

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

AValiação DA TOXICIDADE CRÔNICA DO ELUTRIATO DO RIO DOCE APÓS O ROMPIMENTO DE BARRAGEM DE MINERAÇÃO DE FERRO

Raquel Moura Ferraço¹, Nayra Bento Côgo², Higor Santos de Oliveira³, Diego
Lacerda de Souza⁴, Cristiane dos Santos Vergilio⁵

^{1, 2, 3, 5}Universidade Federal do Espírito Santo/Laboratório de Ecotoxicologia, Alto Universitario, S/N -
Guararema, Alegre - ES, 29500-000 – Alegre - ES, Brasil, raquelferraco@gmail.com,
nayracogo@gmail.com, higorso.20@gmail.com, cristiane.vergilio@ufes.br.

⁴Laboratório de Ciências Ambientais, Centro de Biociências e Biotecnologia, Universidade Estadual
do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Avenida Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia, 28013-602,
Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil, lacerdadesouza28@gmail.com.

Resumo

No dia 05 de novembro de 2015 ocorreu o rompimento da barragem de Fundão – MG, que liberou um grande volume de rejeito ao longo do rio Doce, até a sua foz, no Espírito Santo. Com a deposição do rejeito, o sedimento de fundo do rio sofreu alterações químicas e físicas, em especial em relação ao aumento dos níveis de alguns elementos como Fe, Mn e Cr. A toxicidade do sedimento pode ser avaliada a partir de métodos como o elutriato, que seria capaz de representar a fração solúvel dos contaminantes presentes no sedimento. Assim, o presente estudo avaliou as diferenças temporais na toxicidade crônica do elutriato obtido a partir do sedimento do rio Doce, através de ensaio com a alga *Raphidocelis subcapitata*, correlacionando com os dados das concentrações de metais. Os resultados obtidos para *Raphidocelis subcapitata* demonstraram que mesmo após cinco anos após o rompimento da barragem de Fundão, as amostras de elutriato possuem potencial de toxicidade crônica. Com isso, estudos a longo prazo ainda são necessários na região.

Palavras-chave: Algas. Ensaios ecotoxicológicos. Metais. Sedimento. Rejeito.

Área do Conhecimento: Biologia Geral.

Introdução

Em 05 de novembro de 2015, a barragem de Fundão, localizada no distrito de Bento Rodrigues, no município de Mariana em Minas Gerais, se rompeu, o que ocasionou a liberação de rejeitos de minério de ferro no meio ambiente. Esse rejeito atingiu a barragem de Santarém, em seguida o rio Gualaxo do Norte e depois o rio Carmo, até chegar no rio Doce, seguindo o seu fluxo até a sua foz, no Oceano Atlântico. A barragem continha um volume superior a 45 milhões de m³ de rejeitos, que percorreram e impactaram 663,2 km de corpos hídricos entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo (IBAMA, 2015).

Ao longo do tempo, o rejeito liberado sofreu deposição no sedimento de fundo do rio Doce, alterando a sua carga sedimentar. Com isso, o sedimento passou por mudanças químicas e físicas, especialmente nos níveis de Fe e Mn (REIS, ROESER & SANTIAGO, 2020). Isso por que o rejeito possui granulometria pedrominante silte-argilosa, por isso, ao entrar em contato com o sedimento arenoso do rio Doce, fez com que houvesse aumento das frações mais finas (DUARTE et al., 2021). Ainda que o rio Doce esteja voltando com a composição de granulometria inicial, a presença de materiais finos ainda são encontrados em determinados lugares, podendo ser movidos outra vez através de ressuspensão (SARTORI et al., 2023).

Os ensaios ecotoxicológicos são fundamentais para analisar o potencial tóxico dos corpos hídricos, uma vez que os poluentes presentes nesses ecossistemas podem ser danosos aos organismos. Em conjunto, para uma avaliação mais realística do ambiente, os impactos para a biota devem ser considerados. Assim, os ensaios de toxicidade crônica, vão auxiliar na análise dos efeitos gerados no ambiente sobre funções biológicas, englobando parte ou todo o ciclo de vida de um ser vivo (KAPUSTA, 2008). Nesse sentido, a utilização de bioindicadores se mostra como uma ferramenta importante, uma

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

vez que são sensíveis a poluições, alterações do habitat e do ambiente (CALLISTO & GONÇALVES, 2002). Como a alga *Raphidocelis subcapitata*, antigamente denominada *Pseudokirchneriella subcapitata* que desempenha um papel fundamental nos ecossistemas aquáticos, convertendo energia e fazendo a manutenção da cadeia alimentar (GALDIERO et al., 2015), por isso é usada para auxiliar no monitoramento ambiental.

Considerando que o rejeito do rompimento da barragem do Fundão, sofreu decantação para o sedimento de fundo do rio Doce, sendo capaz de ressuspender para a coluna d'água e ser acumulado pelos organismos, o presente estudo visa avaliar a toxicidade temporal crônica, com o uso da alga *Raphidocelis subcapitata*, do elutriato do rio Doce preparado a partir do sedimento dos anos de 2021 e 2022, e com isso representar o risco para a biota da fração mais biodisponível do sedimento.

Metodologia

As amostras de sedimento foram coletadas em duas campanhas realizadas após o rompimento da barragem de minério de ferro de Fundão. Ambas ocorreram em dez pontos de coleta, entre 21 a 29 de junho de 2021, no período de seca e 10 a 19 de fevereiro de 2022, no período chuvoso (Tabela 1).

Tabela 1 - Descrição sobre os pontos de coleta, localização geográfica em UTM, e descrição dos ensaios realizados com as amostras de sedimento. As amostras foram coletadas nos anos de 2021 e 2022 ao longo do trajeto do rejeito. As coordenadas geográficas estão apresentadas no sentido leste e norte.

Ano	Código dos Pontos	Descrição dos Pontos	E (LESTE)	N (NORTE)
2021/ 2022	REG	Regência - ES	1043298	7819436
	LIN	Linhares - ES	1018371	7846776
	COL	Colatina - ES	958215	7834106
	AIM	Aimorés - MG	910399	7844511
	RES	Resplendor - MG	893779	7858817
	GOV	Governador Valadares - MG	820941	7909380
	IPA	Ipatinga - MG	764422	7844152
	RDO	Rio Doce - MG	720860	7759667
	BAR	Barra Longa - MG	701962	7755663
	BEN	Bento Rodrigues - MG	665928	7761090

Fonte: a autora.

As amostras de sedimento superficiais foram obtidas entre 2 a 6 cm através de amostrador de fundo do tipo Van Veen. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos e guardado em refrigeração de - 4°C, até o instante das análises. Em todos os pontos de coleta foram mensurados os parâmetros físico-químicos (pH, oxigênio dissolvido, condutividade e temperatura).

As determinações dos elementos-traço do sedimento foram feitas a partir do método 3015A da USEPA (USEPA, 1996). Uma alíquota de 0,5 g de sedimento liofilizada e homogeneizada foi digerida através da adição de ácidos concentrados (9mL de HNO₃ + 4 mL de HF + 2mL de HCl) em tubos de teflon. Os extratos foram mantidos em repouso *overnight* em temperatura ambiente, encaminhados para o forno micro-ondas (Mars X-press, CEM) por 25 minutos a 175 °C e 1600W de potência. Em seguida, para a neutralização do HF, foram inseridos 25 mL de ácido bórico (H₃BO₃) e os tubos retornaram ao micro-ondas por 10 minutos, com uma temperatura de 170 °C. O extrato final foi filtrado em papel Whatman 40 e aferido a um volume final de 50 mL com HNO₃ 0,5N e mantido sob refrigeração, em 5 °C, até ser analisado. Em cada grupo de 5 amostras, foram feitas triplicatas analíticas, para que fosse possível um controle analítico de precisão, considerando assim, os coeficientes de variação menores que 10%. Seguindo as mesmas etapas das amostras, foram analisados bancos analíticos em cada 10 grupos de amostras. A determinação dos elementos-traço (Fe, Al, Mn, Ba, Zn, Cr, Cu, Pb, Cd e As) nas amostras de sedimento foi realizada através de espectrometria de emissão óptica com

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

plasma acoplado (ICP-OES, Varian 720-ES) no Laboratório de Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

Para a execução dos ensaios ecotoxicológicos, os sedimentos foram solubilizados para o preparo do elutriato, seguindo a metodologia da NBR 15469 (ABNT, 2015). Para o elutriato, foi necessário a mistura de 1:4 de partes do sedimento em meio L. C. Ólgo, seguido de agitação manual por 30 minutos e 1 hora de decantação. Depois dessas etapas, foi retirada apenas a fração líquida (elutriato) das amostras.

O teste de toxicidade crônica com a microalga de água doce *R. subcapitata* foi realizado de acordo com a metodologia proposta pela ABNT NBR 12648:2018. Para os ensaios, dez repetições foram preparadas em tubos estéreis, contendo somente com meio LC Ólgo (no grupo controle) ou 10 mL de elutriato de cada um dos pontos amostrais.

A concentração de células de 1×10^4 foi adicionada a cada réplica e o ensaio foi mantido na estufa incubadora BOD sob luz fluorescente branca contínua, na temperatura de 24 °C, durante 96 horas com agitação diária. Os parâmetros físico-químicos (pH, condutividade e oxigênio dissolvido) foram medidos no início e ao final do experimento.

Ao final do ensaio, cada réplica foi contada no microscópio óptico por meio da câmara Neubauer na objetiva de 40x e os resultados só foram considerados válidos, quando o aumento da biomassa algácea média do controle foi 100 vezes superior à biomassa inicial, para 96 h, e o coeficiente de variação da biomassa algácea entre as réplicas do controle for menor ou igual a 20% (ABNT NBR 12648, 2018).

O número de células contadas foi convertido em percentual de células vivas em relação ao grupo controle. Os dados quantitativos dos experimentos de *Raphidocelis subcapitata* foram avaliados através de Análise de Variância (One-Way ANOVA), seguida pelo teste de comparações múltiplas de Tukey, sendo considerada uma margem de erro de 5%. Os cálculos e os gráficos foram realizados com a utilização do software Graphpad Prism.

Resultados

No presente estudo foram determinadas no sedimento as concentrações de Fe, Al, Mn, Ba, Zn, Cr, Cu, Pb, Cd, As (Tabela 2).

Tabela 2 - Concentração de metais (mg/kg) dos pontos de coleta de sedimento em comparação com os níveis de referência da legislação brasileira (CONAMA 454/2012) e internacionais (NOAA - National Oceanic & Atmospheric Administration). CONAMA 454/2012 – Nível 1: Limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota. CONAMA 454/2012 – Nível 2: Limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota. NOAA TEL: Threshold Effect Limit - Nível de efeito limiar para a biota. NOAA PEL: Probable Effect Limit – Nível de efeito provável para a biota.

Ano da coleta	Local da Coleta	Descrição do ponto	Elementos (µg/g)									
			Fe	Al	Mn	Ba	Zn	Cr	Cu	Pb	Cd	As
2021	Regência	Rio Doce	7.185,7	11.841,7	30,1	150,1	37,9	6,2	2,4	1,9	-	<0,900
	Linhares	Rio Doce	21.460,2	25.207,0	215,9	115,4	8,9	23,1	6,5	2,7	-	<0,900
	Colatina	Rio Doce	23.652,9	30.662,3	140,2	245,7	14,2	22,3	5,7	3,0	-	<0,900
	Aimorés	Rio Doce	36.804,9	34.764,8	306,1	559,5	20,5	32,5	9,5	12,6	0,1	<0,900
	Resplendor	Rio Doce	20.710,2	33.454,4	128,3	233,9	6,0	15,8	3,8	8,8	-	<0,900
	Gov. Valadares	Rio Doce	73.097,6	31.597,7	382,4	197,8	20,4	30,2	4,3	5,5	0,4	<0,900
	Ipatinga	Rio Doce	123.066,9	49.032,2	119,6	227,4	10,7	38,1	11,5	5,1	0,6	9,3
	Rio Doce	Rio Doce	41.689,5	21.931,7	279,7	218,6	14,2	30,6	5,0	7,9	0,2	23,9
	Barra Longa	Rio Gualaxo	155.082,9	17.445,3	780,0	197,8	10,5	56,7	8,6	5,3	0,6	8,0
Bento Rodrigues	Córrego Santarém	196.873,2	14.244,5	1.305,0	235,4	10,1	19,0	6,3	2,0	1,1	120,1	
2022	Regência	Rio Doce	32.666,0	44.251,8	286,8	152,9	40,7	38,5	9,3	6,0	0,7	11,0
	Linhares	Rio Doce	82.321,7	34.217,9	754,7	144,6	67,7	97,2	28,9	21,4	1,6	14,2
	Colatina	Rio Doce	86.135,4	48.317,7	956,7	204,6	69,5	91,7	26,3	17,6	1,6	14,7
	Aimorés	Rio Doce	18.396,1	26.337,2	205,5	422,0	22,5	30,2	7,4	3,5	0,5	<0,9
	Resplendor	Rio Doce	26.859,8	25.711,1	237,2	211,3	23,7	26,4	4,7	3,0	0,6	<0,9

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Gov. Valadares	Rio Doce	24.783,6	11.351,2	287,9	181,1	27,2	28,3	5,6	5,8	0,7	5,5
Ipatinga	Rio Doce	73.152,0	19.663,7	504,7	319,1	42,1	55,4	11,8	12,5	1,9	6,2
Rio Doce	Rio Doce	35.730,2	18.362,4	572,7	264,6	27,7	60,0	11,2	5,9	0,8	9,6
Barra Longa	Rio Gualaxo	58.658,6	23.932,6	585,0	216,8	27,7	39,9	11,0	6,8	1,2	1,3
Bento Rodrigues	Córrego Santarém	85.843,7	38.827,8	421,1	134,4	36,2	38,3	11,8	13,2	1,6	<0,9
CONAMA 454/2012 - Nível 1 e NOAA TEL		-	-	-	-	123,0	37,3	35,7	35,0	0,6	5,9
CONAMA 454/2012 - Nível 2 e NOAA PEL		-	-	-	-	315,0	90,0	197,0	91,3	3,5	17,0

Fonte: a autora.

As concentrações de metais no sedimento da foz do rio Doce foram comparadas com níveis de referência nacionais estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA 454/12, onde se define o nível 1 como a limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota, e nível 2 como o nível limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota. Os valores obtidos no presente estudo, também foram comparados com níveis de referência internacionais estabelecidos pela Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (em inglês: National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA) que estabelece os níveis limiares (TEL) e de provável efeito (PEL) para a biota.

Os níveis dos elementos dos dois anos apresentaram valores preocupantes, sendo superiores aos estabelecidos pelo CONAMA nº 454/2012 Nível 1 e pelo NOAA TEL para Ipatinga (2021 e 2022), Barra Longa (2021 e 2022), Regência (2022), Rio Doce (2022) e Bento Rodrigues (2022), o Cd em Governador Valadares (2022), Ipatinga (2022), Barra Longa (2022), Bento Rodrigues (2021 e 2022), Regência (2022), Linhares (2022), Colatina (2022) e Rio Doce (2022), por fim o As em Regência (2022), Linhares (2022), Colatina (2022), Ipatinga (2022) e Rio Doce (2022).

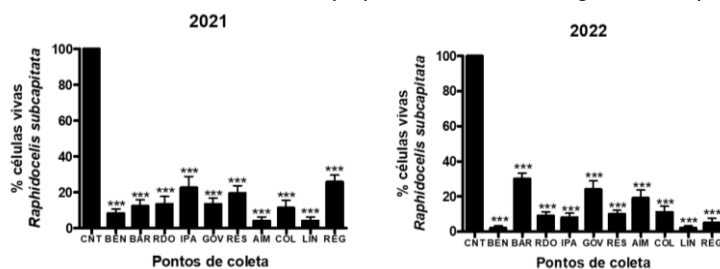
Em muitos locais foram observados valores mais críticos, acima do estabelecido pela Resolução CONAMA nº 454/2012 Nível 2 e pelo NOAA PEL, os valores de Cr estavam mais elevados em Linhares (2022) e Colatina (2022), já os teores de As em Rio Doce (2021) e Bento Rodrigues (2021).

Relacionando os valores de Fe, Al e Mn, com os dados de Vicq et al. (2015), do sedimento coletado antes do rompimento da barragem no Quadrilátero ferrífero, no atual estudo, esses metais apresentaram uma porcentagem muito mais elevada porém, a quantidade de Fe, por exemplo, já ocorria antes do rompimento, principalmente por ações de intemperismo e enriquecimento desse metal, se intensificando ainda mais após a onda de rejeitos se espalhar.

As alterações no ambiente aquático fazem com que haja desestruturação do meio físico-químico e mudanças no funcionamento natural das comunidades biológicas. As algas apresentam características que possibilitam identificação da presença de contaminantes no ambiente aquático, além disso, elas podem remover alguns poluentes do mesmo (MARQUES & AMÉRICO-PINHEIRO, 2017).

Os ensaios de toxicidade crônica com alga, mostraram que mesmo após cinco anos após o rompimento da barragem de Fundão, a fração elutriado de todos os pontos de coleta ao longo da calha principal do rio Doce possuem potencial de toxicidade crônica (Figura 1).

Figura 1 - Porcentagem de células vivas de *Raphidocelis subcapitata* e os valores de significância dos pontos coletados nos anos de 2021 e 2022. Os (***) indicam nível de significância $p < 0,001$.



Fonte: a autora.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Discussão

O rejeito liberado possui metais em sua constituição que podem se acumular no sedimento do rio através de um processo de decantação, mas eventualmente esses elementos acabam sofrendo resuspensão para a coluna d' água (COTTA; REZENDE & PIOVANI, 2006). No ano de 2022, Cr, Cd e As, na maioria dos pontos apresentaram valores acima de NOAA TEL e da Resolução CONAMA, provavelmente porque a coleta dessas amostras foram feitas no período de chuva, ou seja, houve ressuspensão desses elementos, fazendo com que eles estivessem em maiores concentrações. No ano de 2021, as coletas ocorreram durante o período seco, juntamente com uma tendência de menor nível de alguns elementos-traço no sedimento, o que pode estar envolvido ao menor efeito tóxico observado em comparação com os mesmos pontos em 2022.

Outro fator a ser considerado é que a fração elutriado possui elevada turbidez que pode dificultar a captação da luz para realização da fotossíntese dos organismos (IBAMA, 2015) fazendo com que a porcentagem de células vivas seja afetadas.

Além disso, a inibição do crescimento das algas, e consequentemente a queda no número de células vivas, pode acontecer devido ao contato com diferentes concentrações de metais, como Cr e Cd, uma vez que podem induzir a inibição da esterase (já que os metais, conseguem interagir com o centro ativo das esterases e até mesmo alterar a forma das enzimas, o que provoca diminuição da atividade esterásica), queda na quantidade de clorofila a, perturbação na atividade fotossintética e ter a integridade da membrana perdida, devido a perturbações fisiológicas. Como foi observado por Machado e colaboradores (2015), em um estudo com *Pseudokirchneriella subcapitata* (atual *Raphidocelis subcapitata*) mediante a diferentes concentrações de metais.

Assim, os resultados apresentados após cinco anos do rompimento da barragem, ainda são preocupantes e por isso, são necessários estudos a longo prazo, já que os rejeitos podem sofrer ressuspensão e continuar atingindo os organismos presentes no local.

Conclusão

Após cinco anos do rompimento da barragem de Fundão, as concentrações de elementos no sedimento ainda demonstram preocupação, pois foram observados níveis dos elementos Cr, Cd e As acima dos limites estabelecidos pela legislação nacional (Resolução CONAMA 454/2012) e internacional (NOAA TEL e PEL). Flutuações nos níveis dos elementos ainda são observadas ao longo do tempo, com tendência de aumento das concentrações no período chuvoso, o que desperta preocupação em relação à possível ressuspensão dos elementos do sedimento. Os resultados dos ensaios ecotoxicológicos com a alga *Raphidocelis subcapitata* demonstraram que as amostras de elutriado de 2021 e 2022 possuem potencial de toxicidade crônica. Com isso, estudos a longo prazo ainda são necessários na região, uma vez que o rejeito acumulado no sedimento tem potencial de sofrer ressuspensão e induzir efeitos tóxicos crônicos para a biota local.

Referências

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 12648:2018. Ecotoxicologia aquática - Toxicidade crônica - Método de ensaio com algas (Chlorophyceae).** 27p, 2018.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15.469: **Ecotoxicologia aquática - Preservação e preparo de amostras.** 7p. 2007.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 454, de 1 de novembro de 2012.** Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional.

CALLISTO, M.; GONCALVES, J. **A vida nas águas das montanhas.** Ciência Hoje, v. 31, n. 182, p. 68-71, 2002.

CARVALHO, Marllon Santos de et al. **Concentração de metais no rio Doce em Mariana, Minas Gerais, Brasil.** Acta Brasiliensis, v. 1, n. 3, p. 37-41, 2017.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

COTTA, Jussara Aparecida Oliveira; REZENDE, Maria Olímpia Oliveira; PIOVANI, Mônica R. **Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira**: PETAR, São Paulo, Brasil. *Química nova*, v. 29, p. 40-45, 2006.

DUARTE, Eduardo Baudson et al. Trace metals in Rio Doce sediments before and after the collapse of the Fundão iron ore tailing dam, Southeastern Brazil. **Chemosphere**, v. 262, p. 127879, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127879>

GALDIERO, E; MASELLI, V.; FALANGA, A.; GESUELE, R.; GALDIERO, S.; FULGIONE, D.; GUIDA, M., Integrated analysis of the ecotoxicological and genotoxic effects of the antimicrobial peptide melittin on *Daphnia magna* and *Pseudokirchneriella subcapitata*, **Environmental Pollution**, v. 203, p. 145-152, 2015.

IBAMA, 2015. **Laudo técnico Preliminar: Impactos Ambientais Decorrentes do Desastre Envolvendo O Rompimento da Barragem de Fundão, Em Mariana, Minas Gerais** [Preliminary Technical Report: Environmental Impacts of the Disaster Involving the Disruption of Fundão Dam in Mariana, Minas Gerais].

KAPUSTA, Simone Caterina. **Bioindicação ambiental**. Porto Alegre: Escola Técnica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008. Disponível em: https://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/716/Bioindicacao_PB.pdf?sequence=3&isAllowed=y

MACHADO, Manuela D.; LOPES, Ana R.; SOARES, Eduardo V. Responses of the alga *Pseudokirchneriella subcapitata* to long-term exposure to metal stress. **Journal of Hazardous Materials**, v. 296, p. 82-92, 2015.

MARQUES, Sâmia Momesso; AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê. Algas como bioindicadores da qualidade da água. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 10, n. 19, 2017.

NOAA Screening Quick Reference Tables. Personal Author(s): Buchman, Michael F. Corporate Authors(s): United States, National Oceanic and Atmospheric Administration., Hazardous Materials Response and Assessment Division; United States, National Ocean Service.; United States, National Oceanic and Atmospheric Administration. 1999. Disponível em <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/8310>.

REIS, Deyse Almeida dos; ROESER, Hubert Mathias Peter; SANTIAGO, Aníbal da Fonseca. Impacto ambiental nos sedimentos do tributário do Rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, p. e01921895, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i2>.

SARTORI, Échily et al. Trace metal concentration along the Brazilian coast: An assessment of the influence of the Doce River plume. **Marine Pollution Bulletin**, v. 188, p. 114640, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114640>

USEPA, 1996. **Método EPA 3050B (SW-846)**: Digestão Ácida de Sedimentos, Lamas e Solos. 12.

VICQ, Raphael de. et al. Iron Quadrangle stream sediments, Brazil: geochemical maps and reference values. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, p. 4407-4417, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4508-2>

Agradecimentos

Ao financiamento fornecido pela CHAMADA FAPES/FAPEMIG/FUNDAÇÃO RENOVA - (Termo de Outorga: 006/2021) (Processo: 2021-5KQR9) por viabilizar o desenvolvimento desse projeto.