

Avaliação da Qualidade das Águas e Sedimentos do Rio Paraopeba

Acompanhamento da Qualidade das
Águas do Rio Paraopeba após 1 ano do
Rompimento da Barragem da Mina
Córrego Feijão em Brumadinho - MG

Belo Horizonte, abril de 2020

Instituto Mineiro de Gestão das Águas

Avaliação da qualidade da água e sedimentos do Rio Paraopeba

Acompanhamento da Qualidade das Águas do Rio Paraopeba Após 1 ano
do Rompimento da Barragem da Mina Córrego Feijão da Mineradora Vale/SA –
Brumadinho/MG

Belo Horizonte
2020

Governo do Estado de Minas Gerais

Governador

Romeu Zema Neto

SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

Secretário

Germano Luiz Gomes Vieira

Secretário Executivo

Hidelbrando Canabrava Rodrigues Neto

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

Diretora Geral

Marília Carvalho de Melo

Diretora de Operações e Eventos Críticos

Ana Carolina Miranda Lopes de Almeida

Gerente de Monitoramento de Qualidade das Águas

Katiane Cristina de Brito Almeida

Equipe Técnica

Carolina Cristiane Pinto, Engenheira Química

Mariana Elissa Vieira de Souza, Geógrafa

Matheus Duarte Santos, Geógrafo

Roberta Silva Ocampos, graduanda em Engenharia Ambiental

Regina Márcia Pimenta Assunção, Bióloga

Sérgio Pimenta Costa, Biólogo

Vanessa Kelly Saraiva, Química

Normalização bibliográfica

Márcia Beatriz Silva de Azevedo

Foto Capa: Sisema

- I59a Instituto Mineiro de Gestão das Águas.
Avaliação da qualidade da águas e sedimentos do Rio Paraopeba:
acompanhamento da qualidade das águas do Rio Paraopeba após 1 ano do
rompimento da barragem da Mina Córrego Feijão da Mineradora Vale/SA –
Brumadinho/MG / Instituto Mineiro de Gestão das Águas . --- Belo
Horizonte: Igam, 2020.
66 p.; il.

Caderno especial.

1. Qualidade da água - monitoramento. 2. Sedimentos. 3. Rio Paraopeba.
I. Título.

CDU: 556:550.4

Ficha catalográfica elaborada por Márcia Beatriz Silva de Azevedo - CRB 1934/6

IGAM

Rodovia João Paulo II, 4143 - Bairro Serra Verde - Belo Horizonte/MG
Cidade Administrativa - CEP: 31630-900 – (31) 39151000
www.igam.mg.gov.br

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	5
1 INTRODUÇÃO	9
2 DESASTRE DE BRUMADINHO – AÇÕES IGAM.....	10
3 PRINCIPAIS USOS DA ÁGUA NA CALHA DO RIO PARAÓPEBA	9
4 AVALIAÇÃO DA ANOMALIA DE PRECIPITAÇÃO TRIMESTRAL NO ANO DE 2019 NA BACIA DO PARAÓPEBA	11
5 PROGRAMA DE MONITORAMENTO EMERGENCIAL DO RIO PARAÓPEBA – ÁGUA SUPERFICIAL E SEDIMENTOS	15
5.1 Plano de amostragem – Metodologia.....	16
5.2 Rede de monitoramento.....	16
5.3 Frequência de amostragem.....	22
5.4 Parâmetros monitorados e padrões de qualidade	23
6 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DE ÁGUAS SUPERFICIAIS DE JANEIRO A DEZEMBRO DE 2019	26
7 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DE SEDIMENTOS DE JANEIRO A DEZEMBRO DE 2019.....	47
8 CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS	66

APRESENTAÇÃO

A bacia do Paraopeba é um território estratégico para o Estado de Minas Gerais. Além de estar localizada no quadrilátero ferrífero com importante produção mineral e relevância econômica, três reservatórios que abastecem a região metropolitana de Belo Horizonte estão na bacia, bem como um ponto de captação no próprio rio Paraopeba instalado em 2015 para reverter a condição de estresse hídrico ao qual estavam submetidos os reservatórios de abastecimento de água.

Desde o dia 25 de janeiro de 2019, quando a barragem de rejeito no complexo da Mina Córrego Feijão, designada B1, da empresa Vale S/A rompeu no ribeirão Ferro-Carvão, tributário do rio Paraopeba, tivemos diversos impactos diretos na qualidade das águas e consequentemente no provimento de usos múltiplos na área diretamente afetada foram registrados.

O Igam, no uso de suas competências, intensificou o monitoramento da qualidade das águas e dos sedimentos ao longo do trecho do Rio Paraopeba afetado pelo rompimento.

Nesse encarte serão apresentados os dados de monitoramento das águas superficiais decorrido 1 ano do rompimento da barragem em Brumadinho. O programa de monitoramento visa fornecer à sociedade o conhecimento da situação da qualidade das águas dos corpos de águas atingidos pelo desastre, bem como permitir o acompanhamento das ações de recuperação da bacia do rio Paraopeba. Além disso, serão apresentadas as principais ações e entregas do órgão gestor de recursos hídricos do que se refere ao tema impacto na qualidade da água e usos múltiplos do rio Paraopeba.

Marília Carvalho de Melo
Diretora Geral Igam

1 INTRODUÇÃO

No dia 25 de janeiro de 2019, a Barragem I (B1) de contenção de rejeitos da mina Córrego do Feijão, de propriedade da mineradora Vale S.A, localizada em Brumadinho, na Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG, rompeu. A estrutura da barragem tinha área total de aproximadamente 27 hectares, 87 metros de altura e não recebia rejeitos desde 2016. A ruptura da barragem provocou a liberação de cerca de 12 milhões de metros cúbicos de rejeitos de produção mineral (IMAGEM 1). A maior parte do rejeito ficou contido na calha do ribeirão Ferro-Carvão até sua confluência com rio Paraopeba, mas uma parte atingiu a calha do rio Paraopeba e se espalhou até o remanso da Usina Hidrelétrica (UHE) de Retiro Baixo. O material depositado no rio Paraopeba continua a se mover, carregado pelo rio e pela ocorrência de chuvas na região.

Este desastre ambiental de grandes proporções, e também o maior acidente de trabalho da história brasileira, suscitou grande preocupação não só na bacia do rio Paraopeba como também em toda a bacia do rio São Francisco, que já vem atravessando uma longa crise hídrica, e ocasionou manifestações por parte dos Governos dos Estados banhados pelo São Francisco e várias instituições públicas e da sociedade civil.

Imagem 1 –Área da Barragem I da Mina do Córrego Feijão, antes e depois do rompimento



Fonte: Revista Veja (2019)

2 DESASTRE DE BRUMADINHO – AÇÕES IGAM

Imediatamente após o rompimento o Igam atuou em diversas ações no âmbito de gestão das águas tais como restrição de uso, emissão de outorgas emergenciais para captação, alinhamento com o Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) e monitoramento das águas (FIGURA 1). No âmbito do monitoramento o Igam intensificou a frequência de coletas para diária de água superficial na calha do rio Paraopeba, e semanal de sedimentos, entre Brumadinho e Felixlândia, que se manteve durante os primeiros 60 dias, além da implantação de mais 8 estações de amostragem para um melhor acompanhamento do impacto causado sobre as águas do rio Paraopeba.

Os dados tem sido consolidados na forma de relatórios técnicos e boletins informativos, com o intuito de orientar as ações dos órgãos competentes, tanto na esfera estadual quanto na federal, bem como para fornecer à sociedade o conhecimento da situação da qualidade das águas atingidas pelo desastre. O informativo referente à qualidade da água seguiu com periodicidade diária até 28/03, e a partir de julho de 2019 passou a ser publicado mensalmente. Em julho, iniciou-se a edição do Boletim do Cidadão que, mensalmente, traz as informações do monitoramento em uma linguagem mais acessível à população.

Os relatórios são divulgados em um repositório que foi criado para armazenar e dar transparência a todos as ações e acompanhamentos que estão sendo realizados no âmbito da Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Sisema)¹.

¹ <http://www.meioambiente.mg.gov.br/component/content/article/13-informativo/3741-desastre-ambiental-barragem-b1-mina-corrego-do-feijao>

Figura 1 – Principais ações do Igam no pós-rompimento da Barragem

Ações realizadas pelo Igam

Programa de Monitoramento



Coletas e análises de águas e sedimentos desde o dia subsequente ao rompimento da barragem. São avaliados parâmetros em água bruta e sedimentos em 16 pontos no monitoramento especial da qualidade das águas do rio Paraopeba.

Fiscalização



Emissão dos Autos de Fiscalização nº 61.250/2019, nº 64.499/2019 e nº 61.255/2019, exigindo que a Vale iniciasse o monitoramento da qualidade da água e sedimentos a partir de janeiro de 2019.

Recomendação de Suspensão dos Usos no rio Paraopeba



Recomendação das Secretarias de Estado de Saúde (SES), de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad) e de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Seapa), em 31/01/2019, para suspensão da água bruta do Rio Paraopeba desde a confluência com o Córrego Ferro-Carvão até o município de Pompéu e dos poços e cisternas até 100 metros da calha do Paraopeba até o município de Três Marias.

Segurança Hídrica



Emissão de 112 outorgas emergências, sendo 83% delas para água subterrânea, para captação visando garantir o abastecimento público, consumo humano, dessedentação animal e minimização do impacto ambiental.

Divulgação de informações para a sociedade



Divulgação dos resultados do monitoramento emergencial da qualidade da água do rio Paraopeba por meio do Informativo de Qualidade da água e do Boletim Informativo ao Cidadão, bem como, do Informativo Hidrometeorológico Paraopeba. Disponível em: <https://url.gratis/bfuyy>

Vistorias Igam



Visitas a campo para verificação e acompanhamento do avanço da pluma, das obras das ETAF I e II, das operações de dragagem e da localização das cortinas anti-turbidez.

Expedição Conjunta



Em maio de 2019, o Igam participou da expedição coordenada pela Polícia Federal ao longo do Rio Paraopeba, por onde se espalharam os rejeitos da Barragem 1 da Mina Córrego do Feijão, São Francisco e reservatório de Três Marias.

Elaboração Notas Técnicas Conjuntas Igam e SES



Para apresentar os resultados da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, definir e manter a suspensão dos usos da água bruta do rio Paraopeba, abrangendo os municípios de Brumadinho até Pompéu.

Abastecimento RMBH



Concessão para a nova captação da Copasa, em substituição da captação paralisada, a 2,3 km a montante do trecho do Paraopeba que foi impactado pelos rejeitos com o objetivo de restabelecer as fontes de abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte e garantir segurança hídrica à população.

Acompanhamento do Plano de Reparação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba Vale/Arcadis:



Elaboração de documentos técnicos e participação em reuniões e workshops para avaliação do Plano de Reparação Socioambiental de Brumadinho apresentado pela Vale ao Sisema.

Plano de contingência Três Marias



Acompanhamento junto à Agência Nacional de Águas - ANA do Plano de Contingência de Usuários Prioritários na Região de Três Marias elaborado pela Vale por definição da ANA, bem como, o acompanhamento das alterações na qualidade das águas após a UHE Retiro Baixo.

Placas informativas ao longo do rio Paraopeba



Por solicitação do Ministério Público de Minas Gerais, o Igam, em parceria com a SES, definiu a arte para placas informativas quanto aos usos não recomendados à população ao longo do Rio Paraopeba e dos poços artesanais. A Vale concluiu em fevereiro de 2020 a instalação das placas, no trecho entre Brumadinho e a UHE Retiro Baixo.

Avaliação de Risco a Saúde Humana



Acompanhamento de estudos de avaliação de risco à saúde humana e de risco ecológico em todos os municípios atingidos, visando a identificação dos possíveis riscos à saúde humana e ao meio ambiente derivados do material oriundo do rompimento da Barragem B1.

3 PRINCIPAIS USOS DA ÁGUA NA CALHA DO RIO PARAPEBA

A Deliberação Normativa COPAM nº 14, de 28 de dezembro de 1995 dispõe sobre o enquadramento das águas da Bacia do rio Paraopeba. De acordo com essa deliberação o rio Paraopeba, da confluência com o rio Maranhão até a represa de Três Marias, é enquadrado como Classe 2.

Com a regulamentação da Política Estadual de Recursos Hídricos pelo Decreto nº 41.578, de 8 de março de 2001, e com vistas ao atendimento de seu artigo 7º, inciso II, o Conselho Estadual de Política Ambiental (Copam) e o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH-MG) estabeleceram a Deliberação Normativa Conjunta nº 01, de 5 de maio de 2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais de domínio de Minas Gerais.

De acordo com esta deliberação normativa conjunta, os usos preponderantes para as classes de enquadramento são:

I. Classe especial - Águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II. Classe 1 - Águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução Conama nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III. Classe 2: Águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.

IV. Classe 3 - Águas que podem ser destinadas:

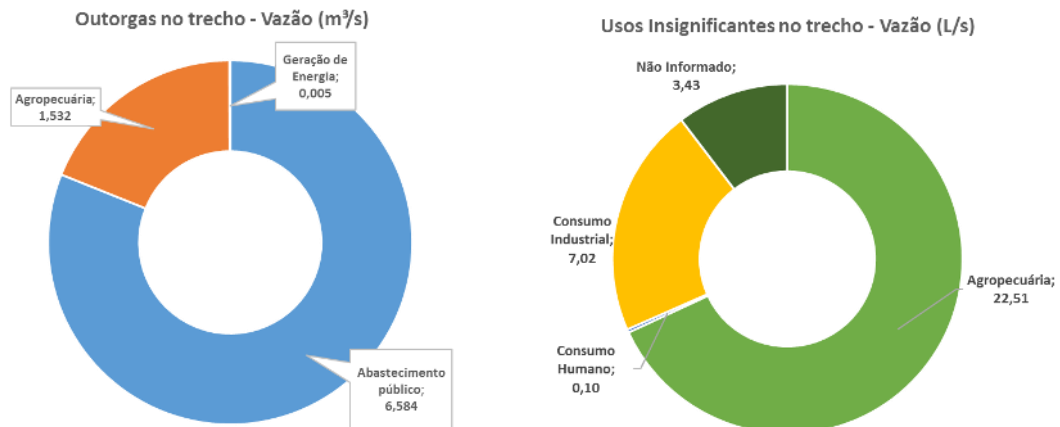
- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) à pesca amadora;
- d) à recreação de contato secundário; e
- e) à dessedentação de animais.

V. Classe 4 - Águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação; e
- b) à harmonia paisagística.

Dentre os usos outorgados e insignificantes superficiais identificados pelo levantamento da Gerência de Regulação de Usos de Recursos Hídricos – GERUR do IGAM, nos trechos do ribeirão Ferro Carvão e Rio Paraopeba, registra-se que ocorrem os seguintes usos: abastecimento público, geração de energia, agropecuária e consumo industrial (GRÁFICO 1).

Gráfico 1 – Usos regularizados pelo IGAM (água superficial) no trecho de fluxo da pluma de rejeitos, no rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Assim, no que se refere à qualidade da água do rio Paraopeba frente aos usos regularizados existentes, buscou-se fazer uma avaliação da qualidade da água verificando se há algum parâmetro monitorado cujas violações possam apresentar impacto nos usos supracitados. No caso do parâmetro arsênio total, considerou-se o inciso IV do artigo 13 da Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG nº 01/08, o qual determina que nas águas doces onde ocorrer pesca ou cultivo de organismos, para fins de consumo intensivo, o limite de arsênio total passa a ser 0,00014 mg/L.

4 AVALIAÇÃO DA ANOMALIA DE PRECIPITAÇÃO TRIMESTRAL NO ANO DE 2019 NA BACIA DO PARAOPEBA

O diagnóstico da precipitação foi realizado pelo SIMGE com base nas estações meteorológicas convencionais e automáticas da rede de observação de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), distribuídas na Bacia do Paraopeba e nas bacias vizinhas para melhor representatividade das bordas da UPGRH, uma vez que dentro da mesma somente 2 estações puderam ser utilizadas.

A análise foi realizada considerando o ano civil de 2019, dividido em 4 trimestres: JFM, AMJ, JAS e OND. Para cada um dos trimestres são apresentados os campos de anomalia da precipitação observada no Paraopeba, no ano de 2019.

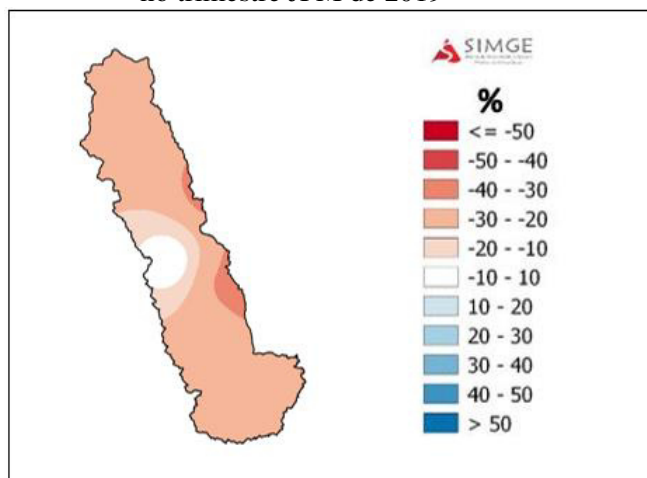
A anomalia de precipitação é variação da chuva observada (para mais ou para menos) tendo como referência a Normal climatológica. A anomalia positiva de chuvas ocorre quando a chuva fica acima da climatologia. Já a anomalia negativa ocorre quando a chuva fica abaixo da climatologia. A climatologia utilizada ilustra os valores das Normais climatológicas das chuvas publicadas pelo INMET, com referência aos 30 anos entre 1981-2010.

A distribuição espacial da anomalia através destes campos permite a observação do comportamento espacial da mesma, dado que estas podem se comportar diferentemente mesmo dentro de uma mesma porção geográfica.

A cor branca nas figuras, indica as áreas em que a precipitação ficou em torno da climatologia. Já as cores em tons azuis representam as áreas em ocorreram anomalias positivas. As áreas preenchidas em cores quentes representam as áreas de anomalias negativas. Os valores são dados em porcentagem.

O trimestre JFM é caracterizado climatologicamente pela ocorrência de chuvas em torno de 500mm e 650mm no Paraopeba, com as maiores precipitações ocorrendo no alto Paraopeba. Verifica-se que a anomalia na precipitação ocorrida no primeiro trimestre (JFM) de 2019, exibido na Figura 2, foi predominantemente negativa em quase toda a área do Paraopeba e variaram entre 380mm e 612mm. Apenas na região central os valores observados ficaram próximos à climatologia. Uma característica muito importante observada nesse primeiro trimestre de 2019 foi que o mês de janeiro, que é o mês mais importante na contabilização da chuva total do trimestre, se apresentou anormalmente seco. Por outro, lado fevereiro foi um mês anormalmente mais chuvoso.

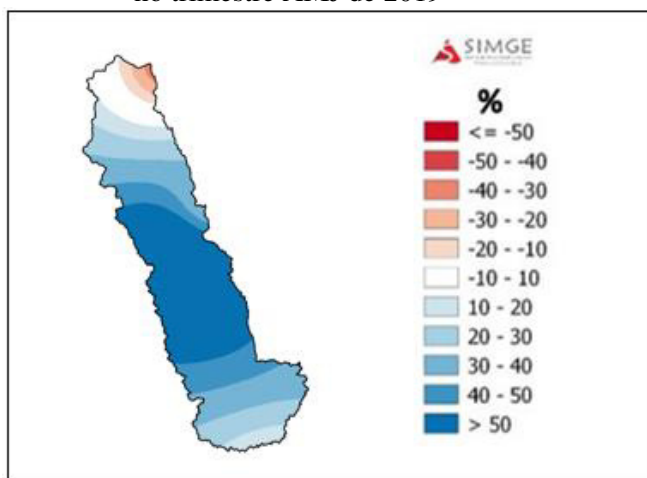
Figura 2 – Distribuição espacial da anomalia de precipitação no trimestre JFM de 2019



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

O segundo trimestre (AMJ), é o primeiro trimestre do período seco no estado. Climatologicamente, as chuvas computadas ao final do trimestre variam entre valores de 80mm a 110 mm. Conforme exibido na Figura 3, em 2019 observa-se ocorrência de anomalias predominantemente positivas no Paraopeba. Os totais observados ficaram entre 56mm e 200mm. É importante ressaltar que embora as anomalias na parte central do estado tenham sido 50% superiores à média histórica, essas chuvas não foram bem distribuídas ao longo dos três meses, mas sim ocorreram em sua maior parte no mês de abril, que se apresentou anormalmente acima da média.

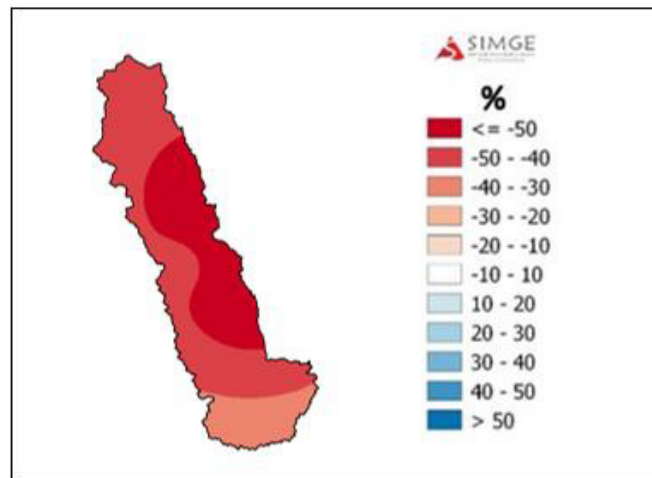
Figura 3 – Distribuição espacial da anomalia de precipitação no trimestre AMJ de 2019



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

O terceiro trimestre (JAS) é o segundo trimestre do período seco, que é também climatologicamente o pior trimestre do ano na contribuição de chuvas, já que as precipitações totais no Paraopeba nesse período variam entre 40mm e 80mm. Em 2019 esse trimestre, exibido na Figura 4, se apresentou ainda pior do que a climatologia, com anomalias negativas ao longo de toda a área da mesma, com precipitações observadas variando entre 22mm e 65mm.

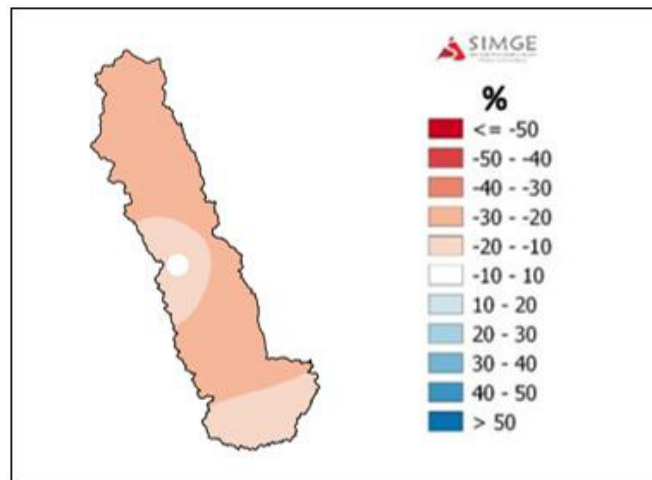
Figura 4 – Distribuição espacial da anomalia de precipitação no trimestre JAS de 2019



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

O quarto trimestre (OND) marca o início do período chuvoso em Minas. Nesse trimestre as precipitações, conforme Figura, climatológica variam entre 530mm e 670mm. Para 2019, conforme exibido na Figura 5, o que se observa é que o último trimestre do ano se caracterizou por anomalias negativas de precipitação em quase toda o Paraopeba, registrando valores entre 410mm e 545 mm.

Figura 5 – Distribuição espacial da anomalia de precipitação no trimestre OND de 2019



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Diante dos resultados mostrados, pode-se afirmar que 2019 foi um ano classificado como seco no baixo Paraopeba e muito seco no alto Paraopeba. Isso reflete a má qualidade das chuvas ocorridas nos dois trimestres de maior contribuição pluviométrica, JFM e OND, sendo o mês de janeiro o que mais contribuiu com esse resultado devido às poucas precipitações registradas.

5 PROGRAMA DE MONITORAMENTO EMERGENCIAL DO RIO PARAPEBA – ÁGUA SUPERFICIAL E SEDIMENTOS

Visando avaliar o impacto na qualidade da água e nos sedimentos e acompanhar o deslocamento da pluma do rejeito nos primeiros dias após o desastre o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam) instituiu uma rede de monitoramento emergencial integrada com a participação da Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Agência Nacional de Águas (ANA) e Companhia de Saneamento do Estado de Minas Ferais (Copasa). O objetivo foi de integrar os dados gerados por estas instituições para garantir maior abrangência na avaliação e transparência dos impactos gerados pelo rompimento da barragem no Ribeirão Ferro e Carvão e no Rio Paraopeba. Inicialmente essa rede abrangeu 24 pontos de monitoramento entre os municípios de

Brumadinho e Felixlândia, perfazendo 18 municípios² ao longo do trecho monitorado, desde de o dia subsequente ao desastre.

5.1 Plano de amostragem – Metodologia

O plano de amostragem do Igam inclui a realização de coletas e análises da qualidade da água e sedimentos no rio Paraopeba, trabalho este que se iniciou no dia seguinte ao evento com o planejamento do roteiro e deslocamento da equipe para a área. O início do monitoramento seguiu uma sequência de montante para jusante, à medida que os rejeitos avançavam ao longo do rio.

A avaliação da qualidade da água superficial e dos sedimentos é feita comparando-se os resultados do monitoramento emergencial com os resultados da série histórica de monitoramento do Igam entre 2000 a 2018. Os resultados do monitoramento emergencial também são confrontados com os limites legais previstos na Deliberação Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008 (COPAM; CERH, 2008) e na Resolução nº 454 de 1 de novembro de 2012 do Conselho de Meio Ambiente (CONAMA, 2012).

5.2 Rede de monitoramento

Antes do rompimento de Barragem B1 da Vale, o Igam realizava, desde 1997, o monitoramento trimestral da qualidade das águas superficiais em 37 pontos de monitoramentos distribuídos na bacia do rio Paraopeba, que constitui a rede básica do estado no âmbito do Projeto Águas de Minas, sendo 8 deles na extensão da calha do rio Paraopeba que foi impactada pelo rompimento da Barragem.

Após o desastre, instituiu-se uma rede emergencial para o acompanhamento do impacto do rompimento da Barragem. A rede emergencial contemplou os 8 pontos de monitoramento da

² Brumadinho, Mário Campos, São Joaquim de Bicas, Betim, Igarapé, Juatuba, Esmeraldas, Florestal e Pará de Minas, São José da Varginha, Fortuna de Minas, Pequi, Maravilhas, Paraopeba, Papagaios, Pompéu, Curvelo e Felixlândia

rede básica na calha do rio Paraopeba e foi continuamente ampliada ao longo do ano de 2019 (TABELA 1). Atualmente a rede emergencial possui 16 pontos monitorados pelo Igam sendo 1 no rio Paraopeba a montante da confluência com o córrego Ferro Carvão e 14 a jusante até o reservatório de Três Marias. A rede também foi acrescida de mais 1 ponto localizado em um afluente próximo ao reservatório de Três Marias. A existência de uma rede prévia permitiu a comparar a condição do rio antes e após o rompimento da barragem.

Tabela 1 – Descrição das estações de monitoramento avaliadas no monitoramento do rio Paraopeba pelo Igam

Estação	Coordenadas Lat/long		Município	Distância até a Barragem B1 (km)	Descrição	Início da coleta
BP036	- 20,197	-44,123	Brumadinho	10*	Rio Paraopeba na localidade de Melo Franco	28/jan
BPE2	- 20,135	-44,215	Brumadinho	19,7	Rio Paraopeba na captação da COPASA	26/jan
BP068	- 20,093	-44,211	São Joaquim de Bicas	24,8	Rio Paraopeba 5 km a jusante da captação da COPASA em Brumadinho	26/jan
BP070	-20,04	-44,256	Betim, São Joaquim de Bicas	42	Rio Paraopeba a jusante da foz do Ribeirão Sarzedo, próximo à cidade de São Joaquim de Bicas	26/jan
BP072	- 19,949	-44,305	Betim	59	Rio Paraopeba a jusante da foz do Rio Betim, na divisa dos municípios de Betim e Juatuba	26/jan
BPE3	- 19,709	-44,470	Esmeraldas	112,8	Rio Paraopeba a montante da captação de Pará de Minas	12/fev
BPE4**	- 19,711	-44,497	Pará de Minas	115,9	Rio Paraopeba na captação de Pará de Minas	08/fev
BP082	- 19,670	-44,480	Esmeraldas, São José da Varginha	123,1	Rio Paraopeba na localidade de São José, em Esmeraldas	27/jan
BP083	- 19,370	-44,530	Papagaios, Paraopeba	192,4	Rio Paraopeba logo após a foz do Ribeirão São João em Paraopeba	27/jan
BP077	-19,33	-44,53	Papagaios, Paraopeba	203	Rio Paraopeba na captação da Copasa entre os municípios de Paraopeba e Papagaios	11/nov
BP078		-44,710		250,9		27/jan

	- 19,170		Curvelo, Pompéu		Rio Paraopeba a jusante da foz do Rio Pardo em Pompéu	
BP087	-19,02	-44,73	Curvelo, Pompéu	279	Rio Paraopeba a montante da UHE Retiro baixo	11/nov
BPE5***	- 18,987	-44,776	Pompéu	289	Rio Paraopeba logo a montante da UHE de Retiro Baixo, em seu remanso	08/mar
BP099	- 18,871	-44,787	Felixlândia	318,3	Rio Paraopeba a montante de sua foz na barragem de Três Marias	27/jan
BPE6	- 18,816	-45.015	Felixlândia	Aprox. 353,1	Remanso da represa de Três Marias no Município de Felixlândia	02/mar
BPE7	- 18,929	-45,241	Abaeté	Aprox.400,1	Remanso da represa de Três Marias no Município de Abaeté	02/mar
BPE8	- 18,493	-45,283	Três Marias	Aprox. 423,1	Corpo da represa de Três Marias no Município de Três Marias	02/mar
BPE9	17,13	43,23	Felixlândia	317****	Ribeirão do Gomes próximo a confluência com o rio Paraopeba	27/03

*Estações à montante do local do desastre. A distância medida se refere da estação até a confluência do Ribeirão Ferro-Carvão com o rio Paraopeba.

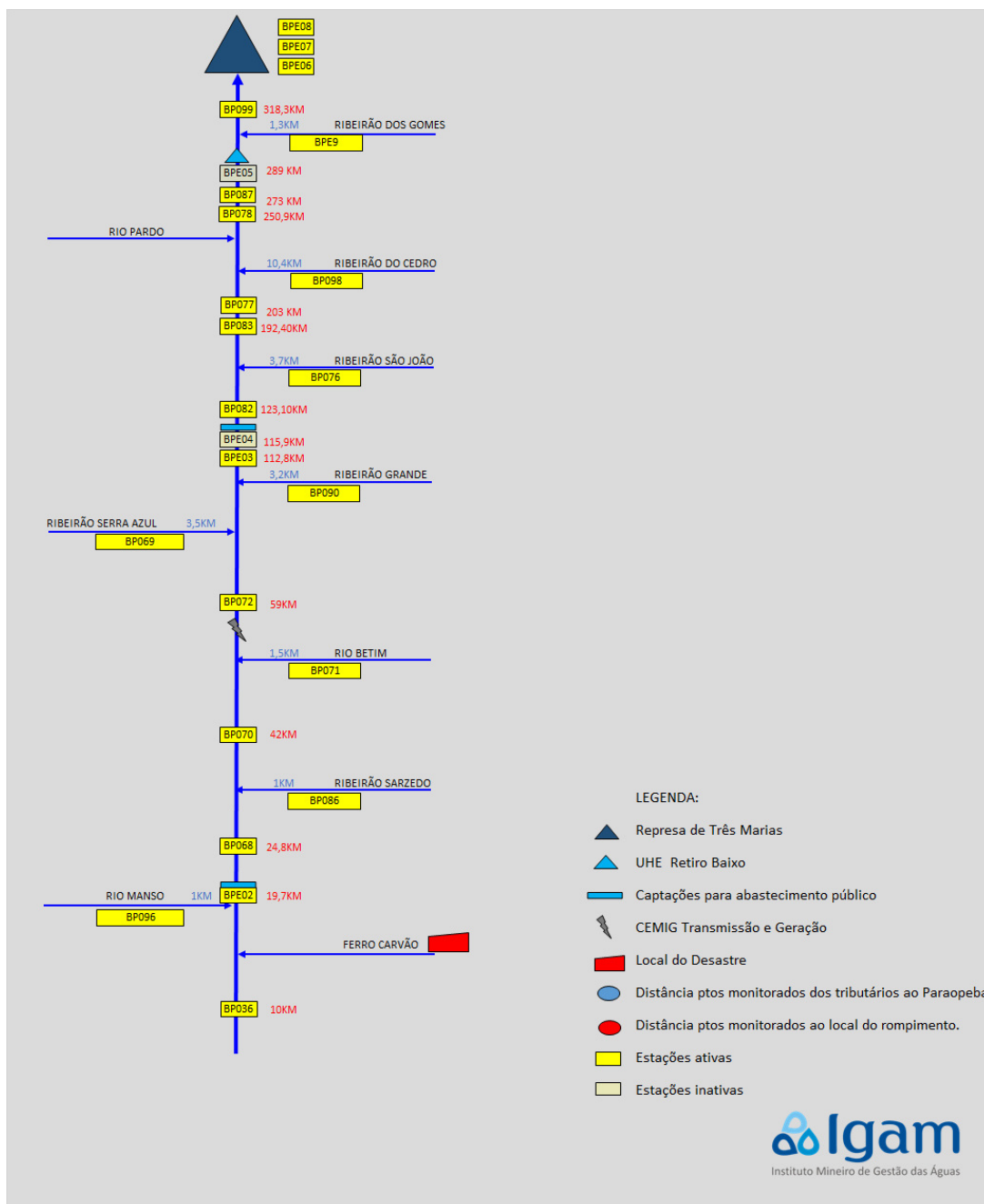
Estação desativada. Última medição realizada em 11/03/19*Estação desativada por dificuldade de acesso. Última medição realizada em 21/04/19

****Distancia da foz do rio Paraopeba com o ribeirão dos Gomes

Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

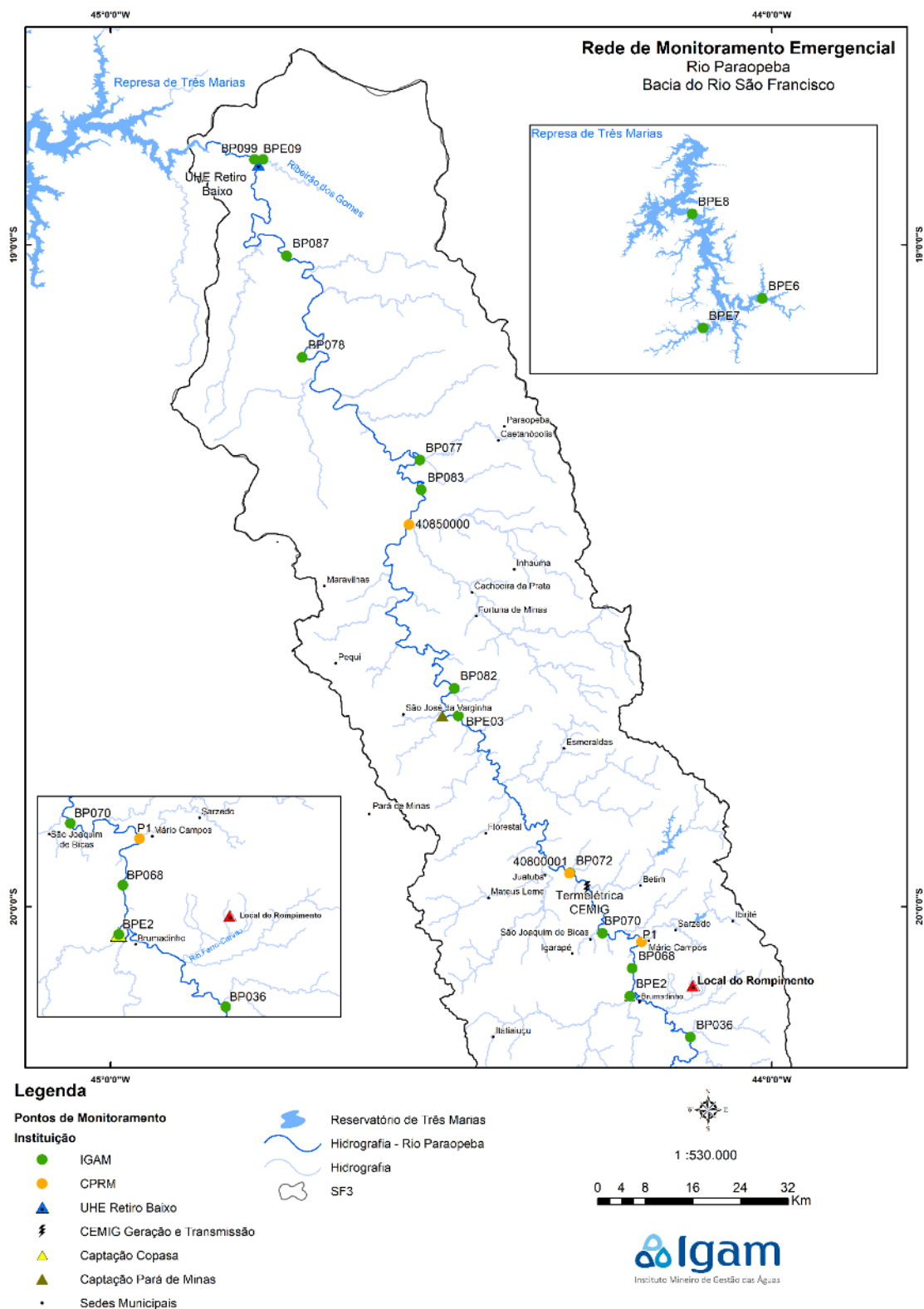
De forma a facilitar a visualização da localização dos pontos de monitoramento utilizados antes do rompimento (série histórica) e após o rompimento (2019), bem como os trechos de agrupamento utilizados para a discussão dos resultados no presente estudo, é apresentado no Diagrama 1 e no Mapa 1 com a localização da Rede de Monitoramento Emergencial na bacia do rio Paraopeba.

Diagrama 1 – Pontos de monitoramento da qualidade da água superficial – pré e pós-rompimento



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Mapa 1 – Localização Geográfica da Rede de Monitoramento Emergencial do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

5.3 Frequência de amostragem

Após o rompimento da Barragem 1, o Igam intensificou a frequência do monitoramento das águas superficiais na calha do rio Paraopeba, entre Brumadinho e Felixlândia (Quadro 1). Foi definida inicialmente frequência diária para as amostragens das águas superficiais e semanal para os sedimentos em todos os pontos da calha do rio Paraopeba.

O monitoramento diário em todos os pontos foi mantido durante os primeiros 60 dias, após o rompimento. Com o desenvolvimento dos trabalhos e diminuição de alterações significativas nas concentrações dos parâmetros esta frequência passou a semanal e, depois mensal nas águas superficiais e mensal nos sedimentos.

Tendo em vista o início das atividade de dragagem e contenção de rejeitos no trecho do rio Paraopeba na confluência com o Córrego Ferro Carvão desde o início do mês de setembro, além da contenção/fixação dos rejeitos no córrego Ferro-Carvão, realizada pela Vale; o monitoramento nas estações BPE2, BP036, BP068 e BP070 (primeiros 50 km) foi intensificado, passando a ser realizado semanalmente pelo Igam, a partir de setembro.

Desde o início de novembro, com a chegada do período chuvoso, o Igam intensificou o acompanhamento sistemático dos resultados do monitoramento da qualidade da água da sua rede própria, incluindo a região do reservatório de Três Marias. O trabalho visa verificar quaisquer anomalias que possam indicar, na água, a presença de partículas do rejeito, provenientes do rompimento da barragem B1, em Brumadinho.

Assim, o monitoramento das estações da calha do rio Paraopeba passou a ser realizado semanalmente, a exceção dos pontos localizados dentro da represa de Três Marias que permaneceram até o mês de dezembro com frequência mensal (BPE6, BPE7 e BPE8), bem como o monitoramento dos sedimentos em todos os pontos.

Vale ressaltar que a frequência do monitoramento será continuamente avaliada, conforme resultados obtidos; ações a serem implantadas pela VALE, período climático do ano, dentre outros fatores.

Quadro 1 – Pontos do monitoramento emergencial no rio Paraopeba e frequência amostral

Tipo de amostra / Estações	Antes do Desastre	Data a partir da qual houve alteração da frequência de coleta												
	1997 a 25/01/2019	26/01	13/03		18/03			03/06		01/07	03/09		01/11	
Estações	8 pontos Todas da calha (BP036, BP068, BP070, BP072, BP082, BP078, BP083, BP099)	11 pontos Todas da calha (BPE2, BP036, BP068, BP070, BP072, BP082, BP083, BP099) BPE4**, BPE3, BP078, BP083, BP099)	BPE2, BP082, BP099 e BPE5*	Demais estações	BPE5, BPE9 ¹ e BP099	BPE2, BP072, BP082 e BP078	BP036, BP068, BP070, BPE3, BP083, BPE6, BPE7 e BPE8	BPE9 e BPE099	BPE2, BP036, BP068, BP070, BP072, BP082, BPE3, BP078, BP083, BPE6, BPE7 e BPE8	Todos os 14 pontos	BPE2, BP036, BP068 e BP070	Demais estações	Todas da calha (BPE2, BP036, BP068, BP070, BP072, BP082, BPE3, BP083, BP077 ² , BP078, BP087 ³ , BPE9, BP099)	Represa de Três Marias (BPE6, BPE7, BPE8)
Frequência Água	Trimestral	Diária	Diária	Mensal	Diária	Semanal	Mensal	Semanal	Mensal	Mensal	Semanal	Mensal	Semanal	Mensal
Frequência Sedimentos	Trimestral	Semanal	Semanal	Mensal	Semanal	Mensal	Mensal							

Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

5.4 Parâmetros monitorados e padrões de qualidade

As metodologias utilizadas para coleta e análise das amostras de água e de sedimentos são as preconizadas por manuais como:

- Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB, 2011);
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA, 2005).

As amostragens e análises foram realizadas pelo Instituto SENAI de Tecnologia em Meio Ambiente seguindo a Norma ABNT (NBR) ISO/IEC 17025:2017.

Os limites para os parâmetros físico-químicos e biológicos são definidos segundo um sistema de classificação com base na qualidade da água requerida para os usos prioritários dos recursos

hídricos. As águas do rio Paraopeba da confluência com o rio Maranhão até a represa de Três Marias, é enquadrado como Classe 2, conforme a Deliberação Normativa COPAM nº 14, de 28 de dezembro de 1995 dispõe sobre o enquadramento das águas da Bacia do rio Paraopeba.

No âmbito do Estado de Minas Gerais, a norma que 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 é a Deliberação Normativa Conjunta Copam/CERH-MG nº 01, de 5 de maio de 2008. Os limites para os parâmetros físico-químicos definidos segundo a Deliberação Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008 dos limites para águas de Classe 1,2 e 3 em relação aos parâmetros avaliados é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Limites para os parâmetros físico-químicos definidos segundo a Deliberação Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008 dos limites para águas de Classe 1,2 e 3 em relação aos parâmetros avaliados

Parâmetro	LIMITE DN COPAM/CERH-MG – 01/2008			Unidade de Medida
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	
pH	6 a 9	6 a 9	6 a 9	
Turbidez	40	100	100	NTU
Cor Verdadeira	Cor Natural	75	75	UPt
Sólidos Dissolvidos totais	500	500	500	mg / L
Sólidos em Suspensão totais	50	100	100	mg / L
Nitrogênio amoniacal total	3,7 p/ pH <=7,5 2,0 p/ 7,5<pH<=8,0 1,0 p/ 8,0<pH<=8,5 0,5 p/ pH>8,5	3,7 p/ pH <=7,5 2,0 p/ 7,5<pH<=8,0 1,0 p/ 8,0<pH<=8,5 0,5 p/ pH>8,5	13,3 p/ pH <= 7,5 5,6 p/ 7,5<pH<=8,0 2,2 p/ 8,0<pH<=8,5 1,0 p/ pH>8,5	mg / L N
Nitrato	10	10	10	mg / L N
Nitrito	1	1	1	mg / L N
OD	> 6	> 5	> 4	mg / L
Cianeto Livre	0,005	0,005	0,022	mg / L CN
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,003	0,003	0,01	mg / L C6H5OH
Alumínio Dissolvido	0,1	0,1	0,2	mg / L Al
Arsênio total	0,01	0,01	0,033	mg / L As
Bário total	0,7	0,7	1	mg / L Ba
Boro total	0,5	0,5	0,75	mg / L B
Cádmio total	0,001	0,001	0,01	mg / L Cd
Chumbo total	0,01	0,01	0,033	mg / L Pb
Cobre Dissolvido	0,009	0,009	0,013	mg / L Cu
Cromo total	0,05	0,05	0,05	mg / L Cr
Ferro Dissolvido	0,3	0,3	5	mg / L Fe
Manganês total	0,1	0,1	0,5	mg / L Mn
Mercurio total	0,2	0,2	2	µg/L Hg
Níquel total	0,025	0,025	0,025	mg / L Ni
Selênio total	0,01	0,01	0,05	mg / L Se
Zinco total	0,18	0,18	5	mg / L Zn

Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Devido à inexistência de padrões brasileiros para qualidade de sedimentos, consideraram-se os limites estabelecidos pelo Conselho de Meio Ambiente (CONAMA) por meio de sua Resolução nº 454 de 8 de novembro de 2012 (TABELA 3). Esta resolução define limites de contaminantes em sedimentos para fins de dragagem de leitos de cursos d'água, bem como outras orientações. De acordo com Barbieri (2015), os limites definidos nesta resolução para os metais estudados baseiam-se nas orientações emitidas pelo Conselho Canadense de Ministros de Meio Ambiente (Canadian Council Of Ministers Of The Environment - CCME), as Diretrizes de Qualidade para a Análise de Sedimentos.

Tabela 3 – Parâmetros de qualidade avaliados nos sedimentos de fundo

Parâmetros Sedimento de Fundo	Limites da Res. CONAMA 454	
	Nível 1	Nível 2
Nitrogênio Total (mg/Kg N)		
Alumínio Total (mg/Kg Al)		
Arsênio Total (mg/Kg As)	5,9	17,0
Cádmio Total (mg/Kg Cd)	0,6	3,5
Chumbo Total (mg/Kg Pb)	35,0	91,3
Cobre Total (mg/Kg Cu)	35,7	197,0
Cromo Total (mg/Kg Cr)	37,3	90,0
Ferro Total (%)		
Manganês Total (%)		
Mercúrio Total (mg/Kg Hg)	0,17	0,486
Níquel Total (mg/Kg Ni)	18,0	35,9
Selênio (mg/Kg Se)		
Vanádio Total (mg/Kg V)		
Zinco Total (mg/Kg Zn)	123,0	315,0

Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Vale destacar que a Resolução Conama nº 454/2012 não estabelece valores orientadores para os metais ferro, alumínio e manganês. Dessa forma utilizou-se os valores orientadores Costa (2015) em sua pesquisa do Mapeamento Geoquímico e Estabelecimento de Valores e Referência (*Background*) de Sedimentos Fluviais do Quadrilátero Ferrífero. Os valores de referência de 28,10%, 4,52% e 0,33%, para ferro, alumínio e manganês, respectivamente utilizando a técnica de análise fractal, estabelecidos por Costa (2015), serão utilizados no presente relatório como referência.

6 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DE ÁGUAS SUPERFICIAIS DE JANEIRO A DEZEMBRO DE 2019

A seguir é apresentada uma análise dos resultados obtidos ao longo do rio Paraopeba no monitoramento emergencial do rio Paraopeba, para os dados obtidos entre 26/01/19 e 30/12/2019.

Para melhor visualização dos resultados, as estações monitoradas ao longo do rio Paraopeba foram agrupadas em cinco trechos a jusante do rompimento e um ponto a montante conforme listado abaixo:

- A montante – Rio Paraopeba a montante da foz do ribeirão Ferro Carvão (BP036);
- Trecho 1 – localizado nos primeiros 40 km após a confluência com o ribeirão Ferro Carvão até a montante da termelétrica de Igarapé (BPE2, BP068 e BP070);
- Trecho 2 - localizado entre 40 e 123 km após a confluência com o ribeirão Ferro Carvão, entre a termelétrica de Igarapé e Esmeraldas (BP072, BPE3, BPE4, BP082);
- Trecho 3 - - localizado entre 190 a 279km após a confluência com o ribeirão Ferro Carvão até a montante da UHE Retiro Baixo (BP083, BP077, BP078 e BP087);
- Trecho 4 - localizado a 318 km após a confluência com o ribeirão Ferro Carvão, a jusante da UHE Retiro Baixo (BP099);
- Trecho 5 - localizado no corpo da represa de três Marias (BPE6, BPE7,BPE8).

Serão apresentados os gráficos de dispersão dos valores máximo registrados no dia, por trecho, para os parâmetros oxigênio dissolvido, pH *in loco*, turbidez, sólidos em suspensão totais, ferro dissolvido e total, alumínio dissolvido, manganês total, chumbo total, mercúrio total, arsênio total, cádmio total, cobre total, cromo total , níquel total, zinco total.

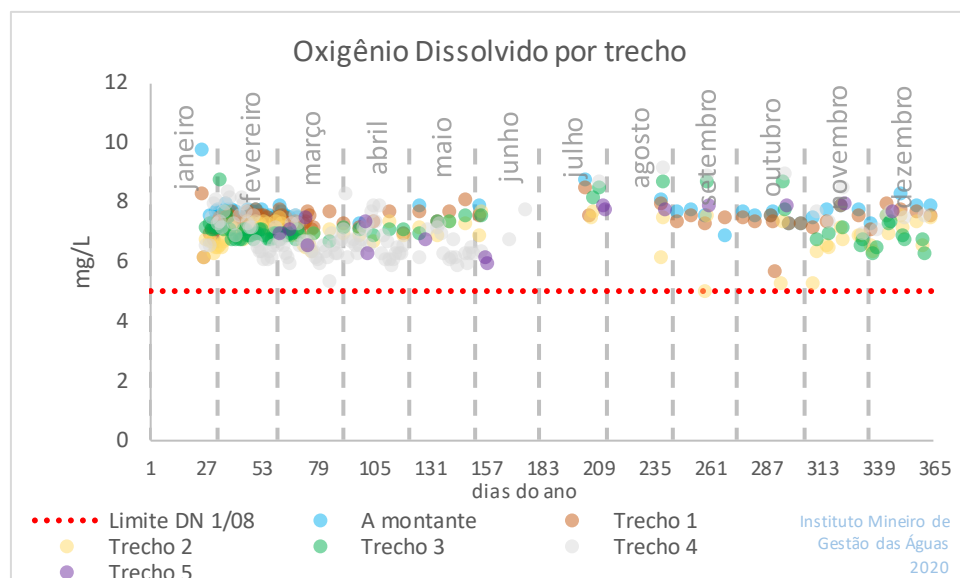
Nesses gráficos, foram considerados os resultados obtidos após o desastre e os padrões de qualidade para corpos de água enquadrados como Classe 2, segundo Deliberação Normativa Conjunta Copam/CERH nº 1 de 2008.

Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido, pH *in loco* e condutividade elétrica *in loco* são parâmetros físico-químicos que ajudam a entender primariamente a qualidade geral da água, inclusive podendo indicar a contaminação por outros parâmetros a serem monitorados, inclusive metais dissolvidos e matéria orgânica.

No Gráfico 2 é apresentado o gráfico de dispersão dos resultados de oxigênio dissolvido obtidos no período de 26 de janeiro a 30 de dezembro de 2019 ao longo da calha do rio Paraopeba. Observa-se que os resultados variaram de 6,0 a 9,0 mg/L O₂, aproximadamente. Assim, o oxigênio dissolvido apresentou todos os resultados dentro dos limites legais (valores acima de 5 mg/L) durante o monitoramento realizado em 2019 e não mostrou variação significativa ao longo de todo o curso do rio Paraopeba, nem nos primeiros dias após o desastre.

Gráfico 2 – Dispersão dos valores máximos de OD em cada trecho no período de 26/01 a 30/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba

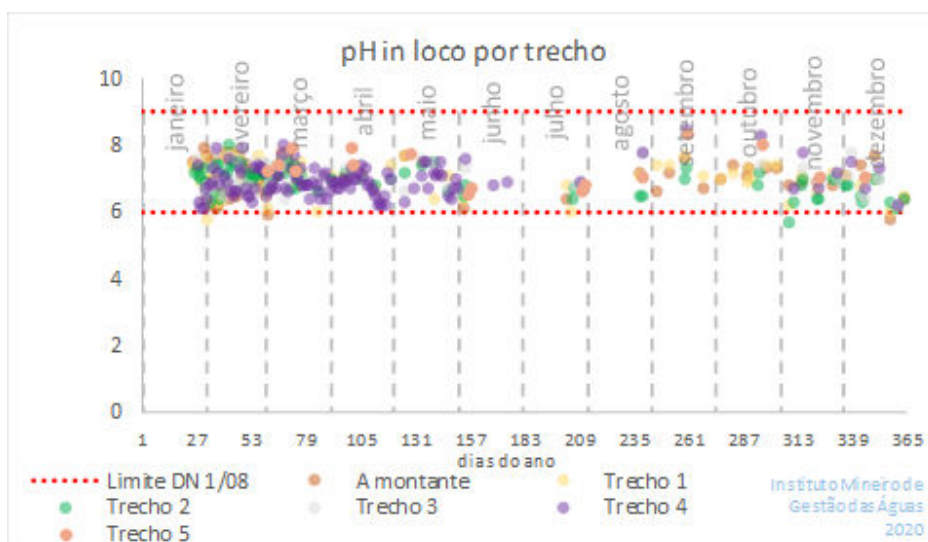


Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

pH in loco

No Gráfico 3 é apresentado o gráfico de dispersão dos resultados de pH obtidos no período de 26 de janeiro a 30 de dezembro de 2019 ao longo da calha do rio Paraopeba. Observa-se que a maioria dos resultados (98%) estiveram entre o intervalo de 6,0 a 8,0, ou seja, dentro do intervalo aceitável para rios de classe 2 (entre 6 e 9) que de acordo com os limites estabelecidos na legislação são valores adequados para a proteção da vida aquática.

Gráfico 3 – Dispersão resultados de pH no período de 26/01 a 30/12, em cada trecho, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba

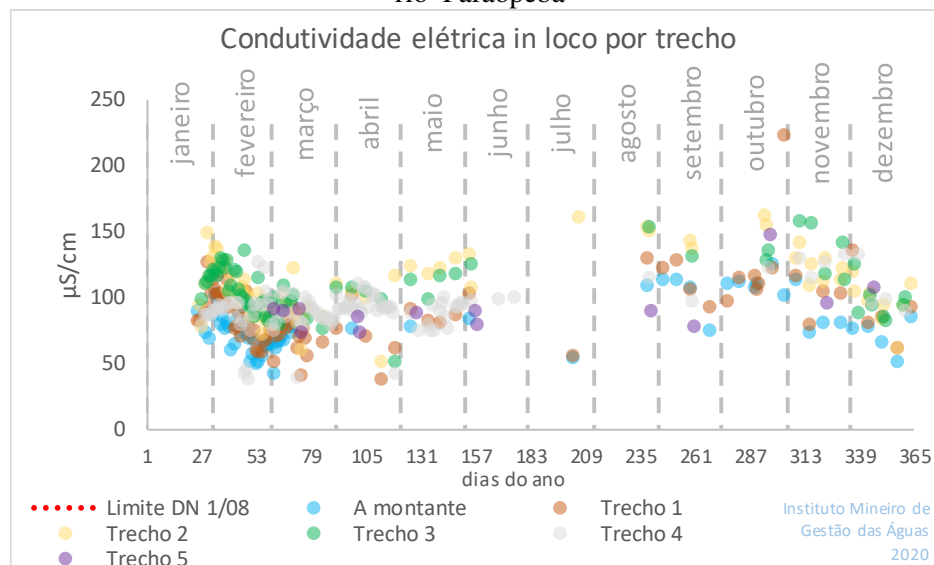


Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Condutividade elétrica

A condutividade elétrica apresentou resultados de forma geral dentro da amplitude histórica no monitoramento de 2019, entre 50 e 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aproximadamente (GRÁFICO 4). Não foram observadas variações significativas ao longo de todo o curso do rio Paraopeba, nem nos primeiros dias após o desastre.

Gráfico 4 – Dispersão dos valores máximos de condutividade elétrica em cada trecho no período de 26/01 a 30/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Turbidez

O parâmetro turbidez mostra-se como um dos principais indicativos da presença do impacto decorrente do avanço dos rejeitos. No Gráfico 5 é apresentado a dispersão dos resultados de turbidez obtidos no período de 26 de janeiro a 30 de dezembro de 2019 ao longo da calha do rio Paraopeba.

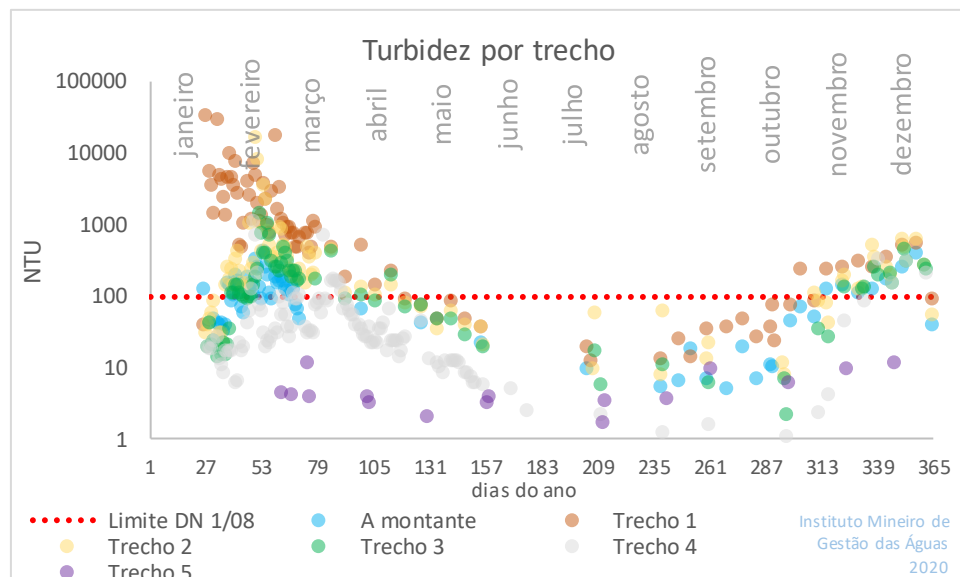
É possível identificar que, de maneira geral, os maiores níveis de turbidez foram registrados nos 60 dias subsequentes ao rompimento (final de janeiro a abril) e no último trimestre do ano (outubro, novembro e dezembro). Observa-se que nesses dois períodos ocorreram as violações do limite legal de turbidez para águas de classe 2 (100 NTU) o que evidencia a interferência das chuvas na qualidade das águas do rio Paraopeba, sobretudo nas áreas próximas ao rompimento, uma vez que o aumento do escoamento superficial e da vazão do rio acarretam a remobilização do material depositado no leito e novos aportes de rejeitos no rio Paraopeba.

A estação BP036 apesar de estar localizada a montante da área de confluência com o ribeirão Ferro Carvão também apresentou valores acima do limite legal em algumas medições realizadas nos períodos chuvosos, contudo os níveis de turbidez foram inferiores aos medidos no trecho

1. O trecho 1, localizado nos primeiros 40 km após o rompimento, foi o mais impactado e apresenta os níveis mais elevados de turbidez seguidos dos trechos 2 e 3. Os níveis de turbidez no trecho 4 permaneceram abaixo do limite legal na maioria dos resultados com exceção de alguns picos registrados nos meses de fevereiro e março. Salienta-se que não há indícios de que os rejeitos tenham ultrapassado o reservatório da UHE de Retiro Baixo. Além disso, este trecho recebe influência direta do Ribeirão dos Gomes o que explica a ocorrência dos picos de turbidez nos períodos chuvosos. O último trecho localizado na represa de Três Marias (Trecho 5) não sofreu alterações nos valores de turbidez e apresentou valores sempre abaixo do limite legal.

Esses resultados demonstram os impactos causados pelos rejeitos da barragem B1 e evidencia o amortecimento dos impactos nos trechos localizados a jusante dos barramentos presentes ao longo do curso de água (Termelétrica de Igarapé e UHE Retiro Baixo). Até a data de 30 de dezembro de 2019 não foi possível identificar alterações nos níveis de turbidez que refletissem a chegada da lama no trecho a jusante da UHE Retiro Baixo (BP099).

Gráfico 5 – Dispersão dos valores máximos de turbidez em cada trecho no período de 26/01 a 30/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba

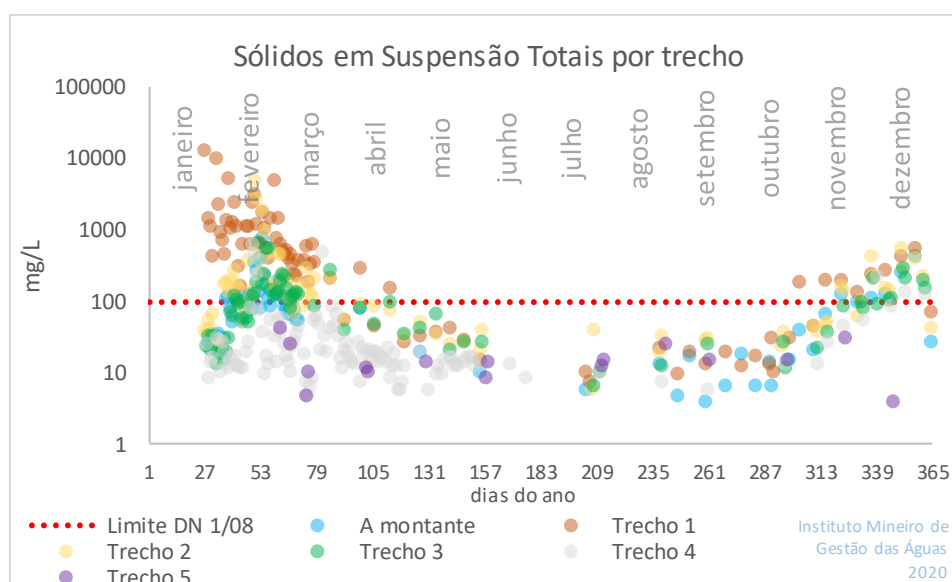


Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Sólidos em Suspensão Totais

No Gráfico 6 é apresentada a dispersão dos resultados de sólidos em suspensão totais obtidos no período de 26 de janeiro a 30 de dezembro de 2019 ao longo da calha do rio Paraopeba. Observa-se que os resultados apresentaram comportamento bastante semelhante ao encontrado para turbidez, com resultados superiores ao limite de classe 2 (100 mg/L) entre janeiro a abril e no último trimestre do ano (outubro, novembro e dezembro). Os resultados de sólidos em suspensão, assim como os de turbidez, demonstraram que o primeiro trecho localizado no rio Paraopeba a jusante do ribeirão Ferro Carvão foi o que recebeu o maior impacto.

Gráfico 6 – Dispersão dos valores máximos de sólidos em suspensão totais em cada trecho no período de 26/01 a 30/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Ferro dissolvido e total

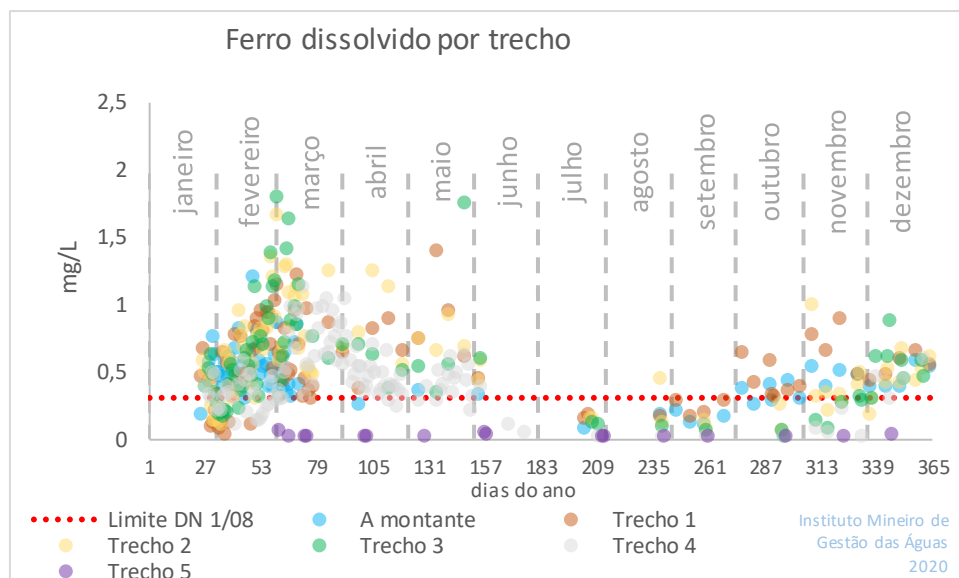
Os metais ferro total e manganês total estão diretamente relacionados às atividades de mineração desenvolvidas na área do desastre, pois são encontrados no rejeito de minério, sobretudo no minério de ferro. Por ser o principal insumo da mina, os resultados desses dois metais são essenciais ao entendimento do impacto do rompimento da barragem B1. Assim, quando encontradas variações significativas de ferro e manganês, sobretudo no período que sucedeu o rompimento da barragem 1, pode indicar a contaminação do corpo d'água pelo rejeito.

O padrão normativo para o ferro prevê apenas a forma dissolvida. Porém, constatou-se que a liberação de ferro no rio Paraopeba seria muito mais bem detectada, se considerado a fração total desse parâmetro. Nos Gráficos 7 e 8 são apresentados a dispersão dos resultados de ferro dissolvido e ferro total, respectivamente, obtidos no período de 26 de janeiro a 30 de dezembro de 2019 ao longo da calha do rio Paraopeba.

Na análise dos resultados de ferro dissolvido verifica-se que desde o ponto a montante do ribeirão Ferro Carvão, que não sofreu impacto da lama de rejeitos, até o trecho 4 os níveis de ferro dissolvido estiveram acima do limite legal ao longo do ano de 2019, a exceção dos meses de junho a setembro. Ademais, observa-se que até cerca de 192 km a jusante do rompimento não há uma redução dos valores de ferro dissolvido nos conjuntos de dados dos pontos, como ocorre com a turbidez.

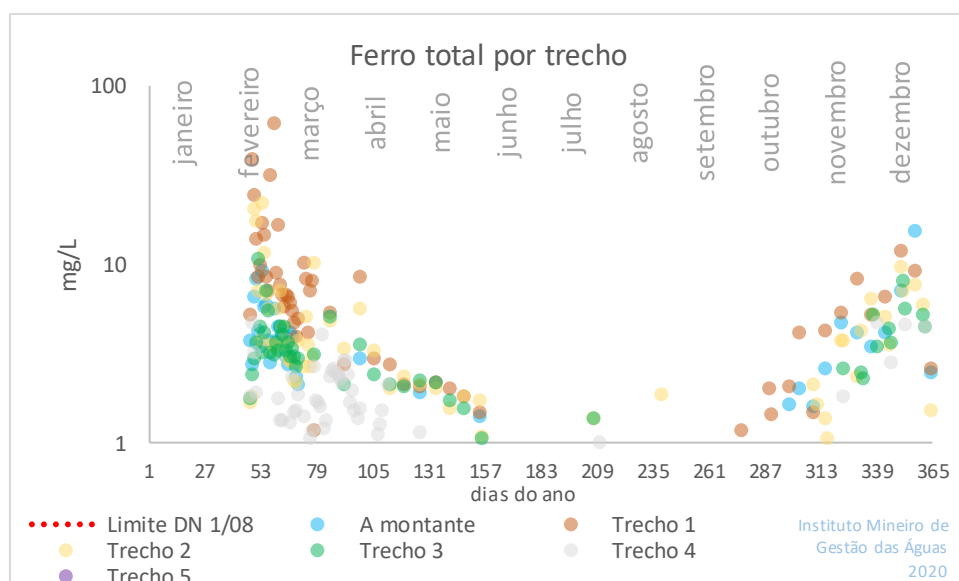
Ao avaliar os resultados de ferro total no Gráfico 8, observa-se que os maiores registros de ferro foram obtidos no trecho 1. Esses resultados mostram que no material proveniente da barragem B1 a maior parte do ferro está associada à fração total e não estão dissolvidos na água. Em complemento, os dados de ferro total alinham-se melhor à análise feita para turbidez, com valores mais altos mais próximos da barragem e redução a partir do município de Paraopeba a 192 km (trecho 3), sendo menos evidente a partir do reservatório de Retiro Baixo (trecho 4). Isso ocorre devido à sedimentação do ferro adsorto a partículas sólidas, que avança em velocidade muito inferior à de matéria dissolvida, esta que se dissemina na mesma velocidade da água. O último trecho localizado na represa de Três Marias (Trecho 5) não sofreu alterações nos valores de ferro dissolvido e total e apresentou valores sempre abaixo do limite legal.

Gráfico 7 – Dispersão dos valores máximos de ferro dissolvido em cada trecho no período de 26/01 a 30/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Gráfico 8 – Dispersão dos valores máximos de ferro total em cada trecho no período de 16/02 a 30/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



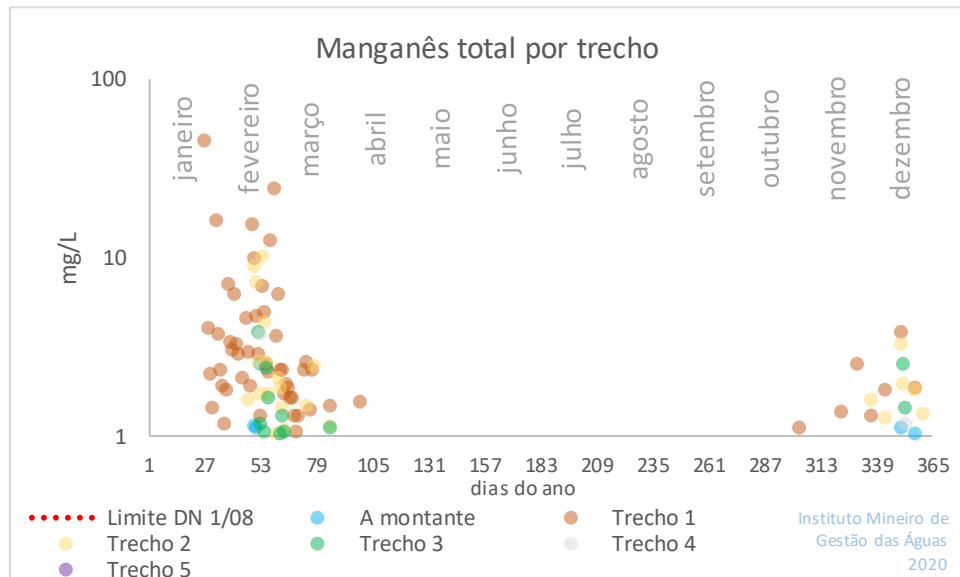
Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Manganês total

Nos Gráficos 9 e 10 são apresentados a dispersão dos resultados de manganês total obtidos no período de 26 de janeiro a 30 de dezembro de 2019 ao longo da calha do rio Paraopeba. Os impactos do rejeito de minério sobre o parâmetro manganês total são muito evidentes, ocorrendo violações do limite normativo na maioria das amostras coletadas nos trechos 1 e 2, sobretudo nos períodos considerados como mais chuvosos. O trecho localizado á montante também apresentou valores de manganês total acima do limite legal (0,1 mg/L), no entanto são muito inferiores aos registrados no trecho 1 que chegou a aproximadamente 460 vezes acima do limite legal.

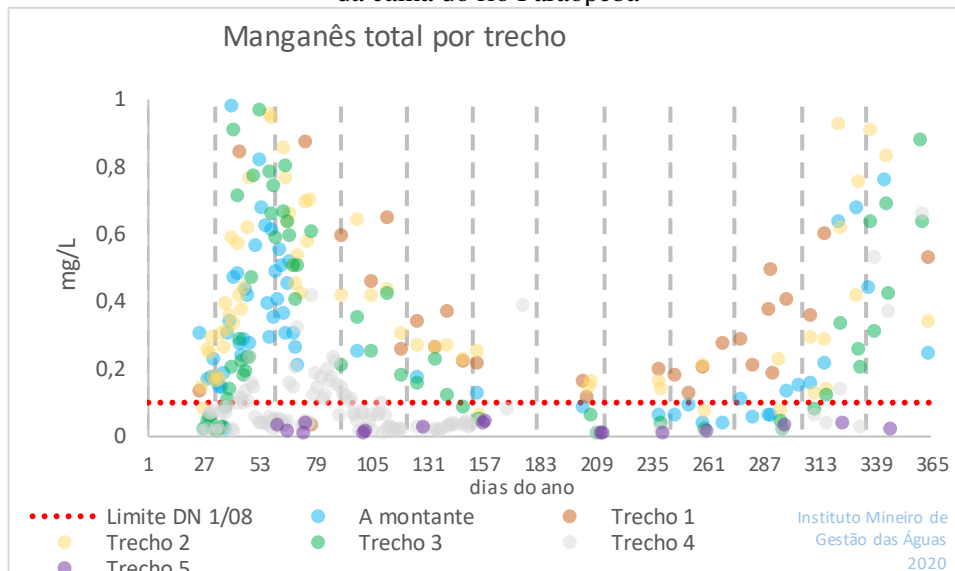
Assim como ocorre com a turbidez e sólidos em suspensão totais os teores mais elevados de manganês total foram registrados no trecho 1, primeiros 40 km após a confluência com o ribeirão Ferro Carvão, seguidos dos trechos 2 e 3. Os níveis de turbidez no trecho 4 permaneceram abaixo do limite legal a exceção de alguns picos registrados nos meses de fevereiro e março indicando a influência do Ribeirão dos Gomes nesse trecho do rio Paraopeba. O último trecho localizado na represa de Três Marias (Trecho 5) não sofreu alterações nos valores de manganês total e apresentou valores sempre abaixo do limite legal. Esses resultados indicam que o manganês total está associado ao material proveniente da barragem B1.

Gráfico 9 – Dispersão dos valores máximos de manganês total em cada trecho no período de 26/01 a 30/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Gráfico 10 – Dispersão, em escala aumentada dos valores máximos de manganês total em cada trecho no período de 26/01 a 30/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



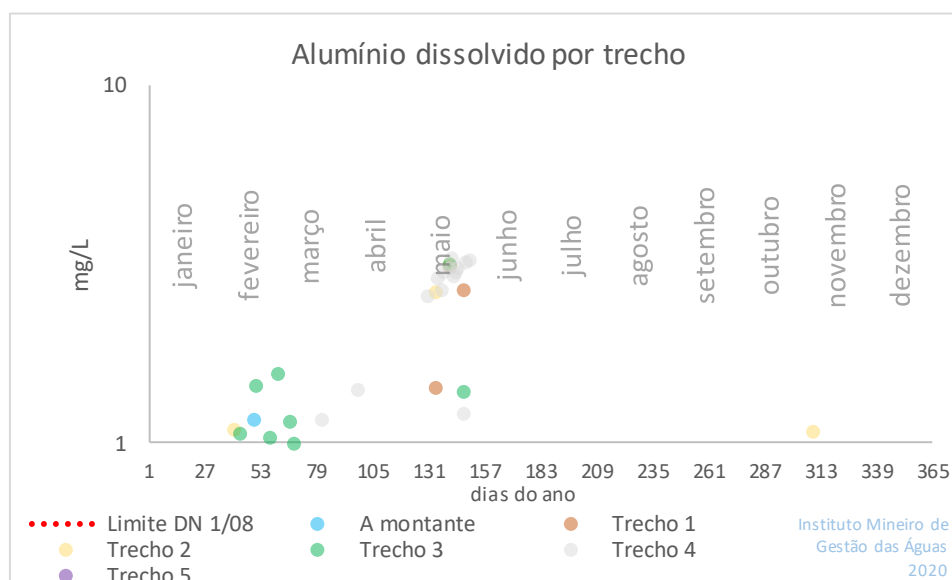
Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Alumínio dissolvido

Nos Gráficos 11 e 12 são apresentados a dispersão dos resultados de alumínio dissolvido obtidos no período de 26 de janeiro a 30 de dezembro de 2019 ao longo da calha do rio Paraopeba. Observa-se que para os trechos 1 a 4 e para o trecho localizado a montante os resultados superiores ao limite de classe 2 (0,1 mg/L) foram registrados em praticamente todo o ano. Os valores mais elevados foram verificados entre janeiro a abril e no último trimestre do ano (outubro, novembro e dezembro).

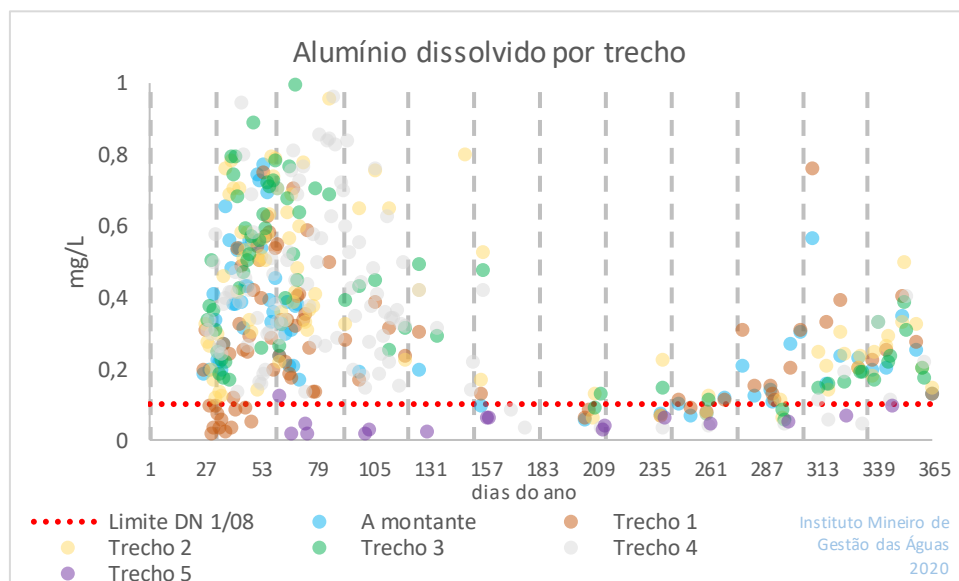
Contudo, o parâmetro alumínio dissolvido apresentou-se de forma inconsistente com o comportamento geral de ferro total e turbidez, ao revés, com valores próximos da normalidade histórica justamente nos primeiros 60 km a jusante da barragem, aumentando muito além dessa normalidade em todos os outros pontos ao longo da calha do rio Paraopeba, inclusive no trecho de montante. O último trecho localizado na represa de Três Marias (Trecho 5) não apresentou alteração significativa nos valores de alumínio dissolvido ao longo de 2019 sendo a maioria dos registros de 2019 abaixo do limite legal.

Gráfico 11 – Gráfico de dispersão dos valores máximos de alumínio dissolvido em cada trecho no período de 26/01 a 30/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

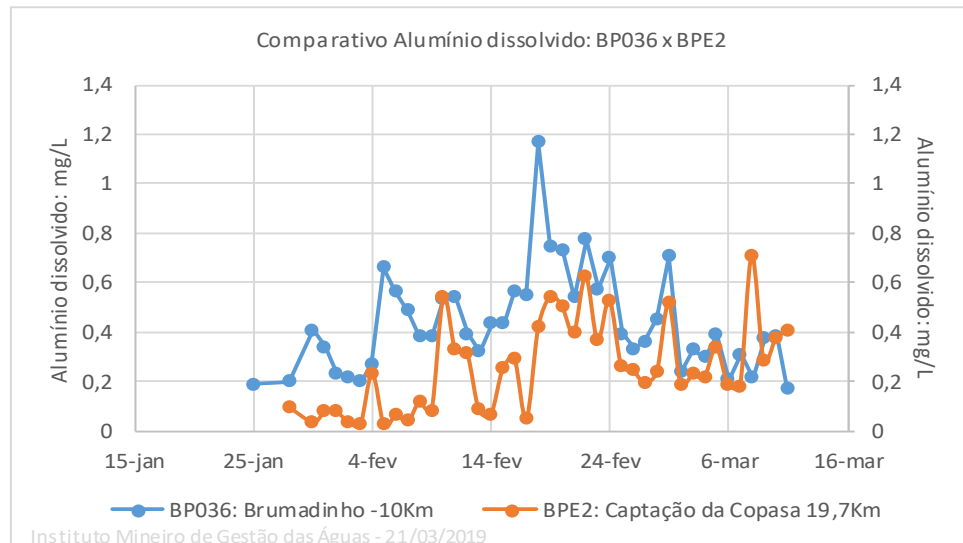
Gráfico 12 – Dispersão em escala aumentada dos valores máximos de alumínio dissolvido em cada trecho no período de 26/01 a 30/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

O Gráfico 13 apresenta uma comparação do parâmetro alumínio dissolvido entre o ponto logo a montante (BP036) e logo a jusante (BPE2) da confluência do córrego Ferro-Carvão, impactado pelo rompimento da barragem B1. Nota-se que durante as três primeiras semanas (25 de janeiro a 16 de fevereiro) presumivelmente as de maior impacto, o parâmetro apresentase em quantidades menores do que nas semanas seguintes. Convergindo com isso, o ponto a montante (BP036) registra alumínio dissolvido em quantidades maiores que aquelas do ponto a jusante (BPE2). Após isso, os resultados passam a oscilar de forma semelhante (a partir de 6 de março). Isso sugere fortemente que as variações de alumínio dissolvido têm relação com algum fator externo ao lançamento de rejeitos de minério da Vale, como a presença de atividades minerárias na parte alta da bacia.

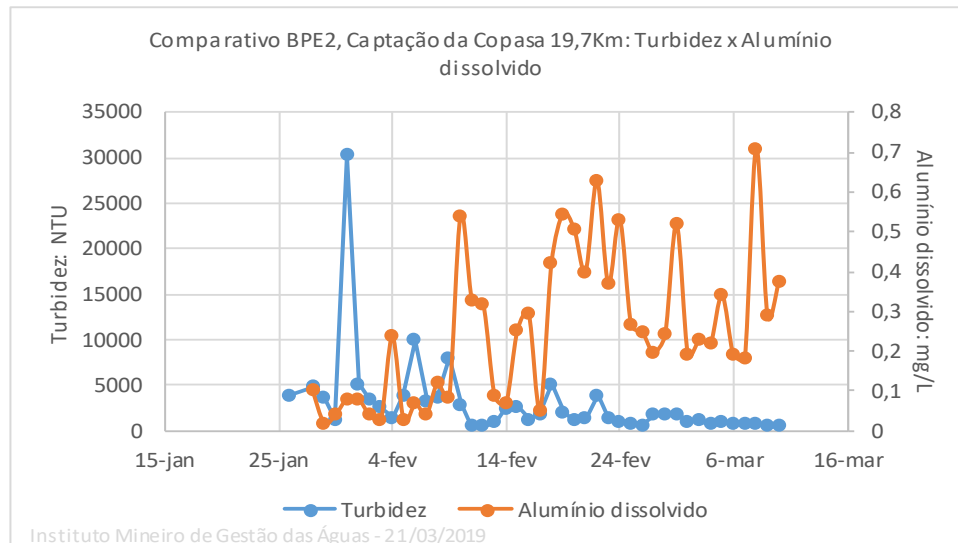
Gráfico 13 – Comparação de resultados de alumínio dissolvido entre os pontos 10 km a montante da barragem de rejeitos B1 (BP036) e 19,7 km a jusante BPE2), nos primeiros meses após o desastre



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Reforçando essa conclusão, a comparação entre os dados de alumínio dissolvido e turbidez no Gráfico 14, no ponto imediatamente a jusante da barragem (BPE2) mostra um significativo aumento na turbidez nas primeiras semanas, seguida de um decréscimo nas seguintes, ao passo que o alumínio apresenta um aumento na 3ª semana, estabilizando-se em valores altos a partir da 4ª semana. Essa inversão é constatada também no ponto subsequente (BP068). Nos seguintes, tampouco, não parece haver qualquer conexão entre os dois parâmetros.

Gráfico 14 – Comparação de valores de turbidez e alumínio dissolvido no ponto localizado na captação da Copasa, no rio Paraopeba 19,7 km a jusante da barragem de rejeitos B1 (BPE2) nos primeiros meses após o desastre



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Chumbo Total

Nos Gráfico 15 e 16 são apresentados a dispersão dos resultados de chumbo total obtidos no período de 26 de janeiro a 30 de dezembro de 2019 ao longo da calha do rio Paraopeba.

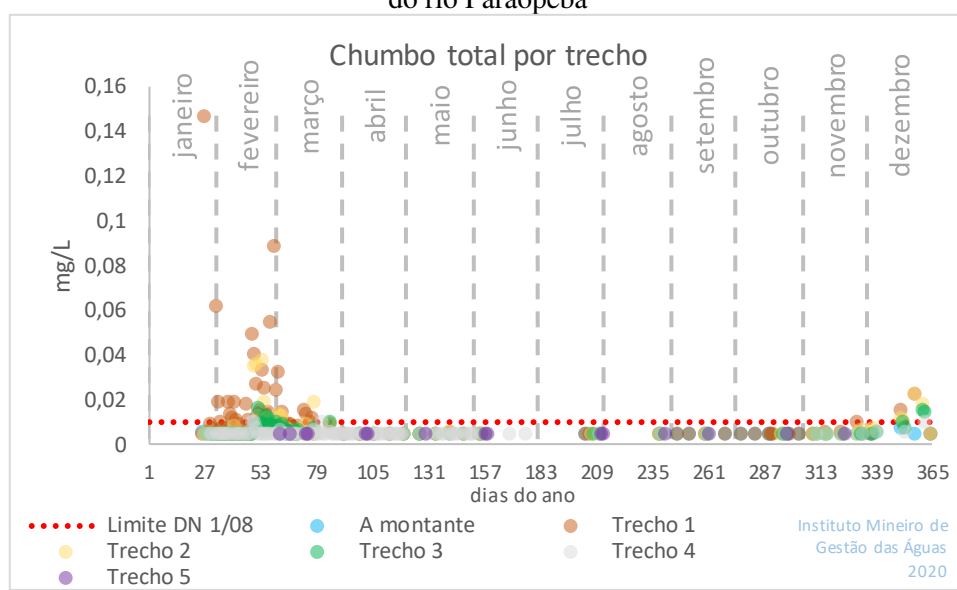
Análogo aos resultados de turbidez e manganês, o chumbo total também apresentou os maiores registros no trecho 1, localizado entre a foz do ribeirão Ferro Carvão e a termelétrica de Igarapé (BPE2, BP068 e BP070), com registros acima do limite de classe 2 (0,01 mg/L) de maneira recorrente no final de janeiro a março e apenas um registro no mês de novembro. Também foram registrados, nesse mesmo período, valores acima do máximo da série histórica de monitoramento do Igam nas estações BP068 e BP070 em 4 datas distintas, cada.

No trecho 2, entre a termelétrica e o município de Esmeraldas (BP072, BPE3, BP082), os valores de chumbo foram inferiores aos observados no primeiro trecho, porém foram verificados valores acima do limite de classe 2, com um registro acima do máximo da série histórica identificado em Esmeraldas (BP082) no dia 19/02.

Também foram registrados valores de chumbo total acima do limite de classe 2 em amostras coletadas nos trechos 3 e no trecho a montante nos meses de janeiro e fevereiro. Ressalta-se que os níveis de chumbo total registrados no trecho 3 são inferiores aos registrados nos trechos 1 e 2 e nenhum deles esteve em concentração superior ao máximo da série histórica. Nos trechos 4 e 5 não foi identificado chumbo total nas amostras coletadas em todo o monitoramento do ano de 2019.

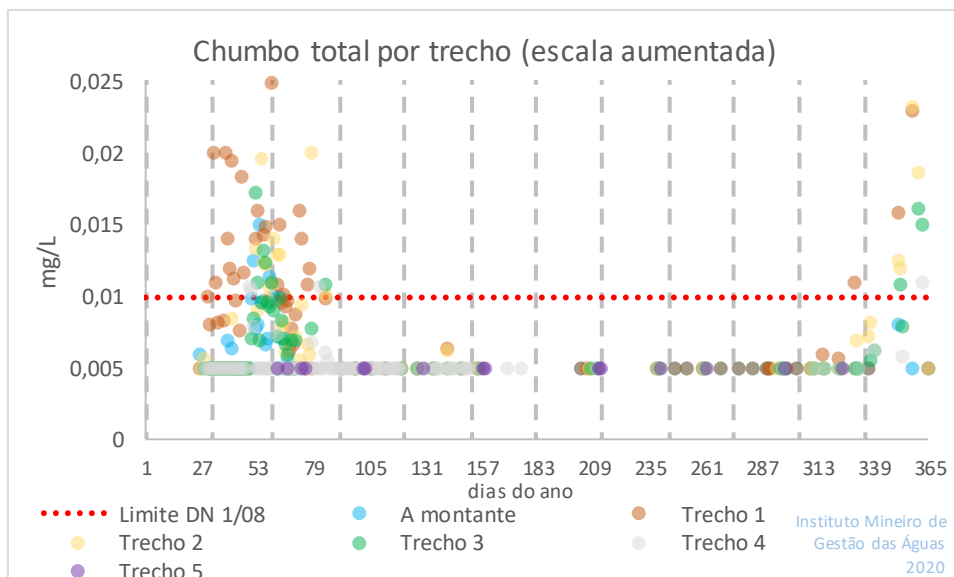
Ressalta-se que desde o dia 26/03 nenhum registro de chumbo total esteve acima do limite de classe 2 ao longo da calha do rio Paraopeba. O valor máximo da série histórica do Igam para cada ponto de monitoramento indica que, mesmo antes do rompimento da barragem, o chumbo já havia sido detectado em concentrações acima do limite estabelecido para a classe de enquadramento.

Gráfico 15 – Dispersão dos valores máximos de chumbo total em cada trecho no período de 26/01 a 30/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Gráfico 16 – Dispersão dos valores máximos de chumbo total em cada trecho no período de 26/01 a 30/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Mercúrio Total

Nos Gráficos 17 e 18 são apresentadas a dispersão dos resultados de mercúrio total obtidos no período de 26 de janeiro a 30 de dezembro de 2019 ao longo da calha do rio Paraopeba. Assim como ocorreu com os resultados de chumbo, o maior número de violações de mercúrio total (valores acima de $0,2 \mu\text{g/L}$) foram registrados nos primeiros 40 km do rio Paraopeba a jusante do ribeirão Ferro Carvão, trecho 1, até o dia 01/03.

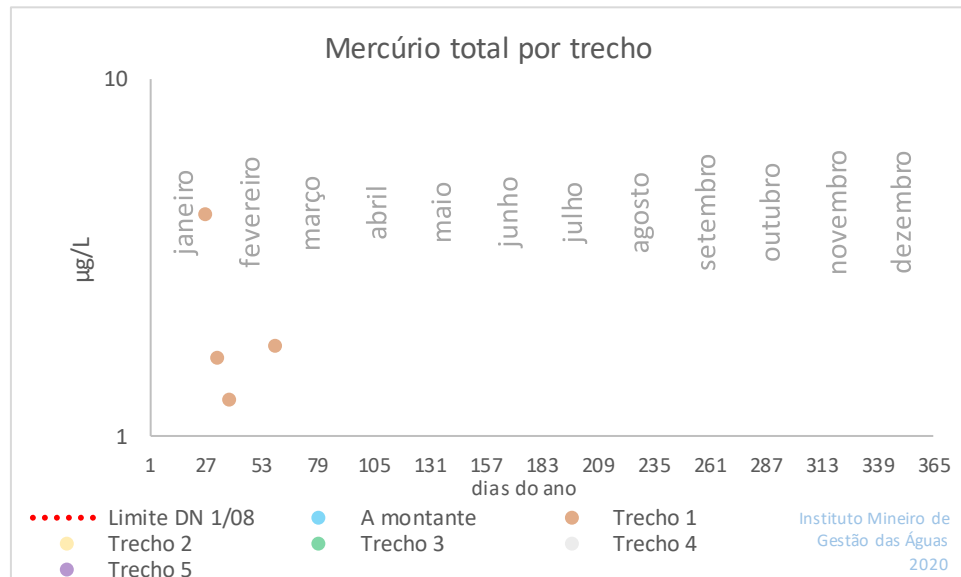
Nos resultados obtidos nos trechos 2 e 3, os valores de mercúrio total em desconformidade ao limite de classe foram registradas somente no mês de fevereiro e em níveis inferiores aos registrados no trecho 1. Tais ocorrências nos trechos citados foram recorrentes nas datas de 19 e 22 de fevereiro, datas em que ocorreu grande volume de chuvas na região, conforme boletim

hidrometeorológico publicado pelo Simge³. Esses resultados refletem o impacto do material extravasado proveniente da barragem B1 e a remobilização dos sedimentos do rio Paraopeba provocada pelo aumento das chuvas. Nos trechos 4 e 5 não foi identificado mercúrio total nas amostras coletadas em todo o monitoramento do ano de 2019.

Ressalta-se que desde o dia 02/03 os valores de mercúrio total estiveram abaixo do limite de quantificação do método (inferior a 0,2 µg/L) ao longo da calha do rio Paraopeba. Apesar do estudo geoquímico da CPRM indicar que a bacia do rio Paraopeba já mostrava antes do rompimento da barragem a existência de inúmeros valores anômalos de mercúrio principalmente nas cabeceiras, registra-se que todos os valores da série histórica de monitoramento do Igam estiveram abaixo do limite de quantificação do método analítico (0,2 µg/L).

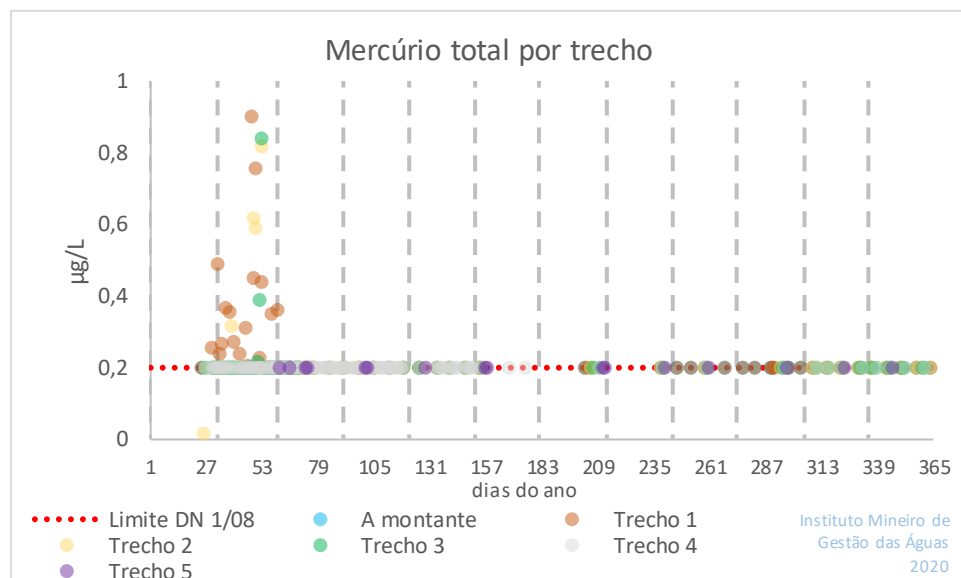
³http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2019/DESASTRE_BARRAGEM_B1/informativos_hidrometeorol%C3%B3gicos/20190222_Informativo_Paraopeba_N25.pdf

Gráfico 17 – Dispersão dos valores máximos de mercúrio total em cada trecho no período de 26/01 a 30/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Gráfico 18 – Dispersão dos valores máximos de mercúrio total, em escala aumentada, em cada trecho no período de 26/01 a 30/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba.



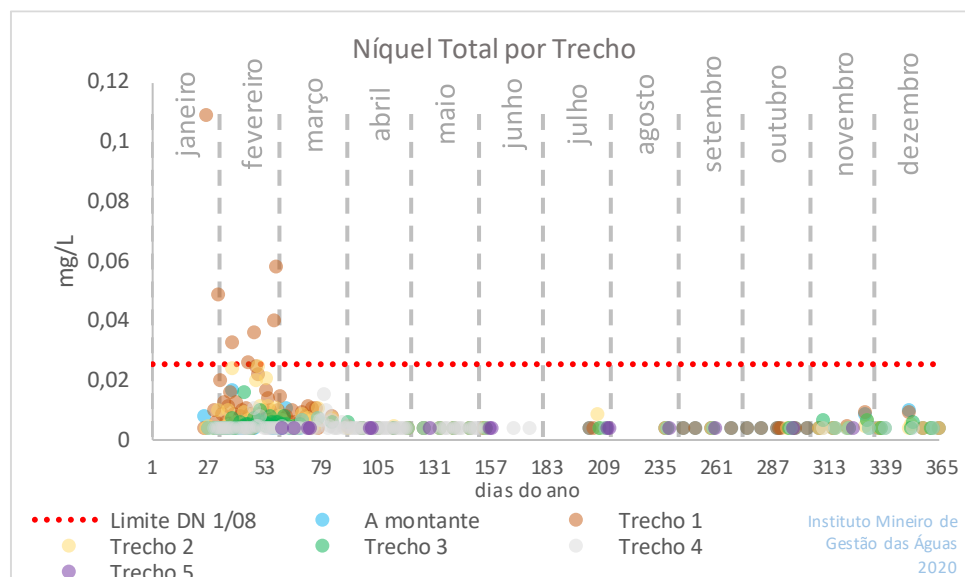
Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Metais níquel total, cádmio total, cobre dissolvido e zinco total

No Gráfico 19 é apresentada a dispersão dos resultados de níquel total obtidos no período de 26 de janeiro a 30 de dezembro de 2019 ao longo da calha do rio Paraopeba.

No que se refere aos resultados de níquel total observou-se que do total das análises realizadas ao longo de 2019, aproximadamente 1% estiveram em desconformidade com o limite de classe 2 (0,025 mg/L) e acima do máximo da série histórica de monitoramento do Igam (0,026 mg/L). Essas violações ocorreram no trecho 1, sendo a última registrada em São Joaquim de Bicas (BP070) no dia 27/02. Observa-se que nos meses de janeiro, fevereiro e março houve um maior número de registros de níquel total nos trechos 1 a 4 e também no ponto a montante, contudo valores significativos de níquel total só foram registrados no trecho 1. Esses resultados refletem o impacto do material extravasado proveniente da barragem B1 e a remobilização dos sedimentos do rio Paraopeba provocada pelo aumento das chuvas. No trecho 5 não foi identificado níquel total nas amostras coletadas em todo o monitoramento do ano de 2019.

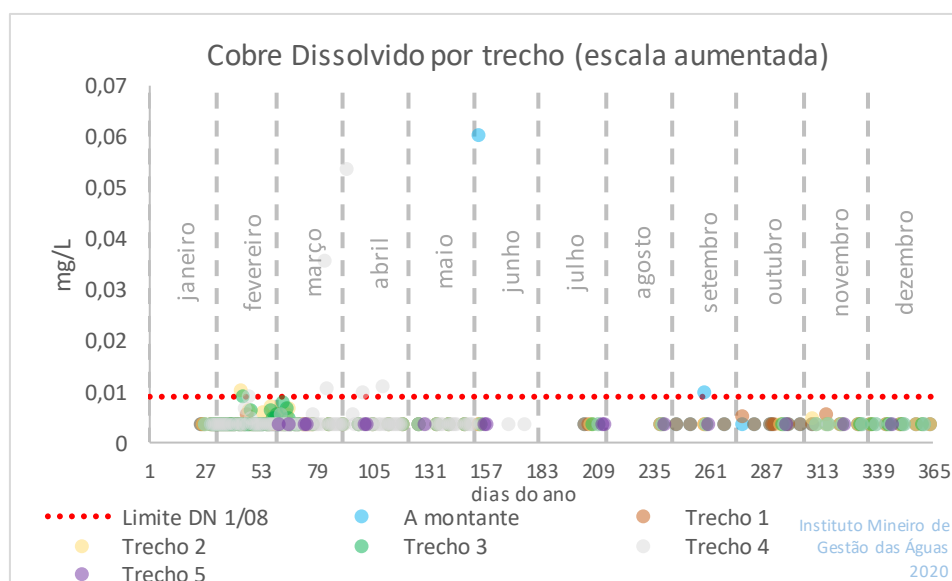
Gráfico 19 – Dispersão dos valores máximos de níquel total em cada trecho no período de 26/01 a 30/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

No Gráfico 20 é apresentada a dispersão dos resultados de cobre dissolvido obtidos no período de 26 de janeiro a 30 de dezembro de 2019 ao longo da calha do rio Paraopeba. Foram registradas 13 violações (cerca de 1,5% do total de amostras) do limite de classe (0,009 mg/L) ao longo do monitoramento emergencial do rio Paraopeba. As violações ocorreram na estação a montante (BP036) em junho e setembro, no trecho 2 a montante da captação de Pará de Minas (BPE3) em março, no trecho 3 em Paraopeba (BP083) no mês de fevereiro e no trecho 4 a jusante da UHE Retiro Baixo (BP099) nos meses de fevereiro, março e abril. Todos os demais registros de cobre dissolvido estiveram abaixo do limite de quantificação do método de análise. Ressalta-se que o trecho 1, considerado como mais impactado, não sofreu variações significativas nos valores de cobre dissolvido que pudessem ser relacionados ao rompimento da barragem B1.

Gráfico 20 – Dispersão dos valores máximos de cobre dissolvido em cada trecho no período de 26/01 a 30/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba

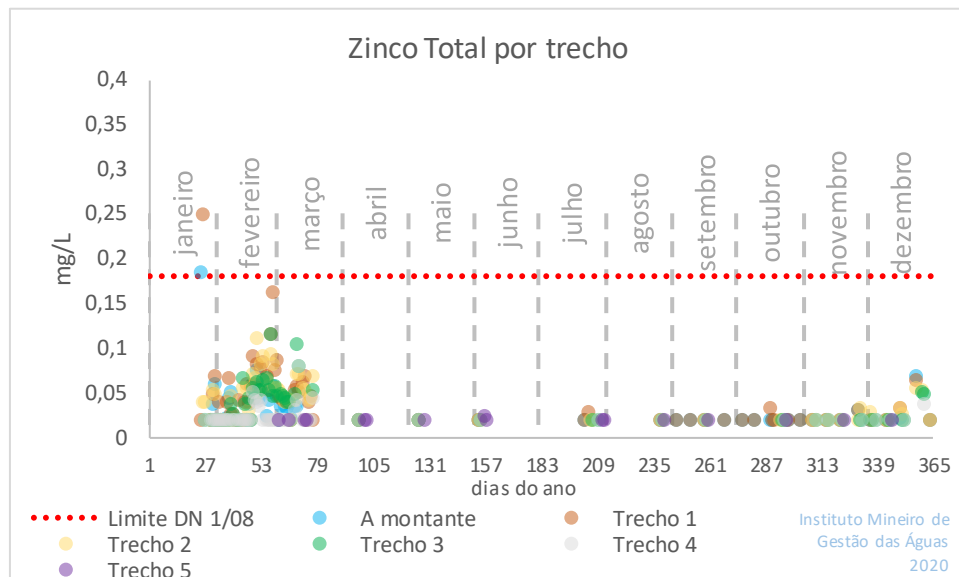


Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

No Gráfico 21 é apresentada a dispersão dos resultados de zinco total obtidos no período de 26 de janeiro a 30 de dezembro de 2019 ao longo da calha do rio Paraopeba. Observa-se que nos meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro houve maior número de registros com valores de concentração de zinco total mais elevada nos trechos 1 a 3 e também no ponto a montante,

contudo, apenas uma violação ao limite de classe (0,18 mg/L) foi registrada no trecho 1 em Mário Campos (BP068) no dia 26 de janeiro. Todos os demais registros de zinco total estiveram abaixo do limite de quantificação do método de análise.

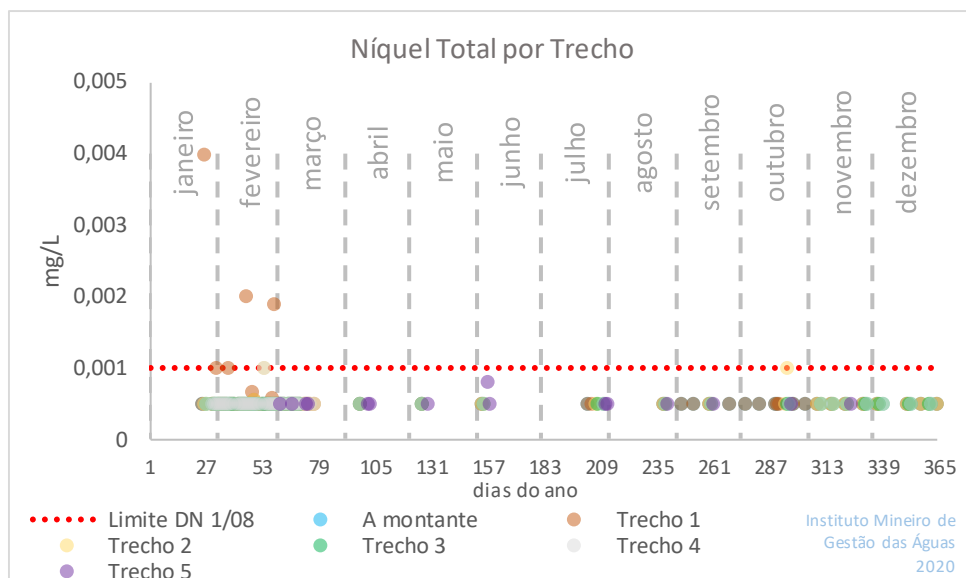
Gráfico 21 – Dispersão dos valores máximos de zinco total em cada trecho no período de 26/01 a 30/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

No Gráfico 22 é apresentada a dispersão dos resultados de cádmio total obtidos no período de 26 de janeiro a 30 de dezembro de 2019 ao longo da calha do rio Paraopeba. Foram registrados 4 valores acima do limite de classe 2 e acima do máximo da série histórica de monitoramento de cada ponto. No dia seguinte ao rompimento da barragem B1 foram registradas violações no trecho 1 em Brumadinho (BPE2) e em Mário Campos (BP068). No dia 14/02 foi registrada novamente violação em Mário Campos e no dia 27/02 em São Joaquim de Bicas (BP070). Os demais resultados de cádmio estiveram abaixo do limite de quantificação do método de análise.

Gráfico 22 – Dispersão dos valores máximos de cádmio total, em cada trecho no período de 26/01 a 30/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Para os demais metais avaliados arsênio total, bário total, boro total, cromo total, selênio total, vanádio total, além dos parâmetros cianeto livre, fenóis totais, nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal não foram registradas violações do limite de classe, segundo a Deliberação Normativa Conjunta Copam/CERH nº 1 de 2008, de Minas Gerais.

7 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DE SEDIMENTOS DE JANEIRO A DEZEMBRO DE 2019

A seguir é apresentada uma análise dos resultados de sedimentos coletados ao longo do rio Paraopeba, para os dados do monitoramento emergencial obtidos entre 27/01/19 e 12/12/2019. Os parâmetros foram selecionados para avaliação das possíveis alterações dos corpos de água em função das características do rejeito e da capacidade de arraste e revolvimento de material de fundo com o deslocamento da pluma no trecho logo após a confluência com o ribeirão Ferro-Carvão até a UHE Retiro Baixo.

Para melhor visualização dos resultados, as estações monitoradas ao longo do rio Paraopeba foram agrupadas em cinco trechos no rio Paraopeba a jusante da confluência com o rio Ferro-Carvão do e um ponto a montante conforme apresentado na análise das águas superficiais.

Serão apresentados os gráficos de dispersão de todos os valores registrados, por trecho, para os parâmetros nos sedimentos de fundo: ferro, manganês e alumínio e também foram analisados os seguintes contaminantes: arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco. As concentração dos metais pesados e arsênio nos sedimentos foram comparadas com os Níveis I e II, definidos para águas doces, da Resolução Conama nº 454 de 2012 (TABELA 3). Vale destacar que serão utilizados como referência no presente relatório os valores orientadores estabelecidos por Costa (2015) de 28,10%, 4,52% e 0,33%, para ferro, alumínio e manganês, respectivamente.

Ferro e manganês em sedimentos

Nos Gráficos 23 e 24 são apresentados os resultados de ferro e manganês dos sedimentos coletados entre os dias 27 de janeiro e 12 de dezembro de 2019 no rio Paraopeba. Os resultados desses metais são expressos em porcentagem de peso seco (%) dada as suas importâncias relativas quanto à composição dos sedimentos que geralmente são encontrados.

O material proveniente da Barragem 1, é originário da mineração de ferro, e por consequência esse é o elemento de maior abundância e característico da presença do rejeito no leito dos corpos de água afetados diretamente pelo desastre. De maneira geral observa-se que a elevação dos teores de ferro nos sedimentos dos trechos 1, 2 e 3 é devido ao material oriundo da barragem B1 que foi vertido para o rio Paraopeba.

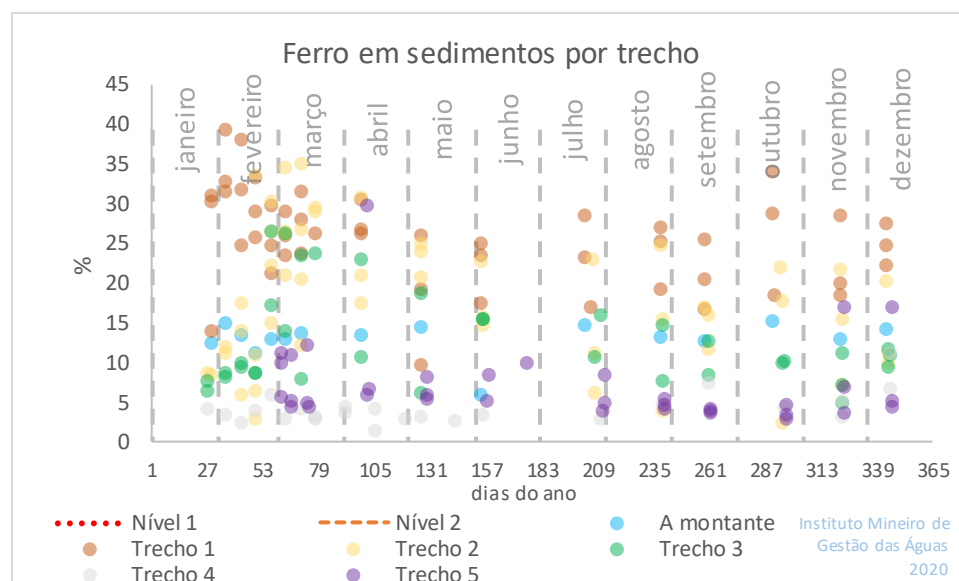
Os teores mais elevados de ferro, acima do valor de referência de Costa (2015) (28,10%) bem como dos teores de ferro obtidos a montante do rompimento, foram identificados nos primeiros 50 dias após o desastre (de janeiro a março) sobretudo nos trechos 1 (considerado o mais impactado) e 2. A variação do teor de ferro nesse período foi de 13,9% a 39,3% de ferro no trecho 1 e de 3% a 35 % no trecho 2. Para o trecho 1 também foi observada elevação nos teores de ferro em uma amostragem realizada no mês de outubro (34%).

No trecho 3 os valores mais elevados de ferro ocorreram nos meses de fevereiro a abril apresentando redução gradual a partir de maio. Observa-se que os teores de ferro no trecho 3 estiveram muito acima dos valores encontrados a montante do rompimento durante os meses de janeiro a junho ficando a partir desse período com valores bem próximos aos obtidos a montante.

Desta forma, pode-se afirmar que no trecho próximo a Retiro Baixo as concentrações de ferro nos sedimentos estão similares às encontradas a montante da área impactada pelo rompimento da Barragem B1. Registra-se, portanto, que o impacto nesse trecho ocorreu, principalmente por partículas em suspensão, que puderam ser transportadas pela força das águas.

Pode-se afirmar, também, que não houve ao longo do monitoramento realizado em 2019 variação significativa nos teores de ferro nos trechos 4 e 5 que indicasse que esses trechos receberam o material extravasado proveniente da barragem B1.

Gráfico 23 – Dispersão dos valores máximos de ferro em sedimentos de fundo, em cada trecho, no período de 27/01 a 12/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



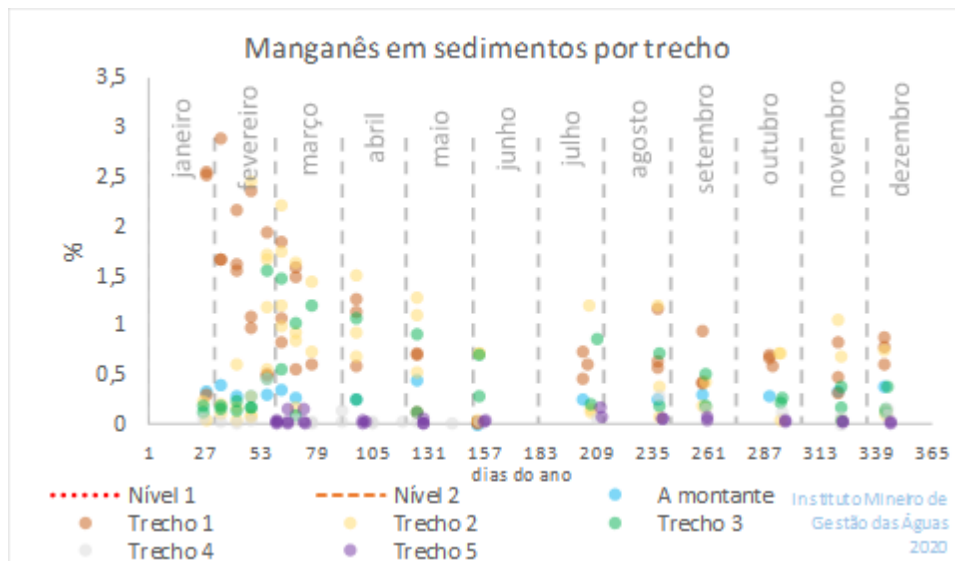
Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

No Gráfico 24 são apresentados os resultados de manganês em sedimentos de fundo do rio Paraopeba, obtidos no monitoramento especial de 2019, no período entre 27/01 a 12/12. O manganês apresentou comportamento bastante semelhante ao do ferro, o que é esperado tendo uma vez que são os metais de maior abundância na composição dos rejeitos.

Nos primeiros 40 km a jusante da confluência com o ribeirão Ferro Carvão, trecho 1, os valores foram bastante elevados (0,5% a até 2,9%) desde a primeira semana de monitoramento, superando o valor de referência citado por Costa (2015) (0,33%). Além disso, tais valores foram superiores aos encontrados no trecho a montante do impacto sendo, portanto, indicativos do impacto dos rejeitos nos sedimentos de fundo oriundo da barragem B1. É possível verificar que os primeiros 50 dias foram os de maior impacto e que há uma redução gradativa no percentual de manganês nos sedimentos a partir do mês de março contudo, os valores permaneceram acima do valor de referência ao longo do ano de 2019. Esse comportamento também pode ser verificado nos trechos 2 e 3 cujo percentual de manganês encontrado nos sedimentos foi mais elevado nos primeiros 50 dias (variação de 0,05 e 2,46 % no trecho 2 e 0,1 a 1,55% no trecho 3) e a partir de março apresentou redução e alguns resultados estiveram abaixo do valor de referência (0,33%).

Assim como ocorre com o ferro, não houve ao longo do monitoramento realizado em 2019 variação significativa nos teores de manganês nos trechos 4 e 5 reforçando que os sedimentos de fundo não sofreram alterações de qualidade que pudessem representar impactos dos rejeitos provenientes da barragem B1 até o momento.

Gráfico 24 – Dispersão dos valores máximos de manganês em sedimentos de fundo, em cada trecho, no período de 27/01 a 12/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Alumínio em sedimentos

No Gráfico 25 são apresentados os resultados de alumínio em sedimentos de fundo do rio Paraopeba, obtidos no monitoramento especial de 2019, no período entre 27/01 a 12/12. O comportamento do alumínio se deu de forma bastante distinta ao observado para ferro e manganês. Os resultados de alumínio em sedimentos em todos os trechos apresentaram o mesmo comportamento registrado ao longo da série de monitoramento especial em 2019.

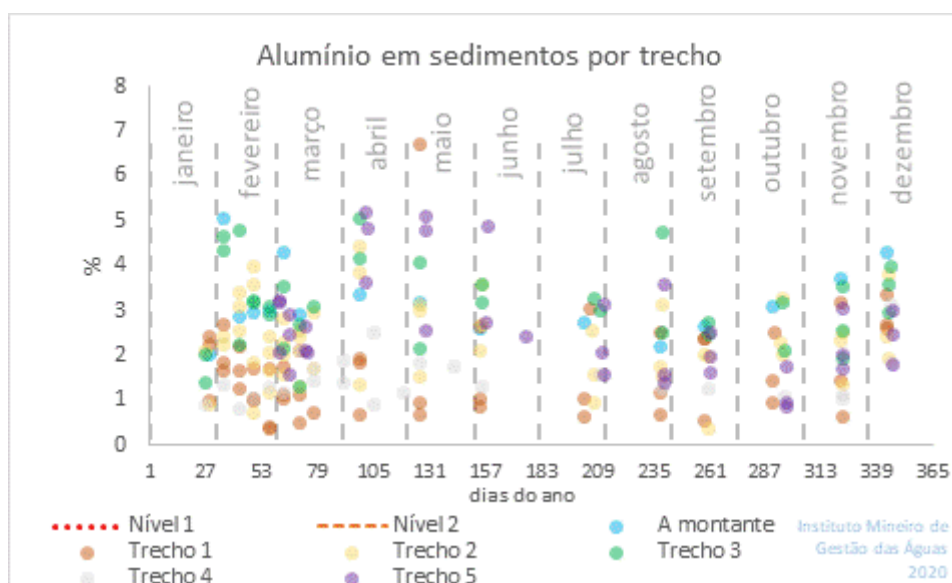
De maneira geral, é possível verificar valores mais baixos de alumínio no trecho logo a jusante da confluência com o ribeirão Ferro Carvão até Esmeraldas (trechos 1 e 2), seguido de um acréscimo no trecho 3 e 5, justamente o oposto ao observado para os valores de manganês e ferro. Nos primeiros 50 dias após o desastre, os percentuais de alumínio nos sedimentos dos trechos 1 e 2 variaram entre 0,4 e 4,5% seguido de um acréscimo no trecho 3, com os percentuais de alumínio variando entre 1,3 a 5%.

Esse fato pode ser explicado por uma possível redução do teor de alumínio nos sedimentos devido a deposição dos rejeitos provenientes da barragem B1 uma vez que os valores de alumínio no trecho a montante foram superiores ao encontrados nos trechos 1 e 2.

Registra-se ainda que a grande maioria dos resultados estiveram abaixo da referência indicada por Costa (2015), que é de 4,52%.

Os resultados de qualidade da água bruta superficial também acompanham este comportamento, ou seja, o parâmetro alumínio dissolvido apresentou-se de forma inconsistente com o comportamento geral de ferro total e manganês total, ao revés, com valores próximos da normalidade histórica justamente nos primeiros 60 km a jusante da barragem, aumentando muito além dessa normalidade em todos os outros pontos, inclusive em pontos não impactados, como o BP036.

Gráfico 25 – Dispersão dos valores máximos de alumínio em sedimentos de fundo, em cada trecho, no período de 27/01 a 12/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Chumbo em sedimentos

No Gráfico 26 são apresentados os resultados de chumbo em sedimentos de fundo do rio Paraopeba, obtidos no monitoramento especial de 2019, no período entre 27/01 a 12/12.

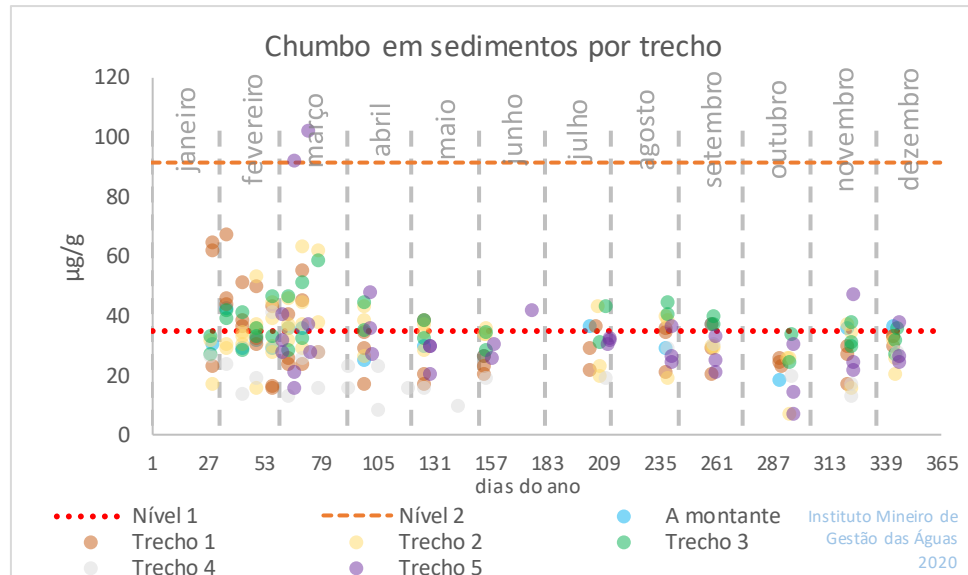
Nos trechos 1 e 2 os valores de chumbo acima do Nível 1 foram recorrentes nos primeiros 50 dias após o desastre, período em que verificou-se as concentrações mais elevadas de chumbo

nos sedimentos do rio Paraopeba nesses trechos. Nesses dois trechos houve redução dos valores de chumbo, ao longo do ano de 2019, comparativamente aos resultados de janeiro a março. Assim como nos dois primeiros trechos do rio Paraopeba, no trecho 3 as concentrações mais elevadas de chumbo foram registradas entre janeiro a março. Contudo, observa-se que os valores de chumbo acima do Nível 1 foram recorrentes ao longo do ano de 2019.

No trecho a montante do rompimento também foram observados alguns registros de chumbo acima do Nível 1. Assim, o chumbo pode estar associado não somente com o rompimento da barragem B1, mas também com atividades desenvolvidas na bacia. O material depositado nos leitos ao longo dos anos pode ter sido arrastado durante a passagem da lama e remobilizado, alterando os níveis de chumbo tanto na água quanto nos sedimentos.

Valores de chumbo acima do Nível 2 (limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos a biota aquática) foram registrados duas vezes, apenas na estação localizada no braço do rio Paraopeba no remanso da represa de Três Marias no Município de Felixlândia (BPE6) nos dias 07 e 14 de março. Registra-se que até o momento não foi constatada a chegada dos rejeitos provenientes da barragem B1 nos trechos a jusante do reservatório de Retiro Baixo uma vez que os valores de chumbo registrados a montante, trecho 4, não apresentaram variações significativas que indicassem a presença dos rejeitos. Desta forma, os registros de chumbo acima do nível 1 e 2 no reservatório de Três Marias sugerem ter relação com fatores externos ao rompimento da Barragem B1, podendo ter origem, inclusive, de outras fontes presentes na bacia que drenam para o reservatório.

Gráfico 26 – Dispersão dos valores máximos de chumbo em sedimentos de fundo, em cada trecho, no período de 27/01 a 12/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

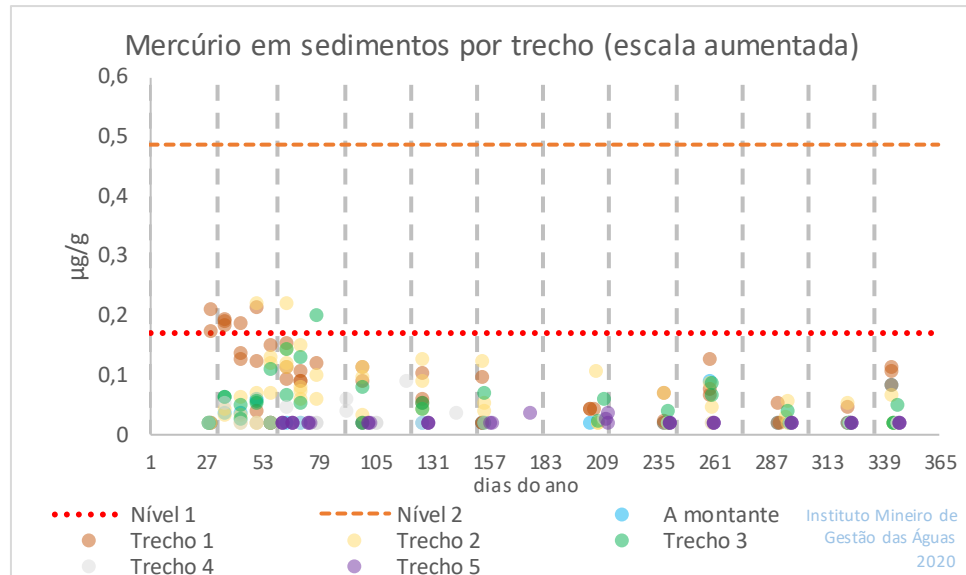
Mercúrio em sedimentos

No Gráfico 27 são apresentados os resultados de mercúrio em sedimentos de fundo do rio Paraopeba, obtidos no monitoramento especial de 2019, no período entre 27/01 a 12/12.

É possível verificar que logo após o rompimento da barragem B1 em janeiro até o mês de março houve uma elevação dos valores de mercúrio nos trechos 1, 2 e 3, em comparação aos resultados de montante no mesmo período, sendo observados alguns registros de mercúrio acima do Nível 1. Após esse período não foram mais identificados valores de mercúrio acima do nível 1 nos sedimentos do rio Paraopeba.

Esses resultados demonstram que a elevação dos teores de mercúrio nos sedimentos podem estar relacionados com o rompimento da barragem B1, uma vez que corroboram com os resultados de ferro e manganês. Já nas estações de amostragem localizadas a partir do remanso da UHE Retiro Baixo (Trechos 4 e 5) não se observa alterações dos valores de mercúrio que possam indicar interferência do material proveniente da barragem B1 nos sedimentos.

Gráfico 27 – Dispersão dos valores máximos de mercúrio em sedimentos de fundo, em cada trecho, no período de 27/01 a 12/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Níquel e Cobre em Sedimentos

Nos Gráficos 28 e 29 são apresentados os resultados de níquel e cobre em sedimentos de fundo do rio Paraopeba, obtidos no monitoramento especial de 2019, no período entre 27/01 a 12/12.

Os valores acima do Nível 1 foram registrados para ambos os metais em todos os trechos da calha do rio Paraopeba, inclusive a montante da confluência com o ribeirão Ferro Carvão, trecho que não recebeu impacto do rompimento da barragem B1. Contudo, logo após o rompimento da barragem foi observado aumento dos valores de níquel e cobre nos trechos 1, 2 e 3. Esse comportamento se estendeu até o mês de abril e a partir desse período houve redução dos valores desses metais.

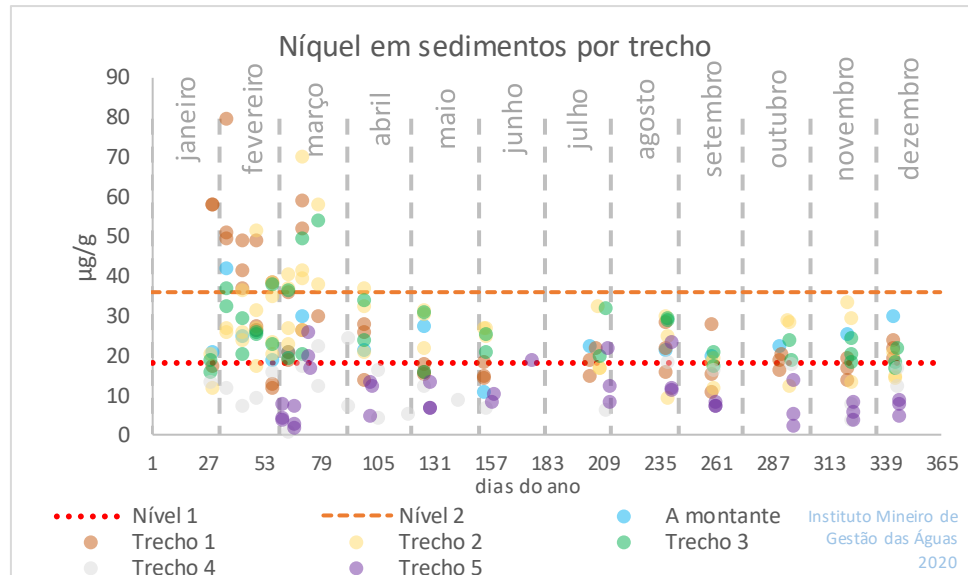
Assim, a presença do cobre e do níquel nos sedimentos pode estar associada não somente com o rompimento da barragem B1, mas também com atividades desenvolvidas na bacia. O material depositado no leito dos trechos afetados ao longo dos anos pode ter sido arrastado e remobilizado, elevando mesmo que temporariamente os níveis de cobre e níquel nos sedimentos.

Além disso, verificou para os metais cobre e níquel, um comportamento semelhante ao registrado para chumbo nos sedimentos de fundo, apresentando os maiores valores nos trechos 1 e 2. O Nível 2 (limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos a biota aquática) foi extrapolado para o cobre somente nas estações BPE2 e BP070 (trecho 1), nas datas próximas ao rompimento da barragem B1. Com relação ao níquel, o Nível 2, foi extrapolado na calha do rio Paraopeba no trecho que vai desde a montante do ribeirão Ferro Carvão até o município de Pompéu (trecho 3), em ao menos uma coleta.

No trecho 4, foram registrados 3 resultados de níquel em sedimentos acima do nível 1 nos meses de abril, setembro e outubro. Para os resultados de cobre, foram identificados 5 valores acima do nível 1 de forma intermitente ao longo do ano. O mesmo comportamento é verificado no trecho 5 em que foram identificados alguns resultados de cobre e níquel acima do Nível 1 ao longo do monitoramento, de forma intermitente.

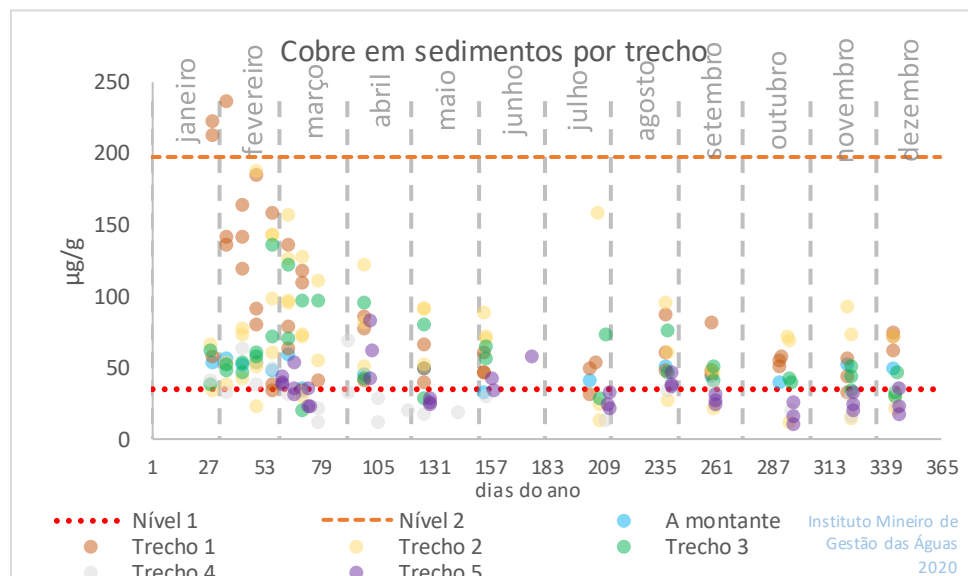
Ressalta-se que durante o monitoramento emergencial executado em 2019 não se observou interferência do material proveniente da barragem B1 nos trechos 4 e 5. Desta forma, os registros de cobre e níquel nesses trechos sugerem ter relação com fatores externos ao rompimento da Barragem B1, podendo ter origem, inclusive, de outras fontes presentes na bacia que drenam para o reservatório.

Gráfico 28 – Dispersão dos valores máximos de níquel em sedimentos de fundo, em cada trecho, no período de 27/01 a 12/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Gráfico 29 – Dispersão dos valores máximos de cobre em sedimentos de fundo, em cada trecho, no período de 27/01 a 12/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

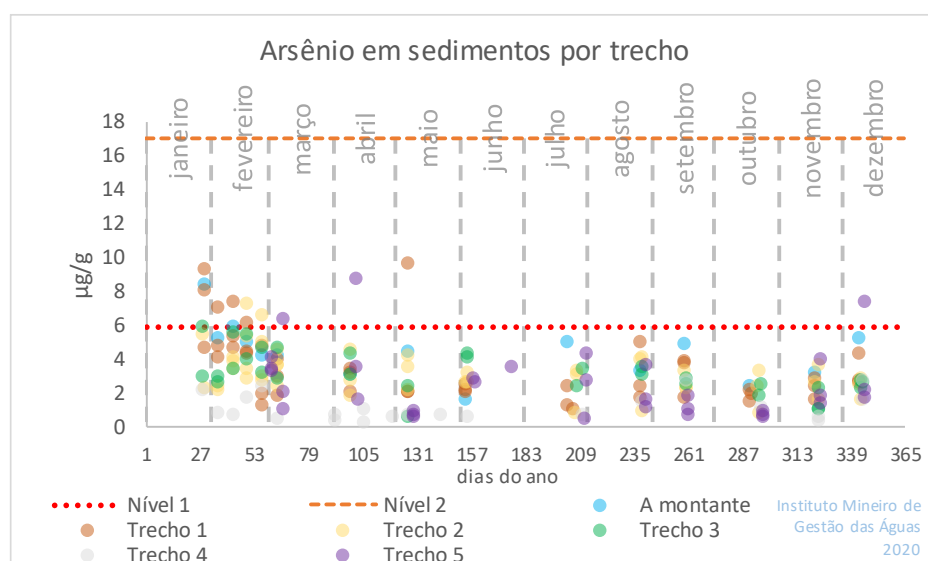
Arsênio em Sedimentos

No Gráfico 30 são apresentados os resultados de arsênio nos sedimentos de fundo do rio Paraopeba, obtidos no monitoramento especial de 2019, no período entre 27/01 a 12/12.

Nos meses de janeiro e fevereiro foram registrados nos trechos 1 e 2 o maior número de resultados de arsênio com valores acima do Nível 1. Os valores elevados de arsênio nesses dois trechos podem estar associados ao material presente no leito do rio Paraopeba, antes do rompimento da barragem B1, uma vez que o arsênio excedeu o Nível 1 também no ponto a montante da influência do córrego Ferro Carvão. No trecho 5 também foram registrados valores de arsênio acima do nível 1, contudo, como não se observou interferência do material proveniente da barragem B1 nesse trecho, sugere-se que esses resultados tenham relação com fatores externos ao rompimento da Barragem B1. Os valores de arsênio em sedimentos registrados em 2019 nos trechos 3 e 4 não excederam o Nível 1.

Salienta-se que o arsênio não apresentou valores na água bruta superficial em discordância com os limites preconizados na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008 para águas de classe 2 e a maioria dos resultados estiveram inferiores ao limite de quantificação do método, ou seja, não foram detectados na água.

Gráfico 30 – Dispersão dos valores máximos de arsênio em sedimentos de fundo, em cada trecho, no período de 27/01 a 12/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Cromo em Sedimentos

Nos Gráficos 31 e 32 são apresentados os resultados de cromo nos sedimentos de fundo do rio Paraopeba, obtidos no monitoramento especial de 2019, no período entre 27/01 a 12/12. Os dados das medições ao longo de 2019 mostram que apenas dois valores de cromo nos trechos 1 e 2 estão acima do Nível 2 e que a maioria dos valores registrados em todos os trechos se mantém acima do nível 1 incluindo os pontos a montante da confluência com o ribeirão Ferro Carvão, a jusante da UHE Retiro Baixo (trecho 4) e represa de Três Marias (trecho 5) onde não se observou interferência do material proveniente da barragem B1.

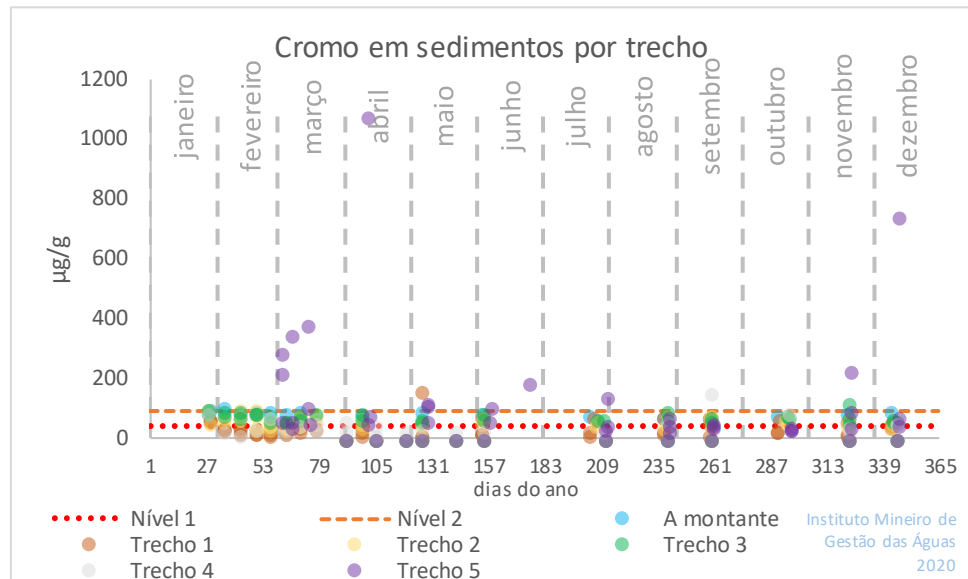
Salienta-se que valores superiores ao nível 2 foram obtidos em janeiro a montante do rompimento e em trechos que, no momento da coleta, ainda não haviam recebido impacto da lama (trechos 3 e 4).

Nas medições realizadas dentro da represa de Três Marias (trecho 5) foram encontrados teores anômalos de cromo, nos meses de março, abril e dezembro, superiores aos demais trechos de montante monitorados no rio Paraopeba. Isso sugere que as alterações de cromo têm relação com algum fator externo ao material proveniente da Barragem B1 da Vale, podendo ter origem, inclusive, de outras fontes presentes nas bacias que drenam para a represa de Três Marias.

Segundo os dados do Atlas Geoquímico da Bacia do Rio São Francisco (VIGLIO, 2018), valores de cromo nos sedimentos no entorno do reservatório de Três Marias foram registrados entre 12 e 1.046 mg/g, no ano de 2009.

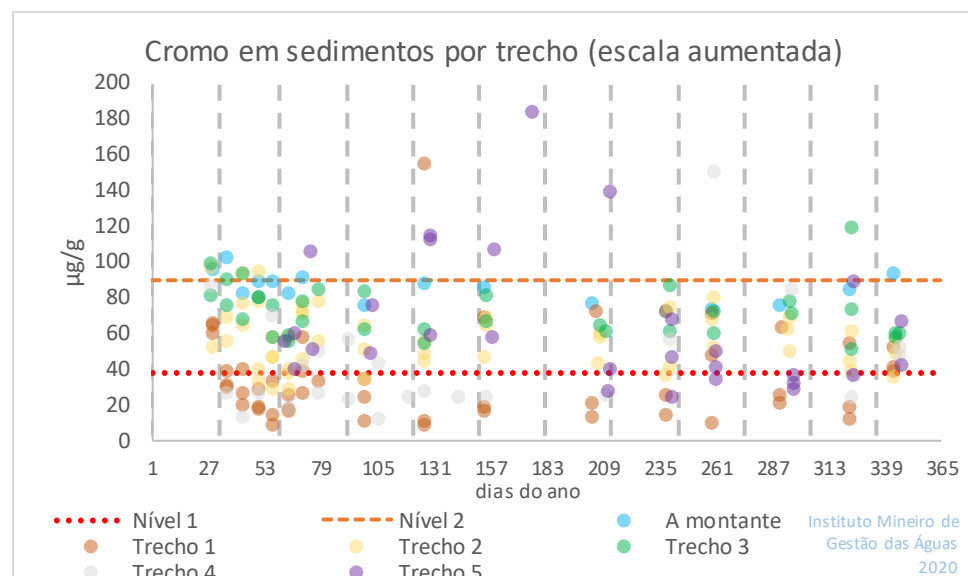
Vale destacar que todos os resultados de cromo medidos pelo Igam na água superficial no monitoramento diário do rio Paraopeba foram inferiores ao limite de quantificação do método analítico (presença não detectada). Contudo, os dados do monitoramento realizado pela COPASA, no seu ponto de captação em Brumadinho, apontam a presença de cromo nas suas medições de água superficial, conforme boletim Informativo de Qualidade das Águas Nº 18/2019 (IGAM, 2019).

Gráfico 31 – Dispersão dos valores máximos de cromo em sedimentos de fundo, em cada trecho, no período de 27/01 a 12/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Gráfico 32 – Dispersão dos valores máximos de cromo em sedimentos de fundo em escala aumentada, em cada trecho, no período de 27/01 a 12/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba

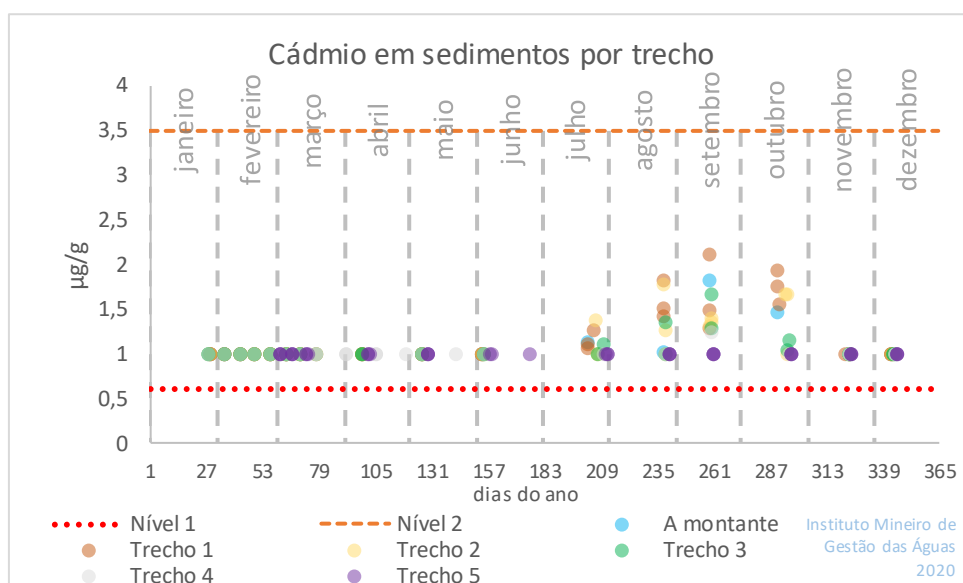


Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Cádmio em Sedimentos

No Gráfico 33 são apresentados os resultados de cádmio nos sedimentos de fundo do rio Paraopeba, obtidos no monitoramento especial de 2019, no período entre 27/01 a 12/12. É possível verificar que todos os resultados de cádmio nos sedimentos da calha do rio Paraopeba entre os meses de janeiro a junho e nos meses de novembro e dezembro estiveram abaixo do limite de quantificação do método de ensaio (1 µg/g). Contudo, vale destacar que o limite de detecção do ensaio para a análise de cádmio em sedimentos está acima do limite do Nível 1 da Resolução CONAMA 454/12 (0,6 µg/g). Os valores acima do limite de Nível 1 somente foram identificados nos meses de julho a outubro nos trechos 1 a 3, bem como no trecho de montante.

Gráfico 33 – Dispersão dos valores máximos de cádmio em sedimentos de fundo, em cada trecho, no período de 27/01 a 12/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



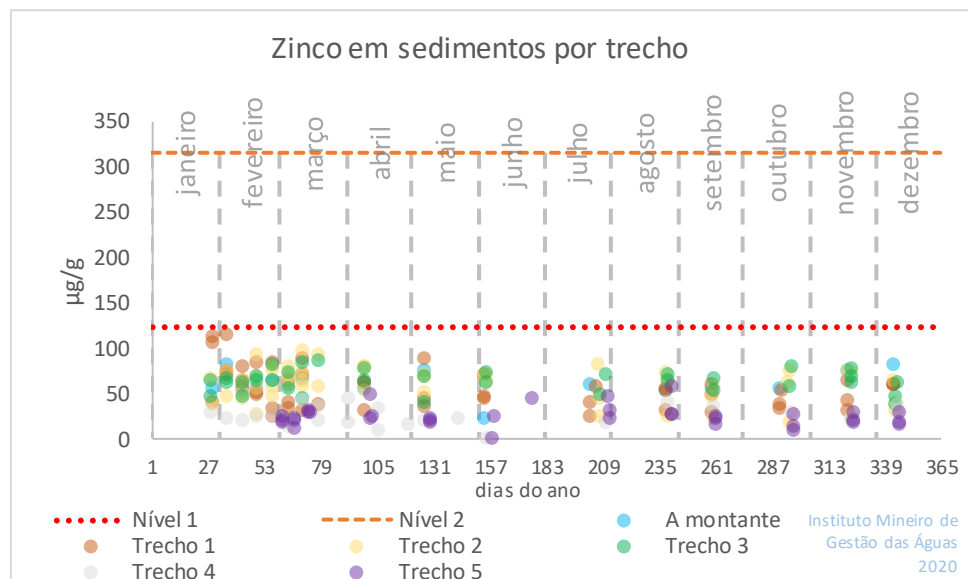
Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Zinco em Sedimentos

No Gráfico 34 são apresentados os resultados de zinco nos sedimentos de fundo do rio Paraopeba, obtidos no monitoramento especial de 2019, no período entre 27/01 a 12/12. Não foram registrados valores de zinco acima do Nível 1 da Resolução CONAMA 454/12 ao longo do monitoramento realizado em 2019. Verifica-se uma ligeira elevação dos resultados de zinco

no trecho 1 logo nas primeiras semanas após o desastre. Após isso, não foi verificada variação significativa no comportamento dos dados de zinco nos sedimentos em toda a calha do rio Paraopeba.

Gráfico 34 – Gráfico de dispersão dos valores máximos de zinco em sedimentos de fundo, em cada trecho, no período de 27/01 a 12/12, nas estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

8 CONCLUSÕES

Com base no monitoramento efetuado pelo Igam, é possível afirmar que o derramamento de rejeitos de minério oriundo da barragem B1 operada pela Vale causou impactos na qualidade hídrica em diferentes graus de intensidade, sobretudo aqueles relacionados a turbidez e a presença dos metais ferro dissolvido, alumínio dissolvido e manganês total.

De maneira geral, observa-se que nos 60 dias subsequentes ao rompimento (final de janeiro a abril) aconteceram os maiores impactos sobre o ribeirão Ferro-Carvão e sobre o Rio Paraopeba. O trecho 1, entre os municípios de Brumadinho e São Joaquim de Bicas, de aproximadamente 40 km de extensão (distância medida desde a barragem que rompeu), ficou totalmente impactado inviabilizando o uso da água para as mais diversas finalidades, pois encontrava-se com valores significativos de turbidez, ferro, manganês, alumínio e presença de metais pesados como chumbo e mercúrio.

Nas semanas subsequentes ao rompimento foi detectado oscilação na qualidade da água do Rio Paraopeba devido às ocorrências de chuvas, que contribuíram com a remobilização do material depositado no leito do rio ou aporte de rejeito oriundo da barragem que rompeu. Essa oscilação foi verificada nos arredores dos municípios de Betim, Esmeraldas, São José da Varginha, Papagaios, Paraopeba, Curvelo e Pompéu.

A partir dos meses de abril e maio de 2019 até meados do mês de outubro a qualidade da água na calha do rio Paraopeba apresentou redução gradativa da turbidez e dos níveis de todos os metais avaliados. Nesse período, os resultados chegaram a ficar abaixo dos limites estabelecidos para Classe 2, a exceção de alguns resultados de manganês total e de alumínio dissolvido (no ponto de montante até o trecho 3). A redução das concentrações desses parâmetros na água superficial está relacionada ao período de estiagem que favorece a deposição do rejeito que está na coluna d'água no leito do rio.

Destaca-se também que a bacia do rio Paraopeba está inserida na região minerária conhecida como quadrilátero ferrífero, sendo natural a concentração de ferro e manganês e havendo a possibilidade de ser impactada por outros empreendimentos a ela adjacentes.

A partir último trimestre do ano (outubro, novembro e dezembro) foi verificado novamente aumento nas concentrações dos parâmetros: ferro, manganês, chumbo e turbidez acima dos limites estabelecidos para Classe 2, comparativamente ao período de estiagem. O resultado já era esperado em função do início período chuvoso e do revolvimento do material que ainda se encontra depositado no leito do rio, sobretudo nas áreas próximas ao rompimento (Trecho 1).

Com relação aos sedimentos observa-se que nos trechos 1 e 2 do rio Paraopeba (jusante da barragem B1 em Brumadinho até Curvelo) os teores de ferro, manganês, mercúrio, cobre, níquel e chumbo em sedimentos estiveram superiores aos valores encontrados no trecho a montante do impacto sendo, portanto, indicativos do impacto dos rejeitos nos sedimentos de fundo oriundo da barragem B1.

Os teores mais elevados desses metais em sedimentos foram identificados nos primeiros 60 dias após o desastre (de janeiro a março). No trecho 3 os metais em sedimentos estiveram muito acima dos valores encontrados a montante do rompimento durante os meses de janeiro a junho, ficando a partir desse período com valores bem próximos aos obtidos a montante.

Nos trechos 4 e 5 continua não sendo possível identificar a interferência dos rejeitos provenientes da barragem B1 uma vez que os teores dos metais em sedimento nessas apresentam pouca oscilação e continuam inferiores aos percentuais da estação localizada a montante do impacto do rompimento da barragem.

Dessa maneira, continua mantida a recomendação de suspensão dos usos da água bruta do Rio Paraopeba no trecho que abrange os municípios de Brumadinho até o limite da UHE de Retiro Baixo em Pompéu (aproximadamente 250 km de distância do rompimento). Não há indicação de suspensão fora deste trecho. Essa medida considera que ainda não se tem a comprovação de ausência de risco à saúde humana pela utilização da água devido à deposição dos rejeitos no leito do rio Paraopeba.

É importante salientar que a avaliação da série histórica de monitoramento de 20 anos do Igam vêm apontando que ocorrem desconformidades dos limites legais de parâmetros de qualidade das águas no período anterior ao desastre, frente a diversos fatores de pressão e tipologias de impactos aos recursos hídricos existentes na bacia. Desta forma, além das ações de contenção de rejeitos e recuperação do rio Paraopeba, a serem implementadas pela VALE, diversas ações devem ser implementadas para se atingir o objetivo de melhoria da qualidade das águas do rio Paraopeba:

- ✓ Coleta e tratamento de esgotos da bacia hidrográfica do rio Paraopeba.
- ✓ Controle das fontes de poluição difusas, uma vez que são necessárias ações conjuntas de diversos segmentos do governo, do setor produtivo e da sociedade, no sentido de atenuar os impactos das atividades antrópicas e de promover ações de melhoria da qualidade das águas,
- ✓ Controle das fontes pontuais de poluição, por meio da fiscalização;
- ✓ Reduzir a fragmentação de políticas públicas: Vários planos setoriais têm impacto sobre a qualidade das águas, como os planos de saneamento, os planos de recursos hídricos e os planos diretores municipais.

Por fim o Igam reforça seu compromisso de acompanhar os impactos sobre as águas do rio Paraopeba por meio da manutenção do monitoramento sistemático ao longo de todo o rio Paraopeba até o corpo do reservatório de Três Marias, podendo o programa ser revisto de acordo com a necessidade, bem como, todas as ações para remoção dos rejeitos e recuperação da bacia do rio Paraopeba, pela empresa Vale S/A, frente ao desastre ambiental ocorrido em Brumadinho.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION- APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington: APHA, 2005.

BARBIERI, C. B. **Caracterização de crime ambiental de poluição por meio de abordagem multiparamétrica e incorporando incerteza de amostragem**. 2015. 194 f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), São Paulo.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

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

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (Minas Gerais); CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS (Minas Gerais). Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, 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. **Minas Gerais**, Belo Horizonte, 13 maio 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000. Define os critérios para a classificação de águas destinadas à recreação de contato primário. As águas doces, salobras e salinas terão sua condição avaliada por parâmetros e indicadores específicos, de modo a assegurar as condições de balneabilidade. **Diário Oficial [da] União**: Seção 1, Brasília, ano 18, p. 70-71, 25 jan. 2001.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 454, de 01 de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, ano 216, 8 nov. 2012.

COSTA, Raphael de Vicq Ferreira da. **Mapeamento geoquímico e estabelecimento de valores de referência (background) de sedimentos fluviais do Quadrilátero Ferrífero**. 2015. 185 f. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Informativo hidrometeorológico de acompanhamento do deslocamento da pluma no percurso do rio Paraopeba.** 2019a. Disponível em: http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2019/DESASTRE_BARRAGEM_B1/informativos_hidrometeorol%C3%B3gicos/20190222_Informativo_Paraopeba_N25.pdf. Acesso em 30 mar 2020:

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Informativo dos parâmetros de qualidade das águas nos locais monitorados ao longo do rio Paraopeba.** 2019b. http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2019/DESASTRE_BARRAGEM_B1/informativos_qualidade_agua/Informativo_18_IGAM_COPASA_CPRM_2.pdf .Acesso em 30 mar 2020:

MINAS GERAIS. Decreto nº 41.578, de 08 de março de 2001. Regulamenta a Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999, que dispõe sobre Política Estadual de Recursos Hídricos. **Diário Oficial [do] Estado de Minas Gerais:** Diário do Executivo, Belo Horizonte, 9 março. 2001.

VEJA antes e depois de Brumadinho e imagens aéreas da lama na cidade. **Veja**, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/brasil/veja-antes-e-depois-de-brumadinho-e-imagens-aereas-de-lama-na-cidade/>. Acesso em: 22 fev. 2019.

VIGLIO, Eduardo Paim; CUNHA, Fernanda Gonçalves da. **Atlas geoquímico da bacia do rio São Francisco:** Minas Gerais. Belo Horizonte: CPRM, 2018.

Foto: Evandro Rodney

