

672 - ANÁLISE TEMPORAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO DOCE E TRIBUTÁRIOS APÓS 6 ANOS DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO EM MARIANA/MG

Bárbara Fernanda de Melo Jardim⁽¹⁾

Bióloga pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (DESA/UFMG). Especialista Socioambiental na Fundação Renova.

Brígida Gusso Maioli

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo e Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo, UFES, Espírito Santo, Brasil. Gerente Socioambiental na Fundação Renova.

Fernanda Caliman Passamani

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo e Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável pela Universidade Federal do Espírito Santo, UFES, Espírito Santo, Brasil. Especialista de Monitoramento Hídrico na Fundação Renova.

Érica Cristina Padovani Haller⁽²⁾

Bióloga e Mestre em Zoologia pela Universidade de São Paulo (USP). Gerente de projetos na Tetra Mais Consultoria.

Maria Cláudia Paley Braga

Engenheira Civil pela Universidade São Francisco e pós graduação em Engenharia de Controle da Poluição Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (USP). Sócia-diretora na Tetra Mais Consultoria.

Endereço⁽¹⁾: Rua Professor Mamede, 85 – Minas Brasil - Belo Horizonte - MG - CEP: 30730-270 - Brasil - Tel: (31) 98478-7351 - e-mail: barbara.jardim@fundacaorenova.org

Endereço⁽²⁾: Rua Jerônimo da Veiga, 164, 16º andar Itaim São Paulo – SP - CEP 04536-900 – Brasil - Tel: (11) 2638-6664 / 3071-2721 - e-mail: erica.haller@tetramais.com.br

RESUMO

O rompimento da barragem de Fundão, em Mariana/MG no dia 5 de novembro, promoveu a liberação de aproximadamente 47 milhões de m³ de rejeitos no ambiente. Como consequência, os padrões de qualidade da água dos rios afetados foram alterados, o que restringiu os diversos usos desses mananciais para múltiplas finalidades. Dada à dimensão do desastre ocorrido pelo rompimento da barragem de Fundão, com o volume de rejeitos que desceu o rio e pela extensão de seus desdobramentos, é fundamental um acompanhamento periódico de parâmetros físicos, químicos e biológicos da bacia em termos quali-quantitativos. Desta forma, foi implementado o Programa de Monitoramento Quali-quantitativo Sistemático (PMQQS) pela Fundação Renova. Neste trabalho foram analisados os principais parâmetros físicos e químicos de monitoramento tanto do PMQQS, quanto de monitoramentos já executados historicamente na bacia do Rio Doce, a fim de se identificar tendências na qualidade da água, passados 6 anos do rompimento. As análises de Mann-Kendall e autocorrelação de Spearman indicaram que parâmetro ferro dissolvido, mostra tendência de aumento de suas concentrações mesmo em sub-bacias dos tributários do rio Doce não atingidas por rejeitos, como as dos rios Piranga, Santo Antônio, Caratinga, Manhuaçu e Suaçuí Grande. Estes resultados podem indicar que o aumento observado pode estar relacionado a uma tendência geral na bacia hidrográfica.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade da Água, Programas de Monitoramento, Ferro Dissolvido.

INTRODUÇÃO

Em 5 de novembro de 2015, ocorreu o rompimento da barragem de Fundão, pertencente ao complexo minerário de Germano, no município de Mariana/MG. A barragem continha 50 milhões de m³ rejeitos de mineração de ferro. Trata-se de resíduo classificado como não perigoso e não inerte para ferro e manganês conforme NBR 10.004. Uma parte, aproximadamente 7 milhões de metros cúbicos, ficou retida dentro da própria área da mineradora. O rejeito extravasado atingiu a barragem de Santarém logo a jusante, causando seu galgamento e forçando a passagem de uma onda de lama por 55km no rio Gualaxo do Norte até desaguar nos rios do Carmo e Doce, seguindo até o mar (ANA, 2016).

No trajeto da onda de lama, cerca de 20 milhões de m³ se espalharam por calhas, margens e planícies dos cursos d'água até a Usina Hidrelétrica (UHE) Risoleta Neves, distante 113 km de Fundão. Calcula-se que 10 milhões de m³ tenham se depositado ao longo do reservatório da usina hidrelétrica (UHE) Risoleta Neves. O restante, a parte mais fina do rejeito, passou por esta barragem. A onda de lama atingiu cerca de 550 km da represa da UHE Risoleta Neves, depositando-se ao longo da calha do rio Doce e no estuário (foz do rio Doce) até alcançar o mar (RENOVA, 2018).

Como consequência, as alterações na qualidade da água causaram interrupção no fornecimento de água à população dos municípios e distritos cujos sistemas de abastecimento são diretamente dependentes do rio Doce. Além desse, entre outros impactos do rompimento da barragem que afetaram os usos da água, podem ser destacados os impactos na geração de energia hidrelétrica, na atividade industrial, na irrigação e pecuária, na pesca, na balneabilidade e no turismo.

Nesse sentido, o presente trabalho contém uma avaliação dos monitoramentos do Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS), executado pela Fundação Renova e do monitoramento Águas de Minas, executado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). Esta análise é importante ferramenta para o acompanhamento da situação da qualidade das suas águas e processo de recuperação do Rio Doce, seis anos após o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão. O desenvolvimento desse trabalho contou com a participação da empresa Tetra + Consultoria Ltda.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a avaliação de qualidade da água foram selecionados os parâmetros físicos: cor verdadeira, turbidez, sólidos suspensos totais (SST), sólidos dissolvidos totais (SDT) e condutividade elétrica (CE), por possuírem uma relação de resposta a fatores climáticos, como eventos de precipitação e períodos de seca/chuva. Também foram considerados na análise os parâmetros químicos: alumínio dissolvido (Al), arsênio total (As), chumbo total (Pb), cobre dissolvido (Cu), cromo total (Cr), ferro dissolvido (Fe), manganês total (Mn), níquel total (Ni) e zinco total (Zn). Foi dada especial ênfase aos compostos metálicos, uma vez que a passagem da onda de rejeitos resultante do rompimento da barragem elevou temporariamente as concentrações destes constituintes nos cursos d'água afetados.

Foram selecionados pontos amostrais coincidentes entre os monitoramentos do IGAM e PMQQS, em locais atingidos pelo rompimento e em pontos amostrais não atingidos pelos rejeitos, nos afluentes do rio Doce, agrupados em sete sub-bacias (sub-bacias dos rios Carmo, Piranga, Piracicaba, Santo Antônio, Suaçuí Grande, Caratinga e Manhuaçu). O IGAM já realizava o monitoramento da qualidade das águas em rios da bacia do Rio Doce desde 1997, sendo que os dados possuem uma importância histórica para a avaliação da qualidade das águas.

Os dados do PMQQS são validados pelos critérios de garantia da qualidade/controle da qualidade (QA/QC) do programa, que é acompanhado regularmente pelos órgãos ambientais que compõe o Grupo Técnico de Acompanhamento (GTA) do Programa. Em complemento, para a elaboração de análises robustas, foi realizado o tratamento de dados para os resultados inferiores aos limites de quantificação e para os dados considerados anômalos provenientes de eventos estocásticos.

A fim de se testar as possíveis tendências de aumento/diminuição no valor de cada parâmetro, as séries temporais foram submetidas ao teste de Mann-Kendall e ao teste de autocorrelação de Spearman. Para a realização dos testes, os dados foram separados em períodos de seca e chuva. A região de estudo possui dois períodos distintos de regime pluviométrico: o período chuvoso, que se estende de outubro a março, com

maiores índices de chuva no mês de dezembro (precipitação acumulada variando entre 800 a 1.300 mm); e o período seco, que se estende de abril a setembro, com estiagem mais crítica de junho a agosto (precipitação acumulada variando entre 150 a 250 mm) (ANA, 2015; SRK, 2021).

As análises foram realizadas individualmente para cada trecho da bacia do rio Doce atingido pelo rejeito (trecho Gualaxo, trecho Carmo, Alto, Médio e Baixo) e para cada sub-bacia dos tributários do rio Doce não afetados diretamente pelo carreamento dos rejeitos: sub-bacias do rio Gualaxo do Norte (em seu ponto a montante da área afetada), do rio do Carmo (em seus três pontos não afetados pelos rejeitos), do rio Piranga, do rio Piracicaba, do rio Santo Antônio, do rio Suaçuí Grande, do rio Caratinga, rio Manhuaçu e rio Guandu. Os testes das séries temporais foram realizados no programa PAST (versão 4.11).

RESULTADOS

A comparação temporal por regressão linear mostrou que o ano imediatamente após o rompimento teve diferenças significativas em comparação aos dados históricos para 13 parâmetros, sendo o cromo total a única exceção encontrada, pois não se verificou alteração significativa em nenhum dos trechos avaliados. Considerando todos os trechos e os períodos de seca e chuva separadamente, verificou-se a manutenção de diferenças significativas ao longo do tempo, devendo se considerar que processos de degradação da qualidade da água continuam a ocorrer na bacia, mesmo após o rompimento da barragem, existindo outros fatores de pressão ambiental para além do rompimento.

A bacia do rio Doce funciona como um canal receptor, transportador e autodepurador de rejeitos e efluentes, provenientes da carga de esgoto doméstico e de diferentes atividades industriais, como mineração, siderúrgicas, fábricas de celulose, usinas de açúcar e de álcool, frigoríficos e curtumes. Essas atividades vêm contribuindo para a progressiva perda da qualidade da água do rio Doce e de seus afluentes (ANA, 2001). Na calha principal do rio Doce o impacto sobre a qualidade da água é minimizado devido a maior vazão disponível (ANA, 2016). Entretanto, há registros históricos de valores elevados de coliformes termotolerantes, turbidez e fósforo total, além da presença de alguns metais com valores acima dos limites permitidos, como ferro dissolvido, chumbo total e manganês dissolvido em vários pontos da bacia, conforme apresentado no Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (PIRH, 2010).

A maioria dos parâmetros apresentou tendência à redução dos valores mensurados em algum dos trechos avaliados, o que é uma evidência de que está ocorrendo o processo de recuperação da qualidade de água ao longo do tempo. A exceção a este padrão foi o ferro dissolvido, que mostrou tendência de aumento em quase todos os trechos afetados pelos rejeitos, tanto para os períodos secos quanto para os períodos chuvosos. A análise temporal de tendência nos trechos e sub-bacias não atingidos pelos rejeitos mostrou que, para o ferro dissolvido, mesmo as áreas não afetadas pelo rompimento mostraram, em sua maioria, uma tendência crescente e significativa nas concentrações deste parâmetro. As concentrações de sólidos dissolvidos totais, arsênio e níquel na maior parte das sub-bacias formadas por tributários não atingidos pelos rejeitos também tiveram tendência a aumentar ao longo dos anos, assim como os valores de condutividade elétrica.

Esta tendência de aumento na bacia de forma geral, pode ser explicada, em parte, pelos elevados índices de suscetibilidade à erosão, e a essas características intrínsecas, somam-se o histórico de ocupação da bacia e a utilização intensa do solo para diversos usos. De acordo com o PIRH (2021) uma área de apenas 28.773 km² da bacia do rio Doce (33,4% da área total) possuem cobertura vegetal, sendo a maior parte da área da bacia do rio Doce enquadrada na classe de suscetibilidade erosiva forte (58,4% do total). Esses fatores contribuem grandemente para a remoção dos solos e aceleração dos processos erosivos, carregando cada vez mais sólidos para o leito do rio, principalmente durante o período chuvoso (ANA, 2015). Na *Tabela 1*, podem ser verificados os resultados dos testes de Mann-Kendall e autocorrelação de Spearman, demonstrando a tendência temporal (aumento ↑ ou redução ↓) do parâmetro ferro dissolvido, nos trechos atingidos e nas sub-bacias não atingidas por rejeitos de mineração na bacia do rio Doce. Nas Figuras 1 e 2 podem ser observados os gráficos obtidos pelas comparações das tendências de evolução temporal para o parâmetro ferro dissolvido, nos cenários pré- e pós-rompimento da barragem de Fundão, nos períodos seco e chuvosos. A linha tracejada nos gráficos corresponde à reta obtida por regressão linear.

Tabela 1: Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro ferro dissolvido, nos trechos atingidos e nas sub-bacias não atingidas por rejeitos de mineração na bacia do Rio Doce.

Trecho / Sub-bacia	Período	Rejeito	Estação do ano	Correlação de Spearman*	Teste de Mann-Kendall		
					z	p**	Tendência
Rio Gualaxo do Norte	Pós rompimento	Atingido	Chuva	0,73	2,4	0,02	↑
			Seca	0,5	17	0,07	
		Não atingido	Chuva	0,39	2,1	0,04	↑
			Seca	-0,76	-3,8	0,0001	↓
Rio do Carmo	Pré rompimento	Atingido	Chuva	-0,13	-0,4	0,69	
			Seca	-0,08	-0,1	0,91	
	Chuva		0,38	1,9	0,06		
	Seca		-0,03	0	1		
	Pós rompimento	Não atingido	Chuva	0,63	3,4	0,0006	↑
			Seca	0,22	1,2	0,23	
Alto Rio Doce	Pré rompimento	Atingido	Chuva	-0,35	-1,9	0,053	
			Seca	-0,19	-1,1	0,26	
	Pós rompimento		Chuva	0,8	3,1	0,002	↑
			Seca	0,21	0,5	0,64	
Médio Rio Doce	Pré rompimento	Atingido	Chuva	-0,46	-2,2	0,02	↓
			Seca	0,05	0,2	0,83	
	Pós rompimento		Chuva	0,72	2,7	0,006	↑
			Seca	0,08	0	1	
Baixo Rio Doce	Pré rompimento	Atingido	Chuva	-0,48	-2,3	0,02	↓
			Seca	-0,15	-0,8	0,43	
	Pós rompimento		Chuva	0,45	1,6	0,09	
			Seca	0,16	0,3	0,75	
Rio Piranga	Pré e pós rompimento	Não Atingido	Chuva	0,38	2,3	0,02	↑
			Seca	0,23	1,4	0,16	
Rio Piracicaba	Pré e pós rompimento	Não Atingido	Chuva	0,16	0,9	0,32	
			Seca	0,21	1,4	0,16	
Rio Caratinga	Pré e pós rompimento	Não Atingido	Chuva	0,42	2,3	0,02	↑
			Seca	0,22	1,4	0,16	
Rio Santo Antônio	Pré e pós rompimento	Não Atingido	Chuva	0,59	3,7	0,002	↑
			Seca	0,72	4,4	0,00001	↑

Trecho / Sub-bacia	Período	Rejeito	Estação do ano	Correlação de Spearman*	Teste de Mann-Kendall		
					z	p**	Tendência
Rio Suaçuí Grande	Pré e pós rompimento	Não Atingido	Chuva	0,36	2,2	0,02	↑
			Seca	0,28	1,5	0,12	
Rio Manhuaçu	Pré e pós rompimento	Não Atingido	Chuva	0,33	2,2	0,03	↑
			Seca	0,34	2	0,04	↑
Rio Guandu	Pré e pós rompimento	Não Atingido	Chuva	0,75	25	0,01	↑
			Seca	0,33	6	0,27	

Figura 1: Comparação das tendências de evolução temporal para o parâmetro ferro dissolvido, nos cenários pré- e pós-rompimento da barragem de Fundão, nos períodos secos e chuvosos.
 Fonte: TetraMais, 2022. Nota: os gráficos seguem escalas diferentes.

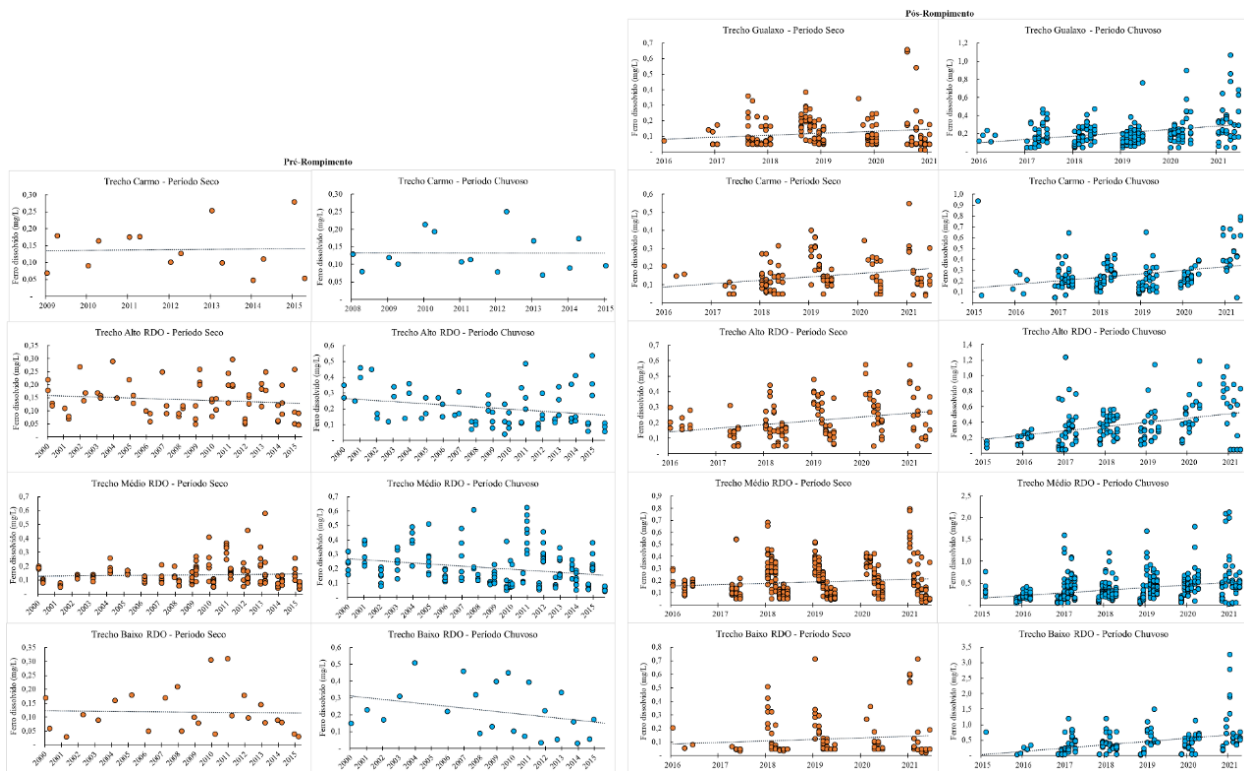
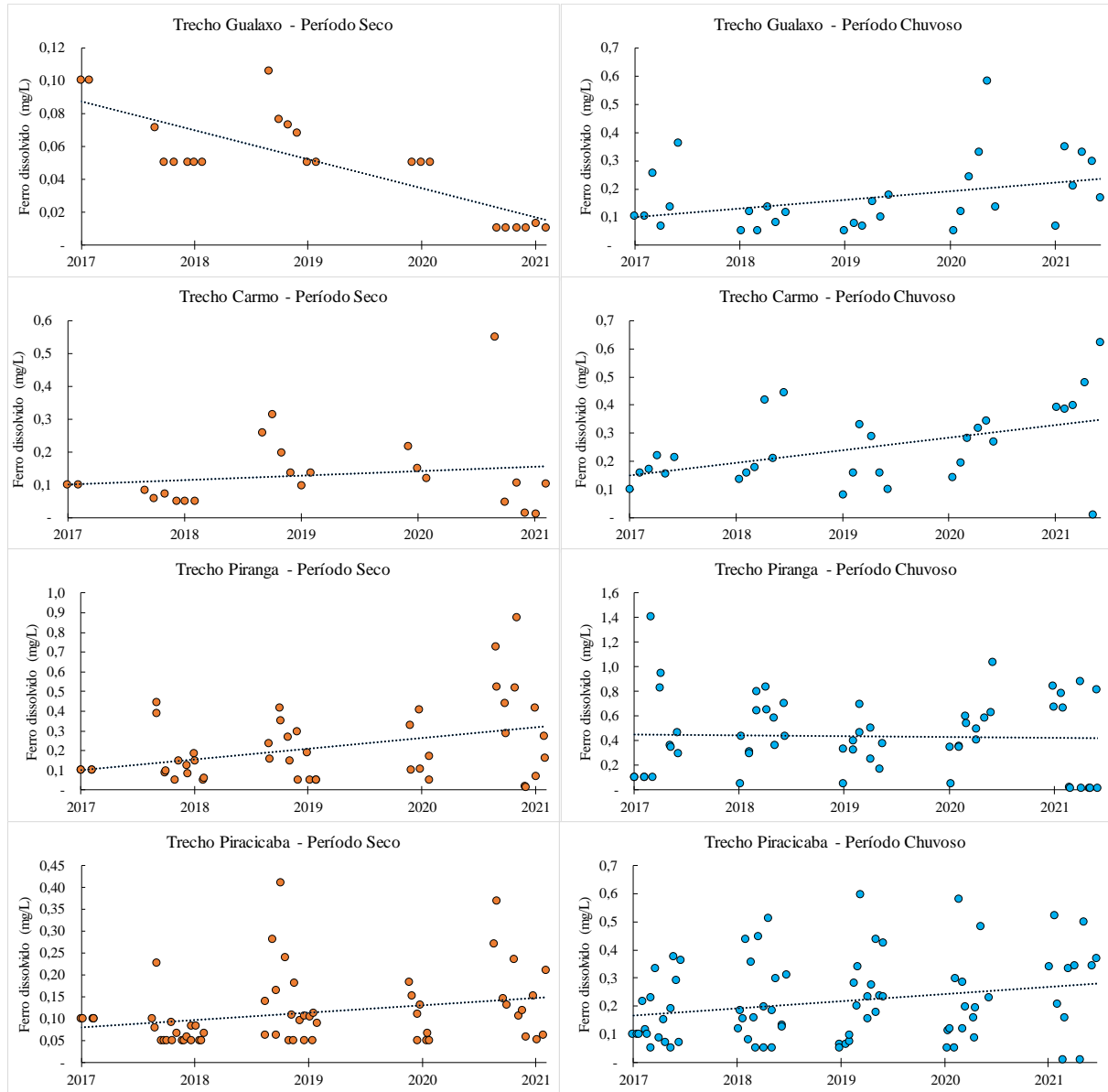
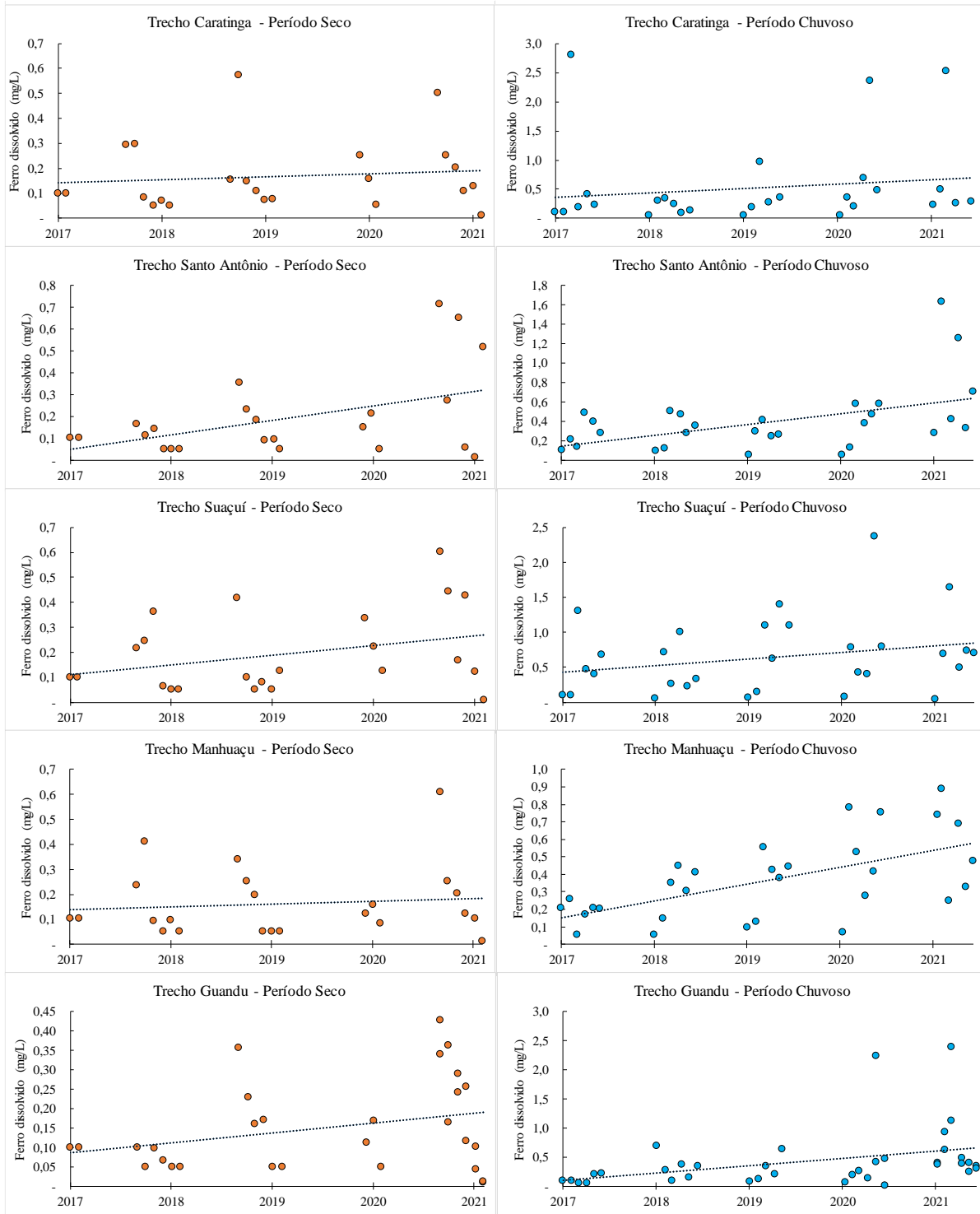


Figura 2: Comparação das tendências de evolução temporal para o parâmetro ferro dissolvido, nos tributários do rio Doce e trechos das sub-bacias não atingidas pelos rejeitos, nos períodos secos e chuvosos

Fonte: TetraMais, 2022. Nota: os gráficos seguem escalas diferentes.





CONCLUSÕES

Conclui-se que todos os trechos mostram evidências de estarem em processo de recuperação, ou seja, apresentam tendência de retorno às condições originais. O parâmetro ferro dissolvido, entretanto, mostra tendência de aumento de suas concentrações mesmo em sub-bacias dos tributários do rio Doce não atingidas por rejeitos, como as dos rios Piranga, Santo Antônio, Caratinga, Manhuaçu e Suaçuí Grande; e este resultado pode indicar que o aumento observado pode estar relacionado a uma tendência geral da bacia hidrográfica em resposta ao uso e ocupação do solo por atividades humanas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA - Agência Nacional de Águas. Bacias Hidrográficas do Atlântico Sul – Trecho Leste: sinopse de informações do Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia e Sergipe. Brasília: ANA, 2001. (Série: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – Documentos).
2. ANA – Agência Nacional das Águas (Brasil). Encarte Especial sobre a Bacia do Rio Doce: Rompimento da Barragem em Mariana/MG. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Brasília, 2015
3. ANA - Agência Nacional de Águas. Encarte Especial Sobre a Bacia do Rio Doce-Rompimento da Barragem em Mariana MG. (Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos - SPR/Ministério de Meio Ambiente, Brasília DF), 2016.
4. FUNDAÇÃO RENOVA. Relatório Trimestral do Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático de Água e Sedimentos – PMQQS. 2018.
5. PIRH, 2010. CONSÓRCIO ECOPLAN – LUME. Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce e Planos de Ações para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Âmbito da Bacia do Rio Doce. Disponível em: <http://www.cbhdoce.org.br/wpcontent/uploads/2016/12/PIRH_Doce_Volume_I.pdf>.
6. PIRH, 2021. ENGECORPS ENGENHARIA S.A. Revisão e Atualização do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce (PIRH Doce), Incluindo seus Respective Planos Diretores de Recursos Hídricos (PDRHs)/Planos de Ações de Recursos Hídricos (PARHs), e Proposta de Enquadramento dos Corpos de Água da Bacia em Classes segundo os Usos Preponderantes e Atualização do Enquadramento dos Cursos d'Água da Bacia do Rio Piracicaba. PP03 CONSOLIDAÇÃO DO ESTADO DA ARTE SOBRE A SITUAÇÃO E A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA - 1454-ANA-03-RH-RT-0001-R1.
7. SRK CONSULTING BRASIL. Análise tempo-espacial da qualidade das águas do Rio Doce – Dados IGAM. Preparado para Fundação Renova. Belo Horizonte MG. Projeto nº SRKBR_MSA_0001_OS_0001_2021_75, 17 de maio de 2021.
8. TETRA + Consultoria. Análise tempo-espacial da qualidade das águas do Rio Doce e Tributários – Dados IGAM e PMQQS. Preparado para Fundação Renova. Belo Horizonte MG. Dezembro de 2022.