que fazem parte de diferentes níveis tróficos (algas – *Raphidocelis subcapitata*;

microcrustáceos – *Daphnia similis*; e peixes – *Danio rerio*) (Vergilio *et al.*, 2020). Em ambientes impactados pelos rejeitos de Brumadinho, também foi evidenciado alta mortalidade (até 75%) de embriões de peixe-zebra (Thompson *et al.*, 2020).

Ainda se tratando dos peixes, os rejeitos de Mariana ocasionaram danos hepáticos aos peixes do rio Doce, bem como induziu a expressão de proteínas e enzimas relacionadas à contaminação por metais, visto a vacuolização citoplasmática, necrose e o estresse oxidativo observado nas espécies *Hoplias intermedius* e *Hypostomus affinis* (Weber *et al.*, 2020).

Potenciais impactos a organismos de importância econômica (caranguejos, camarões, peixes) foram evidenciados no estuário do rio Doce (Gabriel *et al.*, 2020). Peixes larvais da área costeira do Sudeste brasileiro foram afetados pela pluma de lama, dado que alguns indivíduos apresentaram sedimento avermelhado aderido ao corpo, além de que os indivíduos das espécies *Chloroscombrus chrysurus* e *Monacanthus ciliatus* tiveram seus aparelhos digestivos danificados e apresentaram concentrações de metais significativamente mais altas do que larvas sem danos, coletadas ao mesmo tempo e antes do rompimento (Bonecker *et al.*, 2019). A diversidade e composição dos grupos tróficos da macrofauna bentônica do estuário do rio Doce foram impactadas, a chegada do rejeito levou ao predomínio de táxons resistentes (Anellida), como também ocasionou a queda da abundância relativa de outros táxons (Gomes *et al.*, 2017).

Áreas marinhas protegidas na região Sudeste do Brasil e a área influenciada pela corrente sul foram afetadas pela pluma de rejeito; modelos matemáticos apontaram que consequências poderão ser observadas em longo prazo nas adjacências do Rio

de Janeiro (Marta-Almeida *et al.*, 2016).

Verificou-se o aumento de Fe e Cr no tecido de plantas devido ao rejeito de Mariana, bem como alterações morfológicas, aumento de enzimas antioxidantes, redução do teor de clorofila (a e b), carotenoide, redução da taxa fotossintética, redução da condutância estomática, redução na eficiência do uso da água e transpiração (Matos *et al.*, 2020). O crescimento de plantas (*Albizia polycephala*, *Handroanthus heptaphyllus* e *Handroanthus impetiginosus*) foi negativamente afetado pelos rejeitos de Mariana em função da baixa disponibilidade de nutrientes no solo, baixos teores de matéria orgânica e troca catiônica dos rejeitos (Cruz *et al.*, 2020).

Os colapsos das barragens resultaram em perdas de áreas, que foram cobertas por rejeitos. No caso de Mariana: (i) 457,6 ha de Mata Atlântica e 1.176,6 ha de áreas fluviais foram perdidos (Omach *et al.*, 2018); (ii) 135 fragmentos de floresta semidecídua foram atingidos (298 ha); (iii) 836,7 ha de áreas de preservação permanente foram destruídos; (iv) 105 km de corpos hídricos foram assoreados; (v) 294 riachos foram prejudicados; (vi) 810 construções foram afetadas; (vii) 416,1 ha de áreas agrícolas perdidos; (viii) 286 ha da barragem de Risoleta foram afetados (Carmo *et al.*, 2017); e (ix) 125,60 ha de uso alternativo da terra foram prejudicados (Oliveira *et al.*, 2019a). Já se tratando de Brumadinho, a área diretamente afetada variou entre 2.172,6 m² e 2.954,7 m², sendo a região da barragem e os corpos hídricos inseridos nas adjacências das localidades impactadas com maior intensidade (Syifa *et al.*, 2019). Os rejeitos de mineração contribuíram para a compactação do solo e redução da disponibilidade de água aos organismos vegetais (Matos *et al.*, 2020).

Na Figura 3, é apresentada uma síntese dos

impactos ambientais decorrentes da barragem de rejeitos de mineração, com base nas referências encontradas na busca e apresentadas anteriormente.

Os rompimentos de barragens de mineração ocasionam uma série de impactos ambientais que ultrapassam limites municipais e podem afetar bacias hidrográficas inteiras. Tais rompimentos e os impactos associados são decorrentes de um modelo que beneficia as elites e prejudica os direitos da população, como também demonstram uma contrariedade dos motivos sociais e ambientais das mineradoras (Hanson Pastran & Mallett, 2020). A magnitude dos impactos listados demonstrou que uma ampla gama de ações será necessária para fornecer suporte aos afetados e possibilitar a redução dos desequilíbrios ecológicos.

Nas ações judiciais, nem todos os impactos decorrentes do rompimento foram listados, mas são citados os seguintes: danos ao patrimônio histórico-cultural, prejuízos a qualidade da água, danos difusos, danos futuros, prejuízos socioambientais, prejuízo à saúde, danos ambientais, danos ecológicos, danos humanos, danos econômicos, danos materiais, danos gerais, danos ao ambiente coletivo, danos sociais, danos socioeconômicos e perdas ambientais (Losekann *et al.*, 2020). Logo, observou-se que existe o entendimento da amplitude dos impactos decorrentes do rompimento no campo jurídico.

O número de pessoas expostas é ainda maior quando se considera aqueles que tiveram a provisão dos serviços ecossistêmicos prejudicada, situação que implica em mudanças diretas no modo de vida e desenvolvimento das atividades humanas (Freitas *et al.*, 2019). Essa temática foi pouco abordada nos estudos encontrados, o que demanda a condução de investigações nesse sentido. Cabe salientar que a

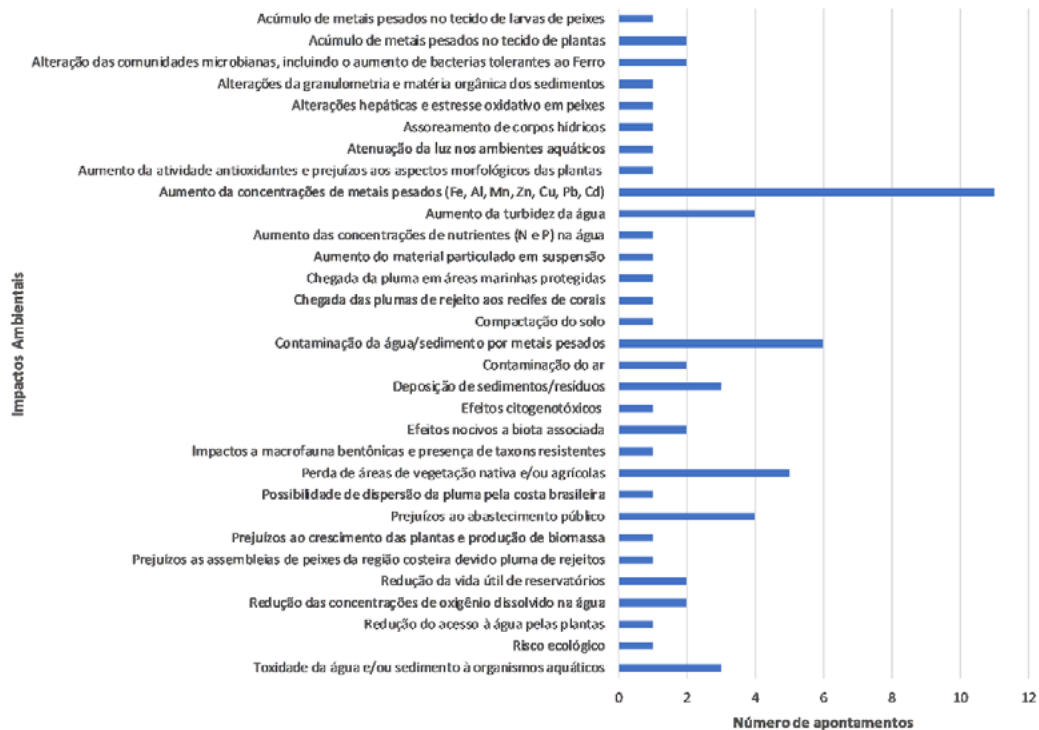


FIGURA 3 – Síntese dos impactos ambientais decorrentes do rompimento das barragens e o número de menções de cada tipologia.

manutenção do funcionamento e metabolismo dos ecossistemas é indispensável para o bem-estar da população e biota (Oliveira-Andreoli *et al.*, 2019, Silva *et al.*, 2019).

Outro ponto relevante é a necessidade de se repensar as políticas no momento em que vivemos, o antropoceno, período marcado por profundas mudanças nos sistemas ecológicos em função das ações antrópicas. Evidentemente, é preciso formular ações que respeitem os limites biofísicos e auxiliem no enfrentamento dos mecanismos de mudanças ligados ao uso dos recursos naturais e degradação ambiental (Sterner *et al.*, 2019). O entendimento dos impactos adversos do rompimento das barragens

de rejeito favorece o estabelecimento e desenho de ações nesse sentido.

3.3. Impactos à saúde humana

A saúde e o bem-estar foram negativamente afetados pelo rompimento das barragens de rejeito, situação que se perpetua por um longo período e não se limita somente ao dia do acontecimento. Na literatura, vários impactos posteriores foram elencados.

Em Brumadinho, um total de 387 *amplicons* de 29 genes de resistência microbiana foram detectados, os quais conferem resistência para alguns

agentes antimicrobianos de importância crítica para a medicina humana (Furlan *et al.*, 2020). Ademais, em relação a microrganismos, é importante destacar a presença de cianobactérias em corpos hídricos afetados pelo rejeito, situação que pode ser prejudicial à saúde humana devido às toxinas liberadas nos ambientes aquáticos (Thompson *et al.*, 2020).

Devido ao enriquecimento por metais pesados e ao acúmulo desses elementos no tecido de peixes (Fe > Al > Mn), existe a probabilidade de contaminação humana na região atingida pela ruptura da barragem de Brumadinho (Vergilio *et al.*, 2020). Os riscos potenciais decorrentes da contaminação por metais (Cd, Cr, Pb, As, Cu e Zn) no estuário do rio Doce podem afetar organismos de importância econômica (caranguejos, camarões e peixes) e, por causa da bioacumulação, existe a possibilidade de contaminação humana, acarretando em sérios danos à saúde da população que consumir esses organismos (Gabriel *et al.*, 2020).

Outrossim, Freitas *et al.* (2019) reforçam que podem ocorrer danos em órgãos específicos do sistema nervoso, agravamento das doenças crônicas não transmissíveis (Diabetes mellitus, Hipertensão Arterial Sistêmica), ocorrência de transtornos mentais, crises de ansiedade, depressão, doenças gastrointestinais, asma e infecções das vias aéreas superiores.

Devido ao rompimento da barragem em Brumadinho, a água não é mais segura para consumo humano e o seu armazenamento pode favorecer a reprodução de vetores, a transmissão de zoonoses e patógenos, assim como contribuir para o aumento de picadas por vetores, o aumento de doenças endêmicas (dengue, zika e chikungunya) e a expansão do ciclo de transmissão, além de eventuais epidemias (Parekh *et al.*, 2020). Cabe enfatizar, também, o

cenário favorável para parasitoses e aumento das mordeduras por animais e/ou insetos (Freitas *et al.*, 2019).

Correlações positivas entre adenovírus humano (HAdV) e metais pesados (Al, As, Ba, Fe, Mn, Ni e Pb) foram confirmadas, permitindo observar que há uma abundância do vírus potencialmente infecciosos presentes nos locais estudados contendo concentrações dos metais/semimetais, além de que esses patógenos prolongam a estabilidade de infecções e os adensamentos humanos provavelmente constituem sua principal fonte (Reis *et al.*, 2019).

Silva *et al.* (2019) listam os seguintes impactos posteriores em relação à saúde: (i) traumas; (ii) lesões; (iii) intoxicação devido a elementos presentes no rejeito; (iv) óbitos; (v) contaminação por agentes biológicos; (vi) doenças transmitidas via rota fecal-oral; (vii) exposição da população a riscos (afogamento, choque, envenenamento); (viii) dependência química; (ix) prejuízos ao bem-estar da população; (x) doenças de veiculação hídricas; (xi) doenças de origem alimentar; e (xii) risco de acidente vascular cerebral.

É essencial ressaltar a forte influência dos fatores socioeconômicos sobre a saúde da população, visto a relação direta entre eles, o que pode contribuir para o surgimento de doenças e eventuais agravos à saúde. Nesse contexto, sobressaem-se: (i) os impactos sobre a infraestrutura; (ii) mudanças nas condições de vida; (iii) alterações na dinâmica local; (iv) limitação da locomoção; (v) danos aos diferentes setores da economia; (vi) interrupção de serviços essenciais; (vii) migração e deslocamento; (viii) violência; (ix) prejuízos à fonte de renda; e (x) prejuízos ao turismo (Silva *et al.*, 2019).

Os principais danos à saúde decorrentes do rompimento das barragens de rejeitos de mineração,



FIGURA 4 – Síntese dos potenciais impactos à saúde humana decorrentes do rompimento das barragens e o número de menções de cada tipologia.

conforme as referências acima, são apresentadas na Figura 4.

Devido à gravidade da situação e à persistência dos danos, é preciso o acompanhamento da população afetada (incluindo os trabalhadores) e o monitoramento dos impactos, uma vez que mais danos podem ocorrer aos indivíduos residentes nas áreas afetadas; e o Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador (DSAST) passa a desempenhar um importante papel nesse sentido (Oliveira *et al.*, 2019b).

A população ainda vive sob o impacto da tragédia, os afetados são obrigados a lidar com perdas e acabam sendo ‘silenciados’ pelo domínio corporativo (Lopes & Figueirôa, 2020). Os indivíduos inseridos nas regiões diretamente afetadas vivem com o medo de novos rompimentos e ainda procuram formas para lidar com a mudança dramática a que

foram expostos. Nas últimas duas décadas, nota-se um número crescente de falhas nas barragens de rejeitos no mundo (Armstrong *et al.*, 2019), situação que implica diretamente no aumento de pessoas e ambientes afetados.

Ademais, os metais pesados oriundos do rejeito de mineração conferem um maior risco de progressão de doenças cardiovasculares, situação que demanda o monitoramento dos indivíduos afetados (Valenti & Garner, 2019). Apesar de a bacia do rio Doce apresentar contaminação por metais pesados (As, Ba, Co, Cu, Cr, Ni e Zn) antes do rompimento da barragem, verifica-se a existência de um risco carcinogênico e alterações das propriedades físico-químicas dos sedimentos com o rompimento da barragem (Davila *et al.*, 2020, Reis *et al.*, 2020).

Oliveira *et al.* (2019a) enfatizam que os impactos decorrentes do rompimento da barragem não se

limitam somente à população diretamente afetada, mas se refletem em toda a bacia hidrográfica em função da contaminação das águas, impossibilidade de consumo, propagação de doenças de veiculação hídrica e recrudescimento de outros problemas de saúde, além dos prejuízos à saúde mental. É importante compreender como os rompimentos das barragens de rejeitos influenciam os determinantes sociais de saúde. A formulação de políticas públicas voltadas para a saúde deve considerar elementos que favoreçam o estabelecimento de estratégias de intervenção (Tarlov, 1999).

Os prejuízos à saúde mental podem ser atrelados aos impactos socioeconômicos, visto a perda e/ou danos às habitações (Freitas *et al.*, 2019). Enfatizam-se as mudanças nas condições de vida da população afetada, as manifestações dos impactos no curto-médio-longo prazo e a iminente necessidade de adaptação do sistema de saúde para que ocorra o adequado atendimento da população (Silva *et al.*, 2019).

O cenário observado é fruto da adoção da supervalorização econômica como foco de desenvolvimento, situação que acarreta em grandes processos de transformação do espaço e gera diversos custos de ordem social e ambiental para a sociedade como um todo, dado os problemas de vulnerabilidade ocasionados por questões de sustentabilidade, saúde e ambiente (Londe *et al.*, 2018). Londe *et al.* (2015) destacam que a saúde e os impactos dos “desastres” possuem uma relação íntima, dada a influência na capacidade de resposta existente entre ambos, gerando gastos.

A relação existente entre o ambiente e saúde somente se evidencia no momento em que ocorre uma associação entre saúde e os impactos ambientais, visto que ocorre uma mudança no cotidiano

das pessoas (Rosa *et al.*, 2018) em decorrência dos impactos adversos sobre os ecossistemas (e.g. disfunções ecológicas, alterações em seu metabolismo). Cabe salientar, ainda, que saúde e bem-estar, vida na água e vida terrestre são objetivos do desenvolvimento sustentável assumidos formalmente pelo Brasil (ONU BR, 2020). Sendo assim, é de vital importância a adoção de medidas que possam minimizar os possíveis impactos levantados.

4. Conclusão

Os rompimentos das barragens de rejeitos de mineração ocasionaram uma série de transformações na saúde da população e dos ecossistemas atingidos. Notou-se que as questões relacionadas à saúde humana e aos ecossistemas apresentam grande magnitude e necessitam de medidas de curto e longo prazo, assim como demandam uma abordagem interdisciplinar para a realização de propostas de gerenciamento que melhorem a saúde da população e proporcionem a recuperação dos serviços ecossistêmicos. Diante da sistemática da problemática ambiental, é preciso que ocorra mudança na forma que o desenvolvimento econômico tem ocorrido, deve ocorrer o uso racional dos recursos naturais e a preservação ambiental deve ser uma premissa, já que alterações nos sistemas naturais impactam adversamente o bem-estar e a saúde humana, bem como a saúde dos ecossistemas.

Os impactos ambientais implicaram na perda de ecossistemas naturais, na perda de áreas antrópicas, prejuízos ao funcionamento e metabolismo dos ecossistemas, contaminação dos compartimentos ambientais e prejuízos à biodiversidade. Já se tratando da saúde humana, são evidentes os riscos

de intoxicação, prejuízos à saúde mental, agravos de doenças existentes, arboviroses e zoonoses. Verificou-se a necessidade de se avaliar a interrupção dos ciclos biogeoquímicos e a sua influência na provisão dos serviços ecossistêmicos, além de um olhar para o sistema de saúde no que diz respeito ao estabelecimento de estratégias para o atendimento dos afetados e acompanhamento no longo prazo. Essa compilação de informações pode contribuir para o estabelecimento de estratégias e formulação de políticas públicas que visem a reversão do cenário encontrado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio concedido (Processo: 158927/2018-4).

Referências

- Almeida, I. M. de; Filho, J. M. J.; Vilela, R. A. G. Origens históricas e organizacionais do desastre da barragem do Córrego do Feijão. *Revista Brasileira de Medicina do Trabalho*, 17(1), 13–20, 2019. doi:10.5327/Z1679443520190415
- Armstrong, M.; Petter, R.; Petter, C. Why have so many tailings dams failed in recent years? *Resources Policy*, 63, 101412, 2019. doi: 10.1016/j.resourpol.2019.101412
- Bonecker, A. C. T.; Castro, M. S. de; Costa, P. G., Bianchini, A.; Bonecker, S. L. C. Larval fish assemblages of the coastal area affected by the tailings of the collapsed dam in southeast Brazil. *Regional Studies in Marine Science*, 32, 100848, 2019. doi: 10.1016/j.rsma.2019.100848
- Carmo, F. F.; Kamino, L. H. Y.; Junior, R. T.; Campos, I. C.; Carmo, F. F.; Silvino, G.; Castro, K. J. S. X.; Mauro, M. L.; Rodrigues, N. U. A.; Miranda, M. P. de S.; Pinto, C. E. F. Fundão tailings dam failures: the environment tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 15(3), 145–151, 2017. doi: 10.1016/j.pecon.2017.06.002
- Carvalho, M. S. de; Ribeiro, K. D.; Moreira, R. M.; Almeida, A. M. Concentração de metais no rio Doce em Mariana, Minas Gerais, Brasil. *Acta Brasiliensis*, 1(3), 37–41, 2017. doi: 10.22571/Actabra13201758
- Ceballos, A. G. C. *Modelos conceituais de saúde, determinação social do processo saúde doença, promoção da saúde - UNASUS*, 2015. Disponível em: <<https://ares.unasus.gov.br/acervo/handle/ARES/3332?show=full>>. Acesso em: mai., 2020.
- Coimbra, K. T. O.; Alcântara, E.; Souza Filho, C. R. An assessment of natural and manmade hazard effects on the underwater light field of the Doce River continental shelf. *Science of The Total Environment*, 685, 1087–1096, 2019. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.127
- Cordeiro, M. C.; Garcia, G. D.; Rocha, A. M.; Tschoeke, D. A.; Campeão, M. E.; Appolinario, L. R.; Soares, A. C.; Leomil, L.; Froes, A.; Bahiense, L.; Rezende, C. E.; de Almeida, M. G.; Rangel, T. P.; De Oliveira, B. C. V.; de Almeida, D. Q. R.; Thompson, M. C.; Thompson, C. C.; Thompson, F. L. Insights on the freshwater microbes metabolic changes associated with the world's largest mining disaster. *Science of The Total Environment*, 654, 1209–1217, 2019. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.112
- Cruz, F. V. S.; Gomes, M. P.; Bicalho, E. M.; Della Torre, F.; Garcia, Q. S. Does Samarco's spilled mud impair the growth of native trees of the Atlantic Rainforest? *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 189, 110021, 2020. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.110021
- Dantas, H. F. S.; Freitas, L. S. Contribuição da mineração para o município na perspectiva da sustentabilidade. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 11(4), 1555-1574, 2018. doi: 10.26848/rbfg.v11.4.p1555-1574.
- Davila, R. B.; Fontes, M. P. F.; Pacheco, A. A.; Ferreira, M. S. Heavy metals in iron ore tailings and floodplain soils affected by the Samarco dam collapse in Brazil. *Science of The Total Environment*, 709, 136151, 2020. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.136151

- Figueiredo, M. D.; Lameiras, F. S.; Ardisson, J. D.; Araujo, M. H.; Teixeira, A. P. C. Tailings from Fundão Tragedy: Physical–Chemical Properties of the Material That Remains by Candonga Dam. *Integrated Environmental Assessment and Management*, n/a(n/a), 2019. doi: 10.1002/ieam.4227
- Francini-Filho, R. B.; Cordeiro, M. C.; Omachi, C. Y.; Rocha, A. M.; Bahiense, L.; Garcia, G. D.; Tschoeke, D.; de Almeida, M. G.; Rangel, T. P.; De Oliveira, B. C. V.; de Almeida, D. Q. R.; Menezes, R.; Mazzei, E. F.; Joyeux, J.-C.; Rezende, C. E.; Thompson, C. C.; Thompson, F. L. Remote sensing, isotopic composition and metagenomics analyses revealed Doce River ore plume reached the southern Abrolhos Bank Reefs. *Science of The Total Environment*, 697, 134038, 2019. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134038
- Freitas, C. M. de; Barcellos, C.; Asmus, C. I. R. F.; Silva, M. A. da; Xavier, D. R. (2019). From Samarco in Mariana to Vale in Brumadinho: Mining dam disasters and Public Health. *Cadernos de Saúde Pública*, 35(5), 2019. doi: 10.1590/0102-311x00052519
- Fundação Oswaldo Cruz. *Nota técnica: avaliação dos impactos sobre a saúde do desastre da mineração da Vale (Brumadinho, MG)*, 2019. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/32268/3/Nota_Tecnica_Brumadinho_impacto_Saude_01022019.pdf>. Acesso em: mai., 2021.
- Furlan, J. P. R.; dos Santos, L. D. R.; Moretto, J. A. S.; Ramos, M. S.; Gallo, I. F. L.; Alves, G. de A. D.; Paulelli, A. C.; Rocha, C. C. de S.; Cesila, C. A.; Gallimberti, M.; Devóz, P. P.; Júnior, F. B.; Stehling, E. G. Occurrence and abundance of clinically relevant antimicrobial resistance genes in environmental samples after the Brumadinho dam disaster, Brazil. *Science of The Total Environment*, 726, 138100, 2020. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138100
- Gabriel, F. A.; Silva, A. G.; Queiroz, H. M.; Ferreira, T. O.; Hauser-Davis, R. A.; Bernardino, A. F. Ecological risks of metal and metalloid contamination in the Rio Doce estuary. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 16(5), 4250-4256, 2020. doi: 10.1002/ieam.4250
- Gomes, L. E. de O.; Correa, L. B.; Sá, F.; Neto, R. R.; Bernardino, A. F. The impacts of the Samarco mine tailing spill on the Rio Doce estuary, Eastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 120(1), 28–36, 2017. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.04.056
- Hanson Pastran, S.; Mallett, A. Unearthing power: A decolonial analysis of the Samarco mine disaster and the Brazilian mining industry. *The Extractive Industries and Society*, 7(2), 704-715, 2020. doi: 10.1016/j.exis.2020.03.007
- IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis. *Laudo técnico preliminar*, 2015. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo_tecnico_preliminar_Ibama.pdf>. Acesso em: mar., 2020
- IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. *Relatório anual de atividades Julho de 2018 - Junho de 2019*. Disponível em: <<http://portaldamineracao.com.br/ibram/wp-content/uploads/2019/07/relatorio-anual-2018-2019.pdf>>. Acesso em: mai., 2020.
- Londe, L. de R.; Marchezini, V.; Conceição, R. S. da; Bortoletto, K. C.; Silva, A. E. P.; Santos, E. V. dos; Reani, R. T.; Londe, L. de R.; Marchezini, V.; Conceição, R. S. da; Bortoletto, K. C.; Silva, A. E. P.; Santos, E. V.; Reani, R. T. Impactos de desastres socioambientais em saúde pública: estudos dos casos dos Estados de Santa Catarina em 2008 e Pernambuco em 2010. *Revista Brasileira de Estudos de População*, 32(3), 537–562, 2015. doi: 10.1590/S0102-3098201500000031
- Londe, L. R.; Moura, L. G.; Coutinho, M. P.; Marchezini, V.; Soriano, E. Vulnerabilização, saúde e desastres socioambientais no litoral de São Paulo: desafios para o desenvolvimento sustentável. *Ambiente & Sociedade*, 21, e01022, 2018. doi: 10.1590/1809-4422asoc0102r2vu-1811ao
- Lopes, M. M.; Figueirôa, S. F. de M. The History of Geology Meets Disasters: A Brazilian Perspective. *Isis*, 111(1), 104–111, 2020. doi: 10.1086/707820
- Losekann, C.; Dias, T. H.; Camargo, A. V. M. The Rio Doce mining disaster: legal framing in the Brazilian justice system. *The Extractive Industries and Society*, 7(1), 199–208, 2020. doi: 10.1016/j.exis.2019.11.015
- Matos, L. P.; de Andrade, H. M.; Marinato, C. S.; Prado, I. G. de O.; Coelho, D. G.; Montoya, S. G.; Kasuya, M.

- C. M.; Oliveira, J. A. Limitations to use of *Cassia grandis* L. in the revegetation of the areas impacted with mining tailings from Fundão dam. *Water Air and Soil Pollution*, 231(3), 1-9, 2020. doi: 10.1007/s11270-020-04479-0
- Marta-Almeida, M.; Mendes, R.; Amorim, F. N.; Cirano, M.; Dias, J. M. Fundão Dam collapse: oceanic dispersion of River Doce after the greatest Brazilian environmental accident. *Marine Pollution Bulletin*, 112(1), 359–364, 2016. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.07.039
- Martins, T. S.; Carmo Júnior, G. N. R. Avaliação de Impacto Ambiental: uma revisão sistemática sob a ótica metodológica. *Engineering and Science*, 7(2), 29-41, 2018. Disponível em: <http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/6616/4868>
- Metzger, J. P.; Bustamante, M. M. C.; Ferreira, J.; Fernandes, G. W.; Librán-Embú, F.; Pillar, V. D.; Prist, P. R.; Rodrigues, R. R.; Vieira, I. C. G.; Overbeck, G. E. Por que o Brasil precisa de suas Reservas Legais. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 17(3), 104–116, 2019. doi: 10.1016/j.pecon.2019.09.001
- Oliveira-Andreoli, E. Z.; Silva, F. L.; López, F. M. A.; Machado, R.; Teodoro, C. C.; Bianchini Júnior, I.; Cunha-Santino, M. B.; Fushita, A. T.; Crestana, S. Importância do planejamento regional para a manutenção dos usos múltiplos da água em bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 52, 16–27, 2019. doi: 10.5327/Z2176-947820190479
- Oliveira, C. M.; Cruz, M. M. Sistema de vigilância em saúde no Brasil: avanços e desafios. *Saúde & Debate*, 39(104), 255 – 267, 2015. doi: 10.1590/0103-110420151040385
- Oliveira, T. R.; Oliveira, V. S. de; Pontes, M.; Libório, M. P.; Hadad, R. M.; Laudares, S. Metodologia para análise dos danos ambientais do rompimento da Barragem de Fundão em Bento Rodrigues (MG). *HOLOS*, 7(0), 1–17, 2019a. doi: 10.15628/holos.2019.6187
- Oliveira, W. K. de; Rohlf, D. B.; Garcia, L. P. The Brumadinho disaster and work of the Health Surveillance service. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 28(1), e20190425, 2019b. doi: 10.5123/S1679-49742019000100025
- Omachi, C. Y.; Siani, S. M. O.; Chagas, F. M.; Mascagnani, M. L.; Cordeiro, M.; Garcia, G. D.; Thompson, C. C.; Siegle, E.; Thompson, F. L. Atlantic Forest loss caused by the world’s largest tailing dam collapse (Fundão Dam, Mariana, Brazil). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 12, 30–34, 2018. doi: 10.1016/j.rsase.2018.08.003
- ONU BR - *Transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável*, 2020. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: mar., 2020.
- Palu, M. C.; Julien, P. Y. Modeling the sediment load of the Doce River after the Fundão tailings dam collapse, Brazil. *Journal of Hydraulic Engineering*, 145(5), 05019002, 2019. doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001582
- Parekh, F. K.; Yeh, K. B.; Olinger, G.; Ribeiro, F. A. Infectious disease risks and vulnerabilities in the aftermath of an environmental disaster in Minas Gerais, Brazil. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 20(5), 387–389, 2020. doi: 10.1089/vbz.2019.2501
- Pullin, A. S.; Stewart, G. B. Guidelines for systematic review in conservation and environmental management. *Conservation Biology: The Journal of the Society for Conservation Biology*, 20(6), 1647–1656, 2006. doi:10.1111/j.1523-1739.2006.00485.x
- Quadra, G. R.; Roland, F.; Barros, N.; Malm, O.; Lino, A. S.; Azevedo, G. M.; Thomaz, J. R.; Andrade-Vieira, L. F.; Praça-Fontes, M. M.; Almeida, R. M.; Mendonça, R. F.; Cardoso, S. J.; Guida, Y. S.; Campos, J. Marcello. S. Far-reaching cytogenotoxic effects of mine waste from the Fundão dam disaster in Brazil. *Chemosphere*, 215, 753–757, 2019. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.10.104
- Reis, D. A.; Fongaro, G.; da Silva Lanna, M. C.; Dias, L. C. P.; Santiago, A. F. The relationship between human adenovirus and metals and semimetals in the waters of the Rio Doce, Brazil. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 77(1), 144–153, 2019. doi: 10.1007/s00244-019-00625-w
- Reis, D. A.; Nascimento, L. P.; de Abreu, A. T.; Nalini Júnior, H. A.; Roeser, H. M. P.; Fonseca Santiago, A. Geochemical evaluation of bottom sediments affected by historic mining and the rupture of the Fundão dam, Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(4),

4365–4375, 2020. doi: 10.1007/s11356-019-07119-1

Rezende, E.; Silva, V. De Mariana a Brumadinho: a efetividade da responsabilidade civil ambiental para a adoção das medidas de evacuação. *Revista do Direito*, 1(57), 1-22, 2019. doi:<https://doi.org/10.17058/rdunisc.v1i57.13569>

Rockström, J.; Steffen, W.; Noone, K.; Persson, Å.; Chapin, F. S.; Lambin, E. F.; Lenton, T. M.; Scheffer, M.; Folke, C.; Schellnhuber, H. J.; Nykvist, B.; de Wit, C. A.; Hughes, T.; van der Leeuw, S.; Rodhe, H.; Sörlin, S.; Snyder, P. K.; Costanza, R.; Svedin, U.; Falkenmark, M.; Karlberg, L.; Corell, R. W.; Fabry, V. J.; Hansen, J.; Walker, B.; Liverman, D.; Richardson, K.; Crutzen, P.; Foley, J. A. A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472–475, 2009. doi: 10.1038/461472a

Rosa, L.; Busato, M. A.; Camponogara, S. Repercussões na saúde das famílias que vivenciaram mudanças ambientais provocadas pela construção de usina hidrelétrica. *Ambiente & Sociedade*, 21, e02453, 2018. doi: 10.1590/1809-4422asoc0245r3vu1811td

Silva, E. L.; Gurgel, H.; Freitas, C. M. Saúde e desastres no Brasil: uma reflexão sobre os aspectos envolvidos em eventos hidrológicos e rompimento de barragens, 2019. Disponível em: < <https://journals.openedition.org/confins/23114>>. Acesso em: mai., 2020.

Silva Junior, C. A.; Coutinho, A. D.; Oliveira-Júnior, J. F.; Teodoro, P. E.; Lima, M.; Shakir, M.; Gois, G.; Johann, J. A. Analysis of the impact on vegetation caused by abrupt deforestation via orbital sensor in the environmental disaster of Mariana, Brazil. *Land Use Policy*, 76, 10–20, 2018. doi: 10.1016/j.landusepol.2018.04.019

Sterner, T.; Barbier, E. B.; Bateman, I.; van den Bijgaart, I.; Crépin, A.S.; Edenhofer, O.; Fischer, C.; Habla, W.; Hassler, J.; Johansson-Stenman, O.; Lange, A.; Polasky, S.; Rockström, J.; Smith, H. G.; Steffen, W.; Wagner, G.; Wilen, J. E.; Alpizar, F.; Azar, C.; Carless, D.; Chávez, C.; Coria, J.; Engström, G.; Jagers, S. C.; Köhlin, G.; Löfgren, A.; Pleijel, H.; Robinson, A. Policy design for the anthropocene. *Nature Sustainability*, 2(1), 14–21, 2019. doi: 10.1038/s41893-018-0194-x

Syifa, M.; Park, S. J.; Achmad, A. R.; Lee, C.-W.; Eom, J. Flood mapping using remote sensing imagery and artificial

intelligence techniques: a case study in Brumadinho, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 90(sp1), 197–204, 2019. doi: 10.2112/SI90-024.1

Sznelwar, L. I.; Zilbovicius, M.; Brunoro, C. M.; de Andrade, B. L. R.; Piqueira, J. R. C. Brumadinho: between prudence and probability, tragedy. *Revista Brasileira de Medicina do Trabalho*, 17(1), 4-12, 2019. doi: 10.5327/Z1679443520190414

Tarlov, A. R. Public policy frameworks for improving population health. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 896, 281-293, 1999. doi: 10.1111/j.1749-6632.1999.tb08123.x

Thompson, F.; de Oliveira, B. C.; Cordeiro, M. C.; Masi, B. P.; Rangel, T. P.; Paz, P.; Freitas, T.; Lopes, G.; Silva, B. S. S.; Cabral, A.; Soares, M.; Lacerda, D.; Santos Vergilio C.; Lopes-Ferreira, M.; Lima, C.; Thompson, C.; Rezen-de, C. E. Severe impacts of the Brumadinho dam failure (Minas Gerais, Brazil) on the water quality of the Paraopeba River. *Science of the Total Environment*, 705, 135914, 2020. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135914

Valenti, V. E.; Garner, D. M. Cardiovascular risks in subjects exposed to the Brumadinho dam collapse, Minas Gerais, Brazil. *Clinics*, 74, e1301, 2019. doi: 10.6061/clinics/2019/e1301

Vergilio, C. dos S.; Lacerda, D.; Oliveira, B. C. V. de; Sartori, E.; Campos, G. M.; Pereira, A. L. de S.; Aguiar, D. B. de; Souza, T. S.; Almeida, M. G. de; Thompson, F.; Rezen-de, C. E. Metal concentrations and biological effects from one of the largest mining disasters in the world (Brumadinho, Minas Gerais, Brazil). *Scientific Reports*, 10(1), 1–12, 2020. doi: 10.1038/s41598-020-62700-w

Weber, A. A.; Sales, C. F.; Souza Faria, F.; Melo, R. M. C.; Bazzoli, N.; Rizzo, E. Effects of metal contamination on liver in two fish species from a highly impacted neotropical river: a case study of the Fundão dam, Brazil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 190, 110165, 2020. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.110165

Zonta, M.; Trocate, C. (Org.). *Antes fosse mais leve a carga: reflexões sobre o desastre da Samarco/Vale/BHP Billiton*. Marabá: iGuana, 2016.