

IMPACTO DOS METAIS PESADOS ASSOCIADOS AO ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO NA RESISTÊNCIA ANTIMICROBIANA: RELATOS DO BRASIL

L. L. F. OLIVEIRA¹, S. S. ALCANTARA¹, R. S. CALDEIRA¹, A. K. S. MACEDO¹, H. B. SANTOS¹, M. C. PAIVA¹, R. G. THOME¹, F. M. D. CHEQUER^{1*}

Universidade Federal de São João del-Rei¹

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3514-2132>*

farahchequer@ufsj.edu.br*

Submetido 20/06/2023 - Aceito 19/03/2024

DOI: 10.15628/holos.2024.15611

RESUMO

Os rejeitos de mineração possuem forte presença de metais pesados em sua composição, sendo que estes elementos podem estar associados com a evolução e disseminação da resistência antimicrobiana. O objetivo deste trabalho foi analisar estudos que descrevam a relação entre bactérias recuperadas de locais impactados pelos rejeitos de mineração decorrentes do rompimento das barragens de Fundão e Mina Córrego do Feijão e o desenvolvimento de resistência antimicrobiana. Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, utilizando as bases de dados PubMed, BVS, *Science Direct* e *Web of Science*, e os descritores “antimicrobial resistance”, “heavy metal”, “dam” e “Brazil” (inglês) e “resistência antimicrobiana”, “metal pesado”, “barragem” e “Brasil”

(português). Foram selecionados seis artigos, sendo quatro referentes à barragem de Fundão e dois à Mina Córrego do Feijão. Todos os trabalhos sugeriram que a contaminação ambiental por metais pesados, decorrentes dos rejeitos de mineração liberados após o rompimento das barragens, favoreceu o aparecimento de genes de resistência a antimicrobianos, ou seja, estão relacionados com a pressão seletiva exercida pelos metais pesados. Desastres como estes abrem questionamentos acerca da interface da resistência antimicrobiana em ambientes que têm metais pesados como contaminantes, cujo conhecimento é de grande relevância visto que a resistência antimicrobiana se configura como um grave problema de saúde pública.

PALAVRAS-CHAVE: Resistência Bacteriana a Antibióticos, Antimicrobiano, Barragem, Contaminação ambiental.

IMPACT OF HEAVY METALS ASSOCIATED WITH THE COLLAPSE OF MINING DAMS ON ANTIMICROBIAL RESISTANCE: REPORTS FROM BRAZIL

ABSTRACT

Mining tailings have a strong presence of heavy metals in their composition, and these elements may be associated with the evolution and spread of antimicrobial resistance. The objective of this work was to analyze studies that describe the relationship between bacteria recovered from sites impacted by mining tailings resulting from the collapse of the Fundão and Córrego do Feijão Mine dams and the development of antimicrobial resistance. This is an integrative literature review, using the PubMed, VHL, *Science Direct*, and *Web of Science* databases, and the descriptors “antimicrobial resistance”, “heavy metal”, “dam” and “Brazil” (English) and “resistência antimicrobiana”, “metal pesado”, “barragem” and “Brasil”

(Portuguese). Six articles were selected, four referring to the Fundão dam and two to the Córrego do Feijão Mine. All works suggested that environmental contamination by heavy metals, resulting from mining waste released after the dams collapsed, favored the appearance of antimicrobial resistance genes, that is, they are related to the selective pressure exerted by heavy metals. Disasters such as these raise questions about the interface of antimicrobial resistance in environments that have heavy metals as contaminants, the knowledge of which is of great relevance since antimicrobial resistance is a serious public health problem.

KEYWORDS: Bacterial Resistance to Antibiotics, Antimicrobial, Dam, Environmental contamination.



1 INTRODUÇÃO

A mineração é uma das atividades econômicas mais importantes do Brasil (Penna, Martins & Silveira, 2022), onde o estado de Minas Gerais (MG) se configura como pioneiro neste setor, sendo responsável por cerca de 50% do valor da produção minerária do país (Passos, Coelho & Dias, 2017). Durante o processo de mineração e beneficiamento, grande quantidade de rejeitos é gerada (Lopes, Rodovalho & Hajj, 2022; Almeida et al., 2021; Mendes et al., 2019), os quais são armazenados em barragens de contenção. Porém, devido a eventos naturais (por exemplo abalos sísmicos) ou a falhas de planejamento na construção ou manutenção, as barragens são passíveis de rompimento, liberando seus resíduos no ambiente aquático (IBRAM, 2016). Isto se torna preocupante uma vez que estes rejeitos podem conter elementos químicos tóxicos, destacando-se os metais pesados (Paes et al., 2023).

O estado de Minas Gerais está marcado por eventos trágicos relacionados à atividade mineradora e até o ano de 2022, oito rompimentos de barragens de mineração ocorreram (Lacaz, Porto & Pinheiro, 2017; Barbosa & Amaral, 2022). Dois dos desastres mais recentes, o rompimento da barragem de Fundão (Mariana-MG) em cinco de novembro de 2015 e o da barragem Mina Córrego do Feijão (Brumadinho-MG) em 25 de janeiro de 2019, ocorridos em um período curto entre eles, trouxeram grande impacto social e ambiental e apontam para a necessidade de vigilância da segurança das barragens (Milanez, Ali & Oliveira, 2021).

O rompimento da barragem de Fundão causou a liberação de cerca de 34 milhões de metros cúbicos (m³) de rejeitos de mineração à bacia do rio Doce (IBAMA, 2015), enquanto que após a falha da barragem Mina Córrego do Feijão, aproximadamente 11,7 milhões de m³ de rejeitos de mineração foram lançados ao rio Paraobeba, bacia do Rio São Francisco (Porsani, Jesus & Stangari, 2019). Após ambos os desastres, foram relatados aumento na concentração de vários metais pesados ao longo das águas dos rios afetados, destacando-se de Ferro (Fe), Manganês (Mn), Alumínio (Al) e Cádmiio (Cd) (IGAM, 2016; IGAM, 2019; Cionek, Alves, Tófoli, Rodrigues-Filho & Dias, 2019; Macêdo et al., 2020).

Os metais pesados apresentam alta toxicidade mesmo em baixas concentrações e são altamente recalcitrantes no ambiente (Guo et al., 2022). Em seres humanos, estes elementos podem estar associados a vários problemas de saúde, podendo levar desde intoxicações até casos mais graves relacionados a carcinogênese e óbito (Oliveira, Kuno, Nascimento & Gouveia, 2021). Já a nível ambiental, além da contaminação da água, do solo e de organismos aquáticos (Husejnovic et al., 2018; Gwimbi, Kotelo & Selimo, 2020), estes elementos podem promover mudanças

estruturais, morte e aumento na expressão de genes de resistência a metais em comunidades microbianas (Salam, Obayori, Ilori & Amund, 2020). Além disso, estão associados a evolução e disseminação da resistência antimicrobiana (RAM), considerada um grave problema de saúde pública (Stepanauskas et al., 2006; Bednorz et al. 2013; Alawi, Torrijos & Walsh, 2022; Janotto, Luciano & Evangelista, 2022).

A RAM refere-se à capacidade de microrganismos (bactérias, vírus, fungos e parasitos) se alterarem após a exposição a antimicrobianos, resultando em perda da atividade do mesmo. Dessa forma, ocorre uma limitação das opções de tratamento das infecções e a disseminação de bactérias resistentes pode ser favorecida (WHO, 2021). Apesar de genes de resistência a antimicrobianos ocorrerem naturalmente no ambiente, em baixa quantidade, contaminantes como os metais pesados são capazes de aumentá-los (Edet, Bassey & Joseph, 2023). Os metais pesados podem enriquecer determinantes de genes de resistência por meio de mecanismos de co-seleção, devido ao fato da resistência a antimicrobianos e a metais pesados compartilharem mecanismos genéticos iguais ou semelhantes (Baker-Austin, Wright, Stepanauskas & McArthur, 2006; Seiler & Berendonk, 2012). Diversos estudos demonstraram que bactérias resistentes a antimicrobianos recuperadas de ambientes poluídos, também eram resistentes a metais pesados, abrindo questionamentos acerca da possibilidade de indução de resistência antimicrobiana por metais presentes como contaminantes ambientais (Thomas et al., 2020; Hahn, Bahlis, Basso & Van der Sand, 2015; Matyar et al., 2014).

Face ao exposto, este estudo tem como objetivo analisar evidências científicas existentes até o presente momento que descrevam a relação entre bactérias recuperadas de locais afetados pelos rejeitos de mineração decorrentes do rompimento das barragens supramencionadas e o desenvolvimento de resistência antimicrobiana.

2 METODOLOGIA

2.1 Desenho do Estudo

O presente estudo trata-se de uma revisão integrativa da literatura, um método que proporciona a síntese de várias pesquisas empíricas ou teóricas já publicadas, a fim de fornecer uma compreensão mais ampla de uma determinada área de estudo (Lima et al., 2023).

Nesta revisão, foram abordados estudos que associem a presença de metais pesados como contaminantes ambientais, liberados após o rompimento de barragens de mineração, e o

desenvolvimento de resistência antimicrobiana, analisada em bactérias recuperadas destes locais. Para tal, a pergunta norteadora do estudo foi: “A presença de metais pesados decorrentes dos rejeitos de mineração liberados após os rompimentos de barragens no Brasil podem favorecer a resistência antimicrobiana?”

A partir da pergunta norteadora, foi estabelecido o “PICO”, sendo a população de estudo (*population*) bactérias recuperadas de ambientes contaminados pelo rompimento das barragens de Fundão e Mina Córrego do Feijão; a intervenção (*intervention*) a exposição aos metais pesados decorrentes dos rejeitos de mineração; o grupo controle (*control*) ausência de exposição aos metais; e o desfecho (*outcomes*) o desenvolvimento de resistência antimicrobiana.

2.2 Estratégia de Busca

Foram utilizadas quatro bases de dados para a busca dos estudos (PubMed, Biblioteca Virtual de Saúde (BVS), *Science Direct* e *Web of Science*), a qual foi compreendida durante o período de 13 de outubro de 2022 a 02 de fevereiro de 2023. Para a realização da busca foram utilizados os descritores em inglês “*antimicrobial resistance*”, “*heavy metal*”, “*dam*” e “*Brazil*”, e também em português “resistência antimicrobiana”, “metal pesado”, “barragem” e “Brasil”, combinados juntamente com o operador booleano “AND” (“*antimicrobial resistance*” AND “*heavy metal*” AND “*dam*” AND “*Brazil*”) (“resistência antimicrobiana” AND “metal pesado” AND “barragem” AND “Brasil”)

2.3 Seleção dos Estudos

Após a realização das buscas nas bases de dados supramencionadas foram excluídas as publicações em duplicata. A seguir realizou-se a leitura dos títulos e resumos, excluindo artigos que não se enquadravam no tema desta revisão, e os artigos restantes foram lidos na íntegra. Além disso, para localizar artigos que não haviam sido encontrados nas bases de dados utilizadas, realizou-se uma busca nas listas de referências dos artigos selecionados.

2.4 Critérios de Elegibilidade

Foram considerados elegíveis artigos publicados nos idiomas inglês, português e espanhol e que respondessem à pergunta norteadora do estudo. Foram excluídos capítulos de livros, revisões de literatura, dissertações, teses, monografias, livros, editoriais, manuais, notícias, reportagens e comentários.

2.5 Coleta dos Dados

Após a leitura na íntegra dos artigos que atenderam aos critérios de inclusão, informações extraídas dos mesmos foram registradas na Tabela 1, a qual abordou informações detalhadas acerca de todos os estudos incluídos na presente revisão (Autor, ano, objetivo do estudo, amostra analisada, metodologia utilizada, grupo controle, principais resultados e limitações do estudo). Todas as etapas foram realizadas de forma cega e independente por três dos autores desta revisão.

3 RESULTADOS

Ao total foram encontrados nas bases de dados analisadas 434 artigos, dos quais 22 foram excluídos por estarem em duplicata (n=412). Destes, 384 foram excluídos pelo título e/ou resumo e então 28 artigos foram selecionados por título e/ou resumo e lidos na íntegra. Após a leitura, 23 artigos foram excluídos de acordo com os critérios de elegibilidade, e um artigo foi encontrado pela busca nas referências de artigos selecionados, sendo incluídos ao final desta revisão um total de seis artigos. A Figura 1 apresenta a metodologia utilizada na seleção dos artigos incluídos nesta revisão.

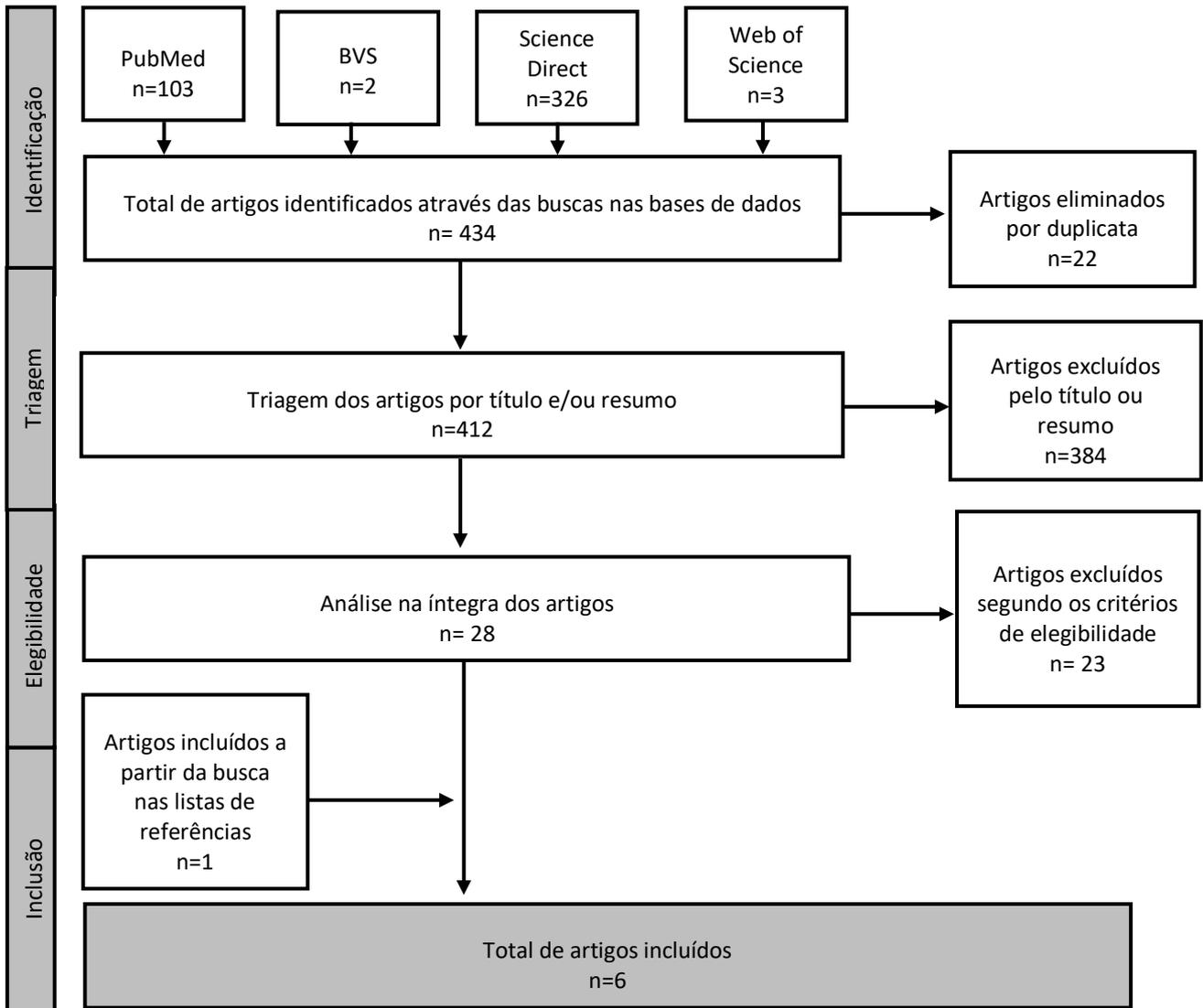


Figura 1: Fluxograma que apresenta a metodologia utilizada nesta revisão integrativa.

Todos os seis estudos foram realizados no Brasil, porém alguns deles com a colaboração de outros países como Chile, Costa Rica e Estados Unidos.

Na Tabela 1 são apresentadas de forma detalhada as informações dos artigos selecionados. Quatro estudos (66,7%) foram referentes a barragem de Fundão e dois (33,3%) referentes a barragem da Mina Córrego do Feijão.

De forma geral, todos os seis estudos expostos nesta revisão sugerem que a contaminação ambiental por metais pesados decorrentes dos rejeitos de mineração liberados após o rompimento das barragens de Fundão e da Mina Córrego do Feijão favoreceram o aparecimento de genes de resistência a antimicrobianos (ARG's), ou seja, pelo menos o desenvolvimento da resistência bacteriana pode estar relacionado com a pressão causada pelos metais pesados.

Em relação aos estudos referentes a barragem de Fundão, Suhadolnik et al. (2022) analisaram amostras de sedimentos de rios pertencentes a Bacia do rio Doce, quantificaram os metais presentes nestas amostras por espectrometria de emissão óptica, extraíram o DNA e por meio de técnicas de bioinformática realizaram a previsão de ARGs. As concentrações de metais ficaram dentro do estipulado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) com exceção de Cromo (Cr) e Cd, e a concentração de Fe, Mn, Mg e Cr foi maior nos rios afetados pelo desastre. A análise genômica resultou em 684 diferentes genes de resistência, abrangendo todos os mecanismos de resistência clássica e classes de antimicrobianos de relevância clínica, inclusive compostos de última linha para o tratamento de infecções causadas por bactéria multirresistentes, sendo 38% exclusivos de rios impactados. Os rios afetados tiveram uma maior proporção de ARG's únicos em comparação com o rio de referência, ou seja, eram mais semelhantes. Além disso, genes críticos de resistência a antibióticos (ARGs), como *mcr* e *ereA2*, foram significativamente mais comuns nos microbiomas perturbados. Os metais Magnésio (Mg), Fe e Cobre (Cu) foram os que mais apresentaram correlação com a resistência aos antimicrobianos, sendo relatada uma forte interação entre este último metal e genes de resistência a β -lactâmicos, aminoglicosídeos e macrolídeos (Tabela 1).

Vasconcelos et al. (2022) analisaram amostras de solos coletados nas proximidades do rio Doce. Inicialmente foi feito o plantio em ágar triptona de soja com nistatina e Mn, posteriormente testes de susceptibilidade a β -lactâmicos, aminoglicosídeos, tetraciclina, quinolonas, extração do DNA e PCR foram realizados. Foram encontradas 21 cepas, sendo 18 *Bacillus* e três *Mucilaginibacter*, todas com resistência antimicrobiana e resistência a metais. Entre elas, a cepa *Mucilaginibacter sp.* 21p foi a que mais demonstrou resistência a metais e a antimicrobianos. Embora não houvesse resíduos de antimicrobianos gerando pressão seletiva no ambiente, a comunidade bacteriana estava exposta a metais pesados e o desenvolvimento da resistência antimicrobiana foi atribuída à ocorrência de resistência cruzada com esses metais pesados (Tabela 1).

Gaeta et al. (2022) recuperaram amostras de água de oito localidades distintas para investigar a ocorrência de bactérias clinicamente importantes. Foi realizado o plantio das amostras em placas de ágar MacConkey com ceftriaxona, as cepas foram identificadas por espectrometria de massa e testes de susceptibilidade, determinação do mecanismo de resistência pelo teste de sinergia de disco duplo, bem como a extração do DNA foram realizados. Cepas de *Escherichia coli* ambiental co-abrigando o gene *bla*_{CTX-M-2} ESBL (betalactamase de espectro estendido) clinicamente

relevante e genes operon mer que confere tolerância ao mercúrio foram encontradas após o desastre. Estas bactérias eram ainda resistentes a uma série de antimicrobianos como ceftriaxona, cefotaxima, cefepima, sulfametoxazol/trimetoprim, amicacina, gentamicina e tetraciclina) (Tabela 1).

Gaeta et al. (2020) analisou a microbiota da nasofaringe, rúmen e reto de 16 vacas leiteiras pertencentes a uma fazenda em que a água consumida pelos animais foi afetada pelos rejeitos de mineração. Apesar dos animais não demonstrarem manifestações clínicas, por abordagem molecular foram encontrados cerca de 200 gêneros diferentes de bactérias nas vacas do grupo experimental em comparação com as do grupo controle. Além disso, na fazenda que possuía a água impactada por metais pesados foi relatada maior prevalência e abundância de genes de resistência a antimicrobianos, com alta frequência de mecanismos de efluxo ativo. Diferenças na diversidade da microbiota aquática sugerem que a exposição à água contaminada com metais pesados pode interferir na microbiota do gado leiteiro e, conseqüentemente, interferir na produtividade animal (Tabela 1).

Já referente à barragem da Mina Córrego do Feijão, Thompson et al. (2023) analisaram amostras coletadas uma semana (fevereiro/2019) e quatro meses (maio/2019) após o desastre, em oito locais ao longo do rio Paraopeba. O DNA total foi extraído das amostras, posteriormente foi quantificado e análises de metagenômica foram realizadas. Além disso, as bactérias presentes nas amostras de água foram isoladas e a resistência foi testada para uma série de antimicrobianos. Os filos mais abundantes nas áreas estudadas foram Proteobacteria (29–73%), Firmicutes (0–54%), Bacteroidetes (0–50%), Actinobacteria (4–22%) e Cyanobacteria (0–23%), sendo que a predominância de Firmicutes, principalmente *Bacillus* (71%) e Proteobacteria, principalmente *Acinetobacter* (28%) após o desastre implica diretamente na poluição por rejeitos.

Além disso, bactérias *Pseudomonas* (n = 26), *Enterobacter* (n = 26), *Raoultella* (n = 7) e *Klebsiella* (n = 5) foram as mais abundantes nas amostras, estas bactérias são relatadas como multirresistentes a inúmeros antibióticos. As análises de resistências demonstraram que todos os isolados eram resistentes a pelo menos um tipo de antibiótico, sendo os principais: ampicilina, ampicilina/sulbactam, amicacina e meropenem, mas também ceftriaxona, cefuroxima, cefepima, ciprofloxacina e gentamicina. Esse aumento da resistência sugere uma possível influência da lama de rejeitos na disseminação da resistência a antibióticos no rio Paraopeba (Tabela 1).

O estudo de Furlan et al. (2020) analisou 30 amostras, dentre elas solo, sedimento e água do rio Paraopeba, afetado pelos rejeitos de mineração. Foram determinadas as condições físico-

químicas da água, o DNA das amostras foi extraído e os genes de resistência a antimicrobianos pesquisados por PCR. Amostras de locais afetados apresentavam alta turbidez, além de valores de Mn, Al, Fe e Cu acima dos permitidos pela legislação (CONAMA 357/05) para corpos d'água, e altas concentrações de Fe, Al, Cu, Mn e Cd para solos e sedimentos. As médias de ARGs encontrados nos locais não afetados e nos locais afetados foram 29 e 45, respectivamente, sendo detectados 1,55 vezes a mais nos locais afetados pelo desastre, sendo os ARGs associados à resistência a β -lactâmicos, quinolonas, aminoglicosídeos, sulfonamidas, fenicóis e glicopeptídeos os mais aumentados. Foram detectados ainda após o desastre, genes de resistência para importantes classes de antimicrobianos como: β -lactâmicos (*bla_{CMY}*, *bla_{SHV}*, *bla_{TEM}*, *bla_{CTX-M-Gp1}*, *bla_{CTX-M-Gp9}*), quinolonas (*qepA*, *oqxA*, *oqxB*, *qnrB*, *qnrS*), aminoglicosídeos (*aadA*, *aac(6')-Ib*, *aph(3')-Ia*, *aph(3')-VI*), tetraciclina (*tet(B)*, *tet(C)*, *tet(D)*), fenicóis (*floR*, *cmlA*), sulfonamidas (*sul1*, *sul2*, *sul3*), glicopeptídeos (*vanC1*, *vanC2/3*) e macrolídeos (*ermA*, *ermB*, *ermC*, *mefAE*). Vale ressaltar que a presença de metais pesados foi responsável por maior pressão seletiva, favorecendo o surgimento de bactérias com fenótipo de multirresistência (MDR) (Tabela 1).

Tabela 1: Informações dos artigos selecionados acerca do desenvolvimento da resistência antimicrobiana após o rompimento de barragens de mineração em Minas Gerais.

Estudo		Método			Resultados	
Autor e Ano	Objetivo do Estudo	Amostra analisada	Metodologia	Controle	Principais resultados	Limitações
Barragem de Fundão (Mariana –MG)						
Suhadolnik et al., 2022	Caracterização de resistência a antibióticos e a metais e viruloma das bactérias de rios afetados pelo desastre do rompimento da barragem de Fundão, além da determinação de mobilidade de ARG, MRG e VFG e hospedeiros	Sedimentos coletados nos rios do Carmo e Casca, 7, 30, 150 e 390 após o rompimento da barragem de Fundão (novembro de 2015 a dezembro de 2016)	Verificação de aminoácidos, resistência a metais e antimicrobianos, taxonomia através do DNA total extraído das amostras coletadas	Sedimentos coletados no rio Água Fria	Presença de 684 genes de resistência e todos mecanismos clássicos de resistência a antimicrobianos; Embora a quantidade de metais esteja abaixo dos limites, a resistência a antimicrobianos foram enriquecidas nas condições ambientais apresentadas	Necessidade de estudos com maior número de amostras e periodicidade amostral mais curta
Vasconcelos, et al., 2022	Isolamento e identificação de	Solos coletados no estuário do rio	Isolamento, identificação, e	Não especificado	Foram identificadas bactérias do gênero <i>Bacillus</i>	Necessidade de mais estudos para saber



	bactérias nativas com resistência a metal(loide) em solos estuarinos, além de explorar o mecanismo de resistência de bactérias nativas à exposição de metais através do genoma	Doce, em dezembro de 2018	identificação do mecanismo de resistência antimicrobiana de bactérias resistentes a metais		e <i>Mucilaginibacter</i> ambas apresentando resistência a metais e antibióticos; Presença de bomba de efluxo e produção de cápsulas além de uma nova espécie (<i>Mucilaginibacter</i> sp. 21p) resistente a antibióticos relacionada a alta concentração de metais pesados	acerca da capacidade de transferência de resistência
Gaeta, et al., 2022	Investigação genômica e microbiológica de bactérias prioritárias da OMS recuperadas de rio afetado pelo desastre de uma barragem de mineração	Amostras de água coletadas ao longo de 84 km da bacia do rio Doce, durante o ano de 2018	Isolamento e identificação de espécies; Sequenciamento de genoma; Testes de susceptibilidade a antibióticos da cepa de <i>Escherichia coli</i> multirresistente	Não especificado	Foi previsto um amplo resistoma (antibióticos e metais pesados) incluindo a presença do bla _{CTX-M-2} gene clinicamente relevante da β-lactamase de espectro estendido (ESBL), genes da bomba de efluxo quacEΔ1 e operon mer (resistência ao mercúrio), o que demonstra serem biomarcadores da atividade mineradora na natureza	A metodologia utilizada não permitiu obter a sequência completa de de nucleotídeos dos plasmídeos, devido a serem muito curtas
Gaeta, et al., 2020	Investigar as consequências da exposição a longo prazo à água potável contaminada pelo	Microbiota de nasofaringe, fluidos de rúmen e fecal das vacas que vivem em	Sequenciamento e análise do genoma das bactérias presentes na	Microbiota de nasofaringe, fluidos de rúmen e fecal das vacas que vivem em	Amostras de ambiente contaminados demonstraram maior abundância e prevalência	Outras pesquisas são necessárias para determinar se a resistência pode ser transferida através da



desastre do rompimento da barragem de mineração no microbioma e resistoma de gado leiteiro	ambiente contaminado por metais pesados	microbiota de nasofaringe, fluidos de rúmen e fecal das vacas	ambiente sem contaminação	de genes de resistência a metais e a antimicrobianos;	cadeia alimentar e se afetará a saúde humana
<p>Amostras coletadas das vacas tiveram uma maior prevalência de genes que conferem resistência a múltiplas drogas e metais;</p> <p>Os metais pesados interferem na microbiota das vacas leiteiras, auxiliando na geração da resistência das bactérias a antimicrobianos</p>					
<p>Barragem Mina Córrego do Feijão (Brumadinho - MG)</p>					

Thompson et al, 2023	Analisar as possíveis mudanças na diversidade microbiana e aumento da resistência a antibióticos no rio Paraopeba	Amostras de água do rio Paraopeba, coletadas em fevereiro e maio de 2019	Isolamento de DNA e análises metagenômicas (16S rRNA)	Amostra de água coletada em um local do rio Paraopeba a montante do desastre	As análises demonstraram mudanças na diversidade microbiana imediatamente após o desastre com a presença de bactérias indicadoras de metais (<i>Acinetobacter</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Novosphingobium</i> e <i>Sediminibacterium</i>);	Não especificado
<p>Houve aumento significativo na resistência a antibióticos para ampicilina, ampicilina/sulbactam, amoxicilina/clavulanato,</p>						



ceftriaxona e cefalotina
após o desastre

Furlan, et al., 2020	Detecção e quantificação de ARGs clinicamente relevantes em amostras ambientais após o rompimento da barragem de Brumadinho	Solos, sedimentos e água coletados no rio Paraopeba afetado pelo rompimento da barragem, 30 dias após o desastre	Extração de DNA total e determinar os ARGs por PCR	Solos, sedimentos e água coletados em locais não afetados pelo rompimento da barragem	Cerca de 387 amplicons de 29 ARGs foram detectados, que conferem resistência a β -lactâmicos, quinolonas, aminoglicosídeos, tetraciclinas, sulfonamidas, fenicols, macrolídeos, glicopeptídeos e polimixinas, incluindo genes codificadores de β -lactamases de espectro estendido, e mcr-7.1; Uma maior quantidade de ARGs foram detectadas em amostras ambientais de locais próximos ao desastre reforçando que a ocorrência de metais no ambiente exerce uma pressão seletiva para ARGs	Não especificado
-------------------------	---	--	--	---	---	------------------

Legenda: MG: Minas Gerais; OMS: Organização Mundial da Saúde; ARGs: genes de resistência a antibióticos; MRG: genes de resistência a metais; VFG: genes de fatores de virulência; DNA: ácido desoxirribonucleico; β : beta; ESBL: β -lactamase de espectro estendido; PCR: reação em cadeia da polimerase; rRNA: ácido ribonucleico ribossômico.



4 DISCUSSÃO

A evolução e a disseminação da resistência antimicrobiana podem estar associadas a fatores que independem do uso de antimicrobianos em humanos e animais, como por exemplo a poluição ambiental resultante de atividades antrópicas. Destaca-se neste contexto, a contaminação por metais pesados que pode ser apontada como um dos principais seletores de organismos resistentes a antimicrobianos (Stepanauskas et al., 2006; Bednorz et al., 2013), sendo importantes na manutenção e proliferação da RAM (Wales & Davies, 2015; Lin et al., 2017).

Os metais pesados são associados a disseminação da RAM uma vez que fenótipos de resistência a antimicrobianos e metais pesados compartilham mecanismos genéticos iguais ou semelhantes, tais como: (i) co-resistência: quando mecanismos de resistência a metais e antimicrobianos são codificados no mesmo elemento genético móvel; ou (ii) resistência cruzada: quando o mesmo mecanismo confere resistência simultaneamente a metais e antimicrobianos (Baker-Austin *et al.*, 2006; Seiler & Berendonk, 2012). Esta semelhança nas vias de resistência pode fazer com que os microrganismos em contato com uma destas substâncias possam desenvolver resistência a metais ou antimicrobianos, ou ainda a ambos, sendo que esta resistência geralmente está associada a elementos genéticos móveis, especialmente plasmídeos (Chattopadhyay & Grossart, 2011).

Diversos estudos demonstraram que bactérias resistentes a antimicrobianos recuperadas de ambientes poluídos, também eram resistentes a metais pesados (Matyar et al., 2014; Hahn et al., 2015; Thomas et al., 2020). Matyar et al. (2014) examinaram um rio na Turquia, e observaram que as bactérias recuperadas apresentaram resistência a uma gama de antimicrobianos β -lactâmicos e também resistência aos metais Mn, Níquel (Ni), Zinco (Zn), Chumbo (Pb), Cd e Fe. Hahn *et al.* (2015) avaliaram o perfil de resistência de bactérias isoladas no Rio dos Sinos (Brasil) e identificaram microrganismos resistentes a vários antimicrobianos, principalmente à vancomicina, e também a metais pesados, em especial Cu, Ni e Cr. Já Thomas *et al.* (2020) analisaram amostras de solo coletadas em um rio poluído nos Estados Unidos e demonstraram que as amostras exibiam um perfil alto de genes de resistência a antimicrobianos e também genes de resistência a metais pesados, como Arsênio (As), Cu, Fe, Ni e Zn.

Quando presentes como poluentes em ambientes aquáticos, estes elementos podem estar altamente associados ao desenvolvimento de RAM, como demonstrado por Chen et al. (2019). Neste estudo foram analisadas amostras de solo coletadas em um rio localizado próximo a uma barragem de rejeitos de cobre no norte da China, sendo observado que a abundância de genes de

resistência antimicrobiana estava positivamente correlacionada com a concentração de metais presentes na água como contaminantes, sendo estes o As, Zn e principalmente o Cd (Chen et al., 2019).

Neste contexto, desastres envolvendo barragens de mineração provocam a liberação de grande quantidade de rejeitos, o que contribui para a contaminação do ambiente aquático por metais pesados, podendo levar à alteração dos fenótipos relacionados à RAM, como demonstrado em todos os seis estudos expostos nesta revisão.

Alguns estudos e relatórios demonstraram que o retorno do ambiente às condições pré rompimento leva um grande período de tempo, podendo muitas vezes nem ser estimado (Serra, 2018; IBAMA, 2015), fazendo com que desta forma, o ambiente se torne um potencial para desenvolvimento, manutenção e disseminação da resistência antimicrobiana.

Algo preocupante é que as bactérias presentes no meio aquático contaminado por metais pesados que adquirem resistência antimicrobiana podem contaminar peixes e outros organismos aquáticos que vivem nestes ambientes (Seiler & Berendonk, 2012). Isto pode representar um grave risco à saúde pública, visto que pode ocorrer a transferência de genes de resistência a antimicrobianos de bactérias ambientais para bactérias associadas a humanos, por meio do consumo de alimentos contaminados com cepas resistentes (Enciso-Martínez *et al.*, 2022).

Outro tópico importante é a abordagem de *One Health*, o esforço colaborativo de várias profissões das ciências da saúde para alcançar a saúde ideal para as pessoas, animais e meio ambiente (McEwen & Collignon, 2018). No contexto da resistência antimicrobiana, a mesma é impulsionada principalmente pelo uso e abuso destes compostos nos setores humano e animal. Os antimicrobianos utilizados clinicamente não são completamente metabolizados pelo organismo, fazendo com que moléculas ativas sejam secretadas através das fezes e urina, fluindo para as águas residuais e podendo ser compartilhadas entre bactérias, incluindo as bactérias ambientais. Desta forma, é crucial identificar e caracterizar as fontes de emissões de resistência antimicrobiana para o ambiente e, por isso, uma grande importância tem sido dada a esta questão, devendo se considerar uma colaboração eficiente entre todos os meios envolvidos (humanos, animais e ambiente) para combater este problema tão grave (Serna & Gonzalez-Zorn, 2022).

O presente estudo apresentou algumas limitações, tais como o baixo número de estudos encontrados e a análise de amostras apenas em períodos logo após o desastre, não sendo possível identificar efeitos crônicos relacionados à resistência antimicrobiana. Desta forma, estudos como os expostos nesta revisão são essenciais para entender melhor os efeitos que desastres

envolvendo barragens de mineração, tais como os de Minas Gerais, podem provocar ao meio ambiente e também à saúde humana, sendo importante a realização de mais pesquisas acerca do assunto.

5 CONCLUSÃO

Todos os estudos expostos na presente revisão identificaram mudanças no perfil de resistência antimicrobiana de bactérias isoladas dos ambientes contaminados por metais após os desastres. Desastres como estes abrem questionamentos acerca da possibilidade de indução de resistência antimicrobiana por metais presentes como contaminantes ambientais, sendo essencial a realização de mais estudos, visto que a resistência antimicrobiana é um grave problema de saúde pública.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Centro-Oeste Dona Lindu (UFSJ/CCO) pelo apoio e suporte. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG propostas APQ-01220-22 e APQ-00208-19).

7 REFERÊNCIAS

Alawi, M., Torrijos, V. & Walsh, F. (2022). Plasmid-mediated antimicrobial resistance in drinking water. *Environmental Advances*, 8, e100191. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100191>.

Almeida, V.O., Pereira, T.C.B., Teodoro, L.S., Escobar, M., Ordovás, C.J., Santos, K.B., *et al.* (2021). On the effects of iron ore tailings micro/nanoparticles in embryonic and larval *zebrafish* (*Danio rerio*). *Science of the Total Environment*, 10 (759), e143456. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143456>.

Baker-Austin, C., Wright, M.S., Stepanauskas, R., McArthur, J V. (2006). Co-selection of antibiotic and metal resistance. *Trends in Microbiology*, 14 (4), 176-182. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2006.02.006>.

Barbosa, L.G.M. & Amaral, D.R.B. (2022). Segurança de barragens: estudo de caso de rompimentos de estruturas de rejeitos em Minas Gerais. *Revista Multidisciplinar Humanidades e Tecnologias*, 34(1). <https://doi.org/10.5281/zenodo.6419736>.

Bednorz, C., Oelgeschlager, K., Kinnemann, B., Hartmann, S., Neumann, K., Pieper, R., *et al.* (2013). The broader context of antibiotic resistance: Zinc feed supplementation of piglets increases the proportion of multi-resistant *Escherichia coli* in vivo. *International Journal of Medical Microbiology*, 303(6-7), 396-403. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2013.06.004>.

Chattopadhyay, M.K. & Grossart, H.P. (2011). Antibiotic and heavy metal resistance of bacterial isolates obtained from some lakes in northern Germany. *NSHM Journal of Pharmacy and Healthcare Management*, 2, 44-45.

Chen, J., Li, J., Zhang, H., Shi, W., Liu, Y., Liu, Y. (2019). Bacterial Heavy-Metal and Antibiotic Resistance Genes in a Copper Tailing Dam Area in Northern China. *Frontiers in Microbiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01916>.

Cioneck, V.M., Alves, G.H.Z., Tófoli, R.M., Rodrigues-Filho, J.L., Dias, R.M. (2019). Brazil in the mud again: lessons not learned from Mariana dam collapse. *Biodiversity and Conservation*, 28, 1935-1938. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01762-3>.

Edet, U.O., Bassey, I.U. & Joseph, A.P. Heavy metal co-resistance with antibiotics amongst bacteria isolates from an open dumpsite soil. (2023). *Heliyon*, 9, e13457. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13457>.

Enciso-Martínez, Y., González-Aguilar, G.A., Martínez-Téllez, M.A., González-Pérez, C., Valencia-Rivera, D.E., Barrios-Villa, E., *et al.* (2022). Relevance of tracking the diversity of *Escherichia coli* pathotypes to reinforce food safety. *International Journal of Food Microbiology*, 374, 109736. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109736>.

Furlan, J.P.R., Santos, L.D.R., Moretto, J.A.S., Ramos, M.S., Gallo, I.F.L., Alves, G.A.D., *et al.* (2020). Occurrence and abundance of clinically relevant antimicrobial resistance genes in environmental samples after the Brumadinho dam disaster, Brazil. *Science of the Total Environment*, 15 (726), e138100. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138100>.

Gaeta, N.C., Bean, E., Miles, A.M., Carvalho, D.U.O.G., Alemán, M.A.R., Carvalho, J.S., *et al.* (2020). A cross-sectional study of dairy cattle metagenomes reveals increased antimicrobial resistance in animals farmed in a heavy metal contaminated environment. *Frontiers in Microbiology*, 11 (590325), 1-15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.590325>.

Gaeta, N.C., Carvalho, D.U., Fontana, H., Sano, E., Moura, Q., Fuga, B., *et al.* (2022). Genomic features of a multidrug-resistant and mercury-tolerant environmental *Escherichia coli* recovered after a mining dam disaster in South America. *Science of the Total Environment*, 1 (823), e153590. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153590>.

Guo, Y., Sun, Y., Li, Z., Feng, S., Yang, R., Qu, L. (2022). Detection, detoxification, and removal of multiply heavy metal ions using a recyclable probe enabled by click and de-click chemistry. *Journal of Hazardous Materials*, 423 (part B), e127242. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127242>.

Gwimbi, P., Kotelo, T. & Selimo, M.J. (2020). Heavy metal concentrations in sediments and *Cyprinus carpio* from Maqalika Reservoir –Maseru, Lesotho: An analysis of potential health risks to Fish consumers. *Toxicology Reports*, 7, 475-479. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.03.005>.



Hahn, A.B.B., Bahlis, M., Basso, A.P., Van der Sand, S.T. (2015). Avaliação do perfil de resistência a antimicrobianos e metais pesados em micro-organismos isolados do Rio dos Sinos, RS, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências*, 13 (3), 155-164.

Husejnovic, M. S., Bergant, M., Jankovic, S., Zizek, S., Smajlovi, A., Softic, A., et al. (2018). Assessment of Pb, Cd and Hg soil contamination and its potential to cause cytotoxic and genotoxic effects in human cell lines (Caco-2 and HaCaT). *Environmental Geochemistry and Health*, 40 (4), 1557-1572. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0071-6>.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (2015). Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. http://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo_tecnico_preliminar_ibama.pdf.

IBRAM. Instituto Brasileiro de Mineração. (2016). Gestão e manejo de rejeitos de mineração. 1. ed. <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/Gestao-e-Manejo-de-Rejeitos-da-Mineracao-2016.pdf>.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. (2015). Monitoramento da qualidade das águas superficiais do Rio Doce no Estado de Minas Gerais. http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/2015_ARQUIVOS/QUALIDADE_RIO_DOCE/Relatorio_Qualidade_17novCompleto.pdf.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. (2019). Informativo Nº 2: Informativo semanal da avaliação dos sedimentos do rio Paraopeba nos locais monitorados ao longo do Rio Paraopeba, após o desastre na barragem B1 no complexo da Mina Córrego Feijão da Mineradora Vale/SA no município de Brumadinho – Minas Gerais. http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2019/DESASTRE_BARRAGEM_B1/avaliacao_sedimentos/Informativo_2_IGAM_SEDIMENTOS.pdf.

Janotto, L. dos S., Luciano, F. B., & Evangelista, A. G. (2022). Perfil de resistência antimicrobiana de isolados bacterianos de animais destinados ao consumo humano. *HOLOS*, 1, 1–9, 13728. <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/13728>.

Lacaz, F.A.C., Porto, M.F.S. & Pinheiro, T.M.M. (2017) Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, 42. <https://doi.org/10.1590/2317-6369000016016>.

Lima, A.E.S., Falcão, B.A., Granjeiro, M.F., Damasceno, C.K.C.S., Oliveira, A.D.S., Magalhães, J.M. (2003). Atuação do enfermeiro na consulta de puericultura: uma revisão integrativa. *Rev Enferm Atual In Derme*, 97 (1), e023006. <https://doi.org/10.31011/reaid-2023-v.97-n.1-art.1404>.

Lin, Y., Zhao, W., Shi, Z.D., Gu, H.R., Zhang, X.T., Ji, X., et al. (2017). Accumulation of antibiotics and heavy metals in meat duck deep litter and their role in persistence of antibiotic-resistant *Escherichia coli* in different flocks on one duck farm. *Poultry Science*, 96 (4), 997-1006. <https://doi.org/10.3382/ps/pew368>.

Lopes, P. P., Rodovalho, E. da C., & Mohamad El Hajj, T. (2022). Brazilian mining sector and its environmental impact: a review of cradle-to-cradle options applied to residues, waste and tailings. *HOLOS*, 6, e9413. <https://doi.org/10.15628/holos.2022.9413>.

Macêdo, A.K.S., Dos Santos, K.P.E., Brighenti, L.S., Windmüller, C.C., Barbosa, F.A.R., Ribeiro, R.I.M.A., *et al.* (2020). Histological and molecular changes in gill and liver of fish (*Astyanax lacustris* Lütken, 1875) exposed to water from the Doce basin after the rupture of a mining tailings dam in Mariana, MG, Brazil. *Sci. Total Environ.*, 735, e139505. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139505>.

Matyar, F., Gülnaz, O., Guzeldag, G., Mercimek, H.A., AKTURK, S., AKUT, A., *et al.* (2014). Antibiotic and heavy metal resistance in Gram-negative bacteria isolated from the Seyhan Dam Lake and Seyhan River in Turkey. *Annals of Microbiology*, 64, 1033-1044. <https://doi.org/10.1007/s13213-013-0740-8>.

Mendes, B.C., Pedroti, L.G., Fontes, M.P.F., Ribeiro, J.C.L., Vieira, C.M.F., Pacheco, A.A., Azevedo, A.R.G. (2019). Technical and environmental assessment of the incorporation of iron ore tailings in construction clay bricks. *Construction and Building Materials*, 227, e116669. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.08.050>.

McEwen, S.A. & Collignon, P.J. (2018). Antimicrobial Resistance: a One Health Perspective. *Microbiol Spectr.*, 6(2). <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.ARBA-0009-2017>.

Milanez, B., Saleem, H. A. & Oliveira, J.A.P.O. (2021). Mapping industrial disaster recovery: Lessons from mining dam failures in Brazil. *The Extractive Industries and Society*, 8 (2). <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.100900>.

Oliveira, F.L.V., Kuno, R., Nascimento, F.P., Gouveia, N. (2021). Exposição potencial a baixas doses de cromo por via oral e mortalidade por câncer de estômago na população do interior do Estado de São Paulo, Brasil, *Cad. Saúde Pública*, 37 (4). <https://doi.org/10.1590/0102-311X00020020>.

Paes, E.C., Veloso, G.V., Silva, D.L.A., Fernandes-Filho, E.I., Fontes, M.P.F., Soares, E.M.B. (2023). Use of modeling to map potentially toxic elements and assess the risk to human health in soils affected by mining activity. *Catena*, 220 (Part A), e106662. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106662>.

Passos, F., Coelho, P. & Dias, A. (2017). (Des) territórios da mineração: planejamento territorial a partir do rompimento em Maraiana, MG. *Cadernos Metrôpoles*. 19, 269-297. <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2017-381>.

Penna, I.C., Martins, T.S. & Silveira, J.V.W. (2022). Fibras Eletrofiadas Aplicadas na Remoção de Metais Pesados em Águas Residuárias da Mineração: uma Revisão Sistemática. *Revista Virtual de Química (Química para o Desenvolvimento Sustentável)*, 14 (3). <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20220088>

Porsani, J.L., Jesus, F.A.N. & Stangari, M.C. (2019). GPR Survey on an Iron Mining Area after the Collapse of the Tailings Dam I at the Córrego do Feijão Mine in Brumadinho-MG, Brazil. *Remote Sensing*, 11 (7), 860. <https://doi.org/10.3390/rs11070860>.

Salam, L.B., Obayori, O.O.S., Ilori, M.O., Amund, O.O. (2020). Effects of cadmium perturbation on the microbial community structure and heavy metal resistome of a tropical agricultural soil. *Bioresources and Bioprocessing*, 7 (25). <https://doi.org/10.1186/s40643-020-00314-w>.

Seiler, C. & Berendonk, T. (2012). Heavy metal driven co-selection of antibiotic resistance in soil and water bodies impacted by agriculture and aquaculture. *Frontiers in Microbiology*, 3 (399), 1-10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00399>.

Serna, C. & Gonzalez-Zorn, B. (2022). Antimicrobial resistance and One Health. *Rev Esp Quimioter*, 3 (3),37-40. <https://doi.org/10.37201/req/s03.09.2022>.

Serra, C. (2018). Tragédia em Mariana: a história do maior desastre ambiental do Brasil (1ª ed.). Record.

Stepanauskas, R., Glenn, T. C., Jagoe, C.H., Tuckfield, R. C., Lindell, A. H., King, C. C. J., *et al.* (2006). Co-selection for microbial resistance to metals and antibiotics in freshwater microcosms. *Environmental Microbiology*, 8, 1510–1514. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.01091.x>.

Suhadolnik, M.L.S., Costa, P.S., Paiva, M.C., Salim, A.C.M., Barbosa, F.A.R., Lobo, F.P., Nascimento, A.M.A. (2022). Spatiotemporal dynamics of the resistome and virulome of riverine microbiomes disturbed by a mining mud tsunami. *Science of The Total Environment*, 806: e150936. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150936>.

Thomas, J.C., Oladeinde, A., Kieran, T.J., Finger, J.W., Bayona-Vásquez, N.J., Cartee, J.C., *et al.* (2020). Co-occurrence of antibiotic, biocide, and heavy metal resistance genes in bacteria from metal and radionuclide contaminated soils at the Savannah River Site. *Microbial Biotechnology*, v. 13 (4), 1179–1200. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13578>.

Thompson, C., Garcia, G., Masi, B.P., Freitas, T., Paz, P.H.C., Leal, C.V. (2023). Brumadinho dam collapse induces changes in the microbiome and the antibiotic resistance of the Paraopeba River (Minas Gerais, Brazil). *Science of the Total Environment*, 865, e161278. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161278>.

Vasconcelos, A.L.S., Andreote, F.D., Defalco, T., Delbaje, E., Barrientos, L., Dias, A.C.F., *et al.* (2022). *Mucilaginibacter sp.* Strain Metal(loid) and Antibiotic Resistance Isolated from Estuarine Soil Contaminated Mine Tailing from the Fundão Dam. *Genes*, 13(2), 174, 2022. <https://doi.org/10.3390/genes13020174>.

Wales, A.D. & Davies, R.H. (2015). Co-Selection of Resistance to Antibiotics, Biocides and Heavy Metals, and Its Relevance to Foodborne Pathogens. *Antibiotics (Basel)*, 4 (4), 567-604. [Doi:10.3390/antibiotics4040567](https://doi.org/10.3390/antibiotics4040567).

WHO – World Health Organization. (2021). Antimicrobial resistance. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>.

COMO CITAR ESTE ARTIGO

Oliveira, L. L. F., Alcantara, S. S., Caldeira, R. S., Macêdo, A. K. S., dos Santos, H. B., de Paiva, M. C., ... Chequer, F. M. D. IMPACTO DOS METAIS PESADOS ASSOCIADOS AO ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO NA RESISTÊNCIA ANTIMICROBIANA: RELATOS DO BRASIL. *HOLOS*, 2(40). Recuperado de <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/15611>

SOBRE OS AUTORES

Lara Luiza Freitas de Oliveira

Mestre em Biotecnologia pelo Programa de Pós-graduação em Biotecnologia, da Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Centro-Oeste Dona Lindu (UFSJ/CCO) e Bacharel em Bioquímica pela mesma instituição.

E-mail: luizalara422@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2115-0943>

Shara Sevesquim Alcantara

Estudante de graduação em Farmácia pela Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Centro-Oeste Dona Lindu (UFSJ/CCO).

E-mail: sharasevesquim@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-0943-1064>

Rafael Sotero Caldeira

Graduado em Farmácia pela Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Centro-Oeste Dona Lindu (UFSJ/CCO).

E-mail: faelsotscaldeira@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-1602-2630>

Anderson Kelvin Saraiva Macêdo

Doutor e Mestre em Biotecnologia, pelo Programa de Pós-graduação em Biotecnologia, da Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Centro-Oeste Dona Lindu (UFSJ/CCO). Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

E-mail: andersonkelvinsm@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0404-1681>

Hélio Batista dos Santos

Doutor e Mestre em Biologia Celular pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Minas Gerais (UEMG). Professor Associado III na Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Centro-Oeste Dona Lindu (UFSJ/CCO).

E-mail: hbsantos@ufs.edu.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6813-8522>

Magna Cristina de Paiva

Doutora em Ciências Biológicas e Mestre em Microbiologia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Graduada em Farmácia pela mesma instituição. Professora do curso de Farmácia na Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Centro-Oeste Dona Lindu (UFSJ/CCO).

E-mail: magnacpaiva@ufs.edu.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9375-7261>

Ralph Gruppi Thomé

Doutor e Mestre em Biologia Celular pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Graduado em Ciências Biológicas pela mesma instituição. Professor na Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Centro-Oeste Dona Lindu (UFSJ/CCO) e Coordenador do Programa de Pós-graduação em Biotecnologia da UFSJ/CCO.

E-mail: ralph@ufsj.edu.br.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1779-5036>.

Farah Maria Drumond Chequer

Doutora em Ciências e Mestre em Toxicologia pela Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FCFRP-USP). Graduada em Farmácia/Bioquímica pela Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL). Professora na Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Centro-Oeste Dona Lindu (UFSJ/CCO) e é credenciada no Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas da UFSJ/CCO.

E-mail: farahchequer@ufsj.edu.br.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3514-2132>.

Editor: Franciulli Araújo

Pareceristas Ad Hoc: Diego Cara e Marília de Almeida Cavalcante



Recebido 20 de Junho de 2023

Aceito: 19 de Março de 2024

Publicado: 19 de Abril de 2024