

**Monitoramento da qualidade da água do rio Paraopeba e entorno após o rompimento da barragem de rejeitos em Brumadinho, Minas Gerais, Brasil**

**Monitoring the water quality of the Paraopeba river and surroundings after the breakage of the waste dam in Brumadinho, Minas Gerais, Brazil**

**Seguimiento de la calidad del agua del río Paraopeba y sus alrededores tras la rotura de la presa de residuos en Brumadinho, Minas Gerais, Brasil**

Recebido: 14/08/2020 | Revisado: 26/08/2020 | Aceito: 31/08/2020 | Publicado: 02/09/2020

**Alisson Martins Ramos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3703-3370>

Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [alisson.ramos@saude.mg.gov.br](mailto:alisson.ramos@saude.mg.gov.br)

**Leila Sabrina da Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4768-8098>

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [leilasabriny@yahoo.com.br](mailto:leilasabriny@yahoo.com.br)

**Tamires Guimarães Lima**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7076-4602>

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [tamiresguilima@yahoo.com.br](mailto:tamiresguilima@yahoo.com.br)

**Gabriela Lopes Marques**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9324-7648>

Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [gabriela.marques@saude.mg.gov.br](mailto:gabriela.marques@saude.mg.gov.br)

**Hebert Medeiros Gontijo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8504-0452>

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [hebert.gontijo@uemg.br](mailto:hebert.gontijo@uemg.br)

**Resumo**

Este trabalho tem como objetivo discutir os dados de monitoramento da qualidade da água do rio Paraopeba e em captações de água para consumo humano situados em suas margens

realizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM e pela Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais – SES-MG posteriores ao rompimento da barragem B1 da Mina do Córrego do Feijão, sob responsabilidade da empresa VALE S. A. (Brumadinho – MG), ocorrido no dia 25 de janeiro de 2019. Além das vidas humanas perdidas e do grande impacto ao meio ambiente, a lama atingiu diversas captações de água para o abastecimento público, além de impactar na renda familiar de diversos ribeirinhos que utilizavam a água do rio para agricultura e dessedentação de animais. Os dados do monitoramento do IGAM apontam para violações aos parâmetros turbidez, ferro dissolvido, manganês total e alumínio dissolvido durante todo o período monitorado; chumbo total e cobre dissolvido no período chuvoso, e ainda zinco, mercúrio e níquel no primeiro trimestre do monitoramento. Já os dados do monitoramento da SES-MG apontam para violações relacionadas a antimônio, arsênio, bário, cromo, chumbo, mercúrio e selênio, além de alumínio, ferro e manganês. Diante dos resultados apresentados em ambos monitoramentos, sugere-se a manutenção da suspensão da utilização da água bruta do rio Paraopeba e de captações próximas às suas margens para qualquer finalidade, além da continuidade dos monitoramentos, que subsidiará a tomada de decisão pelos órgãos responsáveis.

**Palavras-chave:** Desastre ambiental; Mineração; Abastecimento de água.

### **Abstract**

This paper aims to discuss the data for monitoring the water quality of the Paraopeba River and the collection of water for human consumption located on its banks, carried out by the Minas Gerais Water Management Institute - IGAM and by the Minas Gerais State Health Department - SES -MG after the rupture of the B1 dam of the Córrego do Feijão mine, under the responsibility of the company VALE SA (Brumadinho - MG), which occurred on January 25, 2019. In addition to the lost human lives and great impact on the environment, a mud it reached several sources of water for public supply, in addition to impacting the family income of several riverside dwellers who use river water for agriculture and animal feed. IGAM's monitoring data points to violations of the parameters of turbidity, dissolved iron, total manganese and dissolved aluminum throughout the monitored period; total lead and copper dissolved in the rainy season, and also zinc, mercury and nickel in the first quarter of the monitoring. The monitoring data from SES-MG, on the other hand, point to violations related to antimony, arsenic, barium, chromium, lead, mercury, and selenium, in addition to aluminum, iron and manganese. In view of the results presented in both monitoring, it is suggested to maintain the suspension of water use in the Paraopeba River and capture close to

its banks for any use, in addition to the inheritance of the monitors, which is subsidiary in the decision-making by users.

**Keywords:** Environmental disaster; Mining; Water supply.

## **Resumen**

Este trabajo tiene como objetivo discutir los datos de monitoreo de la calidad del agua del río Paraopeba y en la captación de agua para consumo humano ubicada en sus márgenes realizados por el Instituto de Manejo del Agua de Minas Gerais - IGAM y por la Secretaría de Salud del Estado de Minas Gerais - SES-MG luego de la ruptura de la presa B1 de la mina Córrego do Feijão, a cargo de la empresa VALE SA (Brumadinho - MG), ocurrida el 25 de enero de 2019. Además de la pérdida de vidas humanas y el gran impacto en el medio ambiente, el lodo llegó a varias fuentes de agua para abastecimiento público, además de impactar los ingresos familiares de varios pobladores ribereños que utilizaban el agua del río para la agricultura y la alimentación animal. Los datos de monitoreo de IGAM apuntan a violaciones de los parámetros turbidez, hierro disuelto, manganeso total y aluminio disuelto a lo largo del período monitoreado; plomo y cobre totales disueltos en la época de lluvias, y también zinc, mercurio y níquel en el primer trimestre del seguimiento. Los datos de monitoreo de SES-MG, por otro lado, apuntan a violaciones relacionadas con el antimonio, arsénico, bario, cromo, plomo, mercurio y selenio, además de aluminio, hierro y manganeso. A la vista de los resultados presentados en ambos monitoreos, se sugiere mantener la suspensión del uso de agua cruda del río Paraopeba y tomas cercanas a sus márgenes para cualquier propósito, además de la continuidad del monitoreo, que apoyará la toma de decisiones de los órganos responsables.

**Palabras clave:** Desastre ambiental, Minería, Abastecimiento de agua.

## **1. Introdução**

A mineração está intrinsecamente ligada a história brasileira e representa uma das principais atividades econômicas do país (Thomé & Passini, 2018). Desde o início das atividades de mineração no Brasil, ainda no século XVII, são descritos eventos trágicos relacionados a essas atividades, envolvendo mortes e destruição do ambiente, contrastando assim seu papel no desenvolvimento do país (Lacaz, Porto & Pinheiro, 2017; Thomé & Ribeiro, 2019).

A mineração pode ser uma atividade positiva para os municípios, não apenas pelos impostos que recolhe, mas pelos empregos diretos e indiretos que gera (Rezende, 2016). Porém, de acordo com Bitar (1997) a mineração também é responsável por promover uma diversidade de efeitos não desejados, dentre eles: alterações ambientais, conflitos de uso do solo, depreciação de imóveis circunvizinhos, geração de áreas degradadas e transtornos ao tráfego urbano. Estes efeitos acabam por provocar conflitos com a comunidade, devido principalmente à falta de interesse do empreendedor em atender as necessidades da população.

Conforme a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM (2002), os impactos negativos gerados pela mineração podem ser englobados em cinco categorias: poluição da água, poluição do ar, poluição sonora, subsidência do terreno, além do risco de incêndios causado pelo uso de carvão e rejeitos radioativos.

O rompimento de uma barragem propicia a contaminação e assoreamento de rios e córregos, secamento de nascentes, degradação da flora e fauna, contaminação do solo, além de potencial causador de fatalidades humanas.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM (2016), Minas Gerais é o estado minerador mais importante do país, extraindo mais de 180 milhões de toneladas/ano de minério de ferro e sendo responsável por mais da metade da produção nacional de minerais metálicos.

O Estado de Minas Gerais possui 428 barragens classificadas como pertencentes à mineração, conforme listagem de 2018 da Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM (2018), dentre elas, aproximadamente 50 são de rejeito de minério construídas pelo método de alteamento a montante, o mesmo utilizado nas barragens que romperam em Mariana e Brumadinho.

Nesse contexto, tem-se como objeto deste trabalho os impactos do rompimento da barragem B1 da Mina do Córrego do Feijão (Brumadinho – MG), que foi especificamente construída para servir de depósito dos resíduos gerados durante o processo de mineração de ferro. No dia 25 de janeiro de 2019, o dique da barragem entrou em colapso e rompeu, gerando um grande desastre ambiental. Os efeitos imediatos dessa tragédia, ainda em desenvolvimento, puderam ser observados a jusante da barragem destruída, vidas ceifadas, como também o arraste da vegetação oriunda da Mata Atlântica e contaminação pela lama do rio Paraopeba que é afluente do rio São Francisco.

Diante disto, fez-se necessária a intensificação do monitoramento do IGAM já existente, bem como a sua expansão para o seu entorno, observando-se os padrões de

qualidade da água para cada tipo de uso preponderante. Dessa forma, os padrões de potabilidade são diferentes dos de balneabilidade, que por sua vez, são diferentes aos estabelecidos para a água de irrigação ou destinada ao uso industrial (Souza, Moraes, Sonoda & Campos, 2014). Nesse sentido, os parâmetros estabelecidos para balneabilidade estão contidos na Resolução CONAMA 357, de 2005 (Brasil, 2005), enquanto os de potabilidade são estabelecidos pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde, de 2017 (Brasil, 2017).

Os rios contaminados por rejeitos de mineração afetam a população, prejudicam atividades econômicas (de geração de energia e industriais) e geram diversos impactos ambientais. Em alguns casos, as perdas pela contaminação são consideradas irreversíveis, haja vista a possível extinção de espécies consideradas endêmicas. Por onde a lama de rejeitos passa deixa um rastro de contaminação, mortandade e destruição (Lopes, 2016).

Diversos metais e compostos químicos presentes nos rejeitos podem ser tóxicos à ictiofauna e à microbiota nos ambientes aquáticos. Como exemplo, no desastre de Mariana, Lopes (2016) cita a elevada mortandade de peixes nos cursos hídricos pertencentes à bacia do rio Doce atingidos pela lama de rejeitos, interferindo na cadeia trófica e impactando negativamente as atividades pesqueiras.

Segundo Freitas, Barcellos, Asmus, Silva e Xavier (2019), existem dois grupos expostos a riscos em cenários posteriores a desastres: o relacionado a perdas, rupturas e/ou interrupções em seus modos de vida e trabalho, apresentando riscos inclusive ligados à saúde mental; e o segundo, relacionado à exposição a contaminantes presentes na lama ou carreados através dela, incluindo aqueles presentes nos solos, particulados em suspensão da lama, recursos hídricos e sedimentos. Nesse caso, os riscos tendem a ser de médio e longo prazo, atingindo populações mais vulneráveis, como idosos, gestantes e crianças. Para os autores, se consideramos os beneficiários dos serviços ecossistêmicos, o número de expostos pode ser ainda maior. Portanto, os impactos do desastre vão além dos definidos pelas defesas civis: mortos, feridos, doentes, desabrigados e desalojados.

Com isso, diante de um cenário de contaminação de determinado compartimento ambiental por atividades econômicas de grandes empreendimentos, pode ocorrer a desestruturação da produção e a reprodução social dos agricultores familiares, caracterizando a desterritorialização local, já que a utilização dos recursos é apropriada por um determinado grupo em detrimento dos usos que outros grupos possam fazer de seu território. Afetadas as formas tradicionais de produção e de sobrevivência, os agricultores acabam sendo tolhidos de sobreviver com seus próprios meios, a partir de suas próprias propriedades e a diminuição ou

escassez de água pode significar o fim das formas tradicionais de produção, ligadas ao plantio e a criação de animais (Sepe & Salvador, 2018).

Destaca-se que as atividades de mineração são de grande relevância para a economia de muitos municípios brasileiros. Coloca-se como um grande desafio, portanto, a construção de um projeto de desenvolvimento capaz de reduzir a dependência desse modelo, voltada para a sustentabilidade ambiental e a justiça social (Freitas et al., 2019).

Portanto, o trabalho tem como objetivo apresentar os dados da qualidade da água do rio Paraopeba verificadas por meio de monitoramento dos órgãos público do Estado de Minas Gerais, e discutir possíveis impactos e riscos à saúde decorridos do rompimento da barragem de rejeitos B1 em Brumadinho.

## **2. Materiais e Métodos**

O trabalho apresentou-se predominantemente como uma pesquisa quantitativa (Bardin, 2011), identificando e comparando dados secundários de monitoramento da qualidade da água posteriores ao rompimento da Barragem I do Córrego do Feijão em Brumadinho/MG. Os dados foram obtidos por meio de pesquisa documental (Flick, 2013; Marconi & Lakatos, 2010) nos sítios eletrônicos da Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais (SES-MG) e do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). Assim, foram utilizados resultados de análise de água do rio Paraopeba realizados pelo IGAM que compreendem o período de 25/01/2019 a 29/04/2020, enquanto os da SES-MG compreendem o período de 14/03/2019 a 23/10/2019. A partir da análise e interpretação dos dados, estes foram compilados e agrupados (Yin, 2016; Marconi & Lakatos, 2010), tendo como critério a violação de valores máximos permitidos. No entanto, elementos qualitativos estão presentes (Flick, 2013), por meio da revisão de literatura sobre o rompimento da barragem de rejeitos B1, em Brumadinho, características da bacia do rio Paraopeba, e discussão dos resultados do monitoramento.

### **2.1 Caracterização da bacia do rio Paraopeba**

A bacia do rio Paraopeba está localizada na região central do estado de Minas Gerais, com parcela de seu território inserida na Região Metropolitana de Belo Horizonte. O rio Paraopeba é afluente da margem direita do rio São Francisco e é um dos formadores do reservatório da usina de Três Marias da Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG. Os

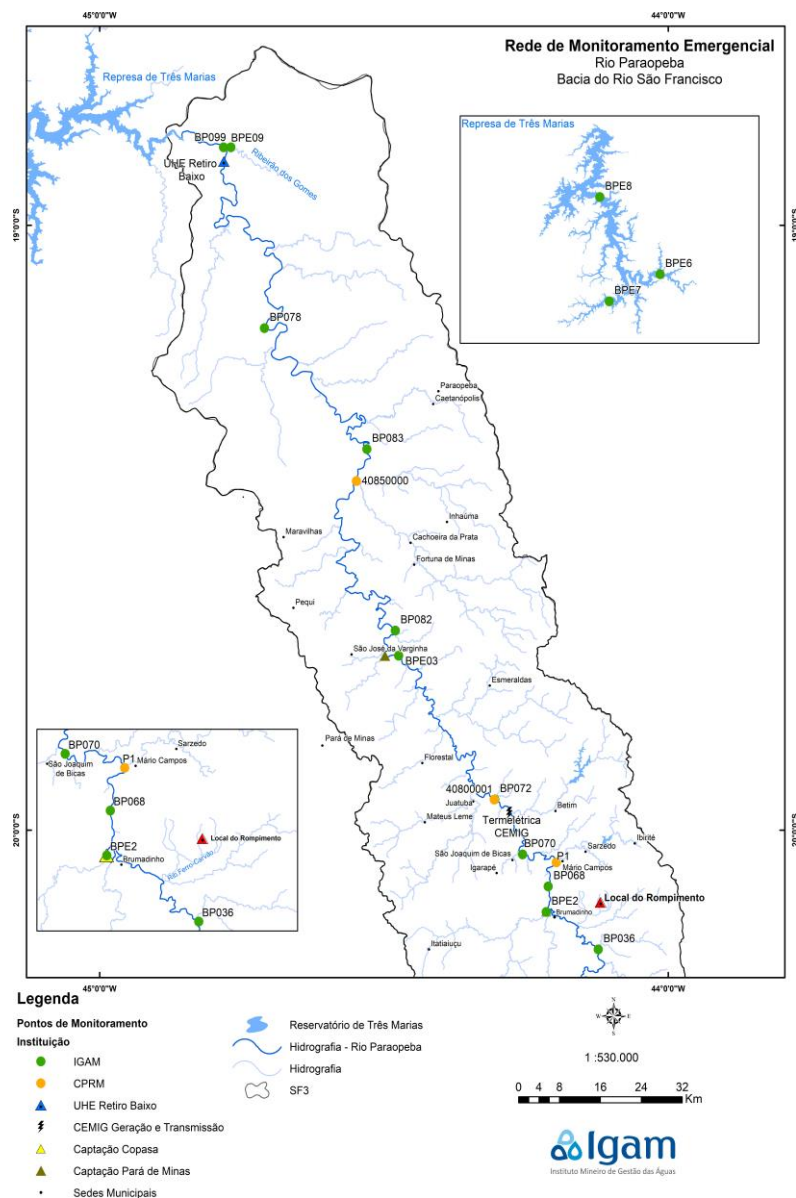
principais usos da água da bacia do rio Paraopeba são: geração de energia elétrica; abastecimento público; abastecimento industrial, com destaque para mineração e irrigação.

A bacia do rio Paraopeba possui importantes mananciais de abastecimento do Sistema Integrado de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Belo Horizonte, sob responsabilidade da Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA. Em seus afluentes estão localizados três grandes reservatórios utilizados para captação: Rio Manso, Serra Azul (ribeirão Juatuba) e Várzea das Flores (rio Betim). O próprio rio Paraopeba possuía uma captação complementar diretamente em seu curso, ligada ao Sistema Rio Manso (Figura 1). Essa captação foi suspensa após a ruptura da barragem B1, e atualmente está em construção uma nova estrutura de captação e adução localizada 2,3 km a montante da confluência do córrego Ferro-Carvão com o rio Paraopeba, com a mesma capacidade outorgada da captação suspensa, de 5.000 litros por segundo [Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), 2020b]. O local de confluência do córrego Ferro-Carvão com o rio Paraopeba está situado a montante da sede do município de Brumadinho.

O rio Paraopeba era utilizado também para o abastecimento dos municípios de Pará de Minas, Caetanópolis e Paraopeba. Além de ser um dos formadores do reservatório de Três Marias, ao longo da bacia estão situadas as usinas hidrelétricas de Salto do Paraopeba (a montante) e Retiro Baixo (a jusante), além da barragem de nível da usina termelétrica de Igarapé. A bacia do rio Paraopeba possui área de drenagem da ordem de 13.340 km<sup>2</sup>, extensão de quase 300 km, e está inserida na bacia hidrográfica do rio São Francisco [Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 2019]. A Figura 1 mostra a localização das estações de monitoramento de qualidade da água do IGAM.



**Figura 1:** Pontos de monitoramento Emergencial do rio Paraopeba.



Fonte: IGAM (2020).

O rio Paraopeba, no trecho impactado pelo desastre ambiental decorrente do rompimento da barragem de rejeito, está enquadrado como Classe 2 pela Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental (Copam) nº 14, de 1995 (Minas Gerais, 1995). Assim, os valores obtidos no monitoramento foram confrontados com os limites estabelecidos para classe 2 na Deliberação Normativa Conjunta Copam/CERH-MG nº 01, de 2008 (Minas Gerais, 2008) e da Resolução Conama nº 357, de 2005 (Brasil, 2005), que dispõem sobre a classificação dos corpos de água e dão as diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Destaca-se que para a Diretriz Normativa Copam/CERH-MG nº 01, de 2008, e a Resolução Conama nº 357, de 2005, os limites máximos para a classe 2, que corresponde



ao enquadramento do rio Paraopeba, são os mesmos para as substâncias elencadas e discutidas no monitoramento das águas superficiais realizadas neste trabalho.

A pluma de aproximadamente 12 milhões de metros cúbicos de rejeitos destruiu 133,27 hectares de vegetação nativa da Mata Atlântica e ainda 70,65 hectares de áreas de preservação permanente às margens dos cursos hídricos (Thompson et al., 2020). O rompimento da barragem B1 causou a morte de 259 pessoas e deixou 11 desaparecidos, números atualizados até o momento da elaboração desse trabalho (Defesa Civil de Minas Gerais, 2019). A lama tóxica percorreu cerca de 10 km até chegar ao rio Paraopeba, aumentando significativamente a concentração de material particulado em suspensão, reduzindo a penetração de luz na água e alterando habitats (Rotta et al., 2020). Entretanto, a dimensão do universo de atingidos pelo desastre de Brumadinho deve considerar grupos mais abrangentes, como os impactados pela alteração de serviços ecossistêmicos, modos de vida, memória afetiva, identidade e pertencimento nos diferentes territórios impactados.

### **3. Resultados e Discussão**

#### **3.1. Monitoramento do IGAM**

No dia 26 de janeiro de 2019, primeiro dia após o desastre, foram observadas as maiores concentrações para todos os parâmetros analisados. De maneira geral, esses valores apresentaram tendência de redução ao longo do tempo, mesmo com algumas oscilações. Contudo, ainda são verificadas violações ao limite de classe 2, especialmente no período chuvoso. Os locais de monitoramento foram divididos em cinco trechos, sendo o Trecho 1 situado nos primeiros 40 km após a confluência com o ribeirão Ferro Carvão até a montante da termelétrica de Igarapé; o trecho 2 entre a termelétrica de Igarapé e Esmeraldas; o trecho 3, entre 190 e 279 km a jusante da confluência com o ribeirão Ferro Carvão até a montante da UHE Retiro Baixo, em Pompéu; o trecho 4, a jusante da UHE Retiro Baixo; e o trecho 5, correspondente à represa de Três Marias. Para este trabalho, foram analisados os dados correspondentes aos trechos 1, 2 e 3, que sofreram maior influência dos rejeitos.

O parâmetro turbidez, utilizado para se conhecer a quantidade de partículas em suspensão na água, pode ser associada ao grau de preservação do solo, ao volume e intensidade de chuva e ao lançamento de poluentes de empresas no rio. Entretanto, diante do rompimento da barragem, esses valores ficaram muito maiores do que os valores já registrados pelo IGAM em situações anteriores. Como exemplo, o resultado de turbidez

medido em estação do trecho 1, entre os municípios de Mário Campos e São Joaquim de Bicas, foi igual a 34.500 NTU no dia posterior ao desastre (IGAM, 2020a). Assim, a análise de turbidez permite ao IGAM ter um indicativo da magnitude do impacto decorrente do avanço dos rejeitos.

As maiores concentrações foram encontradas no período de 60 dias posteriores ao desastre, no último trimestre de 2019 e em janeiro de 2020. No primeiro mês de 2020 houve resultados elevados de turbidez nesse trecho, que podem ser associados à remobilização do material depositado no leito, além de novos aportes de rejeitos no rio carregados pelas intensas chuvas ocorridas no período (IGAM, 2020a; 2020b). Houve queda nos valores de turbidez a jusante do rio Paraopeba. Contudo, no período chuvoso, as medianas dos três trechos são superiores ao máximo estabelecido para classe 2 pela Diretriz Normativa nº 01, de 2008. Houve ainda oscilações nas concentrações de ferro total, manganês total, chumbo total e mercúrio total, sobretudo nos trechos entre Betim e Pompéu.

Os resultados do monitoramento do IGAM (Tabela 1) apontam para os impactos causados pelos rejeitos da barragem B1, além de destacar o amortecimento devido aos barramentos localizados ao longo do rio Paraopeba (Termelétrica de Igarapé e UHE Retiro Baixo). Destaca-se ainda a maior influência dos rejeitos nos primeiros 60 km após a confluência do córrego Ferro-Carvão.

**Tabela 1:** Parâmetros analisados pelo IGAM com amostras de água fora do padrão para classe 2 da DN 01/2008.

|  | Trecho 1        |                 |                 |                 |                 | Trecho 2        |                 |                 |                  |                 | Trecho 3        |                 |                 |                 |                 |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|  | jan-abr<br>2019 | mai-jul<br>2019 | ago-out<br>2019 | nov-jan<br>2020 | fev-abr<br>2020 | jan-abr<br>2019 | mai-jul<br>2019 | ago-out<br>2019 | nov- jan<br>2020 | fev-abr<br>2020 | jan-abr<br>2019 | mai-jul<br>2019 | ago-out<br>2019 | nov-jan<br>2020 | fev-abr<br>2020 |
| <b>Alumínio dissolvido (limite DN 01/2008 para classe 2 =0,1 mg/L)</b> |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Máximo   | 0,76            | 3,12            | 0,31            | 0,77            | 0,59            | 1,09            | 3,16            | 0,23            | 1,40             | 0,96            | 1,57            | 3,16            | 0,15            | 1,31            | 1,20            |
| Mediana  | 0,23            | 0,14            | 0,12            | 0,25            | 0,17            | 0,36            | 0,42            | 0,11            | 0,24             | 0,21            | 0,44            | 0,46            | 0,10            | 0,19            | 0,20            |
| <b>Cádmio total (limite DN COPAM 01/2008 para classe 2=0,001 mg/L)</b> |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Máximo   | 0,004           | <0,0005         | <0,0005         | <0,0005         | <0,0005         | 0,001           | <0,0005         | 0,001           | <0,0005          | <0,0005         | <0,0005         | <0,0005         | <0,0005         | 0,0010          | <0,0005         |
| Mediana  | <0,0005         | <0,0005         | <0,0005         | <0,0005         | <0,0005         | <0,0005         | <0,0005         | <0,0005         | <0,0005          | <0,0005         | <0,0005         | <0,0005         | <0,0005         | <0,0005         | <0,0005         |
| <b>Chumbo total (limite DN 01/2008=0,01 mg/L)</b>                      |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Máximo   | 0,1470          | 0,0060          | 0,0050          | 0,0400          | 0,0190          | 0,0380          | 0,0060          | 0,0050          | 0,0420           | 0,0410          | 0,0170          | 0,0050          | 0,0050          | 0,0280          | 0,0170          |
| Mediana  | 0,0100          | 0,0050          | 0,0050          | 0,0100          | 0,0085          | 0,0060          | 0,0050          | 0,0050          | 0,0075           | 0,0080          | 0,0050          | 0,0050          | 0,0050          | 0,0060          | 0,0090          |
| <b>Cobre dissolvido (limite DN 01/2008 para classe 2 = 0,009 mg/L)</b> |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Máximo   | 0,006           | 0,004           | 0,006           | 0,006           | 0,022           | 0,010           | 0,004           | 0,004           | 0,005            | 0,031           | 0,0092          | 0,004           | 0,004           | 0,004           | 0,004           |
| Mediana  | 0,004           | 0,004           | 0,004           | 0,004           | 0,004           | 0,004           | 0,004           | 0,004           | 0,004            | 0,004           | 0,004           | 0,004           | 0,004           | 0,004           | 0,004           |
| <b>Ferro dissolvido (limite DN 01/2008 para classe 2=0,3 mg/L)</b>     |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Máximo   | 1,24            | 1,42            | 0,65            | 0,90            | 1,00            | 1,68            | 0,94            | 0,46            | 1,22             | 1,06            | 1,82            | 1,77            | 0,11            | 1,12            | 1,06            |
| Mediana  | 0,47            | 0,44            | 0,31            | 0,45            | 0,56            | 0,54            | 0,52            | 0,10            | 0,40             | 0,60            | 0,48            | 0,55            | 0,08            | 0,46            | 0,52            |
| <b>Manganês total (limite DN 01/2008 para classe 2=0,1 mg/L)</b>       |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Máximo   | 46,27           | 0,372           | 1,142           | 7,557           | 2,552           | 10,305          | 0,276           | 0,232           | 12,262           | 4,565           | 3,907           | 0,231           | 0,046           | 3,375           | 2,639           |
| Mediana  | 1,841           | 0,2245          | 0,206           | 1,383           | 0,876           | 0,6085          | 0,232           | 0,097           | 0,999            | 1,064           | 0,339           | 0,092           | 0,027           | 0,6             | 0,725           |
| <b>Mercúrio total (limite DN 01/2008 para classe 2= 0,2 µg/L)</b>      |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Máximo   | 4,23            | <0,2            | <0,2            | <0,2            | <0,2            | 0,81            | <0,2            | <0,2            | <0,2             | <0,2            | 0,84            | <0,2            | <0,2            | <0,2            | <0,2            |
| Mediana  | <0,2            | <0,2            | <0,2            | <0,2            | <0,2            | <0,2            | <0,2            | <0,2            | <0,2             | <0,2            | <0,2            | <0,2            | <0,2            | <0,2            | <0,2            |
| <b>Níquel total (limite DN 01/2008 para classe 2=0,025 mg/L)</b>       |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Máximo   | 0,109           | 0,004           | 0,004           | 0,014           | 0,011           | 0,025           | 0,009           | 0,004           | 0,065            | 0,017           | 0,016           | 0,004           | 0,004           | 0,035           | 0,012           |
| Mediana  | 0,008           | 0,004           | 0,004           | 0,004           | 0,004           | 0,005           | 0,004           | 0,004           | 0,004            | 0,004           | 0,004           | 0,004           | 0,004           | 0,004           | 0,004           |
| <b>Turbidez (limite DN 01/2008 para classe 2=100 NTU)</b>              |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Máximo   | 34.500          | 91              | 243             | 1.856           | 798             | 17.148          | 74              | 65              | 2.498            | 608             | 1.545           | 51              | 11              | 791             | 553             |
| Mediana  | 1.010           | 44              | 28              | 273             | 240             | 229             | 38              | 14              | 267              | 200             | 148             | 15              | 6               | 216             | 191             |
| <b>Zinco total (limite DN 01/2008 para classe 2=0,18 mg/L)</b>         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Máximo   | 0,250           | 0,029           | 0,033           | 0,067           | 0,059           | 0,112           | <0,020          | <0,020          | 0,083            | 0,078           | 0,116           | <0,020          | <0,020          | 0,063           | 0,093           |
| Mediana  | 0,041           | <0,020          | <0,020          | <0,020          | 0,043           | 0,041           | <0,020          | <0,020          | <0,020           | 0,044           | 0,037           | <0,020          | <0,020          | <0,020          | 0,044           |

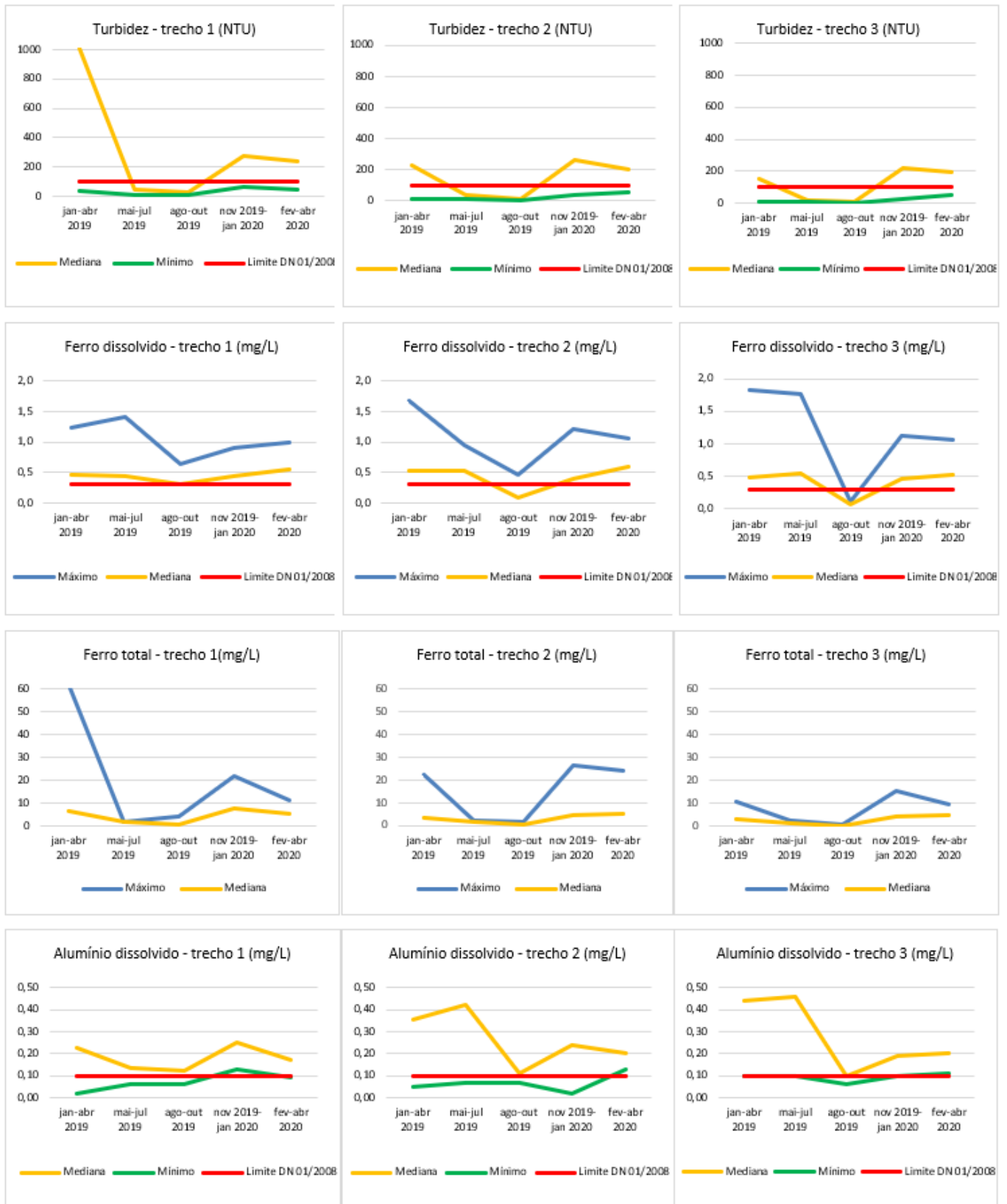
Fonte: IGAM (2020)

Verifica-se a partir dos dados da Tabela 1 que o comportamento do manganês foi semelhante ao da turbidez: maiores concentrações no período chuvoso, com tendência de queda nos meses seguintes. Entretanto, mesmo com essa tendência de queda, os valores encontrados, com poucas exceções, se situaram acima do limite. Sobre o ferro total, o comportamento para sua forma total foi semelhante ao da turbidez e do manganês. Já para o ferro dissolvido, não houve redução, mas oscilações no período. Os resultados apresentam outra particularidade: o ferro total apresenta maiores concentrações, considerando a sedimentação do ferro adsorto às partículas sólidas, que apresentam velocidade de escoamento muito inferior ao da forma dissolvida (IGAM, 2020a).

Os valores mais elevados de ferro dissolvido e alumínio se situaram no trecho após os 60 km da confluência do córrego Ferro-Carvão, ao contrário da turbidez, do ferro total e do manganês. Os resultados de alumínio dissolvido também estiveram acima do limite de 0,1 mg por litro (até 5 vezes acima) nos trechos 1 a 4 (Brumadinho até Pompéu), com o maior valor registrado no trecho 2 (IGAM, 2020a). Assim como o alumínio, manganês e ferro também estão presentes em concentrações relevantes no solo da bacia do rio Paraopeba. A presença natural desses elementos no corpo d'água está relacionada ao carreamento de partículas e lixiviação de solo da área da bacia nos períodos chuvosos (Viglio & Cunha, 2018).

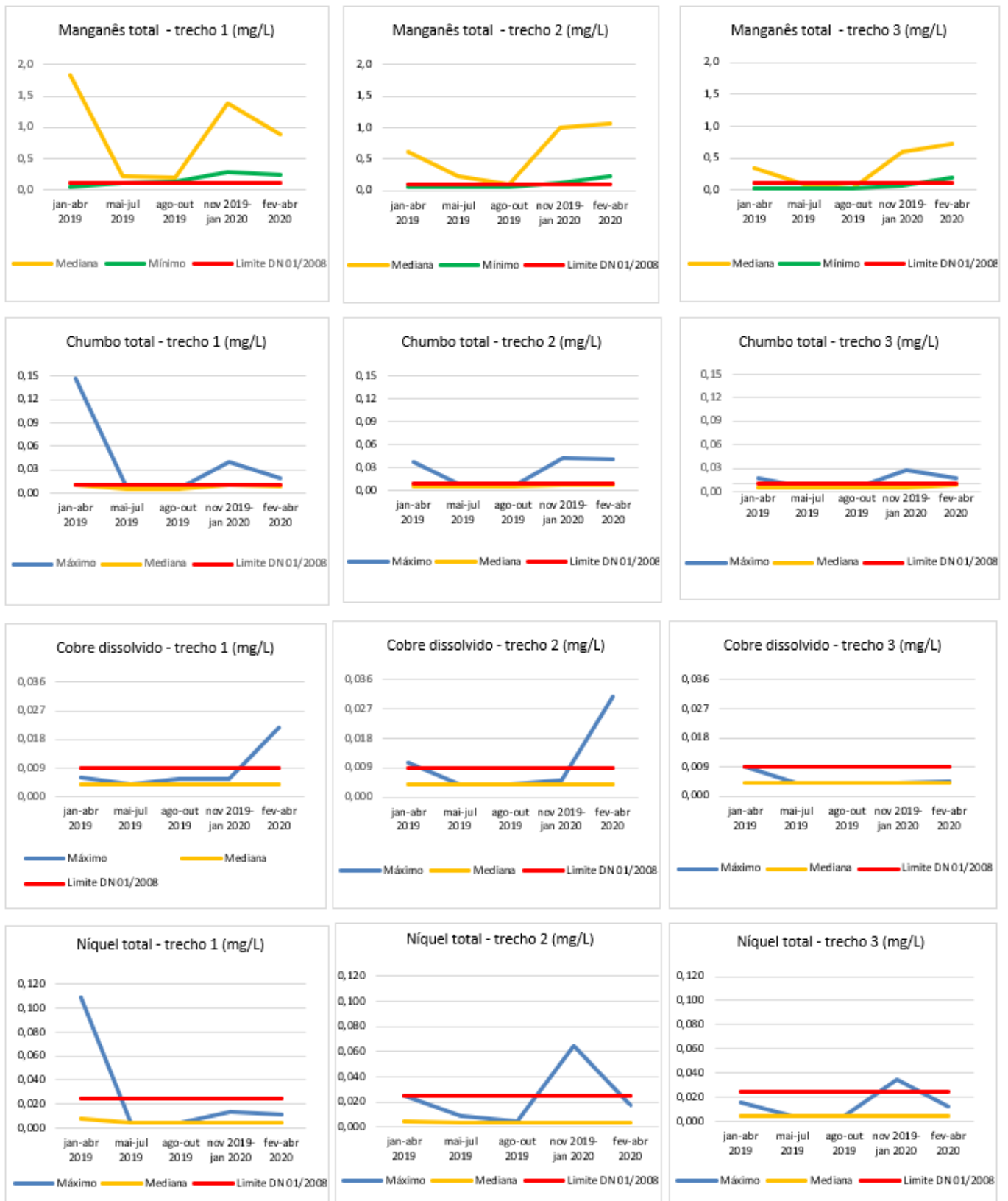
As Figuras 2 e 3 apresentam graficamente a evolução das concentrações e suas respectivas medianas ao longo do monitoramento nos três primeiros trechos monitorados do rio Paraopeba, em comparação com os limites estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM 01, de 2008 (exceção feita ao parâmetro ferro total, que não possui limite máximo estabelecido).

**Figura 2:** concentrações de turbidez, ferro dissolvido, ferro total e alumínio em amostras dos trechos 1, 2 e 3 do monitoramento do IGAM entre janeiro de 2019 e abril de 2020.



Fonte: IGAM (2020).

**Figura 3:** concentrações de turbidez, ferro dissolvido, ferro total e alumínio em amostras dos trechos 1, 2 e 3 do monitoramento do IGAM entre janeiro de 2019 e abril de 2020.



Fonte: IGAM (2020).

Durante todo o período analisado, as medianas dos três trechos para alumínio são superiores ao máximo estabelecido para classe 2 pela Diretriz Normativa nº 01, de 2008 (Minas Gerais, 2008). Esses dados sugerem maior interferência das atividades antrópicas ao longo da bacia nos trechos 2 e 3 do monitoramento. Existe na literatura relato de anomalia para alumínio no município de São Joaquim de Bicas, e ainda, a presença de chumbo em níveis acima do permitido em águas superficiais no rio Paraopeba (Viglio & Cunha, 2018).

Para o chumbo também houve violações ao limite, sobretudo nos primeiros 110 km (até Esmeraldas). As maiores concentrações foram encontradas nos primeiros 40 km do rio, nos dois primeiros meses após o desastre, e ainda no mês de novembro de 2019. Contudo, a série histórica do IGAM aponta para violações anteriores ao desastre. Já para o níquel, os resultados acima do permitido foram detectados em amostras de estações até 40 km da confluência do córrego Ferro-Carvão, especialmente no primeiro mês do monitoramento, além de outras duas violações no mês de janeiro de 2020. As amostras de cobre apontaram para violações entre os meses de fevereiro e abril de 2019, e ainda para duas violações no mês de abril de 2020 (IGAM, 2020a).

Dentre as amostras, houve quatro resultados para cádmio acima do permitido, no trecho entre Brumadinho e Mário Campos, ocorridos nos primeiros 40 dias após o desastre. A presença de concentrações elevadas de mercúrio pode ser associada ao arraste de materiais que se misturaram à lama durante a passagem da frente de rejeito na calha do rio, assim como também pode refletir no aumento nas concentrações de outros contaminantes no período pós-desastre. Nesse sentido, o mercúrio total, que não havia sido detectado historicamente na bacia do rio Paraopeba, passou a ser identificado em valores acima do permitido pela legislação após o rompimento da barragem no primeiro trimestre nos trechos 1, 2 e 3. A concentração mais elevada, de 4,23 microgramas por litro, foi encontrada em amostra coletada no município de Mário Campos, um dia após o rompimento da barragem B1. Tal concentração é 21 vezes superior ao limite estabelecido para a classe 2, que corresponde a 0,2 microgramas por litro. A última violação constante no monitoramento ocorreu no dia 1º de março de 2019, em São Joaquim de Bicas (IGAM, 2020a).

Os parâmetros oxigênio dissolvido, arsênio total, cromo total, cobre dissolvido e selênio total não apresentaram violação ao limite de classe 2 da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008 e da Resolução CONAMA nº 357/2005. Não foram detectadas alterações relevantes nas concentrações de arsênio total, cromo total, cobre dissolvido e selênio total nas análises realizadas pelo IGAM, à exceção do resultado de arsênio total registrado mês de janeiro de 2020.



Considerando a ausência de dados relacionados ao risco à saúde humana e animal pela utilização da água devido à deposição dos rejeitos no leito do rio, ao possível revolvimento do material em função das atividades de remoção do rejeito na área impactada e ao aumento do escoamento no solo e da vazão do rio no período chuvoso (o que poderá acarretar no transporte de sedimentos do rio Paraopeba), segue mantida a suspensão do uso da água do rio Paraopeba, no trecho de Brumadinho (confluência do córrego Ferro-Carvão) até Pompéu.

### 3.2. Monitoramento da SES-MG

O setor saúde possui limites máximos específicos para a qualidade da água para consumo humano, dispostos atualmente na Portaria de Consolidação nº 5, de 2017 (Brasil, 2017). As amostras foram coletadas em pontos situados às margens do rio Paraopeba (aproximadamente 100 metros de distância do leito do rio), e, especificamente no município de Brumadinho, localidades próximas ao ponto do rompimento da barragem também foram monitoradas. A Tabela 2 apresenta os resultados fora do padrão de alumínio, ferro e manganês no monitoramento realizado pela SES-MG.

**Tabela 2:** resultados de amostras analisadas pelo setor saúde.

| Município      | Alumínio (VMP= 0,2mg/L) |        |         | Ferro (VMP= 0,3 mg/L) |        |         | Manganês (VMP= 0,1mg/L) |        |         |
|----------------|-------------------------|--------|---------|-----------------------|--------|---------|-------------------------|--------|---------|
|                | % acima do VMP          | Máximo | Mediana | % acima do VMP        | Máximo | Mediana | % acima do VMP          | Máximo | Mediana |
| Brumadinho     | 7,8                     | 3,50   | 0,04    | 15,0                  | 13,90  | 0,14    | 3,9                     | 1,04   | 0,06    |
| M. Campos      | 10,2                    | 0,81   | 0,09    | 20,3                  | 1,03   | 0,43    | 15,3                    | 0,57   | 0,05    |
| S. J. Bicas    | 6,0                     | 4,39   | 0,06    | 4,0                   | 1,55   | 0,31    | 1,0                     | 0,11   | 0,05    |
| Betim          | 7,4                     | 0,62   | 0,07    | 4,6                   | 5,63   | 0,20    | 9,3                     | 1,74   | 0,04    |
| Juatuba        | 1,9                     | 0,26   | 0,06    | 28,8                  | 5,48   | 0,48    | 18,3                    | 0,50   | 0,06    |
| Florestal      | 2,2                     | 0,68   | 0,07    | 4,4                   | 1,09   | 0,17    | 3,3                     | 0,12   | 0,05    |
| Pará de Minas  | 10,1                    | 7,16   | 0,10    | 34,8                  | 55,10  | 1,27    | 16,9                    | 3,39   | 0,24    |
| Esmeraldas     | 6,1                     | 0,80   | 0,08    | 31,1                  | 13,60  | 0,52    | 7,2                     | 0,47   | 0,04    |
| S. J. Varginha | 13,1                    | 8,40   | 0,09    | 23,2                  | 27,50  | 0,89    | 8,3                     | 0,38   | 0,05    |
| Papagaios      | 6,7                     | 0,98   | 0,11    | 17,8                  | 7,73   | 0,24    | 27,8                    | 0,54   | 0,09    |
| Paraopeba      | 23,5                    | 1,65   | 0,16    | 54,9                  | 9,58   | 0,72    | 27,5                    | 1,41   | 0,09    |
| Pompéu         | 10,0                    | 0,36   | 0,06    | 7,5                   | 0,78   | 0,26    | 7,5                     | 0,15   | 0,06    |
| Curvelo        | 6,1                     | 2,81   | 0,09    | 34,1                  | 8,19   | 0,85    | 14,6                    | 0,76   | 0,06    |
| Felixlândia    | 4,4                     | 1,33   | 0,07    | 47,1                  | 2,05   | 0,38    | 69,1                    | 2,28   | 0,46    |
| M. N. de Minas | 7,5                     | 0,58   | 0,10    | 20,0                  | 4,49   | 0,32    | 17,5                    | 0,59   | 0,06    |
| Três Marias    | 0,0                     | 0,09   | 0,04    | 4,8                   | 0,91   | 0,20    | 1,0                     | 0,12   | 0,04    |

Fonte: SES-MG (2020)

Diante da divergência no valor máximo permitido (VMP) para turbidez entre a normativa ambiental e a da saúde, de respectivamente 5 e 100 NTU, os resultados do setor saúde não foram elencados e discutidos.

Dos três parâmetros, observa-se que para alumínio a mediana em todos os municípios foi abaixo do VMP. Com exceção de Três Marias, houve violação do limite, sendo o maior valor encontrado em São José da Varginha (8,40 mg/L), 41 vezes superior ao limite. O município de Paraopeba apresentou maior percentual de amostras acima do VMP (23,5%). Em relação ao ferro observa-se que em 10 dos 16 municípios a mediana está acima do VMP, com destaque para Pará de Minas, onde a mediana foi quatro vezes superior ao máximo permitido (1,27 mg/L).

Ferro foi o parâmetro com maior percentual de amostras acima do permitido, sendo que em todos os municípios houve violação em pelo menos uma amostra. O maior valor também foi detectado em Pará de Minas (55,10 mg/L), 183 vezes superior ao limite, enquanto o município de Paraopeba apresentou o maior percentual de amostras acima do VMP (54,9%). Para manganês, observa-se que a mediana foi inferior ao VMP em todos os municípios, exceto Para de Minas e Felixlândia. Todos municípios monitorados apresentaram alguma violação para este parâmetro, sendo que em Pará de Minas o maior valor (3,39 mg/L) é mais de 33 vezes superior ao VMP, enquanto Felixlândia apresentou maior percentual de amostras acima do VMP (69,1%). A Tabela 3 apresenta o quantitativo de parâmetros violados de metais, por município, constante no monitoramento da SES-MG.

**Tabela 3:** parâmetros violados no monitoramento da SES-MG por município.

| Município            | Parâmetro violado / quantitativo de violações                  |
|----------------------|--|
| Betim                | chumbo (1)   |
| Brumadinho           | antimônio (1), arsênio (1), chumbo (2), cromo (3), selênio (1) |
| Florestal            | bário (9)  |
| Morada Nova de Minas | chumbo (3)   |
| Pará de Minas        | arsênio (2), chumbo (4)  |
| Paraopeba            | antimonio (1)  |
| Pompéu               | chumbo (4)   |
| São Joaquim de Bicas | chumbo (2), mercurio (1), níquel (2)                           |
| São José da Varginha | chumbo (6), cromo (2)  |
| Três Marias          | arsênio (5)  |

Fonte: SES-MG (2020).

No monitoramento da SES-MG, houve ainda resultados insatisfatórios para diferentes metais (arsênio, chumbo total, cromo total, antimônio, bário, mercúrio total, níquel total e selênio). A maioria das violações ocorreu para chumbo total, em 15 pontos de coleta dos municípios de Betim, Brumadinho, Morada Nova de Minas, Pará de Minas, Pompéu e São José da Varginha. Em relação ao cromo total, as violações ocorreram em quatro pontos dos municípios de São José da Varginha e Brumadinho. Observa-se ainda que a maioria dos resultados acima do VMP ocorreram nos meses de maio (12) e abril (8) (SES-MG, 2020).

Observa-se que houve resultado acima do VMP para Antimônio (2), Arsênio (8 no total, em 3 pontos de monitoramento), Bário (9, todos no mesmo ponto), Chumbo (22, em 14 pontos), Cromo (3, em 2 pontos), Mercúrio (1), Níquel e Selênio. Esses resultados apontam para possíveis divergências em relação ao monitoramento realizado pelo IGAM, como no caso das violações para bário, selênio e antimônio (SES-MG, 2020); e cádmio, cobre e zinco (IGAM, 2020a).

Considerando-se a extensão territorial, a presença desses metais se apresenta de forma difusa e, ou, em locais específicos. Nesse sentido, mantém-se relevante a suspensão do uso da água para consumo humano nesses locais de monitoramento, tendo em vista a presença desses metais em concentrações acima do permitido.

### **3.3. Contaminação por metais: riscos à saúde**

Durante a última década, diversos estudos foram realizados buscando associar potenciais efeitos neurotóxicos do alumínio na saúde humana, especialmente acometidos pela doença de Alzheimer (D'Haese et al., 2019; Krupínska, 2020). A ingestão excessiva de manganês pode afetar o funcionamento do sistema nervoso e ainda desenvolver o manganismo, uma síndrome que pode causar fraqueza, anorexia, dor muscular, apatia, fala lenta, e outros efeitos crônicos (Alvares-Bastida et al., 2018). Concentrações elevadas de ferro podem alterar o sabor e a cor da água, podendo provocar por meio de seu contato manchas amareladas em roupas e produtos industriais, como o papel (Ferreira & Pádua, 2016; Libânio, 2017). Já em relação ao zinco, sua ingestão excessiva de zinco pode causar náuseas, vômitos, diarreia, cólicas abdominais e outros [World Health Organization (WHO), 2003].

O mecanismo iônico da toxicidade do chumbo causa mudanças significativas em vários processos biológicos (Jaishankar; Tseten; Anbalagan; Mathew & Beeregowda, 2014). Em seres humanos, a toxicidade do chumbo ocorre principalmente de forma cumulativa, sendo os recém-nascidos, crianças menores de seis anos e gestantes mais suscetíveis a efeitos

adversos à saúde. Tanto na exposição aguda como na de longo prazo podem surgir sintomas como apatia, agitação, irritabilidade, falta de atenção, dores de cabeça, cólicas abdominais, danos nos rins, alucinações, perda de memória e anemia (Libânio, 2017; WHO, 2011). Já a ingestão de cromo pode, em sua forma hexavalente, apresentar potencial risco carcinogênico (Bourotte, Bertolo, Almodovar & Hirata, 2009).

Os principais efeitos decorrentes da ingestão excessiva de cobre na água estão relacionados a desarranjos gastrointestinais e danos no fígado ou rins, relacionados à exposição de longo prazo. Já a ingestão de cádmio por meio da água pode causar contaminação de caráter cumulativo no organismo, causando lesões no fígado e disfunções renais (Jaishankar et al., 2014; Ferreira & Pádua, 2016). A ocorrência de dermatites, doenças gastrointestinais, respiratórias, cardiovasculares e câncer pode se dar em decorrência da exposição excessiva ao antimônio (Cooper & Harrison, 2009; Sundar & Chakravarty, 2010), enquanto potenciais efeitos do bário sobre a saúde humana podem incluir distúrbios metabólicos, renais, cardiovasculares, neurológicos e mentais (Kravchenko, Darrah, Miller, Lyerly & Vengosh, 2014)

Um dos metais monitorados de maior risco à saúde em baixas concentrações, o arsênio pode causar efeitos diversos, como carcinogênicos, dermatológicos, neurológicos e cardiovasculares, hematológicos, gastrointestinais, hepáticos, renais, reprodutivos e outros (Borba, Figueiredo & Cavalcanti, 2004; Jaishankar et al., 2014). Além disso, existe um histórico de presença de arsênio nas águas do rio Paraopeba, sobretudo em sua porção mais alta (Viglio & Cunha, 2018).

O mercúrio, metal que possui alta toxicidade, apresenta caráter bioacumulativo. Seus efeitos no organismo podem decorrer tanto da exposição aguda como também da exposição crônica, a depender do tempo de exposição e da concentração (Umbuzeiro, 2012). Dentre os principais compostos, o metilmercúrio pode causar disfunções no sistema nervoso central, na coordenação motora, doenças cardiovasculares, cegueira, problemas renais, teratogênese e outros danos à saúde, podendo levar até a morte; já o mercúrio metálico pode causar intoxicação aguda com efeitos pulmonares, além de possíveis danos também aos rins, sistema nervoso e teratogênese (Câmara, Almeida & Cancio, 1998; Souza & Santana, 2013).

Portanto, diante de possíveis riscos à saúde decorrentes da utilização da água com presença desses elementos em concentrações superiores às estabelecidas nas normativas legais, é de fundamental importância a continuidade do monitoramento da qualidade da água do rio, além de mananciais de abastecimento humano utilizados anteriormente ao desastre.

#### 4. Considerações Finais

Análises de amostras de água coletadas diretamente no rio Paraopeba, além de amostras coletadas em poços e cisternas próximos às suas margens, apresentam violações pontuais para uma série de parâmetros. No caso do monitoramento da água do rio Paraopeba, foram encontrados resultados acima do permitido para turbidez, ferro, manganês, alumínio, cobre, cádmio, chumbo, níquel, mercúrio e zinco. Já no monitoramento do setor saúde em soluções alternativas próximas às margens do rio, resultados acima do permitido foram identificados para turbidez, alumínio, arsênio, bário, cromo, chumbo, ferro, manganês, mercúrio e níquel.

Até o momento, mantém-se a suspensão de todos os usos de água bruta do rio Paraopeba, no trecho entre Brumadinho e Pompéu, inclusive de poços e cisternas situados próximos às suas margens. Nesse trecho se incluem a adutora complementar do Sistema Rio Manso, da COPASA, no município de Brumadinho, além das captações dos municípios de Pará de Minas, Caetanópolis e Paraopeba. Concluindo, a contaminação do rio pelo rejeito de minério afetou diretamente a população, as plantações agrícolas, a vida aquática e conseqüentemente a economia em âmbito local e regional.

Diante do contexto, especialmente no que tange a riscos à saúde de populações expostas, medidas de restrição ao uso da água do rio Paraopeba permanecem necessárias, buscando evitar assim riscos de curto, médio e longo prazo à população. Da mesma forma, faz-se necessário o monitoramento constante da qualidade da água, com vistas a orientar políticas públicas relacionadas ao seu uso ou ainda voltadas à manutenção de sua restrição. Sugere-se, por fim, a realização de trabalhos futuros voltados para a avaliação de riscos à saúde baseados em maior período, quantitativo de amostras e parâmetros analisados, além da realização de estudos toxicológicos sobre exposição aguda e crônica a esses elementos e outras substâncias de interesse.

#### Referências

Alvares-Bastida, C., Martínez-Miranda, V., Solache-Rios, M., Linares-Hernández, I., Teutli-Sequeira, A., & Vázquez-Mejía, G. (2018) Drinking water characterization and removal of manganese. Removal of manganese from water. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 6(1), 2119–25. <http://doi.org/10.1016/j.jece.2018.03.019>.

Bardin, L. (2016). *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70.

Bitar, O. Y. (1997). *Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Tese).

Borba, R. P., Figueiredo, B. R., & Cavalcanti, J. A. (2004). Arsênio na água subterrânea em Ouro Preto e Mariana, Quadrilátero Ferrífero (MG). *REM: Revista da Escola de Minas, Ouro Preto* 57(1), 45-51, jan-mar.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (2005). *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e estabeleceu diretrizes ambientais para o enquadramento. Brasília: Diário Oficial da União, 18 de março de 2005.

Brasil. Ministério da Saúde (2017). *Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017*. Consolidação das normas sobre os sistemas e os subsistemas do Sistema Único de Saúde. Anexo XX - do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Diário Oficial da União, 03 de outubro de 2017.

Bourotte, C., Bertolo, R., Almodovar, M., & Hirata, R. (2009). Natural occurrence of hexavalent chromium in a sedimentary aquifer in Urânia, State of São Paulo, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 81(2): 227-42.

Câmara, V. M., Silva, A. P., & Cancio, J. A. (1998). Notas para a constituição de um programa de vigilância ambiental dos riscos e efeitos da exposição do mercúrio metálico em áreas de produção de ouro. *Informe Epidemiológico do SUS* 7(2), 35-44. <http://doi.org/10.5123/S0104-16731998000200004>

Cooper, R. G., & Harrison, A. P. (2009). The exposure to and health effects of antimony. *Indian Journal of Occupational & Environment Medicine* 13(1): 3-10. <http://doi.org/10.4103/0019-5278.50716>.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2002). *Perspectivas do Meio Ambiente do Brasil – Uso do Subsolo*. Brasília: Ministério de Minas e Energia. Recuperado de <https://www.cprm.gov.br>.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2019). *Monitoramento Especial da Bacia do Rio Paraopeba*. Relatório IV. Monitoramento Hidrológico e Sedimentométrico. Recuperado de [https://www.cprm.gov.br/sace/conteudo/paraopeba/RT\\_04\\_2019\\_PARA\\_OPEBA.pdf](https://www.cprm.gov.br/sace/conteudo/paraopeba/RT_04_2019_PARA_OPEBA.pdf).

Defesa Civil de Minas Gerais (2019). *Informações do Desastre Barragem de Rejeitos em Brumadinho - 28/12/19*. Recuperado de <http://www.defesacivil.mg.gov.br/index.php/component/gmg/page/787-informacoes-do-desastre-barragem-de-rejeitos-em-brumadinho-28-12-19>

D’Haese, P., Douglas, G., Verhulst, A., Neven, E., Behets, G. J., Varvaet, B. A., Finsterle, K., Lürling, M., & Spears, B. (2019). Human health risk associated with the management of phosphorus in freshwaters using lanthanum and aluminium. *Chemosphere* 220(1): 286-99. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.093>.

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (2018). *Lista de Barragens 2018*. Recuperado de <http://www.feam.br/gestao-de-barragens/inventario-de-barragens>.

Ferreira, A. C. S., & Pádua, V. L. (2016). Qualidade da água para consumo humano. In Heller, L., & Pádua, V. L. (org.). *Abastecimento de água para consumo humano*. Belo Horizonte: Editora UFMG.

Flick, U. (2013). *Introdução à Metodologia de Pesquisa*. Porto Alegre: Penso.

Freitas, C. M., Barcellos, C., Asmus, C. I. R. F., Silva, M. A., & Xavier, D. R. (2019). Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva. *Cadernos de Saúde Pública* 35(5): e00052519. <http://doi.org/10.1590/0102-311x00052519>.



IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração (2016). *Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração*. Recuperado de <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006222.pdf>.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas (2020). *Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais do Rio Paraopeba – Informativo nº 59*. Qualidade das Águas do Rio Paraopeba após o desastre na barragem B1 da Mineradora Vale/SA no município de Brumadinho – Minas Gerais. Recuperado de [http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2020/ACOES\\_RECUPERACAO\\_PARAOPEBA/Informativo\\_Trimestral\\_59.pdf](http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2020/ACOES_RECUPERACAO_PARAOPEBA/Informativo_Trimestral_59.pdf).

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas (2020). *Nota Técnica nº 5/IGAM/GEMOQ/2020*. Recuperado de [http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2020/ACOES\\_RECUPERACAO\\_PARAOPEBA/Nota\\_T%C3%A9cnica\\_n%C2%BA\\_5.IGAM.GEMOQ.2020\\_-\\_Avalia%C3%A7%C3%A3o\\_Bacia\\_Rio\\_Paraopeba\\_-\\_Per%C3%ADodo\\_chuvoso\\_-\\_fev2020.pdf](http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2020/ACOES_RECUPERACAO_PARAOPEBA/Nota_T%C3%A9cnica_n%C2%BA_5.IGAM.GEMOQ.2020_-_Avalia%C3%A7%C3%A3o_Bacia_Rio_Paraopeba_-_Per%C3%ADodo_chuvoso_-_fev2020.pdf).

Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology* 7(2): 60–72. <http://doi.org/DOI: 10.2478/intox-2014-0009>.

Kravchenko, J., Darrah, T. H., Miller, R. K., Lyster, H. K., & Vengosh, A. (2014). A review of the health impacts of barium from natural and anthropogenic exposure. *Environmental Geochemistry and Health* 36(1): 797–814. <http://doi.org/10.1007/s10653-014-9622-7>.

Krupínska, I. (2020). Aluminium Drinking Water Treatment Residuals and Their Toxic Impact on Human Health. *Molecules* 25(3), 641-53. <http://doi.org/10.3390/molecules25030641>.

Lacaz, F. C.; Porto, M. F. S., & Pinheiro, T. M. (2017). Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional* 42(1): 1-12. <http://doi.org/10.1590/2317-6369000016016>.

Libânio, M. (2017). *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. Campinas: Editora Átomo.

Lopes, L. M. N. (2016). O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. *Sinapse Múltipla* 5 (1): 1-14.

Marconi, M. A., & Lakatos, E. M. (2010). *Fundamentos de metodologia científica*. São Paulo: Atlas.

Minas Gerais (1995). *Deliberação Normativa COPAM nº 14, de 28 de dezembro de 1995*. Dispõe sobre o enquadramento das águas da Bacia do rio Paraopeba. Belo Horizonte: Minas Gerais, 29 de dezembro de 1995.

Minas Gerais (2008). *Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 05 de maio de 2008*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Belo Horizonte: Minas Gerais, 13 de maio de 2008.

Rezende, V. L. (2016). A mineração em Minas Gerais: uma análise de sua expansão e os impactos ambientais e sociais causados por décadas de exploração. *Sociedade & Natureza Uberlândia* 28(3): 375-84, set-dez. <http://doi.org/10.1590/1982-451320160304>.

Rotta, L. H. S., Alcântara, E., Park, E., Negri, R. G., Lin, Y. N., Bernardo, N., Mendes, T. S. G., & Souza Filho, C. R. (2020). The 2019 Brumadinho tailings dam collapse: Possible cause and impacts of the worst human and environmental disaster in Brazil. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation* 90(1): 102119. <http://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102119>

Sepe, J., & Salvador, N. N. B. (2018). Impactos da mineração e conflitos pelo uso da água com as atividades agrícolas de pequeno porte. *Anais do VIII Simpósio sobre reforma agrária e questões rurais*. Recuperado de [https://www.uniara.com.br/legado/nupedor/nupedor\\_2018/5/6\\_Josie\\_Sepe.pdf](https://www.uniara.com.br/legado/nupedor/nupedor_2018/5/6_Josie_Sepe.pdf).

Souza, J. T., Moraes, M. E. B., Sonoda, S. L., & Santos, H. C. R. G. (2014). A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. *REDE - Revista Eletrônica do Prodema* 8 (1): 26-45.

Souza, W. B., & Santana, G.P. (2013). O caso do mercúrio: Toxicidade dos organomercuriais. *Scientia Amazonia* 2 (2): 20-8.

Sundar, S., & Chakravarty, J. (2010). Antimony Toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 7(12): 4267-77. <http://doi.org/10.3390/ijerph7124267>.

Thomé, R., & Passini, M. L. (2018). Barragens De Rejeitos De Mineração: Características Do Método De Alçamento Para Montante Que Fundamentaram A Suspensão De Sua Utilização Em Minas Gerais. *Ciências Sociais Aplicadas em Revista - UNIOESTE/MCR*.18(34): 49-65.

Thomé, R., & Ribeiro, L. G. G. (2019). A descaracterização de barragens de rejeito de fechamento e o plano de fechamento de mina como instrumentos de mitigação de riscos na mineração. *Veredas do Direito Belo Horizonte* 16(35): 63-85. <http://doi.org/10.18623/rvd.v16i35.1567>.

Thompson, F., Oliveira, B. C., Masi, B. P., Rangel, T. P., Paz, P., Freitas, T., Lopes, G. L., Silva, B. S., Cabral, A. S., Soares, M., Lacerda, D., Vergilio, C. S., Lopes-Ferreira, M., Lima, C., Thompson, C., & Rezende, E. E. (2020). Severe impacts of the Brumadinho dam failure (Minas Gerais, Brazil) on the water quality of the Paraopeba River. *Science of the Total Environment* 705(1): 135914. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135914>.

Umbuzeiro, G. A.(coord.) (2012). *Guia de potabilidade para substâncias químicas*. São Paulo: Limiar.

Viglio, E. P., & Cunha, F. G. (2018). *Atlas geoquímico da bacia do rio São Francisco*: Minas Gerais. Belo Horizonte: CPRM.

WHO – World Health Organization (2003). *Zinc in Drinking-water*. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva, Switzerland: WHO.

WHO – World Health Organization (2011). *Lead in Drinking-water*. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva, Switzerland: WHO.

Yin, R. K. (2016). *Pesquisa qualitativa do início ao fim*. Porto Alegre: Penso.

**Percentual de contribuição de cada autor no manuscrito**

Alisson Martins Ramos – 45%

Leila Sabrina da Silva - 15%

Tamires Guimarães Lima - 10%

Gabriela Lopes Marques - 15%

Hebert Medeiros Gontijo - 15%