

**ANÁLISE ESPACIAL DOS REJEITOS DE MINÉRIOS EM
ECOSSISTEMAS MARINHOS NO BRASIL****SPATIAL ANALYSIS OF ORE TAILINGS IN MARINE ECOSYSTEMS
IN BRAZIL****ANÁLISIS ESPACIAL DE RELAVES MINERALES EN
ECOSISTEMAS MARINOS EN BRASIL****Verônica Fernandes Costa**

Bacharela Interdisciplinar em Ciências Ambientais – UFSB. Graduanda em Oceanologia – Centro de Formação em Ciências Ambientais – UFSB – *Campus* Sosígenes Costa – Porto Seguro (BA).
vel.fernandes@hotmail.com

Igor Emiliano Gomes Pinheiro

Doutor em Oceanografia Biológica – Centro de Formação em Ciências Ambientais – UFSB – *Campus* Sosígenes Costa – Porto Seguro (BA).
igoregp@ufsb.edu.br

Resumo: As barragens estão construídas por todo o território brasileiro, entretanto, é no Estado de Minas Gerais que ocorre a maior concentração delas. Desastres de barragem de rejeito de minério são as mais recorrentes, principalmente em Minas Gerais, sendo, o mais grave, o acidente de Mariana. O presente estudo objetivou analisar os impactos gerados pelo rompimento das barragens do Fundão e Santarém na foz do Rio Doce, localizada no Mar de Regência, em Linhares (ES), utilizando a revisão bibliográfica e análise espacial, visando evidenciar os impactos da pluma de sedimentos nos ecossistemas marinhos. Construiu-se um banco de dados quantitativos, qualitativos e espaciais acerca da região estudada entre fevereiro a abril de 2019, com atualizações em março e abril de 2020, que foi gerenciado e analisado a partir do ambiente SIG com auxílio do *software* livre QGIS 2.18. O rompimento das barragens Fundão e Santarém atingiu cerca de 6.197 km² na foz do Rio Doce e zona costeira, afetando ecossistemas oceânicos e toda a fauna e flora marinha. Ainda há muitas incertezas que permeiam este impacto à médio e longo prazo, bem como o efeito do mesmo em relação à saúde da população.

Palavras-chave: Geoprocessamento, Barragem do Fundão, Desastre ambiental, Zona costeira.

Abstract: The dams are built throughout the Brazilian territory, however, it is in the State of Minas Gerais that the greatest concentration of them occurs. Ore tailings dam disasters are the most recurrent, especially in Minas Gerais, with the most serious being Mariana's accident. This study aimed to analyze the impacts generated by the rupture of the Fundão and Santarém dams at the mouth of the Doce river, located in the Regência Sea, in Linhares (ES), using the bibliographic review and spatial analysis, in order to highlight the impacts of the sediment plume in marine ecosystems. A quantitative, qualitative and spatial database about the studied region was built between February to April 2019, with updates in March and April 2020, which was managed and analyzed from the GIS environment with the aid of the free software QGIS 2.18. The disruption of the Fundão and Santarém dams reached 6,197 km² at the mouth of the Doce river and the coastal zone, affecting oceanic ecosystems and all marine fauna and flora. There are still many uncertainties that permeate this impact in the medium and long term, as well as its effect on the health of the population.

Key-words: Geoprocessing, Fundão dam, Environmental disaster, Coastal zone

Resumen: Las presas se construyen en todo el territorio brasileño, sin embargo, es en el estado de Minas Gerais donde se produce la mayor concentración de ellas. Los desastres por presas de relaves minerales son los más recurrentes, especialmente en Minas Gerais, siendo el más grave el accidente de Mariana.

Este estudio tuvo como objetivo analizar los impactos generados por la ruptura de las presas Fundão y Santarém en la desembocadura del Río Doce, ubicado en el Mar de Regência, en Linhares (ES), utilizando la revisión bibliográfica y el análisis espacial, para resaltar los impactos de la columna de sedimentos en ecosistemas marinos. Se construyó una base de datos cuantitativa, cualitativa y espacial sobre la región estudiada entre febrero y abril de 2019, con actualizaciones en marzo y abril de 2020, que se gestionó y analizó desde el entorno SIG con la ayuda del software gratuito QGIS 2.18. La ruptura de las presas de Fundão y Santarém alcanzó los 6.197 km² en la desembocadura del río Doce y la zona costera, afectando los ecosistemas oceánicos y toda la fauna y flora marina. Todavía hay muchas incertidumbres que impregnan este impacto a mediano y largo plazo, así como su efecto sobre la salud de la población.

Palabras clave: Geoprocusamiento, Presa Fundão, Desastre ambiental, Zona costera

Introdução

As barragens, no geral, são construções feitas a fim de armazenar algum material, podendo ele ser água ou rejeitos de minério, por exemplo. De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) (2017), no âmbito da mineração, as barragens são utilizadas para armazenar os rejeitos que são produzidos durante a extração do minério da rocha. Esse rejeito é, geralmente, uma mistura de sólidos em água, que é depositado nas barragens para a decantação desse material sólido e posterior tratamento da água, antes da liberação no meio ambiente ou reuso no sistema (SAMARCO, 2016).

No Brasil, é comum a construção de barragens para diversos fins (*e.g.* armazenamento de rejeito de minério, abastecimento de água, geração de energia), que contribui consideravelmente para o desenvolvimento econômico e social do país, a partir da geração de emprego, tanto nas etapas de construção como no funcionamento e manutenção (CARVALHO *et al.*, 2012; CARVALHO *et al.*, 2017). Contudo, de acordo com Freitas *et al.* (2016), nos últimos 50 anos houve uma crescente exposição da população aos riscos oferecidos por acidentes com essas barragens, além dos danos ambientais que são causados. Estas barragens estão construídas por todo o território brasileiro, entretanto, é no Estado de Minas Gerais onde ocorre a maior concentração delas. De acordo com a Agência Nacional de Mineração (ANM) (BRASIL, 2019), existem atualmente 769 barragens de mineração no Brasil, contudo, desse total apenas 425 se encontram cadastradas na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Dentre as cadastradas, 362 são consideradas de baixo risco, em contrapartida, 219 oferecem alto dano potencial associado (BRASIL, 2019).

Segundo Alves (2015), existem 754 barragens em Minas Gerais, com 317 delas sendo de rejeitos de minério. Desse total classificado como rejeitos de minério, apenas 219 são cadastradas no PNSB (BRASIL, 2019). É um número expressivo de barragens para um estado com, aproximadamente, 586 km² de área (IBGE, 2018). Essa quantidade de barragens de rejeito de minério coloca em risco toda a população que vive no local, além dos riscos indiretos à outras populações, caso ocorram acidentes (CARVALHO *et al.*, 2017; DIAS *et al.*, 2018; PEREIRA *et al.*, 2019).

O rompimento dessas barragens tem potencial de acarretar danos ambientais através de impactos categóricos em diferentes níveis (*e.g.* contaminação dos meios bióticos e abióticos, problemas socioeconômicos das áreas atingidas direta e indiretamente, contaminação dos recursos hídricos continentais além dos ecossistemas terrestres) (DUARTE, 2008; CARVALHO *et al.*, 2017; DIAS *et al.*, 2018; QUEIROZ *et al.*, 2018; MAGRIS *et al.*, 2019). De acordo com Magris *et al.* (2019), um rompimento de barragem de rejeitos de minério será potencialmente danoso, também, aos ecossistemas marinhos costeiros. Esses eventos podem ocorrer por dois principais fatores: fenômenos naturais de grande proporção, que podem ser responsáveis por danificar as estruturas da barragem; ou um planejamento inadequado dessas estruturas, que poderiam entrar em colapso independentemente dos fenômenos naturais, ou seja, uma falha tecnológica (ALVES, 2015). Além disso, Rico *et al.* (2008) afirma que os acidentes ocorrem por um conjunto de causas, das quais se destacam: a deficiência na manutenção das estruturas, a falha no monitoramento contínuo, a elevada taxa de construção de barragens sem os devidos cuidados com a segurança e fiscalização e a sobrecarga no depósito de rejeitos de minério. A partir dessas informações, Alves (2015) classificou os rompimentos de barragens em desastre misto (*i.e.* quando há influência dos fenômenos naturais) ou desastre puramente tecnológico (*i.e.* quando há um erro antrópico associado à construção dessa barragem).

No Brasil, segundo Alves (2015), desastres de barragem de rejeito de minério são os mais recorrentes. No Estado de Minas Gerais, no período de 1986 a 2015, seis barragens de rejeitos de minério se romperam, com consequências distintas, sendo, o mais grave, o rompimento das barragens Fundão e Santarém, localizadas no município de Mariana. Houve, ainda no estado de Minas Gerais, o rompimento da barragem de rejeito de minério 1 da Vale S.A., associada à mina Córrego do Feijão, localizada no

município de Brumadinho. O rompimento ocorreu em 25 janeiro de 2019, deixando, de acordo com o boletim mais recente da Defesa Civil do Estado de Minas Gerais, 259 óbitos e 11 desaparecidos (BRASIL, 2019), valor de óbitos muito maior quando comparado ao desastre de Mariana, que, segundo Alves (2015), foram 19 óbitos.

Este trabalho versa sobre os impactos do rompimento da barragem de Fundão ocorrido em 05 de novembro de 2015. Conhecido como desastre de Mariana este rompimento é considerado um desastre nível IV que significa um desastre de muito grande porte, de acordo com a classificação da Defesa Civil (BRASIL, 2015). Foi o maior desse tipo na história, em termos de quantidade de rejeitos lançados ao meio ambiente e extensão dos danos causados (FREITAS *et al.*, 2016; HATJE *et al.*, 2017).

A barragem do Fundão fazia parte do complexo de barragens localizado no distrito de Bento Rodrigues, junto às demais barragens Germano e Santarém, no município de Mariana (MG) (CARVALHO *et al.*, 2017). Nesse complexo, a barragem de Santarém também foi atingida pela lama de rejeitos liberada pela barragem do Fundão, uma vez que está localizada à jusante da mesma, causando o seu transbordamento, o que formou uma onda de lama a qual percorreu, aproximadamente, 55 km no rio Gualaxo do Norte e desaguou no Rio do Carmo, onde percorreu mais 22 km até o encontro do Rio Doce, ainda no Estado de Minas Gerais (BRASIL, 2015).

A partir desse rompimento, a contaminação de ecossistemas terrestres e aquáticos foi inevitável, sendo, predominantemente por minerais pesados (CARVALHO *et al.*, 2017), definidos como elementos traços que, em condições normais, possuem concentração muito baixa na natureza (OLIVEIRA & HORN, 2006). Quanto à composição desse rejeito, segundo Bianchini (2016), é constituído por óxido de ferro, lama e água, principalmente. De acordo com Ribeiro *et al.* (2012), corpos hídricos contaminados com esses tipos de elementos podem significar risco, tanto para a fauna e flora aquática, quanto para a saúde humana. Além disso, por se tratar de elementos que são facilmente transportados pelos corpos hídricos, podem atingir longas distâncias em curto período, se dispersando facilmente no ambiente aquático devido à sua dinâmica de circulação de massas de água (MAGRIS *et al.*, 2019).

De acordo com Bianchini (2016), o acidente despejou, aproximadamente, 62 milhões de m³ de rejeitos de mineração, que equivale a soma dos dois maiores despejos de rejeitos mundiais já registrados. De acordo com o laudo preliminar emitido em 2015

pelo IBAMA, 16 milhões de m³ seguiram pelo Rio Doce até a sua foz, atingindo o Oceano Atlântico (BRASIL, 2015). A tragédia trouxe grandes prejuízos a população, desde Mariana (MG) até a foz do Rio Doce, no mar de Regência em Linhares (ES). No total, foram atingidos de forma direta, aproximadamente, 660 km de corpos hídricos, além dos ecossistemas costeiros (*e.g.* praias, estuários e manguezais) (DIAS *et al.*, 2018).

O foco principal associado a análise do rompimento da Barragem de fundão deste estudo é a zona costeira, região que possui elevada importância socioeconômica, uma vez que são uma das zonas mais produtivas do planeta (GARRISON, 2010). Segundo o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), elas abrigam diversos ecossistemas que são de alta relevância ambiental e diversidade, encontrando-se em zonas de transição entre o ambiente terrestre e aquático, característica que as tornam frágeis (BRASIL, 1997). São zonas dinâmicas, que estão em constantes mudanças, as quais são influenciadas pelas marés, ação dos ventos, processos erosivos e de deposição de sedimentos, além da influência estuarina (SKINNER, 2017), que fornece, à essas áreas, a capacidade de produção primária.

Do ponto de vista da oceanografia física, o estuário apresenta diferentes densidades das massas de água doce e salina e, a partir disso, são formadas as plumas de rios que fluem sobre a água marinha (LIU *et al.*, 2008), responsáveis pelo transporte de sedimentos e nutrientes presentes nos rios para os oceanos (STACEY *et al.*, 2000). A partir do momento em que a pluma sai do ambiente estuarino, se encontra mais vulnerável às forçantes costeiras (*i.e.* ventos, correntes, variação mareal) que irão definir o comportamento dela (*e.g.* espessura, descolamento da costa, formação de bulge e vórtices) (PEDRUZZI & RIGO, 2011).

Um desastre como o que ocorreu em Mariana, possui impacto diretamente nas zonas costeiras, a partir dos rios, nesse caso do Rio Doce, e lençóis freáticos. Tais impactos, pensando economicamente, foram desde a restrição da pesca até o turismo na região. Além disso, a reprodução da biota associada à região costeira foi afetada (SKINNER, 2017), visto que todas as alterações que ocorrem no meio ambiente podem afetar o equilíbrio ecológico e, para um desastre ambiental desse porte, as consequências ambientais são imensuráveis (CARVALHO *et al.*, 2017).

Nesse cenário, se faz importante verificar a magnitude dos impactos causados pela lama de rejeitos que atingiu o Mar de Regência e, conseqüentemente, o Oceano Atlântico e seus ecossistemas costeiros, bem como, a biota associada. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo analisar os impactos gerados pelo rompimento das barragens do Fundão e Santarém, na foz do Rio Doce, localizada no Mar de Regência, em Linhares (ES) através de revisão sistemática e análise espacial em ambiente SIG, visando evidenciar os impactos da pluma de sedimentos nos ecossistemas marinhos.

Metodologia

Área de estudo

Para a área estudada, delimitou-se os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, buscando entender todo o processo após a lama de rejeitos de minério atingir o Rio Doce e chegar até a foz. Enfatizou-se a zona costeira do Espírito Santo, bem como, seus municípios que podem ser influenciados pela pluma.

A localização da área estudada pode ser visualizada no mapa (Figura 1), destacando-se, em vermelho, a localização das barragens Fundão e Santarém, no município de Mariana (MG) e, em azul, a bacia hidrográfica do Rio Doce, que possui nascente no estado de Minas Gerais e foz no estado do Espírito Santo, desaguando no Oceano Atlântico.

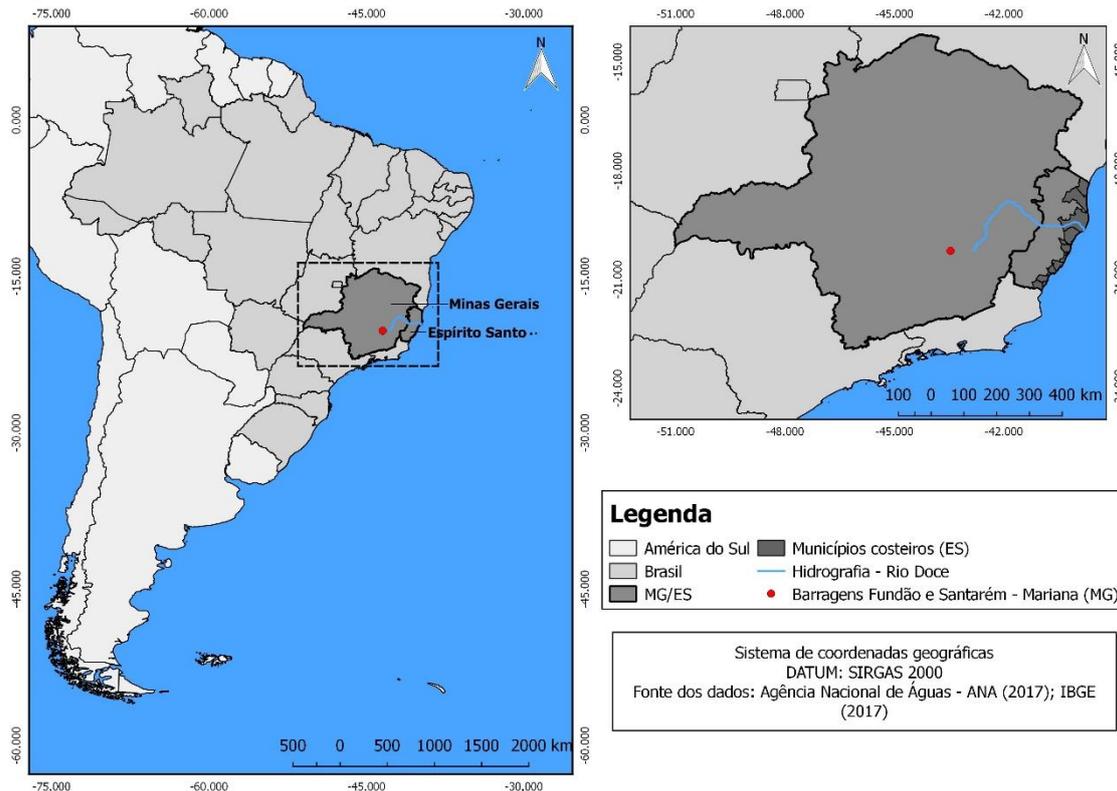
Obtenção e análise de dados

Construiu-se um banco de dados, composto por informações quantitativas, qualitativas e espaciais acerca da região estudada. O banco de dados é um repositório que armazena arquivos de dados, os quais possuem alguma relação entre si, formando uma coleção que podendo ser analisada por um sistema de formas diversas a fim de resultar em informações (DATE, 2004). O banco de dados deste estudo compõe informações originadas de levantamentos sistemáticos de relatórios técnicos emitidos por órgãos ambientais, além dos estudos científicos em bases de dados nacionais e internacionais.

As informações foram coletadas no período de fevereiro a abril de 2019, com atualizações em março e abril de 2020. As informações espaciais foram adquiridas na

base contínua do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) do ano de 2018, incluindo informações de limites territoriais estaduais e municipais, além da rede de drenagem. Foi gerenciado e analisado a partir do ambiente de Sistema de Informações Geográficas – SIG, com auxílio do *software* livre *QGIS 2.18*, para a conversão de informações textuais e geograficamente conhecidas em dados espaciais temáticos.

Figura 1: Localização da área estudada.



Resultados e discussão

Com base nos dados cadastrados no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), presente na plataforma *online* da Agência Nacional de Águas (ANA), foram mapeadas as barragens de contenção de rejeitos de minério ativas até o ano de 2017, quando foi produzido o Relatório Anual de Segurança de Barragens mais recente (BRASIL, 2018), além da classificação a partir da sua grau de risco (Figura 2).

De acordo com os dados fornecidos pelo SNISB (BRASIL, 2018), foram cadastradas 768 barragens de contenção de rejeitos de minério no Brasil, no ano de

2017. A partir do mapa (Figura 2), é possível perceber que essas barragens, em sua maioria, estão classificadas como baixo risco ou não possuem classificação, fator que se torna um problema quando ocorrem os eventos de rompimento dessas barragens, visto que, à medida em que se aumenta o grau de risco de acidentes, seja ele de qualquer natureza, deve-se aumentar, paralelamente, as medidas de segurança, bem como, o treinamento dos funcionários e comunidade que pode vir a ser afetada. Na tabela de classificação de risco das barragens de rejeito de minério (Tabela 1) é possível verificar que 50% do total foi classificada como um risco de nível médio, seguida por 45% não classificada.

Figura 2: Barragens de rejeito de minério no Brasil e suas respectivas classificações de risco.

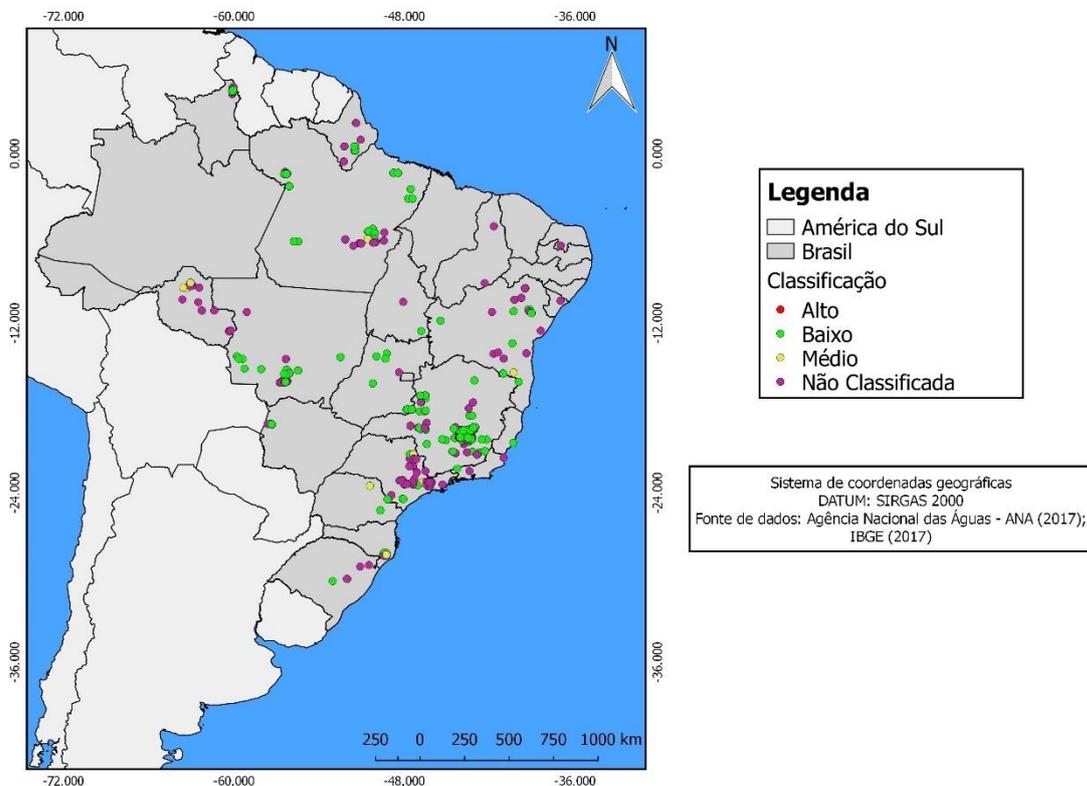
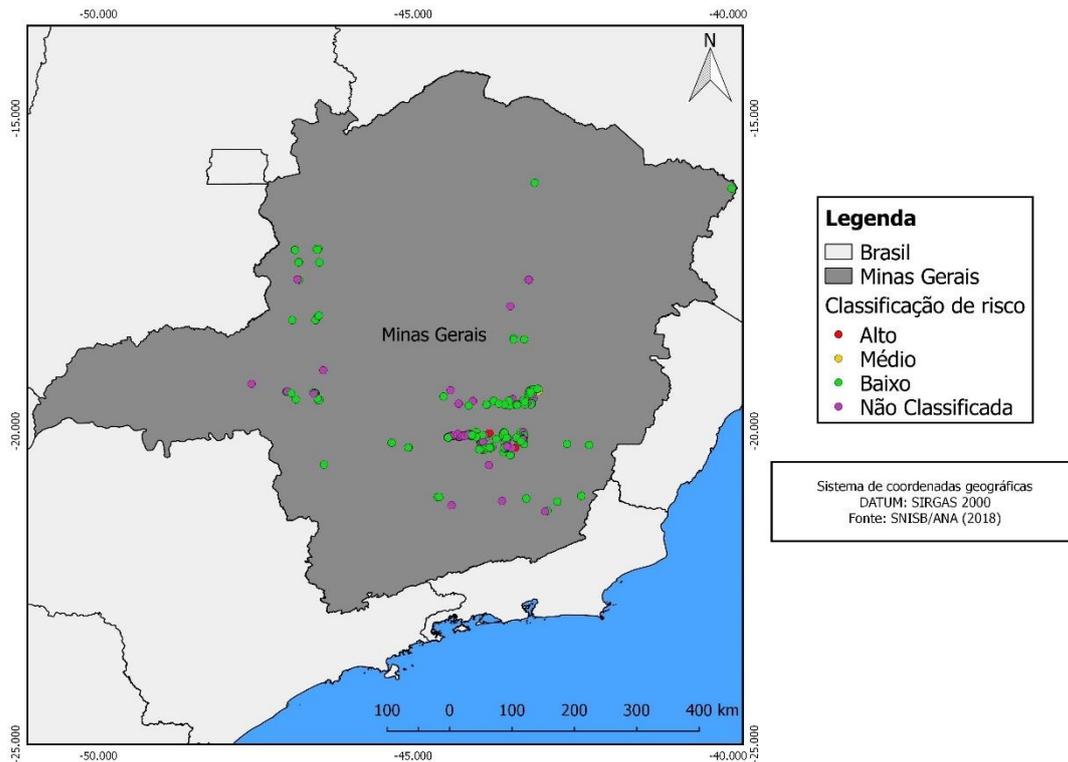


Tabela 1: Classificação de risco das barragens de rejeito de minério no Estado de Minas Gerais. Fonte: BRASIL, 2018.

Classificação	Número de barragens		Percentual (%)	
	BRASIL	MINAS GERAIS	BRASIL	MINAS GERAIS
Baixo	35	206	4,56	60,06
Médio	383	8	49,87	2,33
Alto	7	4	0,91	1,17
Não Classificado	343	125	44,66	36,44
TOTAL	768	343		

Para o Estado de Minas Gerais, foram cadastradas um total de 343 barragens de rejeito de minério, conforme podem ser observadas no mapa (Figura 3), subdividas, também, nas classificações de risco de acordo com a tabela (Tabela 1). Nota-se que 60% das barragens cadastradas possui uma classificação de risco considerada baixa, seguida pelas barragens que estão cadastradas, mas não foram atribuídos níveis de risco, com 36%.

Figura 3: Barragens de rejeito de minério no Estado de Minas Gerais e suas respectivas classificações de risco.

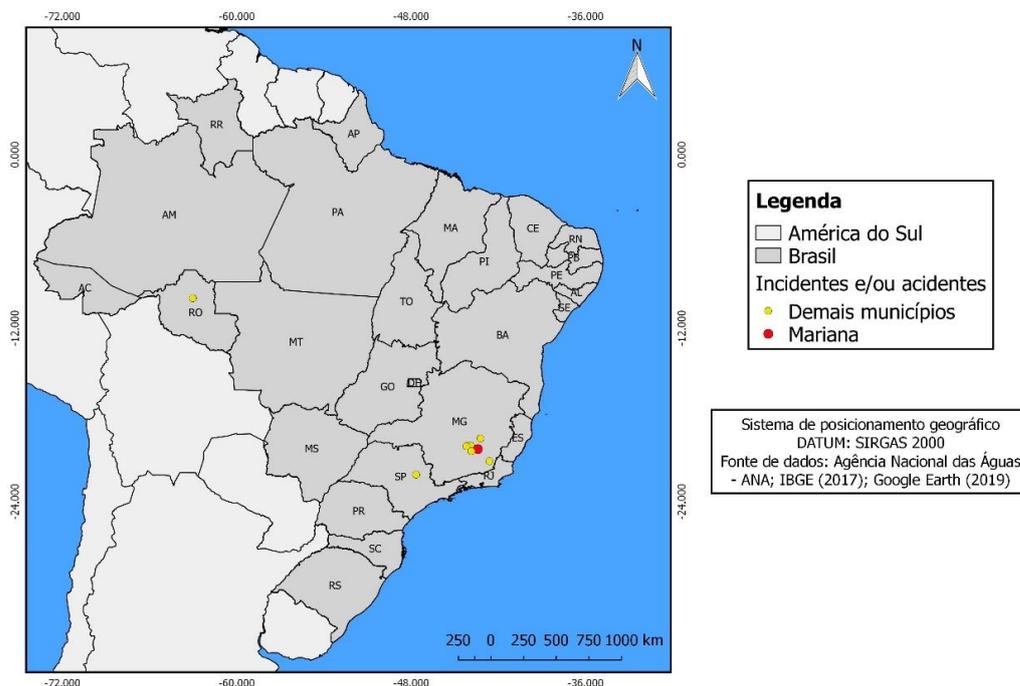


Apesar dessas classificações de acordo com o risco de acidentes, foram contabilizados no Brasil um total de 15 incidentes e acidentes, dispostos na tabela abaixo (Tabela 2) distribuídos em 9 municípios, como pode ser visualizado no mapa (Figura 4). De acordo com a classificação de risco realizada pela SNISB/ANA em 2015, as barragens de rejeito de minério do complexo de Mariana (MG) (*i.e.* Germano, Fundão e Santarém) foram consideradas de baixo risco de acidentes, contudo, como já foi mencionado neste estudo, foi o maior desastre ambiental da história. Além disso, podemos perceber que todos os incidentes ocorridos foram no estado de Minas Gerais, bem como a maioria dos acidentes.

Tabela 1: Acidentes e incidentes com barragens de contenção de rejeitos de minério ocorridos no Brasil.

BARRAGEM	CIDADE	ESTADO	ANO
INCIDENTES			
Santarém	Mariana	MG	2015
Germano	Mariana	MG	2015
Dique B3	Brumadinho	MG	2015
Itabiruçu	Itabira	MG	2015
Conj. de Baías Viga	Congonhas	MG	2017
Conj. de Baías de Viga	Congonhas	MG	2017
Casa de Pedra	Congonhas	MG	2017
ACIDENTES			
Fernandinho	Itabirito	MG	1986
Macacos	Nova Lima	MG	2001
Rio Pomba / Cataguases	Miraí	MG	2007
Analândia	Analândia	SP	2011
Herculano	Itabirito	MG	2014
Fundão	Mariana	MG	2015
Córrego do Feijão	Brumadinho	MG	2019
Novo Oriente	Ariquemes	RO	2019

Figura 4: Acidentes e/ou incidentes com barragens de contenção de rejeitos de minério ocorridos no Brasil.

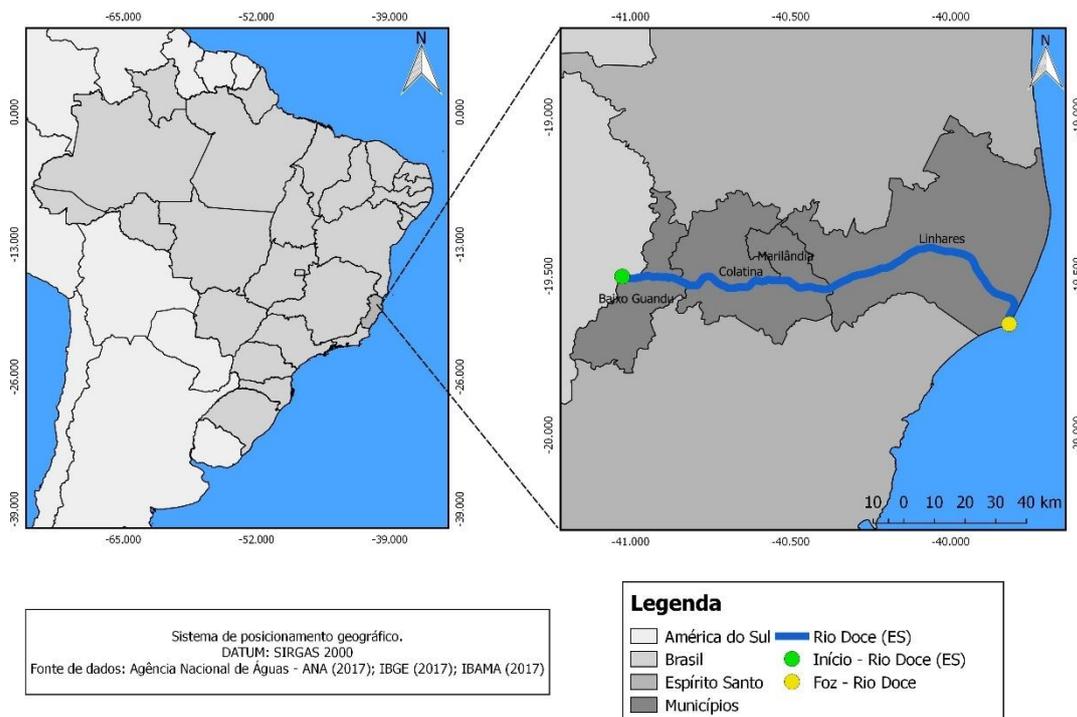


Segundo Alves (2015), Minas Gerais possui muitas cavernas devido a elevada taxa de exploração mineral e, por conta disso, a pressão criada no solo pelo alto volume de água e lama das barragens vai acomodando o terreno e, conseqüentemente,

provocando pequenos abalos sísmicos que não são sentidos pela população, mas danificam as estruturas das barragens. Aliado a isso, é sabido que no mês de novembro o regime de chuvas na região é alto, que somado ao fator anterior, leva ao rompimento dessas barragens.

Como foi veiculado em mídia nacional e internacional, além de publicado por diversos autores brasileiros, a lama do rompimento da barragem do Fundão afetou o Rio Doce, no estado de Minas Gerais, chegando até a sua foz, no Mar de Regência, no estado do Espírito Santo, desaguando no Oceano Atlântico. Podemos ver no mapa (Figura 5) o trajeto que o Rio Doce percorre dentro do estado do Espírito Santo, bem como, os municípios que são cortados pelo mesmo e que, conseqüentemente, foram afetados com o desastre.

Figura 5: Mapa do trajeto do Rio Doce no Estado do Espírito Santo.



De acordo com o relatório realizado por Bianchini (2016), a pluma de sedimentos de maior concentração dessa lama de rejeitos atingiu, aproximadamente, 392 km² na foz do Rio Doce, contudo, considerando a pluma de menor concentração, foi verificado que uma área de, aproximadamente, 6.197 km² foi atingida. Logo, além dos impactos causados em ecossistemas continentais influenciados pelo rio, a pluma de resíduos afetou, ainda, ecossistemas oceânicos e toda a fauna e flora marinha. De acordo com Hatje *et al.* (2017), além do despejo pontual da lama de rejeitos em todo o Rio

Doce e na sua foz, a ressuspensão dos sedimentos depositados, ocasionada seja por correntes, marés meteorológicas ou aumento da intensidade de ventos, resulta em uma contaminação intermitente, mesmo que não haja mais lançamentos da lama de rejeitos.

Uma vez despejada essa lama no oceano, ela está sujeita às ações da circulação de massas de água. A costa brasileira se encontra sob forte influência da Corrente do Brasil, que possui sentido Norte-Sul, e fraca influência da Corrente das Malvinas, que possui sentido Sul-Norte. Além dessas correntes principais, temos as correntes costeiras, que agem próximas da costa e apresentam grande dinâmica. As correntes costeiras são as principais influências nas plumas e, por conta disso, diversos estudos de modelagem foram feitos após o rompimento das barragens de Mariana (PEDRUZZI & RIGO, 2011; MAGRIS *et al.*, 2019), buscando compreender qual seria a dinâmica da pluma sob diversas variáveis distintas e, principalmente, se o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos seria afetado. Sabe-se que, a depender da intensidade e direção do vento, algumas correntes costeiras ganham mais força do que outras e, desse modo, a pluma responde de formas diferentes.

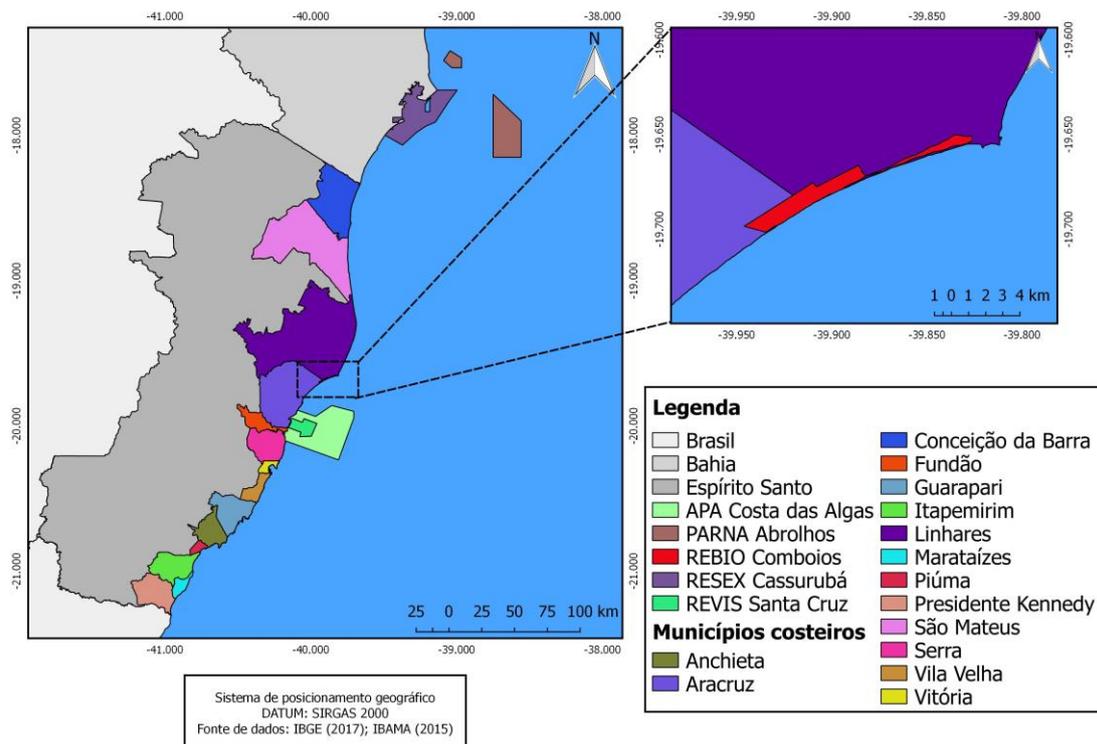
Considerando todos esses fatores apontados, a pluma do Rio Doce que desaguou no mar de Regência, em Linhares (ES) seguiu grande parte para norte, afetando, além dos municípios costeiros do Espírito Santo, o extremo sul do estado da Bahia (Figura 6). Uma pequena parte da pluma, ainda, seguiu para sul da foz do Rio Doce, chegando ao estado do Rio de Janeiro. Devemos salientar a presença de Unidades de Conservação nessa região, como podemos visualizar no mapa (Figura 6), que foram afetadas diretamente pela pluma, sendo elas: RVS de Santa Cruz, REBIO de Comboios e APA Costa das Algas, no Espírito Santo; RESEX de Cassurubá e PARNA Marinho dos Abrolhos, na Bahia (BIANCHINI, 2016).

Em estudos realizados na foz do Rio Doce e áreas adjacentes no oceano Atlântico, foi verificada a contaminação da água, zooplâncton, corais e peixes por metais (*e.g.* Arsênio, Cádmiio, Chumbo e Cobre), que se encontravam acima do permitido pela resolução nº 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005), ocorrendo um gradiente, onde: quanto mais próximo da foz do Rio Doce, maior era a concentração desses metais (BIANCHINI, 2016).

Essa contaminação oferece risco à toda a fauna e flora do local, além dos riscos à população que depende de atividades nos locais contaminados, como os pescadores, por

exemplo. Além de estarem expostos à contaminação pela água, estão suscetíveis à contaminação por via oral, através do consumo desses alimentos contaminados. Nessa situação, foi emitido pelo IBAMA, em 2016, um mapa de proibição de pesca na região da pluma da foz do Rio Doce, como meio de prevenção de contaminação pelo pescado (BRASIL, 2016). Contudo, ainda não se sabe quais os efeitos dessa contaminação à longo prazo, uma vez que a região continua em constante monitoramento.

Figura 6: Municípios costeiros afetados pela pluma de sedimentos proveniente do desastre de Mariana e despejadas pela foz do Rio Doce ao Oceano Atlântico.



Além dos efeitos por contaminação química, devemos considerar o aumento de turbidez por conta das partículas em suspensão que estão presentes nessa lama, o que prejudica diretamente a produção primária local, a partir do bloqueio dos raios solares que são essenciais para a realização da fotossíntese, e consequentemente, toda a teia trófica. É cabível, ainda, salientar a importância do PARNA Marinho de Abrolhos, tanto para a pesca em toda a região costeira do Espírito Santo e da Bahia, por conter diversas espécies de peixes que utilizam o ambiente coralíneo para a sua alimentação e desenvolvimento, quanto a sua importância como berço para diversas espécies coralíneas da região.

Considerações finais

De acordo com o levantamento de barragens de rejeito de minério no Brasil, nota-se uma grande expansão na construção destas estruturas visando um melhor desenvolvimento econômico, entretanto, não há preocupação com a segurança e controle de qualidade de como essas barragens são construídas, o que facilita a ocorrência dos acidentes e incidentes. A grande concentração de barragens no Estado de Minas Gerais, apesar de apresentar inúmeras cavernas, que são consequência da mineração e resultam em um solo instável, evidencia a necessidade de estudos prévios à instalação das mesmas no local, além de maiores cuidados durante o funcionamento.

Pode-se afirmar que não se sabe, ao certo, todos os impactos causados pelo desastre de Mariana (MG), tanto no corpo do Rio Doce, quanto na sua foz. É sabido que houve um grande impacto ambiental, o qual causou contaminação por metal em diversos ecossistemas, além da água, fauna e flora, levando a mortandade de diversos animais, principalmente da ictiofauna. Contudo, há muitas incertezas que permeiam este impacto à médio e longo prazo, além de ainda ser desconhecido o efeito do mesmo em relação à saúde da população.

Por estes motivos, é necessário que o monitoramento dos locais afetados seja contínuo, buscando conhecer as prováveis consequências que ainda podem vir a aparecer.

Referências

ALVES, H. R. (2015). **O rompimento de barragens no Brasil e no mundo: desastres mistos ou tecnológicos.** DOM TOTAL, 18.

BIANCHINI, A. (2016). **Avaliação do impacto da lama/pluma Samarco sobre os ambientes costeiros e marinhos (ES e BA) com ênfase nas Unidades de Conservação.** 1ª Expedição do Navio de Pesquisa Soloncy Moura do CEPsul/ICMBio.

BRASIL. **Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro.** (1997) Disponível em <<https://www.mma.gov.br/destaques/item/8644-plano-nacional-de-gerenciamento-costeiro-pngc>> Acesso em: abril de 2020.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). (2015). **Laudo técnico preliminar.** Disponível em

<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo_tecnico_pr_eliminar_Ibama.pdf> Acesso em abril de 2019.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). (2016). **Mapa de área de proibição de pesca na costa do Espírito Santo**. Disponível em < http://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/mapas-areas-proibicao-pesca/2016-06-nova_area_proibicao_pesca_rio_doce.pdf> Acesso em abril de 2019.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). (2016). **Relatório de segurança de barragens 2015**. Brasília.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). (2018). **Relatório de segurança de barragens 2017**. Brasília.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2018) Minas Gerais. Disponível em < <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg.html?>> Acesso em abril de 2019.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração. (2019) **Classificação de barragens de mineração**. Plano Nacional de Segurança de Barragens. Disponível em < <http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/pasta-classificacao-de-barragens-de-mineracao/plano-de-seguranca-de-barragens>> Acesso em: abril de 2020.

BRASIL. **Defesa Cvil do Estado de Minas Gerais**. (2019) Disponível em <<http://www.defesacivil.mg.gov.br/index.php/component/gmg/page/787-informacoes-do-desastre-barragem-de-rejeitos-em-brumadinho-28-12-19>> Acesso em: abril de 2020.

CARVALHO, C. G.; SILVA, J. M.; CURI, A.; FLORES, J. C. C. (2012) **A dependência da arrecadação do município de Ouro Preto do setor mineral**. Rem: Revista Escola de Minas, v. 65, n. 3, p. 385-392.

CARVALHO, M. S.; MOREIRA, R. M.; RIBEIRO, K. D.; ALMEIDA, A. M. (2017) **Concentração de metais no rio Doce em Mariana, Minas Gerais, Brasil**. Acta Brasiliensis, v. 1, n. 3, p. 37-41.

CONAMA. (2005) **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, v. 357.

CORREIA, L. J. H.; FERNANDES, A. J. D.; LÚCIO, M. M. L. M.; TOMAZ, J. K. O.; HONORATO, M. B.; CARNEIRO, E. N. (2015) **Monitoramento da qualidade físico-química da água do estuário do Rio Paraíba–Cabedelo, PB**. Revista Principia, v. 27, p. 47-54.

COSTA, V. F.; OLIVEIRA, A. F. S.; FRANÇA, B. S.; MORAES, L. E. (2017) **Composição e abundância de peixes em zonas rasas do litoral de Porto Seguro, Bahia, Brasil**. Anais EBI - XXII Encontro Brasileiro de Ictiologia, Porto Seguro – BA.

DATE, C. J. (2004) **Introdução a sistemas de bancos de dados**. Elsevier Brasil.

DIAS, C. A.; COSTA, A. S. V.; GUEDES, G. R.; UMBELINO, G. J. M.; SOUSA, L. G.; ALVES, J. H.; SILVA, T. G. M. (2018) **Impactos do rompimento da barragem de Mariana na qualidade da água do rio Doce**. Revista Espinhaço. UFVJM, p. 21-35.

DNPM. (2017) **Portaria nº 70.389 de 17 de maio de 2017**. Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério de Minas e Energia, Brasília.

DUARTE, A. P. (2008) **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. 130p.

FREITAS, C. M. D., SILVA, M. A. D., & MENEZES, F. C. D. (2016). **O desastre na barragem de mineração da Samarco: fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres**. Ciência e Cultura, 68(3), 25-30.

GARRISON, T. (2010) **Fundamentos de oceanografia**. Cengage Learning.

HATJE, V.; PEDREIRA, R. M.; REZENDE, C. E.; SCHETTINI, C. A. F.; SOUZA, G. C.; MARIN, D. C.; HACKSPACHER, P. C. (2017). **The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide**. Scientific reports, 7(1), 1-13.

LIU, W. B.; CHEN, W. B.; CHENG, R. T.; HSU, M. H. (2008) **Modelling the impact of wind stress and river discharge on Danshuei River plume**. Applied Mathematical Modelling, v. 32, n. 7, p. 1255-1280.

LOPES, L. M. N. (2016). **O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais**. Sinapse Múltipla, 5(1), 1.

MAGRIS, R. A.; MARTA-ALMEIDA, M.; MONTEIRO, J. A. F.; BAN, N. C. (2019) **A modelling approach to assess the impact of land mining on marine biodiversity: Assessment in coastal catchments experiencing catastrophic events (SW Brazil)**. Science of The Total Environment, v. 659, p. 828-840.

OLIVEIRA, M. R.; HORN, A. H. (2006) **Comparação da concentração de metais pesados nas águas do Rio São Francisco em Três Marias, desde 1991 até hoje, relacionando a atuação da cmm-três marias**. Geonomos,

PEDRUZZI, C. V.; RIGO, D. (2011) **Simulação computacional da pluma do Rio Doce e uso de imagens de satélite para avaliar resultados**. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Anais [...] Maceió.

PEREIRA, L. F.; CRUZ, G. B.; GUIMARÃES, R. M. F. (2019) **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.

QUEIROZ, H. M.; NÓBREGA, G. N.; FERREIRA, T. O.; ALMEIDA, L. S.; ROMERO, T. B.; SANTAELLA, S. T.; BERNARDINO, A. F.; OTERO, X. L. (2018) **The Samarco mine tailing disaster: a possible time-bomb for heavy metals contamination?** Science of the Total Environment, v. 637, p. 498-506.

RIBEIRO, E. V.; MAGALHAES JÚNIOR, A. P.; HORN, A. H.; TRINDADE, W. M. (2012) **Metais pesados e qualidade da água do Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora-MG: Índice de contaminação.** Geonomos, RICO, M.; BENITO, G.; SALGUEIRO, A.R.; D'IEZ-HERRERO A.; PEREIRA, H.G. (2008). **Reported tailings dam failures. A review of the european incidentes in the worldwide context.** Journal of Hazardous Materials, vol.152, pp.846–852.

SAMARCO. (2016). **O que é uma barragem?** Disponível em <<https://www.samarco.com/wp-content/uploads/2016/08/o-que-e-uma-barragem.pdf>>. Acesso em abril de 2019.

SKINNER, L. F. (2017). **Gerenciamento ambiental marinho.** Diversidade e Gestão 1(1): 145-162.

STACEY, M. T.; COWEN, E. A.; POWELL, T. M.; DOBBINS, E.; MONISMITH, S. G.; KOSEFF, J. R. (2000) **Plume dispersion in a stratified, near-coastal flow: measurements and modeling.** Continental Shelf Research, v. 20, n. 6, p. 637-663.