

## **AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS NA BACIA DO RIO PARAOPEBA APÓS RUPTURA DA BARRAGEM I – BRUMADINHO**

**Stella Braga de Andrade**

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil  
stellabragaandrade@gmail.com

**Vítor Lages do Vale**

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil  
vitor.lages@hidrobr.com

**Aloysio Portugal Maia Saliba**

Professor Adjunto do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil  
asaliba@ehr.ufmg.br

**Nilo de Oliveira Nascimento**

Professor Titular do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil  
niloon@ehr.ufmg.br

### **RESUMO**

A ruptura da Barragem I da Mina Córrego do Feijão ocorreu no dia 25/01/2019 e trouxe ao rio Paraopeba grande quantidade de rejeitos que alteraram significativamente a concentração de sólidos totais deste curso d'água. Imediatamente após o colapso dessa estrutura o IGAM, CPRM, COPASA e VALE iniciaram monitoramentos diários de diversos parâmetros de qualidade de água, dentre eles a concentração de sólidos totais (CST). Contudo, a bacia do rio Paraopeba, devido ao seu uso e ocupação, é uma bacia com diversas fontes de sólidos, de forma que se observa na análise dos dados significativas variações da CST entre as estações de monitoramento. Para melhor avaliação da CST analisou-se 60 km do rio Paraopeba, divididos em 6 trechos, no período entre 30/01/2019 a 31/03/2019. Para fins de interpretação da interferência da ruptura da Barragem I na CST da bacia, os dados dos pontos de monitoramento considerados neste estudo foram comparados aos dados da série histórica do primeiro trimestre dos últimos 10 anos, tanto das estações de monitoramento do IGAM ao longo do rio Paraopeba, quanto com as estações localizadas nos principais afluentes. Essa comparação demonstrou que, a 50 km da confluência, a mediana da série é similar a mediana da série histórica da estação posicionada a 1,7 km a jusante. Observou-se ainda que neste ponto os atuais valores máximos observados entre final de

fevereiro e final de março de 2019 são inferiores aos valores da série histórica observados para o principal afluente do trecho, o rio Betim.

**Palavras-chave:** Sólidos totais. Paraopeba. Barragem I. Barragem de Rejeito.

**EVALUATION OF TOTAL SOLIDS CONCENTRATION IN PARAOPEBA`S RIVER WATERSHED  
AFTER FAILURE OF BI DAM – BRUMADINHO**

**ABSTRACT**

The failure of B1 dam, at Córrego do Feijão Mine, occurred on 25/01/2019 and brought to the Paraopeba River a large amount of tailings that significantly altered the total solids concentration of this watercourse. Immediately after the collapse of this structure, IGAM, CPRM, COPASA and VALE began a daily monitoring of various water quality parameters, including total solids concentration (TSC). However, the Paraopeba watershed, due to its use and occupation, is a basin with several sources of solids, as a result significant TSC variations between monitoring stations can be observed in the analysis of the data. For better evaluation of the TSC, 60 km of the Paraopeba River has been analyzed, divided into 6 reaches, between 01/30/2019 to 03/31/2019. For the purpose of interpreting the interference of the dam failure in the TSC basin, the data of monitoring points were compared with data from the historical first quarter series of the last 10 years from IGAM monitoring stations over Paraopeba River, as well as the stations located in the main tributaries. This comparison showed that the median of the series considered at approximately 50km from the confluence is similar to the median of the station's historical series located 1.7km downstream. It was also observed that at this point the current maximum and minimum values observed between late February and late March 2019 are lower than the values of the historical series observed for the main tributary at this point, the Betim River.

**Keywords:** Total solids. Paraopeba. BI Dam. Tailing dam.

## **1 INTRODUÇÃO**

No Brasil, de acordo com o Relatório de Segurança de Barragens de 2017 (ANA, 2018) existem 24.092 estruturas cadastradas como barragens, sendo que dessas 76% não possuem informação suficiente para serem ou não cadastradas na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). A referida política, estabelecida pela Lei Nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, considera como barragem estruturas de contenção de água ou resíduos com 15 metros ou mais de altura (entre o ponto mais baixo da fundação e a crista) ou estruturas com 5 a 15 metros de altura cujos reservatórios possuam mais de 3 milhões de metros cúbicos, ou ainda estruturas cujo reservatório contenha resíduos perigosos conforme ABNT NBR 10.004/2004.

As barragens, caso se rompam, proporcionam grande impacto social, ambiental e econômico, sendo que desde 1960 foram registrados, no mundo, um total de 128 grandes rupturas de barragens (WISE URANIUM, 2019). Essas estruturas estão sujeitas a diversos modos de falha sendo os mais comuns galgamento, instabilização do maciço ou fundação, liquefação e erosão interna.

Segundo Rico et al. (2007), as barragens de rejeito tendem a ser mais propícias a falhas do que as barragens destinadas apenas ao armazenamento de água. Complementarmente, Lemphers (2010) afirma que barragens de rejeitos possuem dez vezes mais probabilidade de romper do que barragens com reservatório de acumulação de água e que cerca de duas a cinco barragens de rejeitos, dentre as cerca de 3.500 estruturas existentes no mundo, sofrem rupturas, anualmente.

Um evento como ruptura de barragem de rejeitos lança nos leitos fluviais grande carga de sedimentos, parte imediatamente depositada, enquanto parte se mantém em suspensão por vários quilômetros. O lançamento de uma elevada carga de sedimentos no leito fluvial retira o corpo hídrico de seu equilíbrio morfodinâmico (FISRWG, 1998), podendo alterar sua seção hidráulica de modo significativo. Os sedimentos e materiais lançados no corpo hídrico podem ser observados por grandes distâncias causando impactos sociais, ao afetar os usos da água existentes no trecho e ambientais, ao alterar a qualidade das águas e conseqüentemente afetar a biota aquática.

Dentre as 128 grandes rupturas de barragens apresentadas pelo Wise Uranium (2019) encontram-se as cinco últimas rupturas registradas no Brasil: Barragem de São Francisco (Miraí-

MG) em 2007, Barragem Herculano (Itabirito-MG), em 2014, Barragem de Fundão (Mariana-MG), em 2015, Barragem I (Brumadinho-MG), em 2019, e Barragem Metalmig (Machadinho D'Oeste –RO), em 2019.

A Barragem I, de propriedade da Vale S.A., fazia parte da Mina Córrego do Feijão e possuía a finalidade de disposição dos rejeitos gerados na planta de beneficiamento. O rejeito lançado era classificado como areias finas-siltosas e siltes-arenosos e, devido ao fim de sua vida útil, a estrutura não estava mais recebendo rejeitos. De acordo com a Vale o rejeito disposto em seu reservatório ocupava um volume de 11,7 milhões de metros cúbicos.

Essa estrutura rompeu-se no dia 25 de janeiro de 2019, espalhando seu rejeito por cerca de 310 hectares no vale do córrego Ferro-Carvão onde atingiu a região administrativa da Mina, dois barramentos de contenção de sólidos da própria mineradora (Barragem IV e IV-A) e bairros da cidade de Brumadinho. Ao final de seu curso, a mancha encontrou o principal rio da região, o rio Paraopeba, onde depositou grande parte dos sedimentos transportados, alterando as vazões do curso d'água e elevando a carga de sedimentos conduzida pelo mesmo.

Após a ruptura da Barragem I iniciou-se uma campanha de monitoramento de qualidade de água pelo CPRM (Serviço Geológico do Brasil), IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas), COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais) e VALE ao longo do rio Paraopeba e seus principais afluentes.

Os monitoramentos foram realizados diariamente e dentre os parâmetros avaliados estão condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH, temperatura, turbidez, sólidos totais, sólidos dissolvidos totais, sólidos em suspensão totais; metais: alumínio dissolvido, ferro dissolvido e manganês total; além de contaminantes.

Frente a importância do transporte de sedimentos no leito fluvial e seu impacto na qualidade de água da bacia, esse trabalho tem por finalidade avaliar os dados de monitoramento de sólidos totais ao longo de 60 km do rio Paraopeba, estando os primeiros 10 km a montante da confluência e os demais 50 km a jusante da confluência do córrego Ferro-Carvão, identificando as interferências da própria bacia na qualidade de água do Paraopeba e, conseqüentemente, buscando identificar a contribuição dos rejeitos da Barragem I no aumento da concentração de sólidos totais ao longo deste curso d'água.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Considerou-se neste estudo os dados de monitoramento diário de concentração de sólidos totais disponibilizados pelo IGAM por meio dos Informativos publicados e dados do monitoramento realizados pela VALE.

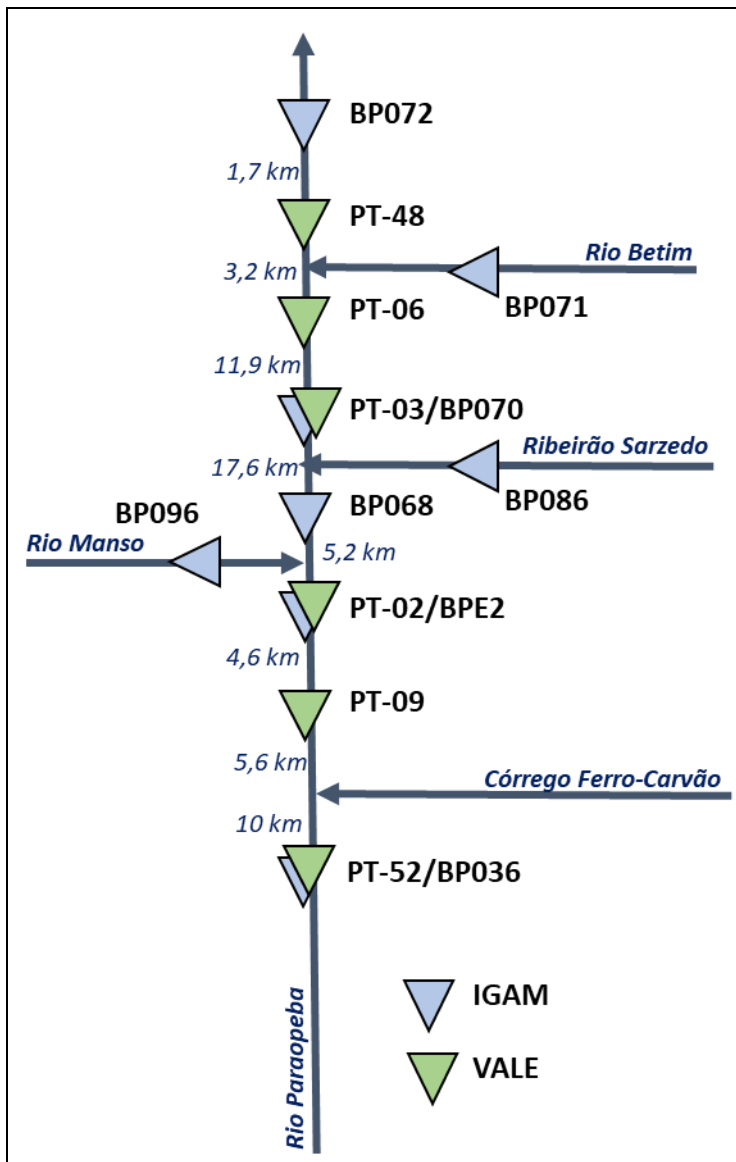
Conforme diagrama unifilar apresentado na Figura 1 utilizou-se na presente análise seis estações de monitoramento da VALE (PT-52, PT-09, PT-02, PT-03, PT-06 e PT-48) e três estações de monitoramento do IGAM posicionadas no rio Paraopeba (BP036, BPE2 e BP068), todas com monitoramento diário. Complementarmente, utilizou-se também, dados da série história de duas estações ao longo do Rio Paraopeba (BP070 e BP072) e três posicionadas próximas a foz dos principais afluentes do trecho analisado (BP096, BP086 e BP071), sendo essas estações de monitoramento do IGAM.

O presente estudo contemplou um trecho de 60 km do rio Paraopeba (10 km a montante e 50 km a jusante da confluência do córrego Ferro-Carvão). O término do trecho analisado ocorre a jusante da confluência do córrego Betim e da Usina Termelétrica Igarapé.

O período analisado foi definido pela disponibilidade de dados das estações utilizadas, contemplando o período de 30/01/2019 a 31/03/2019.

A fim de se obter melhor compreensão das alterações das concentrações de sólidos observadas utilizou-se a análise das precipitações da bacia realizadas pelo CPRM e disponibilizada em seu relatório de monitoramento publicado em 07/2019, a qual compreende o período analisado neste estudo para as concentrações de sólidos totais.

**Figura 1:** Diagrama unifilar com indicação dos pontos e estações de monitoramento adotadas



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Os dados de monitoramento diário das estações do Parapeba utilizadas no presente estudo encontram-se plotados na Figura 2. Para o ponto de monitoramento localizado a montante da confluência considerou-se o monitoramento da estação BP036 entre 30/01/2019 e 11/03/2019, a partir de quando se adotou a estação PT-52.

Similarmente ao procedimento supracitado utilizou-se a estação BPE2 como complemento para a estação PT-02 nos períodos em que se observou falha na estação, sendo

estes 10/02/2019, 27/02 a 04/03/2019 e 16 a 17/03/2019. Contudo, algumas falhas ainda permaneceram nos dias 22, 23 e 30/03.

As estações PT-03, PT-06 e PT-48 apresentaram falhas no período avaliado, contudo, por não serem coincidentes com outros pontos que possuem dados diários de monitoramento nos dias falhos, não foi possível preencher suas séries.

Na Tabela 1 são apresentados os valores medianos, máximo e mínimos observados nas estações do rio Paraopeba e dos afluentes considerados nessa análise, com o intuito de se conhecer o histórico de qualidade de água neste trecho da bacia antes do evento de ruptura analisado. Destaca-se que se considerou apenas os últimos dez anos de monitoramento das referidas estações, além de terem sido avaliados apenas os dados de janeiro a março presentes na série, sendo esse o período em que se compreende a análise dos dados diários.

**Tabela 1:** Dados da série histórica do primeiro trimestre nos últimos 10 anos para as estações de monitoramento da bacia do Paraopeba consideradas

ESTAÇÃO	Concentração Sólidos Totais (mg/L)		
	MEDIANA	MÁXIMA	MÍNIMA
BP071	274	1504	166
BP086	228	786	105
BP096	89	136	46
BP036	208	642	49
BP068	131	518	43
BP070	189	497	56
BP072	211	497	63

Fonte: Elaborada pelo autor.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Conforme dados de monitoramento apresentados para o trecho a montante da confluência, o rio Paraopeba apresentou em grande parte do período em análise valores de sólidos totais acima de 100 mg/L, sendo a mediana para o período de 158 mg/L. Foram observados 4 grandes picos no período sendo estes 18/02/2019 (441 mg/L), 22/02/2019 (878 mg/L), 18/03/2019 (402 mg/L), 22/03/2019 (564 mg/L). Nos referidos períodos observou-se precipitação na cabeceira da bacia e/ou na região da estação, justificando este incremento.

Na primeira estação a jusante da confluência, PT-09, o maior valor observado, cerca de 130.000 mg/L, ocorreu dia 04/02/2019. Este pico de sólidos ocorreu principalmente por chuvas na região a montante e na própria confluência, carreando materiais depositados nesta região.

Ainda quanto ao PT-09 observa-se que após as primeiras chuvas que elevaram significativamente a concentração de sólidos, essa não registrou valores superiores a 3.000 mg/L de sólidos totais no restante do período, estando a mediana desta série em 593 mg/L.

**Figura 2:** Dados de monitoramento diário das estações do Paraopeba adotadas







Na estação BP068, a aproximadamente 15 km da confluência do rio Paraopeba com córrego Ferro-Carvão, não se observa mais influência do evento do dia 04/02, contudo o dia 31/01 registrou altos valores de CST que não são observados nas estações de montante e não indicam reflexo na estação de jusante.

Embora o dado pudesse ser considerado um erro de medição, a estação de monitoramento da VALE localizada a aproximadamente 1,7 km a jusante da BP086 também registrou altos valores nesta data. A não observação deste pico na CST da estação de jusante sugere então que ocorreram contribuições significativas de sólidos neste trecho devido ao uso da bacia, porém grande parte destes sólidos se depositaram ao longo do trecho.

A mediana da estação BP068 para o período de 30/01 a 11/03/2019 foi de 578 mg/L, superior a mediana do primeiro trimestre dos últimos 10 anos para a estação, que indicou 131 mg/L. Destaca-se que o período de dados analisados foi inferior devido a extensão da série disponibilizada.

Entre as estações BP068 e o próximo ponto de monitoramento, PT-03, observa-se a confluência do ribeirão Sarzedo com o rio Paraopeba. Este ribeirão possui 228 mg/L como mediana de CST dos últimos 10 anos no primeiro trimestre, superior a mediana da série histórica da estação de montante.

O referido trecho apresentou boa aderência entre os dados de montante e jusante, sendo apenas no dia 18/02/2019 observado discrepância significativa entre essas estações: PT-03 registrou 3.865 mg/L, maior valor da série analisada, e BP068 registrou 3.234 mg/L. A mediana para a estação PT-03 foi de 323 mg/L, indicando uma queda de 44% quando comparada com a estação de montante BP068 porém ainda 71% superior a mediana da série histórica considerada para a estação BP070 (189 mg/L).

Entre os pontos PT-03 e PT-06 observa-se o abatimento do pico registrado no dia 18/02/2019, sendo essa também a data do pico na estação PT-06 (2.043 mg/L). Essa estação apresentou muitas falhas no período em análise, mas ainda assim foi possível observar datas em que a concentração de jusante superou significativamente a de montante, como 24/02 e 14/03/2019. Estes incrementos podem estar relacionados principalmente com contribuições pela margem esquerda do Paraopeba onde se encontram as áreas urbanas de Igarapé e São Joaquim de Bicas além de áreas minerárias na cabeceira de alguns afluentes. Ainda assim

observou-se que a mediana da série de monitoramento apresentou queda acentuada quando comparada a estação de jusante, atingindo 153 mg/L.

Por fim avaliou-se o trecho entre o PT-06 e PT-48, onde se encontra a confluência com o rio Betim e a Usina Termelétrica. Observa-se que a CST máxima atingida é uma consequência do pico de 18/02/2019, igual a 1.363 mg/L. Embora ambas estações apresentem muitas falhas a partir do final do mês de março a estação PT-48 se mantém na maior parte do tempo com CST superiores a estação de montante, sugerindo forte influência do rio Betim.

A mediana observada no final do trecho em estudo é de 222 mg/L estando este valor superior à da estação de montante e próximo a mediana do primeiro trimestre dos últimos 10 anos da estação BP072 de 211 mg/L, localizada a 1,7 km a jusante do PT-48.

Quando comparado os dados da PT-48 com o principal afluente do trecho, o rio Betim, observa-se que os valores de CST da mediana da série de monitoramento e os valores de monitoramento máximos e mínimos após 25/02/2019 são menores que os observados na série histórica dos últimos 10 anos para o primeiro trimestre do afluente.

O resumo das concentrações máximas, mínimas e medianas observadas na série dos pontos de monitoramento estudados encontram-se apresentados na Tabela 2.

Recomenda-se que, para estudos futuros, a carga de sólidos totais seja considerada na análise uma vez que, conforme observado por Pinto et al. (2017), a análise conjunta de dados de concentração e vazão proporciona avaliações mais completas e fidedignas da qualidade da água.

**Tabela 2** – Dados de CST para os pontos de monitoramento e período analisado.

ESTAÇÃO	Concentração Sólidos Totais (mg/L)		
	MEDIANA	MÁXIMA	MÍNIMA
PT52/BP036	10	878	138
PT-09	154	129578	593
PT-02/BPE2	183	16133	550
BP068	218	13792	594
PT-03	72	3865	280
PT-06	87	2403	153
PT-48	92	1384	222

Fonte: Elaborada pelo autor.

### **3 CONCLUSÕES**

A análise realizada para concentração de sólidos totais em um trecho de 60 km do rio Paraopeba indica que a bacia do Paraopeba influencia significativamente nesse parâmetro em razão do seu uso e ocupação do solo, uma vez que seus afluentes possuem valores de CST superiores àqueles encontrados ao longo do rio Paraopeba.

Salienta-se ainda que as precipitações na bacia, principalmente no mês de janeiro, causaram constantes oscilações do parâmetro, elevando o valor máximo observado diversas vezes.

Contudo outros fatores como contribuições difusas da bacia para o rio Paraopeba ou qualidade de água dos afluentes refletindo o uso das sub-bacias elevaram as medições observadas diversas vezes, alterando o comportamento esperado e observado durante eventos de precipitação de decaimento da CST ao longo dos trechos estudados.

Por fim observou-se que após 50 km da confluência do córrego Ferro-Carvão com o rio Paraopeba o valor da mediana da série histórica da estação BP072 e a mediana do período analisado do ponto de monitoramento PT-48 são similares, além do referido ponto apresentar mínimas e máximas após 25/02/2019 inferiores a da série histórica do principal afluente do trecho, o rio Betim.

Destaca-se que a análise aqui apresentada se refere apenas a concentração de sólidos totais sendo que para uma melhor compreensão dos efeitos da ruptura da Barragem I na qualidade de água do rio Paraopeba recomenda-se que a análise seja realizada para os demais parâmetros monitorados.

### **REFERÊNCIAS**

ANA – Agência Nacional de Águas. Relatório de segurança de barragens 2017. Brasília: ANA, 2018. 168 p.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Monitoramento Especial da Bacia do Rio Paraopeba- Relatório IV. Belo Horizonte: CPRM, 2019. 97p.

FISRWG (FEDERAL INTERAGENCY STREAM RESTORATION WORKING GROUP). Stream corridor restoration: principles, processes, and practices. FISRWG: Natural Resources Conservations Service(USDA), 1998.637 p.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Informativo nº51. Belo Horizonte: IGAM, 2019. 190 p.

LEMPHERS, N. Could the Hungarian tailings dam tragedy happen in Alberta? Pembina Institute, 2010. Disponível em: < <https://www.pembina.org/blog/417>>. Acesso em: 15 maio 2017.

PINTO, C. C., ANDRADE, S. B., PINTO, E. A., OLIVEIRA, S. M. Trend analysis of the load and concentration of physical, chemical and biological parameters in the Verde River Basin. RBRH, Porto Alegre, v. 22, e40, 2017

RICO, M., BENITO, G. e DÍEZ-HERRERO, A. Floods from tailings dam failures. Journal of hazardous materials, v. 154, n.1, p. 79-87, 2007.

WISE URANIUM PROJECT. World Information Service on Energy. [s.n]. Disponível em: <<http://www.wise-uranium.org/mdaf.html>>. Acesso em: 01 de junho 2019.

---

Recebido em 25/11/2019.

Aceito em 11/12/2019.