

A importância das pesquisas relacionadas aos desastres: colapso da barragem de Fundão Mariana-MG

For the importance of fishing related to disasters: collapse of the dam of Fundão Mariana-MG

La importancia de la investigación relacionada con los desastres: colapso de la represa Fundão Mariana-MG

Recebido: 28/06/2023 | Revisado: 09/07/2023 | Aceitado: 12/07/2023 | Publicado: 16/07/2023

Otniel Alencar Bandeira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7370-9860>

Universidade de São Paulo, Brasil

E-mail: otnielalencar@gmail.com

Palmeri Alencar Bandeira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1093-5796>

Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Brasil

E-mail: palmerialencar@gmail.com

Resumo

A principal fonte de poluição ambiental são as atividades humanas que atingem o meio ambiente, esses poluentes se acumulam, alterando não só a característica do ar, da água e do solo, mas também causando danos à saúde humana e causando toxicidade aos organismos aquáticos. Dentre as atividades que causam poluição ambiental, destaca-se a mineração, que altera a qualidade do ecossistema e produz abundante quantidade de rejeitos que geralmente ficam na barragem. Quando essas barragens rompem, geram grandes problemas. Em novembro do dia 05 de 2015, na região de Mariana, em Minas Gerais, a mineradora brasileira sofreu seu pior acidente. A barragem da Samarco Mineradora rompeu e vazou cerca de 43 milhões de metros cúbicos de resíduos de mineração (argila e areia) ricos em ferro, alumínio, manganês e outros metais. A destruição da Barragem do Fundão causou desastre social, ambiental, cultural e econômico incomensuráveis em Mariana, no distrito de Bento Rodrigues e em outros 41 municípios, deixando um encaço de destruição ao longo do Rio Doce até chegar ao oceano. Várias pessoas encontrar-se desabrigadas, sem contar as que perderam a vida na tragédia, 19 pessoas. Os impactos dos ecossistêmicos causados são inestimáveis e inconvertíveis. Tendo em vista as perguntas da população afetada, objetivo desta pesquisa extrair as lições do desastre para mostra a importância continuação dos estudos acadêmicos para contribuição e melhoria da sociedade afetada pelo desastre. Esta pesquisa trata de uma revisão de bibliografia. A revisão bibliográfica sistemática é um método científico para busca a análise de artigos de uma determinada área da ciência.

Palavras-chave: Acidente; Barragem; Mariana-MG; Samarco mineração.

Abstract

The main source of environmental pollution is human activities that affect the environment, these pollutants accumulate, changing not only the characteristics of air, water and soil, but also causing damage to human health and causing toxicity to aquatic organisms. Among the activities that cause environmental pollution, mining stands out, which alters the quality of the ecosystem and produces an abundant amount of waste that usually remains in the dam. When these dams break, they create big problems. On November 5, 2015, in the region of Mariana, in Minas Gerais, the Brazilian mining company suffered its worst accident. The Samarco Mineradora dam broke and leaked about 43 million cubic meters of mining waste (clay and sand) rich in iron, aluminum, manganese and other metals. The destruction of the Fundão Dam caused an immeasurable social, environmental, cultural and economic disaster in Mariana, in the district of Bento Rodrigues and in 41 other municipalities, leaving a trail of destruction along the Rio Doce until it reached the ocean. Several people find themselves homeless, not counting those who lost their lives in the tragedy, 19 people. The ecosystemic impacts caused are invaluable and inconvertible. In view of the questions of the affected population, the objective of this research is to extract the lessons of the disaster to show the continued importance of academic studies for the contribution and improvement of the society affected by the disaster. This research deals with a bibliography review. The systematic bibliographic review is a scientific method to search for the analysis of articles in a certain area of science.

Keywords: Accident; Dam; Mariana-MG; Samarco mining.

Resumen

La principal fuente de contaminación ambiental son las actividades humanas que afectan el medio ambiente, estos contaminantes se acumulan, modificando no solo las características del aire, el agua y el suelo, sino también provocando daños a la salud humana y provocando toxicidad a los organismos acuáticos. Entre las actividades que

generan contaminación ambiental se destaca la minería, que altera la calidad del ecosistema y produce una abundante cantidad de desechos que suelen quedar en la represa. Cuando estas represas se rompen, crean grandes problemas. El 5 de noviembre de 2015, en la región de Mariana, en Minas Gerais, la minera brasileña sufrió su peor accidente. La presa Samarco Mineradora se rompió y filtró unos 43 millones de metros cúbicos de residuos mineros (arcillas y arenas) ricos en hierro, aluminio, manganeso y otros metales. La destrucción de la Represa de Fundão provocó un desastre social, ambiental, cultural y económico inconmensurable en Mariana, en el distrito de Bento Rodrigues y en otros 41 municipios, dejando un camino de destrucción a lo largo del Río Doce hasta llegar al océano. Varias personas se encuentran sin hogar, sin contar los que perdieron la vida en la tragedia, 19 personas. Los impactos ecosistémicos causados son invaluable e inconvertibles. Ante los cuestionamientos de la población afectada, el objetivo de esta investigación es extraer las lecciones del desastre para mostrar la importancia continua de los estudios académicos para el aporte y mejoramiento de la sociedad afectada por el desastre. Esta investigación trata de una revisión bibliográfica. La revisión bibliográfica sistemática es un método científico para buscar el análisis de artículos en un área determinada de la ciencia.

Palabras clave: Accidente; Presa; Mariana-MG; Minería Samarco.

1. Introdução

O Brasil historicamente, sempre esteve intimamente relacionado ao uso de recursos minerais. A mineração é um dos alicerces do desenvolvimento social, pois fornece matéria-prima para diversos processos industriais essenciais à vida hoje e contribuído muito para o desenvolvimento econômico do país (Wanderley et. al., 2016).

A mineração também é uma forma de liberação de metais tóxica para o meio ambiente, pois constitui para uma atividade que perturba o equilíbrio geoquímico natural. Ao atingir o meio ambiente, esses poluentes se acumulam e interferem nos processos biogeoquímicos do solo, levando ao declínio da produtividade agrícola, riscos à saúde humana, ecotoxicidade para comunidades aquáticas e poluição da água (Zhang et al., 2017; Tepanosyan et al., 2017). Outro risco que as mineradoras têm é barragem onde são depositados os rejeitos (produto sem valor econômico) e as barragens se não tiver uma manutenção adequada constantemente pode vir a romper causando um grande problema.

Isto foi o que ocorreu em 2015, a barragem de Fundão rompeu e transbordou com milhões de toneladas de rejeitos (argila e areia), destruindo vários subdistritos de Mariana, e atingindo o principal rio da Bacia do Rio Doce (Rio Gualaxo do Norte, Rio Carmo e Rio Doce), a proteção de áreas destruídas e a destruição de lavouras, resultando na morte da biodiversidade aquática e animais terrestres, assoreamento de córregos e rios, pesca, turismo, abastecimento de água e interrupções na geração de energia, e outros impactos sociais, econômicos e ambientais negativos (Instituto Brasileiro Meio Ambiente e Recursos Naturais – IBAMA, 2015). A defesa civil classificou a gravidade do desastre como o “desastre de grande porte” de nível quarto. Um total de 663,2 quilômetros de corpos da água foi afetado diretamente, 41 cidades e dois estados brasileiros foram afetados (Minas Gerais e Espírito Santo), e 1,3 milhão de pessoas foram afetadas direta e/ou indiretamente (Ibama, 2015).

Desde o acidente, as comunidades afetadas estão em um estado de fragilidade social e tem muitas preocupações sobre se existe ou não toxicidade da lama para aos seres humanos e quais são os problemas de saúde causados pela exibição diária aos rejeitos (Milanez & Losekann, 2016).

Tendo em vista as perguntas da população afetada, objetivo desta pesquisa extrair as lições do desastre para mostra a importância continuação dos estudos acadêmicos para contribuição e melhoria da sociedade afetada pelo desastre.

2. Metodologia

Esta pesquisa trata de uma revisão de bibliografia. A revisão bibliográfica sistemática é um método científico para busca a análise de artigos de uma determinada área da ciência (Gil, 2007). O processo de realização da pesquisa foi dividido em três etapas: 1) levantamento bibliográfico; 2) levantamento de dados secundários; 3) tabulação, organização e interpretação dos dados. O levantamento bibliográfico foi realizado em livros que tratam sobre desastre de mineração e Usina de Mariana-

MG, legislações e documentos oficiais sobre a temática estudada, além de artigos pesquisados em bases científicas como: Science Direct, Scopus, banco de teses e dissertações da Universidade Federal.

Com o rompimento da barragem de Mariana, milhões de toneladas de rejeito transbordaram cobrindo vastas áreas de solo natural (Figura 1) (Negri et al., 2016).

Figura 1 – Imagem de satélite antes e após o rompimento da barragem.



Fonte: Negri et al. (2016).

Após o rompimento da barragem de Fundão da mineradora Samarco, o rejeito do minério composto por hematita escura (cinza metálico), com alto valor de pH, Mg e Ca e muito pobre em matéria orgânica, carbono orgânico total e nitrogênio, mudaram as características naturais do solo, sendo o aumento do pH uma das alterações que mais impactaram de forma negativa os ecossistemas terrestres, nos primeiros momentos do desastre. Sabe-se que solos alcalinos podem levar à falta de micronutrientes nas plantas (Epstein & Bloom, 2006; Alves et al., 2020).

Esse tipo de resíduo depositado no meio ambiente passou a funcionar como substrato para o crescimento de novas plantas na região impactada pelo rompimento da barragem, com consequentes alterações no ecossistema. Desta forma essa pesquisa mostra a importância da continuação dos estudos para contribuição e melhoria da sociedade afetada pelo desastre de rompimento de barragem.

3. Resultados e Discussão

3.1 Minérios de ferro

O conceito de minérios de ferro é utilizado para ampla multiplicidade de matérias, como formação de ferríferas em geral. Como uma maneira economicamente viável, os minérios de ferro é uma rocha da qual o ferro metálico pode ser obtido, sendo ou poderão vir a ser perscrutada comercialmente (Quadro 1) (Van et al., 2011).

Quadro 1 - Os principais minerais transportadores e seus respectivos conteúdos de ferro.

Mineral	Elemento do minério de ferro	Conteúdo teórico de ferro
Magnessioferrita	Óxido de magnésio	56-65
Magnetita	Sulfato férrico	72,4
Hematita	Óxido férrico	69,9
Goethita	Óxido férrico de água	62,9
Ilmenita	Óxido férrico	36,8
Siderita	Carbonato	48,2
Pirita	Dissulfeto	46,5
Pirrotita	Enxofre	61,0

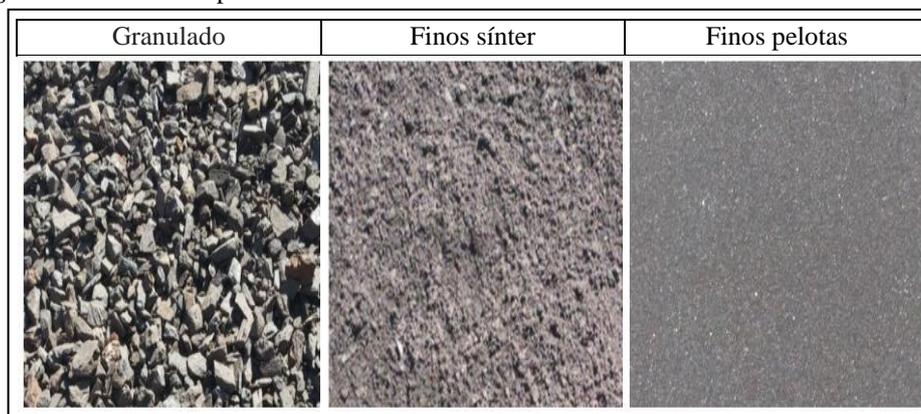
Fonte: Carvalho et al., (2013), adaptado pelos autores.

O ferro é substância abundante na camada terrestre, encontra-se principalmente sob a forma óxidos de ferro, como hematita, a magnetita, a maghemita, na forma de hidróxidos de ferro, a goethita, akaganeíta, lepidocrocita, ferroxihita, ferrihidrita e ainda a limonita que representa óxidos hidratados de ferro, tem característica cristalinidade mais baixo (Morris, 1985).

O depósito geológico de minério de ferro é agrupado em: 1) Leito sedimentar; 2) Solução hidrotérmica; 3) Atividade vulcânica; 4) Processo de metamórfico ou deformação; e 5) acúmulo na superfície terrestre (Carvalho et al., 2013).

A siderúrgica é um importante setor que é responsável maiores consumidores de minério de ferro totalizando 99%. (Figura 2).

Figura 2 - Mostra os tipos de minério de ferro classificados de acordo com os seus diâmetros.



Fonte: CSN Mineração S.A. (2020).

Na visão da metalurgia, a substância de ferro é dividida três categorias, de acordo com o processo de granulometria: granulado de granulometria entre 50 mm e 6.3 mm, finos para sinter entre 6.3 mm e 0,150 mm e finos para pelotas, inferior a 0,150 mm.

Os estados do Brasil retentores das reservas de minério de ferro, primeiramente Minas Gerais 66%, depois Mato Grosso do Sul e Pará 9%, totalizando os três estados 99% das reservas encontradas no território brasileiro (Brasil, 2009). Em Minas Gerais vejamos quais os municípios que encontramos as reservas de minério de ferro: Barão de Cocais, Itabira, Itabirito, Mariana, Nova Lima, Ouro Preto e Santa Bárbara. E no Mato Grosso do Sul e Pará são os municípios de Corumbá e Parauapebas (Alves 2020).

3.2 Beneficiamento do minério de ferro

A maior parte dos minérios, rochas ou minerais encontrados na crosta terrestre demanda, para o seu uso, algum processo de beneficiamento a fim de melhorar as suas propriedades físicas e/ou características químicas. O tratamento ou beneficiamento de minérios significa a separação física ou físico-química dos minerais que apresentam valor comercial daqueles que não são valiosos (ganga) para que seja obtida uma quantidade enriquecida, chamada de concentrado, que possui a maior parte dos minerais valiosos ou apenas a sua modificação granulométrica ou forma (Mesquita, et al., 2001).

No conceito mais clássico, beneficiamento de minério é definido aplicado como uma série de procedimentos em minério ou rochas minerais, com o objetivo de obter produtos com valor de mercado, porém sem alterar propriedades físicas e / ou químicas dos minerais (Vasan, et al., 2001).

Outro conceito mais abrangente para o beneficiamento de minérios é aquele no qual podem ocorrer alterações químicas geradas pela presença do calor (sinterização, pelletização e ustulação) ou por processos de ativação mecanoquímica. Esta estuda o comportamento químico dos materiais quando submetidos às formas de energia mecânica e química, como nos processos de cominuição com o uso de reativos, neste caso, os minerais são submetidos a esforços mecânicos e sofrem modificações estruturais, que potencializam a formação de novos compostos (Wanderley et. al., 2016).

Os minerais são todos objetos naturais, inorgânicos e homogêneos com uma composição química e certas propriedades físicas, que existem na crosta terreal ou outros corpos sidéreos. Rocha é uma coleção de minerais, se houver um ou mais minerais de importância econômica importante é denominado minério. Os minerais que não apresentam importância econômica são conhecidos como ganga. A concentração de minério – separação seletiva – explora as diferenças de propriedades entre o mineral-minério e os minerais de ganga. Essas propriedades são: peso específico, susceptibilidade magnética, condutividade elétrica, química de superfície, cor, radioatividade, forma, granulometria etc (Porto et al., 2016).

O ferro, o elemento químico presente na maioria dos minérios formados naturalmente, tem sido usado desde o período neolítico como matéria-prima para o mercado de ferro e, com o tempo, tornou-se a espinha dorsal da indústria industrial da humanidade desenvolvimento (Chemale & Takehara, 2013).

O minério de ferro brasileiro ocorre na natureza como óxidos, carbonatos, sulfuretos e silicatos, sendo os óxidos de ferro os mais importantes entre eles, principalmente magnetita (Fe_3O_4) com 72,4% de ferro, hematita (Fe_2O_3) com 69,9% de ferro, goethita ($FeO_3.H_2O$) com 62,9% de ferro, siderita ou carbonato de ferro ($FeCO_3$) com 48,2% de ferro, pirita (Fe_2S) com 46,5% de ferro. As reservas brasileiras são de alta qualidade e conhecidas mundialmente. Em relação ao ferro contido, o Brasil ocupa uma posição de destaque, considerando o alto teor de hematita (60-68% Fe) e itabaritos (50-60% Fe) (Mesquita, 2001).

Naturalmente, os óxidos de ferro geralmente ocorrem com titânio, fósforo, enxofre e constituintes minerais alcalino-terrosos e, principalmente, limitados por minérios siliciosos. Portanto, o método de flotação empregado depende de recuperar minerais de ferro na espuma (flotação direta) ou, alternativamente, recuperar a ganga siliciosa (flotação reversa) (Li, et al., 2011; Caregnato & Mutti, 2018).

Teoricamente, os óxidos de ferro devem ser fáceis de separar do quartzo em flutuação direta. No entanto, a presença de cátions hidrolisáveis na polpa de flotação reduz significativamente a seletividade da via de flotação direta. Os cátions hidrolisáveis na polpa de flotação de minério de ferro são normalmente cálcio, magnésio e ferro. Segundo Krishnan e Iwasaki (1984), esses cátions são liberados na polpa de flotação a partir de partículas minerais ou ocorrem a partir de água dura.

Os trajetos de flotação de minério de ferro são capazes ser divididas em cinco categorias:

- 1) flotação catiônica de óxido de ferro;
- 2) flotação catiônica de quartzo;
- 3) flotação aniônica de óxido de ferro;
- 4) flotação aniônica de quartzo e

5) suas combinações.

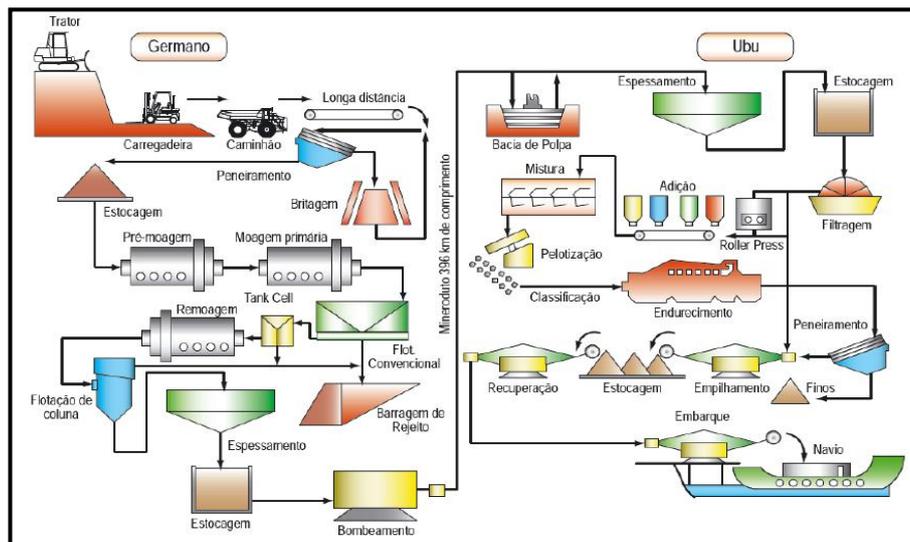
Apesar da variedade de rotas de flotação desenvolvidas para minérios de ferro, atualmente, a rota de flotação catiônica reversa desenvolvida pela filial USBM em Minnesota é de longe a rota de flotação mais amplamente usada na indústria de minério de ferro. As duas rotas de flotação aniônica desenvolvidas por Hanna Mining e Cyanamid, ou seja, rotas de flotação aniônica direta e flotação aniônica reversa, também estão sendo usadas na indústria de minério de ferro (Li, et al., 2011).

Toda flotação de minério de ferro no Brasil emprega flotação reversa, ou seja, a espuma contém a ganga, composta principalmente de quartzo. A primeira empresa brasileira que operou uma planta de flotação para tratar o minério itabárítico foi a Samarco em 1977.

Segundo Ionkov et. al. (2013), a crescente demanda de minerais, bem como a diminuição da disponibilidade de minério de alto teor, tornaram necessário o desenvolvimento de tecnologia para explorar minérios de menor grau. A especificação rigorosa de concentrados, a legislação ambiental rígida e a necessidade de obter custos operacionais mais baixos, levaram a numerosas investigações destinadas a encontrar melhores técnicas de processamento e reagentes de flotação mais eficazes.

Na Figura 3 a seguir apresenta o fluxo de processamento de minério nas unidades Germano e Ubu da Samarco.

Figura 3 – Fluxo de trabalho das unidades Germano e Ubu da Samarco.



Fonte: Reis et al. (2006).

É nesse contexto que surgiu uma área de pesquisa interessante: uma rota biotecnológica para o processamento de minerais se tornou atrativa devido à sua seletividade (os microrganismos exibem interações específicas com os minerais) e ao efeito ambiental inofensivo. Essa rota biotecnológica recebeu o nome de "Bioflotação", sendo descrita como o processamento mineral no qual os microrganismos atuam como reagentes de flotação sejam coletores ou modificadores, permitindo a separação seletiva de minerais (Ionkov et al., 2013).

3.3 Barragem de rejeitos

Os rejeitos são misturas de rochas trituradas e fluidos de processamento de moinhos, lavagens ou concentradores que permanecem após a extração de metais econômicos, minerais, combustíveis minerais ou carvão da fonte de mineração (Lottermoser, 2007).

A palavra 'rejeitos' é genérica, pois descreve o subproduto de várias indústrias extrativas, incluindo as de alumínio, carvão, areias betuminosas, urânio e metais preciosos e básicos. A proporção de rejeitos por concentrado é geralmente muito alta, geralmente por volta de 200: 1 (Lottermoser, 2007).

Há evidências históricas de que períodos de aumento dos preços do metal se correlacionam com uma alta taxa de falha da barragem de rejeitos ocorrendo entre 24 e 36 meses após o aumento dos picos (Davies & Martin, 2009).

Essa correlação resulta de uma atividade frenética em expansão, onde as restrições de segurança e legislativas talvez não estejam na vanguarda da mente dos operadores. As melhorias de longo prazo na eficiência do processamento tornam o trabalho de minérios de baixo teor mais econômico, aumentando ainda mais a carga global de rejeitos (Mehrabani et al., 2010).

A tarefa de armazenar rejeitos de minas com segurança e eficiência é substancial e, crucialmente, quase certa de estar em uma escala significativamente maior no futuro. As partículas dos rejeitos geralmente são angulares a muito angulares, e essa morfologia impõe um alto ângulo de atrito nos rejeitos secos (Bjelkevik, 2005).

O tamanho dos grãos de rejeitos é altamente variável e difícil de generalizar, pois é delineado por requisitos específicos do processo. Apesar disso, Sarsby (2000) definiu os tamanhos de partículas de rejeitos de rochas como livres de cascalho (<2 mm) e argilosos (<3,9 μ m), sendo a areia (625 μ m a 2 mm) mais comum que o lodo (3,9-625 μ m). A densidade varia de acordo com o tipo de rocha correspondente. Uma faixa generalizada para a densidade aparente de rejeitos é de 1,8 a 1,9 t m³ com uma gravidade específica de 2,6 a 2,8 (Sarsby, 2000; Bjelkevik, 2005).

Dentro das estacas de rejeitos, há um aumento na densidade aparente com profundidade como resultado da compactação, desidratação e diagênese. Sarsby (2000), por exemplo, fornece um gradiente de 0,09 a 0,17 t m³ a 30 m de profundidade. O processo de espuma utiliza os oculantes para tornar os cátions metálicos direcionados hidrofóbicos, para que possam ser separados do material a granel. Esse processo tem um requisito para partículas finas do tamanho de lodo (Younger & Wolkersdorfer, 2004). O método de espuma tem um requisito ideal de tamanho de grão de 300 a 50 μ m (Smolders et al., 2003).

O método de sedimentação gravitacional, que se baseia na diferença de densidade entre as frações de silicato mais pesado e mais leve, utiliza um tamanho de grão significativamente maior, de cerca de 1 mm. Assim, os grãos de rejeitos do método de espuma têm um raio comparativamente menor. Portanto, de acordo com a Lei de Stokes, eles têm uma velocidade de assentamento relativamente baixa (Atkins, 1995; Milanez & Losekann, 2016).

Em um ambiente fluvial, esses grãos de tamanho comparativamente menor serão transportados para jusante, ameaçando potencialmente uma área maior de planície de inundação ou, talvez, alternativamente, permitindo maior diluição de sedimentos / água. Além disso, em função de seu tamanho pequeno, esses grãos têm uma área superficial relativamente grande em relação ao volume. Isso os torna cineticamente propensos à oxidação e à provável liberação subsequente de elementos contaminantes absorvidos ou incorporados estruturalmente (por exemplo, oxidação de sulfetos e liberação de Cu e Mn (Kossoff et al., 2012; Pnud, 2018).

As abordagens para o manuseio e armazenamento de rejeitos incluem descarte de rios, descarte de submarinos, retenção de áreas úmidas, preenchimento de galhos, empilhamento a seco e armazenamento atrás de áreas represadas (Lottermoser, 2007).

O principal método atualmente empregado (especialmente por grandes empresas no mundo desenvolvido) é o último, com as estruturas produzidas frequentemente denominadas 'lagoas de rejeitos' ou 'barragens de rejeitos'. Os rejeitos são normalmente armazenados debaixo d'água para evitar a formação de poeiras na superfície, especialmente quando grandes quantidades de pirita e pirrotita geradora de ácido estão presentes. A manutenção de um nível adequado de água pode ser problemática, principalmente em áreas áridas e semiáridas. Nessas áreas, o estabelecimento de uma zona de vazão dentro do represamento pode facilitar a entrada de metais contaminantes (líquidos) nas águas subterrâneas locais (Smuda et al., 2014).

Existem pelo menos 3500 barragens de rejeitos em todo o mundo Martin e Davies, (2000) e essas áreas variam de alguns ha a alguns milhares de ha (Lottermoser, 2007). Por exemplo, a Área Central de Descarte de Rejeitos da Inco Ltd. (Sudbury, Ontário, Canadá) cobre uma área de 25 km² com uma profundidade de 50 m de rejeitos e tem uma capacidade prevista máxima de mais de 725 mt (Puro et al., 1995).

Barragens de rejeitos são comumente construídas a partir de materiais locais prontamente disponíveis, em vez de concreto usado, por exemplo, em barragens de retenção de água. Embora o dique inicial seja comumente feito de solo localmente derivado (Álvarez-Valero et al., 2009), as rochas residuais e o rejeito são frequentemente utilizados na construção (Younger & Wolkersdorfer, 2004).

Em vez de instalar inicialmente uma estrutura com capacidade total finalizada, aterros intermediários de retenção são normalmente construídos e aumentados à medida que a demanda de armazenamento aumenta (Lottermoser, 2007). Após a estrutura inicial ter sido estruturada, os aterros podem ser levantados a montante, vertical (linha central) ou a jusante (Martin & Mcroberts, 1999).

A elevação a montante é obtida pela colocação do novo material dentro do represamento existente, a elevação da linha central é realizada colocando o novo material diretamente em cima do aterro existente, enquanto a elevação a jusante descreve a elevação do aterro colocando o novo material fora do aterro. Desses três métodos de construção, a elevação à jusante é a mais barata, pois é necessária uma quantidade menor de material de construção (Soares et al., 2000; Camara et al., 2016).

Os rejeitos são normalmente bombeados da usina para o represamento como lama. No local do represamento, os métodos comuns de dispersão incluem ciclonação ou dispersão por meio de torneira para alcançar a diferenciação do material. A dispersão diferenciada por tamanho não apenas ajuda a preservar a integridade da barragem, colocando o material mais poroso na própria estrutura, mas também resulta na fração mais fina formando uma barreira impermeável, que por sua vez reduz à tubulação ou a infiltração a estrutura da barragem. Essa prática, no entanto, pode levar à possibilidade de formação de lençol freático sub-horizontal, com a área mais próxima ao ponto de descarga sendo mais exposta ao O₂ atmosférico e, possivelmente, alternando ciclismo molhado e seco. Por conseguinte, é uma boa prática alinhar vários pontos de descarga de rejeitos ao redor do represamento e usá-los sequencialmente (Dixon-Hardy & Engels, 2007; Bortolon, 2018).

A passagem através de uma barragem de rejeitos é um processo erosivo que resulta em um canal ou tubo líquido de patente prejudicial sendo estabelecido através da estrutura.

Portanto, a tubulação pode ser descrita como um processo de infiltração em larga escala. Uma causa comum de tubulação é a deposição de camadas finas de rejeitos finos entre as camadas mais grossas de rejeitos grossos à medida que a barragem é elevada. Esta é uma função da elevação a montante inadequadamente monitorada e / ou da dispersão do tamanho de partículas com restrição inadequada (Van Niekerk & Viljoen, 2005; Aplysia, 2017).

Nesse sentido, a taxa de elevação da estrutura da barragem é normalmente restrita para garantir que cada nova camada seja bem compactada. Também é uma boa prática garantir que a fundação seja bem drenada, servindo para manter uma superfície freática baixa. Para esse fim, é adequado permitir uma boa drenagem da barragem, fornecendo uma ampla 'praia' de rejeitos (definida como o ponto de eliminação de rejeitos subaéreos), que diferencia o material de rejeitos por tamanho, garantindo que as de tamanho maior (partículas mais permeáveis) formem a estrutura da barragem, enquanto partículas mais finas (menos permeáveis) do tamanho de argila são mais dispersas distalmente (Smuda et al., 2014; Ambilev, 2015).

As causas de falha nas barragens ativas são mais diversas do que as das represas inativas, mas algumas conclusões gerais podem ser tiradas. Rico et al. (2008) categorizaram as falhas em onze grupos amplos: fundação, instabilidade da encosta, cobertura, subsidência de minas, chuva incomum, derretimento de neve, tubulação ou infiltração, liquefação sísmica, estrutura, manutenção e causas desconhecidas.

3.4 Samarco mineradora

A Samarco foi fundada em 1973 como uma empresa de capital fechado. A partir de 2000, sua propriedade é mantida igualmente entre o Vale S.A (50%) e a BHP Billiton Brasil Ltda (50%), sendo este último subsidiário brasileiro da equipe anglo-australiano BHP Billiton (Renova, 2018).

A Samarco contribuiu para o crescimento econômico de Mariana em mais de três décadas de atividades empresariais. Em 2010, o PIB per capita de Mariana era mais de R\$ 114.000,00, mais elevado e compatível que o nacional de cerca de 26.400. Mariana-MG ficou em 31º no PIB per capita nacional e no 5º estado (Ibge, 2013).

De 2010 a 2013, o PIB de Mariana cresceu quase 80%, de 3,7 bilhões para 6,59 bilhões por ano, e o setor industrial (formado principalmente por mineração) foi responsável por 70% da valorização do PIB da cidade. Neste período, a Samarco aumentou sua habilidade de produção em 37% devido à queda na lucratividade nos valores do minério de ferro no comércio internacional.

A assistência da Samarco no local também contribuiu para o apoio financeiro à cidade de Mariana. De 2011 a 2015, as formas captadas com royalties de garimpo referidas no Brasil como “Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais” (CFEM), e taxa de funcionamento "sobre o Valor Acrescentado Relacionadas à Circulação de Produtos e Interestadual e Serviços Intermunicipal de Entrega e Transporte de Transporte” (ICMS), responsáveis por mais de 70% da receita da cidade. Em 2015, Mariana foi a cidade mineradora que coletou os valores mais altos no CFEM e, no ano-base de cobrança de impostos (2014), o lucro líquido da Samarco total R\$ 2,81 bilhões (Porto et al., 2016; Livsmedelsverket, 2017).

As altas taxas de cobrança de impostos de Mariana permitiram uma taxa de emprego governamental (6,29% dos habitantes) superior à média do estado de Minas Gerais (3,36%) e à média brasileira (3,20%). As informações econômicas indicam, no entanto, que o cidadão de Mariana não se beneficia da presença da Samarco tanto quanto a administração da cidade. A contribuição da indústria de minério para o número de trabalhos ativos em Mariana não é significativa. O setor de mineração de minério de ferro representava 12% dos ocupação ativos em Mariana (Porto et al, 2016; Acqua, 2016).

No período de 30 anos que a Samarco atua na região, aprendeu a se ajustar às diferentes fases e etapas do mercado estrangeiro de minério. No atual boom de commodities, de 2003 a 2013, houve um aumento de seis vezes nas importações mundial de minério, causando da mesma forma um aumento acentuado no valor da tonelada de minério de ferro, que variou de 32 a 196 dólares, de 2000 a 2011. Nesse ciclo, o Brasil ficou em segundo lugar nas exportações mundiais de minério de ferro e a mineração representou 5% do PIB brasileiro, enquanto o minério de ferro representou 92,6% de todas as exportações de minério em todo o país (Wanderley et. al., 2016, p. 30).

Por sua vez, a Samarco teve papel de destaque nesse processo, tornando-se a segunda maior exportadora transoceânica de minério de ferro do mundo e a décima maior exportadora de minério de ferro do país (Reis et al., 2006 , p. 157).

A Samarco da mesma forma aprendeu a se adequar ao boom pós-commodity, caracterizado por uma queda no crescimento, seguida por uma queda nos preços do minério de ferro. Essa baixa é atribuída pelo excesso de oferta em um cenário de crise pós-2008, se intensificou em 2014 devido à expansão do produto de minério de ferro de baixo custo. Nesse cenário, os países que conseguiram oferta o produto minério de ferro a baixo custo e igual a Austrália e Brasil, obtiveram benefício competitiva (World Bank, 2014, p. 8; Renova, 2017).

3.5 Desastre envolvendo barragens como depósito dos rejeitos de minério

A ruptura de barragens é um gênero de desastre que acontece com regularidade em todo o mundo. Esses desastres são geralmente ocasionados por alguns fatores: fortes fenômenos naturais fazem a estrutura de a barragem tremor ou a estrutura da estrutura é mal planejada, independentemente de fatores externos, colapso (Vormittag et al., 2018) (Quadro 2).

Quadro 2 – Os principais desastres envolvendo barragens de mineração em todo o mundo.

LOCAL	ANO	NOME	DANOS CAUSADOS
Aberfan (País de Gales)	1966	Taff	Matou 144 pessoas, sendo que 116 eram crianças.
Sgorigrad (Bulgária)	1966	Mouawad	Matou 488 pessoas.
El Cobre (Chile)	1968	Chuquicamata ou Chuqui	Matou 350 pessoas, pois o rompimento devido forte terremoto.
Buffalo (EUA)	1972	Buffalo Creek	Matou 125 pessoas, rompimento barragem durante fortes chuvas.
Stava (Itália)	1985	Barragem de mina de Fluorita	Matou 268 pessoas.
Nova Virgínea (África do sul)	1994	Harmony	Matou 17 pessoas.
Marinduque (Finlândia)	1996	Mogpog	O rio Boca foi contaminado e considerado morto. Centenas de pessoas foram encontradas desabrigadas. Não houve mortes diretas, mas logo depois, pessoas desenvolveram doenças relacionadas aos resíduos tóxicos, entre as quais muitos morreram.
Andaluzia (Espanha)	1998	Barragem da Boliden	Poluição do rio Gladiaram e danificações ambientais de longo prazo.
Shaanxi (China)	2006	Shangluo	Matou 17 pessoas.
Taoshi (China)	2008	Xiangfen County	Matou 254 pessoas aproximadamente, acontecimento ocorreu devido baldeação da barragem durante fortes chuvas.
Guangdong (China)	2010	Zijin MIning	Matou 22 pessoas.
Kolontar (Hungria)	2010	Ajka Alumina Plant	Matou 10 pessoas.
Colúmbia Britânica (Canadá)	2014	Mount Polley	O derramamento de 24 milhões de metros cúbicos de lodo contaminado com metal causou o maior desastre ambiental na história da mineração canadense. A terra, o sistema de água e o habitat de reprodução de salmão foram destruídos.
Hpakant (Myanmar)	2015	Mina de Jade	Matou 113 pessoas.

Fonte: Icold, (2001); Nascimento, (2018); adaptado pelos autores.

Na análise de desastres em países estrangeiros, confirma-se a importância de se estabelecer um sistema de alerta precoce para as pessoas que vivem nas proximidades da barragem, sendo que, em caso de sinistro, deve-se realizar uma evacuação ágil para preservar os bens mais valiosos como a vida (D'agostino, 2015).

Os fatores que tornam esses incidentes vulneráveis incluem negligência da legislação, corrupção de funcionários públicos, instabilidade do solo e outros fatores naturais, falta de planejamento e tecnologia de construção adequada (Melphi et al. 2016).

O seguimento de barragens que estão inadequadas para uso no Brasil é ultrajante, principalmente em Minas Gerais, que concentra o maior número de indústrias de beneficiamento de minérios do Brasil (Quadro 3).

Quadro 3 – Os principais desastres envolvendo barragens de rejeitos no estado de Minas Gerais, Brasil.

LOCAL	ANO	NOME	DANOS CAUSADOS
Itabirito	1986	Barragem de Fernandinho	7 óbitos
Nova Lima	2001	Barragem de Macacos	5 óbitos
Mirafá	2007	Barragem do Rio Pomba/Cataguas	Desabrigados ou deslocados mais de 4000 pessoas
Itabirito	2014	Barragem da Herculano	3 óbitos
Mariana	2015	Barragem de Fundão e Santarém	Interrupção do abastecimento de milhas de pessoas, 19 mortos 8 desaparecidos 600 desabrigados ou deslocados, poluição de rios e do mar, mais de 40 municípios atingidos com avalanche de rejeito.
Brumadinho	2019	Barragem da mina do córrego de feijão	É considerado um dos maiores acidentes industriais do Brasil, com cerca de 130 desaparecidos e mais de 180 mortos, deixando a comunidade desabrigada pela grande quantidade de rejeito lançado no meio ambiente, aproximadamente 12 milhões de m ³ .

Fonte: Icold, (2001); Vale, (2019); adaptado pelos autores.

No Quadro 3 mostra os principais acendestes ocorridos no Brasil nos últimos anos, temos disrupção da barragem do Rio Pomba/Cataguases (2007) enfocando os maiores sinistros ambientais e humanos da história do país, a ruptura das barragens de Fundão em Mariana-MG (2015) e rompimento mina do ribeiro de feijão em Brumadinho-MG em 2019 (Vormittag et al., 2018; Vale, 2019).

É importante notar que as barragens de rejeitos de mineração causam primeiro o risco de desastres devido à ruptura ou vazamento e, em segundo lugar, quando ocorrem desastres ambientais (Toffolo et al., 2014; Zonta, 2016).

3.6 Desastre de Mariana-MG

Em 5 de novembro de 2015, entrono das dezesseis horas, a barragem de rejeitos de mineral de ferro chamada de Fundão, de propriedade da Samarco Mineração SA (“Samarco”), situada na cidade de Mariana, entrou em colapso e causou a lavagem de cerca de 34 milhões m³ de resíduos (arenoso e argiloso) de garimpo no vale do Rio Doce. Desse volume liberado de resido, 16 milhões de metros cúbicos atingiu primeira a aldeia de Bento Rodrigues e depois decorreram 663,2 km pelo território de 41 cidades para chegar ao Oceano Atlântico (Alcântara, 2016) (Figura 4).

Figura 4 – Vista aérea do subdistrito de Bento Rodrigues após o rompimento da barragem do Fundão (a) e casa em Bento Rodrigues destruída pela frente de rejeitos (b), Mariana - MG.



Fonte: Ibama (2015 e 2016).

O desastre provocou a morte e desaparecimento de trabalhadores da empresa que estavam no local e de moradores das comunidades afetadas, principalmente do subdistrito de Bento Rodrigues. Esse subdistrito, que se localizava a jusante das três barragens de rejeitos do complexo minerador, foi esfacelado, ficando no local apenas um grande volume de rejeito depositado no solo e córregos que precisam ser removidos e/ou remediados. Centenas de pessoas ficaram desalojadas, Destruição de edifícios públicos e privados (edifícios, pontes, ruas), áreas agrícolas, plantações e pastagens.

O desastre provocou ainda a Destruir a área protegida permanente e vegetação indígena da Mata Atlântica, a biodiversidade aquática e a morte de animais terrestres, o assoreamento de riachos e rios, a poluição de cursos de água, a suspensão indefinida da pesca e a interrupção do turismo, receita econômica, interrupção do abastecimento de água em diversas cidades, interrupção da produção de energia elétrica pelas hidrelétricas de Candonga, Aimorés e Mascarenhas, entre outros impactos negativos de ordem social, econômica e ambiental (Ibama, 2015; Bowker Associates, 2015).

Barragens de retenção de Santarém e Fundão são construídos na área de Santa Rita Durão que fica no município de Mariana. Em 1698, a província de Bento Rodrigues foi fundada nessa região. Esse subdistrito era um importante ponto central de mineração na época e fazia parte do destino “Estrada Real” nos séculos XVII e XVIII. O nome da província reflete sua magnitude histórica: Bento de Godoy Rodrigues foi um proeminente bandeirante (colonos portugueses do século XVII no Brasil e caçadores de fortunas), um dos precursores a se mudar do estado de São Paulo com destino a Minas Gerais em busca de recursos naturais nessa localidade (Tetra, 2018).

Pelo seu significado histórico, Bento Rodrigues acumulou um extraordinário patrimônio cultural e arquitetônico: o bairro já foi sede de uma igreja centenária, que contém importantes obras sacras e monumentos culturalmente relacionados.

Em 1945, essas reformas foram reconhecidas como patrimônio cultural brasileiro pelo Instituto de História e Patrimônio Artístico (IPHAN), ampliando assim o atrativo turístico da região.

A aldeia tem cerca de 600 moradores e um total de 236 famílias. A atividade econômica de Bento Rodrigues é baseada no comércio varejista de produtos in natura, alimentos e bebidas. Há também uma pequena fábrica de geleia de pimenta e uma empresa especializada em consultoria de negócios (Task Force, 2016, páginas 34-35).

Quando a Samarco foi fundada em Santa Rita Durão, em 1977, Bento Rodrigues tinha 279 anos. As barragens de rejeitos de Fundão e Santarém foram construídas a 15 quilômetros da sub-região de Bento Rodrigues. Os habitantes de Bento Rodrigues não foram consultados antes da construção das barragens, e a empresa os havia informado sobre os potenciais riscos de rompimento da barragem, e não havia relatório sobre os procedimentos de segurança e planos de emergência que a Samarco adotaria em caso de desastre.

O desastre afetou toda a infraestrutura do distrito, por isso todos os moradores tiveram que ser retirados de seu território e temporariamente transferido para o centro da cidade de Mariana. O território onde Bento Rodrigues já foi localizado agora é chamado de “o velho Bento”, como um lembrete de que sua população nunca mais poderá morar lá (Sampaio, 2016; Samarco, 2018).

Momentos após o colapso da barragem de Fundão, vários relatos foram veiculados na imprensa local, nacional e estrangeiro. Essas notícias incluem aquelas que chamaram a atenção para a validade e conformidade das concessões ambientais concedidas para a operação da barragem de Fundão. Cada barragem tem a função de ser usadas para conter os resíduos gerados no processamento de minério de ferro e para armazenar águas residuais e água das áreas de drenagem (SMS, 2015).

Na época do desastre, o complexo de Germano contava com três dessas barragens: Germano, com capacidade de 116 milhões de metros cúbicos; Santarém, com 7 milhões de metros cúbicos; Fundão, com 55 milhões de metros cúbicos. No entanto, essas três barragens não foram construídas ao mesmo tempo (Task Force Group, 2016).

Ao contrário das barragens de rejeitos tradicionais, por exemplo, as barragens de rejeitos que controlam as chuvas, geram eletricidade ou armazenam água não são planejadas estaticamente. Não apenas a edificação de uma barragem consegue

ser aumentada ao longo do tempo por meio de elevadores ou elevações de paredes, mas o número de barragens em uma mina de minério de ferro pode ser aumentado à medida que as atividades de mineração se tornam mais intenso.

A barragem do Fundão foi instalada por última em meados de 2007, período que coincidiu que as commodities estavam em baixa. Dois fatos motivaram sua instalação: o início das operações de uma nova planta de concentração de minério de ferro e a paralisação prevista da barragem de Germano para 2009.

O programa da barragem sofreu várias alterações desde a data em que foi apresentado para autorização provisória em novembro de 2005 até a data em que as últimas autorizações foram obtidas antes do colapso em 2015 (Task Force Group, 2016).

Logo após o desastre, as operações das minas de minério de ferro foram encerradas por decisão do Departamento Nacional de Produção Mineral (Departamento Nacional de Produção Mineral - DPNM). Paralelamente, o Departamento de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD) embargou todas as atividades da Samarco em Mariana.

Em 2016 no dia 2 de maio, o governador do Estado de Minas Gerais editou decreto que suspende por prazo indeterminado a autorização das novas 24 barragens de rejeitos que adotam o método de levantamento a montante.

Em 2015 no mês de maio, poucos meses após o desastre, o Ministério Público do Estado de Minas Gerais ajuizou uma ação civil pelo cumprimento de direitos coletivos no 2º Tribunal do Tesouro, buscando cancelar todas as licenças ambientais concedidas ao ferro Germano-Alegria complexo de minério (Task Force Group, 2016).

4. Considerações Finais

Os desastres não só causam mortes, doenças tangíveis e danos pecúlio e econômicas, mas da mesma forma têm uma exuberância de efeitos na saúde, principalmente na saúde mental das pessoas devido às mudanças na vida diária e seus prejuízos. Os desastres pioram a vida das pessoas, desintegram famílias e comunidades, afetam as situações da vida da população e deterioram a atmosfera pessoal e social. Portanto, para compreender o impacto sobre o ser humano, é necessário monitorar a custo, médio e longo prazo.

Desta forma através da realização desta pesquisa, verificou-se a importância de continuar realizando estudos nas áreas atingidas pelos rejeitos, mesmo depois de cinco anos vemos que rompimento da Barragem de fundão causou e está causando problemas graves ao ecossistema e a saúde da população que ainda reside no local atingido.

É necessário a realização de estudos acadêmicos e métodos que visam a reduzir a toxicidade do rejeito no sentido de melhorar a fertilidade das áreas atingidas com destino do retomado das atividades agrícolas.

Referências

- Acqua. (2016). Consultoria e Recuperação de Ambientes Aquáticos Ltda. Avaliação de elementos químicos em peixes na área de influência do acidente com o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, Mariana, Mg. Trecho do Rio Doce – ES. Belo Horizonte, fevereiro, p 28.
- Alcântara, P.A.F. (2016). Ser “Atingido”. Notas sobre as tensões de classificação a partir do desastre da Samarco. In: Alcântara, P. A. F. & et. al. Depois da Lama: Mariana e as consequências de um desastre construído. Belo Horizonte: Letramento.
- Álvarez-Valero, A., Sáez, R., Pérez-López, R., Delgado, J., & Nieto, J. M., (2009). Evaluation of heavy metal bio-availability from Almagrera pyrite-rich tailings dam (Iberian Pyrite Belt, SW Spain) based on a sequential extraction procedure. *J. Geochem.Explor.* 102, 87–94.
- Alves, O. R. (2020) Fitorremediação e efeitos ecotoxicológicos dos rejeitos de mineração de ferro após rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG. 2020. 155 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Ambilev. Oceanografia e Hidrografia. (2015). Relatório Técnico: Monitoramento Hidrográfico na Plataforma Adjacente à Foz do Rio Doce, nas Proximidades de Regência, ES. RT AMB 075/15, revisão 00, p 70.
- Aplysia. (2017). Soluções Ambientais. Relatório Técnico: Análise de bioacumulação de metais em tecido de moluscos - nº 274/2017 – revisão 00, p 12.
- Atkins, P. (1995). *Physical Chemistry*. Oxford University Press, Oxford.

- Bjelkevick, A. (2005). Water Cover Closure Design for Tailings Dams: State of the Art Report.
- Bortolon, P., (2018). A Samarco e o Desastre de Mariana (MG): um Estudo em Representações Sociais a Partir da Perspectiva dos Ex-funcionários da Samarco, 2018. 145f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Jurídicas e Econômicas, Espírito Santo.
- Bowker Associates. (2015). Samarco Dam Failure Largest by Far in Recorded History. <https://lindsaynewlandbowker.wordpress.com/2015/12/12/samarco-dam-failure-largest-by-far-in-recorded-history/>.
- Brasil. (2009). Resolução nº 420, de 28 de dezembro. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), Brasília. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620> acesso em novembro de 2022.
- Camara V.M. & et al. (2016). The generation and buildup of contaminants. Threats to health in the short- and long- term. In: Environmental and Social Determinants of Health. Galvão, Finkelman, Henao (eds). Pan American Health Organization (Ed). Washington, DC: PAHO.
- Caregnato, R. C. A. & Mutti, R. (2006). Pesquisa qualitativa: análise de discurso versus análise de conteúdo. <http://www.scielo.br/pdf/tce/v15n4/v15n4a17>
- Carvalho, P. S. L., Silva, M. M., Rocio, M. A. R., & Moszkowicz, J. (2013). "Insumos Básicos". *BNDES Setorial* 39, p. 197-234.
- Chemale Junior, F., & Takehara, L. (2013). *Minério de Ferro – Geologia e Geometalurgia*. Ed. Blucher, ABM. 202p.
- Csn Companhia Siderúrgica Nacional (2020). http://www.csn.com.br/conteudo_pti.asp?idioma=0&tipo=61062&conta=45&prSv=1 acesso 04/06/2022.
- D'agostino L. F. (2015). Praias de barragens de rejeitos de mineração – Características e análise da sedimentação. Tese (doutorado engenharia de minas). Escola politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 374 p.
- Davies, M., & Martin, T. (2009). Mining Market cycles and tailing dams incidents. In: 13th International Conference on Tailings and Mine Waste, Banff, AB.
- Dixon-Hardy, D.W., & Engels, J.E. (2007). Methods for the disposal and storage of mine tailings. *Land Contam. Reclam.* 15, 301–317.
- Ibge. (2013). Produto Interno Bruto dos Municípios 2013. <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=314000&idtema=152&search=minas-gerais|mariana|produto-interno-bruto-dos-municipios-2013>. Acesso em 20 de julho de 2022.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (2015). Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Brasília, DF, 2015. <http://www.ibama.gov.br/publicadas/documentos-do-ibama-sobre-o-desastre-da-samarco-no-rio-doce>. Acesso em: 20 de jun de 2022.
- Ionkov K., Gaydardzhiev, S., Araujo, A. C., Bastin, D., & Lacoste, M. (2013). Amenability for processing of oolitic iron ore concentrate for phosphorus removal. *Minerals Engineering*, v.46–47, p.119-127.
- Kossoff, D., Hudson-Edwards, K.A., Dubbin, W.E., & Alfredsson, M. (2012). Major and trace metal mobility during weathering of mine tailings: implications for floodplain soils. *Appl. Geochem.* 27, 562–576.
- Livsmedelverket. (2017). Swedish Market Basket Survey 2015, – per capita-based analysis of nutrients and toxic compounds in market baskets and assessment of benefit or risk, Uppsala, Sweden.
- Lottermoser, B G. (2007). *Mine Wastes: Characterization, Treatment, Environmental Impacts*. Springer. p. 311.
- Martin, T. E., & Mcroberts, E. C. (1999). Some considerations in the stability analysis of upstream tailings dams. In: Proc. Tailings & Mine Waste'99, pp. 287–302.
- Mcewen, M., & Wills, E. M., (2009). Grandes teorias da enfermagem baseadas nas necessidades humanas. In: Mcewen M, Wills EM. *Bases teóricas para enfermagem*. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed. p. 156-85.
- Mehrabani, J. V., Noaparast, M., Mousavi, S. M., Dehghan, R., & Ghorbani, A. (2010). Process optimization and modelling of sphalerite flotation from a low-grade Zn–Pb ore using response surface methodology. *Sep. Purif. Technol.* 72, 242–249.
- Melphi & et al. (2016). Recursos Minerais no Brasil: Problemas e desafios. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 420 p.
- Mesquita, L. M. S., (2001). Bioflotação de Hematita e Quartzo - Um Estudo de Seletividade. Tese de Doutorado, PUC-Rio, 93p.
- Milanez, B. & Losekann, C. (2016). Desastre no Vale do Rio Doce: Antecedentes, impactos e ações sobre a destruição. *Letra e Imagem Editora e Produções LTDA*.
- Morris, R.C. (1985). Genesis of ore in banded iron-formation by supergene metamorphic processes- a conceptual model. In: Wolf, K.H. handbook of strata-bound and straliform ore deposits, Netherlands. *Elsevier Science Publishers 'B.V.* 13: 73-235.
- Negri, A., Rodella, D.; Werder, P.; Guimarães, R., & Giordan, M. (2016). Mina de ferro, quanto Vale? A lama de rejeitos da mineração de Mariana e os impactos de sua composição química. *Minicurso: metodologia do ensino de química - LAPEQ da USP*, São Paulo.
- Nightingale, F. (1989). Notas sobre enfermagem: o que é e o que não é. *Tradução de Amália Correa de Carvalho*. São Paulo: Cortez.
- Porto, A. J. M., & Santos, L. M. (2016). Reflexões sobre o caso da Samarco em Mariana. *Conjuntura Econômica*, junho, p. 60-61.

- Puro, M. J., Kipkie, W. B., Knapp, R. A., McDonald, T. J., & Stuparyk, R. A. (1995). Inco's Copper Cliff tailings area. In: *Proceedings of the Sudbury'95 Conference on Mining and the Environment*, pp. 181–191.
- Reis, A. M. (2006). A Água no Transporte e no Beneficiamento de Minério – Estudo de Caso Mineração em Mariana – Samarco Mineração S/A. In: IBRAM/ANA. *A Gestão dos Recursos Hídricos e a Mineração*. Brasília, p. 157-173.
- Renova. (2017). Fundação Renova. Relatório Técnico: Perfil dos serviços de saúde nos municípios da área impactada pelo rompimento da barragem de Fundão, p 265.
- Renova. (2018). Fundação Renova. Relatório: Quantificação de metais e arsênio nos organismos coletados durante o programa de monitoramento da ictiofauna do Rio Doce nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo, Belo Horizonte, p 662, 1 revisão.
- Sampaio, R. S. R. (2016). Inadequações da Responsabilização Ambiental como Instrumento Capaz de Reparar Danos Ambientais Decorrentes de Acidentes de Grande Proporção: uma Análise do Caso Samarco. In: Alcântara, P. A. F. et al. *Depois da Lama: Mariana e as consequências de um desastre construído*. Belo Horizonte: Letramento.
- Sarsby, R.W. (2004). *Environmental Geotechnics*. Thomas Telford.
- Smolders, A. J., Lock, R. A., Van Der Velde, G., Medina Hoyos, R.I., & Roelofs, J. G. (2003). Effects of mining activities on heavy metal concentrations in water sediment, and macroinvertebrates in different reaches of the Pilcomayo River, South America. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 44, 314–323.
- Sms. (2015). Plano Municipal de Planejamento e Gerenciamento de Ações de Recuperação em Saúde após o Rompimento da Barragem de Rejeitos da Samarco em Bento Rodrigues, Mariana-MG. Secretaria Municipal de Saúde de Mariana, Prefeitura de Mariana, Mariana-MG. 61 p.
- Smuda, J., Dold, B., Spangenberg, J.E., Friese, K., Kobek, M.R., Bustos, C.A. & Pfeifer, H.R. (2014). Element cycling during the transition from alkaline to acidic environment in an active porphyry copper tailings impoundment, Chuquicamata, Chile. *J. Geochem. Explor.* 140, 23–40.
- Soares, L., Arnez, F.I., & Hennies, W.T. (2000). Major causes of accidents in tailing dam due to geological and geotechnical factors. In: *Mine Planning and Equipment Selection – International Symposium*, pp. 371–376.
- Task Force Group. (2016). Grupo da Força-Tarefa. Relatório – Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana/MG. Governo do Estado de Minas. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional, Política Urbana e Gestão Metropolitana. Belo Horizonte.
- Toffolo, R. V., & et al. (2014). Viabilidade técnica de elementos de concreto para pavimentação produzidos com rejeito de barragem de minério de ferro. In: *anais 56º CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO*, Rio Grande do Norte, fev.
- Van Niekerk, H. J., & Viljoen, M. J. (2005). Causes and consequences of the Merriespruit and other tailings dam failures. *Land Degrad. Develop.* 16, 201–212.
- Vormittag, & et al. (2018). Health evaluation of the Barra Longa population affected by the disaster in Mariana County. *Ambiente e Sociedade*. 21.
- Wanderley, L. J. (2016). Desastre da Samarco/Vale/BHP no Vale do Rio Doce: Aspectos Econômicos, Políticos e Socioambientais. *Ciência e Cultura*, 68(3).
- World Bank. (2014). World Bank Quarterly Report. <http://pubdocs.worldbank.org/en/233551462800791027/CMO-2014-October.pdf>.
- Younger, P. L., & Wolkersdorfer, C. (2004). Mining impacts on the freshwater environment: technical and managerial guidelines for catchment scale management. *Mine Water Environ.* 23, 2–80.
- Zonta, M., & Trocate, C. (2016). *Antes fosse mais leve a carga: reflexões sobre o desastre da Samarco/Vale/BHP*. Marabá: Editorial Iguana, 237(2).