

Impactos do rompimento da barragem de Mariana na qualidade da água do rio Doce

Carlos Alberto Dias*
Alexandre Silvio Vieira da Costa**
Gilvan Ramalho Guedes***
Glaucio Jose de Matos Umbelino****
Leonardo Gomes de Sousa*****
Janete Higino Alves*****
Thamires Gabriele Macedo Silva*****

* Psicólogo (FDB). Mestre em Psicologia (Universit  de Picardie Jules Verne). Doutor em Psicologia (Universit  de Picardie Jules Verne). Professor da UFVJM.

** Engenheiro Agrônomo (UFRRJ). Mestre em Fitotecnia (UFRRJ). Doutor em Fitotecnia (UFV). Professor da UFVJM.

*** Graduado em Ciências Econ micas (Newton de Paiva). Doutor em Demografia (Cedeplar/UFMG). Professor da UFMG.

**** Geógrafo (UFMG). Mestre em Demografia (Cedeplar/UFMG). Doutor em Demografia (Cedeplar/UFMG). Professor da UFVJM.

***** Designer (xxx). Mestre em Gestão Integrada do Território (Univale). Doutor em Demografia (Cedeplar/UFMG). Professor da Faculdade Pitágoras.

***** Graduada em Farmácia (UFJF)

***** Graduada em Ciências Biológicas (UFVJM)

Resumo O rompimento da Barragem de Fundão, ocorrido em 05/11/2015, lançou no ambiente trinta e cinco milhões de m³ de rejeitos de minera o de ferro, afetando a qualidade da água devido ao volume de sólidos em suspensão. Considerando a importância do cuidado   saúde, este artigo utiliza séries temporais sobre concentra es de metais tóxicos nas águas do Rio Doce nos períodos anterior e posterior ao acidente, identificando as concentra es de metais em fun o do distanciamento temporal da ocorrência do desastre. Embora tenham sido identificados períodos de maior e menor toxicidade, os resultados apontam para um rápido retorno aos parâmetros de metais dissolvidos na água anteriores ao desastre, os quais já se encontravam acima dos limites legais estabelecidos. Devido aos possíveis agravos   saúde e   necessidade de se garantir a dessedenta o sem risco, o monitoramento das concentra es destes metais deve continuar objeto de aten o no processo convencional de tratamento de  gua.

Palavras-chave: Rio Doce, desastre ambiental, metais tóxicos, qualidade da água, saúde humana.

1. Introdu o

Com o rompimento da Barragem de Fundão, localizada no distrito de Bento Rodrigues (Mariana-MG), ocorrido na tarde do dia 05/11/2015, foram lançados no ambiente aproximadamente trinta e cinco milhões de m³ de rejeitos de minera o de ferro, sendo dezesseis carreados pelo rio Doce em dire o ao mar. Estes, além de comprometer 663,2 km do rio Doce nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo exerceu impactos sobre o estuário e região costeira de influência deste recurso hídrico. O resíduo da barragem, classificado como não perigoso e não inerte para ferro e manganês conforme NBR 10.004 provocou, em sua passagem, impactos sobre a vegeta o natural e áreas de Preserva o Permanente (APP), a ictiofauna e a qualidade da água, além de evidentes repercussões socioecon micas (IBAMA, 2015, Porto, 2016; Lacaz *et al.*, 2017; Espindola HS, Ferreira NM, Mifarreg IEG, 2017).

Quarenta minutos após o rompimento da barragem, a lama percorreu 10 km até chegar ao Distrito de Bento Rodrigues e,

em 12 segundos, destruiu 80% de suas 257 constru es, deixando 329 famílias desabrigadas e 19 pessoas mortas. Em seguida, nos 77 km percorridos até a foz do rio do Carmo, foram destruídas edifica es, pontes, vias e demais equipamentos urbanos. Graças aos efeitos degressivos, os municípios banhados pelos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce foram afetados em diferentes intensidades. Os aglomerados urbanos que não possuíam fontes alternativas de capta o de água tiveram o abastecimento interrompido, criando transtornos às popula es, insegurança e como o midiática (G1, 2016; JORNAL UNICAMP, 2016; O GLOBO, 2017).

Quanto aos impactos sobre a vegeta o natural e às APP, a lama destruiu 1.469 hectares ao longo de 77 km do curso d'água, incluindo áreas de preserva o permanente, a exemplo das matas ciliares. Ademais, os resíduos soterraram árvores de menor porte do sub-bosque, suprimindo indivíduos arbóreos e afetando o pH do solo, de modo a torná-lo mais propício às espécies invasoras. Deste fato, para o restabelecimento das características originais da vegeta o

será necessária a implantação de Planos de Recuperação de Áreas Degradadas, sobretudo para ecossistemas impactados com baixa ou nenhuma resiliência (IBAMA, 2015; Espíndola *et al.*, 2016).

Os impactos sobre a ictiofauna decorrem das múltiplas consequências geradas pelo carreamento da lama pelos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce, dentre as quais vale citar: a destruição de habitats; soterramento de lagoas e nascentes adjacentes ao leito dos rios afetados; e, destruição da vegetação ripária/aquática, de áreas de reprodução de peixes e de reposição da ictiofauna. Como agravante tem-se a mortandade de espécimes em toda a cadeia trófica incluindo 11 espécies ameaçadas da Bacia Hidrográfica do Rio Doce e 12 espécies que lhe são endêmicas (IBAMA, 2015; Espíndola *et al.*, 2016; Lacaz, Porto, Pinheiro, 2017).

O rompimento da barragem afetou os seguintes aspectos referentes a qualidade da água: turbidez, devido ao volume de sólidos em suspensão; os parâmetros físico-químicos e a concentração de metais. A elevação dos níveis de concentração de metais exerce efeitos tóxicos na vida aquática e nos humanos e animais via processo de dessedentação e magnificação biológica. Com o carreamento do rejeito, materiais que estavam sedimentados no fundo do rio, oriundos, por exemplo, de atividades garimpeiras desenvolvidas ao longo de séculos, foram colocados em suspensão causando mudanças ainda mais significativas sobre os parâmetros de qualidade da água (IBAMA, 2015).

Em função da importância da qualidade água na sobrevivência e saúde das espécies humanas e animais, o presente artigo tem por objetivo expor as concentrações dos metais nas águas do rio Doce e identificar os períodos de maior e menor toxicidade em função do distanciamento temporal da ocorrência do desastre. O estudo busca ainda descrever os metais que, para garantir a dessedentação sem risco, devem continuar a ser objeto de atenção no processo convencional de tratamento de águas.

2. Método

Este artigo utiliza séries temporais sobre concentrações de metais tóxicos nas águas do rio Doce nos períodos anterior e posterior ao acidente, identificando as concentrações de metais em função do distanciamento temporal da ocorrência do desastre. Para isto, foram considerados artigos disponíveis na Web relacionados ao acidente e relatórios técnicos de acompanhamento da qualidade das águas do rio, publicados após o desastre.

Para a elaboração dos referidos relatórios, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) se pautou nos dados de monitoramento do programa Águas de Minas coletados no período de 30/07/1997 a 04/11/2015, e nas coletas realizadas a partir do desastre, período de 07/11/2015 a 07/12/2017. Desta forma, o conhecimento das concentrações dos metais traços existentes ao longo do primeiro período de coleta indicado possibilitou uma verificação, com base em dados confiáveis, do quanto o desastre impactou na qualidade da água não só imediatamente após sua ocorrência, mas também ao longo dos 25 meses que se seguiram.

As amostras para análise foram extraídas nas 14 estações de monitoramento coincidentes com o programa Águas de Minas, estando 12 localizadas na calha do rio Doce e duas em seus afluentes: Rio do Carmo e Rio Gualaxo do Norte. Aquelas da calha do rio Doce tomaram como referência sua extensão no território mineiro até o município de Aimorés, localizado na divisa dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

Conforme apresentado na Tabela 1, as estações foram agrupadas em trechos para melhor descrição dos efeitos causados na qualidade das águas após o rompimento da Barragem de Fundão. A Figura 1 demonstra a posição geográfica das estações de monitoramento em relação ao fluxo do rio Doce e a posição de algumas cidades da bacia.

Trechos	Estações	Município	Descrição	Latitude (S)	Longitude (W)
Afluentes do rio Doce	RD011	Barra Longa	Rio Gualaxo do Norte próximo de sua foz no rio do Carmo, município de Barra Longa	20° 17' 9,81"	43° 3' 57,02"
	RD071	Barra Longa	Rio do Carmo em Barra Longa	20° 16' 58,0"	43° 01' 56,00"
Montante de Candonga	RD072	Rio Doce	Rio Doce no município de Rio Doce	19° 14' 51,00"	42° 53' 07,00"
Candonga-Baguari	RD019	Rio Casca e São Domingos do Prata	Rio Doce entre os municípios de Rio Casca e São Domingos do Prata	20° 0,1' 18,0"	42° 45' 0,80"
	RD023	Mariélia e Pingo d'Água	Rio Doce entre os municípios de Mariélia e Pingo D'Água	19° 45' 35"	42° 29' 0,600"
	RD033	Belo Oriente	Rio Doce no município de Belo Oriente	19° 19' 38,93"	42° 22' 32,97"
	RD035	Ipatinga	Rio Doce no município de Ipatinga	19° 29' 18,99"	42° 29' 38,99"
	RD083	Periquito	Rio Doce logo a jusante do município de Periquito	19° 5' 42,19"	42° 9' 17,1"
GV-Aimorés	RD044	Governador Valadares	Rio Doce na cidade de Governador Valadares	18° 53' 0"	41° 57' 10,00"
	RD045	Governador Valadares	Rio Doce no município de Conselheiro Pena	18° 51' 36,19"	41° 50' 1,35"
	RD053	Tumiritinga	Rio Doce no município de Tumiritinga	18° 58' 10,19"	41° 38' 49,39"
	RD058	Conselheiro Pena	Rio Doce no município de Conselheiro Pena	19° 9' 58,84"	41° 27' 35,69"
	RD059	Resplendor	Rio Doce no município de Resplendor	19° 20' 45,71"	41° 14' 19,49"
RD067	Aimorés	Rio Doce no município de Aimorés	19° 30' 20,00"	41° 0' 47,00"	

Tabela 1: Descrição das estações de monitoramento dos parâmetros de qualidade da água do rio Doce, agrupadas por trecho
Fonte: IGAM, maio de 2018.

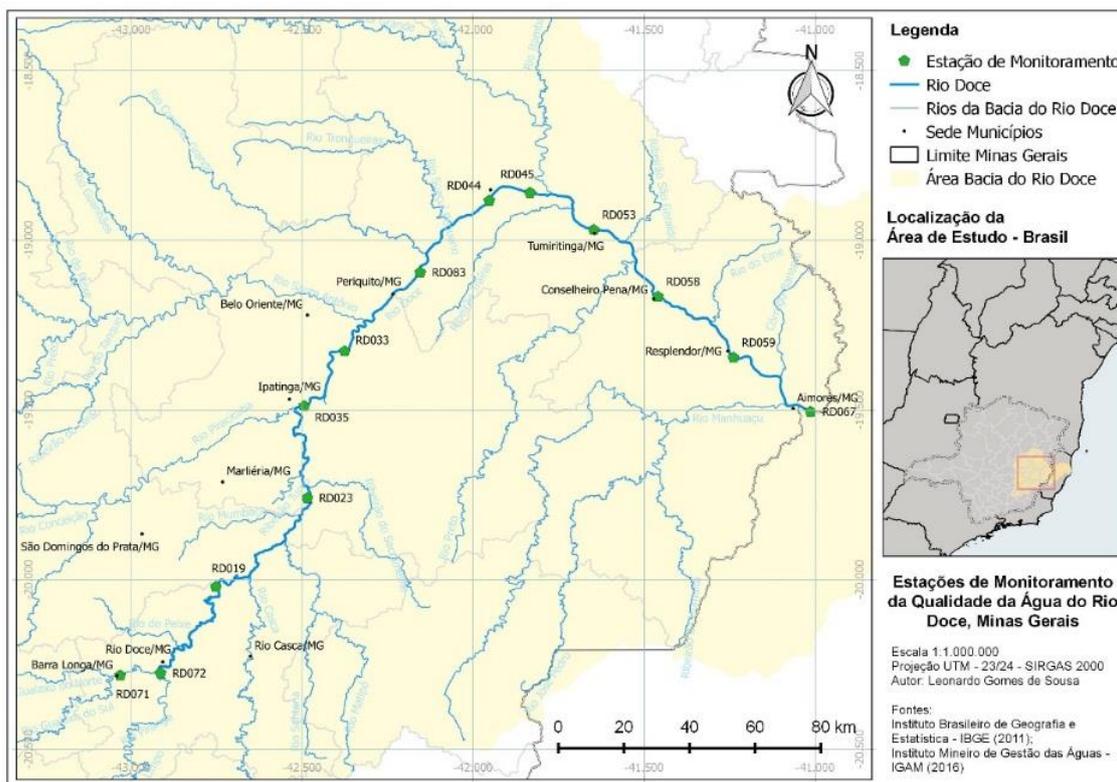


Figura 1: Estações de monitoramento dos parâmetros de qualidade da água do rio Doce, Minas Gerais, 2018.
 Fonte: IBGE (2011); IGAM (2016).

Foram selecionados para este trabalho os parâmetros de metais tóxicos que contêm limites estabelecidos pelas legislações federal e estadual vigentes, de maneira a permitir avaliar os resultados da análise para o contexto dos limites legais.

Os Parâmetros inorgânicos avaliados foram: alumínio dissolvido (mg/L), arsênio total (mg/L), cádmio total (mg/L), chumbo total (mg/L), cobre dissolvido (mg/L), cromo total (mg/L), ferro dissolvido (mg/L), manganês total (mg/L), mercúrio total (mg/L), níquel total (mg/L), zinco total (mg/L).

3. Resultado e Discussão

O rio Doce e seus afluentes nas regiões de algumas cabeceiras sofre historicamente com o processo de impacto nos recursos hídricos devido as atividades de mineração. O rompimento da barragem de Fundão da empresa Samarco/BHP na região de Mariana causou grande impacto ambiental, em especial sobre os recursos hídricos.

No dia seguinte ao desastre, foi iniciado um plano de coleta de amostras com o objetivo de avaliar a qualidade das águas do rio Doce, tendo por foco a verificação das concentrações de Arsênio total e dos metais Alumínio dissolvido, Cádmio total, Chumbo total, Cobre dissolvido,

Cromo total, Ferro dissolvido, Manganês total, Mercúrio total, Níquel total e Zinco total.

Embora o termo “metais pesados” seja amplamente utilizado, de fato, o mais correto seria denominá-los por *metais traço*, pelo fato de estarem presentes nas águas superficiais em baixas concentrações. Embora muitos destes elementos sejam necessários aos diversos organismos, em altas concentrações tornam-se tóxicos, danificando os sistemas biológicos devido suas características biocumulativas (Celere *et al.*, 2007).

Vale salientar que a toxicidade de um metal é dependente de alguns fatores como: dose ou tempo de exposição; forma física e química; via de administração/absorção e tipo de interação mantida com o organismo. A Tabela 2 apresenta sumariamente algumas informações sobre esses metais indicando sua utilização, nível de tolerância, efeitos e sintomas provocados pelo acúmulo no organismo (Fernandes e Mainier, 2014).

A partir do registro das concentrações dos metais traço na água em diferentes pontos do rio Doce até a divisa com o Estado do Espírito Santo na região do município de Aimorés, comparamos os picos de elevação antes e após o rompimento indicadas na Tabela 3, apresentando-os graficamente de forma individual.

Metais	Utilização	Tolerância	Efeitos do acúmulo	Sintomas	Referência
Arsênio	Efluentes de indústria de eletrônicos; mineração de mercúrio; cobres, zinco e de pesticidas.	0,01 mg/L	Reage com grupo SH de proteínas.	Deposita-se na ceratina. Intoxicação aguda: vasodilatação e edemas generalizados; Intoxicação crônica: aumento do risco de câncer de pele, pulmão e fígado.	Borba, Figueiredo e Cavalcanti, 2004; CONAMA, 2005; Filho, 2018
Alumínio dissolvido	Tratamento de água.	0,2 mg/L	Nocivo ao Sistema Nervoso Central.	Quando agudo: agitação, confusão mental, mioclonia, convulsão, distúrbio da fala, ... Quando crônico: constipação intestinal, anorexia, cefaleia, ataxia, perda da memória, hiperatividade, ...	Dantas <i>et al.</i> , 2007
Cádmio total	Indústria de plásticos, tintas, baterias e ligas metálicas em processo de galvanização.	0,001 mg/L	Interfere no sistema respiratório.	Intoxicação aguda com pó ou vapores: edema pulmonar; Intoxicação crônica: fibrose peribronquial e enfisema pulmonar.	Fernandes e Mainier, 2014; Rigueti <i>et al.</i> , 2015; Filho, 2018
Chumbo total	Tintas, soldas, baterias	0,01 mg/L	Reage com proteínas alterando sua função	Sistema Nervoso Central: encefalopatia saturnina, neuropatia periférica desmielinizante; Medula óssea: anemia com inclusões basofílicas; Rins: nefropatia tubular.	Moreira e Moreira, 2004; Brasil, 2011; Filho, 2018
Cobre dissolvido	Indústria, construção civil, radiadores de automóveis, ligas e fios elétricos.	2 mg/L	Esgotamento do zinco, redução de vitaminas A e C e alterações metabólicas	Dores musculares, distúrbio no aprendizado, depressão e fadiga.	Nagashima <i>et al.</i> , 2009; Brasil, 2011
Cromo Total	Preparação de ligas na indústria.	0,05 mg/L	Morte por lesões múltiplos órgãos.	Irritação do trato gastrointestinal, úlceras, diarreia, indigestão e êmese.	Gomes, Rogero, Tirapegui, 2005; Brasil, 2011
Ferro Dissolvido	Obtenção do aço, catalizador de processos químicos, fabricação de produtos diversos.	0,3 mg/L	Hemocromatose	Lesão hepática, lesão cardíaca, diabetes, disfunção sexual e dores articulares.	Picanço, Lopes, Souza, 2002; Brasil, 2011
Manganês Total	Fabricação de aços especiais, produção de pilhas e vidros.	0,1 mg/L	Compromete o trato respiratório e o cérebro, impede a atuação do ferro na produção da hemoglobina, gera danos aos testículos causando impotência	Alucinações, amnésia, insônia, irritabilidade, apatia, dor de cabeça e fraqueza nas pernas.	Nagashima <i>et al.</i> , 2009; Brasil, 2011
Mercúrio total	Defensores agrícolas, indústria de eletrônicos, mineração de ouro e celulose.	0,001 mg/L	Reage com grupos SH de proteínas alterando sua função.	Síndromes neurastêmicas, neurológicas progressivas e de acrodinias.	Morgano <i>et al.</i> , 2005, Brasil, 2011; Filho, 2018
Níquel total	Fabricação de baterias, pigmentos e revestimento de superfícies metálicas.	0,07 mg/L	Agente cancerígeno das vias respiratórias.	Aumento das imunoglobulinas, dermatoses, dermatites de contato, alergias, náuseas, vômitos, palpitação, fraqueza, vertigens, dor de cabeça.	Duarte e Pasqual, 2000; Nagashima <i>et al.</i> , 2009; Brasil, 2011
Zinco total	Produção de baterias. Fertilizantes, rodas de veículos, composição de cosméticos.	5,0 mg/L	Distúrbios gastrointestinais.	Diarreia, danos ao pâncreas e anemia.	Cruz, 2011; Brasil, 2011

Tabela 2: Metais tóxicos: utilização, tolerância, efeitos e sintomas provocados pelo acúmulo no organismo
Fonte: Elaboração própria.

Parâmetros	COPAM/CERH-MG Limite de parâmetros para águas Classe 2	1º trecho – Afluentes do rio Doce					2º trecho - Rio Doce a montante de Candonga						
		Antes do evento	Após o evento				Antes do evento	Após o evento					
			nov2015-mar2016	abr2016-set2016	out2016-mar2017	abr2017-set2017		out2017-dez2017	nov2015-mar2016	abr2016-set2016	out2016-mar2017	abr2017-set2017	out2017-dez2017
Arsênio Total (mg/L)	0,01 mg/L	0,0393	0,0036	<0,001	0,0044	0,0030	0,0065	0,0244	0,0244	0,0013	0,0032	0,0012	0,0026
Alumínio Dissolvido (mg/L)	0,1 mg/L	0,2090	1,0350	0,1060	0,1410	0,0690	0,1610	0,1710	2,3900	0,1010	0,2010	0,0470	0,1280
Cádmio Total (mg/L)	0,001 mg/L	0,0005	0,0008	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Chumbo Total (mg/L Pb)	0,01 mg/L	0,0136	0,4460	0,0134	0,0134	<0,005	0,0112	0,0139	0,0563	<0,005	<0,0068	<0,005	0,0134
Cobre dissolvido (mg/L)	0,009 mg/L	0,0083	0,0400	0,0284	<0,004	<0,004	<0,004	0,0055	<0,004	0,0258	<0,004	<0,004	<0,004
Cromo total (mg/L)	0,05 mg/L	0,0400	0,2460	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	0,0400	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Ferro dissolvido (mg/L)	0,3 mg/L	0,2790	2,6200	0,8060	0,3920	0,1432	0,3170	0,5380	6,7580	0,6930	0,6930	0,1479	0,2710
Manganês Total (mg/L)	0,1 mg/L	1,6546	103,8000	0,7240	2,2140	0,1150	2,7230	1,5200	15,0100	0,1650	1,1210	0,0505	2,3160
Mercúrio Total (µg/L)	0,2 µg/L	0,2000	0,8890	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	0,2000	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Níquel Total (mg/L)	0,025 mg/L	0,0111	0,1440	<0,004	0,0087	<0,004	0,0079	0,0193	0,0193	<0,004	0,0064	<0,004	0,0149
Zinco Total (mg/L)	0,18 mg/L	0,0597	0,1440	<0,004	0,0087	<0,02	<0,02	0,0740	0,0238	<0,004	0,0064	<0,02	0,0233

Parâmetros	COPAM/CERH-MG Limite de parâmetros para águas Classe 2	3º trecho – Candonga-Baguari					4º trecho - Governador Valadares a Aimorés						
		Antes do evento	Após o evento				Antes do evento	Após o evento					
			nov2015-mar2016	abr2016-set2016	out2016-mar2017	abr2017-set2017		out2017-dez2017	nov2015-mar2016	abr2016-set2016	out2016-mar2017	abr2017-set2017	out2017-dez2017
Arsênio Total (mg/L)	0,01 mg/L	0,0280	0,0974	0,0013	0,0030	0,0015	0,0030	0,0073	0,0363	<0,001	0,0021	<0,001	0,0037
Alumínio Dissolvido (mg/L)	0,1 mg/L	0,3040	32,2000	0,2400	0,2570	0,2710	1,5160	3,1180	10,5500	0,1320	0,4470	0,9290	0,2950
Cádmio Total (mg/L)	0,001 mg/L	0,0015	0,0158	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0012	0,0346	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Chumbo Total (mg/L Pb)	0,01 mg/L	0,0480	1,6500	<0,005	0,0117	<0,005	0,0375	0,0670	0,4420	<0,005	0,0306	<0,005	0,0678
Cobre dissolvido (mg/L)	0,009 mg/L	0,4110	0,6750	0,2170	<0,004	<0,004	<0,004	0,0120	0,0157	0,2310	<0,004	0,0084	0,0375
Cromo total (mg/L)	0,05 mg/L	0,0700	2,8630	<0,04	<0,04	0,0510	<0,04	0,0900	0,3200	<0,04	<0,04	<0,04	0,0540
Ferro dissolvido (mg/L)	0,3 mg/L	0,5100	32,2600	2,0790	0,5630	0,3130	1,2410	2,0700	8,6150	0,2870	0,5480	0,5430	0,3020
Manganês Total (mg/L)	0,1 mg/L	1,2050	936,0000	0,9950	0,9380	0,1420	0,0993	0,6740	67,2000	0,1045	0,6800	0,0600	0,9200
Mercúrio Total (µg/L)	0,2 µg/L	0,2000	0,2390	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	0,2500	0,5290	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Níquel Total (mg/L)	0,025 mg/L	0,0280	2,2800	0,0077	0,0089	0,0046	0,0273	0,0242	0,2500	<0,004	0,0184	<0,004	0,0140
Zinco Total (mg/L)	0,18 mg/L	0,6100	2,2800	0,0102	0,0089	0,0352	0,0640	0,2700	0,2160	0,0046	0,0948	0,0396	0,1327

Tabela 3: Concentrações máximas registradas de arsênio total e metais pesados nos trechos mineiros do rio Doce, por período climático*.
Fonte: IGAN, maio de 2018.

* Em vermelho: concentrações que violam os padrões estabelecidos como limites para águas de classe 2. As coletas após o evento foram realizadas no período de 07/11/2015 a 07/12/2017.

No Gráfico 1, são apresentados os picos de concentração de arsênio. Verificamos que antes do rompimento da barragem, foram detectados picos deste metal acima do preconizado pela resolução CONAMA 357 que determina os limites máximos deste elemento nas águas dos mananciais hídricos para que possam ser utilizados como fonte de captação e abastecimento Classe II. Estes picos foram constatados até a região da UHE Baguari, região do médio rio Doce. No último trecho avaliado entre o município de Governador Valadares até a região do município de Aimorés, não foram verificados picos elevados dos níveis de arsênio nos 18 anos de avaliação antes do rompimento da barragem.

Os reduzidos valores de arsênio neste último trecho e consequentemente, o mais distante dos pontos de contaminação, podem ser explicados pelo fator diluição devido as dezenas de afluentes que deságuam no rio Doce ao longo de seu trecho. Comparando a região do município de Rio Doce, onde o rio Doce inicia, até a região de Aimorés, a sua vazão tem um aumento superior a 500% na sua vazão $Q_{95\%}$ (vazão média em 95% do tempo). Após o rompimento da barragem de rejeitos, verificamos picos extremamente elevados dos valores de arsênio como era esperado, com exceção dos valores deste elemento próximo a zona de maior impacto.

Podemos deduzir que a coleta de amostras de água dos rios afluentes do Doce realizadas no período imediatamente após o rompimento não ocorreu de forma muito imediata. Contudo, o fato deste elemento ter se movimentado juntamente com o fluxo hídrico do rio Doce ao longo de todo seu percurso, e ainda com a redução da velocidade de movimento e acúmulo nas regiões das barragens, principalmente de UHE Candonga, UHE Baguari e UHE Aimorés, os valores se apresentaram elevados.

Outro ponto importante que caracteriza um baixo valor de Arsênio neste trecho inicial foi a rápida contenção do grande fluxo de rejeitos da barragem para os rios a jusante. Nas demais datas, até dezembro de 2017, não foi verificado qualquer alteração do nível de arsênio ao longo do trecho mineiro do rio Doce, até Aimorés. Considerando que as quantidades de arsênio liberadas na época do rompimento da barragem foram elevadas e que as coletas da água dos rios avaliadas neste trabalho após o rompimento foram realizadas tanto no período seco quanto no período chuvoso, podemos concluir que grande parte deste metal foi transportado juntamente com o material sedimentar para a porção capixaba do rio Doce e para a zona costeira, na região de Regência, onde o rio Doce desagua no mar.

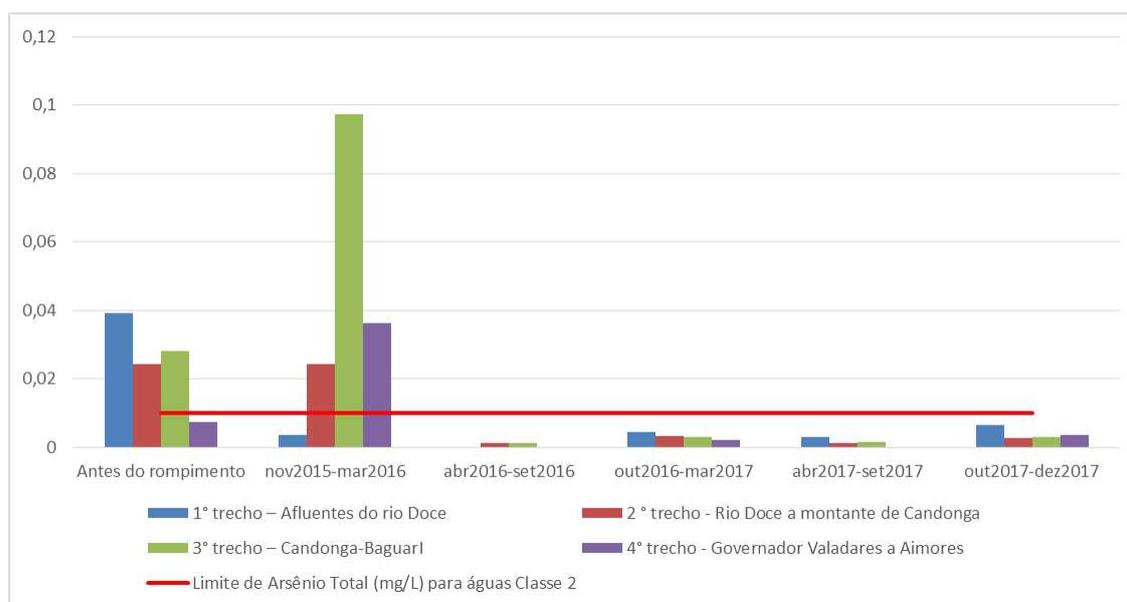


Gráfico 1: Análise temporal de Arsênio Total (mg/L) nos Trechos coletados na Bacia do Rio Doce. Valores máximos observados no período. Fonte: IGAM (2018).

Na avaliação do elemento alumínio (Gráfico 2), verificamos que as amostras de água do rio Doce e seus afluentes da região do rompimento da barragem de Fundão, antes do acidente, não apresentaram valores muito acima dos limites preconizados pela Resolução Conama, com exceção da análise do último trecho do rio Doce avaliado, entre a região de Governador Valadares e Aimorés.

Estes resultados podem ser explicados considerando que, com exceção das atividades minerárias nas regiões de cabeceira da bacia do Rio Doce, estas regiões apresentam elevado grau de preservação ambiental com a presença de matas nativas e áreas de proteção ambiental. Este processo de

preservação reduz a erosão dos solos durante o período chuvoso, reduzindo os arrastes de partículas finas como os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio que predominam na região.

O médio rio Doce apresenta características geomorfoclimáticas diferenciadas com intensa exploração pecuária e elevado grau de degradação do solo, principalmente na própria bacia do Rio Doce e na sub bacia do rio Suaçuí, afluente do rio Doce que desagua na região de Governador Valadares. Momentos imediatamente posteriores ao rompimento da barragem ocorre uma elevação nos valores de alumínio nas águas dos trechos mais próximos

a barragem rompida, mas inferior aos valores do trecho final entre Governador Valadares e Aimorés.

Diversos autores mostram que os rejeitos presentes nas barragens da Samarco na região de Mariana apresentam significativos valores de alumínio (Gomes *et al.*, 2011), fato que interferiu nos níveis deste elemento nas águas, mas de forma menos intensa, apesar de gerar valores de concentração superiores ao determinado pela Resolução Conama para

determinação de condição de tratamento para abastecimento público. Nas demais avaliações até dezembro de 2017, verifica-se que praticamente não ocorreram problemas com excesso de alumínio nos trechos avaliados, com exceção, novamente do último trecho, onde a provável influência do excesso de alumínio é decorrente da erosão dos solos da região.

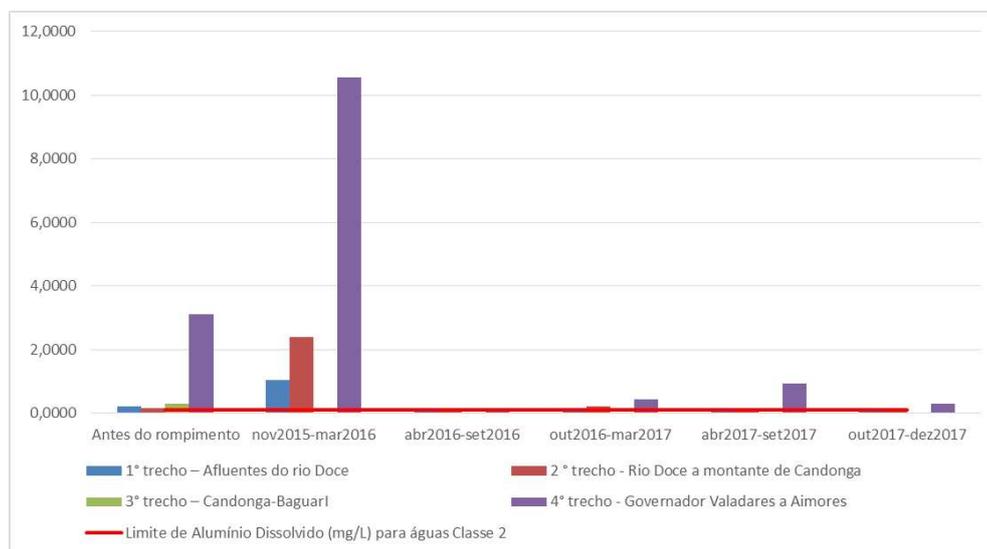


Gráfico 2: Análise temporal de Alumínio Dissolvido (mg/L) nos Trechos coletados na Bacia do Rio Doce. Valores máximos observados no período. Fonte: IGAM (2018)

Considerando as análises das águas realizadas nos últimos 18 anos no rio Doce, e seus afluentes na região de Mariana, antes do rompimento da barragem de rejeitos da mineradora Samarco, verifica-se que os níveis de Cádmio (Gráfico 3) em praticamente todas as coletas estiveram abaixo dos limites preconizados pelo Conama com algumas exceções de valores que excederam os limites preconizados pelo Conama. Há algumas exceções de valores que excederam os limites preconizados, mas ainda assim se encontram próximos aos valores limites estabelecidos.

Nos períodos iniciais após o rompimento foram identificados valores elevados de Cádmio nas águas nos trechos entre a UHE Candonga até a UHE Baguari e até a região de Aimorés. A literatura científica demonstra que as concentrações de Cádmio nos rejeitos da mineração na região do quadrilátero ferrífero de Minas Gerais são baixas, não

sendo possível sua elevação nos cursos de água, mesmo com a presença dos rejeitos em quantidades elevadas como ocorreu após o rompimento. Neste caso podemos deduzir que este metal tóxico teve origem em outra fonte de contaminação, que estava sedimentado no leito do rio Doce, e que entrou em suspensão após a passagem do rejeito devido à presença elevada de partículas minerais e o aumento do turbilhonamento das águas.

O médio Rio Doce apresenta grande atividade industrial como fábricas de produção de celulose e aço, dentre outras atividades do setor do agronegócio, sendo que muitas utilizam metais como o cádmio em seu processo industrial. Nas demais análises de água realizadas ao longo do rio Doce e seus afluentes impactados não foram mais registrados valores de Cádmio acima dos limites estabelecidos em nenhum ponto de coleta, até o mês de dezembro de 2017.

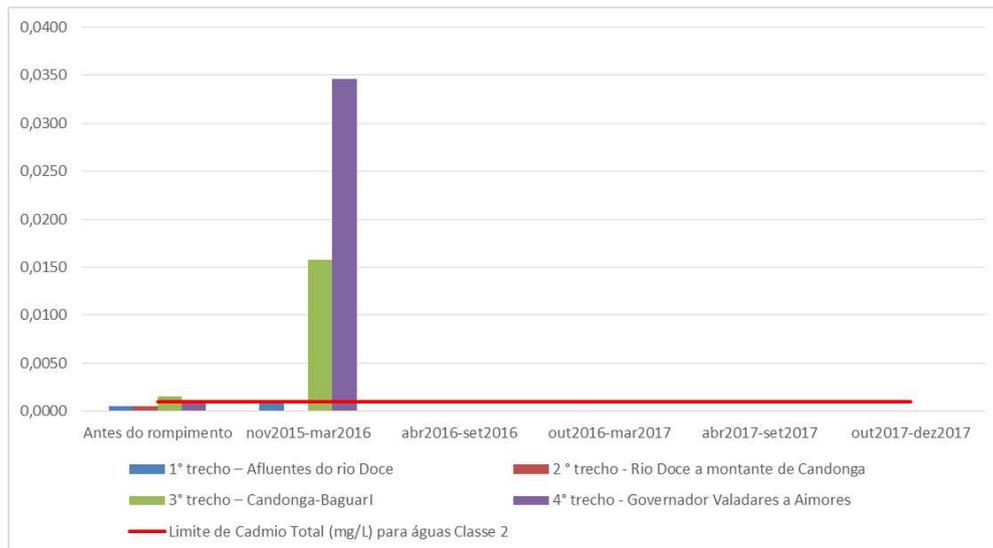


Gráfico 3: Análise temporal de Cádmiio Total (mg/L) nos Trechos coletados na Bacia do Rio Doce. Valores máximos observados no período. Fonte: IGAM (2018)

No Gráfico 4 verifica-se os valores mais elevados das concentrações de chumbo nos diferentes períodos analisados. Nos trechos entre a UHE Candonga e Aimorés as concentrações deste metal estavam acima dos limites estabelecidos pelo Conama antes mesmo do rompimento da barragem de rejeitos. Nos afluentes do rio Doce localizados na microbacia da barragem de rejeitos e no trecho inicial do rio Doce até a UHE Candonga, não foram constatados valores de chumbo elevados.

No primeiro intervalo de análise imediatamente após o rompimento, as concentrações aumentaram significativamente, inclusive na região dos rios afluentes.

Nos intervalos de análise seguintes, até dezembro de 2017, a constatação de elevados níveis de chumbo foi realizada apenas no último trecho de análise, compreendido entre Governador Valadares e Aimorés.

Considerando que os rejeitos de mineração localizados na região de Mariana apresentam índices muito reduzidos de chumbo, infere-se que as altas concentrações encontradas se devem a passagem do rejeito que promoveu a suspensão por determinado período, com arraste a jusante deste metal sedimento ao longo do leito do rio Doce. Sedimento resultante da intensa atividade industrial da região, incluindo, como citado, as atividades da agroindústria e da siderurgia.

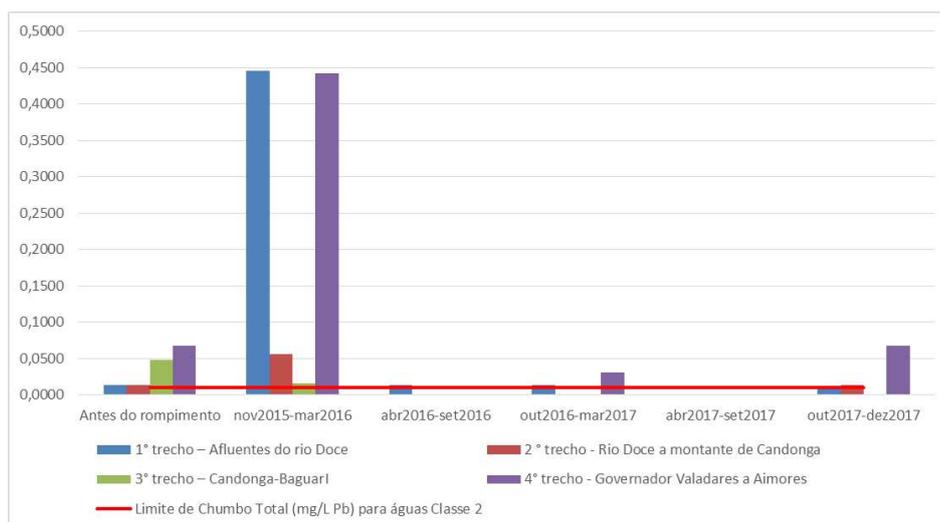


Gráfico 4: Análise temporal de Chumbo Total (mg/L Pb) nos Trechos coletados na Bacia do Rio Doce. Valores máximos observados no período. Fonte: IGAM (2018)

O cobre (Gráfico 5) não foi detectado nas águas do rio Doce e seus afluentes da microbacia de Mariana nos anos anteriores ao rompimento da barragem, com exceção de uma

leitura no último trecho mineiro do rio Doce, mas com valores próximos aos limites estipulados pela Resolução Conama.

Imediatamente após a passagem dos rejeitos, os valores foram elevados, mas de forma moderada quando comparamos com outros elementos. Um grande pico foi observado nas análises realizadas entre abril e setembro de 2016, no trecho compreendido entre Governador Valadares e Aimorés. O cobre é um elemento muito utilizado na agricultura como micronutriente mineral e também na composição de fungicidas utilizados nas lavouras. Este pico pode ter ocorrido de forma pontual pela liberação

concentrada deste elemento no período de coleta das amostras de água.

Outro ponto a ser observado é que este período de coleta é classificado com período seco na região com poucas chuvas e redução significativa da vazão dos rios. A baixa vazão do rio associado ao despejo deste elemento em algum curso de água pode ter aumentado a concentração deste elemento nos rios gerando este pico elevado.

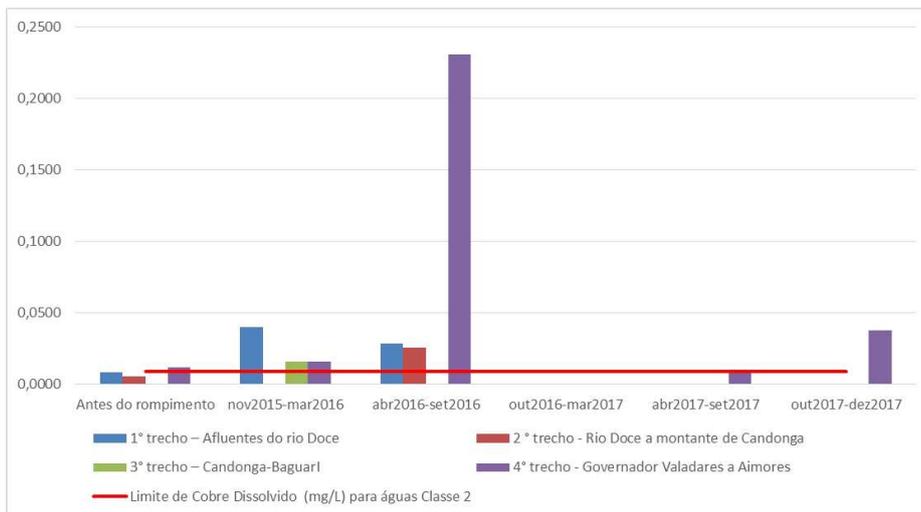


Gráfico 5: Análise temporal de Cobre Dissolvido (mg/L) nos Trechos coletados na Bacia do Rio Doce. Valores máximos observados no período. Fonte: IGAM (2018)

Em relação ao Cromo (Gráfico 6), podemos observar pequena variação acima dos limites legais para rios Classe II na região compreendida entre a UHE Candonga e Aimorés, antes do rompimento da barragem. Novamente alguns picos de elevada concentração de Cromo foram observados imediatamente após o rompimento da barragem de rejeitos de Mariana, mas normalizando nas análises seguintes, em todos os locais, até dezembro de 2017.

As referências indicam que os níveis de Cromo nas barragens da região de Mariana são reduzidos. Neste caso é possível que este elemento estivesse depositado no leito do

rio, nos sedimentos. Com a movimentação dos rejeitos este elemento entrou em suspensão sendo captado pelas equipes de coleta de amostras de água no período determinado.

Muitas são as microempresas de cromagem na região que durante décadas despejaram seus resíduos diretamente nos rios devido à falta de fiscalização e de tratamento de esgoto da quase totalidade das cidades ao longo do leito do rio Doce, promovendo sua acumulação no ambiente. Atualmente esta situação já apresenta melhoras, mas está longe de atingir os 100% de tratamento.

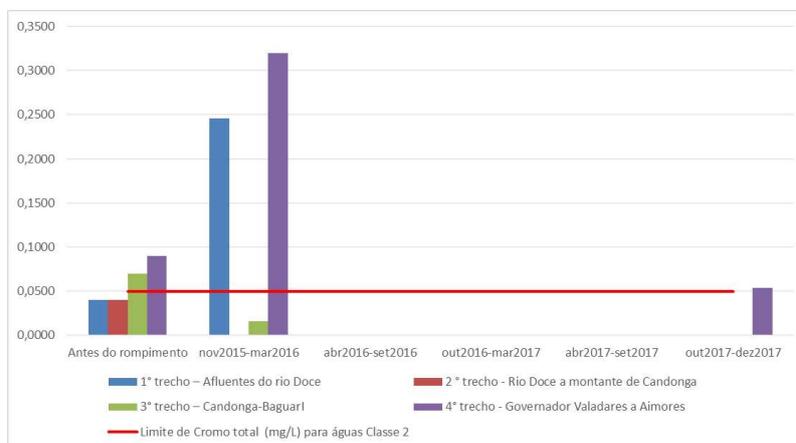


Gráfico 6 – Análise temporal de Cromo total (mg/L) nos Trechos coletados na Bacia do Rio Doce. Valores máximos observados no período. Fonte: IGAM (2018)

O Ferro é um dos elementos que se apresenta em maior quantidade na região e nos rejeitos da barragem de Fundão, rompida em novembro de 2015. Segundo alguns autores, estes valores variam entre 30 e 60% da composição da massa de rejeitos. As menores partículas minerais do solo são compostas principalmente por óxido e hidróxido de ferro e de alumínio.

No Gráfico 7, verifica-se que as maiores concentrações encontradas antes do rompimento da barragem de rejeitos foram identificadas no trecho final entre Governador Valadares e Aimorés. Neste trecho, localizado no médio rio Doce, verifica-se grandes extensões de solos degradados e erodidos devido a atividade de pecuária extensiva. Durante o período chuvoso ocorre o arraste de partículas para o rio

Doce que pode ser identificado pela alteração de sua cor e pelo teor de ferro. Nos pontos de coleta de água, a jusante e mais próximo das cabeceiras, verifica-se valores menores de ferro por conta grau de conservação ambiental e dos solos nas regiões de cabeceira em Mariana.

Imediatamente após o rompimento, como era esperado, os valores elevaram significativamente nas regiões analisadas, retornando aos valores normais nos intervalos de análise seguintes entre outubro de 2016 e dezembro de 2017. Parte dos rejeitos contendo grande quantidade de ferro encontra-se depositado no leito do rio Doce e nos lagos das barragens, principalmente até a região da UHE Baguari no médio rio Doce.

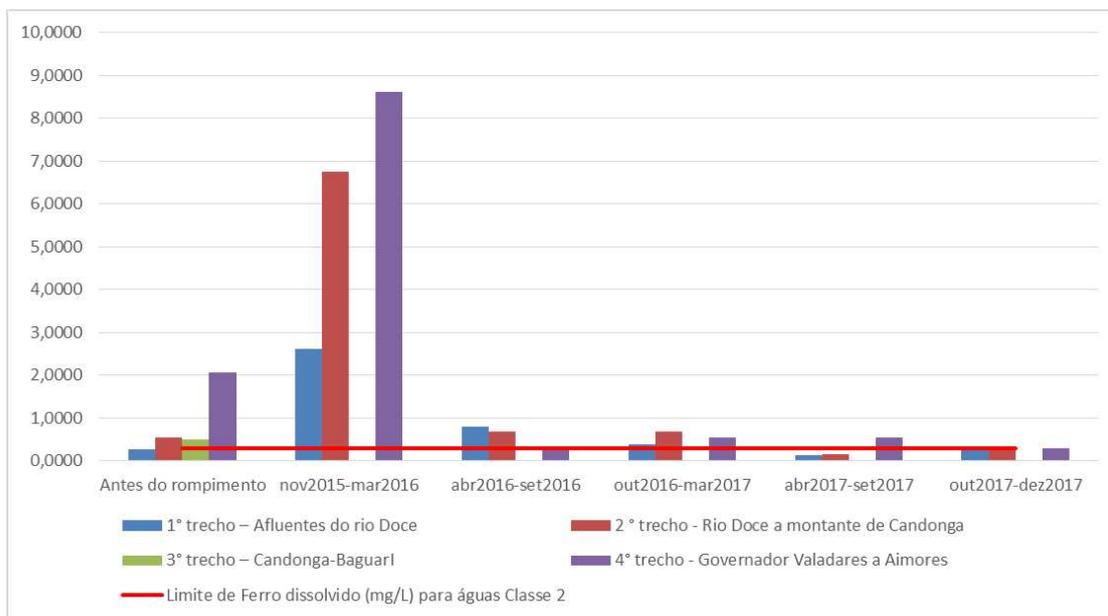


Gráfico 7 – Análise temporal de Ferro dissolvido (mg/L) nos Trechos coletados na Bacia do Rio Doce. Valores máximos observados no período. Fonte: IGAM (2018)

Outro elemento encontrado nos rejeitos das barragens de mineração da região é o Manganês. A literatura indica que os níveis de manganês nos rejeitos são de aproximadamente 1% (Wolf, 2009), mas como podemos observar no Gráfico 8, após o rompimento, os valores deste elemento foram

elevados de forma significativa, retornando aos seus valores normais a partir das análises de abril de 2016. Em algumas análises a partir desta data foram verificados valores de manganês acima do permitido pela Resolução Conama, mas próximo aos limites legais.

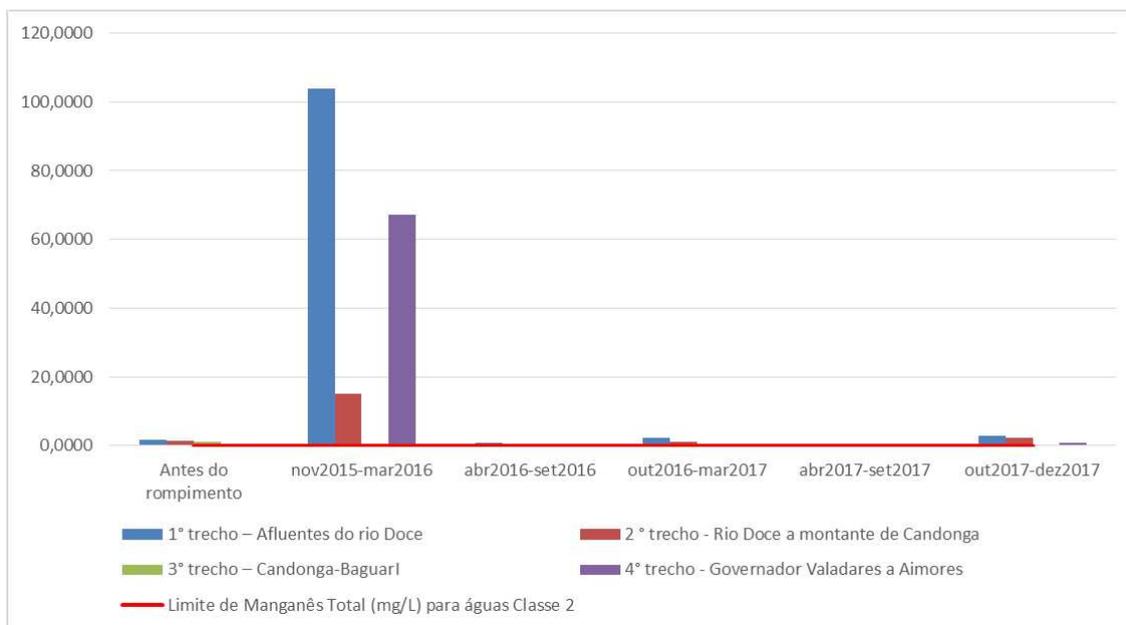


Gráfico 8: Análise temporal de Manganês Total (mg/L) nos Trechos coletados na Bacia do Rio Doce. Valores máximos observados no período. Fonte: IGAM (2018)

No Gráfico 9, estão descritos os valores do elemento mercúrio. Antes do rompimento da barragem os valores estavam enquadrados na legislação com uma exceção no trecho mais distante da barragem. Imediatamente após o rompimento, os valores deste metal elevaram significativamente, não sendo praticamente detectado após este período.

O mercúrio não está presente nos rejeitos da barragem, mas o histórico de exploração do ouro no rio do Carmo que ocorreu em séculos passados e o uso extensivo deste elemento na sua separação, contaminou de forma intensa o leito do rio. O movimento dos rejeitos de forma intensa durante o rompimento, provavelmente suspendeu parte deste material e, conseqüentemente, indicando a sua presença ao longo do rio Doce.

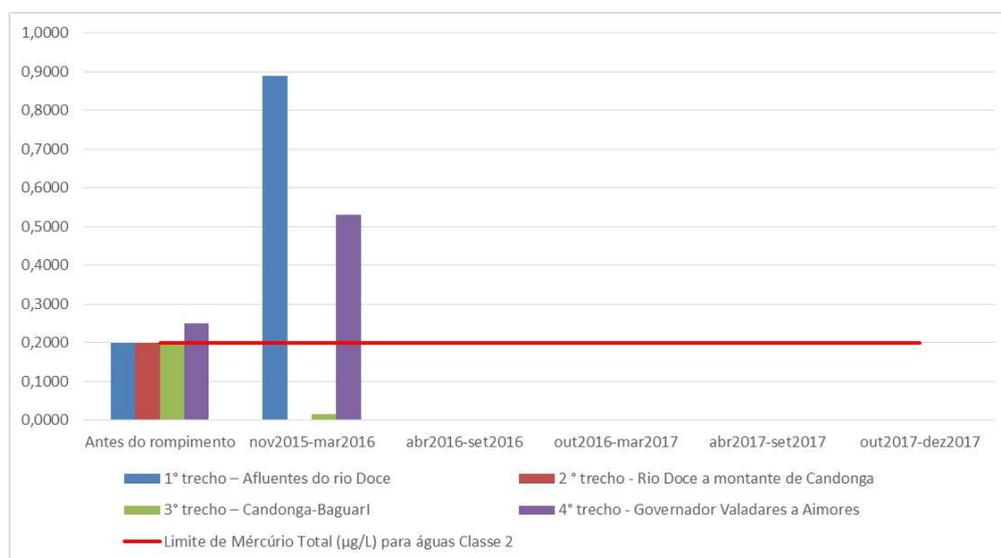


Gráfico 9: Análise temporal de Mercúrio Total (µg/L) nos Trechos coletados na Bacia do Rio Doce. Valores máximos observados no período. Fonte: IGAM (2018)

Outro elemento que provavelmente estava presente no leito do rio Doce depositado devido a ação de atividades industriais é o Níquel (Gráfico 10). Em todo o período de análise das águas dos afluentes e do rio Doce os valores encontravam-se abaixo dos limites descritos na Resolução

Conama, com exceção do período imediatamente após o rompimento da barragem. Considerando que o resíduo da barragem apresenta reduzidos valores de níquel, podemos avaliar que o elemento estava presente no leito do rio Doce, assim como outros metais.

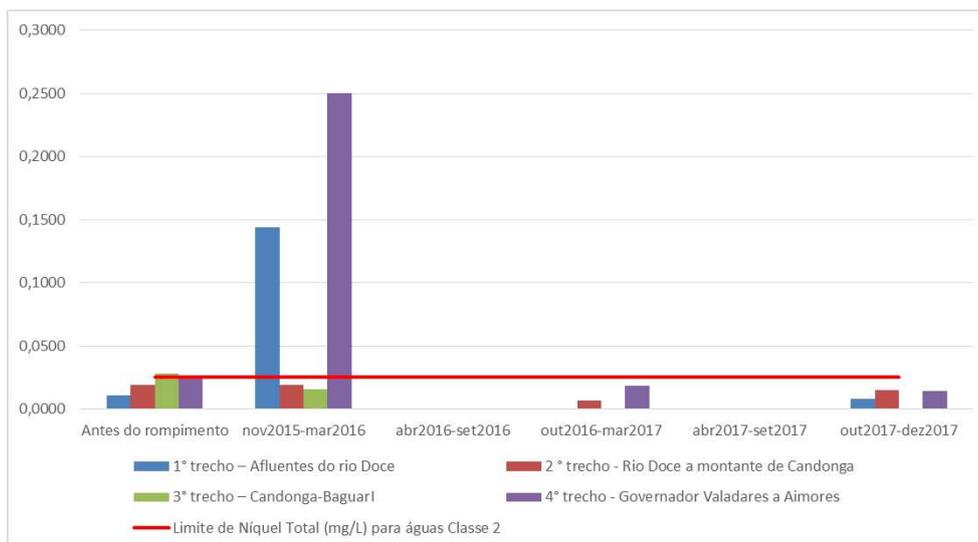


Gráfico 10: Análise temporal de Níquel Total (mg/L) nos Trechos coletados na Bacia do Rio Doce. Valores máximos observados no período. Fonte: IGAM (2018)

O elemento zinco (Gráfico 11) foi constatado nas análises da água em quantidades acima do preconizado pela legislação de forma significativa apenas no período anterior ao rompimento da barragem de rejeitos da Samarco, na região do médio rio Doce.

Este elemento é muito utilizado na agricultura e na pecuária como micronutriente das plantas e na composição de alguns fungicidas sendo que as maiores quantidades foram detectadas nas águas exatamente no médio rio Doce, região onde as atividades agropecuária e florestal são mais intensas.

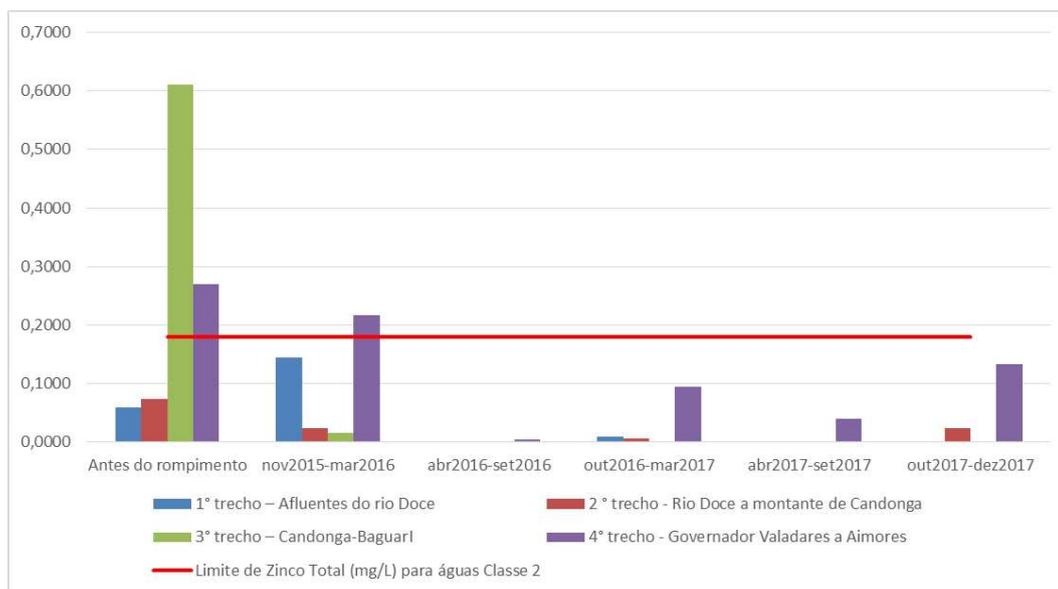


Gráfico 11: Análise temporal de Zinco Total (mg/L) nos Trechos coletados na Bacia do Rio Doce. Valores máximos observados no período. Fonte: IGAM (2018)

4. Conclusão

O desastre provocado pelo rompimento da barragem de rejeitos da Samarco, na região de Mariana em Minas Gerais, mostrou de forma didática como a integração de um sistema de bacias hidrográficas atua. As análises da qualidade da água realizadas ao longo de duas décadas demonstraram que o rio Doce, na sua fração mineira, já sofria em relação à contaminação de alguns metais, mas que foi potencializada

no período imediato após o rompimento da barragem, principalmente em relação a alguns elementos como alumínio, ferro, manganês e arsênio.

No segundo período amostral da água do rio Doce (abril/2016-set/2016), após o rompimento da barragem, os valores absolutos dos elementos analisados reduziram, retornando a valores próximos aos obtidos antes do rompimento. Esse resultado indica que alguns metais estavam presentes no leito do rio ou tiveram origem em outra

fonte de contaminação. Estes valores reduzidos em comparação a análise inicial após o rompimento (nov/2015-mar/2016) foram mantidos, mesmo com uma grande quantidade de rejeitos ainda presentes no leito do rio até o período da última avaliação (out/2017-dez/2017). Em relação aos elementos presentes no rejeito ou que foram associados a ele, os mesmos provavelmente foram conduzidos até a região litorânea no Espírito Santo e também depositados no leito do rio ao longo do seu curso no estado. Infelizmente, parte destes elementos minerais provavelmente foram incorporados nos ciclos biológicos aquáticos pelos processos de bioacumulação e biomagnificação que tem o homem no topo desta cadeia trófica.

Temendo que as concentrações de metais tóxicos contidos na água do rio Doce possam comprometer a saúde humana, parte da população tem buscado por fontes alternativas de água para dessedentação e preparação de alimentos. Como consequência, têm sido identificados armazenamentos de água de forma inadequada, comprometendo a segurança alimentar. Além disso, fontes de abastecimento têm sido adotadas, sem a devida análise para verificação da qualidade da água. Em função de tais ocorrências, mesmo que agravos à saúde da população venham a ocorrer em médio e longo prazo, dificilmente se poderá estabelecer dependências plausíveis entre os agravos à saúde e a redução da qualidade das águas do rio Doce decorrente do desastre da Barragem da Samarco em Mariana.

A utilização de dados longitudinais dos parâmetros físico-químicos e dos metais presentes na água do Rio Doce gerou resultados que ajudam no monitoramento e controle, permitindo um melhor entendimento dos impactos do desastre sobre a qualidade da água e seu potencial para a saúde. Esses resultados são importantes para ações de planejamento do pós-desastre, mitigação dos danos, e redução dos riscos para a população nas cidades afetadas. Ademais, provê insumo para análises específicas do impacto para a morbimortalidade da biota e dos indivíduos que utilizam a água do Rio Doce para consumo próprio, para pesca e para outras atividades que envolvem contato direto com a água.

REFERÊNCIAS

Borba RP, Figueiredo B, Cavalcanti JA. 2004. Arsênio na água subterrânea em Ouro Preto e Mariana, Quadrilátero Ferrífero (MG). *Rem: Rev. Esc. Minas* 57(1): 45-51. <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672004000100009>.

Brasil. Ministério da Saúde. *Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011*. [online] URL: <http://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/PORTARIA%20No-%202.914.%20DE%2012%20DE%20DEZEMBRO%20DE%202011.pdf>

Celere MS, Oliveira AS, Trevilato TMB, Segura-Muñoz SI. 2007. Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública. *Cad. Saúde Pública* 23(4):

939-947. [online] URL: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-311X2007000400021>.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357. *Diário Oficial da União* de 17 de março de 2005.

Cruz JBF, Soares HF. 2011. Uma revisão sobre o zinco. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde* 15 (1): 207-222. [online] URL: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=26019329014>

Dantas ST, Saron ES, Dantas FBH, Yamashita DM, Kiyataka PHM. 2007. Determinação da dissolução de alumínio durante cozimento de alimentos em panelas de alumínio. *Food Science and Technology* 27(2): 291-297. [Online] URL: <https://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612007000200014>.

Duarte RPS, Pasqual A. 2000. Avaliação do cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn) em solos, plantas e cabelos humanos. *Energia na Agricultura*, 15 (1): 46-58.

Espindola HS, Ferreira NM, Mifarreg IEG. 2017. Território da mineração: uma contribuição teórica. *Revista Brasileira de Geografia*. 62(2): 67-93. [online] URL: <https://rbg.ibge.gov.br/index.php/rbg/article/view/132>.

Espindola HS, Campos RBF, Lamounier KCC, Silva RS. 2016. Desastre da Samarco no Brasil: desafios para a conservação da biodiversidade. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science* 5 (3): 72-100. [online] URL: <http://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/fronteiras/article/view/2045>.

Filho GB. Bogliolo. *Patologia Geral*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2018.

G1. **Lista de mortos e desaparecidos no rompimento de barragem em MG**. Publicado em: 07/11/2015 19h15 - Atualizado em 15/06/2016 10h43. [Online] URL: <http://g1.globo.com/minas-gerais/noticia/2015/11/veja-lista-de-desaparecidos-no-rompimento-de-barragens.html>

G1. **Os números da tragédia**. 2017. [Online] URL: <http://especiais.g1.globo.com/minas-gerais/2015/desastre-ambiental-em-mariana/1-mes-em-numeros/>

Gomes MA, Pereira CA; Peres AEC. Caracterização tecnológica de rejeito de minério de ferro. 2011. *Rem: Rev. Esc. Minas* 64 (2): 233-236. [online] URL: <http://www.scielo.br/pdf/rem/v64n2/a16v64n2.pdf>.

Gomes MR, Rogero MM, Tirapegui J. 2005. Considerações sobre cromo, insulina e exercício físico. *Rev Bras Med Esporte*. 11 (5): 262-266. [online] URL: <https://www.nescon.medicina.ufmg.br/biblioteca/imagens/0777.pdf>

IBAMA. 2015. Laudo Técnico Preliminar. URL: <https://am37.files.wordpress.com/2016/01/laudo-preliminar-do-ibama-sobre-mariana.pdf>

JORNAL UNICAMP. 2017. Da comoção ao esquecimento. [online] URL: http://www.unicamp.br/unicamp/sites/default/files/jornal/paginas/ju_662_paginacor_09_web.pdf

Lacaz FAC, Porto MFS, Pinheiro TMM. 2017. Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*. **42** (9): 1-12. [online] URL: <http://www.scielo.br/pdf/rbso/v42/2317-6369-rbso-42-e9.pdf>.

Moreira FR, Moreira JC. 2004. A cinética do chumbo no organismo humano e sua importância para a saúde. *Ciênc. saúde coletiva* **9** (1): 167-181
<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-81232004000100017>.

Morgano MA, Gomes PC, Mantovani, DMB, Perrone AAM, Santos TF. 2005. Níveis de mercúrio total em peixes de água doce de pisciculturas paulistas. *Food Science and Technology* **25** (2): 250-253.
<https://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612005000200011>.

Nagashima LA, Júnior CB, Silva CA, Fujimura AS. 2009. Avaliação dos níveis de metais pesados em efluente líquido percolado do aterro sanitário de Paranavaí, Estado do Paraná, Brasil. *Acta Scientiarum. Health Sciences* **31** (1): 1-8,
<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciHealthScience/view/1154/1154>.

O Globo. 2017. Maior desastre ambiental do Brasil, Tragédia de Mariana deixou 19 mortos. [Online] URL:

<http://acervo.oglobo.globo.com/em-destaque/maior-desastre-ambiental-do-brasil-tragedia-de-mariana-deixou-19-mortos-20208009#ixzz4zeAcvtTV>

Picanço FEL, Lopes ECS, Souza EL. 2002. Fatores responsáveis pela ocorrência de ferro em águas subterrâneas da região metropolitana de belém/PA. Suplemento - Anais do XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. *Revistas Águas subterrâneas*. 1-17. [online] URL: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1187>.

Porto MFS. 2016. A tragédia da mineração e do desenvolvimento no Brasil: desafio para a saúde coletiva. *Cad. Saúde Pública* **32** (2): 1-3. [online] URL: <http://www.scielo.br/pdf/csp/v32n2/0102-311X-csp-32-2-0102-311X00211015.pdf>.

RENOVA. 2017. Mapa da reparação. [Online] URL: http://www.fundacaorenova.org/?gclid=Cj0KCQiAjO_QBR C4ARIsAD2FsXNvWkK5HmFsqsVHoXsTgFtoEtkRhBRwLz19tN275M6C36284DFac4aAqs6EALw_wcB

Riguetti PF, Cardoso CAL, Cavalheiro AA, Lenzi E, Fiorucci AR, Silva MS. 2015. Manganês, zinco, cádmio, chumbo, mercúrio e crômio no chorume de aterro sanitário em Dourados, MS, Brasil. *Rev. Ambient Água*. **10** (1): 153-163.
<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1538>.

Woff, AP. Caracterização dos rejeitos de minério de ferro das minas da vale. 2009. Dissertação de mestrado UFOP. [online] URL: http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2345/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Caracteriza%C3%A7%C3%A3oRejeitosMin%C3%A9rio.pdf.

Samarco's dam failure and its consequences for the quality of the Doce River water

Carlos Alberto Dias*
Alexandre Silvio Vieira da Costa**
Gilvan Ramalho Guedes***
Glaucio Jose de Matos Umbelino****
Leonardo Gomes de Sousa*****
Janete Higino Alves*****
Thamires Gabriele Macedo Silva*****

* Psicólogo (FDB). Mestre em Psicologia (Universit  de Picardie Jules Verne). Doutor em Psicologia (Universit  de Picardie Jules Verne). Professor da UFVJM.

** Engenheiro Agrônomo (UFRRJ). Mestre em Fitotecnia (UFRRJ). Doutor em Fitotecnia (UFV). Professor da UFVJM.

*** Graduado em Ciências Econ micas (Newton de Paiva). Doutor em Demografia (Cedeplar/UFMG). Professor da UFMG.

**** Geógrafo (UFMG). Mestre em Demografia (Cedeplar/UFMG). Doutor em Demografia (Cedeplar/UFMG). Professor da UFVJM.

***** Designer (xxx). Mestre em Gestão Integrada do Território (Univale). Doutor em Demografia (Cedeplar/UFMG). Professor da Faculdade Pitágoras.

***** Graduanda em Farmácia (UFJF)

***** Graduanda em Ciências Biológicas (UFVJM)

Abstract The Fundão dam failure on 5 November 2015 launched into the environment thirty-five million m³ of iron ore tailings, affecting the quality, turbidity, physicochemical parameters and the concentration of metals in the water due to the volume of suspended solids. Considering the importance of water quality for survival and for human and animal health, this article makes use of time series of concentration of toxic metals in the Doce River, covering pre and post disaster. Despite the identification of periods of greater and lesser toxicity due to the temporal distancing of the disaster occurrence, our results show a fast return to pre-disaster levels for the parameters, which were already above the legal threshold. Because of the need to ensure a safe water source for animal and human consumption, concentration of toxic metals should continue to be the focus of attention in the conventional water treatment process.

Key words: Doce River, environmental disaster, toxic metals, water quality, human health.

Informa es sobre os autores

Carlos Alberto Dias

Endereço para correspondência: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Campus JK Rodovia MGT 367 - Km 583, n  5000 - Alto da Jacuba, 39100-000 Diamantina, MG - Brasil

E-mail: carlosdiaspsicologo@gmail.com

Link para o currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/0169771283126399>

Alexandre Silvio Vieira da Costa

Endereço para correspondência: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Campus do Mucuri. Rua do Cruzeiro, n  01 - Jardim São Paulo, 39803-371 Teófilo Otoni, MG - Brasil

E-mail: alexandre.costa@ufvjm.edu.br

Link para o currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/2228584428876266>

Gilvan Ramalho Guedes

Endereço para correspondência: Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Ant nio Carlos, 6627 – Pampulha, 31270901 - Belo Horizonte, MG - Brasil

E-mail: grguedes@cedeplar.ufmg.br

Link para o currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/7740592064640884>

Glaucio Jose de Matos Umbelino

Endereço para correspondência: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Campus JK. Rodovia MGT 367 - Km 583, nº 5000 - Alto da Jacuba 39100-000 Diamantina, MG - Brasil

E-mail: geoglauco@gmail.com

Link para o currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/9883831272642807>

Leonardo Gomes de Sousa

Endereço para correspondência: Faculdade Pitágoras. Av. Dr. Raimundo Monteiro Rezende, 330 – Centro 35010-173 Gov. Valadares, MG - Brasil

E-mail: leogosousa@gmail.com

Link para o currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/4891474569500691>

Janete Higino Alves

Endereço para correspondência: Universidade Federal de Juiz de Fora. Campus Governador Valadares. R. São Paulo, 745 - Centro, 35010-180 Gov. Valadares, MG - Brasil

E-mail: janeteuffj@gmail.com

Link para o currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/1558506624821001>

Thamires Gabriele Macedo Silva

Endereço para correspondência: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Campus JK. Rodovia MGT 367 - Km 583, nº 5000 - Alto da Jacuba, 39100-000 Diamantina, MG - Brasil

E-mail: thamires.dtna@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4699221776133914>

Artigo Recebido em: 16-03-2018

Artigo Aprovado em: 29-05-2018