

MONITORAMENTO ESPECIAL DA BACIA DO RIO PARAÓPEBA

RELATÓRIO III

MONITORAMENTO GEOQUÍMICO

ABRIL/2019



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM

MONITORAMENTO ESPECIAL DA BACIA DO RIO PARAÓPEBA

**RELATÓRIO 03: Monitoramento Geoquímico
Segunda Campanha**

**BELO HORIZONTE
ABRIL/2019**

Parceria:



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Bento Albuquerque

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

Diretor Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Antônio Carlos Bacelar Nunes

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

José Leonardo Silva Andriotti - interino

Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Fernando Pereira de Carvalho - interino

Diretor de Administração e Finanças

Juliano de Souza Oliveira - interino

Chefe do Departamento de Hidrologia

Frederico Cláudio Peixinho

Chefe do Departamento de Gestão Territorial

Maria Adelaide Mansini Maia

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELO HORIZONTE

Superintendente Regional

Marlon Marques Coutinho - interino

Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

Marlon Marques Coutinho

Gerente de Geologia e Recursos Minerais

Marcelo de Souza Marinho

Gerente de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Júlio Murilo Martino Pinho

Gerente de Administração e Finanças

Margareth Marques dos Santos

Parceria:



CRÉDITOS

Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial – Marlon Marques Coutinho

Equipe Técnica

Supervisor de Hidrogeologia e Gestão Territorial – Natália Dias Lopes

Equipe de Campo

Equipe de Geoquímica

Eduardo Paim Viglio – DIGATE
Marco Antônio Pimentel – GEHITE
José Luiz Marmos – GEHITE-MA
Julia Mançano Quintarelli - DIGATE

Equipe de monitoramento da hidrologia

Alexandre Henrique, Aline da Silva Garcia, Bárbara H De O Lobo Cordeiro, Bruno Henrique F Ribeiro, Edilson Francisco Siqueira, Eduardo Soares Feliciano Dos Santos, Elenildo Aparecido Goncalves, Emília Yumi Kawaguchi, Francisco Magela Dias, Frederico Ernesto C Carvalho, Grace Kelly Amaral Ventura, Gustavo Guedes De Faria Cruz, Jackson Tiago Ribeiro, Janaína Gomes Pires Da Silva, Joilson Santana Barbosa, José Arcinei Bardini, Jose Júlio De Souza, Juliana Lourenção, Luana Souza Serafim De Lima, Luis Carlos Pereira De Oliveira, Maíra Uchoa Pinto Dos Santos, Michele Bruna De Souza Nascimento, Oscar Alves Da Silva, Robinson De Souza Marinho, Sidney Luiz Do Nascimento, Welington Cesário De Oliveira, Wesley Natan Da Rocha

Equipe de Laboratório

Américo Caiado Pinto – Rio de Janeiro
Larissa Torrezani - Manaus

Organização do Relatório

Eduardo Paim Viglio
Eduardo Duarte Marques
José Luis Marmos
André Invernizzi

Capa

Elizabeth Almeida Cadete Costa

Parceria:



Sumário

1	Introdução	5
2	Trabalhos Anteriores	6
3	Metodologia	6
4	Trabalhos Realizados	7
5	Resultados	11
6	Discussão dos resultados.....	39
7	Referências Bibliográficas.....	41

Parceria:



1 Introdução

No dia 25 de janeiro de 2019, por volta das 12:30h, ocorreu o rompimento da Barragem B1 no complexo da Mina Córrego do Feijão, pertencente à Vale, situada em Brumadinho/MG. Esta barragem está localizada na bacia do ribeirão Ferro Carvão, que é afluente do rio Paraopeba pela margem direita. A partir desta data, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM, em conjunto com a Agência Nacional de Águas - ANA, Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM e Companhia de Saneamento do Estado de Minas Gerais - COPASA, elaboraram um programa de monitoramento na bacia do rio Paraopeba. O plano de trabalho estabeleceu os pontos onde cada instituição atuaria e quais parâmetros de qualidade ambiental seriam feitos por cada instituição, com o intuito de integrar os dados gerados e garantir maior abrangência do monitoramento do rio Paraopeba além de compartilhar informações entre as instituições e para a sociedade.

Até o momento foram programadas as seguintes ações de responsabilidade do Serviço Geológico do Brasil - CPRM:

- Equipe da Geoquímica
 - Campanhas de geoquímica ambiental para a caracterização da água e sedimentos de fundo em 17 pontos de amostragem ao longo do rio Paraopeba. A matriz água é analisada para 27 cátions e 7 ânions e na matriz sedimento são analisados 53 elementos. Implantação de Monitoramento Geoquímico em 3 estações.
- Equipe da Hidrologia
 - Monitoramento in loco no rio Paraopeba, em 5 pontos, dos seguintes parâmetros: temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido (OD) e turbidez para o acompanhamento temporal da qualidade da água, com o objetivo de dar subsídios a tomadas de decisão dos órgãos competentes;
 - Medição de descarga líquida a fim de promover o monitoramento quantitativo do volume de água transportada no rio Paraopeba;
 - Medição de descarga sólida em suspensão para quantificação do volume de sedimentos transportados no rio.

A equipe de geoquímica programou inicialmente duas campanhas espaçadas, percorrendo os 17 pontos estabelecidos ao longo do rio Paraopeba, sendo coletadas amostras geoquímicas de sedimento de fundo e de água superficial, cujos resultados da segunda campanha são explicitados no presente relatório. Continuou-se o monitoramento geoquímico em três das estações onde a equipe de Hidrologia manteve a medição diária de parâmetros físico-químicos, nos moldes do que foi feito nos rios atingidos no rompimento da barragem do Fundão em novembro de 2015. Coletas de amostras de água de dois em dois dias e de sedimento de quatro em quatro dias foram mantidas e seus resultados constam deste relatório. O relatório da primeira campanha, realizada de 28 de janeiro a 02 de fevereiro de 2019 pode ser acessado em nossa página da internet em: http://www.cprm.gov.br/sace/conteudo/paraopeba/RT_02_2019_PARAOPEBA.pdf

A equipe de hidrologia iniciou a mobilização de campo e escritório desde o dia 26 de janeiro de 2019 com o monitoramento diário em três pontos fixos no rio Paraopeba e dois extras para acompanhar o avanço da turbidez ao longo do rio. Diariamente está sendo divulgado um boletim de monitoramento com a previsão de chegada da água turva nos pontos de interesse e os parâmetros de QA medidos in loco. O Link de publicação dos boletins: http://www.cprm.gov.br/sace/index_rio_paraopeba.php

Parceria:



Este relatório apresenta os dados obtidos pelas equipes de geoquímica do Serviço Geológico do Brasil - CPRM na segunda campanha realizada ao longo do rio Paraopeba entre os dias 11 e 22 de fevereiro de 2019 e os dados do monitoramento efetuado nas estações Mario Campos, Ponte Nova do Paraopeba e Ponte da Taquara, do dia 01 de fevereiro a 10 de março de 2019.

2 Trabalhos Anteriores

No primeiro relatório estão explicitados os procedimentos, metodologias e alguns dos resultados obtidos pelos trabalhos do Projeto Geoquímica MultiUso entre os anos de 2009 e 2011, relacionados às 103 amostras de sedimento de fundo, 103 amostras de água de superfície e 34 amostras de solo existentes na bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

O relatório da primeira campanha faz uma comparação entre os resultados anteriores, os resultados existentes na legislação e os resultados obtidos neste ano.

O rompimento da Barragem I da Mina Córrego do Feijão provocou uma corrida de rejeito catastrófica que preencheu por completo o vale do ribeirão Ferro Carvão (nome oficial do córrego do Feijão) e parte dos seus tributários e parou a cerca de 1km após a foz com o rio Paraopeba, represando parte de seu curso. O material que atualmente preenche o vale do ribeirão Ferro Carvão foi amostrado em 06 pontos para uma definição de sua composição média.

Os pontos amostrados na Campanha 1 foram repetidos, alguns foram deslocados por questão de acesso, o ponto da Represa Retiro Baixo teve seu sedimento coletado por amostrador de arrasto e foi acrescentada mais uma estação à montante do ribeirão Ferro Carvão, na localidade de Melo Franco, visando confirmação de altos teores de diversos elementos provenientes da cabeceira do Paraopeba.

3 Metodologia

Foi utilizada a metodologia de coleta dos Projetos PGAGEM (Programa de Geoquímica Ambiental e Geologia Médica – 2003 a 2008), Geoquímica MultiUso (2008 a 2011) e Levantamento Geoquímico de Baixa Densidade (2012 a 2018), todos do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, repetindo-se os procedimentos utilizados no acompanhamento do rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, em 2015.

As amostras de água foram coletadas em recipientes ambientalizados (lavados com a própria água a ser amostrada), sendo captada por seringa sem agulha, filtradas no campo com unidades filtrantes de 0,45µm e acondicionada em dois tubos de polietileno de 50 ml, sendo um acidificado com ácido nítrico para a análise de 27 cátions por ICP-OES e outro sem acidificação para análise de 7 ânions por Cromatografia Iônica. Um terceiro tubo de 50 ml, sem filtragem, mas com acidificação por ácido nítrico, foi coletado para análise de Hg Total. Os limites de quantificação são os conseguidos pelo LAMIN-Rio de Janeiro/Manaus, e encontram-se indicados nas tabelas de resultados. As amostras para determinação de Hg total foram dosadas por decomposição térmica a 650°C em equipamento denominado DMA-80 com limite de quantificação de 3 ppb ou µg/L.

Parceria:



Ainda no campo, são medidos com aparelho OAKTON PCD650 os parâmetros físico-químicos pH, Oxigênio Dissolvido, Condutividade Elétrica e Temperatura. A turbidez é estimada pela quantidade de filtros utilizados e anotada de forma qualitativa. Quando possível, são utilizados os parâmetros medidos pela equipe da Hidrologia.

Após a coleta, todos os tubos são mantidos sob refrigeração até o momento da análise.

Todos os resultados obtidos pelo SGB para as amostras de água referem-se aos elementos / compostos solúveis, ou seja, dissolvidos na água. Esse procedimento é padrão para a caracterização geoquímica da água e nem sempre pode ser utilizado para a caracterização da qualidade da água quanto ao seu uso, embora defina com segurança sua toxicidade.

Os sedimentos foram coletados de forma composta (em mais de um local no entorno do ponto de coleta de água) com amostrador de arrasto ou colheres e bacias plásticas. No laboratório SGS-Geosol as amostras com peso entre 1 e 2 kg de material foram secas a 60°C, peneiradas a 80#, sendo o passante moído a 150# e analisado por ICP-MS após digestão por água régia. Devido aos elevados teores de Fe e Mn (quase todos acima do limite máximo de detecção do método ICP-MS), estes dois elementos foram dosados por XRF (difração de RX) para poderem ser interpretados.

4 Trabalhos Realizados

A Tabela 1, a seguir e a Figura 1 apresentam a localização dos pontos amostrados na Campanha 2 relacionados à bacia e ao posicionamento do ribeirão Ferro Carvão. As estações CA017, CCA001, CCA002, CCA005, CCA010 e CCA011 foram deslocadas em relação ao ponto amostrado na primeira campanha, em função das condições de acesso.

A área de 3,2km² da bacia do ribeirão Ferro Carvão atualmente ocupada pela mistura de rejeitos com o material carreado das margens foi delimitada e, com a permissão da comissão que gerencia os acessos na chamada “zona quente”, amostrada em seis pontos, sendo coletadas seis amostras de rejeito e uma amostra de água do ribeirão (Figura 2). O ponto mais próximo da barragem rompida foi o JMS-004, aproximadamente a 1 km da linha original da barragem.

Foram coletadas duas duplicatas de campo para controle, em águas e sedimentos, dos procedimentos operacionais e analíticos utilizados. Como na primeira Campanha, vários elementos, tanto em água quanto em sedimento mostraram valores elevados no único ponto situado à montante da foz do ribeirão Ferro Carvão, foi implantada, nesta segunda Campanha, uma décima oitava estação, a CCA020, também à montante, na localidade de Melo Franco.

Foram coletadas ao todo 21 amostras de água de superfície na estação Mario Campos, de 01 de fevereiro a 10 de março, gerando 720 determinações; 23 amostras de água na estação Ponte Nova do Paraopeba, gerando 828 determinações e 15 amostras de água na estação Ponte da Taquara gerando 540 determinações, totalizando 59 amostras de água e 2088 determinações. Foram coletadas ao todo 14 amostras de sedimento na estação Mario Campos, gerando 742 determinações; 6 amostras na estação Ponte Nova do Paraopeba gerando 318 determinações e 4 amostras de sedimento na estação Ponte da Taquara, gerando 212 determinações, totalizando 24

Parceria:



amostras e 1272 determinações. Outras 318 determinações foram feitas nas 6 amostras de rejeito coletadas (Tabela 2).

Tabela 1: Localização e Data dos Pontos Coletados na Segunda Campanha

Levantamento Geoquímico do Rio Paraopeba - Campanha 02 11 a 22 de fevereiro de 2019						
Estação	Localidade	Distância da Barragem (km)	UTM_E	UTM_N	Altitude (m)	Data da Coleta
CCA020	Melo Franco	-15	591563	7766497	753	18/02/2019
<i>CCA017</i>	Brumadinho - Sítio da Lagoa	-10	588408	7768614	741	18/02/2019
JMA001	rejeito - Córrego Ferro-Carvão estrada	8	587872	7771302	751	18/02/2019
CCA016	Brumadinho - Inhotim	19	582315	7774175	734	20/02/2019
CCA015	Estação Hidrologia Mário Campos	22	583952	7782329	717	20/02/2019
CCA014	São Joaquim de Bicas	22	578099	7786613	713	20/02/2019
CCA013	Estação Hidrologia Ponte Nova do Paraopeba	42	572680	7794031	710	19/02/2019
<i>CCA001</i>	Vista Alegre - Extração de areia	59	565398	7803812	698	19/02/2019
<i>CCA002</i>	Florestal	61	559763	7814517	688	19/02/2019
CCA003	Fazenda Gurita dos Coqueiros	75	553050	7822084	982	19/02/2019
CCA004	Peixe Bravo	123	550316	7832258	675	15/02/2019
<i>CCA005</i>	Lajes	141	547735	7840330	670	15/02/2019
CCA006	Estação Hidrologia Ponte da Taquara	163	547307	7851906	673	13/02/2019
CCA007	Papagaios - Paraopeba	183	547514	7859818	657	14/02/2019
CCA008	Fazenda Santa Izabel	192	541108	7868371	650	14/02/2019
CCA009	Fazenda São José da Vereda	220	532505	7874732	657	14/02/2019
<i>CCA010</i>	Itogress - pivô 2	236	531871	7884576	641	15/02/2019
<i>CCA011</i>	Condomínio Encontro das Águas	258	531809	7894926	632	15/02/2019
CCA012	Represa da UHE Retiro Baixo	273	523062	7900716	613	16/02/2019
Pontos coletados na bacia do ribeirão Ferro Carvão						
JMS001	rejeito - Córrego Ferro-Carvão estrada	8	587872	7771302	751	18/02/2019
JMS002	rejeito - Córrego Ferro-Carvão - foz	9	587858	7770945	740	18/02/2019
JMS003	rejeito - Fazenda Santa Terezinha	4	589327	7772854	772	18/02/2019
JMS004	rejeito - Barragem	1	591853	7773713		25/02/2019
JMS005	rejeito - localidade Córrego do Feijão	1.5	592485	7773311		25/02/2019
JMS006	rejeito - Pontilhão do trem	2	590869	7772667		25/02/2019

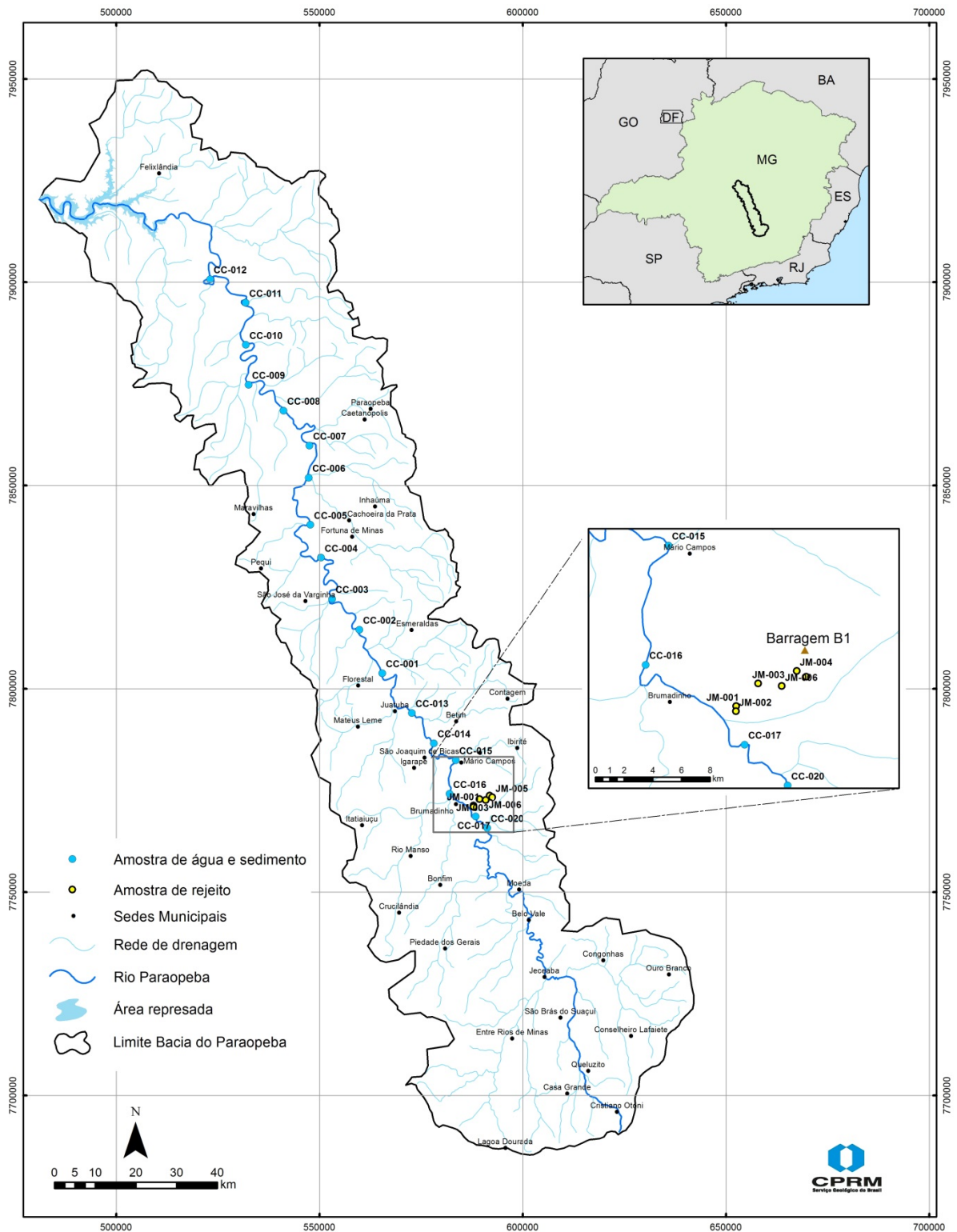
Obs.: em itálico estão as estações deslocadas com relação à primeira campanha

Durante a campanha, toda a bacia do rio Paraopeba foi afetada por intensas precipitações pluviométricas, tornando a turbidez muito alta ao longo do trecho amostrado, independentemente da presença ou não de rejeito.

Parceria:

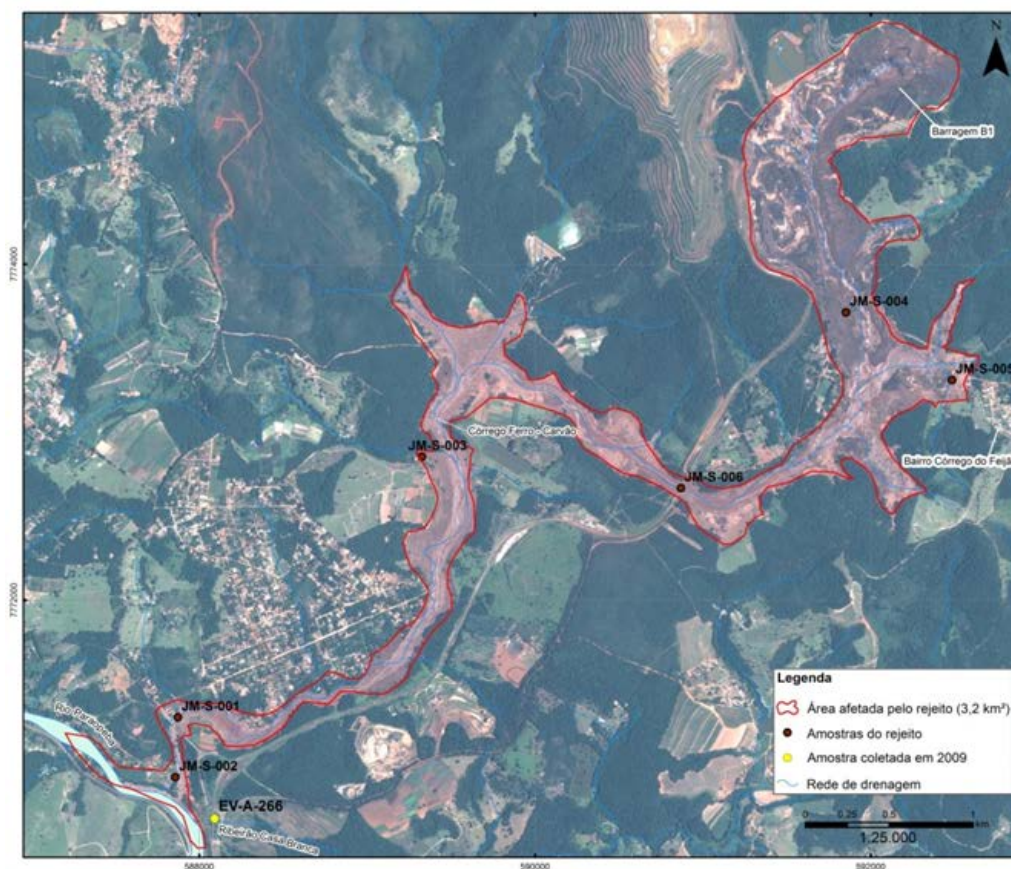


Figura 1: Mapa de Localização dos Pontos de Amostragem e monitoramento no rio Paraopeba



Parceria:

Figura 2: Mapa de Localização dos pontos amostrados (rejeito) na bacia do ribeirão Ferro Carvão



Obs.: no ponto JM-001 também foi coletada amostras de água do ribeirão.

Tabela 2: Estações e Determinações efetuadas na Campanha 2, Monitoramento e amostragem do rejeito.

Levantamento	Tipo	amostras	determinações	Total	
				Amostras	Determinações
Segunda Campanha	água	20*	680	40	1740
	sedimento	20*	1060		
Rejeito	água	1	34	7	352
	sedimento	6	318		

Monitoramento

Mario Campos	água	21	720	35	1462
	sedimento	14	742		
Ponte Nova	água	23	828	29	1146
	sedimento	6	318		
Ponte da Taquara	água	15	540	19	752
	sedimento	4	212		
Total Monitoramento	água	59	2088	83	3360
	sedimento	24	1272		
Total Geral	água	80	2802	130	5452
	sedimento	50	2650		

* incluindo duas duplicatas

Parceria:

5 Resultados

Os resultados serão apresentados primeiramente pelos obtidos nos rejeitos, depois na segunda campanha regular e por último os resultados nas campanhas de monitoramento. Gráficos e perfis da campanha regular são apresentados de montante (ponto CCA020) para jusante (ponto CCA012), com o indicativo de localização na base e de onde foi verificada a presença de rejeito e onde não foi. Gráficos e perfis para as amostras de monitoramento são apresentados pela variação diária de cada estação, sendo que Mario Campos apresentou rejeito em todas as amostras, Ponte Nova do Paraopeba apresentou rejeito após o dia 10 de fevereiro de 2019 e Ponte da Taquara não apresentou rejeito em nenhuma das amostras até o dia 10 de março de 2019. Gráficos, perfis, *boxplots* e outras representações gráficas estão separadas por parâmetros físico-químicos, ânions, cátions, valores de referência da CONAMA 454/2012, sedimentos em ppm e sedimentos em %, para possibilitar a comparação.

Rejeitos

O rejeito “seco” foi amostrado em seis pontos (JMS001 a JMS006), sendo descartados os primeiros 20 centímetros de perfuração do trado em inox. No ponto JMA001 foi amostrado rejeito sólido na margem direita do ribeirão Ferro Carvão (JMS001), e a água da calha com rejeito em suspensão (JMA001), percebendo-se que aproximadamente 50% do volume do recipiente coletor se preenchem com a deposição do material em suspensão em curto espaço de tempo.

Com relação à composição da fase líquida que atualmente drena o ribeirão Ferro Carvão, apenas o cátion Manganês dissolvido (0,42 mg/L) aparece em patamar superior ao CONAMA 357/2005 (0,1 mg/L). Todos os outros cátions dissolvidos ocorrem em baixas concentrações (Tabela 6). Está sendo providenciada uma reanálise do Fe nessa amostra.

A tabela 3 a seguir mostra o valor da mediana das seis amostras de rejeito, sendo que Arsênio, Cobre e Níquel apresentam valores acima do nível 1 da resolução CONAMA 454/2012 para sedimentos. Também estão relacionadas as medianas obtidas na campanha atual e as relativas ao trabalho efetuado em 2009 a 2011.

Parceria:



Tabela 3: Composição média do rejeito da Barragem I da Mina Córrego do Feijão, relacionada ao valor da mediana obtida atualmente, da mediana da bacia (2009/2011) e da legislação CONAMA 454 / 2012. Teores em ppm e em percentagem (pct).

Elemento	Mediana rejeito	Mediana Atual	Mediana Bacia	Conama 454 Nível 1	Elemento	Mediana rejeito	Mediana Atual	Mediana Bacia	Conama 454 Nível 1
Al_pct	1,365	0,515	1,3	-	Mn	6831	459	351	-
As	17	5	3	5,9	MnO_pct	1,63	0,459	0,351	-
Ba	159,5	31,5	51	-	Mo	1,675	0,43	0,35	-
Be	2	0,5	0,5	-	Nb	1,095	0,705	0,57	-
Bi	0,25	0,18	0,22	-	Ni	23,1	3,35	12,6	18
Ca_pct	0,04	0,03	0,04	-	P	936	219,5	214	-
Cd	0,405	0,03	0,03	0,6	Pb	25,85	8,7	15	35
Ce	22,055	69,255	53,67	-	Rb	3,05	5,35	13,6	-
Co	29,75	6,85	7,2	-	Sb	0,93	1,525	0,21	-
Cr	10,5	30,5	39	37,3	Sc	7,8	3,1	4,2	-
Cs	0,305	0,315	1,07	-	Sn	1,3	0,7	1,2	-
Cu	88,75	7,3	15,6	35,7	Sr	28,5	3,7	6	-
Fe_pct	-	17,38	3,11	-	Tb	0,42	0,52	-	-
Fe2O3_pct	68,45	17,38	3,11	-	Te	0,08	0,025	0,025	-
Ga	6,85	2,35	6,3	-	Th	3,85	26	8,5	-
Ge	1,1	0,05	0,05	-	Ti_pct	0,035	0,09	0,04	-
Hf	0,265	0,255	0,15	-	Tl	0,32	0,12	-	-
Hg	0,145	0,02	0,03	0,17	U	9,945	3,47	1,61	-
In	0,07	0,01	0,02	-	V	19	26	37	-
K_pct	0,03	0,05	0,08	-	W	1,1	0,25	0,2	-
La	6,45	33,45	22,5	-	Y	21,255	10,89	7,34	-
Li	15	2	7	-	Yb	2,75	0,6	-	-
Lu	0,445	0,085	-	-	Zn	71,5	23,5	29	123
Mg_pct	0,065	0,03	0,05	-	Zr	18,3	13,1	5,1	-

As correlações efetuadas com os elementos presentes no rejeito e os presentes nos sedimentos amostrados, de forma a encontrar um ou um conjunto de elementos identificadores do rejeito no sedimento, são apresentadas a seguir. Tal definição será muito útil em função da observação visual da turbidez não estar funcionando a contento para se dizer que o rejeito está presente ou não em determinada estação. A tabela 4 apresenta a variação dos teores mencionada acima, seguido de *boxplots* e gráficos comparativos dos elementos mais importantes na definição (Figuras 3 e 4). A classificação de sedimento “com rejeito” e “sem rejeito” foi fruto de observação no local da estação, possível porque o trabalho foi efetuado de jusante para montante.

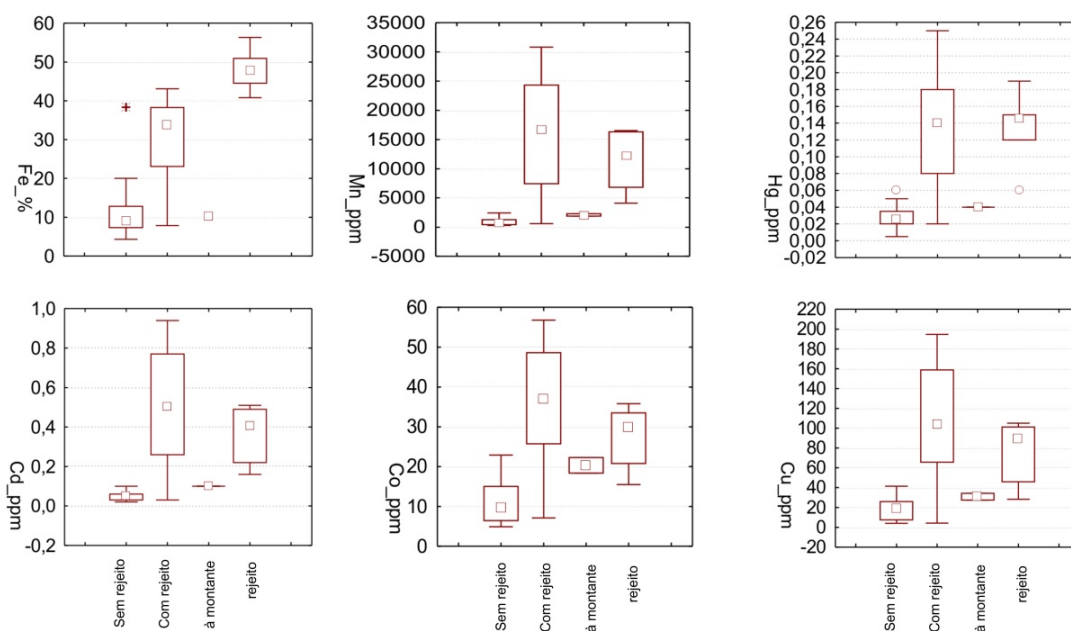
Parceria:



Tabela 4: teores médios do rejeito, sedimentos a montante, sedimentos com rejeito e sedimentos sem rejeito do rio Paraopeba nas duas campanhas e do monitoramento geoquímico de 01 de fevereiro a 10 de março de 2019

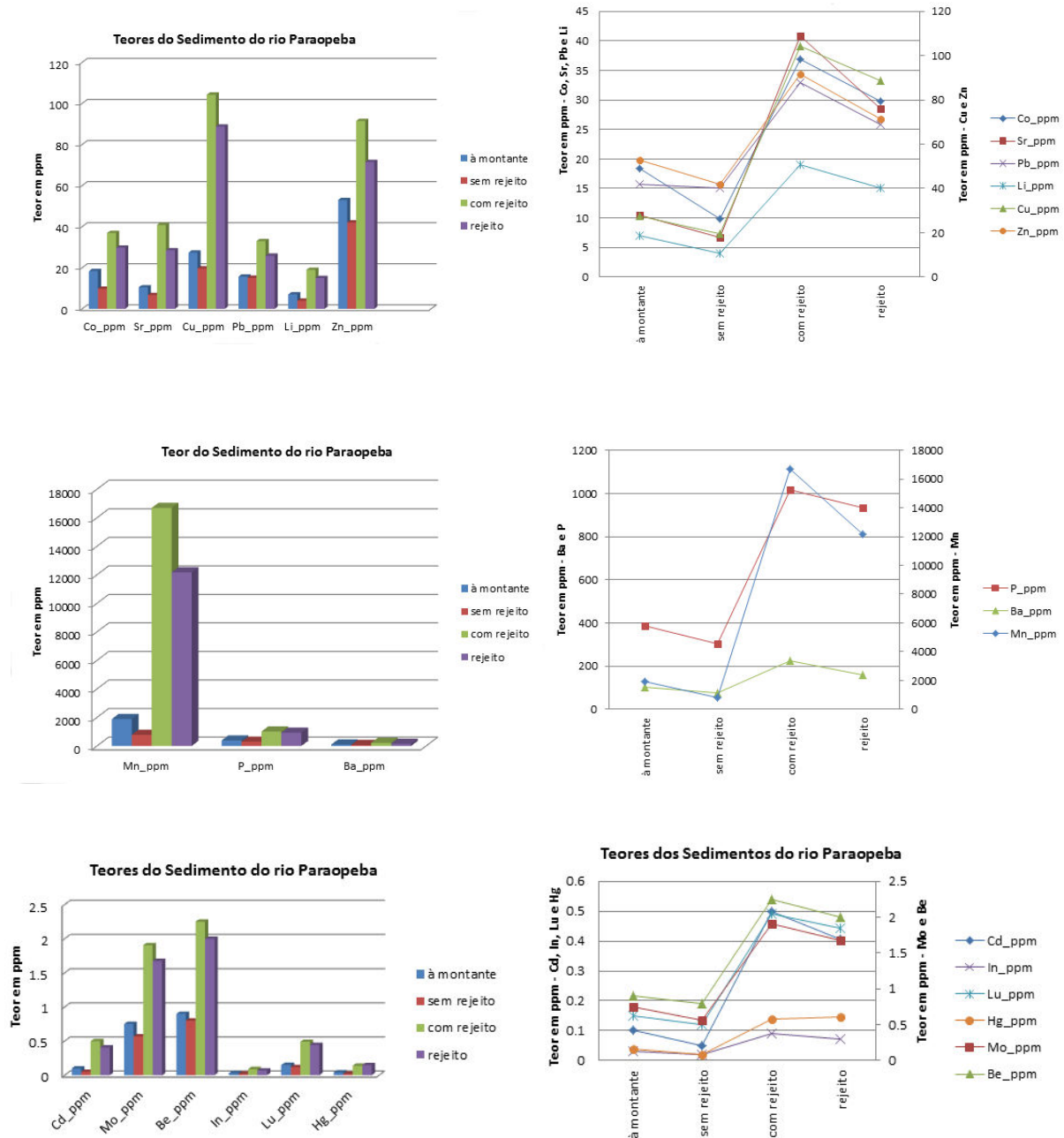
Mediana do Sedimento do rio Paraopeba - Março / 2019								
Sedimento	Mn_ppm	Co_ppm	Cd_ppm	Mo_ppm	Be_ppm	In_ppm	Sr_ppm	Lu_ppm
à montante	1896	18,4	0,1	0,75	0,9	0,03	10,5	0,15
sem rejeito	784	9,8	0,05	0,57	0,8	0,02	6,7	0,12
com rejeito	16700	36,9	0,5	1,905	2,25	0,09	40,85	0,49
só rejeito	12180,5	29,75	0,405	1,675	2	0,07	28,5	0,445
Sedimento	Cu_ppm	Pb_ppm	P_ppm	Li_ppm	Zn_ppm	Ba_ppm	Hg_ppm	Fe_%
à montante	27,4	15,7	385	7	53	101	0,04	15,09
sem rejeito	19,7	15,1	303	4	42	76	0,02	8,73
com rejeito	104,25	33	1015,5	19	91,5	224,5	0,14	34,755
só rejeito	88,75	25,85	936	15	71,5	159,5	0,145	47,915

Figura 3: Boxplots do rejeito, sedimentos a montante, sedimentos com rejeito e sedimentos sem rejeito do rio Paraopeba nas duas campanhas e do monitoramento geoquímico de 01 de fevereiro a 10 de março de 2019, de Ferro, Manganês, Mercúrio, Cádmiu, Cobalto e Cobre.



Parceria:

Figura 4: Gráficos do rejeito, sedimentos a montante, sedimentos com rejeito e sedimentos sem rejeito do rio Paraopeba nas duas campanhas e do monitoramento geoquímico de 01 de fevereiro a 10 de março de 2019, por elementos e por tipo.



Parceria:

Águas Superficiais – Campanha 2

Das 638 determinações efetuadas para as águas na segunda campanha, vinte e seis mostraram concentrações acima do limite legal estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005 para rios de Classe 1, utilizado pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM como padrão para verificação de valor de atenção. Há que se ressaltar que o rio Paraopeba é enquadrado como Classe 2. Dessas inconformidades, 14 são para o cátion Alumínio, 7 para o cátion Ferro, uma para Manganês na amostra do rejeito, uma para Chumbo e uma para Zinco encontradas em 12 das 18 estações amostradas.

Foram mensuradas as concentrações e detectados os seguintes cátions em pelo menos uma amostra: Alumínio, Bário, Cálcio, Ferro, Potássio, Magnésio, Manganês, Sódio, Chumbo, Silício, Estrôncio, Titânio, Vanádio e Zinco. Os demais cátions não foram detectados (Arsênio, Boro, Berílio, Cádmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Lítio, Molibdênio, Níquel, Antimônio, Selênio, Estanho e Mercúrio) (Tabela 6). Os ânions não foram analisados na campanha por não mostrar variação significativa no monitoramento. Não foram detectados valores para Hg solúvel nas amostras convencionais acidificadas e filtradas. A presença de Hg Total só foi verificada na amostra da calha do ribeirão Ferro Carvão, totalmente relacionada à fração em suspensão.

Os valores dos parâmetros físico-químicos mostraram comportamento pouco variável. Tanto pH quanto Oxigênio Dissolvido tiveram todas as medições dentro dos limites legais e não mostraram variação significativa ao longo de todo o curso do rio Paraopeba, com pH ao redor de 7 e OD variando de 6,7 a 10,5 mg/L. Já a Condutividade Elétrica mostrou um pico de 140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na amostra do ribeirão Ferro Carvão, com posterior diminuição para a metade desse valor nas amostras com presença de rejeito e retornando ao patamar de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ até a Represa Retiro Baixo.

Os cátions mostram um pico na amostra do ribeirão Ferro Carvão de Cálcio, Magnésio e Manganês, e outro na estação CC007 com altas concentrações de Cálcio e Zinco. No geral, ao contrário do que poderia se supor, há uma diminuição de cátions nas amostras já afetadas pelo rejeito e um aumento de patamar nas ainda não afetadas pelo rejeito.

Das 14 amostras com concentrações de Al acima do VMP da CONAMA 357/2005, duas estão à montante do desastre, o que indica que esses valores "elevados" não têm relação com o rejeito vazado da barragem. Mesmo porque o Al nem foi detectado nas águas do Ribeirão Ferro Carvão (amostra JMA001). De modo similar, das 7 amostras com concentrações de Fe acima do VMP, duas estão à montante do desastre, confirmando, como o Al, que esses valores não têm relação com o rejeito.

São apresentados a seguir, nas tabelas 5 e 6, os resultados dos parâmetros físico-químicos medidos no campo e as concentrações de cátions acima do limite de quantificação. Gráficos representando a variação da concentração do elemento nas estações, com o indicativo de sua posição ao longo do rio são apresentados a seguir (Figuras 5 a 7). Os resultados em vermelho significam concentrações que estão acima dos limites legais para o elemento.

Parceria:



Todas as tabelas e gráficos são apresentados de montante para jusante, iniciando-se com a amostra situada mais à montante da foz do Ribeirão Ferro Carvão (CCA020), terminando com a que está mais afastada do evento e na entrada da Represa Retiro Baixo (CCA012). Foram incluídas informações como a distância da barragem rompida até a estação amostrada e toponímias de localidades e estradas para melhor visualização da localização da estação.

Tabela 5: Resultados dos Parâmetros Físico-químicos medidos em campo

Rio Paraopeba - Campanha 2 de 13 a 22 de fevereiro de 2019									
Estação	Localidade	Distância da Barragem (km)	Data da Coleta	pH	OD (mg/L)	Condutividade Elétrica (µS/cm)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	Passagem da Pluma
CCA020	Melo Franco	-15	18/02/2019	7.02	10.21	75.19	23.1		não
CCA017	Brumadinho - Sítio da Lagoa	-10	18/02/2019	7.46	10.26	75.7	22.8	284	não
JMA001	rejeito - Córrego Ferro-Carvão estrada	8	18/02/2019	6.5	8.06	140.4	27.3		sim
CCA016	Brumadinho - Inhotim	19	20/02/2019	6.9	9.15	58.3	26.9		sim
CCA015	Estação Hidrologia Mário Campos	22	20/02/2019	6.87	9.73	59.1	25	1032	sim
CCA014	São Joaquim de Bicas	22	20/02/2019	7.19	9.28	68.76	25		sim
CCA013	Estação Hidrologia Ponte Nova do Paraopeba	42	19/02/2019	7.20	7	84.00	24.5	3429	sim
CCA001	Vista Alegre - Extração de areia	59	19/02/2019	6.98	9.83	88.14	24.9		sim
CCA002	Florestal	61	19/02/2019	6.79	7.93	111.5	25.4		sim
CCA003	Fazenda Gurita dos Coqueiros	75	19/02/2019	6.94	9.23	83.12	23.9		sim
CCA004	Peixe Bravo	123	15/02/2019	7.18	6.48	115.2	27.4		não
CCA005	Lajes	141	15/02/2019	7.42	7.87	95.28	27.9		não
CCA006	Estação Hidrologia Ponte da Taquara	163	13/02/2019	7.06	8.01	107.6	27.4	104	não
CCA007	Papagaios - Paraopeba	183	14/02/2019	7.14	7.83	100.7	26.5		não
CCA008	Fazenda Santa Izabel	192	14/02/2019	7.21	7.6	102.5	27.4		não
CCA009	Fazenda São José da Vereda	220	14/02/2019	7.34	7.98	105.3	28.3		não
CCA010	Itograss - pivô 2	236	15/02/2019	7.46	8.3	110	26.2		não
CCA011	Condomínio Encontro das Águas	258	15/02/2019	7.36	7.66	104.4	26.4		não
CCA012	Represa da UHE Retiro Baixo	273	16/02/2019	7.22	6.76	103.2	27.5		não

Parceria:



Tabela 6: Resultados de cátions

Levantamento Geoquímico do Rio Paraopeba - Campanha 02 - de 13 da 22 de fevereiro de 2019						Elementos	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Fe (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Mn (mg/L)	Na (mg/L)	Pb (mg/L)	Si (mg/L)	Sr (mg/L)	Ti (mg/L)	V (mg/L)	Zn (mg/L)
Estação	Localidade	Distância da Barragem (km)	Data da Coleta	Turbidez (NTU)	Passagem da Pluma	Limite de Quantificação	<0.003	<0.01	<0.01	<0.002	<0.005	<0.01	<0.01	<0.01	<0.002	<0.002	<0.01	<0.005	<0.005	<0.01
CCA020	Melo Franco	-15	18/02/2019		não	Concentrações em mg/L - CÁTIONS	0.1408	0.0198	4.2265	0.4234	2.32	1.4752	0.0231	4.7881	<LQ	5.492	0.0452	<LQ	<LQ	<LQ
CCA017	Brumadinho - Sítio da Lagoa	-10	18/02/2019	284	não		0.1792	0.0219	3.9164	0.4528	2.323	1.4903	0.0558	4.7270	<LQ	5.648	0.0433	<LQ	<LQ	<LQ
JMA001	rejeito - Córrego Ferro-Carvão estrada	8	18/02/2019		sim		ND	<LQ	11.167	<LQ	2.233	3.7098	0.4166	1.7625	ND	1.252	0.0387	ND	0.005	ND
CCA016	Brumadinho - Inhotim	19	20/02/2019		sim		0.0774	<LQ	3.0054	0.1953	2.045	1.0851	0.0802	3.6383	<LQ	5.062	0.0312	<LQ	<LQ	<LQ
CCA015	Estação Hidrologia Mário Campos	22	20/02/2019	1032	sim		0.0832	<LQ	2.9499	0.2151	1.982	1.0581	0.0354	3.4657	<LQ	5.020	0.0314	<LQ	<LQ	<LQ
CCA014	São Joaquim de Bicas	22	20/02/2019		sim		0.1702	<LQ	3.7147	0.3635	2.228	1.1114	0.0419	4.5903	<LQ	5.056	0.0349	<LQ	<LQ	<LQ
CCA013	Estação Hidrologia Ponte Nova do Paraopeba	42	19/02/2019	3429	sim		0.0697	0.0101	5.1441	0.0953	2.513	1.503	0.0463	5.4406	<LQ	5.046	0.0466	<LQ	<LQ	<LQ
CCA001	Vista Alegre - Extração de areia	59	19/02/2019		sim		0.191	<LQ	ND	0.3231	ND	0.9557	0.0359	ND	<LQ	ND	0.0344	<LQ	<LQ	<LQ
CCA002	Florestal	61	19/02/2019		sim		0.4788	<LQ	ND	0.5117	ND	0.6307	0.0342	ND	<LQ	ND	0.0355	0.0109	ND	<LQ
CCA003	Fazenda Gurita dos Coqueiros	75	19/02/2019		sim		0.1391	<LQ	4.4396	0.2823	2.713	0.686	0.0225	9.8318	<LQ	5.255	0.0303	<LQ	<LQ	0.0120
CCA004	Peixe Bravo	123	15/02/2019		não		0.2364	0.0252	7.0046	0.2959	3.054	1.6153	0.0109	7.4470	<LQ	5.019	0.0633	<LQ	<LQ	<LQ
CCA005	Lajes	141	15/02/2019		não		0.1476	0.0197	5.547	0.4249	2.865	1.7843	0.0207	7.4735	<LQ	6.590	0.0503	<LQ	<LQ	<LQ
CCA006	Estação Hidrologia Ponte da Taquara	163	13/02/2019	104	não		0.1113	0.0294	9.5488	0.3424	3.131	2.2765	0.021	6.9402	ND	7.297	0.0583	ND	0.006	0.0565
CCA007	Papagaios - Paraopeba	183	14/02/2019		não	0.1007	0.0518	11.747	0.2221	4.087	2.0668	0.0247	7.0542	0.0176	6.365	0.0634	<LQ	<LQ	0.8935	
CCA008	Fazenda Santa Izabel	192	14/02/2019		não	0.1028	0.0317	6.8277	0.1641	3.154	2.0622	<LQ	7.6696	<LQ	6.477	0.0557	<LQ	<LQ	<LQ	
CCA009	Fazenda São José da Vereda	220	14/02/2019		não	0.1568	0.0312	6.8836	0.2201	3.186	2.0488	0.0149	7.9172	<LQ	6.708	0.0553	<LQ	<LQ	<LQ	
CCA010	Itograss - pivô 2	236	15/02/2019		não	0.0636	0.0305	6.8723	0.1981	3.131	2.0822	0.0192	7.4438	<LQ	6.337	0.0581	<LQ	<LQ	<LQ	
CCA011	Condomínio Encontro das Águas	258	15/02/2019		não	0.1347	0.0297	6.9897	0.2171	3.018	1.9789	0.0167	7.4910	<LQ	6.260	0.0582	<LQ	<LQ	<LQ	
CCA012	Represa da UHE Retiro Baixo	273	16/02/2019		não	0.2761	0.0293	6.7574	0.1696	3.018	1.8822	0.0122	7.5197	<LQ	5.862	0.0504	<LQ	<LQ	<LQ	
		Valores acima do Limite de detecção					18	12	17	18	17	19	18	17	1	17	19	1	2	3
		Valores acima do Limite de detecção %					95%	63%	89%	95%	89%	100%	95%	89%	5%	89%	100%	5%	11%	16%
		Valor Máximo Legal Permitido					0.100	0.700		0.300			0.100	200	0.010				0.100	0.180
		Valor Máximo Encontrado					0.479	0.052	11.747	0.512	4.087	3.710	0.417	9.832	0.018	7.297	0.063	0.011	0.006	0.894
		Valor Médio					0.159	0.028	6.279	0.284	2.765	1.658	0.052	6.188	0.018	5.573	0.047	0.011	0.006	0.321
		Mediana					0.140	0.029	6.757	0.252	2.865	1.615	0.024	7.054	0.018	5.648	0.047	0.011	0.006	0.057

Parceria:



Figura 5: Gráficos dos parâmetros físico-químicos medidos em campo

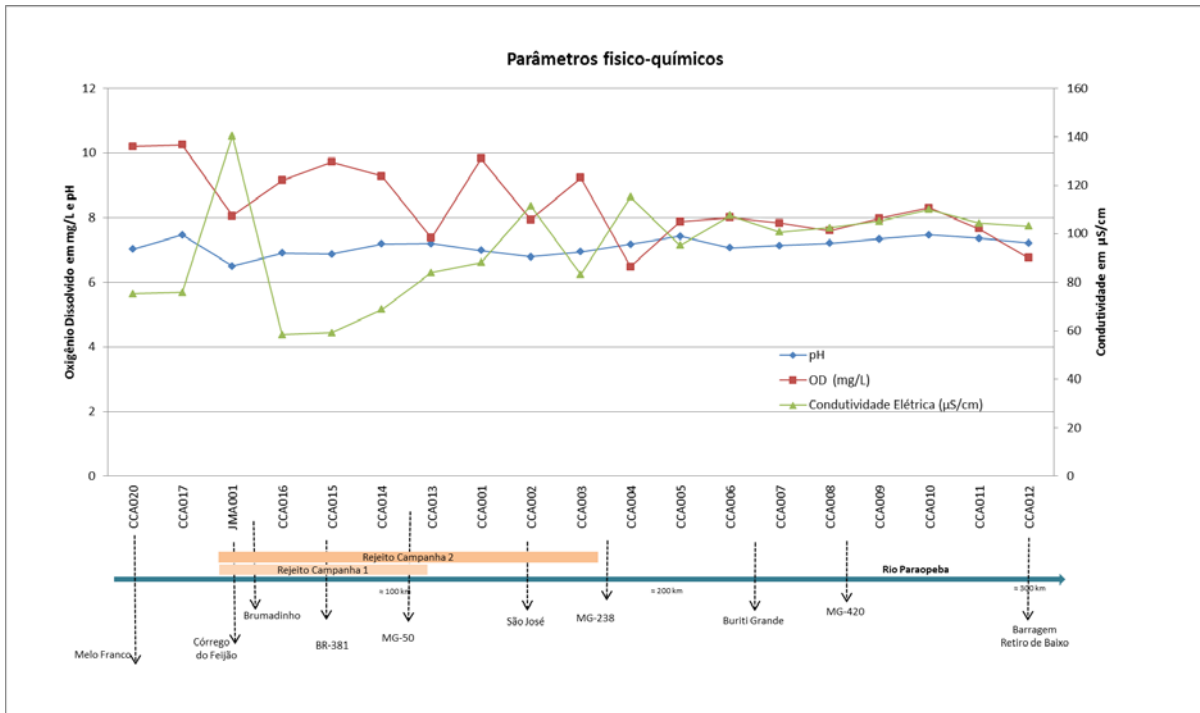


Figura 6: Gráficos dos cátions maiores

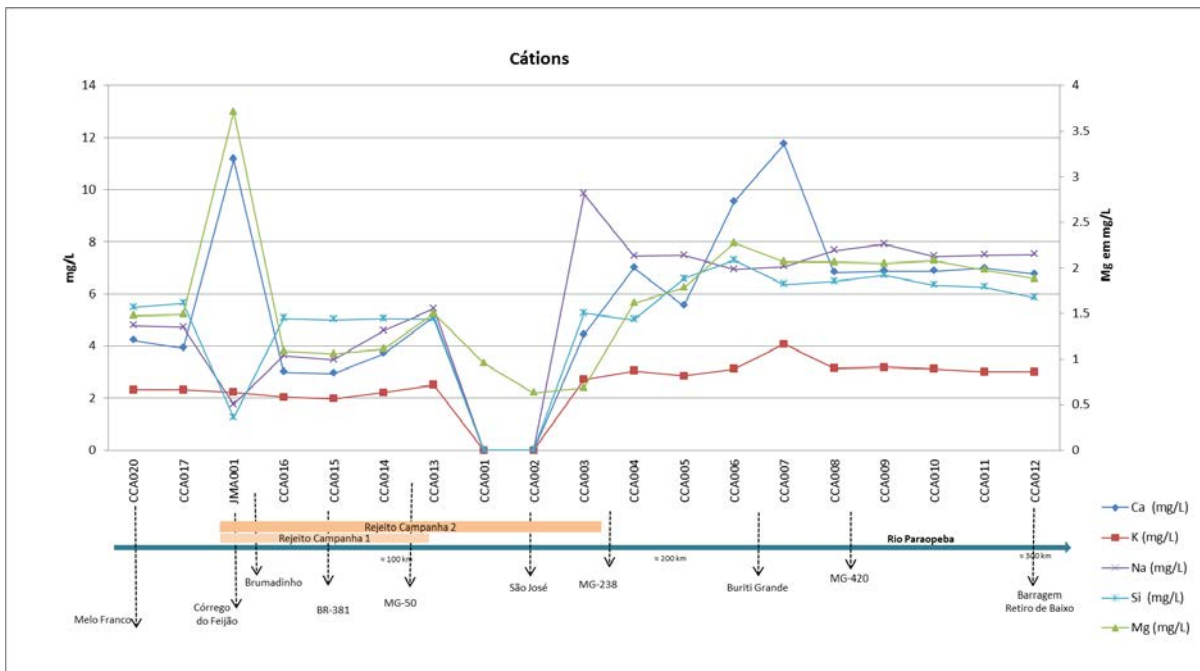
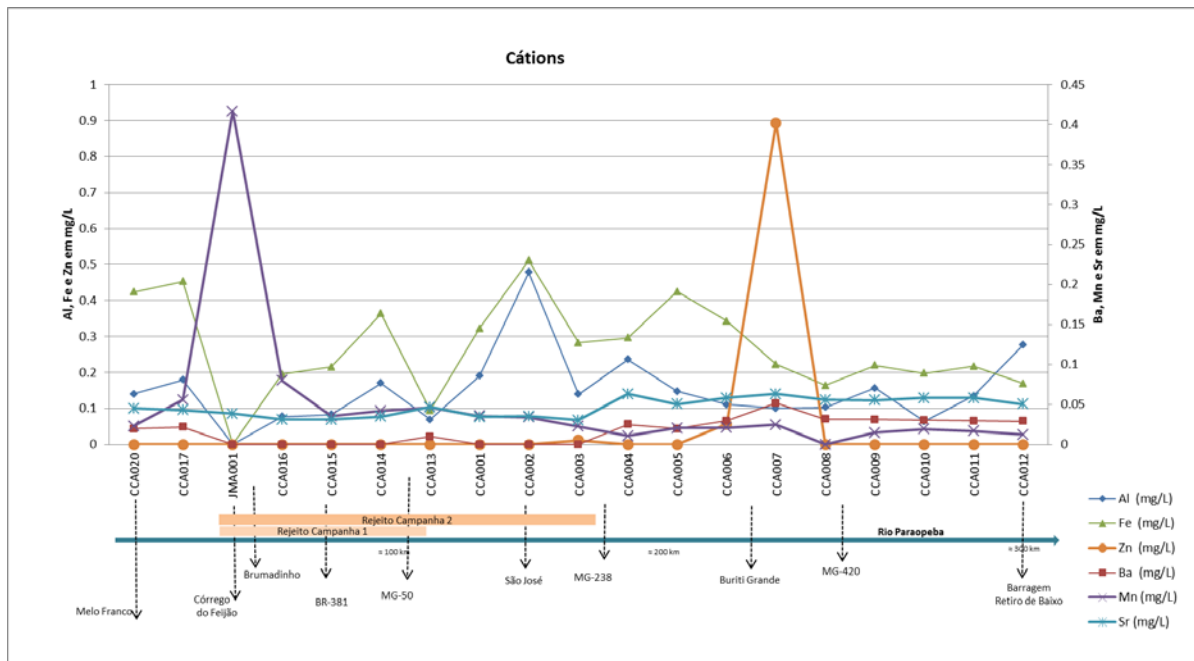


Figura 7: Gráficos dos cátions Al, Fe, Zn, Ba, Mn e Sr



Seguem como anexos todos os gráficos individuais dos elementos detectados.

Sedimentos de fundo – Campanha 2

Das 1060 determinações efetuadas nas 18 amostras de sedimento de fundo coletadas, 54 estão acima dos valores de nível 1 definidos pela resolução CONAMA 454/2012, 18 para Arsênio, 2 para Cádmiio, 15 de Cromo, 11 de Cobre, 3 de Mercúrio, 3 de Chumbo e 2 de Zinco. No entanto, quando consideramos os parâmetros para Água Doce do Nível 2 da citada resolução, apenas 10 destes resultados encontram-se violando o patamar, seis para Arsênio, um para Cromo e três para Níquel.

Os gráficos apresentados a seguir (Figura 8 a 17) estão integrados também aos resultados de água, e representando as campanhas 1 e 2. O gráfico do Manganês (Figura 8) é um bom exemplo, mostrando altos valores no rejeito, mantendo os altos valores no sedimento com rejeito tanto na primeira campanha quanto na segunda, e diminuindo quando o rejeito não mais está presente no sedimento. O comportamento da água reflete o do sedimento. Nenhum dos parâmetros ultrapassa os níveis legais, apenas a água no ribeirão Ferro Carvão.

Figura 8: Gráficos das Campanhas 1 e 2 para águas e sedimentos do Manganês

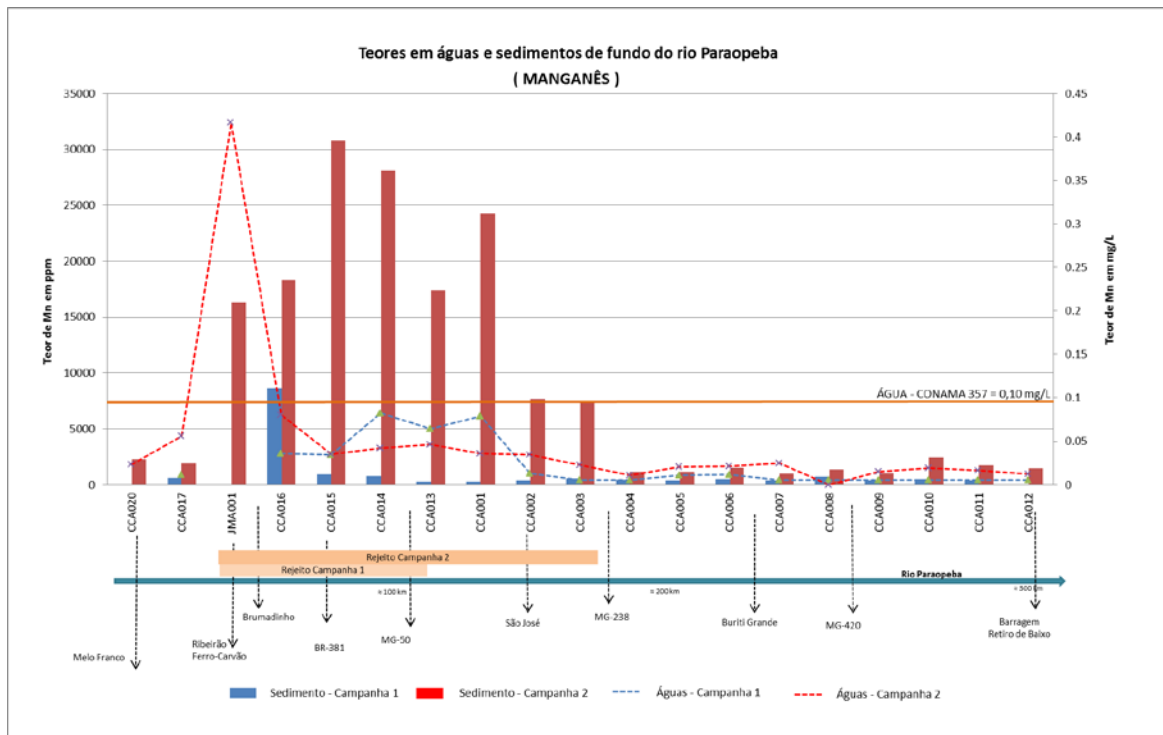


Figura 9: Gráficos das Campanhas 1 e 2 para águas e sedimentos do Mercúrio

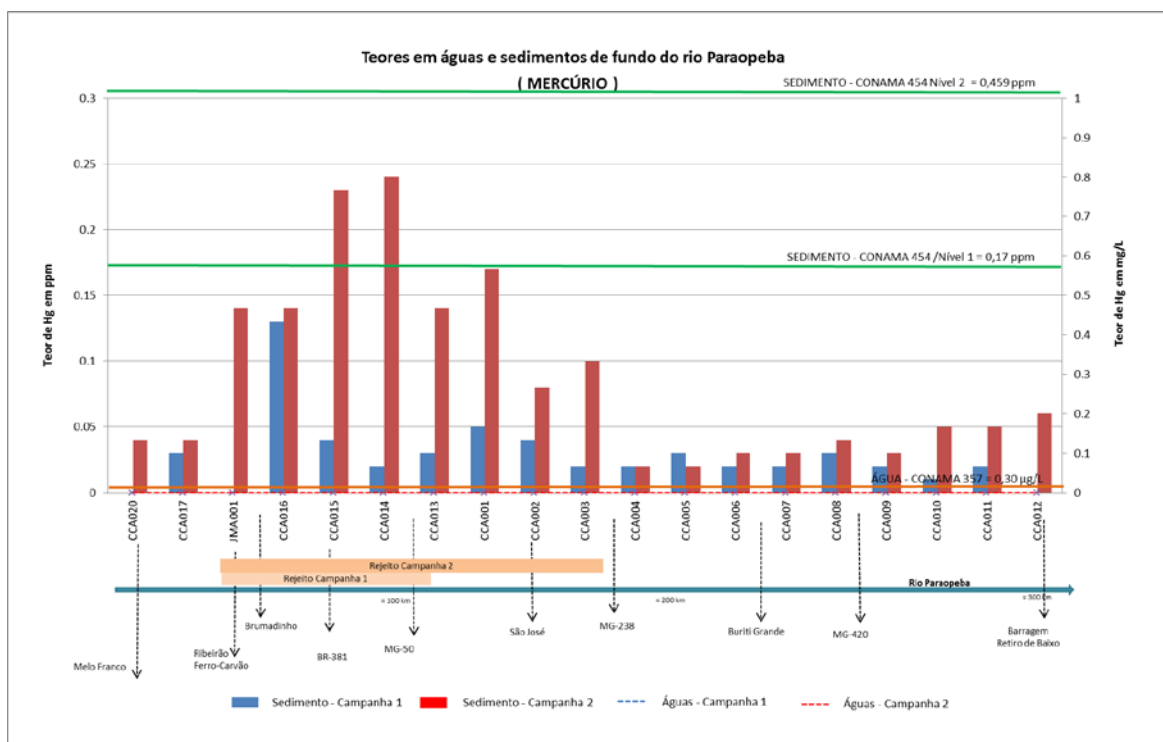
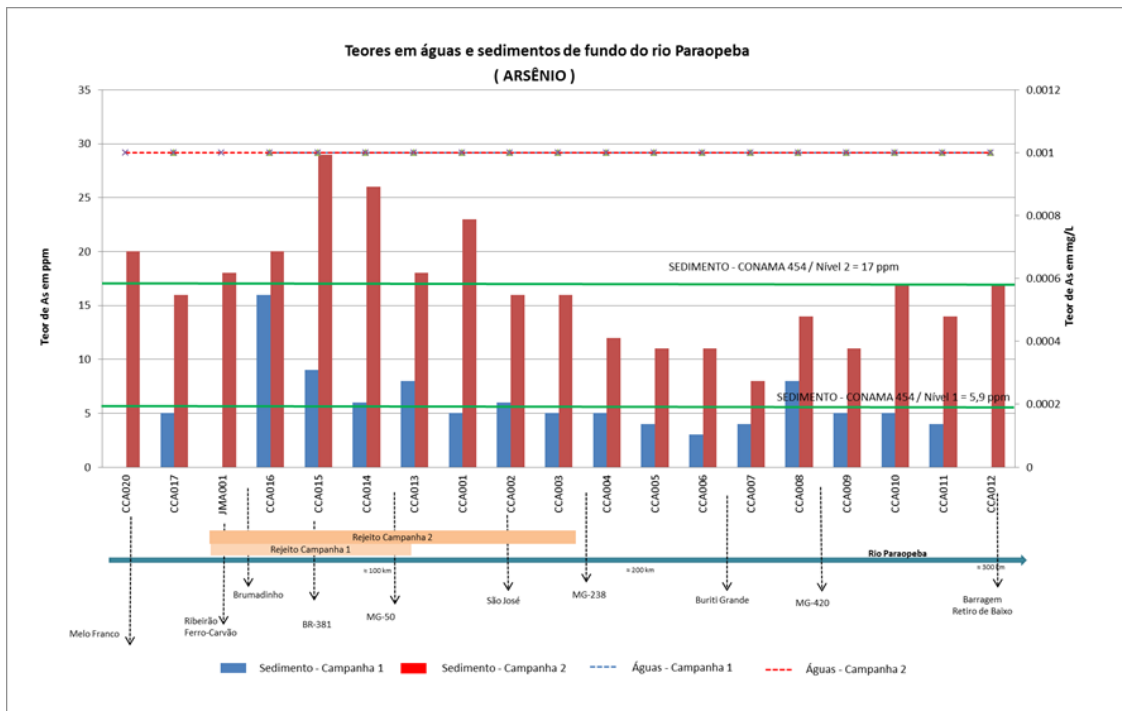


Figura 10: Gráficos das Campanhas 1 e 2 para águas e sedimentos do Arsênio



O Arsênio, por possuir teores elevados à montante e ao longo de toda a bacia não é um elemento ideal para identificar a presença de rejeito, apesar de proporcionar um aumento do teor.

Figura 11: Gráficos das Campanhas 1 e 2 para águas e sedimentos do Cádmio

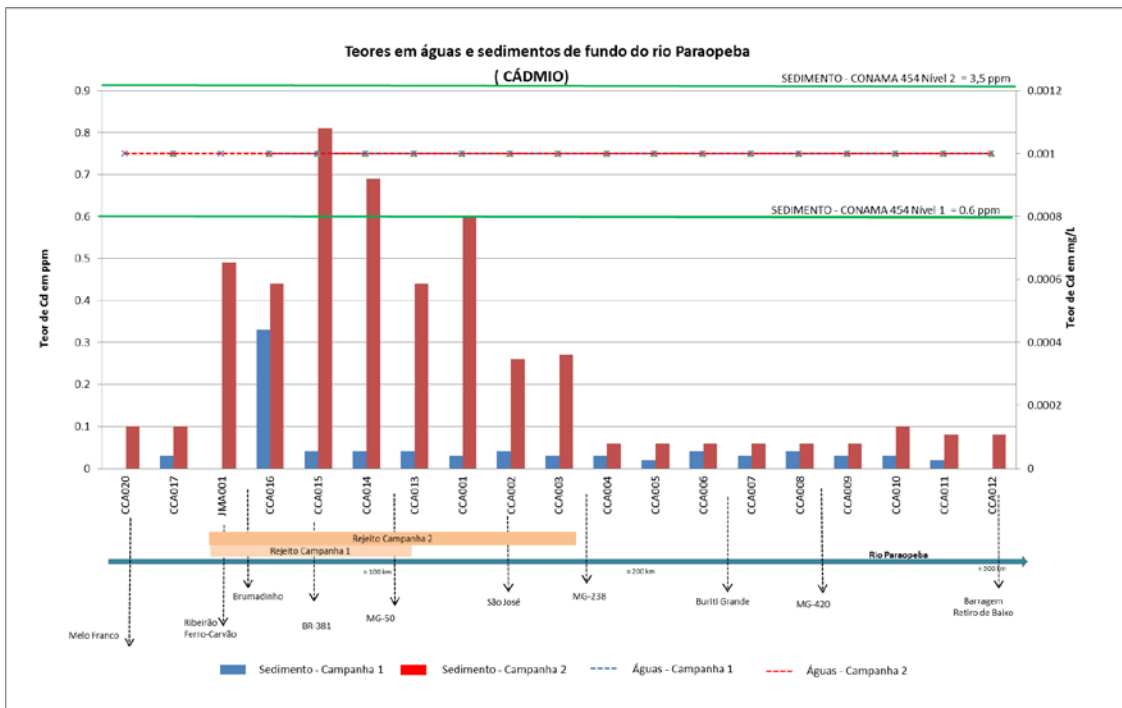
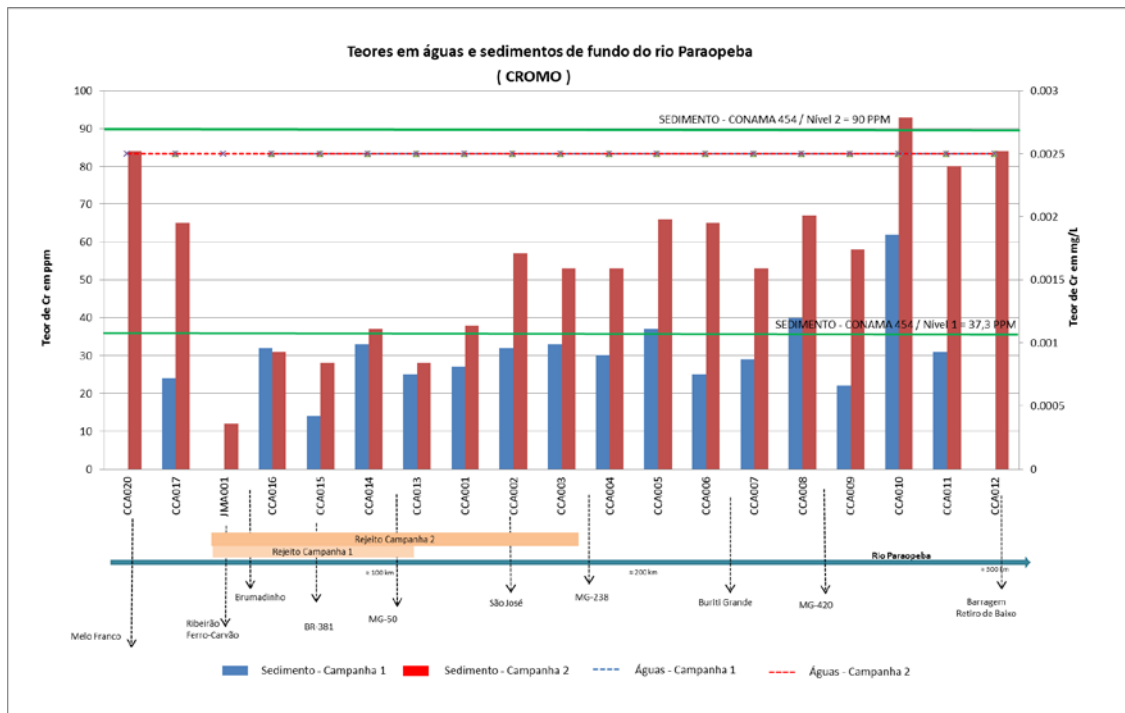


Figura 12: Gráficos das Campanhas 1 e 2 para águas e sedimentos do Cromo



As violações ao patamar legal do cromo ocorrem à montante e na altura do ponto CCA010 ao ponto CCA012 e não estão relacionadas ao rejeito mas a outro tipo de anomalia ou poluição. Já as do Cobre, abaixo, estão intimamente relacionadas ao rejeito.

Figura 13: Gráficos das Campanhas 1 e 2 para águas e sedimentos do Cobre

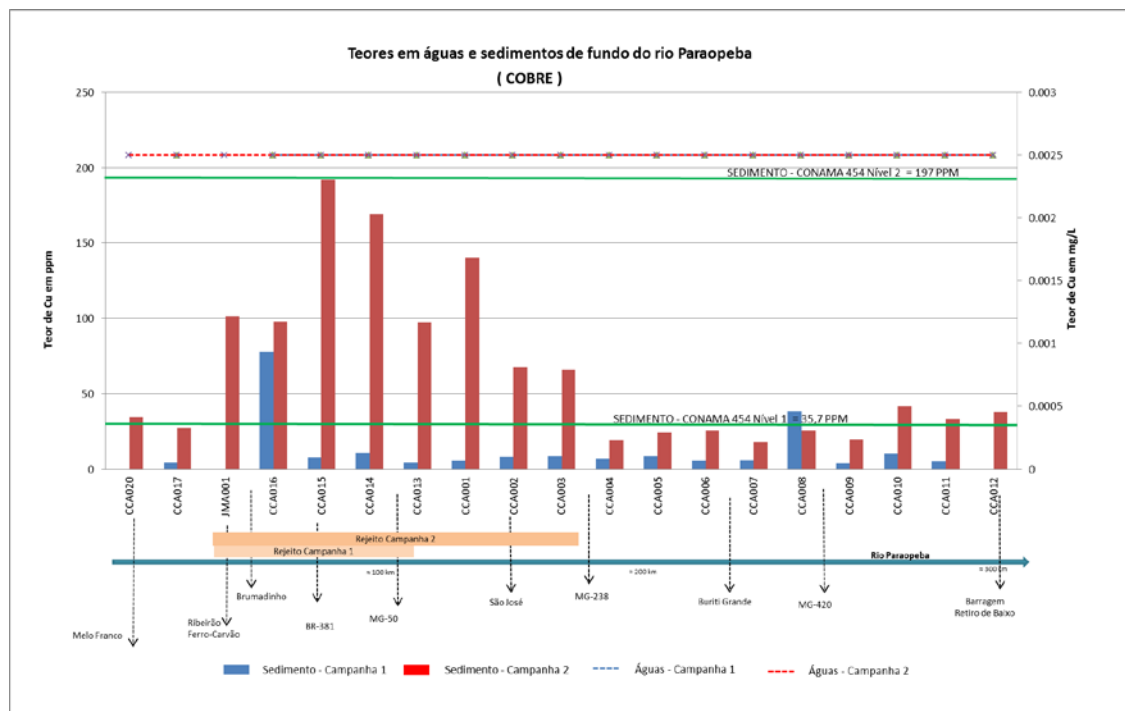
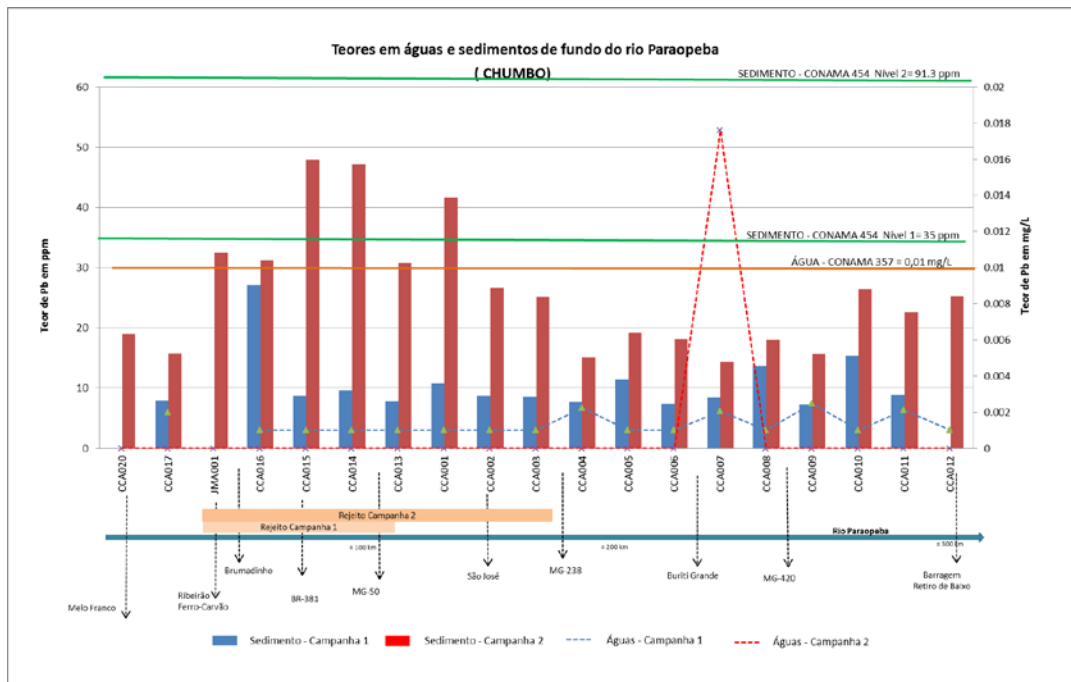


Figura 14: Gráficos das Campanhas 1 e 2 para águas e sedimentos do Chumbo



As violações dos teores de Chumbo quanto ao sedimento (valores acima do N1) estão diretamente relacionadas ao rejeito, mas não alcançam o nível 2. Já a violação da água, não está relacionada ao rejeito. O mesmo acontece com o Zinco.

Figura 15: Gráficos das Campanhas 1 e 2 para águas e sedimentos do Zinco

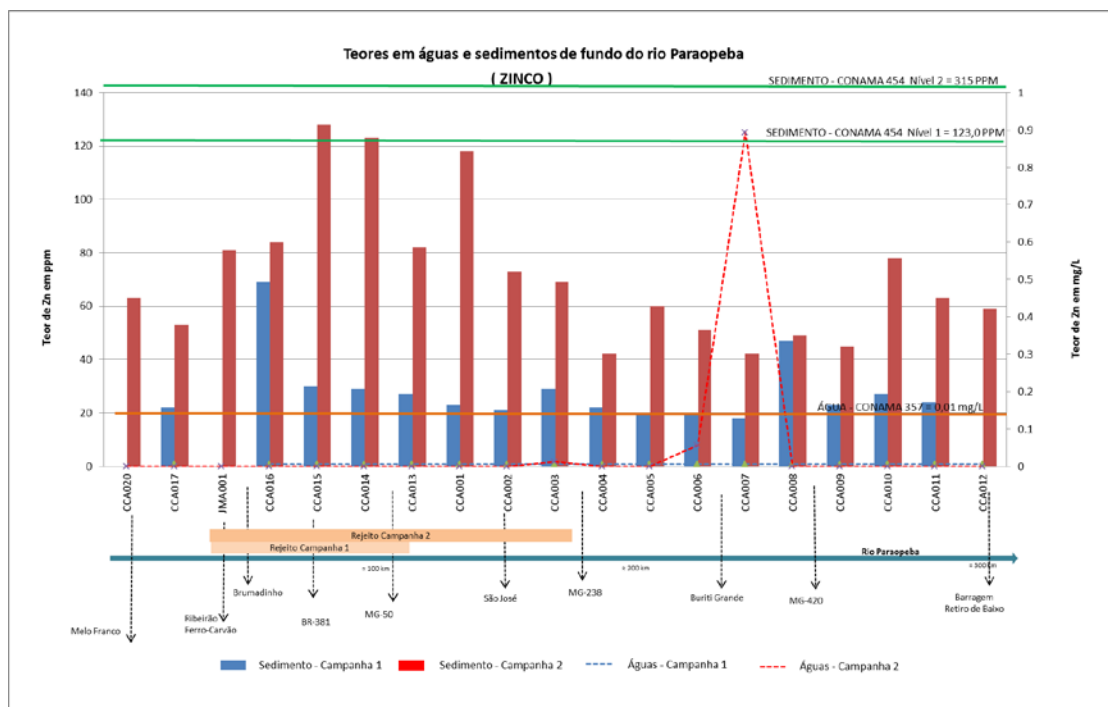


Figura 16: Gráficos das Campanhas 1 e 2 para águas e sedimentos do Níquel

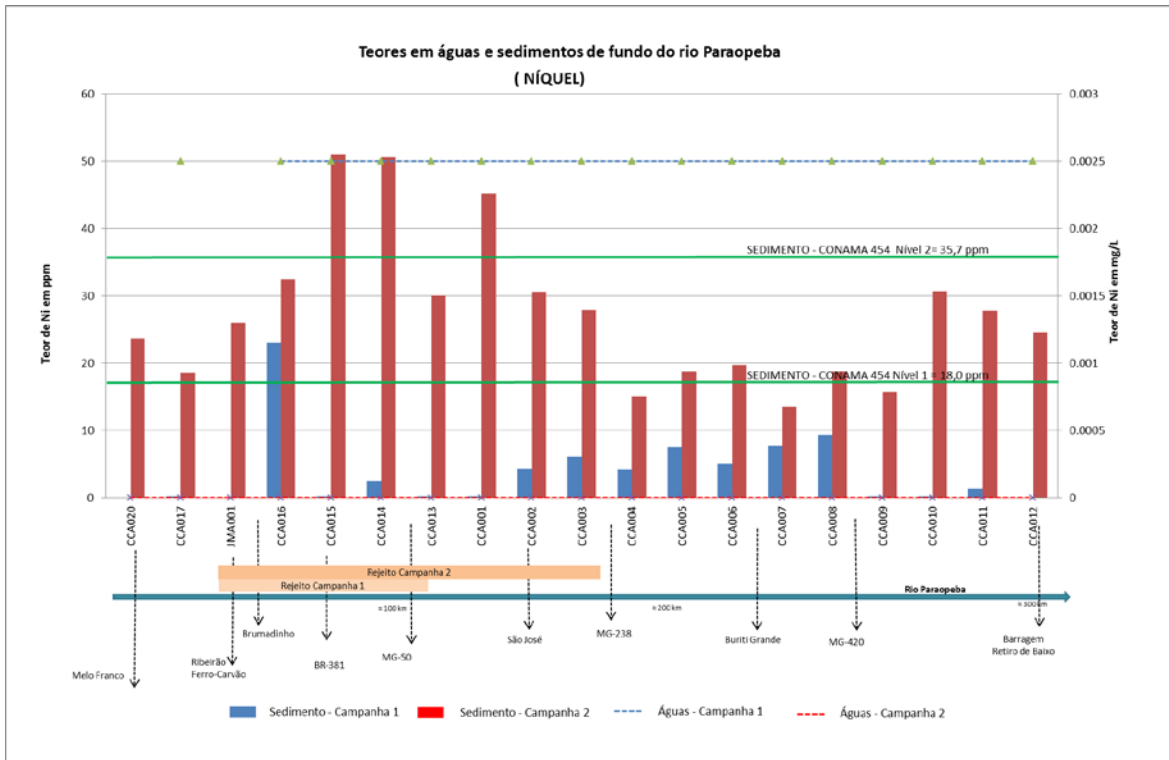
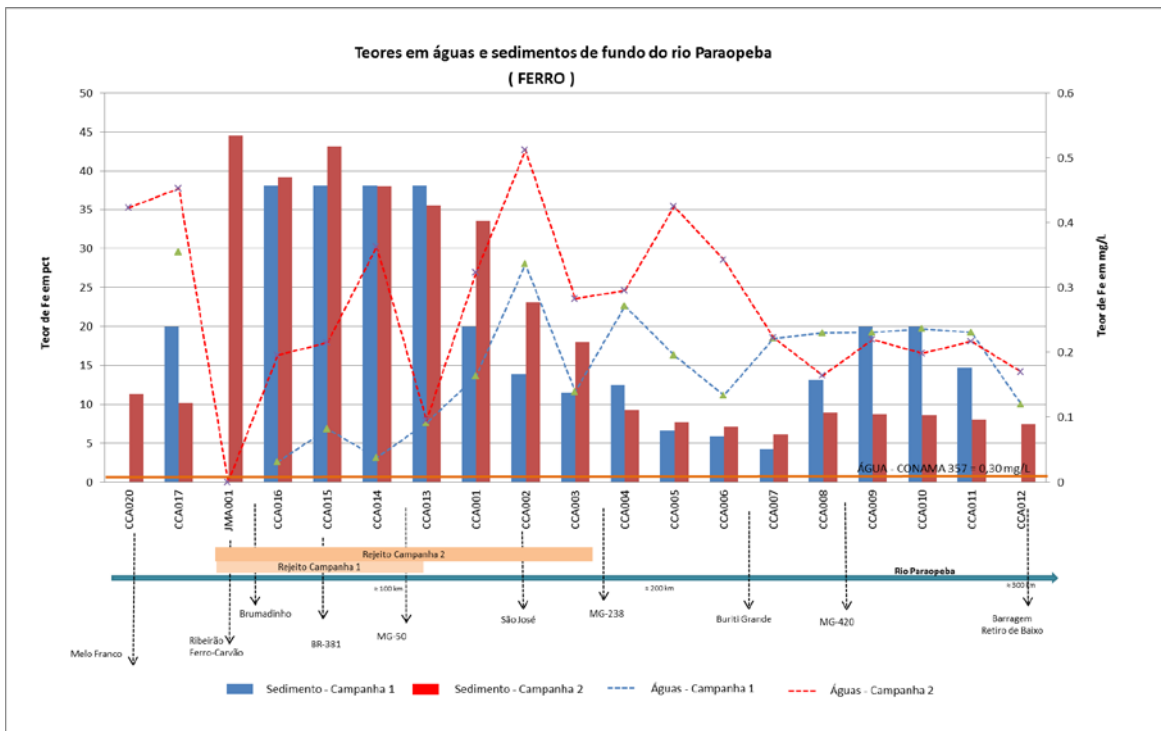


Figura 17: Gráficos das Campanhas 1 e 2 para águas e sedimentos do Ferro



Água de Superfície – Monitoramento

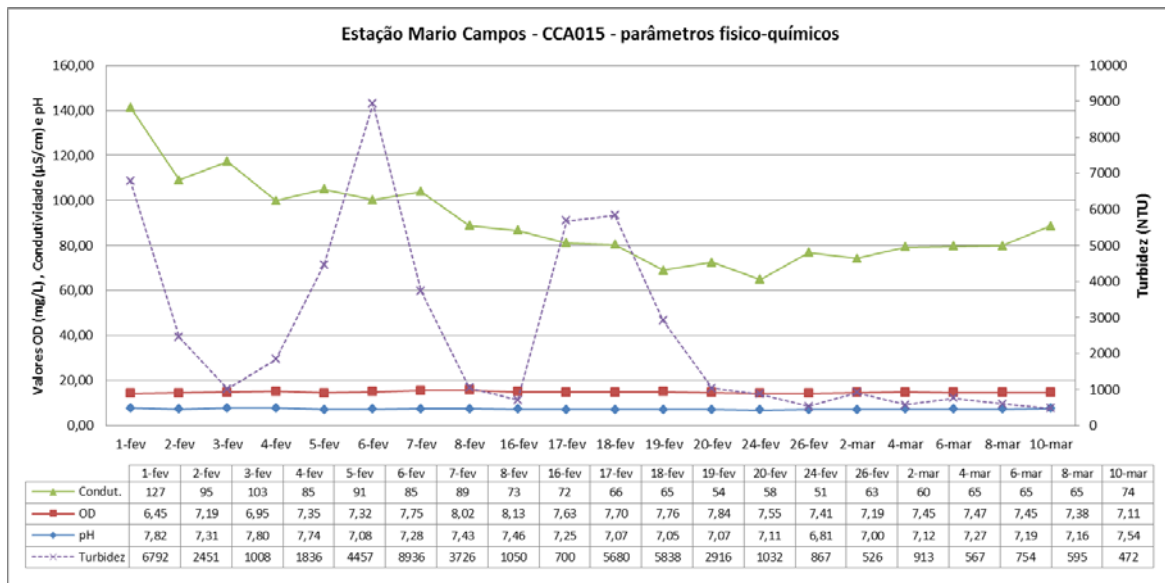
Das 2088 determinações efetuadas para as 59 amostras de águas coletadas no monitoramento, 19 mostraram concentrações acima do limite legal estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005 para rios de Classe 1. Dessas inconformidades, dez são para o cátion Alumínio, uma para Bário, quatro para o cátion Ferro, dois para Manganês, uma para Chumbo e uma para Zinco. Todos os elementos encontrados na Campanha 2, também foram detectados no monitoramento, com exceção do Bário, que só apareceu no monitoramento. Estes teores de Bário e de Zinco estão sendo reavaliados por terem aparecido na amostra “branca”, indicando possível contaminação da água deionizada ou do ácido utilizado na estação Ponte da Taquara (CCA006).

Foram mensuradas as concentrações e detectados os seguintes cátions em pelo menos uma amostra: Alumínio, Bário, Cálcio, Ferro, Potássio, Magnésio, Manganês, Sódio, Chumbo, Silício, Estrôncio, Titânio, Vanádio e Zinco. Os demais cátions não foram detectados (Arsênio, Boro, Berílio, Cádmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Lítio, Molibdênio, Níquel, Antimônio, Selênio, Estanho e Mercúrio). Nenhum ânion apresentou valores acima dos parâmetros legais nem variação significativa no monitoramento. Também não foram detectados valores para Hg solúvel ou Hg Total.

As três estações mostraram as seguintes características: a mais próxima do desastre, Mario Campos, tem todas as amostras de água e sedimentos com influência do rejeito; a intermediária, Ponte Nova do Paraopeba, passou a apresentar influência do rejeito a partir do dia 10 de fevereiro de 2019 e a mais distante, Ponte da Taquara, tem todas as amostras sem influência do rejeito.

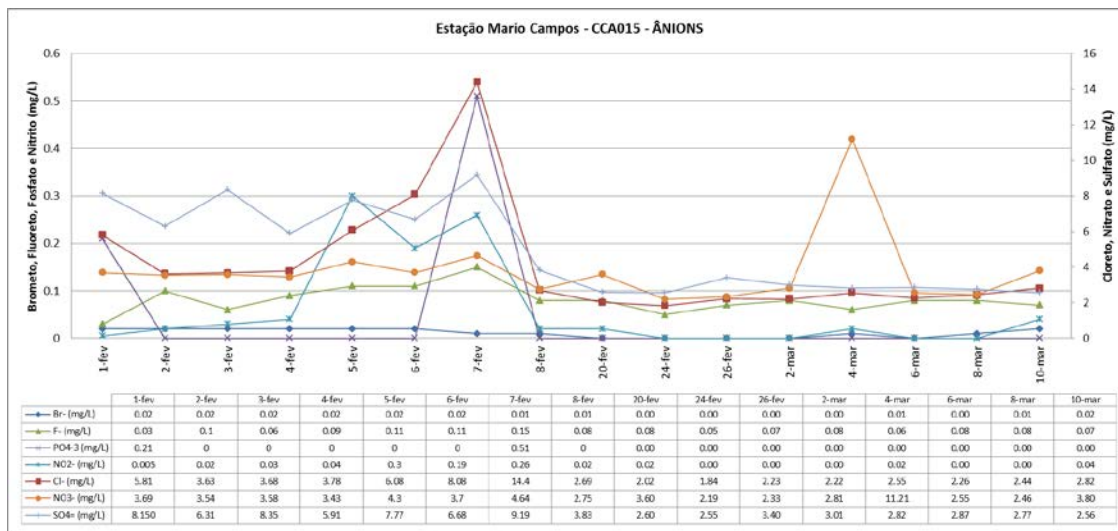
A estação Mario Campos (CCA015) sofre a incidência de rejeito desde o início do monitoramento. Nos dias de maior pluviosidade há aumento da turbidez em função da maior velocidade e capacidade de transporte de sedimentos. No entanto, os gráficos de parâmetros físico-químicos não apresentam variações nas medidas de pH, Oxigênio Dissolvido e Condutividade Elétrica.

Figura 18: Estação Mário Campos – Parâmetros Físico-químicos e turbidez medidos em campo



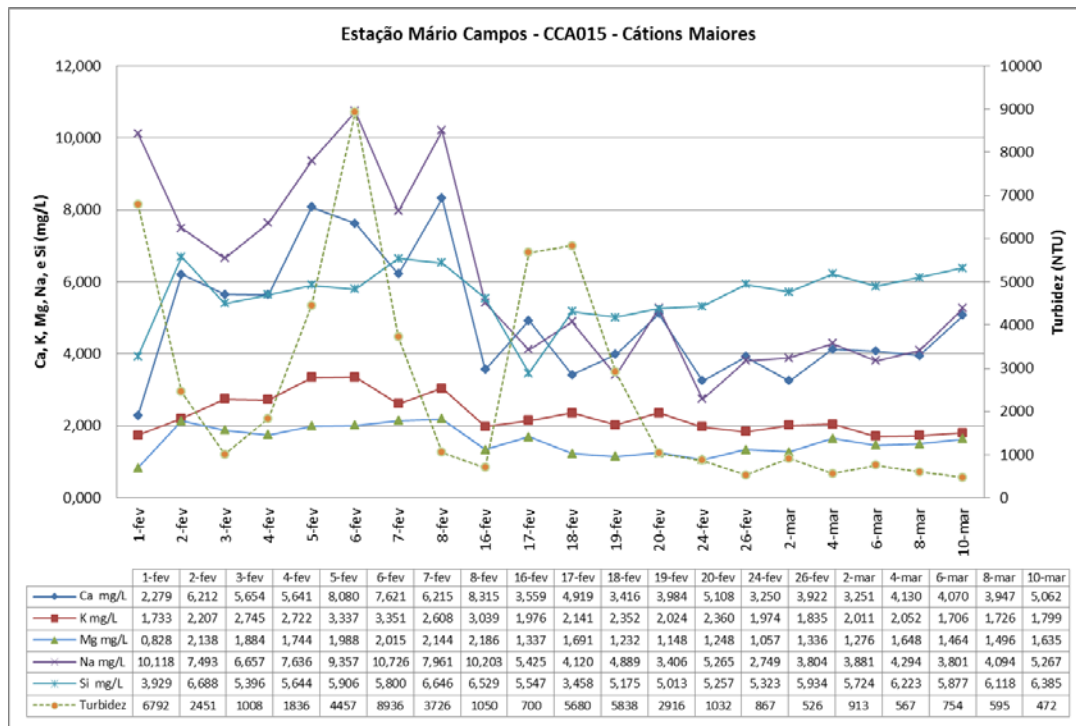
Os gráficos de ânions mostram picos desconexos da turbidez para cloreto, fosfato e nitrato.

Figura 19: Estação Mário Campos - ânions



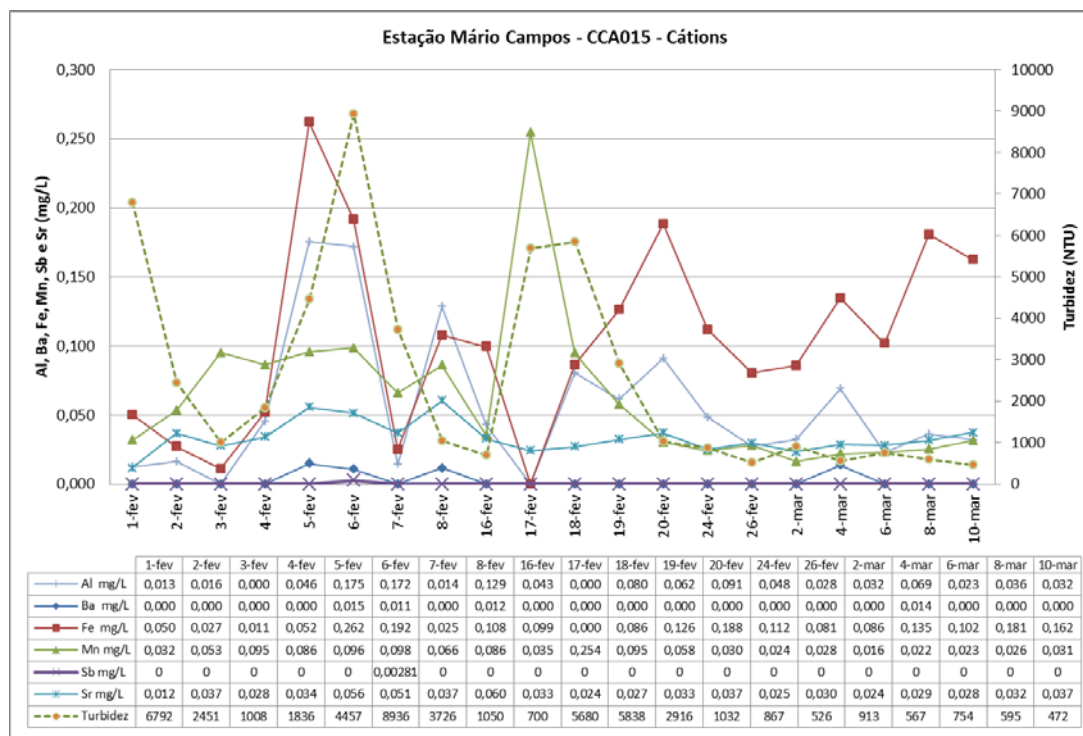
No início do monitoramento parecia haver um aumento proporcional de cálcio, sódio e potássio com o aumento da turbidez, mas essa impressão não se confirmou no restante do período (Figura 20).

Figura 20: Estação Mário Campos – Cátions maiores versus turbidez



Os outros cátions, com exceção do Manganês, que aumenta com a turbidez, também possuem um comportamento dissociado da turbidez (Figura 21).

Figura 21: Estação Mário Campos – cátions Al, Ba, Fe, Mn, Sb, Sr versus Turbidez



Na estação Ponte Nova do Paraopeba (CCA013) foi observada a presença de rejeito a partir do dia 10 de fevereiro de 2019. Porém não há variação significativa dos parâmetros físico-químicos nem dos ânions com a elevação ou decréscimo da turbidez (Figuras 22 e 23).

Figura 22: Estação Ponte Nova do Paraopeba – parâmetros físico-químicos e turbidez medidos em campo

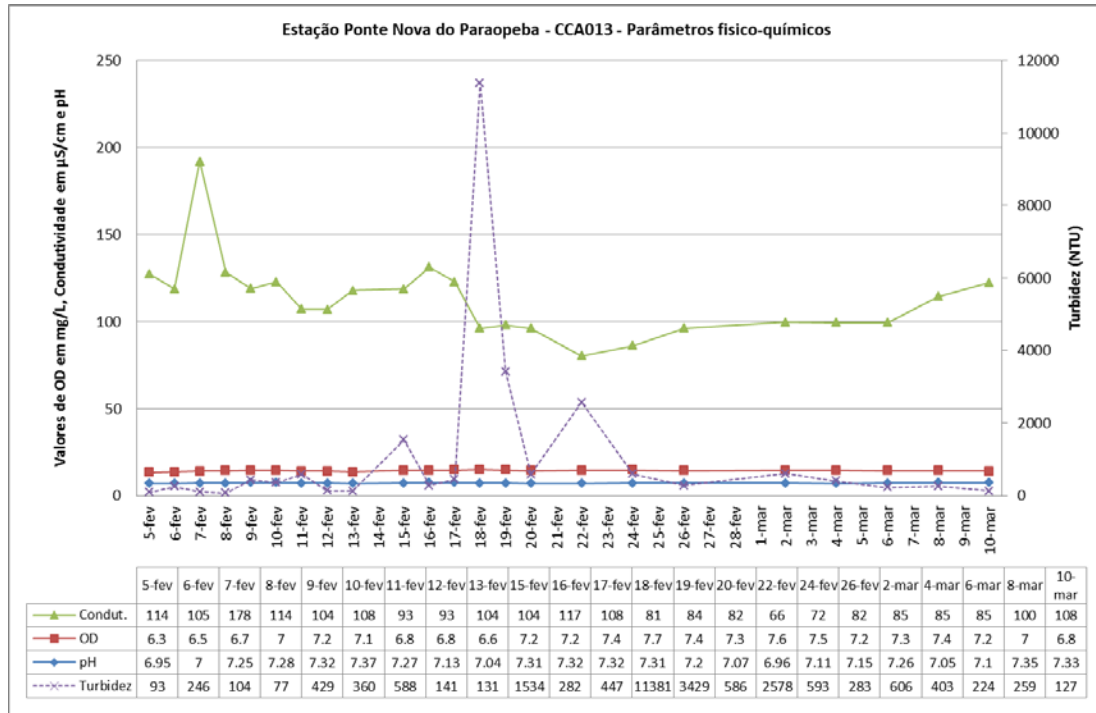


Figura 23: Estação Ponte Nova do Paraopeba – ânions

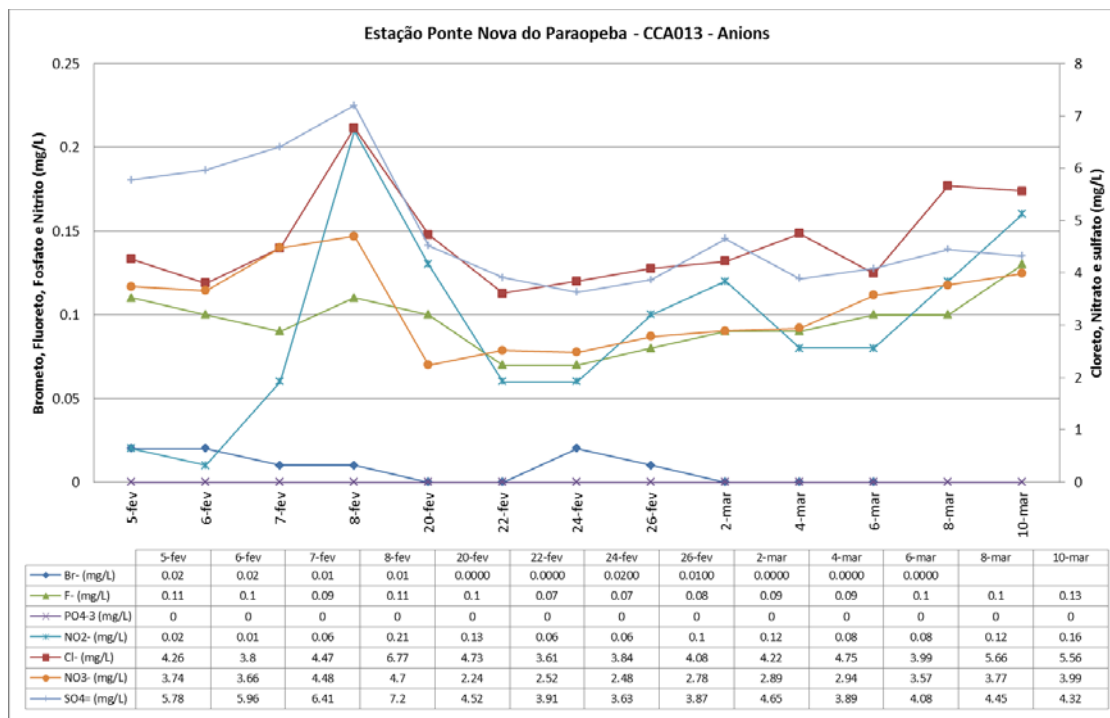


Figura 24: Estação Ponte Nova do Paraopeba – cátions maiores versus turbidez

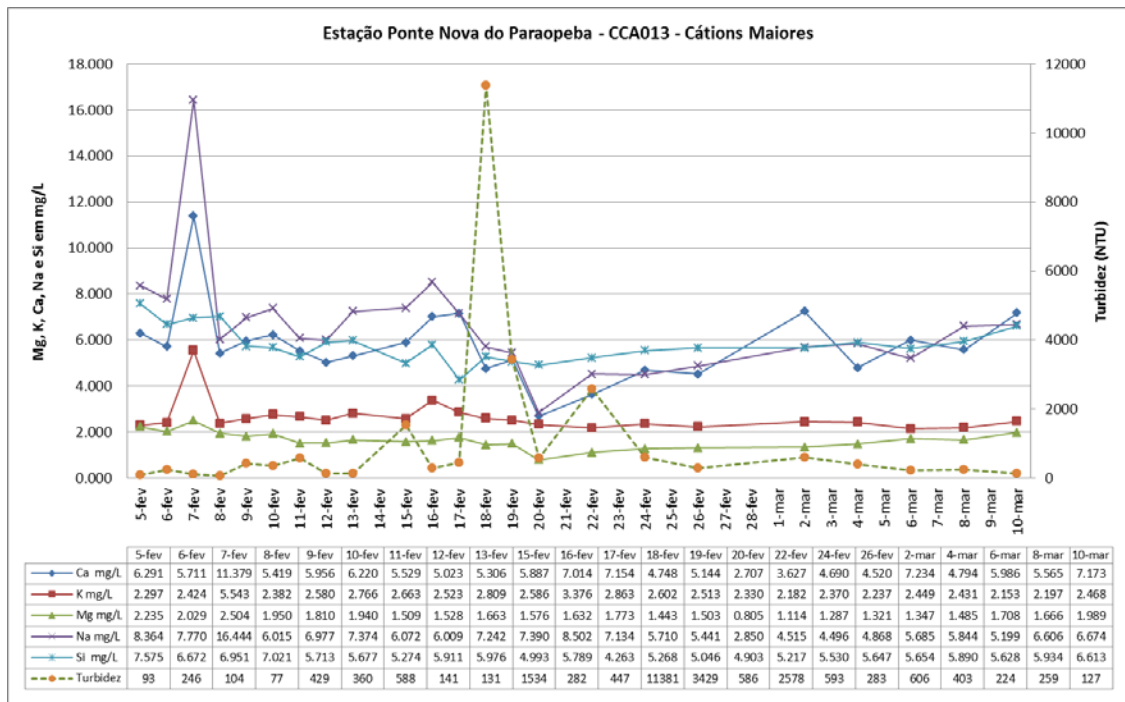
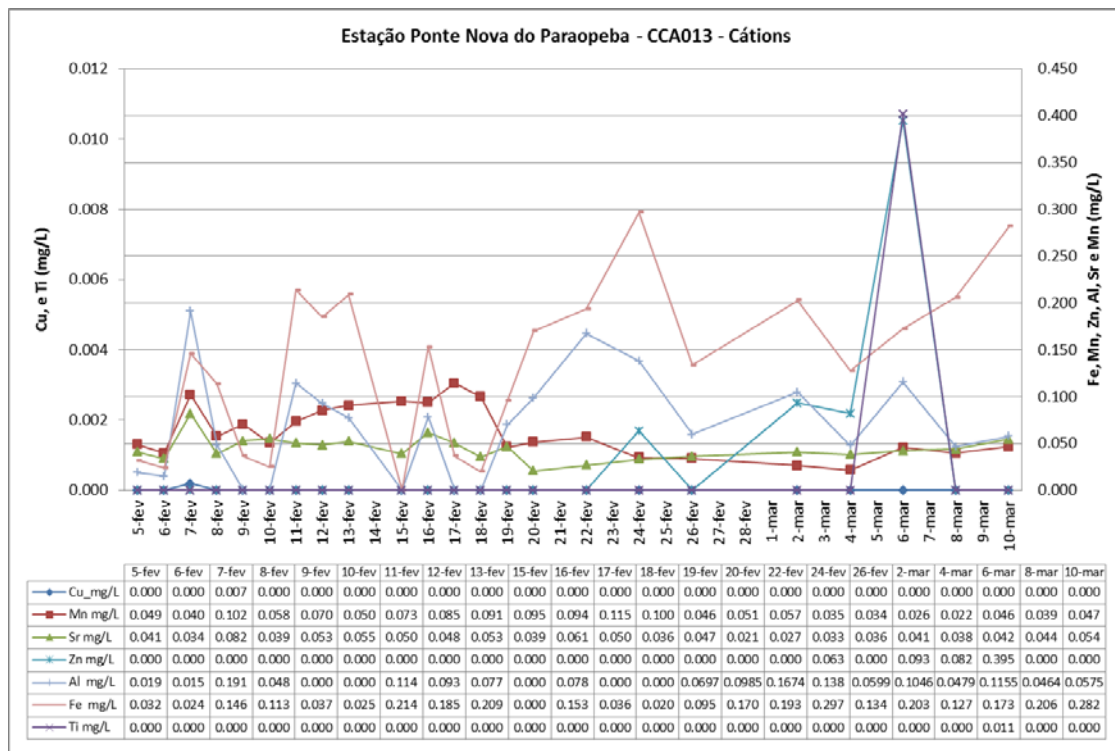
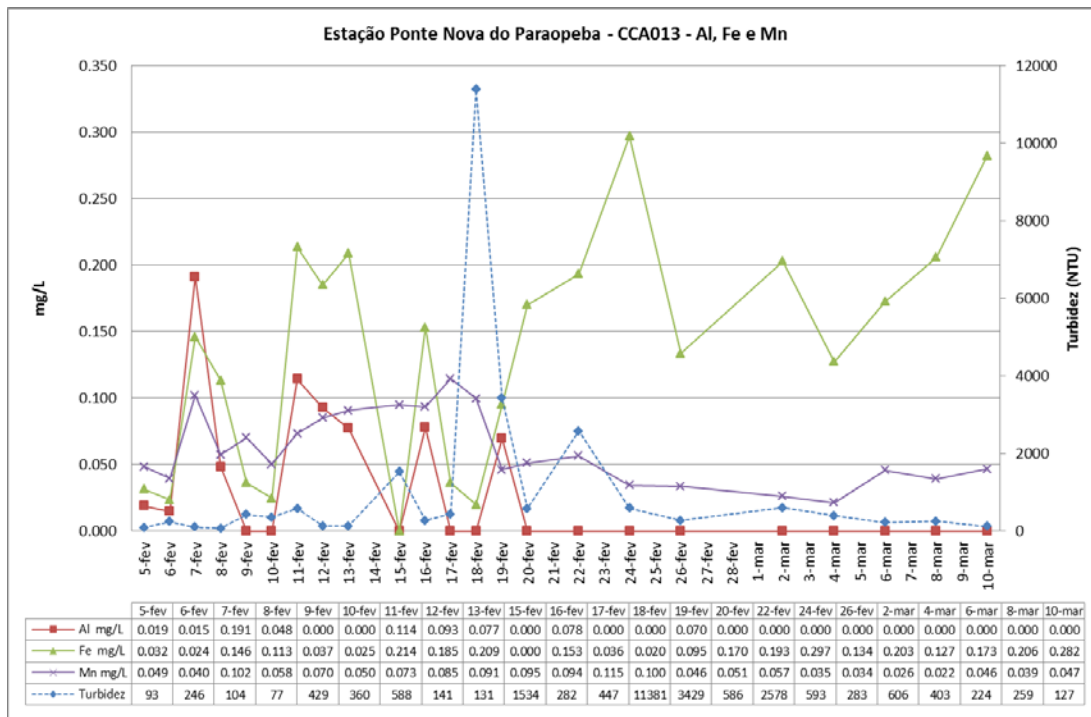


Figura 25: Estação Ponte Nova do Paraopeba – cátions Cu, Ti, Fe, Mn, Zn, Al e Sr



Os cátions maiores e menores não têm similaridade com o padrão da turbidez. Existiu no dia 06 de março de 2019 um pico com vários metais (Cu, Pb, Ti, Zn) de fonte independente do rejeito. Nem Ferro, nem Alumínio, nem Manganês mostram paralelos com a turbidez (Figura 26).

Figura 26: Estação Ponte Nova do Paraopeba – cátions Al, Fe e Mn versus turbidez



Na estação Ponte da Taquara, até o dia 10 de março de 2019, não havia sido registrada a chegada da pluma de rejeitos. Os parâmetros físico-químicos e ânions não mostram nenhuma variação significativa com o aumento da turbidez, neste ponto causada somente pela maior intensidade das chuvas, que carregam para o rio os solos das margens desmatadas (Figuras 27 e 28).

Figura 27: Estação Ponte da Taquara – parâmetros físico-químicos e turbidez medidos no campo

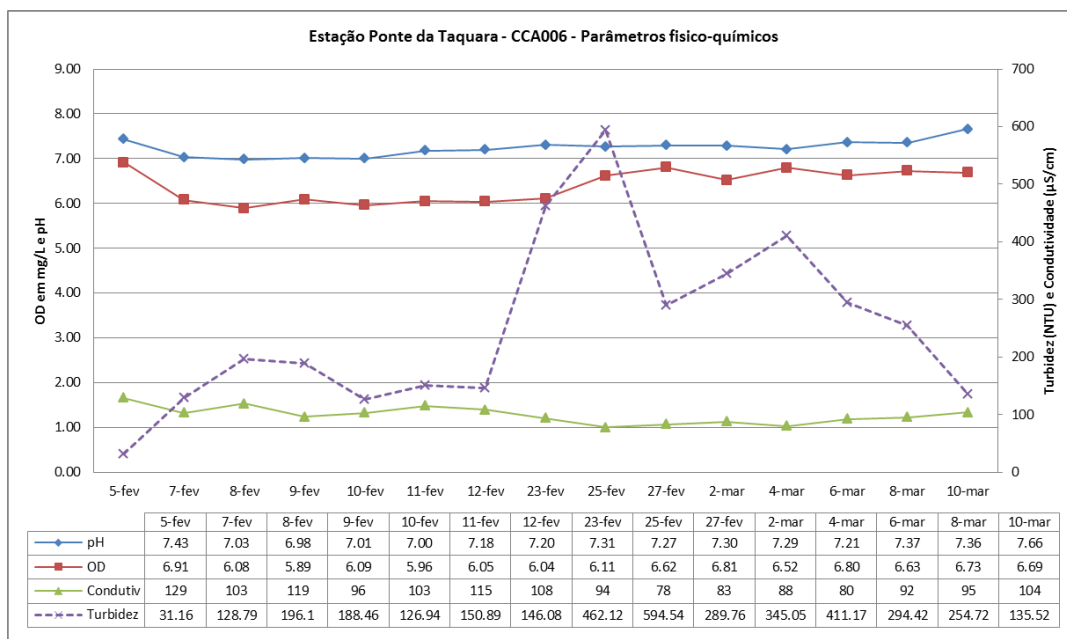


Figura 28: Estação Ponte da Taquara – ânions

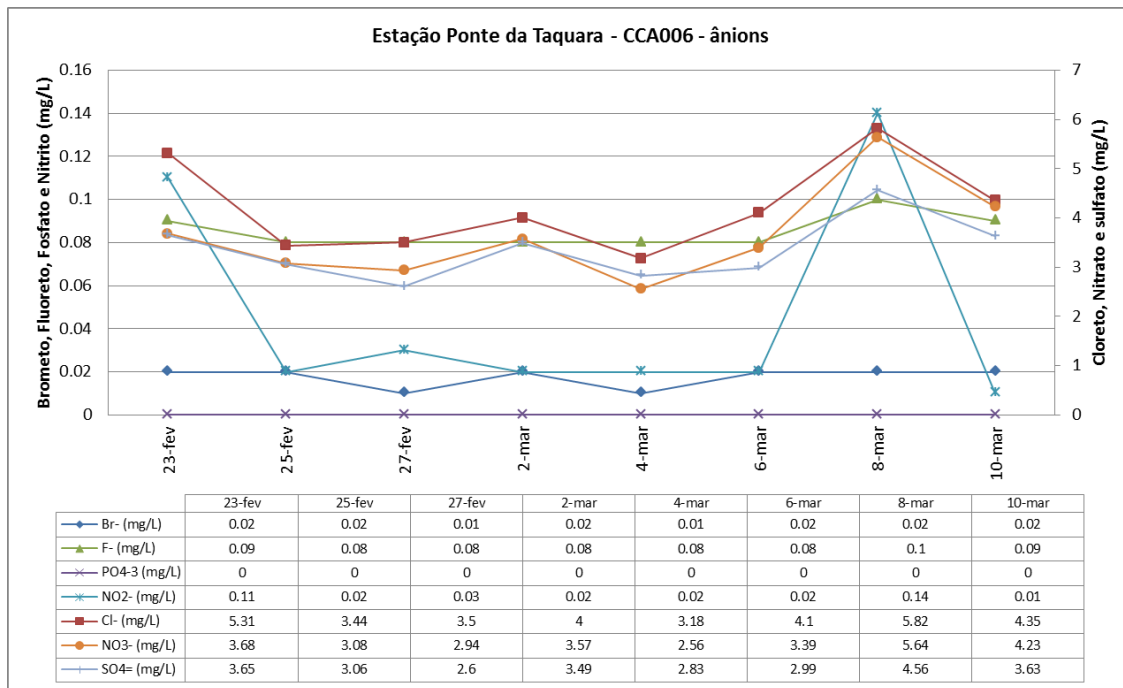


Figura 29: Estação Ponte da Taquara – cátions maiores

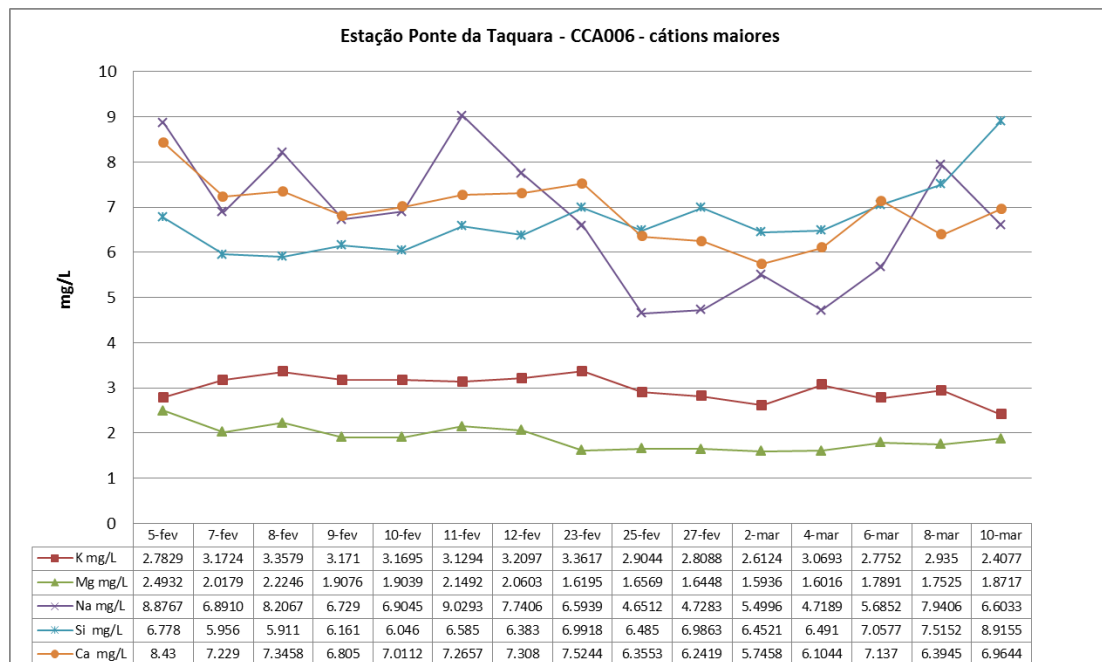
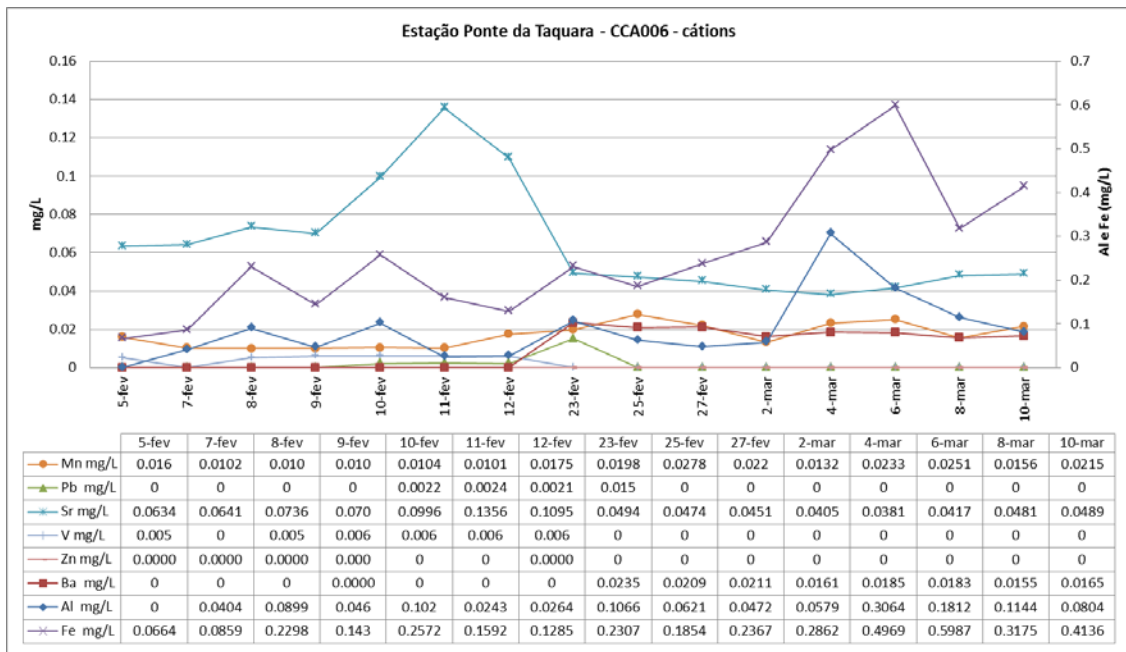
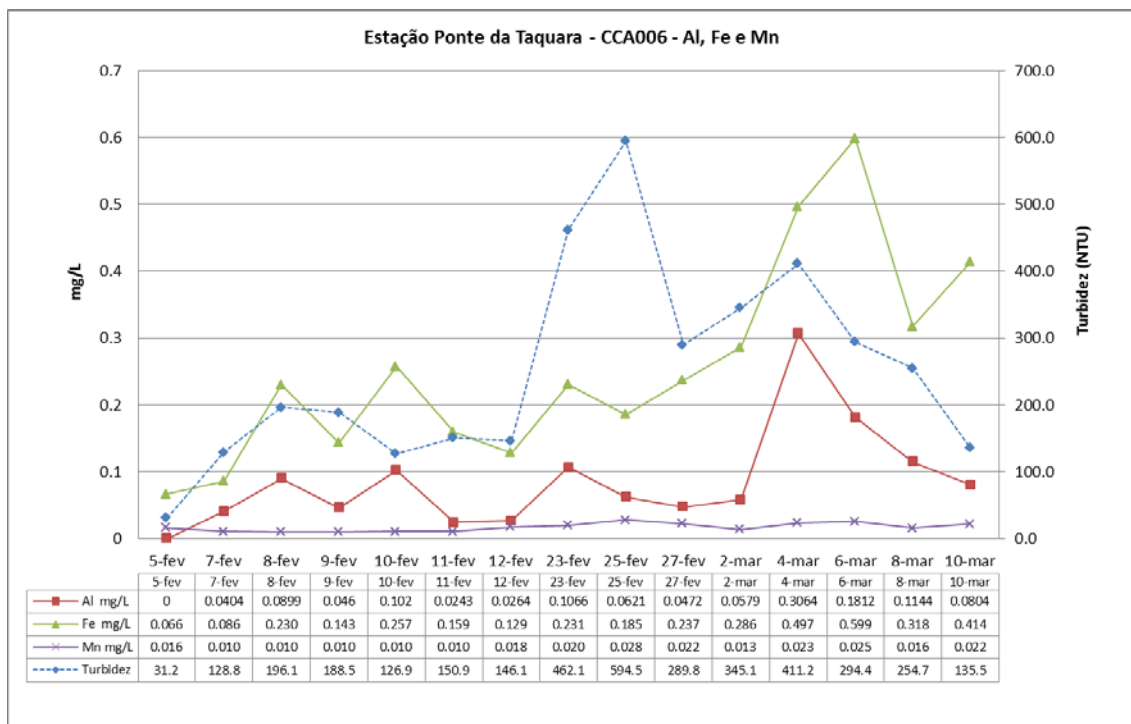


Figura 30: Estação Ponte da Taquara – cátions Ba, Zn, Fe, Al, Mn, V e Sr



Cátions maiores e menores não mostram variação com a turbidez. Existem picos extemporâneos de alumínio de outra fonte poluente. Ferro dissolvido acompanha o aumento da turbidez, mas Manganês mantém-se constante, indicando que não há presença da pluma de rejeito ainda na estação até aquela data (Figuras 29 a 31) Houve um problema com as análises de Zn e Ba entre 5 e 23 de fevereiro nesta estação. Os resultados obtidos foram desconsiderados.

Figura 31: Estação Ponte da Taquara – Al, Fe e Mn versus turbidez



Sedimentos – Monitoramento

Das 1272 determinações efetuadas nas 24 amostras de sedimento de fundo coletadas, 112 estão acima dos valores de nível 1 definidos pela resolução CONAMA 454/2012, 27 para Arsênio, 9 para Cádmio, 19 de Cromo, 16 de Cobre, 8 de Mercúrio, 18 de Níquel, 11 de Chumbo e 4 de Zinco. No entanto, quando consideramos os parâmetros para Água Doce do Nível 2 da citada resolução, apenas 28 destes resultados encontram-se violando o patamar, 16 para Arsênio e 12 para Níquel.

Tabela 7: Quantidade de violações ao CONAMA 454.

Elementos		As_ppm	Cd_ppm	Cr_ppm	Cu_ppm	Hg_ppm	Ni_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm	
Limites	454 Nível 2	17	3.5	90	197	0.486	35.9	91.3	315	
	454 Nível 1	5.9	0.6	37.3	35.7	0.17	18	35	123	
<i>Quantidades de violações aos patamares legais da CONAMA 454</i>										
Elementos		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Total
Mario Campos	454 Nível 2	13	0	0	0	0	10	0	0	23
	454 Nível 1	15	7	9	13	6	13	9	3	75
Ponte Nova	454 Nível 2	3	0	0	0	0	2	0	0	5
	454 Nível 1	7	2	5	3	2	3	2	1	25
Ponte da Taquara	454 Nível 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	454 Nível 1	5	0	5	0	0	2	0	0	12
Total	454 Nível 2	16	0	0	0	0	12	0	0	28
	454 Nível 1	27	9	19	16	8	18	11	4	112

Os elementos constantes da CONAMA 454/2012 estiveram sempre presentes nos sedimentos da estação Mario Campos, mas nem sempre diretamente relacionados ao aumento da turbidez. Há de se considerar que, por ser a estação mais próxima do evento, tanto é a primeira a sofrer deposição de “novos” rejeitos assim que há o aumento da turbidez, como é a primeira a sofrer sua remoção com aumento da vazão. Arsênio e Níquel, com 13 e 10 violações ao nível 2, respectivamente, são os elementos que merecem maior atenção (Figuras 32 e 33).

Figura 32: Estação Mário Campos – Elementos da Resolução CONAMA 454 versus Turbidez

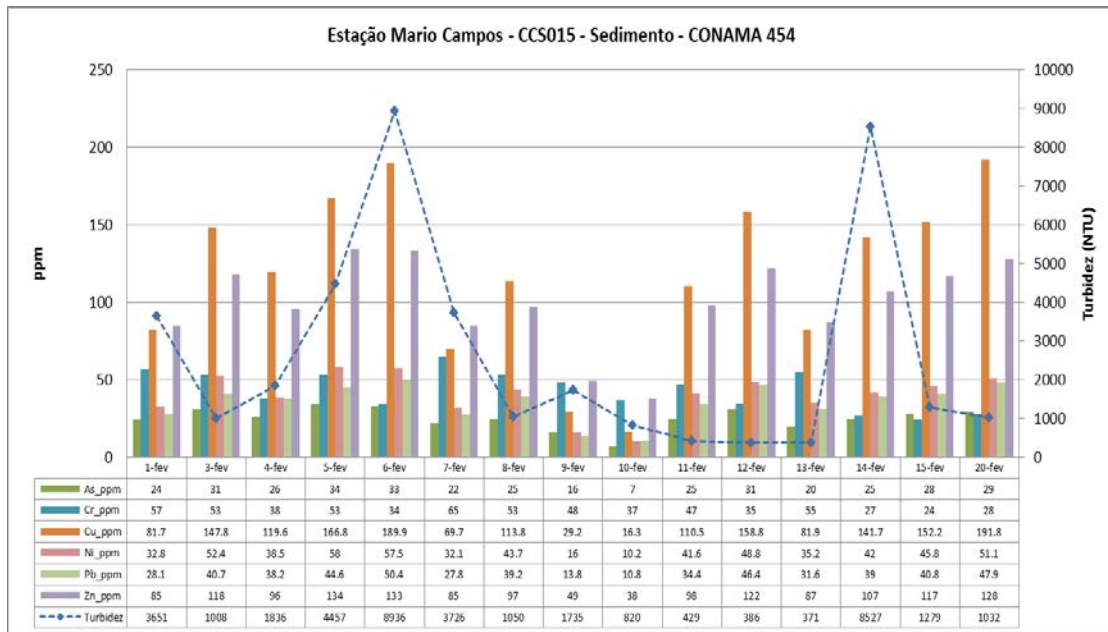


Figura 33: Estação Mário Campos – Elementos da Resolução CONAMA 454– Cd e Hg versus Turbidez

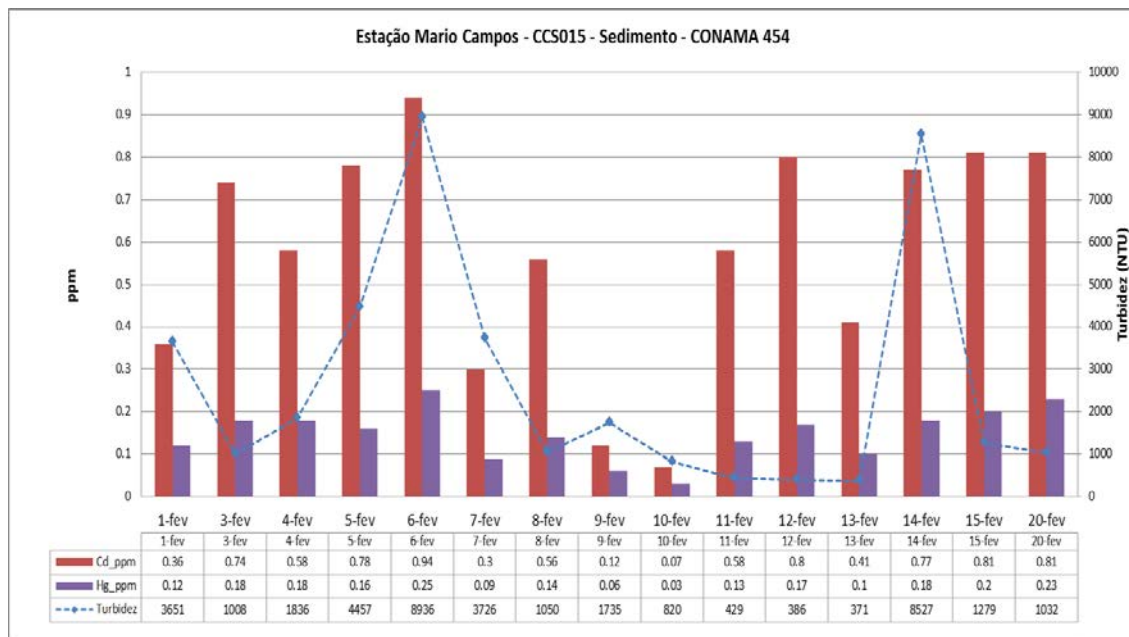
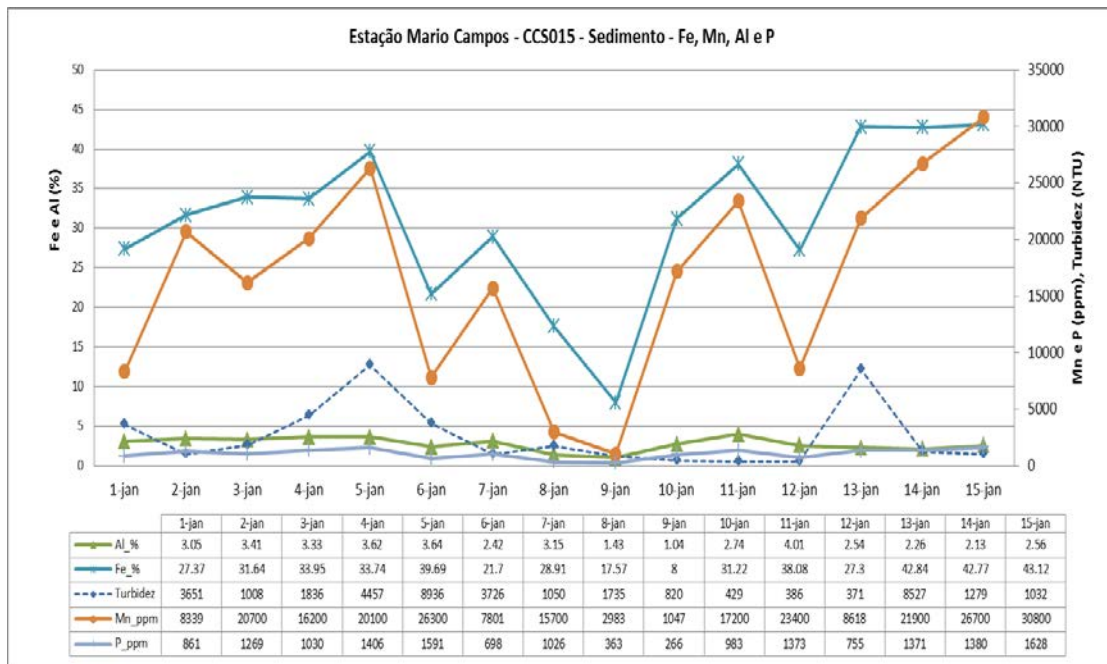


Figura 34: Estação Mário Campos – Fe, Mn, Al e P nos sedimentos versus Turbidez



Ferro e Manganês mostram curvas de distribuição muito parecidas. Ambos aumentam e diminuem ao mesmo tempo. No entanto, eles não estão de acordo com o aumento ou diminuição da turbidez. O aumento posterior à diminuição da turbidez pode indicar que também está havendo um transporte em profundidade, pois apesar da água estar mais clara em superfície o sedimento se enriquece em profundidade (Figura 34).

Na estação Ponte Nova do Paraopeba (CCA013) as duas primeiras amostragens ocorreram ainda sem a influência do rejeito e as outras cinco subsequentes com presença de rejeito. Apresentam violações ao Nível 1, Arsênio (7), Cádmiio (2), Cromo (5), Cobre(3), Mercúrio (2), Níquel (3), Chumbo (2) e Zinco (1) e ao Nível 2 apenas Arsênio (3) e Níquel (2) (Figuras 35 e 36). Não existe correlação clara entre o aumento da turbidez com o dos elementos citados.

Figura 35: Estação Ponte Nova do Paraopeba – Elementos constantes da CONAMA 454 versus Turbidez

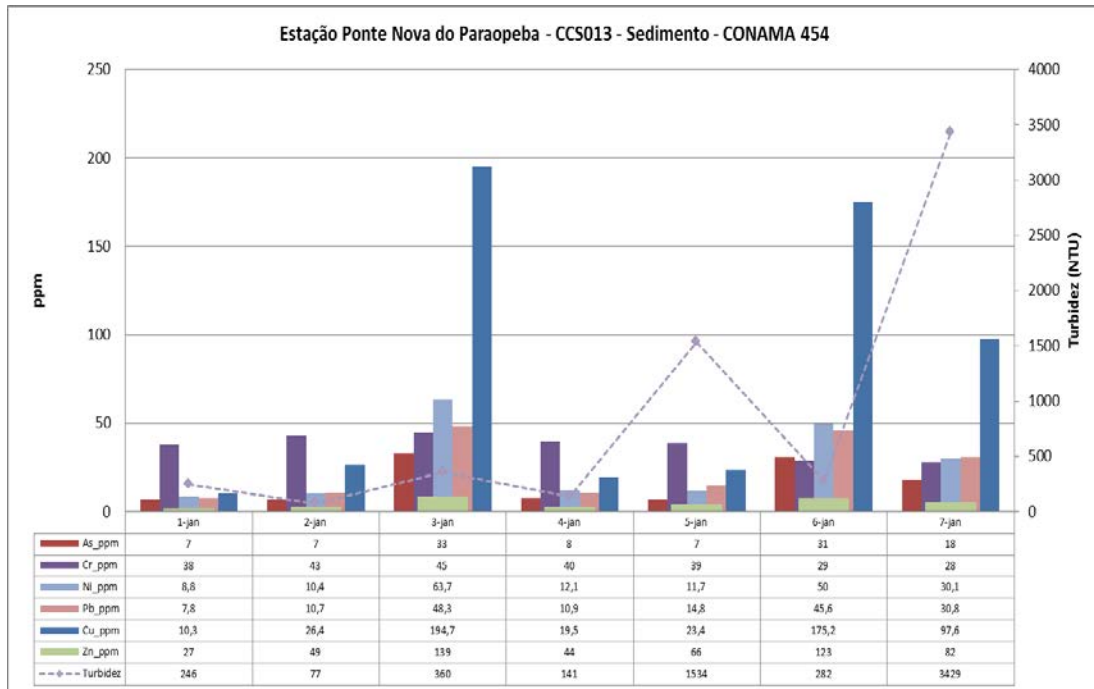
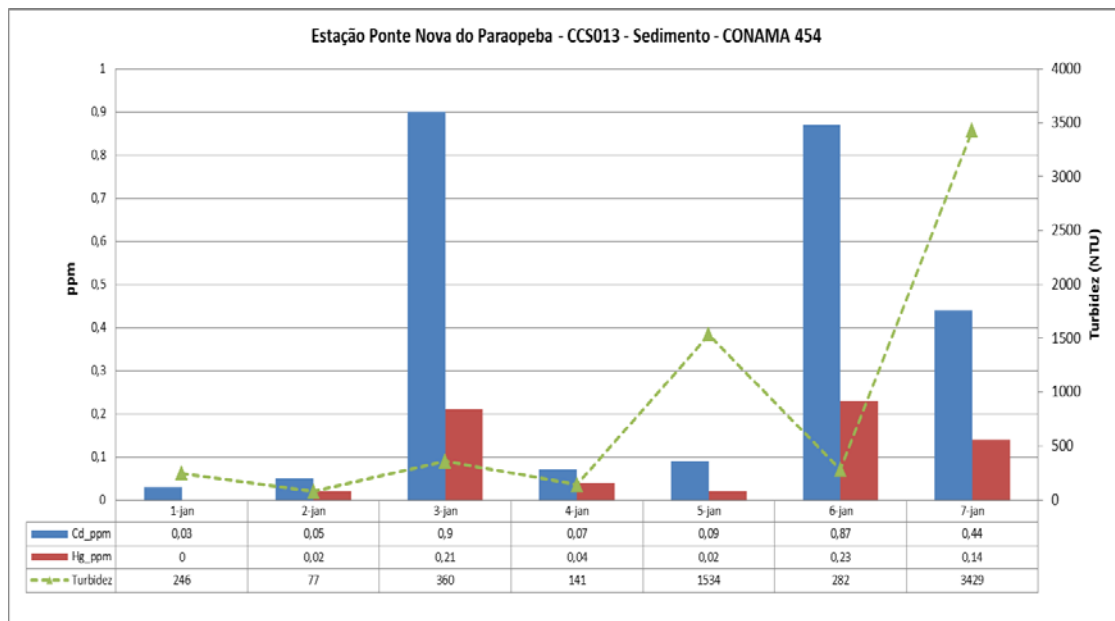
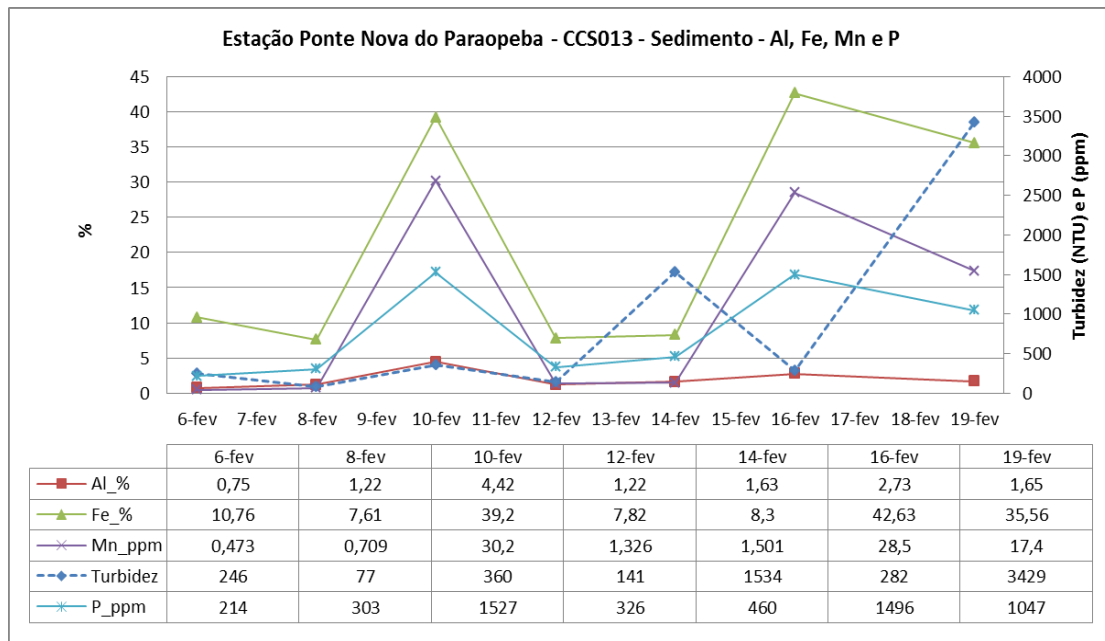


Figura 36: Estação Ponte Nova do Paraopeba – Elementos da CONAMA 454 – Cd e Hg versus Turbidez



Ferro e Manganês tornam a apresentar curvas muito parecidas, mas desconexas da curva de turbidez (Figura 37).

Figura 37: Estação Ponte Nova do Paraopeba – Al, Fe, Mn e P em sedimentos versus Turbidez



Na estação Ponte da Taquara (CCS006), apesar de não haver registro do rejeito, ocorreram cinco violações ao Arsênio, cinco violações ao Cromo e duas violações ao Níquel todas no nível 1 da CONAMA 454/2012. Não há conexão aparente entre a turbidez e a concentração dos elementos (Figura 38 e 39). O aumento da turbidez no dia 14/02 está ligado somente à maior intensidade das chuvas e não à presença do rejeito. Ao contrário das duas estações atingidas pelo rejeito, nesta, o Fe e Mn apresentam comportamento distinto (Figura 40).

Figura 38: Estação Ponte da Taquara – Elementos constantes da CONAMA 454/2012 versus Turbidez

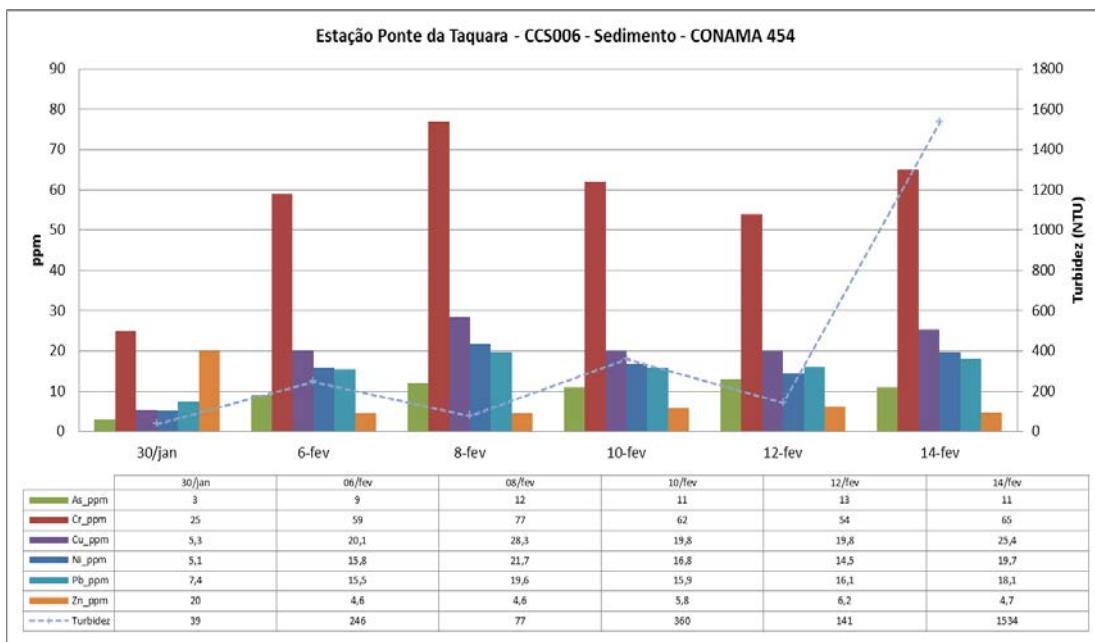


Figura 39: Estação Ponte da Taquara – Elementos da CONAMA 454/2012 – Cd e Hg versus Turbidez

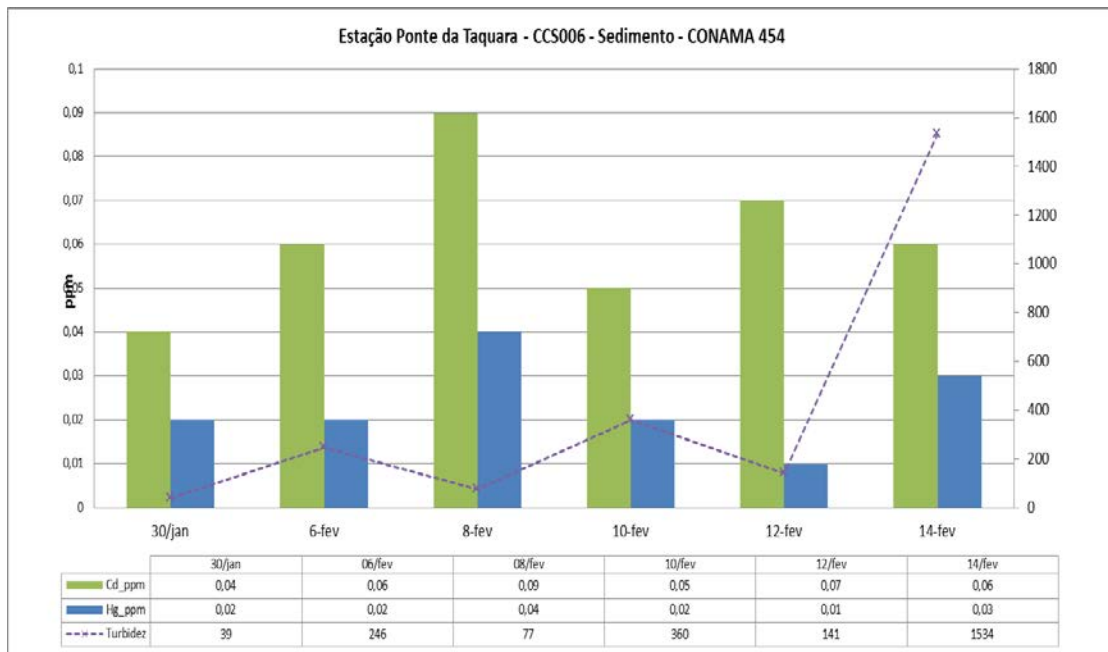
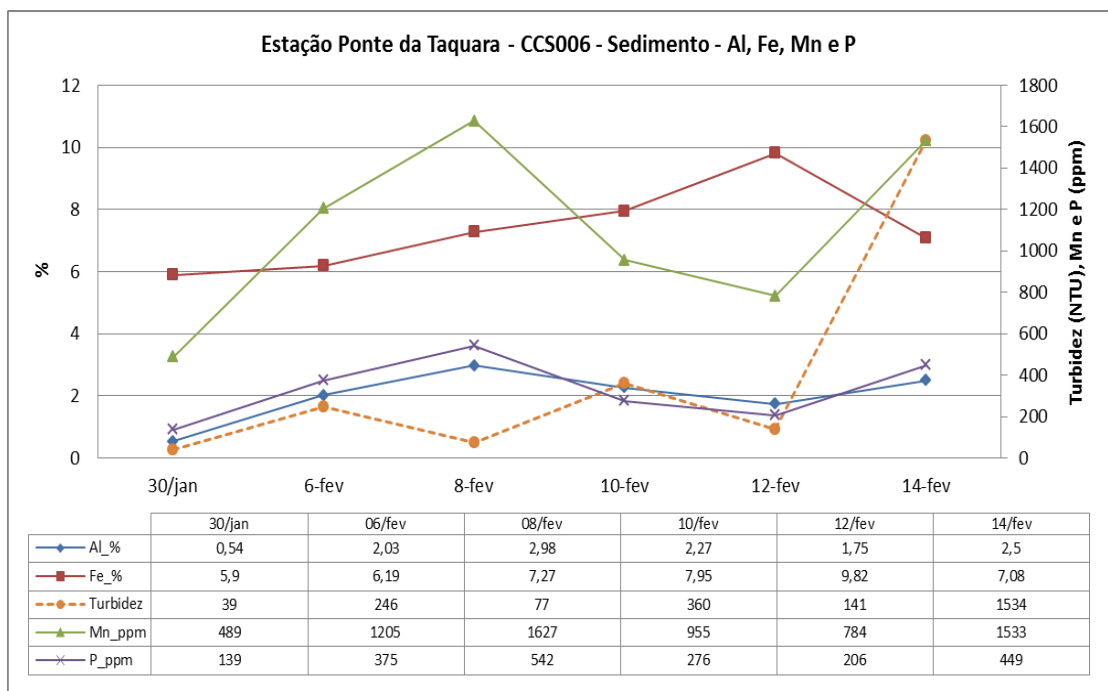


Figura 40: Estação Ponte da Taquara – Al, Fe, Mn e P nos sedimentos amostrados versus Turbidez



6 Discussão dos resultados

De posse do resultado da segunda campanha geoquímica com repetições da amostragem em 17 estações, inserção de uma nova estação à montante do evento, amostragem do rejeito em seis posições distintas, e resultados analíticos dos três pontos de monitoramento no período de 01 de fevereiro a 10 de março de 2019, referindo-se a um total de 130 amostras coletadas, 80 águas e 50 sedimentos, e a 5452 determinações efetuadas, 2802 em águas e 2650 em sedimentos, podemos chegar às seguintes conclusões:

Rejeito

- 1) A composição do rejeito apresenta valores de As, Cu e Ni acima do nível 2 da resolução CONAMA 454, apresentando ainda altos valores de Ferro (> 49%) e Manganês (>12mil ppm).
- 2) Ferro, Manganês, Mercúrio, Cádmiio, Cobalto e Cobre são os elementos que mostram maior variação entre o sedimento com presença de rejeito e o sem presença de rejeito. Estrôncio, Zinco, Lítio, Bário e Chumbo, seguidos por Lutécio, Molibdênio e Berílio também mostram variações significativas. Este conjunto de elementos pode ser usado para checar a presença de rejeito no sedimento.
- 3) O líquido denso que atualmente drena o ribeirão Ferro Carvão é composto basicamente por 50% do volume de sedimentos em suspensão, que decantam muito rapidamente após a amostragem. Em sua fase líquida há a presença apenas do cátion Manganês em concentrações acima do CONAMA 357.
- 4) O rejeito ocupa uma área de aproximadamente 3,2 km², está relativamente estável, é grosso e passível de remoção. Enquanto esta remoção não ocorre, a fração fina é remobilizada a cada episódio de chuva mais intensa e conseqüente aumento de vazão.

Campanha 2 – Águas e Sedimento

- 5) Foram encontradas 26 concentrações acima do CONAMA 357 em 638 determinações efetuadas para as amostras de água, havendo um aumento de 1% na Campanha 1 para 4,1% na Campanha 2.
 - 6) Foram encontrados 54 teores acima do CONAMA 454 em 1060 determinações efetuadas para as amostras de sedimento, havendo um aumento de 1,2% na Campanha 1 para 5,1% na Campanha 2.
 - 7) Os dois aumentos refletem a ampliação da presença de rejeito nas estações CCA016, 015, 014, 013, 001, 002 e 003, a 75 km da foz do ribeirão Ferro Carvão e mostram uma maior importância da porção física (sedimento) do que da porção líquida (água) relacionada à contaminação.
 - 8) Não foram encontrados resultados para Hg dissolvido e a única amostra com Hg Total detectado é a do ribeirão Ferro Carvão. Os valores físico-químicos não mostraram variações significativas, apenas a Condutividade Elétrica mostrou um pico de 140 µS/cm na amostra do ribeirão Ferro Carvão, posterior diminuição para a metade deste valor nas amostras com presença de rejeito e retornando ao patamar de 100 µS/cm até a Represa Retiro Baixo.
-

- 9) Os cátions mostram um pico na amostra do ribeirão Ferro Carvão de Cálcio, Magnésio e Manganês, e outro na estação CC007 com altas concentrações de Cálcio e Zinco. No geral, há uma diminuição de cátions nas amostras já afetadas pelo rejeito e um aumento de patamar nas ainda não afetadas pelo rejeito.
- 10) Com relação aos sedimentos, os elementos Manganês, Mercúrio, Cádmiio, Cobre, Níquel, Chumbo e Zinco mostram nos gráficos comparativos entre as campanhas e associados às amostras de água, uma boa correlação como indicativos da presença do rejeito no sedimento do rio. Arsênio e Ferro, presentes no rejeito e elementos identificadores do rejeito no sedimento, necessitam de análise mais detalhada por ocorrerem em teores muito elevados ao longo de toda a bacia, e apresentarem diversas fontes, além do rejeito.
- 11) A partir da estação CC010 existe um grande aporte de vários destes elementos, provenientes de fonte diversa do rejeito, ocorrendo valores acima do CONAMA 454 para Cromo.

Monitoramento das Estações Mario Campos, Ponte Nova do Paraopeba e Ponte da Taquara

- 12) Foram encontradas 19 violações ao CONAMA 357 nas 2088 determinações efetuadas nas 59 amostras de águas coletadas, revelando uma incidência de 0,9% de valores acima dos permitidos legalmente, principalmente para Alumínio, Ferro e Manganês. Os valores de Al não estão associados ao rejeito.
- 13) Os parâmetros físico-químicos mantiveram-se constantes ao longo do tempo independente das condições de turbidez ou pluviosidade. Os ânions mostram picos desconexos da turbidez para cloreto, fosfato e nitrato. Apenas o cátion Manganês mostra correlação positiva e mais constante com o aumento da turbidez na estação Mario Campos, a mais próxima da foz do ribeirão Ferro Carvão.
- 14) Existiu no dia 06 de fevereiro um pico de vários cátions de fonte independente do rejeito na estação Ponte Nova do Paraopeba.
- 15) A estação Ponte da Taquara, não atingida pelo rejeito no período estudado, apresenta valores constantes de parâmetros físico-químicos, ânions e cátions. Apenas Ferro acompanha proporcionalmente o aumento da turbidez natural devido às chuvas. Existiram picos extemporâneos de Alumínio e Estrôncio provenientes de outras fontes poluentes que não o rejeito.
- 16) Foram encontradas 112 violações ao nível 1 do CONAMA 454 nas 1272 determinações efetuadas nas 24 amostras de sedimento coletadas, revelando uma incidência de 8,8% de valores acima do permitido legalmente. Ao considerar o nível 2 da mesma legislação, as violações caem para 28, com incidência de 2,2%, para Arsênio e Níquel.
- 17) A maior quantidade de violações está na estação Mario Campos e a menor em Ponte da Taquara. As curvas de Ferro e Manganês, nos sedimentos, são muito semelhantes, mas nem sempre ligadas ao aumento da turbidez, mesmo que essa seja oriunda de aumento de chuvas e não ao rejeito.
- 18) Aumentos nas quantidades de Ferro e Manganês posteriores ao aumento da turbidez pode indicar que também está ocorrendo um transporte mais lento do rejeito em profundidade, que independe da turbidez.

Como conclusão mais geral, pode-se considerar que a deposição de partículas pertencentes ao rejeito nos sedimentos de fundo do rio Paraopeba é muito mais importante que a contaminação da água que não está ocorrendo.

As partículas sólidas do rejeito estão sofrendo processos de transporte fluvial ao longo do rio, aumentando em quantidade proporcionalmente com o aumento da energia desse transporte. As partículas grossas nem vão chegar perto do reservatório de Retiro Baixo pois se depositam bem à montante dele, provavelmente nem atinjam Mario Campos pela sua alta densidade. As partículas finas, pelo que vimos, se dispersam um pouco mais, porém dificilmente serão remobilizadas até o reservatório e, se forem, será numa quantidade tal que não caracterizarão uma “pluma de rejeito”.

7 Referências Bibliográficas

CPRM, Atlas Geoquímico da Bacia do Rio São Francisco em Minas Gerais. Rio de Janeiro, 2019 (no prelo).

CPRM. “Monitoramento Especial da Bacia do Rio Doce: Relatórios 01, 02, 03 e 04”. Belo Horizonte, 2015. Disponível em: www.cprm.gov.br/publique/media.

CPRM. “Monitoramento Especial da Bacia do Rio Paraopeba: Relatórios 01, 02”. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: www.cprm.gov.br/publique/media.
