

Impactos socioambientais do rompimento de barragens de rejeitos de mineração no Estado de Minas Gerais

Socio-environmental impacts caused by breaking tailings containment dams in the Minas Gerais State, Brazil

Júlia de Azevedo Oliveira¹; Sady Júnior Martins da Costa de Menezes²; Talita Santiago Lopes³ & Fábio Souto Almeida⁴

¹ Graduanda em Gestão Ambiental, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Três Rios, Rio de Janeiro, Brasil, e-mail: ju_azevedo13@hotmail.com;

² Doutor em Ciência Florestal, Professor do Departamento de Ciências do Meio Ambiente, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Três Rios, Rio de Janeiro, Brasil, e-mail: sadymenezes@gmail.com;

³ Mestrado em Defesa e Segurança Civil pela Universidade Federal Fluminense (UFF), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, e-mail: talitalopes18@gmail.com;

⁴ Doutor em Ciências Ambientais e Florestais, Professor do Departamento de Ciências do Meio Ambiente, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Três Rios, Rio de Janeiro, Brasil, e-mail: fbio_almeida@yahoo.com.br

Resumo - O objetivo foi avaliar os impactos socioambientais causados pelo rompimento de barragens de contenção de rejeitos de mineração no Estado de Minas Gerais, nos anos de 2015 (Mariana) e 2019 (Brumadinho). Foram listadas as alterações ambientais constatadas e previstas. Constatou-se a degradação da paisagem e da qualidade da água, o assoreamento e a alteração da vazão de cursos d'água. No meio biológico observou-se a destruição de áreas de reprodução de peixes, redução da área coberta por vegetação nativa e perda de biodiversidade. Houve a redução da disponibilidade de água para a população, perda de vidas humanas, aumento da incidência de doenças, redução da renda, da disponibilidade de empregos e de atividades econômicas. Para minimizar tais impactos, sugere-se implementar reflorestamentos, apoio institucional aos cidadãos afetados, incentivo às atividades econômicas locais e medidas de proteção à biodiversidade. Para evitar futuros desastres indica-se a construção das barragens com melhores tecnologias, escolha da localização geográfica mais segura e ampliar o conhecimento das características do local da construção. É necessário realizar o treinamento da população para evacuação da área de risco e ter um sistema de alerta de rompimento eficiente. Dentre as medidas sugeridas, as ações preventivas são prioritárias.

Palavras-chave: degradação ambiental, poluição, recursos naturais.

Abstract - This study aimed to evaluate the socio-environmental impacts caused by the ruptures of tailings containment dams in Minas Gerais State in 2015 (Mariana) and 2019 (Brumadinho). The environmental changes observed and foreseen were listed. Occurred landscape and water quality degradation, the silting up and the alteration of river flows. In the biological environment, destruction of fish reproduction areas, reduction of the area covered by native vegetation and reduction of biodiversity. Reduction of water availability for the population, loss of human lives, reduced of job availability, population income and local economy and increased incidence of diseases were observed. In order to minimize the impacts, reforestations, institutional support for population, encouragement of local economic activities and application of protective measures to the species were suggested. In order to avoid future dam ruptures, are indicated the construction of tailings dams with technologies that generate less risk of breakage, choice of the safest geographical location and obtain adequate knowledge of the characteristics of the dam location. Training the population for the evacuation of the risk area and have an efficient breakage warning system are necessary. Among suggested measures, preventive actions are a priority.

Keywords: environmental degradation, natural resources, pollution.

1-INTRODUÇÃO

A extração e a transformação de recursos minerais estão entre as atividades antrópicas mais antigas, sendo positivamente associadas ao desenvolvimento das civilizações (FERREIRA, 2013). Devido ao aumento da população humana, da industrialização e do desenvolvimento de tecnologias, torna-se notável o crescimento da exploração dos recursos minerais em todo

o mundo e, em décadas recentes, especialmente na América Latina (ARAUJO; FERNANDES, 2016). No Brasil, a produção de minérios tem expressiva participação do ferro, com 559.508.816 t no ano de 2016 (DNPM, 2017). Importantes depósitos minerais são encontrados no Estado de Minas Gerais, como no Quadrilátero Ferrífero, Governador Valadares e Pedra Azul/Salto da Divisa (IBRAM, 2015).

Aceito para publicação em: 27/06/2021/ Publicado 16/09/2021.

Apesar dos benefícios advindos da mineração, essa atividade provoca diversos impactos ambientais, como a redução da cobertura florestal e da biodiversidade, a degradação do solo e dos recursos hídricos, além da alteração da paisagem ser um impacto marcante da mineração (MECHI; SANCHES 2010; MILANEZ, 2017; PINTO, 2018). A mineração altera inclusive o microclima, as características do solo e o ciclo hidrológico (MILANEZ, 2017). Além disso, a poluição atmosférica é inerente a todas as fases dos empreendimentos de mineração e o meio socioeconômico também é expressivamente afetado (PINTO, 2018).

Os rejeitos de minério são os resíduos resultantes das etapas de beneficiamento as quais os minérios são submetidos, com a finalidade de extrair os elementos de interesse econômico (MUNIZ; OLIVEIRA-FILHO, 2006). Tais rejeitos frequentemente são depositados em sistemas de barragens, sendo possível a utilização dos próprios rejeitos na construção (ESPÓSITO, 2000). Desta forma, barragens de contenção de rejeitos são estruturas construídas com a finalidade de conter os materiais resultantes do beneficiamento do minério (DUARTE, 2008). Mesmo com a existência de legislação, conhecimento e novas tecnologias, ocorrem acidentes de rompimento de barragens de contenção de rejeitos, o que provoca prejuízos econômicos, sociais e ambientais (DUARTE, 2008; FREITAS et al., 2019).

Pelo menos cinco barragens se romperam em Minas Gerais nas últimas duas décadas, causando sérios problemas socioambientais (LACAZ *et al.*, 2017; WISE URANIUM PROJECT, 2020). Tal frequência demanda estudos sobre as consequências desses eventos e sobre as medidas de mitigação cabíveis para reduzir os impactos socioambientais negativos.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os impactos socioambientais causados pelo rompimento de barragens de contenção de rejeitos de mineração nos municípios de Mariana (2015) e Brumadinho (2019), no Estado de Minas Gerais. Além disso, também são

indicadas ações mitigadoras corretivas para os impactos negativos identificados e medidas preventivas para evitar desastres semelhantes no futuro.

2-MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição dos eventos estudados e da área afetada

Em 5 de novembro de 2015 ocorreu o rompimento da barragem de rejeitos de mineração de Fundão (20°12'30.25"S; 43°27'44.89"O), no Município de Mariana, Estado de Minas Gerais (Figura 1). Foram mais de 70 milhões de metros cúbicos de lama de rejeito de mineração de ferro vazados após o rompimento (PORTO, 2016). Os rejeitos seguiram o curso do Córrego Santarém, rio Gualaxo do Norte e rio Carmo, percorrendo 77 km até chegar ao rio Doce (ANA, 2016). As operações da empresa de mineração Samarco (*joint venture* BHP Billiton Brasil Ltda. e Vale S.A.) em Mariana envolviam a extração, beneficiamento, logística dutoviária, pelotização e transporte de pelotas e finos de minério de ferro, tendo iniciado o tratamento de minério no Complexo de Germano em 1977 (WANDERLEY et al., 2016; RIMA MARIANA, 2017).

A região do empreendimento possui clima tropical, apresentando as maiores precipitações pluviométricas nos meses de verão e seca nos meses de inverno, sendo a variação da temperatura média de 18° C a 24° C (RIMA MARIANA, 2017). O complexo compreende os cursos de água das bacias hidrográficas do rio Piracicaba e do rio Carmo (RIMA MARIANA, 2017). O empreendimento em questão está situado no bioma Mata Atlântica e, quando se trata de cobertura vegetal, a Área de Influência do Empreendimento possui sua maior parte ocupada por áreas naturais, se destacando os campos e as áreas de Floresta Semidecidual, e possui em seu relevo morros e colinas, platôs de canga e a vertente da Serra da Carapaça (RIMA MARIANA, 2017). Na região do Complexo Germano existem 23 Unidades de Conservação da Natureza (RIMA MARIANA, 2017).

Figura 1. Localização dos municípios de Mariana e Brumadinho (em vermelho), Estado de Minas Gerais.



Fonte: Google Earth (2019).

Segundo Wanderley et al. (2016), o impacto causado pelo rompimento da barragem de Fundão extrapolou às áreas de influência preestabelecidas no EIA/RIMA

confeccionado para licenciar o empreendimento. O município de Barra Longa, os distritos Bento Rodrigues e Gesteira, o subdistrito Paracatu de Baixo e outros cinco

povoados do distrito de Camargo, em Mariana, foram afetados pela lama (WANDERLEY et al., 2016). Em 2019 o Município de Barra Longa possuía como população estimada 5.131 pessoas e 383,628 km², Mariana possuía 60.724 habitantes e o seu território apresenta 1.194,208 km² (IBGE, 2019). O Município de Mariana apresenta importante patrimônio arquitetônico colonial-barroco, sendo concedido ao município o título de Monumento Nacional (CALDAS, 2018). O subdistrito de Bento Rodrigues possuía significativos ambientes naturais e ruínas de uma igreja histórica, tendo assim bom potencial turístico, e a extração mineral ocorreu de forma intensa na região e a população rural sobrevivia principalmente da agricultura familiar (CALDAS, 2018).

No dia 25 de janeiro de 2019 uma barragem (Barragem 1) da empresa Vale se rompeu, no Município de Brumadinho (20° 7'12.55"S; 44° 7'14.11"O), na região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais.

As atividades na mina foram iniciadas no ano de 1956 através da Cia de Mineração Ferro e Carvão (SUPRAM, 2018). A região onde se localiza a mina possui clima caracterizado como Tropical Subquente Semi-úmido e possui relevo caracterizado como bastante acidentado, com as altitudes variando em geral de 900 m a 1.000 m, mas podendo alcançar 1.500 m, sendo as serras as formas mais evidentes do relevo (RIMA CÓRREGO DO FEIJÃO, 2017). O empreendimento está inserido na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, um dos principais tributários do alto rio São Francisco, ocorrendo a Floresta Estacional Semidecidual (RIMA CÓRREGO DO FEIJÃO, 2017), próxima da zona de transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica (SUPRAM, 2018).

As barragens estudadas foram construídas com a mesma tecnologia, tratando-se do método conhecido como “alçamento a montante”, com a barreira de contenção recebendo camadas do material do rejeito da mineração (ODILLA, 2019). O alçamento a montante baseia-se na elaboração de diques sobre praias formadas pela decantação do próprio rejeito e possui como características o menor custo de construção e a maior velocidade de alçamento, por outro lado, apresenta menor segurança em relação a outros métodos, pois pode ocorrer, por exemplo, o fenômeno de entubamento, quando a água atravessa áreas do talude, surgindo a montante da estrutura e causando o seu enfraquecimento (THOMÉ; PASSINI, 2018).

2.2 Avaliação dos impactos ambientais

A obtenção de informações sobre os eventos estudados foi realizada por meio de artigos científicos,

Quadro 1. Impactos ambientais ocasionados pelo rompimento de barragens de rejeitos de mineração nos municípios de Mariana e Brumadinho, Estado de Minas Gerais.

Causas	Impactos Ambientais/ Meio Afetado	Referencial Bibliográfico
Movimento de massa e aporte de rejeitos nos cursos d'água	Meio Físico	ICMBio (2015), Milanez et al. (2015), Sassine (2015), Lopes (2016), Wanderley et al. (2016), Andrade (2018), Pinto (2018), IBAMA (2019), Alves (2020), Aragão & Almeida
	Degradação da qualidade da água	
	Assoreamento dos cursos d'água	
	Alteração da vazão dos rios	
	Alteração das características do solo nas margens dos cursos d'água	
	Aumento da poluição atmosférica por poeira	
	Degradação da paisagem	
	Meio Biológico	

estudos ambientais confeccionados para a obtenção das licenças ambientais dos empreendimentos e de *websites* institucionais e outras páginas da *Internet*, cujo conteúdo fosse confiável, metodologia similar à adotada por Alves (2020). Também foram criadas redes de interações para melhor previsão dos impactos ambientais indiretos relevantes (SANCHEZ, 2010; ALVES, 2020). A partir das informações obtidas, foram indicados os impactos ambientais gerados a partir de diferentes processos (causas dos impactos) considerados relevantes e decorrentes do rompimento das barragens de rejeitos.

Foram considerados como impactos ambientais as mudanças observadas ou previstas no meio ambiente a partir do rompimento das barragens, considerando as alterações no meio físico (recursos hídricos, atmosfera, clima, solo, geologia, paisagem), biológico (biodiversidade) e socioeconômico (parâmetros da população humana, economia, cultura) (BRASIL, 1986). Foram incluídos impactos diretos e indiretos, para averiguar e discutir detalhadamente as causas e as consequências das mudanças no meio ambiente em função do rompimento das barragens. Os impactos diretos, também chamados de impactos de primeira ordem, são aqueles advindos diretamente do aspecto ambiental (mecanismo que provoca o impacto), enquanto os impactos indiretos são derivados de outras alterações no meio ambiente, inclusive podendo fazer parte de uma sequência de alterações ambientais (ALVES, 2020; SANCHEZ, 2010).

Foram apontadas medidas mitigatórias corretivas para os impactos indicados no presente estudo. Também foram sugeridas medidas preventivas, com o objetivo de evitar futuros eventos de rompimento de barragens.

3-RESULTADOS

Os rompimentos de barragens de rejeitos de minério estudados provocaram diversas mudanças negativas na região onde ocorreram, afetando componentes da biodiversidade, a socioeconomia e o meio físico (Quadro 1). Dentre os processos e impactos ambientais diretos que ocasionaram outros variados impactos ambientais, pode-se citar o movimento de massa e o aporte de sedimentos nos cursos d'água, a alteração nas características do solo, principalmente nas proximidades dos rios, a redução da área coberta com vegetação nativa e danos à infraestrutura, incluindo aquela voltada para a oferta de serviços públicos.

	Redução da reprodução de peixes	(2019), Freitas et al. (2019) Pereira et al. (2019), Fiocruz (2019).
	Alteração da cadeia trófica	
	Redução do fluxo gênico	
	Danos à ictiofauna	
	Alteração dos processos ecológicos	
	Redução de vegetação nativa, principalmente nas proximidades dos cursos d'água	
	Mortandade de espécimes de vários táxons e consequente redução de populações bióticas	
	Possível extinção de espécies endêmicas da localidade	
	Redução da biodiversidade	
	Alteração de interações e processos ecológicos	
	Piora no estado de conservação de espécies	
	Proliferação de insetos vetores de doenças	
	Meio Socioeconômico	
	Comprometimento do estoque pesqueiro	
	Redução da pesca e da renda de pescadores	
	Redução da disponibilidade de água para abastecimento público e uso agropecuário	
	Aumento da dependência de novos mananciais, da implantação de poços e de sistemas de adução para abastecimento público	
	Danos à infraestrutura pública e privada	
	Deterioração da saúde mental e física das populações atingidas	
	Perda de vidas humanas	
	Redução de mobilidade urbana	
	Alteração do cotidiano comunitário	
	Desaparecimento de pessoas	
	Intranquilidade e insegurança na população	
	Alteração do modo de vida da população	
	Aumento da demanda por serviços públicos	
	Possível desencadeamento da transmissão de doenças	
	Desestabilização socioeconômica em âmbito local	
	Redução de atividades econômicas, como turismo, comércio e atividades agropecuárias	
	Queda na disponibilidade de emprego e renda	
	Diminuição da arrecadação de impostos	
	Alteração do perfil de trabalho e empregos	
Alteração das características do solo	Meio Físico	Bezerra et al. (2010), Fernandes et al. (2014), Embrapa (2015), Milanez et al. (2015), Lopes (2016), Wanderley et al. (2016), Andrade (2018), Pinto (2018), Aragão & Almeida (2019), Pereira et al. (2019)
	Aumento da impermeabilização do solo	
	Aumento do carreamento de sedimentos para corpos hídricos	
	Aparecimento de sulcos de erosão	
	Alteração da topografia	
	Diminuição da infiltração de água no solo	
	Aumento da ocorrência de enchentes	
	Alteração do ciclo hidrológico	
	Aumento da concentração de poeira no ar	
	Redução da fertilidade do solo e do teor de matéria orgânica	
	Meio Biológico	
	Redução da biodiversidade	
	Redução da vegetação nativa	
	Redução de populações bióticas	
	Criação de sítios para reprodução de vetores de doenças	
	Proliferação de insetos vetores de doenças	
	Meio Socioeconômico	
	Perda de áreas agrícolas	
	Limitações para aproveitamento do solo para o uso agrícola	
	Degradação de áreas utilizadas na agropecuária	
Redução de atividades econômicas		
Queda na disponibilidade de emprego e renda		

	Diminuição da arrecadação de impostos	
	Alteração do perfil de trabalho e empregos	
Redução da área coberta com vegetação nativa	Meio Físico	MMA (2007), Embrapa (2015), Milanez et al. (2015), Lopes (2016), Wanderley et al. (2016), Andrade (2018), Pinto (2018), Aragão & Almeida (2019), Conceição (2019), IBAMA (2019), Pereira et al. (2019)
	Aumento da impermeabilização do solo	
	Aumento do carreamento de sedimentos para corpos hídricos	
	Aumento do escoamento superficial da água da chuva	
	Assoreamento de cursos d'água	
	Maior possibilidade de ocorrência de enchentes	
	Alteração do ciclo hidrológico	
	Aparecimento de sulcos de erosão	
	Alteração da topografia	
	Redução da infiltração da água no solo	
	Menor recarga do lençol freático	
	Degradação da qualidade da água	
	Redução da proteção dos recursos naturais	
	Meio Biológico	
	Perda, degradação ou fragmentação de habitats	
	Redução de populações bióticas, incluindo predadores	
	Redução da biodiversidade	
	Comprometimento da resiliência de ecossistemas	
	Alterações populacionais de espécies vetores	
	Estabelecimento de ecossistemas diferentes dos originais	
Piora no estado de conservação de espécies		
Meio Socioeconômico		
Redução da disponibilidade de água para consumo humano e dessedentação de animais		
Redução da polinização e controle biológico de pragas em áreas agrícolas		
Restrição ou enfraquecimento dos serviços ecossistêmicos		
Danos às unidades de conservação	Meio Físico	Milanez et al. (2015), Wanderley et al. (2016), Andrade (2018)
	Degradação de recursos naturais	
	Degradação da paisagem	
	Meio Biológico	
	Piora no estado de conservação de espécies	
	Meio Socioeconômico	
	Redução da disponibilidade de recursos naturais	
	Redução da disponibilidade de produtos e serviços ofertados pelas unidades de conservação	
Deterioração da qualidade de vida da população		
Danos à infraestrutura e sítios históricos	Meio Socioeconômico	Arcuri et al. (2015), Milanez et al. (2015), Andrade (2018), Aragão & Almeida (2019), Fiocruz (2019), Amâncio (2019)
	Perda de residências	
	Perda de infraestrutura do setor empresarial	
	Destruição e interrupção de estradas e trilhas	
	Danos a infraestrutura destinada a serviços públicos	
	Deterioração da saúde mental e física das populações atingidas	
	Alteração do cotidiano comunitário	
	Intranquilidade e insegurança na população	
	Dificuldades para o trânsito de veículos e pessoas	
	Degradação de sítios arqueológicos, locais com importância histórica e danos a bens sacros	
	Redução de atividades econômicas	
	Queda na disponibilidade de emprego e no nível de renda	
	Diminuição da arrecadação de impostos	
Menor disponibilidade de serviços públicos		

3.1 Aporte de rejeitos nos cursos d'água

Os eventos de rompimentos das barragens de rejeitos de mineração ocasionaram o aporte de rejeitos em cursos d'água, tendo impactos indiretos no meio físico, biológico e socioeconômico (ANDRADE, 2018;

ARAGÃO; ALMEIDA, 2019; CONCEIÇÃO, 2019). Desta forma, a degradação da qualidade da água e o consequente impacto indireto de diminuição da oferta de água para consumo humano foram bastante relevantes, ocorrendo inclusive a suspensão da captação de água para

abastecimento de cidades atingidas (CAMPOS, 2017). Logicamente, também foi reduzida a oferta de água para uso agrícola e dessedentação de animais, tendo em vista que a má qualidade da água está diretamente relacionada com a ocorrência de doenças (MORAES; JORDÃO, 2002). O assoreamento de cursos d'água também foi claramente notado, conseqüentemente ocasionando alterações na vazão dos rios. Outro impacto visível foi a degradação da paisagem, que certamente afeta negativamente atividades turísticas. Cabe ressaltar que os indícios da elevada magnitude de variados impactos provocados pelos rompimentos das barragens podem ser evidenciados, por exemplo, pela extensa área atingida pelas alterações ambientais. Inclusive, os efeitos dos impactos do evento ocorrido em Mariana ultrapassaram os limites da área de influência do empreendimento estabelecidos no EIA/RIMA (WANDERLEY et al., 2016).

Em relação aos impactos causados ao meio biológico, é notável o dano a ictiofauna por meio da perda de áreas berçários e de reprodução, sendo a modificação de habitats um importante fator que contribui para o declínio da biodiversidade mundial (ALMEIDA; VARGAS, 2017). Foi constatada a existência de espécies da ictiofauna endêmicas e ameaçadas de extinção na bacia hidrográfica do Rio Doce (VIEIRA, 2010), sendo assim, com os impactos causados a esse conjunto de peixes endêmicos, torna-se possível a extinção dos mesmos, além da provável extinção de espécies não listadas como oficialmente ameaçadas, tendo em vista que foi registrada apenas uma parcela da diversidade biológica existente no planeta (SCHERER et al., 2015). A redução da ictiofauna pode provocar a redução da renda de pescadores. Além disso, várias outras atividades econômicas provavelmente foram afetadas negativamente pelo aporte de sedimentos nos rios e pelos impactos indiretos, como a redução da disponibilidade de água e a sua degradação.

Somando-se aos demais impactos, a alteração de comunidades biológicas pode ocasionar a redução das interações entre predadores e presas, com o conseqüente aumento de algumas populações, incluindo a proliferação de insetos vetores de doenças, tornando-se possível o desencadeamento da transmissão de doenças na população humana (OLIVEIRA et al., 2019; RODRIGUES, 2019). Tal processo impacta o setor público, tendo em vista que a maior incidência de doenças acarreta o aumento da demanda de serviços públicos de saúde.

O movimento da massa de rejeitos provocou diversos danos a habitações, à infraestrutura comercial e industrial, também afetando fortemente a vegetação nativa nas margens dos cursos d'água e sítios de valor histórico. Os sedimentos depositados nas margens dos rios reduziram a disponibilidade de áreas para a agricultura e pecuária. Houve inclusive a perda de elevado número de vidas humanas e o desaparecimento de pessoas.

3.2 Degradação do solo

Ocorreram variadas mudanças nas características do solo, principalmente nas proximidades dos rios

atingidos pelos eventos estudados, que ocasionaram impactos indiretos. O aumento da impermeabilização do solo é um dos impactos observados. Ocorrendo a diminuição na infiltração de água da chuva no solo, sendo crescente a possibilidade de ocorrência de inundações devido ao menor tempo em que a água da chuva alcança os rios e o rápido aumento da vazão (Comissão Europeia, 2012). Além do aumento da possibilidade de ocorrência de inundações, o aumento da velocidade da água é uma das causas do desbarrancamento das margens e assoreamento dos rios e contribui para a erosão em sulcos, sendo esses impactos pertencentes a um conjunto de fatores que alteram a topografia local e a qualidade da água dos rios (FERNANDES et al., 2014; BEZERRA et al., 2010).

Também é imprescindível citar que o resíduo de mineração vazado com o rompimento das barragens apresenta baixa concentração de vários elementos que são nutrientes para as plantas, reduzida matéria orgânica e seus teores de argila não ultrapassam 10%, assim características físicas e químicas do solo foram afetadas (FELIPPE et al., 2016; EMBRAPA, 2015). É notável a direta influência no setor econômico, por meio da limitação do uso do solo e até a perda de áreas agrícolas.

3.3 Perda de cobertura vegetal

O rompimento da barragem de contenção de rejeitos em Mariana provocou uma expressiva mudança na paisagem, com relevantes impactos sobre a vegetação presente, principalmente, nas proximidades da barragem, incluindo a vegetação localizada nas margens dos cursos d'água (CONCEIÇÃO, 2019). Em Brumadinho, o rompimento da barragem também afetou a paisagem local e a vegetação próxima da barragem. As conseqüências negativas para a biodiversidade são claras, devido principalmente à degradação dos cursos d'água e matas ciliares.

A Mata Atlântica, apesar de sua riqueza em biodiversidade, passou por um processo de devastação e atualmente ocupa apenas 12,4% da sua área original (SOS MATA ATLÂNTICA, 2019). Por sua riqueza e grau de ameaça é classificada como um *hotspot* mundial em relação à proteção da biodiversidade, assim como o Cerrado (SOS MATA ATLÂNTICA, 2016). Destacada a importância do bioma, é de grande preocupação apontar que o rompimento da barragem em Brumadinho afetou pelo menos 269,84 ha, dos quais 133,27 ha eram de vegetação nativa e 70,65 ha de Áreas de Preservação Permanente nas margens de rios (IBAMA, 2019). No município de Mariana a lama de rejeitos também impactou áreas de APP (817,15 ha) e 275,50 ha de vegetação nativa (CONCEIÇÃO, 2019). A lama de rejeitos, além de destruir e arrancar árvores, vegetação herbácea e arbustiva, também afetou a serapilheira e seus bancos de sementes, assim, comprometendo a resiliência e processos de sucessão ecológica da área atingida (COELHO, 2015). Conceição (2019) destaca que as vegetações nativas mais afetadas no rompimento da Barragem Fundão, em Mariana, foram as vegetações de APP localizadas na beira de rios e córregos, seguida pelas

Áreas Rurais Consolidadas, representando em sua maioria áreas de uso agrícola e pastagens.

O solo desnudo, após a perda de cobertura vegetal, fica suscetível a erosão principalmente da sua porção superficial, que apresenta matéria orgânica em processo de decomposição e que fornece nutrientes para o desenvolvimento da vegetação. Sem a proteção da cobertura vegetal e suas raízes, é mantida na composição do solo apenas a parte mineral lixiviada, pobre em nutrientes (TOLEDO, 2014). Assim, os rejeitos de mineração possivelmente podem impactar a prática da agricultura, afetando a produção agrícola local em função da inutilização da área e alterando o modo de vida das pessoas atingidas, além da economia das famílias e, conseqüentemente, das cidades.

Um dos impactos associados a perda de cobertura vegetal é a impermeabilização do solo, ocorrendo queda na infiltração da água da chuva, que acaba escoando na superfície. São derivados desse impacto, os seguintes: redução da recarga dos aquíferos, erosão dos solos, aumento da ocorrência de enchentes e assoreamento dos cursos d'água (MMA, 2007). Tendo em vista que nos casos em análise neste trabalho a captação de água para uso humano, dessedentação de animais e agricultura foi suspensa, a possível fonte de abastecimento seria a água subterrânea, mas esta se encontra vulnerável como os demais componentes do meio ambiente local, aumentando ainda mais o impacto ambiental e social causado pela redução da disponibilidade e perda de qualidade da água.

A diminuição da cobertura florestal por diversas atividades antrópicas causa a fragmentação e perda de habitat (MARTINELLI, 2014; ALMEIDA; VARGAS, 2017). Com a ocorrência da fragmentação têm-se o surgimento do efeito de borda, que ocasiona variações nas condições ambientais e na composição de espécies (MARTINELLI, 2014; ALMEIDA; VARGAS, 2017). Sabendo-se da existência de unidades de conservação e Áreas de Preservação Permanente nas áreas atingidas pelos rompimentos, é plausível apontar que a fragmentação e perda de habitat expuseram diversas espécies da flora e fauna a maiores possibilidades de extinção, piorando o seu estado de conservação. Também cabe ressaltar que os impactos às unidades de conservação podem ter degradado importantes recursos naturais que essas áreas protegem, alterando paisagens com beleza cênica e comprometendo os serviços e produtos ofertados pelas unidades. A perda de serviços ecossistêmicos, como a polinização, ciclagem de nutrientes, controle biológico de pragas, oferta de alimentos, proteção de recursos hídricos e edáficos, é um importante impacto negativo dos rompimentos de barragens estudados.

3.4 Impactos à socioeconomia

Além dos impactos sobre os componentes do meio físico e biológico causados pelos desastres, também houve o impacto econômico, partindo do pressuposto que o PIB de Mariana possui cerca de 95,06% de participação da atividade de mineração, demonstrando a alta dependência dessa atividade (MINAS GERAIS, 2016). O nível de desemprego aumentou após o rompimento da barragem, atingindo a marca de 19%, o triplo do índice da Rev.Bras.de Gestão Ambiental

época na qual ocorria a operação da atividade extrativista (SCHELLER, 2019). Os impactos econômicos em Mariana não se deram exclusivamente pela paralisação da atividade mineradora desenvolvida pela empresa Samarco, tendo em vista que existem outras companhias minerárias, mas soma-se a queda no preço da *commodity* minério de ferro no comércio internacional (MINAS GERAIS, 2016).

O impacto econômico também está incluído na lista de impactos causados devido ao rompimento da barragem no município de Brumadinho, onde 60% da arrecadação advinha da atividade mineradora, que é também responsável por grande parte da economia local. A empresa gerava cerca de 2.000 empregos entre funcionários e terceirizados e aquecia a economia local, sendo útil para pequenos e grandes comerciantes locais (MENDONÇA, 2019).

Simonato (2017) avaliou cenários futuros com e sem a retomada da atividade minerária em Mariana. Obteve como resultados que, no cenário sem a retomada, no ano de 2020 o PIB do município apresentaria uma queda de 50% com relação ao ano de 2016. Com a retomada da atividade, o período de 2018 até o ano de 2020 não seria o suficiente para recompor a economia local, apenas acelerar esse processo.

Além dos fatores anteriormente citados, a economia dos municípios que foram atingidos com o rompimento em Mariana foi impactada por fatores como assistência médica, saúde pública e atendimentos de emergência, abastecimento de água potável, controle de pragas e vetores, sistema de limpeza urbana e de recolhimento e destinação do lixo, entre outros, que juntos somaram a quantia de R\$ 146.066.455,33. Danos a infraestrutura, como unidades habitacionais, instalações públicas de saúde, ensino e uso comunitário e obras de infraestruturas públicas representaram a soma de R\$ 513.755.631,00 (MINAS GERAIS, 2016). Houve inclusive problemas derivados da dificuldade de deslocamento de veículos, em função da perda de pontes e da obstrução de estradas.

Analisando os dados apresentados destaca-se o fato de que a ineficiência de empresas do setor privado em evitar tragédias, além de comprometer o meio ambiente e causar a perda de vidas humanas, impacta significativamente o setor público direta e indiretamente.

A degradação ambiental observada a partir dos eventos de rompimento de barragens em Minas Gerais provocou variados impactos negativos sobre a população. Com o rompimento da Barragem Fundão em Mariana, várias casas de Bento Rodrigues foram soterradas pela lama de rejeitos, deixando famílias desalojadas e afetando expressivamente seus estilos de vida (ANDRADE, 2018). Além da perda de edificações, também houve destruição do patrimônio cultural, alguns protegidos por leis e de áreas que foram afetadas pelo ocorrido, contribuindo para a descaracterização dos municípios e povoados (ANDRADE, 2018). Como Mariana apresenta importante patrimônio arquitetônico colonial-barroco, desastres como o ocorrido podem provocar perdas irreversíveis no âmbito cultural e histórico (CALDAS, 2018).

O desastre em Mariana causou a morte de 19 pessoas (SCHMIDT, 2019) e o rompimento em

Brumadinho ocasionou a morte de 259 pessoas, restando 11 desaparecidas ou não identificadas (WISE URANIUM PROJECT, 2020). Além disso, foi identificado o desenvolvimento e o contágio de doenças devido a alterações do equilíbrio e da qualidade ambiental e também o agravamento de doenças que já existiam, evidenciando os efeitos causados naqueles diretamente atingidos pelos rejeitos e nos indivíduos alcançados indiretamente pelos desastres ambientais.

Após o rompimento da barragem do Fundão, o município de Barra Longa foi o segundo atingido pela lama e a sua população representa uma das mais afetadas pelo desastre. Vormittag et al. (2018) em seu estudo realizado no município constatou que 40% daqueles que foram entrevistados declararam possuir doenças respiratórias e 15,8% afecções de pele, estando a tosse presente entre os sintomas mais relatados. Os moradores do município, diferentemente de Bento Rodrigues, continuaram residindo na área e expostos a poeira originada da secagem da lama e sua dispersão pelo trânsito de veículos e da reconstrução da cidade (GREENPEACE, 2017). A perda de cobertura vegetal nas áreas atingidas agrava o impacto citado anteriormente, em vista a capacidade das árvores de reterem poluição e materiais particulados que estão em suspensão no ar (SILVA, 2010), sendo possível verificar a interligação entre impactos.

Em nota técnica publicada pela FIOCRUZ (2019) foi destacado o fato de que o isolamento de comunidades e a inviabilidade de acesso aos serviços de saúde poderiam agravar as condições de doenças preexistentes ao evento de rompimento da barragem e o surgimento de novas condições de saúde nocivas, como doenças mentais, depressão e ansiedade, crises de hipertensão, doenças respiratórias, acidentes domésticos e contágio de doenças infecciosas.

3.5 Medidas mitigadoras corretivas e medidas preventivas

As medidas mitigadoras podem ser elaboradas visando o controle preferencialmente dos impactos diretos, que ao serem controlados/evitados deixam de servir como aspectos ambientais para impactos indiretos, diminuindo os possíveis danos de um rompimento de barragens. Assim, é aconselhável que as autoridades públicas e os empreendedores analisem os possíveis impactos ambientais listados em estudos ambientais criados para o licenciamento de empreendimentos com base na sequência de ocorrência, uma análise de causas e efeitos, buscando minimizar a magnitude ou evitar a ocorrência principalmente dos impactos diretos ou de menor ordem.

Visando a prevenção contra rompimentos de barragens de rejeitos de mineração é importante destacar a existência da Lei Federal 12.334 de 2010 (Política Nacional de Segurança de Barragens), que possui como um de seus objetivos “promover o monitoramento e o acompanhamento das ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens” (BRASIL, 2010). Essa lei apresenta normas que visam evitar desastres como os que ocorreram em Minas Gerais.

No evento de rompimento da barragem na cidade de Mariana a lama e os detritos vegetais foram parcialmente contidos pela barragem da UHE de Candonga e após esse represamento a lama seguiu o rio Doce, mas dentro de sua calha principal (Coelho 2015). Destacado tal acontecimento, é possível indicar que a criação de barragens subsequentes, como forma de segurança, seja uma medida mitigadora com a finalidade de conter os rejeitos em caso de rompimento do dique principal, diminuindo a abrangência da área afetada e a magnitude dos impactos.

Como outra medida de prevenção, o posicionamento da barragem de contenção de rejeitos deve ser amplamente estudado e analisado. Deve ser realizado um estudo detalhado da hidrogeologia do terreno em que se deseja realizar a instalação e operação do empreendimento, visto que condições inadequadas podem provocar o enfraquecimento da estrutura da barragem. Além disso, a instalação não deve ocorrer próxima a vilarejos ou outras áreas ocupadas por população humana, visando a diminuição de riscos de perdas de vidas humanas em caso de rompimento e danos econômicos por destruição de residências e perda de outros bens. A barragem de Fundão se encontrava apenas a 5,6 km a montante do distrito de Bento Rodrigues em Mariana, que foi amplamente afetado pelo rejeito vazado com o rompimento (SAADI; CAMPOS, 2018), evidenciando como a escolha do local de instalação representa um importante fator quando se trata de diminuir riscos.

É sabido que a atividade minerária altera o uso e ocupação do solo da área em que se instala e opera e a crescente oferta de emprego atrai novos habitantes, podendo causar a expansão urbana através da formação de novas comunidades, bairros e até mesmo cidades (CORRÊA et al., 2014). Tendo em vista as possíveis mudanças na ocupação e uso do solo, cabe ao poder público e aos responsáveis pelo empreendimento controlar e planejar as áreas onde ocorrerão esses estabelecimentos de novas comunidades, como uma maneira de evitar que os mesmos ocorram próximo ao empreendimento e sua área de influência direta como, por exemplo, a jusante de barragens de contenção de rejeitos, visando a proteção daqueles que não estão envolvidos diretamente na operação da atividade de mineração e diminuindo a quantidade de possíveis vítimas em casos emergenciais.

Tendo em vista a rápida evolução da tecnologia, pode-se apontar que a técnicas aplicadas nas construções de barragens de contenção de rejeitos não acompanham a evolução tecnológica dos projetos de mineração, sendo esta atividade negligenciada na área de mineração (SOARES, 2010). Desta forma, o investimento em tecnologias mais eficientes e seguras na contenção de rejeitos representa uma das formas de evitar e mitigar os impactos causados com o rompimento desses diques.

Outra forma de mitigação é o lançamento de rejeitos em outros locais como, por exemplo, o lançamento nas cavas a céu aberto, reduzindo a disposição na barragem e aumentando a sua vida útil, evitando ainda a implantação de uma nova barragem. Os

rejeitos podem possuir potencial para serem aproveitados em atividades econômicas, como a agrícola, como o pó de calcário industrial disposto como corretivo de pH de solos (IBRAM, 2016). Além da alternativa anteriormente citada podem ser destacadas outras como: rejeitos espessados, filtragem de rejeitos, disposição subaérea e empilhamento drenado (FONSECA et al., 2019). Essas metodologias de disposição auxiliam na diminuição da necessidade de área para sua estocagem, apresentam menor risco de causar problemas quando comparadas com barragens, além de possuírem baixo custo e modo operacional simples (FONSECA et al., 2019). Essas soluções diminuem as possibilidades de ocorrência de desastres como os de Mariana e Brumadinho e ainda podem possuir retorno financeiro, como no caso de o rejeito ser utilizado na agricultura.

Para mitigar a perda de cobertura vegetal e diminuir os efeitos do assoreamento de corpos hídricos e a degradação do solo pode-se desenvolver um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), baseado no plantio de mudas de espécies nativas da fitofisionomia em que a área está inserida e enriquecimento das áreas florestais que permaneceram após o desastre. Para garantir uma maior taxa de sucesso do PRAD é aconselhável a realização da biorremediação com plantas capazes de se desenvolver no solo impactado pela lama, assim as condições ambientais se tornarão mais adequadas para o desenvolvimento das outras espécies de plantas nativas.

Como forma de mitigação dos impactos sociais pode ser apontada a maneira como a empresa irá agir após o rompimento, incluindo neste caso a distribuição de água potável nos municípios atingidos pela interrupção da captação, abrigo para as vítimas e posteriormente no assentamento dos atingidos (MILANEZ et al., 2015). Após o fornecimento de todo auxílio necessário às vítimas, de imediato após o rompimento, é necessário realizar estudos para construção do assentamento, de modo a definir como se dava a organização da área antes da ocorrência do desastre, visando conservar o modo de vida observado anteriormente ao desastre. O apoio institucional visando reduzir os problemas econômicos decorrentes dos rompimentos das barragens pode incluir o incentivo às atividades econômicas locais, com a busca de alternativas às atividades comprometidas pelo desastre.

Além das ações que devem ser realizadas pela empresa e órgãos públicos na fase de resposta ao desastre, é evidente a necessidade de priorizar medidas preventivas para evitar que novos desastres ocorram. Desse modo, é importante ocorrer a instrumentação da barragem de contenção de rejeitos, pois possibilita maior controle da estabilidade da estrutura e segurança. Os principais parâmetros monitorados são os relativos à piezometria, o nível de água no reservatório, a vazão de jusante, a pluviometria e os marcos topográficos superficiais, obtidos com instrumentos como: piezômetros, réguas graduadas, calhas Parshall e *dataloggers* (SILVA, 2019).

Em empreendimentos que se faz uso da barragem de contenção de rejeito de minérios, estando cientes da possibilidade do seu rompimento, devem implantar sistemas de alerta e alarme, além de simulações periódicas para que moradores e funcionários saibam agir

na crise do desastre. É fundamental que tais medidas estejam incluídas no plano de contingência do empreendimento. O treinamento das equipes que integram o quadro de funcionários é indispensável, pois em emergências são os primeiros a serem atingidos pelos impactos. Os residentes próximos e nas áreas de influência desses empreendimentos também devem receber treinamento sobre possíveis rotas de evacuação e pontos de apoio, diminuindo o número de mortos e feridos.

Se houver unidades de conservação e APP nas áreas atingidas pelos rompimentos das barragens, é necessária a elaboração de estudos sobre a fauna e a flora para dimensionar os danos sofridos. Posteriormente, deve-se elaborar medidas de proteção às espécies que foram atingidas e as que ficaram vulneráveis, para que se possa diminuir os riscos de extinção.

4-CONCLUSÃO

Impactos ambientais negativos de considerável magnitude ocorreram em função do rompimento das barragens, incluindo importantes danos à biodiversidade local, com ênfase aos organismos aquáticos, degradação do solo, recursos hídricos e até mesmo poluição atmosférica. Além disso, houve a perda de vidas humanas, pode-se prever o aumento da incidência de doenças e fortes impactos negativos sobre a economia local.

É possível afirmar que a mudança da paisagem ocorreu em áreas consideravelmente distantes da barragem, assim como pode-se inferir que os danos aos recursos hídricos, solo e socioeconomia foram de elevada magnitude.

É inevitável destacar a importância da realização de investimentos na implantação de barragens de contenção de rejeitos mais seguras. Os investimentos também podem ser alocados no financiamento de pesquisas e parcerias entre empresas e universidades que visam a descoberta e desenvolvimento de novas condutas na destinação e tratamento de rejeitos da atividade mineradora.

Atividades capazes de prevenir acontecimentos como os citados nesse trabalho são indispensáveis, mas quando há a ocorrência deles, as ações mitigadoras devem priorizar os impactos diretos, diminuindo a ocorrência de impactos indiretos e danos causados ao meio ambiente, social e econômico em sua área de inserção. É imprescindível a instalação de avisos sonoros em casos de rompimento, disponibilidade de equipe treinada para que em emergências seja feita a evacuação de moradores próximos a área de impacto direto, o treinamento dos próprios moradores para que saibam como agir caso ocorra um rompimento e um plano de contingência minuciosamente elaborado, para que na crise do desastre as ações emergenciais sejam desenvolvidas sem pânico e com ordem, a fim de salvar o maior número de vidas possível.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.S.; VARGAS, A.B. Bases para a gestão da biodiversidade e o papel do Gestor Ambiental. *Diversidade e Gestão*, v.1, n.1, p.10-32, 2017.

- ALVES, L.C.; FIGUEIREDO, A.L.A.; LOPES, T.S.; MARCHIORI, J.J.P.; GARRIDO, F.S.R.G.; ALMEIDA, F.S. Degradação do rio Parafba do Sul no Município de Três Rios: causas e consequências. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v.14, n.2, p.248-259, 2020.
- AMÂNCIO, T. **Lama da Vale pode ter destruído sítios arqueológicos em Brumadinho**. 2019. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2019/02/lama-da-vale-pode-ter-destruido-sitios-arqueologicos-em-brumadinho.shtml>. Acessado em: 02 nov. 2019.
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Encarte especial sobre a Bacia do Rio Doce- Rompimento da barragem em Mariana/MG**. Ministério do Meio Ambiente: Brasília, 2016. 49p.
- ANDRADE, T.C.G. **Impactos socioambientais decorrentes do rompimento da barragem de Fundão no município de Barra Longa, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 219p., 2018.
- ARAGÃO, L.A.; ALMEIDA, F.S. Levantamento dos impactos ambientais causados pela mineração em Brumadinho, MG. 8º Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade. **Anais [...]**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Três Rios, 2019.
- ARAUJO, E.R.; FERNANDES, F.R.C. Mineração no Brasil: crescimento econômico e conflitos ambientais. In: **Conflitos ambientais na indústria mineira e metalúrgica**. Rio de Janeiro: +CETEM/CICP, p.65-88, 2016.
- ARCURI, M.; LAIA, P.O.; SUÑER, R. Territórios e patrimônios na lama das negociações: desafios para a museologia comunitária na Barragem de Fundão. **Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico**, v. 24, n. 1/2, p.209-244, 2015.
- BEZERRA, A.S.; CANTALICE, J.R.B.; FILHO, M.C.; SOUZA, W.L.S. Características hidráulicas da erosão em sulcos em um cambissolo do semiárido do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1325-1332, 2010.
- BRASIL. **Resolução CONAMA Nº 1 de 17 de fevereiro 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para avaliação de impacto ambiental. 1986. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>. Acessado em: 23 jul. 2019.
- BRASIL. **Lei Nº 12.334, de 20 de setembro de 2010**. Política Nacional de Segurança de Barragens. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm. Acessado em: 09/12/2019.
- CALDAS, G. Org. **Vozes e silenciamentos em Mariana-crime ou desastre ambiental?** 2ed. BCCL/UNICAMP: Campinas, 2018. 352p.
- CAMPOS, M.B. **Rompimento da barragem de rejeitos de mineração de Fundão: Desastre socioeconômico e ambiental construído**. IBAMA: Rio de Janeiro, 2017. 16p.
- COELHO, R.M.P. Existe governança das águas no Brasil? Estudo de caso: o rompimento da Barragem de Fundão, Mariana (MG). **Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico**, v. 24, n. 1/2, p.16-43, 2015.
- COMISSÃO EUROPEIA. **Orientações sobre as melhores práticas para limitar, atenuar e compensar impermeabilização dos solos**. Luxemburgo: Serviço das Publicações da União Europeia, 2012. 63p.
- CONCEIÇÃO, T.S. **Aplicação de geotecnologias na análise dos impactos ambientais nos imóveis rurais localizados na Bacia do Rio Doce quanto ao desastre do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana/MG**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 133p., 2019.
- CORRÊA, R.; RUIZ, M.S.; ROIC, E. Conflitos socioambientais relacionados aos impactos do uso e ocupação do solo pela mineração subterrânea de carvão em Criciúma-SC. XXXVIII Encontro da ANPAD. **Anais [...]**. 2014.
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Brasileiro- Principais substâncias metálicas**. DNPM: Brasília, 2017. 33p.
- DUARTE, A.P. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. 117p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Relatório Técnico: Avaliação dos impactos causados ao solo pelo rompimento de barragem de rejeito de mineração em Mariana, MG: Apoio ao plano de recuperação agropecuária**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: Rio de Janeiro, 2015. 20p.
- ESPÓSITO, T.J. **Metodologia probabilística e observacional aplicada a barragens de rejeito construídas por aterro hidráulico**. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de Brasília: Brasília. 2000. 343p.
- FELIPPE, M.F.; COSTA, A.; FRANCO, R.; MATOS, R. A tragédia do Rio Doce: A lama, o povo e a água. Relatório de campo e interpretações preliminares sobre as consequências do rompimento de barragem de rejeitos de Fundão (Samarco/Vale/BHP). **Revista Geografias**, Edição Especial Vale do Rio Doce, p. 63-94. 2016.
- FERNANDES, M.L.F.; RAMOS, M.; TOLENTINO, M.; FOFONKA, L. Impermeabilização excessiva do solo: impactos ambientais negativos. **Revista Educação Ambiental em Ação**, v. 49, 2014.
- FERREIRA, L.A. **Escavação e exploração de minas à céu aberto**. Trabalho Final de Curso (Curso de

- Engenharia Civil) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 118p., 2013.
- FIOCRUZ - Fundação Oswaldo Cruz. **Avaliação dos impactos sobre a saúde do desastre da mineração da Vale (Brumadinho, MG)**. Ministério da Saúde, 2019. 16p.
- FONSECA, H.D.G.D.A.; ALEXANDRINO, J.S.; FERREIRA, T.E.D. Metodologias de disposição de rejeitos de minério de ferro para substituir as barragens de rejeito. **Proficientia**, n. 12, p. 55. 2019.
- FREITAS, C.M.; BARCELLOS, C.; ASMUS, C.I.R.F.; SILVA, M.A.; XAVIER, D.R. Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva. **Cadernos de Saúde Pública**, v.35, n.5, e00052519, 2019.
- GOOGLE EARTH. 2019. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acessado em: 09 out. 2019.
- GREENPEACE. **Da lama ao pó: o impacto da tragédia do Rio Doce para a saúde**. 2017. Disponível em: <https://www.greenpeace.org/brasil/blog/da-lama-ao-po-o-impacto-da-tragedia-do-rio-doce-para-a-saude/>. Acessado em: 03 out. 2019.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Rompimento de barragem da Vale em Brumadinho (MG) destruiu 269,84 hectares**. 2019. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/noticias/730-2019/1881-rompimento-de-barragem-da-vale-em-brumadinho-mg-destruiu-269-84-hectares>. Acessado em: 21 set. 2019.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acessado em: 21 ago. 2019.
- IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações sobre a economia mineral Brasileira**. IBRAM: Brasília, 2015. 25p.
- IBRAM- Instituto Brasileiro de Mineração. **Gestão e Manejo de Rejeitos de Mineração**. 1ª ed. IBRAM: Brasília, 2016. 127p.
- ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Consequências parciais na biodiversidade aquática da bacia do rio doce provocadas pelo rompimento de barragens de rejeitos de mineração da Samarco Mineradora S.A. no município de Mariana, MG**. Nota Técnica nº 24: Pirassununga, 2015. 10p.
- LACAZ, F.A.C.; PORTO, M.F.S.; PINHEIRO, T.M.M. Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, n.42, p.1-12, 2017.
- LOPES, L.M.N. O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. **Revista Sinapse Múltipla**, v.5, n.1. p.1-14, 2016.
- MARTINELLI, F.S. **Fragmentação florestal, perda de habitat e ocorrência de primatas na Mata Atlântica**. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014. 52p.
- MECHI, A.; SANCHES, D.L. Impactos ambientais da mineração no estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v.24, n.68, p. 209-220, 2010.
- MENDONÇA, H. **Em luto, Brumadinho também teme por seu futuro econômico**. El País. 2019. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2019/02/01/politica/1549043753_076295.html. Acessado em: 03 set. 2019.
- MILANEZ, B. Mineração, Ambiente e Sociedade: Impactos Complexos e Simplificação da Legislação. **Boletim regional, urbano e ambiental**, v.16, p.93-101, 2017.
- MILANEZ, B.; SANTOS, R.S.P.; WANDERLEY, L.J.M.; MANSUR, M.S.; PINTO, R.G.; GONÇALVES, R.J.A.F.; COELHO T.P. **Antes fosse mais leve a carga: avaliação dos aspectos econômicos, políticos e sociais do desastre da Samarco/Vale/BHP em Mariana (MG)**. Grupo Política, Economia, Mineração, Ambiente e Sociedade (PoEMAS), 2015. 100p.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Águas subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido**. Ministério do Meio Ambiente: Brasília, 2007. 38p.
- MINAS GERAIS - **Governo do Estado de Minas Gerais. Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG**. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional, Política Urbana e Gestão Metropolitana: Belo Horizonte, 2016. 287p.
- MORAES, D.S.L.; JORDÃO, B.Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, n.3, p.370-374, 2002.
- MUNIZ, D.H.F.; OLIVEIRA-FILHO, E.C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas: Ciências da Saúde**, v. 4, n.1/2, p.83-100, 2006.
- ODILLA, F. **Brumadinho: Quais são os tipos de barragem e por que a Vale construiu a menos segura na mina Córrego do Feijão?** BBC News. 2019. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-47048439>. Acessado em: 03 set. 2019.
- OLIVEIRA, W.K.; ROHLFS D.B.; GARCIA L.P. O desastre de Brumadinho e a atuação da Vigilância em Saúde. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 28, n.1, e20190425, 2019.
- PEREIRA, F.L.; CRUZ, G.D.B.; GUIMARÃES, R.M.F. Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.4, n.2, p.122-129, 2019.
- PINTO, N.P. **Avaliação dos impactos ambientais e medidas mitigadoras de empreendimentos de**

- mineração a céu aberto no Brasil.** Monografia (Graduação em Gestão Ambiental) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Três Rios, 47p., 2018.
- PORTO, M.F.S. A tragédia da mineração e do desenvolvimento no Brasil: desafios para a saúde coletiva. **Cadernos de Saúde Pública**, v.32, n.2, e00211015, 2016.
- RIMA CÓRREGO DO FEIJÃO. **Rima- Projeto de continuidade das operações da Mina da Jangada de Córrego do Feijão Municípios de Brumadinho e Sarzedo- MG.** 2017.
- RIMA MARIANA. **Relatório de Impacto Ambiental- Rima-EIA Integrado do Complexo Germano.** 2017.
- RODRIGUES, L. **Fiocruz alerta para agravamento de doenças na população após tragédia.** 2019. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-02/fiocruz-alerta-para-agravamento-de-doencas-na-populacao-apos-tragedia>. Acessado em: 03 nov. 2019.
- SAADI, A.; CAMPOS, J.C.F. Geomorfologia do caminho da lama: contexto e consequências da ruptura da Barragem do Fundão (novembro 2015, Mariana). **Arquivos do museu de história natural e jardim botânico da UFMG**. v. 24, n. 1-2, p. 63-103, 2018
- SANCHEZ, L.E. **Avaliação de impacto ambiental conceitos e métodos.** 2ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 553p.
- SASSINE, V. **Laudo aponta que Rio Doce estará sujeito a danos ‘imprevisíveis’.** 2015. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/brasil/laudo-aponta-que-rio-doce-estara-sujeito-danos-imprevisiveis-18378346>. Acessado em: 30 ago. 2019.
- SHELLER, F. **Mariana agora vive temor do colapso econômico.** Estadão. 2019. Disponível em: <https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,mariana-agora-vive-temor-do-colapso-economico,70002790633>. Acessado em: 03 set. 2019.
- SCHERER, H.J.; ESSI, L.; PINHEIRO, D.K. O conhecimento da biodiversidade: um estudo de caso com estudantes de graduação de uma universidade brasileira. **Revista Monografias Ambientais**, v.14, n.2, p.49-58, 2015.
- SCHMIDT, A.G. **Desastre de Mariana: uma análise sobre responsabilização criminal da BHP, VOGBR, Vale e Samarco.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Direito) – Faculdade de Ciências Jurídicas e Sociais, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2019.
- SILVA, L.S. Impactos da perda de vegetação nas áreas periurbanas metropolitanas no contexto da dispersão urbana. V Encontro Nacional da Anppas. **Anais [...]**. 2010.
- SILVA, M.F.S. **Sistema de monitoramento online de barragens de mineração.** Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019. 106 p.
- SIMONATO, T.C. **Projeção dos impactos econômicos regionais do desastre de Mariana-MG.** Dissertação (Mestrado em Economia do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. 180p.
- SOARES, L. Barragens de Rejeitos. In: **Tratamento de Minérios.** 5ª ed., Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 831-896, 2010.
- SOS MATA ATLÂNTICA. **Extremos da Mata Atlântica.** 2016. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/quem-somos/publicacoes/>. Acessado em: 21 ago. 2019.
- SOS MATA ATLÂNTICA. **Nove dos 17 estados da Mata Atlântica estão no nível do desmatamento zero, aponta estudo.** Disponível em: <https://www.sosma.org.br/projeto/atlas-da-mata-atlantica/dados-mais-recentes/>. Acessado em: 21 set. 2019.
- SUPRAM - Subsecretaria de Regularização Ambiental. Parecer Único. 2018. Disponível em: <https://apublica.org/wp-content/uploads/2019/02/item-52-vale-sa-mina-de-corrego-do-feijao-1-2.pdf>. Acessado em: 22 ago. 2019.
- THOMÉ, R.; PASSINI, M.L. Barragens de rejeitos de mineração: características do método de alteamento para montante que fundamentaram a suspensão de sua utilização em Minas Gerais. **Ciências Sociais Aplicadas em Revista**, v. 18, n. 34, 2018.
- TOLEDO, M.C.M. **Intemperismo e pedogênese.** Geologia. USP/UNIVESP/EDUSP, p.135-157, 2014.
- VIEIRA, F. Distribuição, impactos ambientais e conservação da fauna de peixes da bacia do rio Doce. **MG.Biotam**, v.2, n.5, p.5-22, 2010.
- VORMITTAG, E.M.P.A.A.; OLIVEIRA, M.A.; GLERIANO, J.S. Avaliação de saúde da população de Barra Longa afetada pelo desastre de Mariana, Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v.21, p.1-22, 2018.
- WANDERLEY, L.J.; MANSUR, M.S.; MILANEZ, B.; PINTO, R.G. Desastre da Samarco/ Vale/ BHP no vale do Rio Doce: aspectos econômicos, políticos e socio ambientais. **Ciência e Cultura**, v.68, n.3, p.30-35, 2016.
- WISE URANIUM PROJECT. **Chronology of major tailings dam failures.** Disponível em: <https://www.wise-uranium.org/mdaf.html>. Acessado em: 24 jul. 2020.