



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS ANÁPOLIS DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS -
HENRIQUE SANTILLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM RECURSOS
NATURAIS DO CERRADO**

FLÁVIA FERREIRA GARCIA

**DESASTRES COM BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS DE
MINERADORAS: GRANDES IMPACTOS AMBIENTAIS, SOLUÇÕES REMOTAS**

FLÁVIA FERREIRA GARCIA

**DESASTRES COM BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS DE
MINERADORAS: GRANDES IMPACTOS AMBIENTAIS, SOLUÇÕES REMOTAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Recursos Naturais do Cerrado, da Universidade Estadual de Goiás para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais do Cerrado.

Orientadora: Profa. Dra. Luciane Madureira de Almeida.

Anápolis
2022

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL (BDTD)**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Estadual de Goiás a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UEG), regulamentada pela Resolução, CsA n.1087/2019 sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

Dados do autor (a)

Nome Completo: Flávia Ferreira Garcia

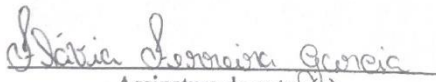
E-mail: flavygarcia15@gmail.com

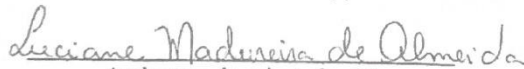
Dados do trabalhoTítulo: DESASTRES COM BARRAGENS DE REJEITOS DE MINERADORAS:
GRANDES IMPACTOS AMBIENTAIS, SOLUÇÕES REMOTAS**Tipo**

() Tese (X) Dissertação

Curso/Programa: Programa de Pós Graduação Stricto *Sensu* em Recursos Naturais do CerradoConcorda com a liberação documento [X] SIM [] NÃO¹

Anápolis - Goiás, 17/10/2022


Assinatura do autor(a)


Assinatura do orientador (a)

- ¹ **Casos de impedimento:**
- Período de embargo é de um ano a partir da data de defesa
 - Solicitação de registro de patente;
 - Submissão de artigo em revista científica;
 - Publicação como capítulo de livro;
 - Publicação da dissertação/tese em livro.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UEG
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FF589 Ferreira Garcia, Flávia
d DESASTRES COM BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS DE
MINERADORAS: GRANDES IMPACTOS AMBIENTAIS, SOLUÇÕES
REMOTAS / Flávia Ferreira Garcia; orientador Luciane
Madureira de Almeida. -- Anápolis, 2022.
 102 p.

 Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
Mestrado Acadêmico em Recursos Naturais do Cerrado
(RENAC)) -- Câmpus Central - Sede: Anápolis - CET,
Universidade Estadual de Goiás, 2022.

 1. desastres com barragem de rejeito de mineração.
 2. impactos ambientais. I. Madureira de Almeida,
 Luciane, orient. II. Título.

FLÁVIA FERREIRA GARCIA

DESASTRES COM BARRAGENS DE
CONTENÇÃO DE REJEITOS DE
MINERADORAS: GRANDES IMPACTOS
AMBIENTAIS, SOLUÇÕES REMOTAS.

Dissertação defendida no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos
Naturais do Cerrado da Universidade Estadual de Goiás,
para a obtenção do grau de mestre(a), aprovada em 12 de Setembro de 2022, pela
Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:



Profa. Dra. Luciane Madureira de Almeida
Presidente da banca
Universidade Estadual de Goiás



Prof. Dr. Gilson de Farias Neves Gitirana Junior
Universidade Federal de Goiás



Profa. Dra. Elisa Flávia L. Cardoso Bailão
Universidade Estadual de Goiás

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças para superar todos os desafios que me foram impostos ao longo da minha trajetória como mestranda. A minha família, por compreender todos os dias que não pude estar presente, e pelo suporte e apoio. A minha querida orientadora, professora Dra. Luciane Madureira de Almeida, muito obrigada, por todo suporte, pela imensa paciência e compreensão. Também agradeço a todos os meus professores e amigos do RENAC.

Muito obrigada a todos pela contribuição para que eu pudesse chegar ao fim dessa trajetória.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE TABELAS.....	12
1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. MINERAÇÃO.....	15
1.2. REJEITOS DE MINÉRIO.....	15
1.3. BARRAGEM DE CONTENÇÃO DE REJEITOS DE MINÉRIO.....	16
1.3.1 Método de Montante.....	17
1.3.2 Método de Jusante.....	18
1.3.3 Método Linha de Centro.....	19
1.4. IMPACTOS AMBIENTAIS DA EXPLORAÇÃO DE MINÉRIOS.....	19
1.5. TRATAMENTOS DOS REJEITOS PARA EVITAR O DANO AMBIENTAL.....	21
2 OBJETIVOS.....	23
2.1. Objetivo geral:.....	23
2.2. Objetivos específicos:.....	23
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1. ESTRATÉGIAS DE BUSCA.....	24
3.1.1 Banco de dados com informações sobre os rompimentos de barragens de rejeitos em todo mundo.....	24
3.1.2 Busca cienciométrica.....	25
3.2. ANÁLISE DOS DADOS.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1. VISÃO HISTÓRICA DOS ACIDENTES DE BARRAGENS DE REJEITOS DE MINÉRIO.....	27
4.1.1 Distribuição temporal dos acidentes de barragens de rejeitos de minério.....	27
4.1.2 Características gerais das bacias de contenção de rejeitos e suas falhas.....	28
4.1.2 Associação entre as falhas de barragens de rejeitos e os recursos explorados... 31	31
4.1.3 Magnitude das falhas em barragens de rejeitos.....	33
4.1.4 Associação entre a gravidade dos eventos, volume e espalhamento de rejeito liberado no acidente.....	36
4.2. BIBLIOMETRIA.....	37
4.2.1 Número de artigos publicados sobre os acidentes em barragens de rejeitos de mineradoras.....	37
4.2.2 Tendências de publicações.....	37
4.2.3 Métricas das publicações.....	39
4.2.4 Distribuição mundial das publicações.....	39

4.2.5	Temática abordada nas publicações e as ferramentas usadas para o estudo.....	41
4.2.6	Mitigação do dano ambiental causado pelos acidentes com rejeitos de mineradoras.....	47
5.	CONCLUSÃO	50
6.	REFERÊNCIAS	52
	Apêndice I: Banco de dados compilados dos registros de rompimentos de barragens de rejeitos de mineração com registros de 1915-2021	61

RESUMO: Rompimento de barragens de contenção de rejeitos provenientes da mineração são eventos de baixa ocorrência, mas com graves impactos ambientais, sociais e econômicos. O objetivo deste trabalho foi elaborar um panorama mundial da ocorrência de acidentes por ruptura de barragens de rejeitos de minérios e associá-los as características das barragens, ao espalhamento e toxicidade do rejeito, ao impacto ambiental gerado e aos mecanismos de remediação do dano. Para isso, duas estratégias foram adotadas: 1. investigação em relatórios produzidos por diferentes instituições mundiais (Commission on Large Dams e Unites Nations Environmental Programme - ICOLD; The Center for Science Public Participation – CSP2; World Information on Energy - WISE); 2. revisão sistemática da literatura científica sobre o tema acidentes em barragens de armazenamento de rejeitos usando as bases de dados do Web of Science, Scopus e Scielo, de 1990 a 2021. Como resultado foram identificados 366 acidentes, os quais liberaram 279.114.891 milhões de metros cúbicos de rejeitos, impactando uma área de 4.868,15 km de extensão e contribuindo diretamente para a morte de 3.043 pessoas. Outras correlações foram estabelecidas e permitiram identificar que o método construtivo de alteamento a montando foi o método mais comum nas barragens acidentadas, sendo o galgamento a principal causa registrada para essas rupturas. Além disto, as falhas foram mais comuns em minas de extração cobre, ouro, chumbo, carvão, zinco e fosfato. Historicamente estes minérios não são os mais explorados comercialmente, não permitindo relacionar o aumento de risco de acidente com o aumento de exploração de um determinado minério. A análise cronológica dos acidentes e sua gravidade mostrou que há uma tendência de aumento na frequência e gravidade das falhas nas últimas décadas, sendo mais comum acidentes em barragens de pequeno porte anteriormente aos anos 2.000, enquanto, nas ocorrências registradas após 2.000 houve aumento nos rompimentos nas barragens de grande porte. A revisão sistemática revelou que apesar do baixo número de artigos publicados (87) até 2021, houve um aumento contínuo nas métricas quantitativas e qualitativas sobre o tema acidentes com bacias de contenção de rejeitos de minérios. A análise cronológica mostrou um aumento no número de publicações a partir de 2006, com acentuamento a partir de 2016 associado principalmente aos acidentes com as barragens do Fundão (Mariana, em 2015), e da barragem do Córrego do Feijão (Brumadinho, em 2019). As principais tendências encontradas na literatura foram nas categorias de impactos ambientais e propostas de remediação. As publicações de forma geral demonstram os graves impactos ambientais e o efeito tóxico dos rejeitos liberados sobre organismos vivos. Na literatura também há poucas propostas de mitigação dos danos ambientais causados pelo espalhamento do rejeito das barragens, apenas 8 artigos. Destes a principal tendência foi a fitorremediação. Apesar de baixo número de publicações, os resultados apresentados mostram que as técnicas de remediação utilizadas são promissoras para recuperação de áreas degradadas por rejeitos de mineração.

Palavras-chaves: Bioensaios, Biorremediação, Metais Pesados; Rompimento de Barragem de Rejeito de Minério; Toxicidade.

ABSTRACT: Failure of tailings containment dams are events that cause serious environmental, social and economic impacts. The objective of this work was to elaborate a global panorama of the occurrence of accidents due to the rupture of ore tailings dams and to associate them with the characteristics of the dams, the scattering and toxicity of the tailings, the generated environmental impact and the damage remediation mechanisms. For this, two strategies were adopted: 1. Investigation into reports produced by different world institutions (Commission on Large Dams and United Nations Environmental Program - ICOLD; The Center for Science Public Participation - CSP2; World Information on Energy - WISE). 2. Systematic review of the scientific literature on the subject of accidents in tailings storage dams using the Web of Science, Scopus and Scielo databases, from 1990 to 2021. As a result, 366 accidents were identified, which released 279,114,891 million cubic meters of tailings, impacting an area of 4,868.15 km in length and directly contributing to the death of 3,043 people. Other correlations were established and made it possible to identify that the constructive method of raising and mounting was the most common method in rugged dams, with overtopping being the main cause recorded for these failures. In addition, failures were more common in mines extracting copper, gold, lead, coal, zinc and phosphate. Historically, these ores are not the most commercially exploited, not allowing to relate the increase in accident risk with the increase in exploration of a particular ore. The chronological analysis of accidents and their severity showed that there is an increasing trend in the frequency and severity of failures in the last decades, accidents in small dams before the 2000s were more common, while in the occurrences recorded after 2000 there was an increase in ruptures in large dams. The systematic review revealed that despite the low number of articles published (87) until 2021, there was a continuous increase in quantitative and qualitative metrics on the subject of accidents with ore tailings containment basins. The chronological analysis showed an increase in the number of publications from 2006, with an increase from 2016 onwards, mainly associated with accidents with the Fundão dams (Mariana, in 2015), and the Córrego do Feijão dam (Brumadinho, in 2019). The main trends found in the literature were in the categories of environmental impacts and remediation proposals. Publications in general demonstrate the serious environmental impacts and the toxic effect of waste released on living organisms. In the literature, there are also few proposals for mitigating environmental damage caused by the spread of tailings from dams, only 8 articles. Of these, the main trend was phytoremediation. Despite the low number of publications, the results presented show that the remediation techniques used are promising for the recovery of areas degraded by mining tailings.

Keywords: Bioassays, Bioremediation, Heavy Metals; Ore Tailings Dam Failure; toxicity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sequência de alteamentos pelo método a montante.....	17
Figura 2. Sequência de alteamentos pelo método de jusante.	18
Figura 3. Sequência de alteamentos pelo método linha de centro.....	19
Figura 4. Fluxograma sobre a metodologia de pesquisa usada para encontrar artigos sobre acidentes com rompimento de barragens de rejeitos de minério.....	25
Figura 5. Gráfico de barras mostrando o número de rompimento de barragens por décadas.	28
Figura 6. Informações gerais sobre os acidentes com barragens de rejeitos de minério ocorridos até 2021, registrados no ICOLD, WISE e COP2. A. Tipos construtivos das barragens que se romperam; B. Material de enchimento das barragens; C. Principais causas dos acidentes e D. Tipo de acidente e condição do barramento.	31
Figura 7. Substâncias exploradas que mais contribuíram com as falhas de barragens de rejeitos.	33
Figura 8. A. Classificação das bacias de contenção quanto ao volume represado; e B. volumes de rejeitos liberados para o meio ambiente pelos acidentes.	35
Figura 9. Número de falhas graves e muito graves ocorridas antes e após os anos 2000.	36
Figura 10. Gráfico de barras mostrando o número de publicações por ano (esquerda) e gráfico de dispersão mostrando a média de citações por ano (direita).	38
Figura 11. Tendência de melhoria das publicações de acordo com os periódicos.	39
Figura 12. Distribuição mundial dos rompimentos de barragem de contenção de rejeitos de minério por países de 1915-2021, registrados no ICOLD, WISE e COP2; e as barras dentro dos países mostram a distribuição mundial dos países com mais publicações abordando as falhas de barragens de rejeitos.	41
Figura 13. Principais temas abordados na literatura analisada.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Metodologias de avaliação dos impactos ambientais usando testes físico-químicos e toxicidade usando bioensaios	46
Tabela 2. Estratégias de biorremediação selecionadas nos artigos.....	49

1. INTRODUÇÃO

A extração e produção de recursos minerais evolui de forma ascendente (CANO et al., 2020), acompanhando a demanda global por matérias-primas para a geração de uma gama de produtos, tanto na indústria de construção civil, como nas indústrias de cosméticos, eletroeletrônicos, medicamentos, tintas, plásticos, fertilizantes e outras (KOSSOFF et al., 2014). Esta grande diversificação de produtos, demonstra a importância da atividade minerária para economia global.

Assim, a indústria mineraria é indiscutivelmente importante para geração de riquezas e empregos, contudo, ela também é inevitavelmente prejudicial ao meio ambiente (AZAPAGIC, 2003; SEHOENBERGER, 2016). As operações extrativas da mineração alteram a paisagem natural e esgotam os recursos naturais não renováveis (AZAPAGIC, 2003; SEHOENBERGER, 2016). Além disto, durante o processo de extração mineral há o revolvimento de enormes quantidades de terras e rochas, a quais são processados para extração de minerais, sendo uma pequena parte utilizada e o restante é descartado como resíduos das minas (SEHOENBERGER, 2016).

Os resíduos de minas não possuem valor econômico agregado, e se acumulam nas plantas das mineradoras (LOTTERMOSER, 2010) resultando na geração de um grande volume de rejeitos (SEHOENBERGER, 2016). Estimativas mostram, de modo geral, que para cada tonelada de material processado, apenas de 1 a 3% representam o material concentrado, sendo o restante, 97 a 99% rejeitos (ADIANSYANH et al., 2015), uma vez que os percentuais de rejeitos produzidos variam em função do minério explorado e da mina. Desse modo, a taxa de produção global de rejeitos varia entre cinco e quatorze bilhões de toneladas por ano, com uma tendência ao agravamento devido ao aumento no processamento de minerais de baixo teor (ADIANSYAH et al., 2015; SOARES, 2010).

Além da alta produção de rejeitos, as características tóxicas destes dificultam seu gerenciamento. Assim, antes destes rejeitos serem descartados no sistema local de drenagem, eles precisam ser tratados com o objetivo de remover substâncias perigosas, ou podem ser estocados para que não contaminem o meio ambiente. Sendo que a maior parcela de rejeitos produzida globalmente é bombeada para instalações de armazenamento, abrangendo volumosos represamentos de superfície, mais conhecidas como barragens de rejeitos (LOTTERMOSER, 2010).

As barragens de rejeitos existem há aproximadamente um século, tornando a construção e manutenção desses barramentos um acontecimento relativamente recente nas indústrias minerárias (CHAMBERS & HIGMAN, 2011). Embora tenham ocorrido importantes avanços tecnológicos e científicos, ao longo dos últimos 100 anos, que permitiram a indústria da mineração realizar perfurações cada vez mais profundas e extrair minerais de baixo teor, as questões relacionadas ao gerenciamento e segurança das barragens de rejeitos não receberam a mesma atenção (ISLAM & MURAKAMI, 2021). Fato que pode ser demonstrado pelas várias falhas de barragens ocorridas na história recente (AZAM & LI, 2010), tais como os acidentes ocorridos na Romênia (Baia Mare e Baria Borsa, em 2000), na Filipinas (San Marcelino Zambales, em 2002), na Rússia (Karamken, em 2009), na Hungria (Ajka, em 2010), no Canadá (Mount Polley, em 2014), no Brasil (Fundão ou Mariana, 2015), na China (Luoyang Xiangjiang Wanji, em 2016), na Índia (Vedanta, em 2017), no Brasil (Mina Córrego do Feijão, ou Brumadinho, em 2019), entre vários outros (LUMBROSO et al., 2019; WISE, 2021).

As falhas de barragens de rejeitos provocam graves impactos sobre a biodiversidade e serviços ecossistêmicos, com efeitos ambientais imediatos e de longa duração, que promovem mudanças na estrutura e nas funções do ecossistema com implicações sociais. Esses episódios, geralmente, lançam grandes volumes de rejeitos em corpos d'água adjacentes, conseqüentemente, podem ocorrer impactos físicos (aumento da turbidez ocasionando sufocamento), e químicos (a toxicidade de contaminantes reduzem o oxigênio disponível) nos organismos aquáticos (ROCHE et al., 2017). Outros impactos causados nessas ocasiões são: a redução das populações de espécies aquáticas, a modificação na estrutura vegetativa, perda de capacidade regenerativa, bioacumulação de metais, perda de receita provenientes do turismo, e redução ou corte do abastecimento de água (ROCHE et al., 2017).

Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo montar um panorama global dos eventos de rompimentos de barragens de rejeitos de minério, usando para isto tanto a revisão da literatura científica, como os relatórios fornecidos pelas agências técnicas internacionais da área de barragens (International Commission on Large Dams; The Center for Science Public Participation e World Information on Energy). Entretanto, antes disso, é preciso fazer alguns esclarecimentos sobre a atividade minerária, os rejeitos gerados por ela, as barragens de contenção de rejeitos e os impactos ambientais promovidos pela atividade.

1.1. MINERAÇÃO

A atividade mineraria é a retirada de material do solo com o objetivo de obter substâncias úteis, dotadas de valor econômico, extraídas em estado natural e processada até sua adequação para destinação final (THOMÉ & PASSINI, 2018). Em contrapartida, o processamento mineral tem como propósito conectar fisicamente os minerais do minero, enquanto a extração metalúrgica visa destruir as ligações cristalográficas do minério para recuperar o elemento o composto procurado (LOTTERMOSER, 2010).

A atividade mineraria é caracterizada por um conjunto de etapas: prospecção, pesquisa, lavra e descomissionamento (THOMÉ & PASSINI, 2018), no entanto, a exploração mineral só acontece após a lavra da rocha ou solo. Após o processo de lavra os minérios extraídos são encaminhados para que sejam beneficiados. Esse processo pode ser compreendido como um tratamento industrial que prepara granulometricamente, purifica ou enriquece minérios por métodos físicos ou químicos, sem alterar as constituições químicas dos minerais extraídos, dividindo o mineral bruto em concentrado e rejeito (ARAÚJO, 2006).

Essa massa de minério que é rejeitada é proveniente das fases de lavra e/ou beneficiamento do minério, e a depender do tipo de minério explorado a quantidade de rejeitos regrados após o beneficiamento é extremamente maior que a dos produtos obtidos pela mineração (SOARES, 2010). Outros fatores que contribuem para um aumento exorbitante da geração de rejeitos, provenientes dessas fases (lavra e/ou beneficiamento), são a baixa concentração de metal encontrados no mineral bruto e o aproveitamento de minérios de baixo teor ou de difícil beneficiamento (ARAÚJO, 2006; SOARES, 2010).

A produção e acumulação dos rejeitos regrados nesses processos são responsáveis por causar inúmeros problemas e impactos ao meio ambiente, a economia e até a própria mineração (LYU et al., 2019), por isso, se faz necessário tecer algumas considerações sobre essa massa mineral rejeitada.

1.2 REJEITOS DE MINÉRIO

Os rejeitos são definidos como a fração do minério desprovida de mineral útil ou de valor agregado, obtido através de processo de beneficiamento mineral. Processo esse que compreende diversas etapas: lavagem, peneiramento, deslamagem, concentração gravítica e magnética, flotação, lixiviação, entre outras. Sendo, a britagem e a moagem praticamente indispensáveis para liberação dos materiais de interesse, gerando partículas angulosas com bordas e superfícies rugosas que exibem fratura frescas (SOARES, 2010).

Os rejeitos provenientes desse processo têm a constituição caracterizada pela presença de uma fração líquida e sólida, com uma concentração que varia de 30 a 50% em peso (ARAÚJO, 2006). A parte sólida é constituída por partículas com composição granulométrica, mineralógica e físico-química diversificadas, apresentando características diretamente condicionadas a jazida e ao processo de beneficiamento ao qual são submetidas, e podem variar de materiais arenosos não plásticos (rejeitos granulares) até solos muito finos e de alta plasticidade (lamas) (ALBUQUERQUE FILHO, 2004). Enquanto a fração líquida possui composições altamente variáveis, que também estão condicionadas a técnica de processamento empregada, podendo criar águas residuais fortemente ácidas ou alcalinas com altas concentrações de ferro, manganês, alumínio, traço de metais, metaloides, fluoreto, cloreto e sulfeto (BODÉNAN et al., 2004).

O descarte destes rejeitos pode ser realizado na forma seca (a granel ou pasta), utilizando caminhões ou correias transportadoras; ou na forma líquida (polpa), transportada através de tubulações que utilizam sistemas de bombeamento ou gravidade. A escolha do método de disposição dos rejeitos (minas subterrâneas, cavas exauridas de minas, empilhamento seco, disposição em pasta ou em barragens de contenção de rejeitos), depende do tipo de processo de mineração, das condições geológicas e topográficas da região, das propriedades mecânicas dos materiais e do poder de impacto ambiental do contaminante dos rejeitos, porém as barragens de contenção de rejeitos são mais utilizadas para disposição do material (ALBUQUERQUE FILHO, 2004).

1.3 BARRAGEM DE CONTENÇÃO DE REJEITOS DE MINÉRIO

A legislação brasileira, especificamente a Lei que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (Lei nº 12.334 de 2010) define as barragens de contenção de rejeitos como:

qualquer estrutura construída dentro ou fora de um curso permanente ou temporário de água, em talvegue ou em cava exaurida com dique, para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas (BRASIL, 2010).

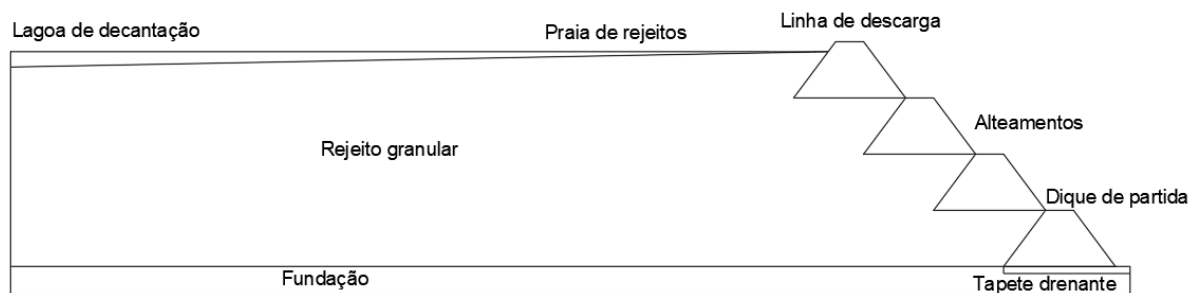
Essas estruturas têm como objetivo principal armazenar os rejeitos gerados pela produção minerária, e a depender do tipo de estrutura construída, esses rejeitos são reaproveitados e utilizados como material para a sua construção e/ou ampliação que é realizado em etapas (VALERIUS, 2014).

Alguns aspectos distinguem as barragens de contenção rejeitos de minérios das barragens utilizadas nas obras civis em geral (CARDOZO, PIMENTA & ZINGANO, 2016). Um desses fatores é a sua construção em etapas, iniciada através um dique de partida, seguindo o ritmo de produção da lavra, assim à medida que os rejeitos são gerados, os alteamentos são executados ao longo da vida útil da barragem (DUARTE, 2008). Usualmente, três metodologias construtivas de barragens de rejeitos são mais utilizadas: método de alteamento a montante, método de alteamento a jusante e método de alteamento linha de centro (CARDOZO, PIMENTA & ZINGANO, 2016). Todos estes métodos construtivos, geralmente, utilizam como material para os alteamentos o próprio rejeito (ARAÚJO, 2006).

1.3.1 Método de Montante

O método de montante consiste na construção de alteamentos do barramento seguindo sempre o sentido a montante sobre o rejeito já consolidado (CARDOZO, PIMENTA & ZINGANO, 2016) (Figura 1).

Figura 1. Sequência de alteamentos pelo método a montante



Fonte: Do autor, redesenhado de ALBUQUERQUE-FILHO, 2004.

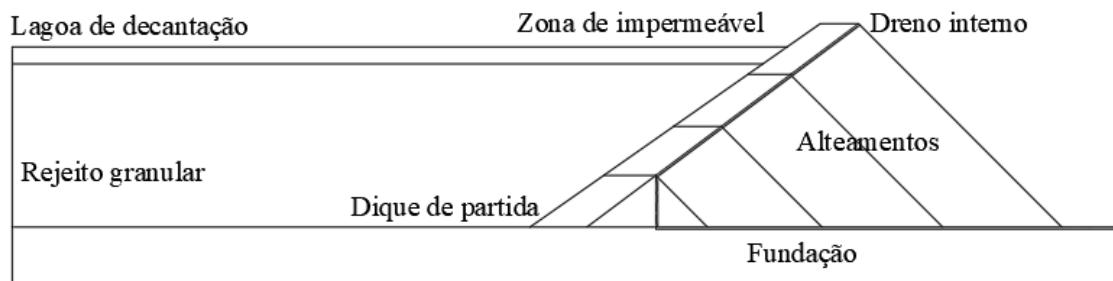
Neste caso, o eixo da obra é deslocado para direção à montante, utilizando os rejeitos lançados a partir da crista do dique inicial como parte da estrutura. A praia de rejeitos formada servirá, posteriormente, como fundação para construção de um novo alteamento (SOARES, 2010). Esse método apresenta como vantagens o baixo custo construtivo, maior velocidade de alteamentos, pouca utilização de equipamentos de terraplanagem (THOMÉ & PASSINI, 2018) e menores volumes de aterros compactados (SOARES, 2010). Contudo, a principal desvantagem é o baixo coeficiente de segurança, ocasionado, sobretudo devido à proximidade da linha freática ao talude de jusante, o que pode acarretar em entubamento, ocorrido quando a água tem a capacidade de atravessar determinadas regiões do talude aparecendo a montante da barragem enfraquecendo a estrutura (THOMÉ & PASSINI, 2018). Há também o risco de

ruptura ocasionada pela liquefação da massa de rejeitos, provocada por efeito de sismos naturais ou vibrações causadas por explosões ou movimentação de equipamentos (SOARES, 2010).

1.3.2 Método de Jusante

O método de jusante é caracterizado pela construção dos barramentos sempre na direção jusante (Figura 2) sob o rejeito já consolidado (CARDOZO, PIMENTA & ZIGANO, 2016). O eixo de construção é deslocado na direção oposta ao do lago de decantação, durante os processos de alteamentos.

Figura 2. Sequência de alteamentos pelo método de jusante.



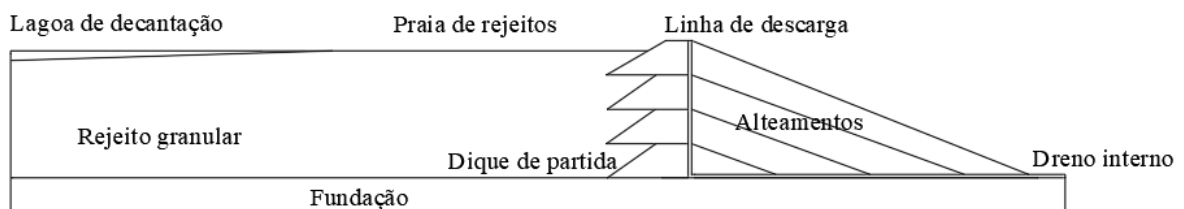
Fonte: Do autor, redesenhado de ALBUQUERQUE-FILHO, 2004.

Neste método é necessário a construção de um dique inicial de baixa permeabilidade com drenagem interna, através de filtro vertical e tapete drenante. Enquanto o talude, localizado a montante, é impermeabilizado com argila ou materiais sintéticos específicos para impermeabilização (SOARES, 2010; THOMÉ & PASSINI, 2018). As vantagens desse método são um maior coeficiente de segurança, menores chances de entubamento e rupturas horizontais, devido a uma maior resistência ao cisalhamento e maior resistência a vibrações ocasionadas por eventos naturais e/ou vibrações ocasionadas por explosivos utilizados no processo da lavra (SOARES, 2010). Já as desvantagens desse método são o alto custo construtivo, utilização de maior volume de material movimentado e compactado, menor velocidade nos processos de alteamentos, impossibilidade de cobertura vegetal e drenagem superficial durante o processo construtivo e necessidade de emprego de hidrociclones (SOARES, 2010). Outra desvantagem desse método é a utilização de áreas maiores para a contenção do rejeito (ARAÚJO, 2006).

1.3.3 Método Linha de Centro

O método construtivo de linha de centro é uma solução intermediária entre os métodos de montante e jusante, apresentando vantagens dos dois métodos construtivos e tentando amenizar as desvantagens aparentes em cada um (ALBUQUERQUE-FILHO, 2004). Contudo o comportamento estrutural da barragem está mais próximo ao proporcionado pelo método construtivo de alteamentos a jusante (SOARES, 2010). O processo construtivo desse método se dá a partir da construção de um dique inicial, de onde os rejeitos são lançados no sentido de montante, processo que ocasiona a formação de uma praia de rejeitos (Figura 3). Posteriormente, mais rejeitos são lançados sobre a praia e sobre o talude de jusante do dique inicial, os alteamentos subsequentes devem ser coincidentes ao eixo da crista do dique inicial durante toda a vida útil da barragem (ALBUQUERQUE-FILHO, 2004).

Figura 3. Sequência de alteamentos pelo método linha de centro.



Fonte: Do autor, redesenhado de ALBUQUERQUE-FILHO, 2004.

Este método apresenta como principais vantagens: a facilidade construtiva, a utilização de materiais de áreas de empréstimo, e a possibilidade de controle da linha freática no talude de jusante. Já as principais desvantagens são: (i) a possibilidade de escorregamentos da área a montante; (ii) a necessidade de uso de hidrociclones; (iii) a construção inicial, além do dique de partida, requer um enrocamento de pé; e (iv) não permite os tratamentos da superfície do talude de jusante (SOARES, 2010).

1.4 IMPACTOS AMBIENTAIS DA EXPLORAÇÃO DE MINÉRIOS

As perturbações e impactos ambientais ocasionados pela atividade de mineração não se limita a fase de operação, ocorrendo desde a fase de instalação e prolongando-se até a fase posterior a desativação da mina (LOTTERMOSER, 2010). Alguns dos impactos ambientais associados a atividade mineradora na etapa de instalação são: a supressão da vegetação local para construção de estradas de acesso, locais para perfuração e pistas de exploração, criação de áreas vazias para instalação de barragens e pilhas de rejeitos. Além disso, após a instalação,

atividade mineradora necessita de uso excessivo de água, e gera resíduos sólidos, líquidos e gasosos que podem ser liberados acidentalmente ou deliberadamente para os ecossistemas circundantes (LOTTERMOSER, 2010). As introduções antrópicas de metais e metalóides em ecossistemas aquáticos, terrestres e atmosféricos são estimados em milhões de quilogramas por ano (LOTTERMOSER, 2010). Dentre os resíduos lixiviados, encontra-se substâncias como óleos, graxas e metais pesados. A qualidade da água também pode ser prejudicada em razão do aumento da turbidez, alteração do pH, redução do oxigênio dissolvido e variação na qualidade da água a qual é provocada por esses sedimentos lixiviados (MECHI & SANCHES, 2010). Outro problema causado é o rebaixamento do lençol freático, o qual pode provocar a instabilidade das margens dos rios, causando a supressão das matas ciliares (MECHI & SANCHES, 2010). Essa poluição dos cursos hídricos gera desequilíbrio dos ecossistemas, tais como a redução ou destruição de habitat, afugentamento da fauna, morte de espécimes da fauna e da flora terrestres e aquáticas, incluindo eventuais espécies em extinção, interrupção de corredores de fluxos gênicos e de movimentação da biota (MECHI & SANCHES, 2010). Dentre todos os impactos ambientais provocados pela indústria da mineração, a drenagem ácida da mina (ADM) é apontada como um dos maiores problemas ambientais relacionados atividade de mineração (MELLO et al., 2014).

A poluição dos recursos hídricos não causa apenas desequilíbrio nos ecossistemas aquáticos, mas também põem em risco a saúde pública (XIAO et al., 2016). Os metais pesados, em particular, são uma classe de poluentes com ação mutagênica, genotóxica e citotóxica (YILDIZ et al. 2009). Um dos efeitos mais sérios da contaminação ambiental por metais pesados é a bioacumulação dos poluentes nos organismos vivos. Animais e plantas podem concentrar os metais em níveis extremamente superiores aos encontrados no ambiente, possibilitando o transporte dos contaminantes para diversos níveis da cadeia alimentar (PAPAGIANNIS et al., 2004). O que pode também levar a uma biomagnificação (ou magnificação trófica), que consiste no acúmulo progressivo de substâncias de um nível trófico para outro ao longo da teia alimentar. Assim, os predadores de topo têm maiores concentrações dessas substâncias do que suas presas (VOUTSAS et al., 2002).

É importante diferenciar aqui os impactos ambientais causados pela construção da mineradora e da sua atividade normal, daqueles impactos causados pelas rupturas em barragens de contenção de resíduos de mineração. Apesar do rejeito ser o mesmo, o espalhamento de grande volume e seus efeitos danosos são potencializados no caso dos acidentes. Assim, estes eventos são extremamente danosos a saúde humana e meio ambiente, trazendo graves consequências sociais e econômicas para região. O foco da nossa pesquisa é realizar um

levantamento e caracterização das barragens envolvidas nos acidentes registrados ao longo da história, bem como estabelecer uma associação de suas características com os impactos ambientais causados.

1.5 TRATAMENTOS DOS REJEITOS PARA EVITAR O DANO AMBIENTAL

Basicamente existem três estratégias para minimizar o dano ambiental causado pelos rejeitos da atividade mineradora, são eles: métodos preventivos, métodos de contenção e métodos de remediação (KONTOPOULOS, 1998). Alguns exemplos de métodos preventivos são o uso de coberturas secas (GALATTO et al., 2007), aditivos alcalinos (MACHADO et al., 2009), ou método de isolamento e exclusão de sulfetos (KONTOPOULOS, 1998). Estas abordagens têm sido consideradas para rejeitos de carvão e minérios sulfetados de cobre, aplicando processos gravimétricos (imagem, meio denso, entre outros) ou físico-químicos (flotação) com bons resultados (HESKETH et al., 2010; KAZADI MBAMBA et al., 2012). O método de contenção consiste na construção de diques, canais e sistemas que evitem ou minimizem o contato do rejeito com o meio ambiente. Já os métodos de remediação compreendem os processos de tratamento de efluentes, os quais podem ser métodos ativos ou passivos. Os métodos ativos ocorrem em estações de tratamento que empregam recursos humanos, reagentes e equipamentos para a neutralização do efluente e a precipitação dos metais (WEILER et al., 2016). Os métodos passivos são realizados em sistemas em que o controle operacional intensivo não é necessário, tais como drenos anaeróbios de calcário e banhados construídos (anaeróbios e aeróbios) (WEILER et al., 2016). A técnica comumente utilizada no tratamento dos rejeitos ácidos é a neutralização do efluente e precipitação dos metais na forma de hidróxidos. Para isso, o efluente ácido é captado e enviado a uma estação de tratamento de efluentes, onde é feita a adição de reagentes químicos alcalinizantes, como soda cáustica e cal (WEILER et al., 2016). Outra técnica frequentemente utilizada é a adição de polímeros floculantes, os quais ajudam na separação sólido-líquido em decantadores convencionais, de lamelas, flotores ou lagoas de decantação.

Os métodos descritos acima são aplicados nos rejeitos que ainda estão no domínio das mineradoras, mas dificilmente poderão ser aplicados no caso de acidentes com barragens de contenção de rejeitos, uma vez que o rejeito se espalha rapidamente no ambiente. Após o espalhamento, uma alternativa é o uso organismos vivos capazes transformar o rejeito em substâncias menos tóxicas (COLLA et al., 2008). De acordo com Gomes et al. (2021) esse processo refere-se à reparação de poluentes realizados por elementos biológicos, tais como plantas (fitorremediação), fungos (micoremediação) e microrganismos (biorremediação),

através de reações de absorção, transformação e degradação do contaminante. A descontaminação pode ocorrer tanto *in situ* quanto *ex situ*, sendo que a primeira apresenta menores custos, e não provoca contaminações secundárias (TAVARES, 2009)

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral:

Elaborar um panorama mundial da ocorrência de acidentes por ruptura de barragens de rejeitos de minérios e associá-los as características das barragens, ao espalhamento e toxicidade do rejeito, ao impacto ambiental gerado e aos mecanismos remediação do dano.

2.2 Objetivos específicos:

1. Realizar um levantamento histórico sobre número de acidentes causados por ruptura de barragens de rejeitos de minério em todo mundo, registrando informações sobre data, local, tipo de barragem, causa do acidente, tipo de minério, recurso hídrico atingido, área atingida e gastos com reparos de danos;
2. Realizar uma revisão da literatura sobre acidentes causados por ruptura de barragens de rejeitos de minério em todo mundo;
3. Correlacionar as informações das características das barragens com informações de ocorrência de acidentes e danos ambientais registrados.;
4. Verificar a ocorrência de estudos científicos que proponham estratégias para remediação do dano ambiental causado pelas rupturas de barragem;

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ESTRATÉGIAS DE BUSCA

3.1.1 Banco de dados com informações sobre os rompimentos de barragens de rejeitos em todo mundo

Em virtude da carência de um banco de dados único que hospede informações de todos os eventos de falhas de barragens ao longo da história foi utilizado nesta pesquisa diferentes bases de dados para a elaboração do panorama global de acidentes com barragens de rejeitos. A consulta em diferentes bases possibilitou a realização de um levantamento mais detalhado das informações sobre os acidentes ocorridos ao longo do último século, devido ao cadastro de detalhes diferentes sobre a mesma ocorrência contidos em bases distintas. Desta forma, os registros descritos neste trabalho são um compilado das informações obtidas em:

- i.* no relatório sobre falhas de barragens de rejeitos mundial, publicado pela International Commission on Large Dams (ICOLD) e pelo United Nations Environmental Programme (UNEP), em 2001 (ICOLD & UNEP, 2001);
- ii.* na planilha de falhas de barragens de rejeitos com cadastros a partir de 1915 até os dias atuais produzida pelo The Center for Science Public Participation (CSP2), o qual é um grupo internacional de treinamento e assessoria técnica a grupos de base sobre poluição da água e questões de recursos naturais, especialmente ligados à mineração;
- iii.* Banco de dados do World Information on Energy (WISE), que possui dados das principais falhas ocorridas a partir de 1960.

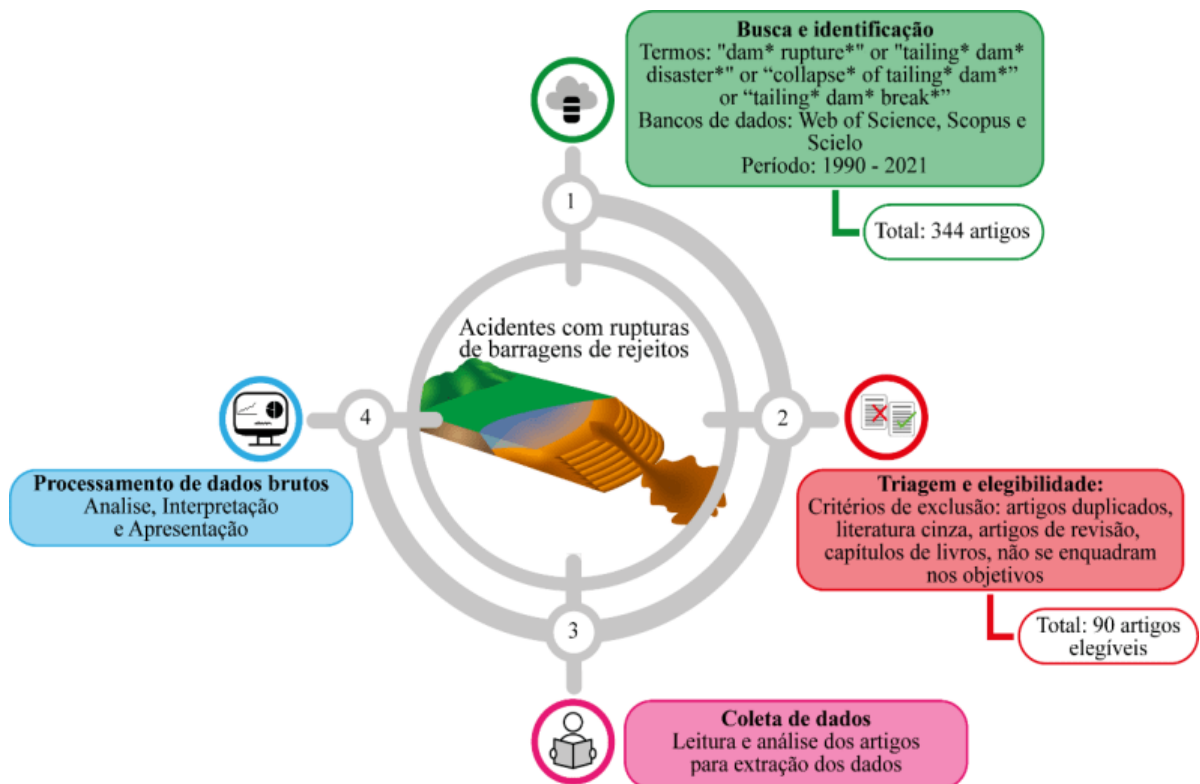
As informações obtidas foram em relação aos dados dos acidentes e características das barragens:

- i.* ao ano de ocorrência da falha;
- ii.* local e/ou nome da mina/empresa;
- iii.* país de localização da barragem;
- iv.* tipo de minério explorado;
- v.* tipo de construção da barragem;
- vi.* material de enchimento da barragem;
- vii.* volume de armazenamento;
- viii.* tipo e causa do acidente;
- ix.* volume de rejeitos liberados (m³);
- x.* distância percorrida (km);
- xi.* número de mortos.

3.1.2 Busca cienciométrica

Outra estratégia utilizada foi realizar uma busca na literatura sobre os acidentes com rompimento de barragens de rejeitos de minério. A pesquisa da literatura foi realizada até março de 2022, usando os bancos de dados Scopus, Web of Science e Scielo. O conjunto de palavras-chave, operadores booleanos e códigos de campo usados foram: “dam* rupture*” OR “tailing* dam* disaster*” OR “collapse* of tailing* dam*” OR “tailing* dam* break*”; o período das publicações (1990-2021) e tipo de documento (artigo), com busca no título, palavras-chave e resumo. O esquema metodológico para busca de artigos está representado na Figura 4.

Figura 4. Fluxograma sobre a metodologia de pesquisa usada para encontrar artigos sobre acidentes com rompimento de barragens de rejeitos de minério.



Os títulos e resumos dos artigos científicos foram avaliados pelos autores para seleção dos estudos que se enquadravam na temática acidentes com barragens de contenção de minérios. Alguns estudos foram lidos na íntegra, uma vez que, as informações do resumo não eram suficientes para essa tomada de decisão. Os dados obtidos com a leitura dos artigos científicos foram referentes as tendências e qualidade das publicações, ou seja, foram obtidas informações bibliométricas sobre o ano de publicação, veículo de publicação, número de citações do artigo e fator de impacto do periódico e área de estudo. Além dos dados

bibliométricos, foi avaliada a temática do estudo, ou seja, se era um artigo que descrevia impactos ambientais, ou educação ambiental, ou ações civis associadas aos acidentes, ou simulações de dano ou prevenção de dano, ou remediação do dano, ou causa do rompimento. Para os estudos de impacto ambiental e remediação foram avaliados os tipos de bioensaios usados, as espécies indicadoras e os biomarcadores.

3.2 ANÁLISE DOS DADOS

Os trabalhos elegíveis foram colocados em uma planilha do Excel. Para avaliar a tendência de crescimento das publicações ao longo dos anos, utilizou-se o coeficiente de correlação de Spearman (r_s) com significância de 5%. O teste de Pettit foi empregado na série temporal para determinar o momento em que as publicações começaram a aumentar. A correlação de Spearman também foi utilizada para avaliar se o aumento das publicações pode ser explicado pelo número de acidentes com barragens no mesmo recorte temporal das publicações (1990 – 2021). Todos esses testes foram realizados no *software* R versão 3.6.1 (R Core Team, 2019) e ambiente RStudio versão 1.2.1335 (RStudio Team, 2019). Análises estatísticas descritivas foram realizadas no Excel. Todos os gráficos foram feitos no GraphPad Prism versão 8.0.1. A confecção do esquema e ajustes dos gráficos foram realizados no Adobe Illustrator versão 24.0.1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

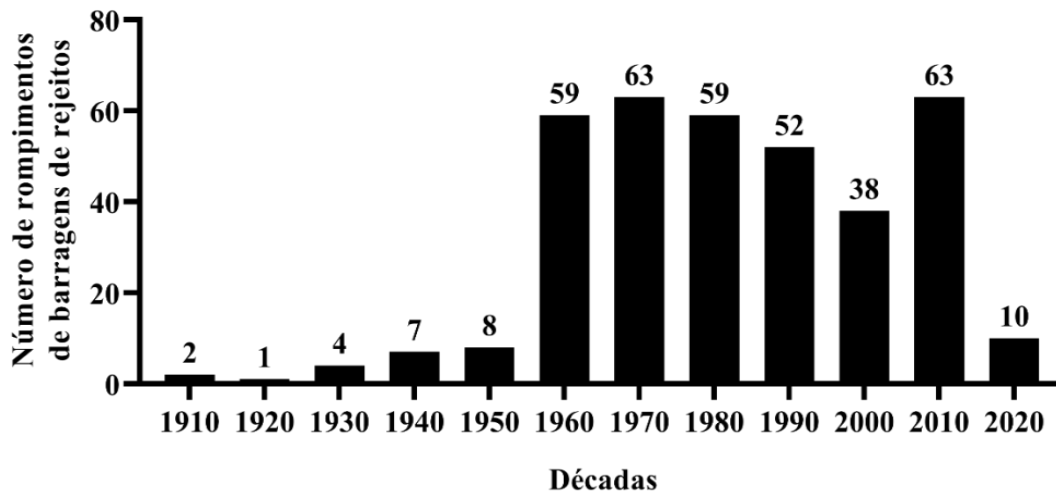
4.1 VISÃO HISTÓRICA DOS ACIDENTES DE BARRAGENS DE REJEITOS DE MINÉRIO

4.1.1 Distribuição temporal dos acidentes de barragens de rejeitos de minério

O total de falhas em barragens de rejeitos registradas nos três bancos pesquisados (ICOLD, WISE e CSP2) foi 366, o que resulta em uma taxa de rompimento anual de 3,45 acidentes por ano no período estudado (1915-2021). Contudo, este número provavelmente é subestimado, uma vez que muitos acidentes não estão registrados em nenhuma base de dados. Segundo Islam & Murakami (2021) países com legislações ambientais brandas e meios de comunicação controlado pelo governo podem evitar o registro de tais acidentes.

A Figura 5 sintetiza as ocorrências de falhas ao longo do último século, sendo o primeiro registro de rompimento de barragem encontrado em 1915, em uma mina de cobre no Chile. A média de ocorrências foi baixa até 1950, cerca de cinco ocorrências por década. A partir de então, o número de ocorrências registradas atingiu mais de 50 rompimentos nas décadas de 1960 (n=59), 1970 (n=63), 1980 (n=59) e 1990 (n=52). De acordo com Azam e Li (2010), a alta ocorrência de falhas durante estas décadas pode ser justificada pelo aumento da atividade de mineração posteriormente a Segunda Guerra Mundial. Este aumento supriu à alta demanda mundial por metais, minerais e matérias-primas, estando relacionada à reconstrução pós-guerra na América do Norte e Europa, além do início do desenvolvimento de países recém-independentes na Ásia e África. A alta demanda somada aos baixos requisitos de construção das barragens de rejeitos de minérios, podem ser os principais responsáveis pelas falhas de inúmeros barramentos de rejeitos (LYU et al., 2019). Na década de 2000, houve uma redução no número de ocorrências registradas de falhas de barragens (n=38) (Figura 5). Segundo Browker e Chambers (2015) esta redução é resultado de uma regulamentação mais rigorosa da mineração, aplicação de melhores práticas da indústria e uso de tecnologias modernas. Contudo, na década de 2010 volta ter aumento significativo no número de acidentes (n=63), com 17,2% do total dos acidentes registrados ocorridos somente nessa década, e estes são caracterizados por uma maior gravidade tanto em relação ao volume de rejeitos liberados quanto a área atingida e número de mortos.

Figura 5. Gráfico de barras mostrando o número de rompimento de barragens por décadas.



Fonte: Do autor.

4.1.2 Características gerais das bacias de contenção de rejeitos e suas falhas

Os métodos construtivos e o gerenciamento da mina são aspectos importantes na determinação do risco de acidentes com as bacias de contenção de rejeitos. Para verificar se o método construtivo influenciou no número de acidentes, foi quantificada nesta pesquisa a proporção de acidentes envolvendo cada tipo construtivo (Figura 6A). Apesar da maioria dos acidentes não fornecerem informação sobre o método construtivo (52%), os que fornecem tal informação corroboram com dados da literatura e mostram que foram mais frequentes os acidentes em barramentos construídos pelo método de alteamentos à montante (30%), seguido pelos métodos alteamento à jusante (6,8%) e linha de centro (3,6%). Uma explicação para maior número de acidentes em bacias de contenção construídas pelo método de alteamentos à montante, pode ser o fato desse método construtivo ser o mais antigo (com registros datados do início do século passado), mais simples e mais utilizado pelas mineradoras para armazenamento de rejeitos (RIBEIRO, 2014; ARAUJO, 2006). Além disto, estudos de estruturas de armazenamento de rejeitos também comprovam que este método é mais suscetível à instabilidade de carregamento sísmico, apresentando um risco inerente de rompimento por liquefação, em regiões com altos abalos sísmicos (LIANG & ELIAS, 2010; OLIVEIRA, 2006).

Na Figura 6B foi realizado um levantamento sobre o tipo de materiais contidos nas barragens as quais sofreram rupturas. Novamente não há informação a esse respeito para a maioria dos acidentes (57,4%), contudo, baseado nos registros informados, o material mais frequente nas barragens eram os rejeitos (18%), seguido por aterro (12,8%), areia cicladas (3,6%), resíduos de mineração (3,3%) e enrocamento (1,6%).

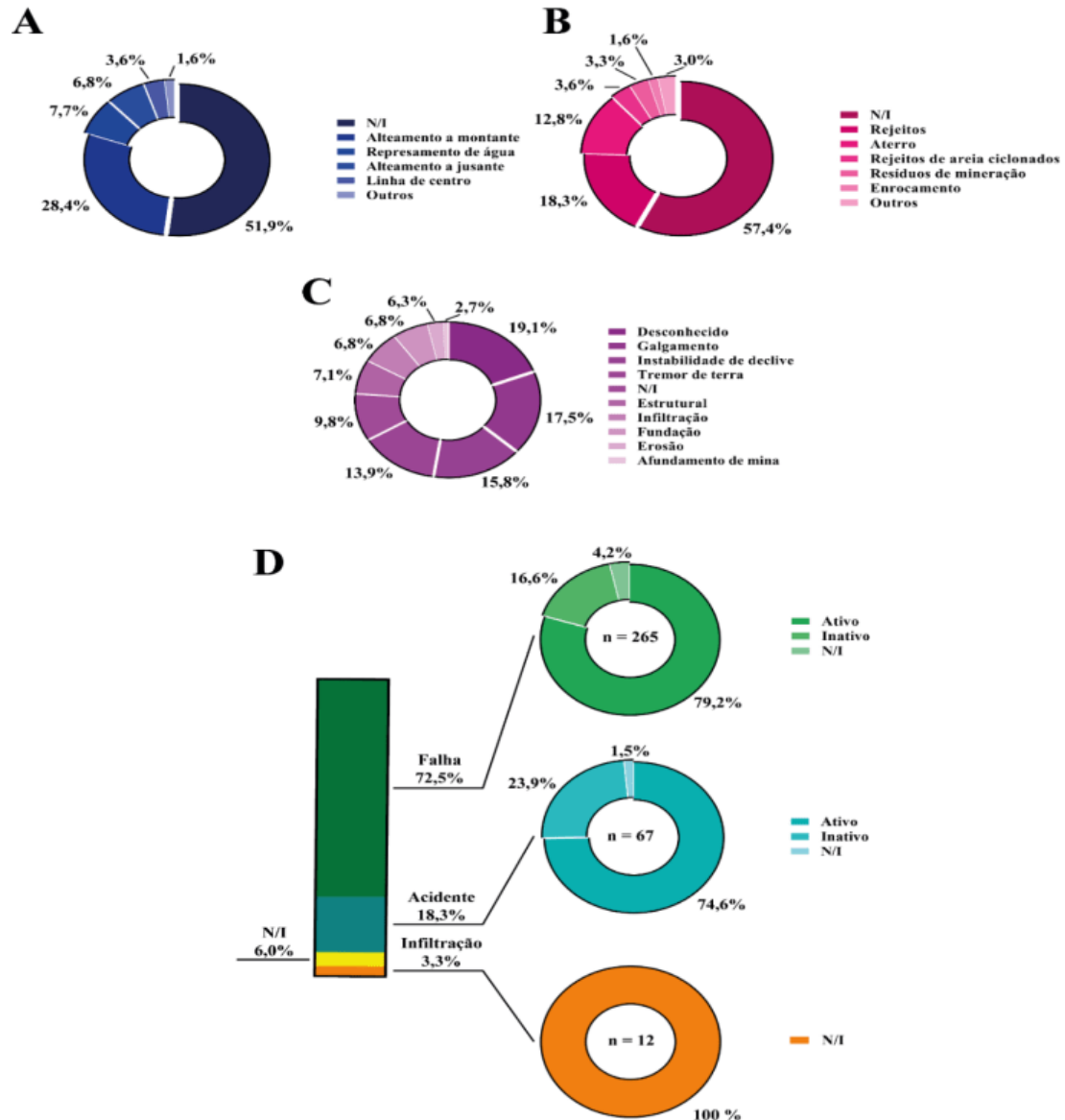
A Figura 6C mostra as principais causas dos acidentes em barragens. Cerca de 19% dos acidentes não tiveram sua causa conhecida e 7,1% não tinha a informação descrita nos bancos de dados. Para o restante dos acidentes (73,8%) foram mencionadas oito diferentes causas. Sendo o galgamento a causa mais comum para os rompimentos (17,5%). As falhas desencadeadas por galgamento são provenientes de um gerenciamento de barragem inadequado ao longo do tempo, o qual permitem o armazenamento de rejeito chegar ao ponto de galgamento/transbordamento (ROCHE et al., 2017). As outras causas encontradas foram instabilidade de talude (15,8%), tremor de terra (13,9%), causas estruturais (9,8%), infiltração (7,1%), fundação (6,8%), entubamento (6,3%) e afundamento da mina (2,7%). Essas causas, segundo Valerius (2014), sofrem influência direta da ausência de monitoramento e controle adequado dos níveis dos reservatórios e da superfície freática dentro das bacias de contenção de rejeitos. Exemplos de acidentes decorrentes destes tipos de falhas foram os rompimentos das barragens de Fundão, em Mariana (Brasil, 2015), e do Córrego do Feijão, em Brumadinho (Brasil, 2019). Ambas construídas por alteamentos à montante tiveram como causas descritas problemas estruturais e instabilidade de talude, respectivamente (WISE, 2021). A instabilidade de talude é responsável pelo desencadeamento do processo de liquefação, apontado como principal causa do rompimento de ambas as estruturas. Esse processo (liquefação), em bacias de contenção de rejeitos, pode ser desencadeado pelo excedente de chuvas e cargas, abalos sísmicos e complicações no sistema de drenagem (MELO, 2019). De acordo com Oliveira (2006), as bacias de contenção com alteamento à montante, apresentam dificuldade de implantação de um sistema de drenagem eficiente que consiga equilibrar o nível da água dentro da bacia de contenção de rejeitos. De modo que, a drenagem interna e externa, está relacionada a praticamente todos os mecanismos de falhas registrados (VALERIUS, 2014).

Após o rompimento da barragem do Córrego do Feijão (Brumadinho, 2019), a legislação brasileira que dispõe sobre segurança das barragens foi alterada, passando a ser proibido no país a construção e manutenção de barragens de mineração pelo método de montante, exigindo das empresas de mineração a descaracterização de todas as barragens construídas ou alteadas por esse método até fevereiro de 2022 (BRASIL, 2020).

A Figura 6D classifica os eventos ocorridos nas barragens em falhas, acidentes ou infiltrações. As falhas descrevem duas situações: *i*) falha grave do barramento durante a operação, resultando em abandono; e *ii*) falha grave da barragem durante operação com possibilidade de reparação. Já os acidentes são associados aos rompimentos da barragem e ocorreram em três situações: *i*) acidente com barragens operadas há certo tempo, retificado antes do rompimento; *ii*) acidente ocorridos durante o enchimento inicial; e *iii*) acidentes

ocorridos antes do início do enchimento (ICOLD, 2001). Por outro lado, a infiltração é o processo pelo qual a água atravessa a superfície do solo afetando o escoamento superficial. Com essa classificação, foi possível identificar que mais de 70% das ocorrências envolvidas com bacias de contenção de rejeitos estudadas, foram eventos graves (n=210). Além disto, os resultados da pesquisa mostram que as falhas foram os eventos mais frequentes representando mais de 70% dos casos registrados, seguido pelos acidentes (18,3%) e infiltrações (3,3%). Dentre as falhas, 28% dos registros ocorreram em barragens construídas pelo método de montante, com 73% dos rompimentos ocorridos somente no Chile e 10% no Japão, países estes localizados em regiões de alta atividade sísmica (Figura 6D). A Figura 6D também mostra se no momento do evento a mina era ativa ou inativa, sendo a grande maioria dos eventos ocorridos nas minas ativas.

Figura 6. Informações gerais sobre os acidentes com barragens de rejeitos de minério ocorridos até 2021, registrados no ICOLD, WISE e COP2. **A.** Tipos construtivos das barragens que se romperam; **B.** Material de enchimento das barragens; **C.** Principais causas dos acidentes e **D.** Tipo de acidente e condição do barramento.



Legenda: N/I = Não Informado, Fonte: Do autor.

4.1.2 Associação entre as falhas de barragens de rejeitos e os recursos explorados

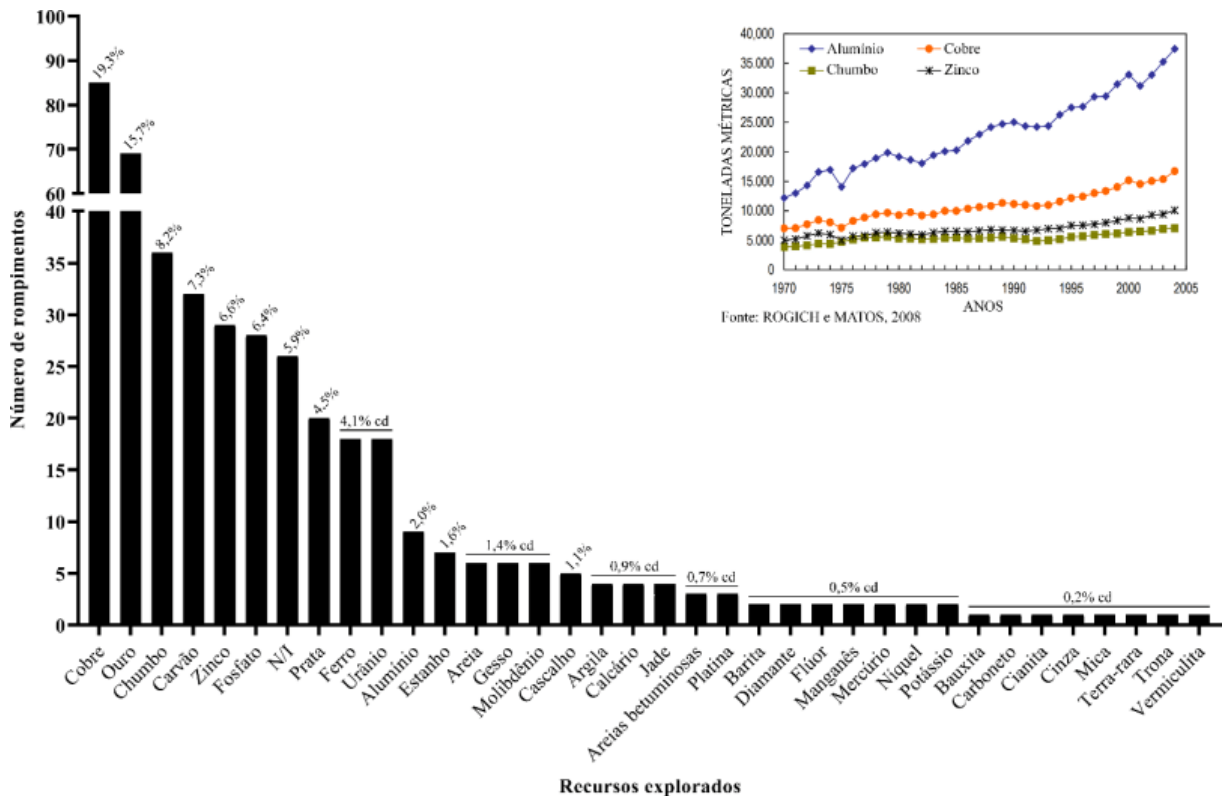
A Figura 7 associa as ocorrências de falhas de barragens de rejeitos com os tipos de minérios extraídos destas minas. Foram identificados 35 diferentes tipos de substâncias exploradas nos 366 registros de rompimentos. Entre estes minérios, as minas de cobre aparecem com destaque (19,3%), seguidas pelas minas de exploração de ouro (15,7%), chumbo (8,2%), carvão (7,3%), zinco (6,6%) e fosfato (6,4%). Estas seis substâncias somadas, contribuíram

para mais de 60% dos casos de rompimentos de barragens de rejeitos registrados para o período de 1915-2021.

Apesar da exploração de cobre ser a mais comum nos rompimentos estudados, este minério não foi o de maior produção mundial durante o período 1970 a 2005 de acordo com o relatório “The Global Flows of Metals and Minerals” (ROGICH & MATOS, 2008). Por outro lado, o minério mais explorado no período foi o alumínio, e o número de acidentes nestas barragens foi de apenas 2%. Assim, não é possível associar o aumento da exploração de um minério específico com maior ocorrência de acidentes.

Por outro lado, houve uma associação do tipo de minério e o país de exploração do minério. Entre os registros das falhas de barragens de rejeitos ocorridos nas minas de cobre, dois países se destacam no número de ocorrências: Chile e Estados Unidos, com 33 e 14 registros respectivamente. Dentre as falhas ocorridas no Chile, 17 aconteceram em um único ano (1965), enquanto nos Estados Unidos os registros de rompimentos foram mais distribuídos ao longo das décadas, com um intervalo menor em 1973, com três rompimentos para aquele ano. O Estados Unidos também se destacou nas ocorrências registradas nas minas de ouro, chumbo, carvão e fosfato, contribuindo sozinho para mais de 20% dos registros das falhas que ocorreram nas minas exploradoras desses minérios.

Figura 7. Substâncias exploradas que mais contribuíram com as falhas de barragens de rejeitos.



Legenda: cd = cada, Fonte: Do autor.

4.1.3 Magnitude das falhas em barragens de rejeitos

A Figura 8A demonstra a distribuição de falhas de barragens de rejeitos por capacidade de contenção e os volumes de rejeitos liberados pelos rompimentos. De acordo com os registros encontrados 18,3% das ocorrências de falhas aconteceram em barragens com capacidade de armazenamento de até 5 milhões de metros cúbicos de rejeitos, consideradas barragens de pequeno a médio porte (Azam & Li, 2010). Já as falhas ocorridas em estruturas de grande porte (armazenamento $> 10 \times 10^6 \text{ m}^3$) representaram 6,6%. Muitos acidentes (75%) não tinham informação a respeito da capacidade da barragem.

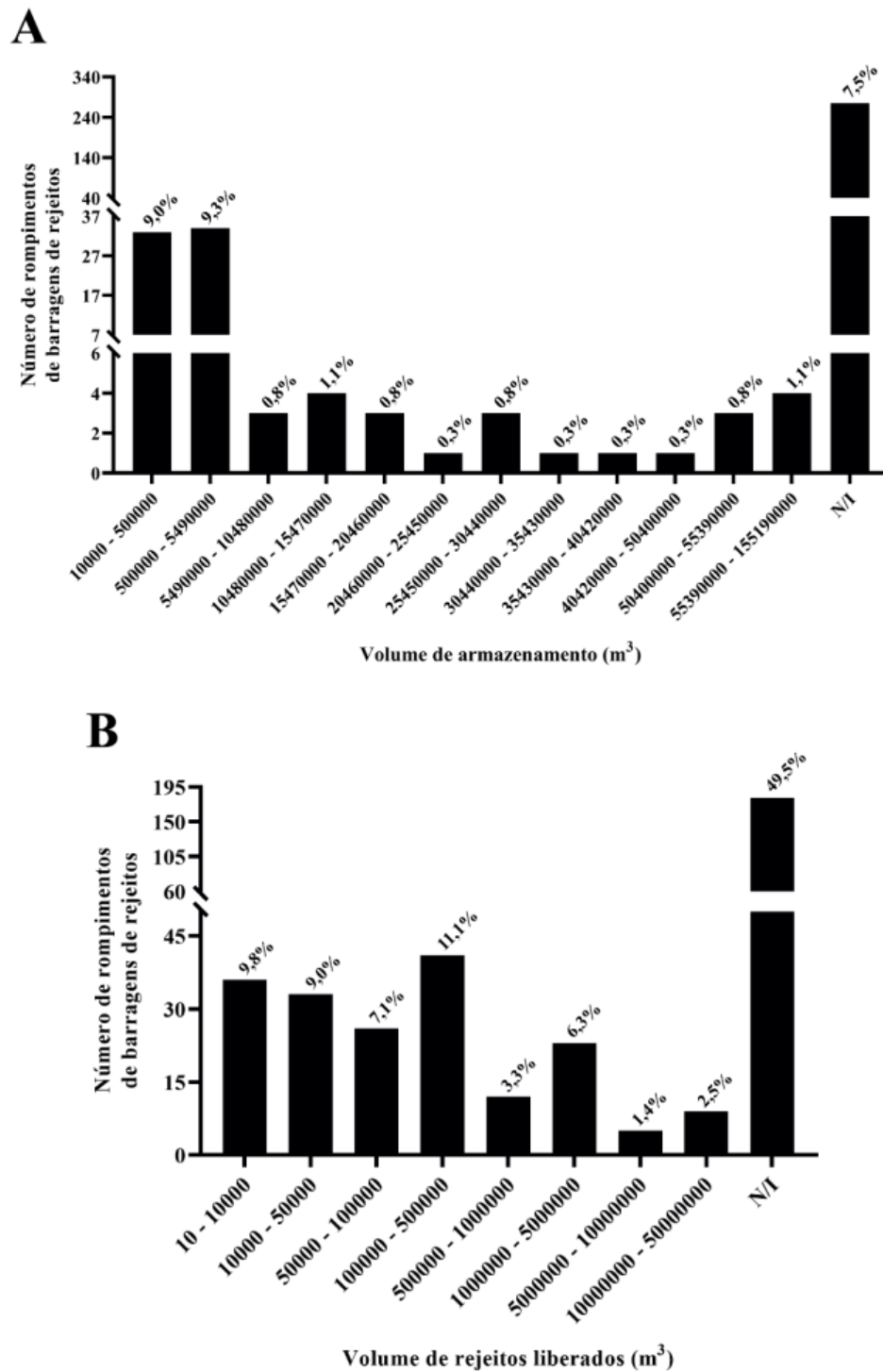
Em uma análise temporal, os eventos ocorridos anteriormente aos anos 2.000, 83,8% das ocorrências, aconteceram em barragens de pequeno e médio porte, uma vez que estas barragens possuem menor controle tecnológico, e 16,2% em barragens de grande porte. Enquanto, nas ocorrências registradas após 2.000 os rompimentos nas barragens de grande porte tiveram um acréscimo de 23,9% nas ocorrências. Desse modo, a taxa de falha em bacias de contenção de rejeitos de grande porte passou de 1,6% por década (eventos pré-2000), para 5% nos eventos ocorridos pós-2000.

Quanto aos volumes de rejeitos liberados pelos acidentes para o meio natural (Figura 8B), apesar da maior parcela dos acidentes não dispor desta informação, 41% dos registros encontrados identificaram a liberação de 279.114.891 milhões de metros cúbicos de rejeitos durante o período estudado (1915-2021). Entre esses volumes de rejeitos liberados, os vazamentos com liberação entre 100 e 500 mil metros cúbicos foram os que ocorreram com maior frequência, representando 11,1% dos casos. Entretanto, a soma dos eventos que lançaram um volume igual ou maior a um milhão de metros cúbicos de rejeitos para o meio ambiente, representaram 10,1% das ocorrências registradas.

O aumento na taxa de acidentes em barragens de grande porte indica uma tendência de ampliação na frequência e na gravidade dos rompimentos em bacias de contenção de rejeitos. Visto que, em análise realizada pelo World Mine Tailings Failures (2020), relacionou o tamanho médio atual das barragens de contenção de rejeitos ($17 \times 10^6 \text{ m}^3$), com o tamanho médio das bacias de contenção de rejeitos responsáveis pelas falhas classificadas como “graves” e “muito graves”, ocorridas no período 1950-2010. Os resultados evidenciaram que apenas 9% das barragens tinham capacidade de armazenamento igual ou superior a 17 milhões de metros cúbicos. Desse modo, as atuais condições estruturais, e o aumento progressivo da geração de rejeitos apontam para futuras falhas “graves” e “muito graves” com magnitude muito maior que as já registradas (WORLD MINE TAILINGS FAILURES, 2020; BOWKER & CHAMBERS, 2015).

O acidente que provocou a maior liberação de rejeitos foi o rompimento da bacia de contenção da mineradora Samarco S.A, Barragem de Fundão, em novembro de 2015, liberando 45 milhões de metros cúbicos de rejeitos provenientes da mineração de ferro. Enquanto a maior barragem, considerando volume de rejeitos armazenado, envolvida em acidentes foi a barragem de armazenamento da mina Padcal (Filipinas, em 2012), que continha 102 milhões de metros cúbicos de rejeito oriundo da exploração de cobre e ouro represados.

Figura 8. A. Classificação das bacias de contenção quanto ao volume represado; e B. volumes de rejeitos liberados para o meio ambiente pelos acidentes.

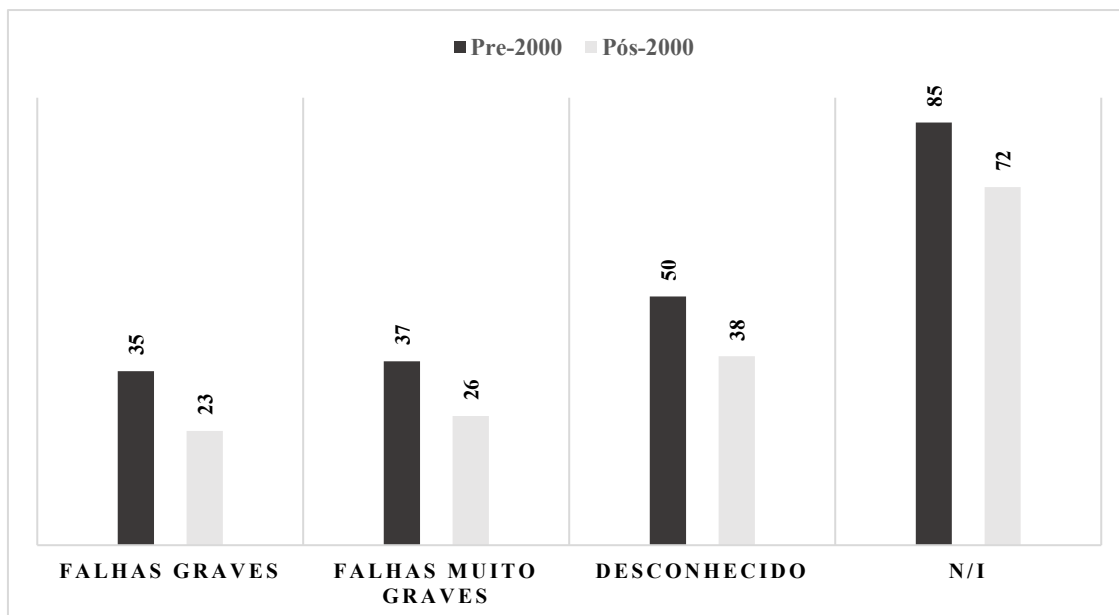


Legenda: N/I = Não Informado, Fonte: Do autor.

4.1.4 Associação entre a gravidade dos eventos, volume e espalhamento de rejeito liberado no acidente

A gravidade desses eventos está relacionada as perdas de vidas, ao volume de rejeitos liberados, e a distância percorrida pelo rejeito. São consideradas “falhas graves” aquelas com vítimas fatais e/ou liberação de rejeitos semissólidos $\geq 100.000 \text{ m}^3$. São consideradas falhas “muito graves” os eventos que envolvem perda múltipla de vidas (geralmente ≥ 20) e/ou liberação de rejeitos semi-sólidos $\geq 1.000.000 \text{ m}^3$, e/ou área atingida pelos rejeitos de 20 km ou mais (BOWKER & CHAMBERS, 2015). A Figura 9 demonstra o número de acidentes graves e muito graves ocorridos antes e após os anos 2000.

Figura 9. Número de falhas graves e muito graves ocorridas antes e após os anos 2000.



Legenda: N/I = Não Informado, Fonte: do autor.

Considerando essa classificação, entre os 366 registros de rompimentos de barragens de rejeitos encontrados, 15,8% (n=58) foram falhas graves e 17,2% (n=63) falhas muito graves, o restante foram consideradas desconhecidas (sem informação suficiente, n=88) e não informado (n=157). Analisando as ocorrências por períodos (1915-1999 e 2000-2021), houve um acréscimo de 7% nas falhas graves e 8,9% nas falhas muito graves após a virada do século, corroborando com a tendência de aumento na frequência e gravidade das falhas futuras, citada acima.

Apesar da grande lacuna nas informações referentes ao número de vítimas fatais e distância percorrida pelos rejeitos, foi constatado a morte de 3.043 pessoas e um percurso de

4.868,15km atingido pelos rejeitos. De acordo com os registros, o acidente que provocou o maior espalhamento (distância percorrida) de rejeitos foi o acidente na Baía Mare na Romênia, em 2000. Neste acidente foram liberados pela barragem da empresa Aurul S.A cerca de 100 mil m³ de rejeitos, que percorreram 2.000 km até desaguar no Mar Negro, contaminando as águas de três países Romênia, Hungria e Yugoslavia (SOLDÁN et al., 2000). Enquanto o acidente que provocou o maior número de vítimas fatais ocorreu em 1966 na Bulgária, com o rompimento da barragem da mineração Mir Mine, liberando 450 mil m³ de rejeitos provenientes da exploração de chumbo e zinco, percorrendo 8 km e causando a morte de 488 pessoas.

4.2 BIBLIOMETRIA

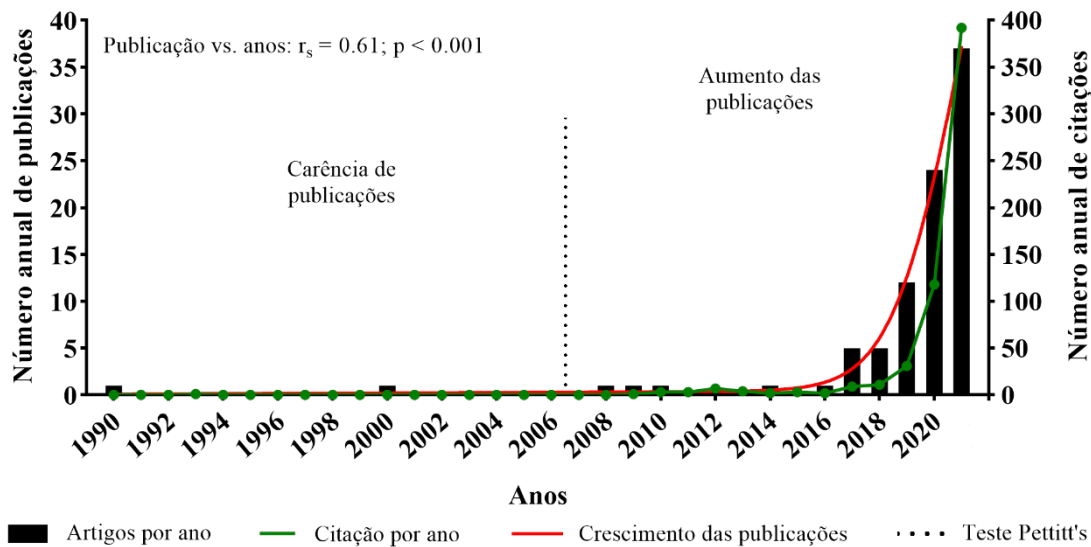
4.2.1 Número de artigos publicados sobre os acidentes em barragens de rejeitos de mineradoras

A busca nos bancos de Scopus (175), Web of Science (152) e Scielo (17) identificaram um total de 344 publicações. Deste total, 244 publicações foram desconsideradas após aplicação dos critérios dos seguintes critérios de elegibilidade: remoção de artigos duplicados; remoção da literatura cinza; remoção de artigos de revisão e de capítulos de livros. Dos 90 artigos selecionados para o estudo, um não se enquadrava na temática do estudo, e dois não tinham acesso disponível.

4.2.2 Tendências de publicações

A Figura 10 demonstra as tendências temporais das publicações relacionadas aos acidentes envolvendo bacias de contenção de rejeitos de minérios, e o número de citações por ano, para o período de 1990 a 2021. Os resultados mostram que o número de publicações apresentou aumento (Spearman, $r_s = 0,61$; $p < 0,05$) para o período analisado, com uma taxa total de crescimento anual de 12,45%. A aplicação do teste de Pettit evidenciou a mudança nas tendências de publicação dividiu a série histórica em dois períodos. Um período de carência em publicações, de 1990 a 2006, no qual o valor médio de artigos publicados foi de 0,25 ao ano. E outro período, de 2007 a 2021, caracterizado pelo aumento no número de artigos publicados, apresentando uma média de 6,14 ao ano. O número de citações acompanhou a tendência temporal de publicações e aumentou ao longo das décadas.

Figura 10. Gráfico de barras mostrando o número de publicações por ano (esquerda) e gráfico de dispersão mostrando a média de citações por ano (direita).



Fonte: Do autor.

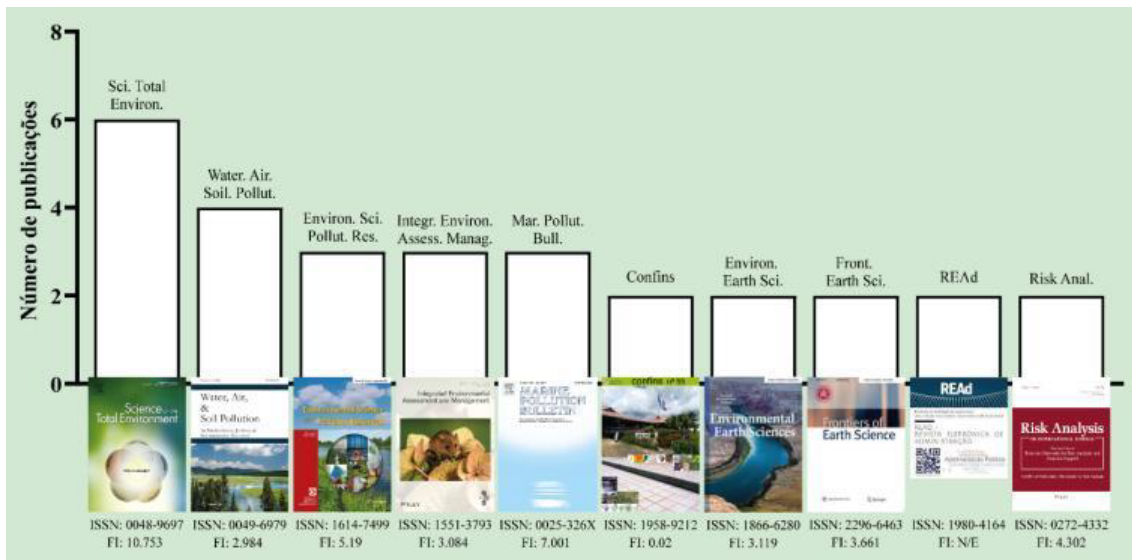
A associação da tendência temporal com a repercussão e gravidade dos acidentes talvez possam explicar a mudança de interesse da comunidade científica sobre este assunto após 2006. No período de carência de publicações (1990-2006), foram registrados 82 acidentes, sendo 45% destes considerados graves e muito graves (BOWKER & CHAMBERS, 2015). Um exemplo a ser citado é a ruptura parcial da barragem da mina de Aznalcoálar (Espanha, em 1998). Neste acidente foram liberados aproximadamente 5×10^6 m³ de rejeitos provenientes do beneficiamento de minérios de chumbo e zinco, o que provocou a contaminação de terras agrícolas e zona húmidas, percorrendo mais de 40km a jusante do local de vazamento e atingindo o Parque Natural de Doñana (MEHARG et al., 1999). Entretanto, as implicações das falhas registradas para esse período e suas repercussões, não atraíram o interesse dos pesquisadores, visto que, de acordo com os trabalhos recuperados apenas 4,4% foram publicados entre 1990 e 2006. Já no período de aumento das publicações, iniciado em 2006 e com um crescimento acentuado a partir de 2016, observa-se a associação do aumento de artigos com dois acidentes em específico, os acidentes com as barragens do Fundão (Mariana, em 2015), e da barragem do Córrego do Feijão (Brumadinho, em 2019), ambos no estado de Minas Gerais, Brasil e pertencentes a Samarco S.A. (Vale e a BHP Billiton). Nossa pesquisa mostra que 70% dos artigos publicados de 2016 a 2021 são a respeito de um destes dois acidentes. A magnitude dos impactos negativos provocados pelo rompimento dessas barragens, o curto intervalo de tempo entre as ocorrências, o número de vítimas, as chocantes imagens

transmitidas e a ampla divulgação na mídia são provavelmente os responsáveis pelo aumento de pesquisas no tema.

4.2.3 Métricas das publicações

Atualmente, na comunidade científica, o número de citações e os fatores de impacto dos periódicos são frequentemente utilizados como indicador de qualidade da pesquisa (VITZTHUM et al., 2010; MIGLIOLI, 2017). O número de citações mostra quantas vezes cada publicação foi citada em um determinado período, enquanto o fator de impacto do periódico é calculado usando a taxa média de citação de todos os artigos publicados em um determinado periódico. Assim, nesta pesquisa foi avaliado o total de citações (Figura 10) e o fator de impacto dos periódicos (Figura 11). A análise destes dados permite inferir que houve um aumento contínuo nas métricas quantitativas (número de artigos por ano) e qualitativas (fator de impacto e número de citações de artigos) no tema acidentes com bacias de contenção de rejeitos de minérios. Em relação aos periódicos com maior interesse no tema, a Figura 11 mostra o nome e fator de impacto dos 10 periódicos que mais publicaram sobre o tema.

Figura 11. Tendência de melhoria das publicações de acordo com os periódicos.

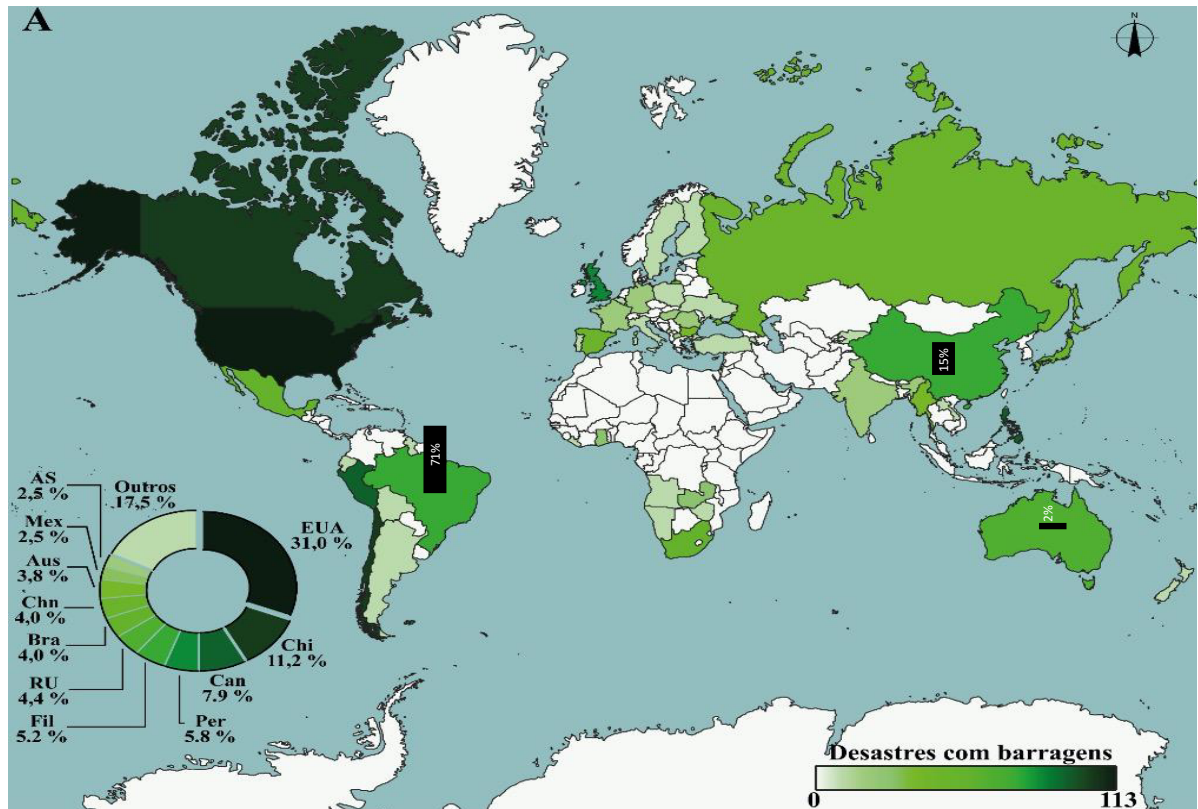


4.2.4 Distribuição mundial das publicações

A Figura 12 demonstra que os acidentes em bacias de contenção de rejeitos de minérios ocorreram principalmente nos Estados Unidos da América (31%), Chile (11,2%), Canadá (7,9%), Peru (5,8%), Filipinas (5,2%), Reino Unido (4,4%), Brasil (4,0%), China (4,0%),

Austrália (3,8%), México (2,5%), e África do Sul (2,5%) e o restante (17,5%) em baixa incidência nos outros países. De acordo com Lyu et al. (2019), o expressivo número de acidentes registrados em países desenvolvidos tem relação com o período de desenvolvimento econômico, pois a maioria das falhas ocorreram no século XX. Os Estados Unidos da América registraram 100 rupturas de barragens de rejeitos durante o período pré-2000, reduzindo para 15 ocorrências no período pós-2000. Em contrapartida a maior parcela das rupturas de barragens de rejeitos ocorridas em países em desenvolvimento aconteceram após a virada do século. A associação dos dados sobre ocorrência mostra que os países que tiveram maior número de acidentes não são os países que mais publicam sobre este assunto. As barras na Figura 11 mostram que Brasil (71,4%), a China (15,2%) e a Austrália (2,2%) são os principais países publicam artigos sobre os acidentes em bacias de armazenamento de rejeitos de minério. O grande incremento de publicações provenientes de instituições brasileiras pode ser relacionado aos rompimentos das barragens de Mariana e Brumadinho, visto que, todas as publicações brasileiras abordaram um desses acidentes, ou os dois (n=63). Esses resultados mostram que não há relação entre os países com maior volume de falhas de barragens e os países com mais publicações sobre o tema de ruptura de barragem de rejeitos.

Figura 12. Distribuição mundial dos rompimentos de barragem de contenção de rejeitos de minério por países de 1915-2021, registrados no ICOLD, WISE e COP2; e as barras dentro dos países mostram a distribuição mundial dos países com mais publicações abordando as falhas de barragens de rejeitos.



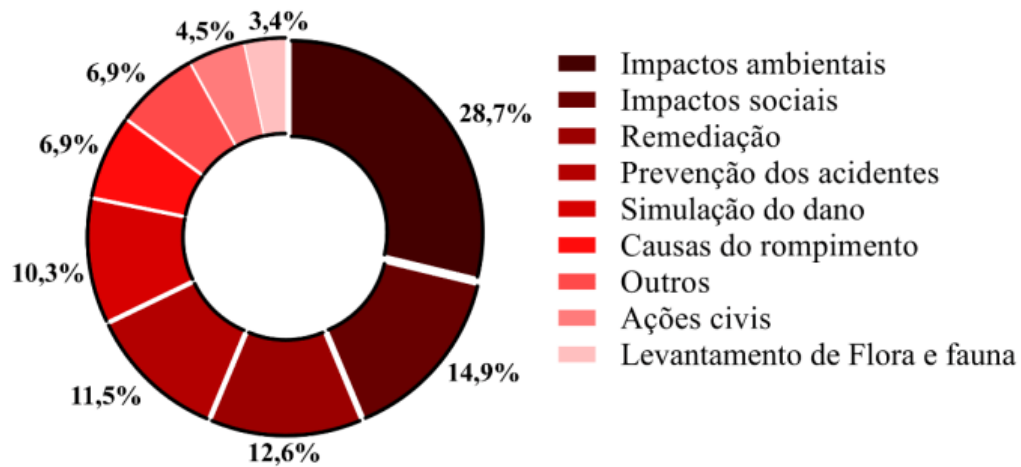
Legenda: EUA = Estados Unidos da América; Chi = Chile; Can = Canadá; Rer = Peru; Fil = Filipinas; RU = Reino Unido; Chn = China; Bra = Brasil; Aus = Austrália; Mex = México; AS = África do Sul.

Fonte: Do autor.

4.2.5 Temática abordada nas publicações e as ferramentas usadas para o estudo

Foram criadas algumas categorias para classificar os principais temas abordados nos artigos científicos. As principais foram: impactos ambientais (n=25), remediação e mitigação dos danos (n=11), causas dos rompimentos (n=6), prevenção de acidentes e simulação dos danos (n=19), ações civis relacionadas aos acidentes (n=4), levantamento de fauna e flora nas áreas impactadas (n=3), e os impactos sociais e econômicos provocados pelas falhas das barragens de contenção de rejeito (n=16) (Figura 13). Estes resultados mostraram que os rompimentos das barragens de Fundão (Mariana, em 2015) e Córrego do Feijão (Brumadinho, em 2019) foram os únicos diretamente relacionados com as abordagens das publicações, aparecendo em 73% (n=63) dos artigos recuperados, os 27,5% (n=24) restante estavam relacionadas as bacias de contenção de rejeitos, no entanto não fizeram relação com nenhum acidente específico.

Figura 13. Principais temas abordados na literatura analisada.



Fonte: Do Autor.

O rompimento da barragem em Mariana, também conhecido como Fundão, lançou 45 milhões de m³ de rejeitos de minério de ferro liquefeitos nos sistemas fluviais subjacentes a barragem (REIS et al., 2019) na bacia hidrográfica do Rio Doce. A lama de rejeitos fluiu por mais de 600 km, percorrendo o estado de Minas Gerais até o Espirito Santo, foz do Rio Doce, no oceano Atlântico impactando mais de um milhão de pessoas nesse percurso e causando inúmeros prejuízos, estimados em US\$ 5,2 bilhões (em valores da época) pelo governo federal (MILANEZ & LOSEKANN, 2016). O desastre causou a morte de 19 pessoas, destruiu dois distritos da cidade de Mariana em Minas Gerais (Bento Rodrigues e Paracatu de Baixo), impactou milhares de hectares de áreas de plantio e outras áreas utilizadas para atividades produtivas, com impacto direto em 1.469 hectares de terras, provocando o desemprego de milhares de agricultores, comerciantes e pescadores, além do impacto causado as populações tradicionais da região, como a tribo Krenak. O rejeito atingiu o Rio Doce e vários de seus afluentes comprometendo totalmente o consumo de água desses corpos d'água, provocando desabastecimento de água potável por semanas em várias cidades de Minas Gerais e do Espírito Santo (IBAMA, 2015; SILVA & ANDRADE, 2016), provocado pelo aumento da turbidez das águas, devido a alta concentração de sólidos, o que tornam o tratamento para abastecimento público mais difícil e oneroso (ANA, 2015).

O acidente de Brumadinho ocorreu em janeiro de 2019 e provocou a morte de 270 pessoas e 11 ainda não foram encontradas (VALE, 2021). O rompimento da Barragem B1, na mina do Córrego do Feijão, lançou no meio ambiente 12 milhões de metros cúbicos de rejeitos de minério de ferro, no córrego do Feijão, afluente do Rio Paraopeba, causando um aumento imediato da turbidez da água, provocando o desabastecimento dos municípios abastecidos pelo

Rio em questão, além de ocasionar inúmeros danos a flora e fauna, ao turismo da região, e principalmente, a população que vive nas áreas atingidas pelo rejeito, sendo os impactos humanos, sociais e ambientais incomensuráveis (CPRM, 2019; VIRGILIO et al., 2020).

A lama de rejeitos não provocou nenhum aporte de novos elementos químicos na bacia do Rio Doce, entretanto, durante a passagem da pluma de sedimentos liberados pelo colapso da barragem de Fundão, houve elevações significativas nas concentrações de vários metais pesados, entre eles chumbo, mercúrio, arsênio e cobre, sendo alguns desses metais comprovadamente prejudiciais à saúde humana, mesmo ingerido em pequenas concentrações (ANA, 2015). A pluma de rejeitos comprometeu completamente todo o Rio Doce, afetando diretamente os ecossistemas presentes em sua bacia, incluindo sua foz que é berço de diversas espécies (SILVA & ANDRADE, 2016), tornando-se um dos piores desastres ambientais do país (REIS et al., 2019), e o maior desastre envolvendo barragens de contenção de rejeitos de mineração no mundo, com base nos registros iniciados em 1915 (MILANEZ & LOSEKANN, 2016).

Apesar de a Samarco, empresa responsável pelas barragens de Mariana e Brumadinho, afirmar que os rejeitos não são perigosos, laudos Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), agência estadual ambiental, mostraram que o rio Paraopeba, por exemplo, possui concentrações de ferro total que superaram em até 2.200 vezes o valor máximo permitido para este tipo de manancial. O manganês total foi encontrado em valores de 7.365 vezes maiores que o máximo permitido. O chumbo total e mercúrio total apresentaram valores de até 21 vezes acima do limite preconizado (IGAM, 2019).

Assim o monitoramento e avaliação da toxicidade são fundamentais para avaliar os riscos destes rejeitos para ambiente e saúde humana. Na Tabela 1 é apresentada as ferramentas mais utilizadas no estudo de avaliação do efeito tóxico dos rejeitos dos acidentes com as barragens. Essas ferramentas de avaliação podem ser divididas em métodos físico-químicos (tais como concentração de metais, pH, temperatura, demanda química de oxigênio, turbidez, sólidos dispersos, sólidos totais, cloretos, fosfatos, sulfatos, surfactantes, nitrogênio total, pluviosidade, taxa de depuração, entre outros), biológicos (clorofila-a, bioensaios e metagenômica) e análises de imagem.

Os parâmetros físico-químicos são importantes e amplamente utilizados, para determinação da qualidade ambiental de meios aquáticos e terrestres. Por meio de indicadores de qualidade com limites máximos e mínimos, geralmente estabelecidos em leis, a integração desses parâmetros determina a qualidade ambiental do ambiente analisado (NOGUEIRA et al., 2015). A Tabela 1 mostra os métodos físico-químicos utilizados pelos autores para avaliar os

impactos ambientais provocados por rompimento de bacia de contenção de rejeitos. Os principais parâmetros utilizados nos artigos analisados foram o pH, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos suspensos, condutividade elétrica, temperatura e concentração de metais, aparecendo em 64% dos artigos recuperados. Além desses indicadores, a quantificação de metais são parâmetros importantes para avaliar o dano ambiental (SOUZA et al., 2021). Em baixas concentrações, metais como o cobalto, cobre, ferro e manganês são essenciais para o bom funcionamento do metabolismo dos seres vivo, entretanto, em altas concentrações tornam-se tóxicos (NIESNCHESKI et al., 2008). Os metaloides cádmio, chumbo, mercúrio, selênio e estanho são tóxicos mesmo em baixas concentrações devido a sua capacidade de formação de organometálicos, além de não possuírem função metabólica (SOUZA et al., 2021). A utilização desse parâmetro, através da determinação das concentrações de metais foi utilizada em 56% das publicações recuperadas.

Dentre os biológicos o uso de bioensaios são fundamentais para prever e avaliar efeitos de um xenobiótico, pois variam a concentração ou dose de determinado xenobiótico e associam com o efeito em determinada espécie, a qual é denominada espécie bioindicadora (PESSOTI et al., 2019). A Tabela 1 demonstra os tipos de bioensaios utilizados pelos autores, ou seja, qual a espécie indicadora utilizada escolhida para avaliar o dano. As espécies usadas foram variadas, desde seres unicelulares simples até seres pluricelulares e complexos. As espécies indicadoras já usadas são: *Allium cepa*, *Astryanax lacustris*, *Daphnia simulans*, *Danio rerio*, *Egeria densa*, *Lithobates catesbeianus*, *narcine brasiliensis*, *Raphidocelis subcaptata*, *Scheloribates praeincisus*. A vantagem do uso de bioensaios em relação aos testes físico-químicos é que os sistemas biológicos reagem a concentrações de substâncias bem abaixo dos limites de detecção por métodos de análise química, o que permite uma avaliação segura do potencial tóxico de substâncias ou de meios contaminados (VON SPERLING, 2007; MANAHAN, 2010).

Dentro da espécie indicadoras pode-se observar diferentes parâmetros, cada um deles é um biomarcador. Os biomarcadores são utilizados com o objetivo de quantificar o impacto dessa exposição de organismos aos xenobióticos. Assim ele mensura as modificações produzidas pelas substâncias teste em componentes, processos celulares, bioquímicos, estruturais ou funções. Os biomarcadores podem ser comportamentais, morfológicos, fisiológicos, bioquímicos ou moleculares. Por exemplo, a biota aquática está sujeita há grande número de substâncias tóxicas as quais acabam prejudicando sua capacidade de homeostase levando os organismos a apresentarem distúrbios bioquímicos, como o estresse oxidativo; e ou danos ao material genético, como as mutações, aberrações cromossômicas ou presença de micronúcleos (VAN DER OOST et al., 2003). Nos artigos analisados os principais

biomarcadores foram: aberrações cromossômicas, micronúcleos, índice mitótico, inibição de crescimento, mobilidade, letalidade, taxa de respiração, alterações histológicas, alterações moleculares, taxa de reprodução, mortalidade dos embriões. A avaliação dos danos através da realização de bioensaios foi aplicada em 36% dos estudos analisados.

A utilização de imagens de satélites foi outro método de avaliação dos danos causados por rompimento de barragem de rejeitos, abordadas nas publicações (OLIVEIRA et al., 2019; FRANCINI-FILHO et al., 2019). O sensoriamento remoto é uma ferramenta de grande valia para o monitoramento e avaliação de danos ocasionados ao meio ambiente, tendo em vista que, essa ferramenta é eficiente para detecção de mudança no uso e cobertura da terra (CURTARELL et al., 2020). O uso de assinatura radiológica em solo contaminados com rejeitos de mineração foi outra estratégia de avaliação dos danos mencionado nos artigos (BORGES et al., 2020; CARMO et al., 2020). Já a assinatura radiométrica é uma importante ferramenta para avaliação da poluição radiológica.

A avaliação dos impactos ambientais provocados por ruptura de barragem de rejeito, são a base para a definição da estratégia de recuperação mais adequada para as áreas degradadas. Dentre essas estratégias, a remediação dos compostos tóxicos, presentes nos rejeitos, pode ser realizada por meio da remoção dos poluentes ou redução da mobilidade dos mesmos (GOMES et al., 2021). Estratégias físicas, químicas e biológicas podem ser empregadas para alcançar essas reduções

Tabela 1. Metodologias de avaliação dos impactos ambientais usando testes físico-químicos e toxicidade usando bioensaios

Físico-químico	Bioensaios		Autores
	Espécie Indicadora	Biomarcador	
Concentração de metais (água e sedimentos); carbono orgânico dissolvido e nitrogênio total dissolvido	<i>Allium cepa</i> (cebola); <i>Raphidocelis subcapitata</i> (alga), <i>Daphnia similis</i> (microcrustáceo), <i>Damio rerio</i> (peixe)	Índice mitótico, aberrações cromossômicas e micronúcleos (cebola); inibição de crescimento (alga); inibição de mobilidade (microcrustáceo); e índice de mortalidade (peixe).	Vergilio et al., 2020b
Concentrações de metais	<i>Proisotoma minuta</i> (colêmbolo)	Evasão e reprodução	Buch et al., 2020a
-----	<i>Egeria densa</i> (planta) e <i>Chara sp</i> (alga)	Inibição de crescimento	Bottino et al., 2017
Concentrações de metais nos rejeitos	<i>Lithobates catesbeianus</i> (rã)	Comportamentais; mortalidade; e respiratório	Giroto et al., 2020
Concentrações de metais na água	<i>Astyanax lacustres</i> (peixe)	Histológico e molecular em brânquias e fígado	Macêdo et al., 2020
Concentrações de metais em solo	<i>Schelorbates praeincisus</i> (ácaro)	Inibição da reprodução (agudo); mortalidade (crônico)	Buch et al., 2020b
Concentrações de metais dissolvidos; pH; turbidez; oxigênio dissolvido e condutividade elétrica	<i>Raphidocelis subcapitata</i> (alga), <i>Daphnia similis</i> (microcrustáceo) e <i>Damio rerio</i> (peixe)	Inibição de crescimento (alga), Imobilidade (microcrustáceo) e mortalidade (peixe)	Vergilio et al., 2020b
Concentrações de metais dissolvidos; pH; turbidez; oxigênio dissolvido e condutividade elétrica	<i>Damio rerio</i> (peixe)	Mortalidade (peixe)	Thompson et al., 2020
concentrações de metias	<i>Narcine brasiliense</i> (arraia)	Presença de metais nos tecidos do fígado, brânques, órgão elétrico, músculo e gônadas	Lopes et al., 2019
-----	<i>Bos</i> (gado leiteiro)	genes de resistência antimicrobiana (RAM)	Gaeta et al., 2020
Concentrações de metais dissolvidos; temperatura; turbidez; pH; sólidos suspensos totais (TSS); coloração	-----	-----	Santana et al., 2021
concentrações de metais	-----	-----	Souza et al., 2021
concentrações de metais	-----	-----	Santos et al., 2021
DBO	-----	-----	Reis et al., 2021
concentrações de metais	-----	-----	Gabriel et al., 2020
concentrações de metais	-----	-----	Reis et al., 2017
concentrações de metais, pH, temperatura, oxigênio dissolvido	-----	-----	Silva et al., 2018
carbono orgânico dissolvido; turbidez; temperatura noturna da superfície do mar	-----	-----	Francini-Filho et al., 2019

Fonte: Do autor

4.2.6 Mitigação do dano ambiental causado pelos acidentes com rejeitos de mineradoras

A biorremediação de áreas degradadas por rejeitos de mineração vem se mostrando uma importante técnica para a reestruturação dos ecossistemas impactados. No entanto, apenas 9,2% das publicações analisadas abordaram a biorremediação com estratégia de recuperação de ambientes impactados por rejeitos de minério. A Tabela 2 avalia os artigos de biorremediação. As principais espécies e famílias utilizadas pelos autores foram herbáceas, fúngicas e bacterianas, as quais foram *Chrysopogon zizanioides*, *Cymbopogon citratus*, *Cymbopogon winterianus*, *Sporosarcina pasteurii*, *Urochloa ruziziensis*, *Crotalaria spectabilis*, *Guizotia abyssinica*, *Acaulospora morrowiae*, *Copaifera langsdorffii*, *Anacardiaceae*, *Bignoniaceae*, *Fabaceae*, *Malvaceae*, *Peltophorum dubium*, *Urochloa decumbens*, *Schinus terebinthifolius Raddi*, *Eremanthus incanus*. E os biomarcadores utilizados foram: taxa de crescimento, produção de biomassa, produção de biomassa seca, densidade de esporos e proteína do solo, concentração de elementos inorgânicos potencialmente tóxicos. A estratégia mais abordada foi a fitorremediação aparecendo em 75% das publicações referentes a remediação.

Além da biorremediação, outras estratégias de mitigação dos danos ambientais causados pelo derrame de rejeito de mineração foram propostas. Duas avaliaram a viabilidade de utilização dos rejeitos para produção de artefatos cerâmicos e de concreto (AMARAL et al., 2020; FIGUEREDO et al., 2019), e a última, através de sensoriamento remoto, identificou possíveis áreas para o recebimento dos rejeitos acumulados nas margens dos rios.

É importante salientar que o número de artigos nesta área é muito baixo, o que significa que pouco está sendo feito pela comunidade científica para o desenvolvimento de novas tecnologias para mitigar o efeito danoso dos rejeitos espalhados no ambiente pelos acidentes com as barragens de contenção de minérios. De acordo com dados de órgãos ambientais como Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA), Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM) e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), o espalhamento do rejeito aumentou os níveis de arsênio, cádmio, mercúrio, níquel, chumbo e alumínio nas áreas atingidas. Estes metais têm alta persistência na natureza e não desaparecem rapidamente. Eles acumulam-se com facilidade no solo, sedimentos de rio, na vegetação e nos animais.

A exposição a estes metais causa variados impactos para a saúde humana, condicionados a variáveis: quantidade de metal envolvida e tempo de exposição (MUNIZ & OLIVEIRA-FILHO, 2006). Os efeitos adversos do arsênio, por exemplo, variam de lesões na pele a quadros clínicos graves dos sistemas gastrointestinal, circulatório periférico e nervoso. Enquanto a exposição ao cádmio gera uma vasta diversidade de efeitos adversos relacionados a muitos

órgão e sistemas, sendo os efeitos mais comuns provocados por meio da inalação, afetando os pulmões e provocando danos crônicos aos rins ((MUNIZ & OLIVEIRA-FILHO, 2006).

A exposição ao mercúrio, por sua vez, provoca danos principalmente ao sistema nervoso, podendo ser reversível ou irreversível, o resultado dependerá da dose e do tempo de exposição (INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY, 1976). Enquanto, a exposição ao níquel, em especial o carbonil, pode provocar efeitos agudo e crônicos, podendo apresentar lesões pulmonares patológicas (hemorragias, edema e desarranjo celular), afetando também os rins, fígado, baço, glândulas suprarrenais e cérebro (INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY, 1991).

Diferente do níquel, o alumínio não apresenta indicações de toxicidade aguda por exposição oral. Entretanto, esse metal é considerado um agente neuro toxicológico em humanos, sendo apresentado como um fator de risco para o desenvolvimento ou aceleração da doença de Alzheimer (INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY, 1997). O chumbo também demonstrou efeitos neurológicos, sendo o sistema nervoso o conjunto de órgão mais sensíveis a exposição, demonstrando efeitos biológicos adversos independente da via de exposição, afetando de maneira adversa vários órgãos e sistemas, entretanto as alterações subcelulares e os efeitos neurológicos parecem ser os mais críticos (MOREIRA & MOREIRA, 2004). Com isso, a adoção de medida para redução das concentrações de metais, tais como a biorremediação, são de extrema importância para melhoria da qualidade ambiental das áreas impactadas por rejeitos, e conseqüentemente, provocando a redução de risco à saúde humana exposta a esses metais.

Tabela 2. Estratégias de biorremediação utilizadas nos estudos

Biorremediação	Espécie utilizada	Método de avaliação	Autores
Fitorremediação	<i>Chrysopogon zizanioides</i> , <i>Cymbopogon citratus</i> e <i>Cymbopogon winterianus</i> (gramíneas)	Biomassa e concentração de elementos inorgânicos potencialmente tóxicos	Vergilio et al., 2020b
Biomíneralização	<i>Sporosarcina pasteurii</i> (bactéria)	Concentração de metais	Chen et al., 2018
Biorremediação	Fungos micorrízicos arbusculares	Densidade de esporos e proteína do solo	Jordão et al., 2021
Fitorremediação e Miorremediação	<i>Urochloa ruziziensis</i> , <i>Crotalaria spectabilis</i> e <i>Guizotia abyssinica</i> (plantas); <i>Acaulospora morrowiae</i> (fungo)	Biomassa	Zanchi et al., 2021
Fitorremediação	<i>Copaifera langsdorffii</i> (copaíba)	Taxa de crescimento	Pádua et al., 2021
Fitorremediação	<i>Anacardiaceae</i> , <i>Bignoniaceae</i> , <i>Fabaceae</i> e <i>Malvaceae</i>	Taxa de crescimento	Gomes et al. 2021a
Fitorremediação Fitorremediação	<i>Peltophorum dubium</i> <i>Urochloa decumbens</i> , <i>Schinus terebinthifolius Raddi</i> (Aroeirinha) e <i>Eremanthus incanu</i> (Candeia).	Taxa de crescimento Biomassa	Silva et al., 2021 Ribeiro-Junior et al., 2021

Fonte: Do autor.

5. CONCLUSÃO

Esse estudo levantou dados históricos das falhas ocorridas em barragens de armazenamento de rejeito produziu um panorama global dos acidentes ocorridos até o presente momento. No total foram encontrados registros de 366 acidentes com uma média de 3,45 acidentes por ano no período de 1915-2021. As informações contidas neste trabalho devem ser consideradas parciais, uma vez que há grande lacuna nos registros mundiais de rupturas em estruturas de armazenamento de rejeito. No total foram identificados 366 acidentes, os quais liberaram 279.114.891 milhões de metros cúbicos de rejeitos, impactando uma área de 4.868,15km de extensão e contribuindo diretamente para a morte de 3.043 pessoas. Além disto, nossos dados permitiram fazer algumas correlações. Por exemplo, foi verificado que o método de alteamento a montante foi o método construtivo mais comuns nas barragens acidentadas, sendo o galgamento a principal causa registrada para essas rupturas. As falhas foram mais comuns em minas de extração cobre, ouro, chumbo, carvão, zinco e fosfato. Historicamente estes minérios não são os mais explorados comercialmente, não permitindo relacionar o aumento de risco de acidente com o aumento de exploração de um determinado minério. A análise cronológica dos acidentes e sua gravidade mostrou que há uma tendência de aumento na frequência e gravidade das falhas nas últimas décadas. Em relação a magnitude das falhas foi constatada a liberação de 279.114.891 milhões de metros cúbicos de rejeitos, provenientes especialmente de barragens de pequeno porte, no entanto, esse valor representa apenas uma parte do número real, tendo em vista a deficiência nos sistemas de cadastro das ocorrências de falha em barragens de rejeito.

A revisão da literatura resultou em um número baixo de publicações referentes ao tema (n=87). As principais tendências encontradas nessa análise foram nas categorias de impactos ambientais e propostas de remediação, pois todas as abordagens diretamente relacionadas a algum acidente foram referentes apenas aos acidentes de Mariana (2015) e Brumadinho (2019). Desse modo, quanto aos impactos ambientais, apenas a exploração de minérios de ferro possuiu caracterização dos danos. Tendo em vista que a composição química dos rejeitos está condicionada tipologia mineral, a procedência dos fluidos provenientes do processamento utilizados para extrair os metais de interesse econômico, do grau de eficiência do processo de extração e dos intemperismos durante o armazenamento na bacia de contenção (KOSSOFF et al., 2014). Desse modo, pouco se sabe sobre os impactos provocados pelos rompimentos das barragens de armazenamento de rejeitos provenientes da exploração de outros minérios, tanto

para as avaliações físico-químicas quanto para os bioensaios, pouco se sabe sobre o incremento das substâncias tóxicas presentes nos rejeitos nos meios aquáticos e terrestre.

Quanto as propostas de biorremediação, apesar dos resultados encontrados se mostraram promissores, estes são apenas uma pequena amostra dos potenciais de aplicação dessas técnicas. A escolha da espécie apropriada é um dos pontos mais importantes para determinar o sucesso da remediação da área degradada, e isso, somente será possível com um maior aporte de estudos utilizando uma ampla variedade de espécies, para biorremediação de diferentes ambientes impactados por rejeitos provenientes de mineração.

Desse modo, com base nos resultados aqui encontrado conclui-se que os acidentes provocados por rompimentos de barragens de armazenamento de rejeito de mineração vêm crescendo em relação a frequência e gravidade dos acontecimentos, ocasionando impactos imensuráveis nos âmbitos ambiental, social e econômico, o que torna os estudos dos impactos provocados desses rompimentos, e das técnicas de remediação dos danos cada dia mais necessárias.

6. REFERÊNCIAS

ADIANSYAH, J. S.; ROSANO, M.; VINK, S.; KEIR, G. A framework for a sustainable approach to mine tailings management: disposal strategies. **Journal of Cleaner Production**, v. 108, p. 1050-1062, 2015.

ALBUQUERQUE FILHO, L. H. **Avaliação do comportamento geotécnico de barragens de rejeitos de minério de ferro através de ensaios de piezocone**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.

AMARAL, B. C. I.; CAVALCANTE, L. C. D.; FABRIS, J. D.; PART, B. V.; REIS, A. B. Use of Mining Tailings or Their Sedimentation and Flotation Fractions in a Mixture with Soil to Produce Structural Ceramics. **Sustainability**, v. 13, n. 911, 2021.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Bacia do Rio Doce: rompimento da barragem de Mariana/MG**. 2015.

ARAÚJO, C. B. **Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

AZAPAGIC, A. Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, p. 639-662, 2003.

AZAM, S.; LI, Q. Tailings Dam Failures: A Review of the Last One Hundred Years. **Geotechnical News**. 2010.

BÁNFALVI, G. Cellular effects of heavy metals. **Springer**, New York, 2011.

BODÉNAN, F.; BARANGER, P.; PIANTONE, P.; LASSIN, A.; AZAROUAL, M.; GAUCHER, E.; BRAIBANT, G. Arsenic behaviour in gold-ore mill tailings, Massif Central, France: hydrogeochemical study and investigation of in situ redox signature. **Applied Geochemistry**, v. 19, n. 11, p. 1785-1800, 2004. DOI 10.1016/j.apgeochem.2004.03.012.

BOTTINO, F.; MILAN, J. A. M.; CUNHA-SANTINO, M. B.; BIANCHINI-JR, I. Influence of the residue from an iron mining dam in the growth of two macrophyte species. **Chemosphere**, v. 186, P. 488-494, 2017.

BORGES, R. C.; MAHLER, C. F.; GOMES, A. C. S.; BALEIRO, F. C.; BELLIDO, A. V. B.; SOUZA, W. F. L. Radiological characterization of the area impacted by the Mariana dam disaster, in Mariana City-MG-Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 80, n. 442, 2021.

BOWKER, L. N.; CHAMBERS, D. M. The Risk, public liability, e Economics of Tailings Storage Facility Failures. 2015.

BRASIL, Lei nº 12.334, 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança (PNSB) de Barragens e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SINSB).

BRASIL, Lei nº 14.066, 30 de setembro de 2020. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração).

BUCH, A. C.; NIEMEYER, J. C.; MARQUES, E. D.; SILVA-FILHO, E. V. Ecological risk assessment of trace metals in soils affected by mine tailings. **Journal of Hazardous Materials**, v. 403, n. 123852, 2020a.

BUCH, A. C.; SAUTTER, K. D.; MARQUES, E. D.; SILVA-FILHO, E. V. Ecotoxicological assessment after the world's largest tailing dam collapse (Fundão dam, Mariana, Brazil): effects on oribatid mites. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 42, p. 375-3595, 2020b.

CANO, N. A.; HASENSTAB, C.; VELASQUES, H. I. Exergy life cycle assessment indicators in colombian gold mining sector. **Journal of Sustainable Mining**, v. 19, 2020.

CARDOZO, F. A. C.; PIMENTA, M. M.; ZINGANO, A. C. Métodos construtivos de barragens de rejeitos de mineração: uma revisão. **Helos**, v. 08, n. 32, 2016.

CARMO, A. P.; TRINDADE-FILO, DELEGADO, J. U.; HEVANGELISTA, D. A.; **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, V. 33, P. 741-74, 2020.

CHAMBERS, D. M.; HIGMAN, B. Long term risks of tailings dam failure. 2011. Disponível em: <<http://www.csp2.org/files/reports/Long%20Term%20Risks%20of%20Tailings%20Dam%20Failure%20-%20Chambers%20%26%20Higman%20Oct11-2.pdf>> Acesso em: 01 de jun. 2021.

CHEN, X.; GUO, H.; CHENG, X. Heavy metal immobilisation and particle cementation of tailings by biomineralization. **Environmental Geotechnics**, v. 5, p. 107-113, 2018.

COLLA, L. M.; PRIMAZ, A. L.; LIMA, M.; BERTOLIN, T. E.; COSTA, J. A. V. Isolamento e seleção de fungos para Biorremediação a partir de solo contaminado com herbicidas Triazínicos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 3, p. 809-313, 2008.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Monitoramento espacial da bacia do Rio Paraopeba – Relatório 01: Monitoramento Hidrológico Sedimentométrico**. Belo Horizonte, 2019.

CSP2, The Center for Science in Public Participation. Disponível em: <<http://www.csp2.org/tsf-failures-from-1915>> Acesso em: 10 abr. 2022.

CURTARELLI, M. P. Entenda melhor o monitoramento ambiental por sensoriamento remoto. CRTI, 2020. Disponível em: < <https://certi.org.br/blog/monitoramento-ambiental-sensoriamento-remoto/>> Acesso em: 10 jul. 2022.

DUARTE, A. P. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no Estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco.** Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

FIGUEREDO, M. D.; LAMEIRAS, F. S.; ARDISSON, J. D.; ARAUJO, M. H.; TEIXEIRA, A. P. C. Tailings from Fundão Tragedy: Physical–Chemical Properties of the Material That Remains by Candonga Dam. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 00, n. 00, p. 1-7, 2019.

FRANCINI-FILHO, R. B.; CORDEIRO, M. C.; OMACHI, C. Y.; ROCHA, A. M.; BAHIENSE, L.; GARCIA, G. D.; TSCHOEKE, D.; ALMEIDA, M. G.; RANGEL, T. P.; OLIVEIRA, B. C. V.; ALMEIDA, D. Q, R.; MENEZES, R.; Remote sensing, isotopic composition and metagenomics analyses revealed Doce River ore plume reached the southern Abrolhos Bank Reefs, **Science of the total environmental**, v. 697, n. 134038, 2021.

FIGUEREDO, M. D.; LAMEIRA, F. S.; ARDISSON, J. D.; ARAUJO, M. H.; TAIXEIRA, A. P. C. Tailings from Fundão Tragedy: Physical–Chemical Properties of the Material That Remains by Candonga Dam. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 00, n. 00, p. 1-7, 2019.

GABRIEL, F. A.; SILVA, A. G.; QUEIROS, H. M.; FERREIRA, T. O.; HAUSER-DAVIS, R. A. BERNARDINHO, A. F. Ecological Risks of Metal and Metalloid Contamination in the Rio Doce Estuary. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 00, n. 00, p. 1-6, 2020.

GAETA, N. C.; BEAN, E.; MILES, A. M.; CARVALHO, D. U. O. G.; ALEMÁN, M. A. R.; CARVALHO, J. S.; GREGORY, L.; GANDA, E. A Cross-Sectional Study of Dairy Cattle Metagenomes Reveal Increased Antimicrobial Resistance in Animals Farmed in a Heavy Metal Contaminated Environment. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, n. 590325, 2020.

GALATTO, S. L.; LOPES, R. P.; BACK, A. J.; BIF, D. Z.; SANTO, E. L. Emprego de coberturas secas no controle da drenagem ácida de mina: estudos em campo. **Eng. sanit. Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 229-236, 2007.

GIROTTO, L.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; GEBARA, R. C.; FREITA, J. S. Acute and Chronic Effects on Tadpoles (*Lithobates catesbeianus*) Exposed to Mining Tailings from the Dam Rupture in Mariana, MG (Brazil). **Water Air Soil Pollut** **231**, 325, 2020.

GLOBAL COMPLIANCE NEWS. Global: mining e metals forecast 2020 – Industry Trends, 2020. Disponível em: <<https://www.globalcompliancenes.com/2020/07/14/global-mining-metals-forecast-2020-industry-trends-28062020/>> Acesso em: 18 jun. 2022.

GOMES, M. P.; KOCHI, L. Y.; FREITAS, P. L.; FIGUEREDO, C. C.; JUNEAU, P. Periphytic Algae and Cyanobacteria from the Rio Doce Basin Respond Differently to Metals and Salinity, Showing Different Potential for Bioremediation. **Plants**, v. 10, n. 11, p. 2349, 2021.

GOMES, A. R.; ANTÃO, A.; SANTOS, A. G. P.; LACERDA, T. J.; MEDEIROS, M. B.; ISALS, A. S.; ALVARENGA, S.; SANTOS, C. H.; RIGOBELLO, E. C.; SCOTTI, M. R. Rehabilitation of a Riparian Site Reached by Contaminated Tailings from the Fundão Dam Using Different Remediation Strategies in Brazil. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 40, p. 2359-2373, 2021.

HESKETH, A.H.; BROADHURST, J.L.; HARRISON, S.T.L. Mitigating the Generation of Acid Mine Drainage from Copper Sulfide Tailings Impoundments in Perpetuity: A Case Study for an Integrated Management Strategy. **Minerals Engineering**, v. 23, p. 225-229, 2010.

IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Laudo Técnico Preliminar**: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. 2015.

ICOLD, International Commission on Large Dams. **Tailings Dams, Risk of Dangerous Occurrences**: Lessons Learnt from Practical Experiences, Bulletin 121, 2001.

IGAM, Instituto Mineiro de Gestão de Águas. Boletim Informativo do Cidadão nº 3: Qualidade da Água no Rio Paraopeba. Minas Gerais, p.25, 2019.

ISLAM, K.; MURAKAMI, S. Global-scale impact analysis of mine tailings dam failures: 1915-2020. **Global Environmental Change**, v. 70, 2021.

JORDÃO, T. C.; PRADO, I. G. O.; SILVA, M. C. S.; DIOGO, N. V.; PRESTES-JR, P.; VELOSO, T. G. R.; CARDOSO, E. B.; NAVES, J. C. L.; FERNANDES, R. B. A.; KASUVA, M. C. M. Shifts in Arbuscular Mycorrhizal fungal properties due to vegetative remediation of mine spoil contamination from a dam rupture in Mariana, Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 162, n. 103885, 2021.

KAZADI MBAMBA, C.; HARRISON, S. T. L.; FRANZIDIS, J. P.; BROADHURST, J. L. Mitigating acid rock drainage risks while recovering low-sulfur coal from ultrafine colliery wastes using froth flotation. **Minerals Engineering**, v. 29, p. 13-21, 2012.

KONTOPOULOS, A. Acid Mine Drainage Control. In: CASTRO, S.H.; VERGARA, F.; SÁNCHEZ, M.A. (Eds.). *Effluent Treatment in the Mining Industry*. Chile: University of Concepción. p. 57-118, 1998.

KOSSOFF, A. B.; DUBBIN, B. M.; ALFREDSSON, C.; EDWARDS, S. J.; MACKLIN, M. G.; HUDSON-EDWARDS, K. A. Mine tailings dams: Characteristics, failures, environmental impacts, and remediation. **Applied Geochemistry**, v. 51, p. 229-245, 2014.

LIANG, J. Z.; ELIAS, D. Seismic Evaluation of Tailing Storage Facility. Australian Earthquake Engineering Society 2010 Conference, Perth, Western Australia, 2010.

LOPES, C. A.; ARAUJO, N. L. F.; ROCHA, L.; MONTEIROC, F.; ROCHA, R. C. C.; SAINT'PIERREC, T. D.; LUTFID, D. S.; VIANNA, M.; HAUSER-DAVISG, R. A. Toxic and essential metals in *Narcine brasiliensis* (Elasmobranchii:Narcinidae): A baseline ecotoxicological study in the Southeast Atlantic and preliminary maternal transfer implications. **Marine Pollution Bulletin**, v. 149, n. 110606, 2019.

LOTTERMOSER, B. G. **Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts**. 3 ed. Nova York: Springer, 2010.

LUMBROSO, D.; MCELORY, C.; GOFF, C.; COLLEL, M. R.; PETKPVSEK, G.; WETTON, M. The potential to reduce the risks posed by tailings dams using satellite-based information. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v.38, 2019.

LYU, Z.; CHAI, J.; XU, Z.; QIN, Y.; CAO, J. A Comprehensive Review on Reasons for Tailings Dam Failures Based on Case History. **Hindawi**, 2019.

MACÊDO, A. K. S.; SANTOS, K. P. E.; BRIGHENTI, L. S.; WINDMOLLER, C. C.; BARBOSA, F. A. R.; RIBEIRO, R. I. M. A.; SANTOS, H. B.; THOMÉ, R. G. Histological and molecular changes in gill and liver of fish (*Astyanax lacustris* Lutken, 1875) exposed to water from the Doce basin after the rupture of a mining tailings dam in Mariana, MG, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 735, 2020.

MACHADO, L. A.; BIENERT, M. L.; TUBINO, R. M. C.; SCHNEIDER, I. A. H. Estabelecimento de Traço entre Rejeitos de Carvão e Escória de Aciaria Elétrica para Prevenção da Drenagem Ácida de Minas. **Tecnologia em Metalurgia e Materiais**, v. 6, p. 24-30, 2009.

MANAHAN, S.E. *Environmental Chemistry*, 2010, Florida: Taylor & Francis Group. 9th ed.

MECHI, A.; SHANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração em São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010.

MELO, L. Entenda o que é a liquefação, fenômeno que pode levar barragens ao colapso. G1, 2019. Disponível em: < <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/02/07/entenda-o-que-e-a-liquefacao-fenomeno-que-pode-levar-barragens-ao-colapso.ghtml> > Acesso em: 14 jul. 2022.

MELLO, J. W. V.; DUARTE, H. A.; LADEIRA, A. C Q. Origem e Controle do Fenômeno Drenagem Ácida de Mina. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**. n. 8, p24-29, 2014.

MEHARG, A. A.; OSBORNA, D.; PAINB, D. J.; SAÂNCHEZ, A.; NAVESOC, M. A. Contamination of Donaña food-chains after the AznalcoÁllar mine disaster. **Environmental Pollution**, v. 105, p. 387-290, 1999.

MILANEZ, B.; LOSEKANN, Cristiana. **Desastre no Vale do Rio Doce: Antecedentes, impactos e ações sobre a destruição**. Rio de Janeiro: Folio Digital: Letra e Imagem, 2016.

MIGLIOLI, S. Influência e limites do fator de impactos como métrica da avaliação na ciência. **Ponto de Acesso**, v. 11, n.3, p. 17-33, 2017.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. **Rev Panam Salud Publica**, v. 15, n. 2, p. 119-129, 2004.

MUNIZ, D. H. F.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas: Ciências da Saúde**, v. 4, n. 1 / 2, p. 83-100, 2006.

NIENCHESKI, L. F.; MILANI, M. R.; MILIANI, I. 2008. Metais traço: água. In: Neto, J.A.B.; WALLNER-KERSANACH, M. P. Poluição Marinha, Rio de Janeiro: Interciência, pp. 179–196, 2008.

NOGUEIRA, F. F.; COSTA, I. A.; PEREIRA, U. A. **Análise de parâmetros físico-químicos da água e do uso e ocupação do solo na sub-bacia do Córrego da Água Branca no município de Nerópolis – Goiás**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

OLIVEIRA, T. R.; OLIVEIRA, V. S.; PONTES, M. A.; LIBÓRIO, M. P.; HADAD, R. M.; LAUDARES, S. Metodologia para análise de danos ambientais do rompimento da barragem de Fundão Bento Rodrigues (MG). **Holos**, Ano 35, v. 7, ed. 6187, 2019.

PÁDUA, M. P.; CAETANO, A. L.; POLO, M.; PASQUAL, M.; PEREIRA, F. J. Ecophysiological Responses of *Copaifera langsdorffii* Grown in Mining Tailings Under Lower Water Availability. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 232, n. 57, 2021.

PAPAGGIANIS, I.; KAGALOU, I.; LEONARDS, J.; PETRIDIS, D.; KALFAKAKOU, V. Copper and zinc in four freshwater fish species from Lake Pamvotis (Greece). **Environment International**, v. 30, n.3, p. 357-362, 2004.

PESSOTTI, E.R. et al. Toxicologic potential of the waters of the Itapetininga River under root growth of *Allium cepa*. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 2, n. 3, p. 1109-1119, 2019.

REIS, M. O.; MOURA, A. C. M. B.; COTA, G. E. M.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Panorama dos rompimentos de barragens de rejeitos de minério no mundo. **Caderno de Geografia**, v. 30, n. 61, 2020.

REIS, D. A.; SANTIAGO, A. F.; NASCIMENTO, L. P. ROESER, H. M. P. Influence of environmental and anthropogenic factors at the bottom sediments in a Doce River tributary in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 7456-7467, 2017.

REIS, D. A.; SILVA, P. K.; AZEVEDO, I. A.; CASTRO, A. L. P.; SANTIAGO, A. F. Hydraulic and auto-depurative characteristics of the Gualaxo do Norte River after the Fundão dam rupture. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 50593-50601, 2021.

RIBEIRO JUNIOR, A. C.; SILVA, A. O.; BATISTA, E. R.; NAVES, F. S.; PINTO, F. A.; SANTOS, V. S.; BARBOSA, M. V.; ALVARANGA, I. F. S.; CARNEIRO, M. A. C. Biochemical attributes and establishment of tree seedlings in soil after *Urochloa decumbens* cultivation in soil with deposition of iron mining residues. **Cerne**, v. 27, 2021.

ROCHE, C.; THYGESSEN, K.; BAKER, E. Mine Tailings Storage: Safety is no accident. A UNEP Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme and GRID-Arendal, Nairobi and Arendal, 2017.

ROGICH, D. G.; MATOS, G. R. The global flows of metals and minerals: U.S. Geological Survey Open-File Report, n. 1355, p. 11, 2008. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/of/2008/1355/>>.

SANTOS, E. M.; NALINI-JR, H. A.; ABREU, A. T.; NOGUEIRA, L. B. Mobilization of heavy metals in river sediments from the region impacted by the Fundão dam rupture, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 80, n. 811, 2021.

SANTOS, O. S. H.; AVELAR, F. C.; ALVES, M.; TRINDADE, R. C.; MENEZES, M. B.; FERREIRA, M. C.; FRANÇA, G. S.; CORDEIRO, J.; YOSHIDA, I. M.; MOURA, P. M.; BAPTISTA, M. B.; SCOTTI, M. R. Understanding the Environmental Impact of a Mine Dam Rupture in Brazil: Prospects for Remediation. **Journal of Environmental Quality**, v. 48, n.2, p. 439-449, 2019.

SANTANA, F. C.; FRANCELINO, M. R.; SCHAEFER, C. E.G. R.; VELOSO, G. V.; FERNANDES-FILHO, E. I.; SANTANA, A. J. P.; TIMO, L. B.; ROSA, A. P. Water Quality of the Gualaxo do Norte and Carmo Rivers After the Fundão Dam Collapse, Mariana, MG. **Water, Air, & Soil Pollution**, v.32, n. 155, 2021.

SCHOENBERGER, E. Environmentally sustainable mining: The case of tailings storage facilities. **Resources Policy**, v. 49, p. 119–128, 2016.

SILVA, D. C.; BELLATO, C. R.; MARQUES-NETO, J. O.; FONTES, M. P. F. Trace elements in river waters and sediments before and after a mining dam breach (Bento Rodrigues, Brazil). **Quim. Nova**, v 41, n. 8, p. 857-866, 2018.

SILVA, J. V.; ANDRADE, M. J. G. **Desastre no Vale do Rio Doce: Antecedentes, impactos e ações sobre a destruição**. Rio de Janeiro: Folio Digital: Letra e Imagem, 2016.

SOARES, L. **Barragem de Rejeito**. 5. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral Ministério da Ciência e Tecnologia (CETEM), 2010. 69 pag., (Livro Tratamento de Minérios).

SOLDÁN, P.; PAVONIC, M.; BOUCEK, J.; KOKES, J. Baia Mare Accident – Brief Ecotoxicological Report of Czech Expert. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 49, p. 255-261, 2000.

SOUZA, A. M.; ROCHA, D. S.; GUERRA, J. V.; CUNHA, B. A.; MARTINS, M. V. A.; GERALDES, M. C. Metal concentrations in marine sediments of the Rio de Janeiro Coast (Brazil): A proposal to establish new acceptable levels of contamination. **Marine Pollution Bulletin**, v. 165, n. 112113, 2021.

TAVARES, S. **Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos**. Tese (Programa de Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

THOMÉ, R.; PASSINI, M. L. Barragens de rejeitos de mineração: características do método de alteamento para montante que fundamentaram a suspensão de sua utilização em Minas Gerais. **Ciências Sociais Aplicadas em Revista-UNIOESTE/MCR**, v. 18, n. 34, p. 49-65, 2018.

THOMPSON, F.; OLIVEIRA, B. C.; CORDEIRO, M. C.; MASI, B. P.; RANGEL, T. P.; PAZ, P.; FREITAS, T.; LOPES, G.; SILVA, B. S.; CABRAL, A.; SOARES, M.; LACERDA, D.; VERGILIO, C. S.; FERREIRA, M. L.; SILVA, C. L.; THOMPSON, C.; REZENDE, C. E. Severe impacts of the Brumadinho dam failures (Minas Gerais, Brazil) on the water quality of the Paraopeba River. **Science of The Total Environment**, v. 705, n. 135914, 2019.

THE INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY. Environmental Health Criteria, 1 Mercury. Geneva: WHO, 1976. Disponível em: <<https://inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc001.htm>> Acesso em: 17 ago. 2022.

THE INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY. Environmental Health Criteria, Aluminium. Geneva: WHO, 1997. Disponível em: <<https://inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc194.htm#PartNumber:8>> Acesso em: 16 ago. 2022.

THE INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY. Environmental Health Criteria, Nickel. Geneva: WHO, 1991. Disponível em: <<https://inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc108.htm>> Acesso em: 17 ago.2022.

VALERIUS, M. B. **Cadastro e análise do potencial de risco das barragens de rejeitos de mineração do Estado de Goiás**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

VALE. Lista atualizada. 2021. Disponível em: <<http://www.vale.com>> Acesso em: 25 de jul. 2022.

VAN DER OOST, R.; BEYER, J.; VERMEULEN, N. P. E. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 13, n. 2, p. 57–149, 2003. [https://doi.org/10.1016/S1382-6689\(02\)00126-6](https://doi.org/10.1016/S1382-6689(02)00126-6)

VERGILIO, C. S.; LACERDA, D.; OLIVEIRA, B. C. V.; SARTLRI, E.; CAMPOS, G. M.; PEREIRA, A. L. S.; AGUIAR, D. B.; SOUZA, T. S.; ALMEIDA, M. G.; THOMPSON, F.; REZENDE, C.E. Metal concentrations and biological effects from one the largest mining disasters in the world (Brumadinho, Minas Gerais, Brazil). **Scientific Reports**, v.10, n. 5936, 2020a.

VERGILIO, C. S.; LACERDA, D.; SOUZA, S. T.; SOUZA, T. S.; OLIVEIRA, B. C. V.; FIORESI, V. S.; SOUZA, V. V.; RODRIGUES, G. R.; BARBOSA, M. K. A. M.; SARTORI, E.; RANGEL, P.; ALMEIDA, D. Q. R.; ALMEIDA, M. G.; THOMPSON, F.; REZENDE, C. E. Immediate and long-term impacts of the worst mining tailing dam failure worldwide (Bento Rodrigues, Minas Gerais, Brazil). **Science of the Total Environment**, v. 756, n. 143697, 2020b.

VITZTHUM, K.; SCUTARU, C.; MUSIAL-BRIGHT, L.; QUARCOO, D.; WELTE, T.; SPALLEK, M.; GRONEBERG-KLOFT, B. Scienciomtric analysis and combined density-equalizing mapping of environmental tobacco smoke (EST) research. **PLoS One**, San Francisco, v. 5, n. 6, p. e11254, 2010.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. In: Von Sperling, M (Org.). Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1. 3., 2007, ed. Belo Horizonte: DESA, UFMG.

VOUTSAS, E, MAGOULAS, K, TASSIOS, D. Prediction of the biaccumulation of persistent organic pollutants in aquatic food webs. **Chemosphere**, v.48, p.645-651, 2002.

WEILER, J.; AMARAL FILHO, J. R.; SCHNEIDER, I. A. H. Processamento de rejeito de carvão visando a redução de custos no tratamento da drenagem ácida de minas - estudo de caso na Região Carbonífera de Santa Catarina. **Eng Sanit Ambient**, v. 21, n. 2, p. 337-345, 2016.

WISE Uranium Project. Chronology of major tailings dam failures. Disponível em: <<https://www.wise-uranium.org/mdaf.html>> Acesso em: 05 jul. 2022.

World Mine Tailings Failures. Disponível em:<<https://worldminetailingsfailures.org/>> Acesso em: 10 de jul. 2022.

XIAO, R.; WANG, G.; ZHANG, Q.; ZHANG, Z. Multi-scale analysis of relationship between landscape pattern and urban river water quality in different seasons. **Scientific Reports**, v. 6, n. 25250, 2016. DOI 10.1038/srep25250.

YILDIZ, M.; CIGERCI, I. H.; KONUK, M.; FIDAN, A. F.; TERZI, H. Determination of genotoxic effects of copper sulphate and cobalt chloride in *Allium cepa* root cells by chromosome aberration and comet assays. **Chemosphere**, v. 75, p. 934-938, 2009.

ZAGO, V. C. P.; DORES, N. C.; WATTS, B. A. Strategy for phytomanagement in an area affected by iron ore dam rupture: A study case in Minas Gerais State, Brazil. **Environmental Pollution**, v. 249, p. 1029-1037, 2019.

ZANCHI, C. S.; BASTISTA, E. R.; SILVA, A. O.; BARBOSA, M. V.; PINTO, F. A.; SANTOS, J. V.; CARNEIRO, M. A. C. Recovering Soils Affected by Iron Mining Tailing Using Herbaceous Species with Mycorrhizal Inoculation. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 232, n. 110, 2021.

Apêndice I: Banco de dados compilados dos registros de rompimentos de barragens de rejeitos de mineração com registros de 1915-2021

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percurso (km)	Mortes
1	1915	Agua Dulce, Sewell, VI Region, Rancagua, Chile	Chile	Cobre	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	galgamento	N/I	N/I
2	1917	Unidentified, South Africa	South Africa	Ouro	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	desconhecido	N/I	N/I
3	1928	Barahona, Chile	Chile	Cobre	atendimento a montante	Rejeitos de areia ciclados	20000000	Falha	represamento ativo	tremor de terra	3,780,000	N/I
4	1937	Simmer and Jack, South Africa	South Africa	Ouro	atendimento a montante	Rejeitos	N/I	Falha	represamento ativo	instabilidade de declive	2,800,000	N/I
5	1937	Los Cedros, Tlalpujahua, Michoacán, México	México	Ouro/Prata	atendimento a montante	Rejeitos	9200000	Falha	represamento inativo	estrutural	N/I	300
6	1939	Abercyon, UK	United Kingdom	Carvão	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	instabilidade de declive	164,000	N/I
7	1939	Captains Flat Dump 6A, Australia	Australia	Cobre	N/I	Rejeitos	N/I	Falha	represamento ativo	desconhecido	40,000	N/I
8	1940	St. Joe Lead, Flat Missouri, USA	United States of America	Chumbo	atendimento a montante	Rejeitos	N/I	Falha	represamento ativo	galgamento	10,000,000	N/I
9	1941	Kennecott, Garfield, Utah, USA	United States of America	Cobre	atendimento a montante	Rejeitos	N/I	Falha	represamento ativo	instabilidade de declive	N/I	N/I
10	1942	Captains Flat Dump 3, Australia	Australia	Cobre	N/I	Rejeitos	N/I	Falha	represamento ativo	desconhecido	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
11	1942	Kennecott, Utah, USA	United States of America	Cobre	alteamto a montante	Rejeitos	N/I	Falha	Fundação	N/I	N/I	N/I
12	1944	Hollinger, Canada	Canada	Ouro	alteamto a montante	Rejeitos	N/I	Falha	Fundação	40,000	N/I	N/I
13	1947	Castle Dome, Arizona, USA	United States of America	Cobre	alteamto a montante	Rejeitos	N/I	Falha	infiltração	N/I	0.1	N/I
14	1948	Sullivan Mine, Kimberley, BC, Canada	Canada	Chumbo/Zinco	alteamto a montante	Rejeitos	N/I	Falha	instabilidade de declive	150,000	N/I	N/I
15	1951	Unidentified, Peace River, Florida	United States of America	Fosfato	represamento de água	Resíduos de mineração	N/I	Falha	infiltração	N/I	N/I	N/I
18	1952	Casapalca, Minera Del Centro Peru, Huarochiri Province, Peru	Peru	Chumbo/Zinco	alteamto a montante	Rejeitos	N/I	Falha	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
16	1952	Unidentified, Alfaria River, Florida, USA 2/52	United States of America	Fosfato	represamento de água	Aterro	N/I	Falha	instabilidade de declive	N/I	N/I	N/I
17	1952	Unidentified, Peace River, Florida, USA 3/52	United States of America	Fosfato	represamento de água	Aterro	N/I	Falha	instabilidade de declive	N/I	N/I	N/I
19	1956	Millpo, Peru	Peru	N/I	alteamto a montante	N/I	N/I	Falha	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
20	1956	Grootvlei, South Africa	South Africa	Ouro	alteamto a montante	Rejeitos	N/I	Falha	instabilidade de declive	N/I	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
21	1958	Mailuu-Suu #7 tailings dam (Kyrgyzstan)	Kyrgyzstan	Urânio	N/I	N/I	1200000	Falha	tremor de terra	600,000	40	3
22	1959	Union Carbide, Green River, Utah, USA	United States of America	Urânio	N/I	N/I	N/I	Falha	galgamento	600,000	N/I	N/I
23	1960	Lower Indian Creek, MO, USA	United States of America	Chumbo	alçamento a montante	Aterro	N/I	Acidente	instabilidade de declive	8,400	N/I	N/I
24	1960	Luciana Tailings Failure Satanna Spain	Spain	N/I	N/I	N/I	N/I	Falha	instabilidade de declive	300,000	0.5	18
25	1961	Jupille, Belgium	Belgium	Carvão	N/I	N/I	N/I	N/I	desconhecido	N/I	N/I	11
26	1961	Tymawr, United Kingdom	United Kingdom	Carvão	N/I	N/I	N/I	Falha	galgamento	N/I	0.643	N/I
27	1961	Union Carbide, Maybell, Colorado, USA	United States of America	Urânio	N/I	N/I	N/I	Falha	desconhecido	N/I	N/I	N/I
31	1962	Quiruvilca mine, Almirica tailings dam, Peru (1 of 2)	Peru	Cobre/Prata /Chumbo/Zinco	N/I	N/I	N/I	Falha	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
28	1962	Huogudu, Yunnan Tin Group Co., Yunnan	China	Estanho	alçamento a montante	N/I	N/I	Falha	desconhecido	11,356,230	4.5	171
29	1962	American Cyanamid, Florida	United States of America	Gesso	N/I	N/I	N/I	Falha	desconhecido	37,854	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percurso (km)	Mortes
30	1962	Chinchan, yauliyacou Mine, Peru	Peru	Prata	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
32	1962	Mines Development, Edgemont, South Dakota, USA	United States of America	Urânio	N/I	N/I	N/I	Falha	desconhecido	3,300,000	N/I	N/I
33	1963	Louisville, USA	United States of America	Carboneto	N/I	N/I	910,000	Falha	infiltração	667,000	0.1	N/I
34	1963	Utah Construction, Riverton, Wyoming, USA	United States of America	Urânio	N/I	N/I	N/I	Acident e	galgamento	100	N/I	N/I
35	1964	Alcoa, Texas, USA	United States of America	Alumínio	N/I	N/I	4500000	Falha	desconhecido	N/I	N/I	N/I
36	1964	Castano Viejo, Argentina, Minera Castano Viejo, National Lead Company S.A.	Argentina	Chumbo/Zinco/Outro	Madeira	Rejeitos	26500	Falha	infiltração	17,600	2.2	N/I
39	1965	Cerro Blanco de Polpaico, Chile	Chile	Calcário	represamento de água	Enrocamento	N/I	Acident e	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
42	1965	Tymawr, United Kingdom	United Kingdom	Carvão	N/I	N/I	N/I	Falha	galgamento	N/I	0.732	N/I
40	1965	Los Maquis No. 3	Chile	Cobre	alteamento a montante	N/I	43000	Falha	tremor de terra	21,000	5	N/I
41	1965	Sauce No. 3, Chile	Chile	Cobre	alteamento a montante	N/I	N/I	Acident e	tremor de terra	N/I	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
44	1965	El Cerrado, Chile	Chile	Cobre	alteamento a montante	Rejeitos	N/I	Acidente	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
45	1965	Los Maquis No. 1	Chile	Cobre	alteamento a montante	Rejeitos	N/I	Acidente	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
46	1965	Sauce No. 2, Chile	Chile	Cobre	alteamento a montante	Rejeitos	N/I	Acidente	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
47	1965	Sauce No. 4, Chile	Chile	Cobre	alteamento a montante	Rejeitos	N/I	Acidente	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
48	1965	Bellavista, Chile	Chile	Cobre	alteamento a montante	Rejeitos	450000	Falha	tremor de terra	70,000	0.8	N/I
49	1965	Cerro Negro No. (1 of 5)	Chile	Cobre	alteamento a montante	Rejeitos	N/I	Acidente	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
50	1965	Cerro Negro No. (2 of 5)	Chile	Cobre	alteamento a montante	Rejeitos	N/I	Acidente	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
51	1965	Cerro Negro No. (3 of 5)	Chile	Cobre	alteamento a montante	Rejeitos	500000	Falha	tremor de terra	85,000	5	N/I
52	1965	El Cobre Old Dam	Chile	Cobre	alteamento a montante	Rejeitos	4250000	Falha	tremor de terra	1,900,000	12	200
53	1965	El Cobre Small Dam - El Soldado	Chile	Cobre	alteamento a montante	Rejeitos	985000	Acidente	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
54	1965	Hierro Viejo, Chile	Chile	Cobre	alteamento a montante	Rejeitos	N/I	Falha	tremor de terra	800	1	N/I
55	1965	La Patagua New Dam, Chile (La Patagua - private)	Chile	Cobre	alteamento a montante	Rejeitos	N/I	Falha	tremor de terra	35,000	5	N/I
56	1965	Ramayana No. 1, Chile	Chile	Cobre	alteamento a montante	Rejeitos	N/I	Falha	tremor de terra	150	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
57	1965	Sauce No. 1, Chile	Chile	Cobre	alteamento a montante	Rejeitos	N/I	Acidente	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
58	1965	El Cobre New Dam	Chile	Cobre	alteamento a jusante	Rejeitos de areia ciclados	350000	Falha	tremor de terra	350,000	12	N/I
38	1965	Unidentified, Idaho, USA	United States of America	Fosfato	alteamento a jusante	Aterro	N/I	Acidente	instabilidade de declive	N/I	N/I	N/I
43	1965	American Cyanamid, Florida #2	United States of America	Fosfato	N/I	N/I	N/I	Falha	desconhecido	N/I	N/I	N/I
37	1965	N'yukka Creek, USSR (Atual Rússia)	Russia	N/I	represamento de água	Aterro	N/I	Acidente	Fundação	N/I	N/I	N/I
60	1966	Aberfan, South Wales Colliery	United Kingdom	Carvão	N/I	N/I	230000	Falha	N/I	162,000	N/I	144
61	1966	Derbyshire, United Kingdom	United Kingdom	Carvão	alteamento a jusante	N/I	N/I	Falha	Fundação	30,000	0.1	N/I
62	1966	Williamthorpe, UK #2	United Kingdom	Carvão	N/I	N/I	N/I	Falha	Fundação	N/I	N/I	N/I
66	1966	Williamthorpe, UK #1	United Kingdom	Carvão	N/I	Resíduos de mineração	N/I	Falha	galgamento	N/I	N/I	N/I
64	1966	Mir Mine, (Placalnica) Sgorigrad, Bulgaria	Bulgaria	Chumbo/Zinco	alteamento a montante	Rejeitos	N/I	Falha	desconhecido	450,000	8	488
59	1966	Geising/Erzgebirge, German Democratic Republic VEB Zinnerz	German	Estanho	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	70,000	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
63	1966	Gypsum Tailings Dam (Texas, USA)	United States of America	Gesso	Alteamento a montante	N/I	7000000	Falha	infiltração	85,000	0.3	N/I
65	1966	Unidentified, Texas, USA	United States of America	Gesso	alteamento a montante	Rejeitos	N/I	Falha	infiltração	130,000	N/I	N/I
67	1967	Unidentified, United Kingdom #2	United Kingdom	Areia	alteamento a jusante	Aterro	N/I	Acidente	infiltração	N/I	N/I	N/I
69	1967	Unidentified, United Kingdom #1	United Kingdom	Carvão	alteamento a jusante	N/I	N/I	Falha	instabilidade de declive	N/I	N/I	N/I
72	1967	Unidentified, United Kingdom #3	United Kingdom	Carvão	alteamento a jusante	Resíduos de mineração	N/I	Acidente	instabilidade de declive	N/I	N/I	N/I
70	1967	Mobil Chemical, Fort Meade, Florida, phosphate	United States of America	Fosfato	N/I	N/I	N/I	Falha	desconhecido	2,000,000	N/I	N/I
71	1967	Climax, Colorado, USA - Mill (Climax Molybdenum Co)	United States of America	Molibdénio	N/I	N/I	N/I	Falha	desconhecido	12,000	N/I	N/I
68	1967	Iwiny Tailings Dam, Poland	Poland	N/I	N/I	N/I	N/I	Acidente	afundamento de mina	4,600,000	N/I	18
77	1968	Hokkaido, Japan	Japan	Chumbo/Zinco	alteamento a montante	Rejeitos	300000	Falha	tremor de terra	90,000	0.15	N/I
75	1968	Agrico Chemical, Florida, USA	United States of America	Fosfato	N/I	N/I	N/I	Falha	desconhecido	N/I	N/I	N/I
73	1968	Yauli-Yacu, Peru	Peru	N/I	alteamento a montante	N/I	N/I	Falha	tremor de terra	N/I	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percurso (km)	Mortes
74	1968	Stoney Middleton, UK	United Kingdom	N/I	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	N/I	N/I	N/I
76	1968	IMC K-2, Saskatchewan, Canada	Canada	Potássio	alçamento a montante	Rejeitos	N/I	Infiltração por águas subterrâneas	N/I	N/I	N/I	N/I
79	1969	Phoenix Copper, BC	Canada	Cobre	alçamento a montante	N/I	N/I	Acidente	represamento ativo	11,356	N/I	N/I
81	1969	Bilbao, Spain	Spain	Ferro	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	115,000	0.035	N/I
78	1969	Monsanto Dike 15, TN, USA	United States of America	Fosfato	alçamento a jusante	Aterro	1230000	Acidente	represamento ativo	N/I	N/I	N/I
80	1969	Buenaventura, Peru	Peru	N/I	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento inativo	N/I	N/I	N/I
82	1970	Portworthy, United Kingdom	United Kingdom	Argila	alçamento a jusante	Enrocamento	N/I	Falha	represamento ativo	N/I	N/I	N/I
85	1970	Maggie Pye, United Kingdom	United Kingdom	Argila	alçamento a montante	Rejeitos	N/I	Falha	represamento ativo	15,000	N/I	N/I
86	1970	Park, United Kingdom	United Kingdom	Argila	represamento de água	Rejeitos	N/I	Falha	represamento ativo	N/I	N/I	N/I
84	1970	Mufulira, Zambia (Roan Consolidated Mines)	Zambia	Cobre	N/I	N/I	1000000	Falha	represamento ativo	68,000	N/I	89
83	1970	Williamsport Washer, Maury	United States of America	Fosfato	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	N/I	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
		County, Tennessee, USA										
87	1970	Unidentified, Mississippi, USA	United States of America	Gesso	alçamento a montante	Rejeitos	N/I	Falha	galgamento	N/I	N/I	N/I
89	1971	Quiruvilca mine, Almirvirca tailings dam, Peru (2 of 2)	Peru	Cobre/Prata /Chumbo/Zinco	N/I	N/I	N/I	Falha	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
94	1971	Cities Service, Fort Meade, Florida, phosphate	United States of America	Fosfato	N/I	N/I	N/I	Falha	desconhecido	9,000,000	120	N/I
88	1971	Pinchi Lake, BC, Canada	Canada	Mercurio	represamento de água	Aterro	N/I	Acidente	erosão	N/I	N/I	N/I
90	1971	Atacocha, Peru	Peru	N/I	N/I	N/I	N/I	Falha	N/I	N/I	N/I	N/I
91	1971	Chungar, Peru	Peru	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
92	1971	Ticapampa, Alianza, Peru	Peru	N/I	N/I	N/I	N/I	Falha	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
93	1971	Certej gold mine, Romania	Romania	Ouro	N/I	N/I	N/I	Falha	instabilidade de declive	300,000	N/I	89
95	1971	Western Nuclear, Jeffrey City, Wyoming, USA	United States of America	Urânio	N/I	N/I	N/I	Falha	estrutural	N/I	N/I	N/I
97	1972	Buffalo Creek, West Virginia, USA (Pittson Coal Co.)	United States of America	Carvão	N/I	N/I	N/I	Falha	desconhecido	500,000	64.4	125

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
98	1972	Ray Mine, Arizona, USA	United States of America	Cobre	alteamento a montante	Rejeitos	N/I	Falha	instabilidade de declive	N/I	N/I	N/I
96	1972	Galena Mine, Idaho, USA #1 of 2 (ASARCO)	United States of America	Prata/Chumbo	alteamento a montante	Aterro	N/I	Acidente	erosão	N/I	N/I	N/I
99	1972	Brunita, Spain, Caragena, Spain (SMM Penaroya)	Spain	Zinco/Chumbo/Cobre	alteamento a montante	Resíduos de mineração	1008000	Falha	N/I	70,000	N/I	1
100	1973	Unidentified, Southwestern USA	United States of America	Cobre	alteamento a montante	Aterro	500000	Falha	instabilidade de declive	170,000	25	N/I
102	1973	Earth Resources, N M, USA	United States of America	Cobre	alteamento a montante	Rejeitos	N/I	Falha	galgamento	N/I	N/I	N/I
103	1973	Ray Mine, Arizona, USA inc #2 (Kennecott)	United States of America	Cobre	alteamento a montante	Rejeitos	N/I	Acidente	instabilidade de declive	N/I	N/I	N/I
101	1973	Bafokeng, South Africa, Morensky Tailings dam (2nd occurrence)	South Africa	Platina	alteamento a montante	Rejeitos	17000000	Falha	infiltração	13,000,000	45	13
107	1974	GCOS, Alberta, Canada	Canada	Areias betuminosas	alteamento a montante	Rejeitos	N/I	Acidente	instabilidade de declive	N/I	N/I	N/I
108	1974	Unidentified, Canaca, Mexico	Mexico	Cobre	alteamento a montante	Rejeitos	N/I	Falha	galgamento	N/I	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percurso (km)	Mortes
110	1974	Unidentified, Mississippi, USA #2	United States of America	Gesso	alteamto a montante	Rejeitos	N/I	Acidente	Fundação	N/I	N/I	N/I
111	1974	Deneen Mica Yancey County, North Carolina, USA	United States of America	Mica	alteamto a montante	Rejeitos de areia ciclados	300000	Falha	instabilidade de declive	38,000	0.03	N/I
106	1974	Golden Gilpin Mine, Colorado, USA	United States of America	Ouro	N/I	N/I	N/I	Falha	desconhecido	N/I	N/I	N/I
109	1974	Bafokeng, South Africa, Morensky Tailings dam, #1 of 2	South Africa	Platina	alteamto a montante	Rejeitos	N/I	Falha	N/I	40,000	N/I	N/I
104	1974	Silver King, Idaho, USA	United States of America	Prata	alteamto a jusante	Aterro	37000	Falha	galgamento	6,000	N/I	N/I
105	1974	Berrien, France	France	Prata/Chumbo	alteamto a montante	Enrocamento	N/I	Falha	infiltração	N/I	N/I	N/I
112	1974	Galena Mine, Idaho, USA #2 of 2 (ASARCO)	United States of America	Prata/Chumbo	alteamto a montante	Resíduos de mineração	N/I	Falha	galgamento	3,800	0.61	N/I
113	1975	Cadet No. 2, Montana, USA	United States of America	Barita	Linha de centro	Aterro	N/I	Acidente	instabilidade de declive	N/I	N/I	N/I
114	1975	Dresser No. 4, Montana, USA	United States of America	Barita	Linha de centro	Aterro	N/I	Falha	Fundação	N/I	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
116	1975	Heath Steele main dam, Brunswick, Canada (American Metals)	Canada	Chumbo/Zinco	represamento de água	Enrocamento/Atorro	N/I	Acidente	Fundação	N/I	N/I	N/I
120	1975	Madjarevo, Bulgaria	Bulgaria	Chumbo/Zinco	alteamento a montante	Rejeitos	3000000	Falha	estrutural	250,000	20	N/I
122	1975	Mike Horse, Montana, USA (Asarco)	United States of America	Chumbo/Zinco	alteamento a montante	Rejeitos	750000	Falha	galgamento	150,000	N/I	N/I
117	1975	Carr Fork, Utah, USA (Anaconda)	United States of America	Cobre/Ouro	N/I	N/I	N/I	Falha	estrutural	N/I	N/I	N/I
118	1975	Keystone Mine, Crested Butte, Colorado, USA	United States of America	Molibdênio	N/I	N/I	N/I	Falha	desconhecido	N/I	N/I	N/I
119	1975	Silverton, Colorado, USA	United States of America	Ouro/Prata	N/I	N/I	N/I	Falha	desconhecido	48,133	N/I	0
121	1975	PCS Rocanville, Saskatchewan, Canada	Canada	Potássio	alteamento a montante	Rejeitos	N/I	Infiltração por águas subterrâneas	desconhecido	N/I	N/I	N/I
115	1975	Unidentified, Green River, Wyoming, USA	United States of America	Trona	represamento de água	Aterro	N/I	Infiltração por águas subterrâneas	desconhecido	N/I	N/I	N/I
126	1976	Zletovo No. 4, Yugoslavia	Macedonia	Chumbo/Zinco	alteamento a montante	Rejeitos	1000000	Falha	instabilidade de declive	300,000	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
		(Território da atual Macedônia)										
125	1976	Dashihe, China	China	Ferro	alteamo a montante	N/I	N/I	Acident e represamento ativo	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
123	1976	Unidentified, Idaho, USA	United States of America	Fosfato	alteamo a jusante	Aterro	N/I	Acident e represamento ativo	instabilidade de declive	N/I	N/I	N/I
124	1976	Kerr-McGee, Churchrock, New Mexico, USA	United States of America	Urânio	represamento de água	Aterro	N/I	Falha represamento ativo	Fundação	N/I	N/I	N/I
127	1977	Unidentified, Hernando, County, Florida, USA	United States of America	Calcário	alteamo a jusante	Aterro	N/I	Acident e represamento ativo	Fundação	N/I	N/I	N/I
128	1977	Madison, Missouri, USA	United States of America	Chumbo	represamento de água	Aterro	N/I	Falha represamento ativo	galgamento	N/I	N/I	N/I
130	1977	Pit No. 2, Western Australia	Australia	Terra-rara	alteamo a montante	Rejeitos	N/I	Falha represamento ativo	instabilidade de declive	N/I	N/I	N/I
129	1977	Western Nuclear, Jeffrey City, Wyoming, USA #2	United States of America	Urânio	N/I	N/I	N/I	Falha represamento ativo	instabilidade de declive	40	N/I	N/I
131	1977	Grants, Milan, New Mexico, USA mill site (Homestake Mining)	United States of America	Urânio	alteamo a montante	Rejeitos	N/I	Falha represamento ativo	estrutural	30,000	N/I	N/I
136	1978	Syncrude, Alberta, Canada	Canada	Areias betuminosas	Linha de centro	Rejeitos	N/I	Acident e represamento ativo	Fundação	N/I	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percursos (km)	Mortes
132	1978	Mochikoshi Dike No 1 (of 3), Sagami Bay Nr Izu Japan (2 of 2)	Japan	Ouro	alteamto a montante	Aterro	476000	Falha	tremor de terra	80,000	8	1
133	1978	Hirayama, Japan	Japan	Ouro	alteamto a jusante	N/I	87000	Acidente	tremor de terra	N/I	0	0
134	1978	Mochikoshi Dike No 2 (of 3),Sagami Bay Nr Izu Japan (2 of 2)	Japan	Ouro	N/I	N/I	N/I	Falha	tremor de terra	3,000	0.15	N/I
135	1978	Norosawa, Japan	Japan	Ouro	alteamto a jusante	N/I	225000	Acidente	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
137	1978	Mochikoshi Dike no 3(of 3), Sagami Bay Nr Izu Japan (2 of 2)	Japan	Ouro	alteamto a montante	Rejeitos	N/I	Falha	tremor de terra	N/I	0.15	N/I
138	1978	Arcturus, Zimbabwe	Zimbabwe	Ouro	alteamto a montante	Rejeitos	1.7-2.0 Mt	Falha	galgamento	39,000	0.3	1
144	1979	Suncor E-W Dike, Alberta, Canada	Canada	Areias betuminosas	represamento de água	Resíduos de mineração	N/I	Acidente	instabilidade de declive	N/I	N/I	N/I
141	1979	Churchill Copper, BC	Canada	Cobre	N/I	N/I	N/I	Falha	infiltração	37,854	N/I	N/I
142	1979	Unidentified, British Columbia, Canada	Canada	N/I	N/I	N/I	N/I	Falha	Fundação	40,000	N/I	N/I
139	1979	Incident No. 1, Elliot, Ontario, Canada	Canada	Urânio	represamento de água	Aterro	N/I	Infiltração por águas	desconhecido	N/I	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
154	1981	Ages, Harlan County, Kentucky, USA	United States of America	Carvão	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	96,000	N/I	1
152	1981	Veta de Agua A	Chile	Cobre	N/I	N/I	N/I	Falha	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
153	1981	Veta de Agua B	Chile	Cobre	N/I	N/I	N/I	Falha	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
156	1981	Balka Chuficheva, Russia	Russia	Ferro	alteamento a montante	Rejeitos de areia ciclados	27000000	Falha	represamento ativo	3,500,000	1.3	N/I
151	1981	Texasgulf No. 1 Pond, Beaufort Co., North Carolina, USA	United States of America	Fosfato	represamento de água	Aterro	24700000	Acidente	represamento ativo	N/I	N/I	N/I
155	1981	Dixie Mine, Colorado, USA	United States of America	Ouro	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento inativo	N/I	N/I	N/I
158	1982	Sipalay, Philippines, No.3 Tailings Pond (Maricalum Mining Corp)	Philippines	Cobre	represamento de água	Resíduos de mineração	37000000	Falha	represamento ativo	11,618,257	N/I	N/I
157	1982	Royster, Florida, USA	United States of America	Gesso	alteamento a montante	Rejeitos	N/I	Falha	represamento ativo	N/I	N/I	N/I
160	1983	Vallenar 1 and 2	Chile	Cobre	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento inativo	N/I	N/I	N/I
159	1983	Grey Eagle, California, USA	United States of America	Ouro	alteamento a jusante	Aterro	N/I	Infiltração por águas	N/I	100	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percurso (km)	Mortes
162	1983	Golden Sunlight, MT, USA	United States of America	Ouro	Linha de centro	Rejeitos de areia ciclados	N/I	Infiltração por águas subterrâneas	desconhecido	664	N/I	N/I
161	1983	Clayton Mine, Idaho, USA	United States of America	Prata/Chumbo	Linha de centro	Rejeitos	215000	Acidente	representamento estrutural	N/I	N/I	N/I
165	1984	Mirulubovka, Southern Ukraine	Ukraine	Ferro	alçamento a montante	Aterro/Rejeitos	80000000	Acidente	representamento de declive	N/I	N/I	N/I
166	1984	Texasgulf 4B Pond, Beaufort, Co., North Carolina, USA	United States of America	Fosfato	representamento de água	Rejeitos	12300000	Acidente	representamento de declive	N/I	N/I	N/I
163	1984	Battle Mt. Gold, Nevada	United States of America	Ouro	alçamento a jusante	Aterro	1540000	Acidente	representamento de declive	N/I	N/I	N/I
164	1984	Virginia Vermiculite, Louisa County, Virginia, USA	United States of America	Vermiculita	representamento de água	Aterro	N/I	Falha	representamento estrutural	N/I	N/I	N/I
167	1985	Bonsal, North Carolina, USA	United States of America	Areia/Casca	representamento de água	Aterro	38000	Falha	representamento de galgamento	11,000	0.8	N/I
169	1985	Quintette, MaĖmot, BC, Canada	Canada	Carvão	N/I	N/I	N/I	Acidente	desconhecido	2,500,000	2.5	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
176	1985	La Belle, Pennsylvania, USA	United States of America	Carvão	alteamto a jusante	Resíduos de mineração	1230000	Acidente	Fundação	N/I	N/I	N/I
170	1985	Marga, Chile - El Teniente (Codelco)	Chile	Cobre	N/I	N/I	N/I	Falha	galgamento	N/I	N/I	N/I
172	1985	Veta de Agua	Chile	Cobre	alteamto a montante	Rejeitos	700000	Falha	tremor de terra	280,000	5	N/I
173	1985	Cerro Negro No. (4 of 5)	Chile	Cobre	alteamto a montante	Rejeitos de areia ciclados	2000000	Falha	tremor de terra	500,000	8	N/I
174	1985	El Cobre No. 4 - El Soldado (Exxon)	Chile	Cobre	alteamto a jusante	Rejeitos de areia ciclados	N/I	Acidente	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
175	1985	Prestavel Mine - Stava, North Italy, 2, 3 (Prealpi Mineraria)	Italy	Fióor	alteamto a montante	Rejeitos de areia ciclados	300000	Falha	instabilidade de declive	200,000	8	269
171	1985	Niujaolong, Shizhuyuan Non-ferrous Metals Co., Hunan	China	Fosfato	N/I	N/I	N/I	Falha	desconhecido	731,000	4.2	49
168	1985	Olinghouse, Nevada, USA	United States of America	Ouro	represamento de água	Aterro	120000	Falha	infiltração	25,000	1.5	N/I
183	1986	Spring Creek Plant, Borger, Texas, USA	United States of America	Areia/Casca lho	N/I	N/I	30000	Falha	galgamento	N/I	N/I	N/I
180	1986	Marianna Mine #58, PA	United States of America	Carvão	alteamto a montante	Aterro	300000	Acidente	instabilidade de declive	N/I	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percurso (km)	Mortes
185	1986	Mineral King, BC, Canada	Canada	Chumbo/Zinco	Linha de centro	Rejeitos de areia ciclados	N/I	Falha	galgamento	N/I	N/I	N/I
178	1986	Mankayan District, Luzon, Philippines, No.3 Tailings Pond (Benguet Corp subsidiary Lepanto Con Mining Co)	Philippines	Cobre/Ouro	N/I	Aterro	N/I	Falha	estrutural	100,000	N/I	N/I
179	1986	Rossarden, Tasmania	Tasmania	Estanho	represamento de água	Aterro	200000	Falha	galgamento	N/I	N/I	N/I
182	1986	Story's Creek, Tasmania	Tasmania	Estanho	Valley side	N/I	30000	Falha	galgamento	100	N/I	N/I
177	1986	Itabirito, Minas Gerais, Brazil	Brazil	Ferro	barragem de construção de alvenaria com tijolos feitos de barro e estilhaço de minério de ferro (gravity)	Alvenaria	N/I	Falha	estrutural	41,000	12	7
181	1986	Huangmeishan, China	China	Ferro	N/I	N/I	N/I	Falha	desconhecido	N/I	N/I	19
184	1986	Pico de Sao Luis, Minas Gerais, Brazil Fernandinho, Rio Acima	Brazil	Ferro	N/I	Rejeitos	N/I	Falha	erosão	N/I	N/I	N/I
186	1987	Bekovsky, Western Siberia	Russia	Carvão	alçamento a montante	Argilita/Aleuroлита	52000000	Falha	desconhecido	N/I	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
188	1987	Montcoal No.7, Raleigh County, West Virginia, USA	United States of America	Carvão	N/I	N/I	N/I	Falha	desconhecido	87,000	N/I	N/I
189	1987	Xishimen, China	China	Ferro	alteamo a montante	Rejeitos	N/I	Falha	instabilidade de declive	2,230	N/I	N/I
187	1987	Surigao Del Norte Placer, Philippines (#1 of 3) (Manila Mining Corp)	Philippines	Ouro	N/I	N/I	N/I	Falha	desconhecido	N/I	N/I	N/I
190	1987	Montana Tunnels, MT, USA (Pegasus Gold)	United States of America	Ouro	alteamo a jusante	Resíduos de mineração	250000	Infiltração por águas subterrâneas	desconhecido	N/I	N/I	N/I
191	1988	Unidentified, Hernando, County, Florida, USA #1	United States of America	Calcário	Linha de centro	Aterro	N/I	Acidente	Fundação	N/I	N/I	N/I
192	1988	Unidentified, Hernando, County, Florida, USA #2	United States of America	Calcário	alteamo a montante	Aterro	3300000	Falha	galgamento	4,600	N/I	N/I
196	1988	Consolidated Coal No.1, Tennessee, USA,	United States of America	Carvão	alteamo a jusante	Resíduos de mineração	1000000	Acidente	estrutural	250,000	N/I	N/I
195	1988	Riverview, Hillsborough County, Florida	United States of America	Fosfato	N/I	N/I	N/I	Falha	erosão	246	N/I	N/I
194	1988	Jinduicheng, Shaanxi Province., China	China	Molibdénio	alteamo a montante	N/I	N/I	Falha	galgamento	700,000	N/I	20

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
193	1988	Rain Starter Dam, Elko, Nevada, USA	United States of America	Ouro	represamento de água	Aterro/Enrocamento	1500000	Infiltração por águas subterrâneas	desconhecido	N/I	N/I	N/I
197	1989	Soda Lake, California, USA	United States of America	Areia/Casca	alteamento a montante	Aterro	N/I	Acidente	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
198	1989	Stancil, Maryland, USA	United States of America	Areia/Casca	alteamento a montante	Aterro	74000	Falha	instabilidade de declive	38,000	0.1	N/I
199	1989	Southern Clay, Tennessee, USA	United States of America	Argila	represamento de água	Aterro	N/I	Falha	infiltração	300	N/I	N/I
200	1989	Big Four, Florida, USA	United States of America	Fosfato	Linha de centro	Aterro	N/I	Acidente	Fundação	N/I	N/I	N/I
203	1989	Thompson Creek, Idaho, USA (Cyprus)	United States of America	Molibdênio	Linha de centro	Rejeitos de areia ciclados	27000000	Acidente	infiltração	N/I	N/I	N/I
202	1989	Little Bay Newfoundland	Canada	N/I	N/I	N/I	N/I	Falha	N/I	500,000	N/I	N/I
201	1989	Silver King, Idaho, USA (#2 see incident #109 1974)	United States of America	Prata/Chumbo	alteamento a jusante	Aterro	37000	Acidente	galgamento	100	N/I	N/I
205	1990	Brewer Gold Mine Jefferson South Carolina	United States of America	Ouro	N/I	N/I	N/I	Falha	desconhecido	41,640	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percursos (km)	Mortes
204	1990	Matachewan Mines, Kirtland Lake, Ontario	Canada	Urânio	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	190,000	N/I	N/I
206	1991	Ajka Alumina Plant, Kolontár, Hungary #1	Hungary	Alumínio	alçamento a jusante	Cinza compactada	N/I	Falha	represamento ativo	43,200	N/I	N/I
207	1991	Iron Dyke, Sullivan Mine, Kimberley, BC, Canada (Cominco, Inc)	Canada	Chumbo/Zinco	alçamento a montante	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	75,000	N/I	N/I
208	1991	Magma Mine Tailings Dam #3	United States of America	Cobre	alçamento a montante	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	8,000	N/I	N/I
210	1992	Maritsa Istok 1, Bulgaria	Bulgaria	Carvão	N/I	Cinza	52000000	Falha	represamento ativo	500,000	N/I	N/I
209	1992	Kojkovic, Montenegro	Montenegro	Chumbo/Zinco	represamento de água	Aterro	3500000	Acidente	represamento inativo	N/I	N/I	N/I
211	1992	Tubu, Benguet, No.2 Tailings Pond, Luzon, Philippines - Padcal (Philex)	Philippines	Cobre	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	32,243,000	N/I	N/I
212	1993	Magma Copper Company Pinto Valley Division Pinto Valley Operations, Arizona	United States of America	Cobre	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	90,000	N/I	N/I
214	1993	Marcopper, Marinduque Island, Mogpog Philippines(12/6)	Philippines	Cobre	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	N/I	N/I	2

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
		(#1 of 2) (Placer Dome-President Marcos)										
216	1993	Ray Complex, Pinal County, Arizona, AB-BA Impoundment	United States of America	Cobre	alteamo a montante	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	216,000	N/I	N/I
219	1993	TD 7, Chingola, Zambia	Zambia	Cobre	alteamo a montante	Rejeitos/Aterro	N/I	Falha	represamento ativo	42	N/I	N/I
217	1993	Gibsonton, Florida, USA (Cargill)	United States of America	Fosfato	N/I	N/I	N/I	Acidente	represamento ativo	N/I	N/I	N/I
213	1993	Marsa, Peru (Marsa Mining Corp)	Peru	Ouro	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	N/I	N/I	6
218	1993	Saaiplaas, South Africa, 2 failures on west ring dyke	South Africa	Ouro	alteamo a montante	Rejeitos de areia ciclados	N/I	Falha	represamento ativo	100	N/I	N/I
215	1993	Itogon-Suyoc, Bagoio gold district, Philippines (Benguet Corp)	Philippines	Ouro/Prata	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	N/I	N/I	N/I
220	1994	Tip No 4, UK	United Kingdom	Carvão	N/I	N/I	1,550,000	Falha	represamento ativo	N/I	0.7	N/I
221	1994	Olympic Dam, Roxby Downs, South Australia, (BHP)	Australia	Cobre/Urânio	N/I	N/I	N/I	Infiltração por águas subterrâneas	N/I	5,000,000	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
222	1994	Longjiaoshan, Daye Iron Ore mine, Hubei	China	Ferro	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	N/I	N/I	31
224	1994	Fort Meade Phosphate, Florida, USA	United States of America	Fosfato	N/I	N/I	N/I	Acidente	represamento ativo	76,000	N/I	N/I
225	1994	Fort Meade, Florida, Cargill phosphate (#3 of 3)	United States of America	Fosfato	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	76,000	N/I	N/I
226	1994	Hopewell Mine, Hillsborough County, Florida, USA	United States of America	Fosfato	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	1,900,000	N/I	N/I
227	1994	IMC-Agrico Phosphate, Florida, USA	United States of America	Fosfato	N/I	N/I	N/I	Acidente	represamento ativo	N/I	N/I	N/I
228	1994	Payne Creek Mine, Polk County, Florida, USA	United States of America	Fosfato	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	6,800,000	N/I	N/I
229	1994	Tapo Canyon Northridge California	United States of America	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	tremor de terra	135,000	N/I	N/I
230	1994	Merriespruit, near Virginia, South Africa (Harmony) - No 4A Tailings Complex	South Africa	Ouro	atendimento a montante	Rejeitos	7040000	Falha	represamento inativo	600,000	4	17
231	1994	Minera Sera Grande: Crixas, Goias, Brazil	Brazil	Ouro	atendimento a montante	Rejeitos de areia ciclados	2.25Mt	Acidente	represamento ativo	N/I	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
223	1994	Helmndrf Uranium, Zwickau, Saxny, Germany, Wismut Urnaium	Germany	Urânio	alteamto a montante	N/I	N/I	Acident e represamento inativo	instabilidade de declive	N/I	0	0
232	1995	Surigao del Norte Placer, Philippines (#2 of 3) (Manila Mining Corp) 2nd event	Philippines	Ouro	represamento de água	Aterro	N/I	Falha represamento inativo	Fundação	50,000	N/I	12
233	1995	Middle Arm, Launceston, Tasmania	Tasmania	Ouro	Linha de centro	Aterro	25000	Falha represamento ativo	galgamento	5,000	N/I	N/I
234	1995	Riltec, Mathinna, Tasmania	Tasmania	Ouro	Linha de centro	Aterro	120000	Acident e represamento ativo	infiltração	40,000	N/I	N/I
235	1995	Omai Mine, Tailings dam No 1, 2, Guyana (Cambior)	Guyana	Ouro	represamento de água	Enrocamento	5250000	Falha represamento ativo	erosão	4,200,000	80	N/I
236	1995	Golden Cross, Waitekauri Valley, New Zealand (Coeur d'Alène Mines)	New Zealand	Ouro	N/I	Enrocamento	3000000	Falha represamento ativo	Fundação	100	N/I	N/I
237	1995	Negros Occidental, Bulawan Mine Sipalay River, Philippines (Phillex Mining Corp)	Philippines	Ouro	N/I	N/I	N/I	Falha represamento ativo	desconhecido	N/I	N/I	N/I
238	1996	El Porco, Bolivia (Comsur-62%, Rio Tinto-33%)	Bolivia	Chumbo/Zinco	N/I	N/I	N/I	Falha represamento ativo	desconhecido	166,000	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percursos (km)	Mortes
242	1996	Sgurigrad, Bulgaria	Bulgaria	Chumbo/Zinco	alçamento a montante	Rejeitos	1520000	Falha	instabilidade de declive	220,000	6	N/I
243	1996	Laisfall (Boliden) Marcopper Mine, Tapani Pit	Chile	Chumbo/Zinco/Prata	alçamento a montante	Rejeitos	N/I	Falha	N/I	N/I	N/I	N/I
241	1996	Marinduque Island, Philippines (#2 of 2) (Placer Dome and President Marcos)	Philippines	Cobre	N/I	N/I	N/I	Falha	representamento ativo	1,600,000	26	N/I
239	1996	Amatista, Nazca, Peru	Peru	N/I	alçamento a montante	N/I	N/I	Falha	representamento inativo	300,000	N/I	N/I
240	1996	Caraveli, Nazca, Peru	Peru	N/I	N/I	N/I	N/I	Falha	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
248	1997	Pinto Valley, Arizona, USA (BHP Copper)	United States of America	Cobre	N/I	N/I	N/I	Falha	tremor de terra	230,000	N/I	N/I
244	1997	Algarrobo, IV Region, Vallenar, Chile	Chile	Ferro	alçamento a montante	N/I	N/I	Falha	instabilidade de declive	N/I	N/I	N/I
249	1997	Mulberry Phosphate, Polk County, Florida, USA (Mulberry Phosphate)	United States of America	Fosfato	N/I	N/I	N/I	Falha	tremor de terra	200,000	N/I	N/I
245	1997	Maitén, IV Region, Vallenar, Chile	Chile	N/I	alçamento a montante	N/I	N/I	Falha	infiltração	N/I	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
246	1997	Tranque Antiguo Planta La Cocinera, IV Region, Vallenar, Chile	Chile	N/I	alçamento a montante/Linha de centro	N/I	N/I	Falha	tremor de terra	60,000	0.15	N/I
247	1997	Zamboanga Del Norte, Sibutad Gold Project (Philex Mining Corp)	Philippines	Ouro	N/I	N/I	N/I	Falha	galgamento	N/I	N/I	N/I
250	1998	Los Frailes, near Seville, Spain (Boliden Ltd.)	Spain	Chumbo/Zinco	represamento de água	Enrocamento	15000000	Falha	Fundação	6,800,000	41	N/I
252	1998	Huelva, Spain (Fertiberia, Foret)	Spain	Fosfato	N/I	N/I	N/I	Falha	galgamento	50,000	N/I	N/I
251	1998	Zamboanga Del Norte, Sibutad Gold Project (Philex Mining Corp)	Philippines	Ouro	N/I	N/I	N/I	Falha	galgamento	N/I	N/I	N/I
254	1999	Toledo City, Philippines (Atlas Con Mining Corp)	Philippines	Cobre	N/I	N/I	N/I	Falha	estrutural	5,700,000	N/I	N/I
255	1999	Surigao Del Norte Placer, Philippines (#3 of 3) (Manila Mining Corp)	Philippines	Ouro	N/I	N/I	N/I	Infiltração por águas subterrâneas	desconhecido	29,000	12	4
253	1999	Red Mountain, BC	Canada	Ouro/Prata	Jumbo	N/I	N/I	Falha	infiltração	10,000	N/I	N/I
258	2000	Inez, Martin County, Kentucky, USA (Massey Energy)	United States of America	Carvão	N/I	N/I	N/I	Falha	desconhecido	1,068,500	120	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
		subsidiary Martin Co. Coal Corp)										
257	2000	Borsa, Romania (Remin S.A - govt)	Romania	Chumbo/Zinco	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	desconhecido	9,140	N/I
260	2000	Aitik mine, near Gällivare, Sweden (Boliden Ltd)	Sweden	Cobre	alteamto a jusante	Resíduos de mineração/Aterramento	15000000	Falha	represamento ativo	erosão	1,800,000	5.2
256	2000	Nandan Tin mine, Dachang, Guangxi	Peru	Estanho	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	desconhecido	N/I	28
259	2000	Baia Mare, Romania	Romania	Ouro	alteamto a montante	Rejeitos	800000	Falha	represamento ativo	estrutural	100,000	2000
261	2001	Sebastião das Águas Claras, Nova Lima district, Minas Gerais, Brazil	Brazil	Ferro	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	desconhecido	N/I	8
263	2001	Cuajone, Peru	Peru	N/I	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	tremor de terra	N/I	N/I
262	2001	Tarkwa, Ghana (Goldfields)	Ghana	Ouro	N/I	N/I	N/I	Acidente	represamento ativo	instabilidade de declive	N/I	N/I
267	2002	El Cobre, Chile - El Soldado (Exxon)	Chile	Cobre	alteamto a montante	Rejeitos	N/I	Falha	represamento inativo	galgamento	4,500	N/I
268	2002	El Cobre, Chile, 2, 3, 4, 5 (Exxon)	Chile	Cobre	alteamto a montante	Rejeitos	N/I	Falha	represamento inativo	galgamento	8,000	N/I
264	2002	Thalanga Mine, Queensland Australia	Australia	Cobre/Chumbo/Zinco	UTSD	N/I	290000	Acidente	represamento inativo	N/I	N/I	0

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percurso (km)	Mortes
265	2002	San Marcelino Zambales, Philippines, Bayarong dam (Benguet Corp-Dizon Copper-Silver Mines Inc)	Philippines	Cobre/Ouro	N/I	N/I	47000000	Falha represamento inativo	galgamento	1,000,000	N/I	N/I
266	2002	San Marcelino Zambales, Philippines, Camalca dam (Benguet Corp-Dizon Copper-Silver Mines)	Philippines	Cobre/Ouro	N/I	N/I	N/I	Falha represamento inativo	galgamento	N/I	N/I	N/I
269	2003	Mineracao Rio Pomba Cataguases, Mirai, Minas Gerais, Brazil, Mineração (Industrias Quimicas Cataguases)	Brazil	Alumínio	N/I	N/I	N/I	Falha represamento ativo	desconhecido	1,200,000	N/I	N/I
270	2003	Sasa Mine, Macedonia	Macedonia	Chumbo/Zinco	N/I	N/I	2000000	Falha represamento ativo	estrutural	85,000	12	N/I
271	2003	Cerro Negro No. (5 of 5)	Chile	Cobre	alteamento a montante	Rejeitos	N/I	Falha represamento ativo	erosão	80,000	20	N/I
275	2004	Partizansk, United Energy Systems(Dalenergo), Primorski Krai, Russia	Russia	Carvão	Anel	N/I	20000000	Falha represamento ativo	desconhecido	160,000	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percursos (km)	Mortes	
276	2004	Riverview, Florida, USA	United States of America	Fosfato	N/I	N/I	N/I	Falha	N/I	desconhecido	227,000	N/I	N/I
272	2004	Pinchi Lake, BC, Canada (Teck Cominco Ltd.)	Canada	Mercurio	represamento de água	Aterro	N/I	N/I	represamento inativo	N/I	7,000	N/I	N/I
274	2004	Prestea Gold Mine Bogoso Gold Ltd. Ghana inc#1	Ghana	Ouro	N/I	N/I	N/I	N/I	instabilidade de declive	N/I	N/I	N/I	N/I
273	2004	Malvésí, Aude, France (Comurhex, Cogéma/Areva)	France	Urânio	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	desconhecido	30,000	N/I	N/I
277	2005	Tailings Dam, USA	United States of America	Cobre	alçamento a montante	Aterro	500,000	Falha	represamento ativo	infiltração	170,000	25	N/I
280	2005	Captains Flat Dump No 3, Australia	Australia	Cobre	alçamento a montante	Rejeitos	N/I	Falha	represamento ativo	instabilidade de declive	N/I	N/I	N/I
279	2005	Bangs Lake, Jackson County, Mississippi, USA (Mississippi Phosphates Corp)	United States of America	Fosfato	N/I	N/I	N/I	Falha	N/I	desconhecido	64,350	N/I	N/I
278	2005	Prestea Gold Mine Bogosa Gold Ltd. Ghana inc#2, Golden Star Resources	Ghana	Ouro	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
282	2006	Mineracao Rio Pomba Cataguases, Mirai, Minas Gerais, Brazil, Mineração	Brazil	Alumínio	N/I	N/I	N/I	N/I	desconhecido	400,000	N/I	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percursos (km)	Mortes
(Indústrias Químicas Cataguases)												
284	2006	Dayton Power & Light	United States of America	Carvão	N/I	N/I	N/I	Falha	N/I	instabilidade de declive	0	1
285	2006	Nchanga, Chingola, Zambia (Konkola Copper Mines - Vedanta)	Zambia	Cobre	N/I	N/I	N/I	Falha	N/I	instabilidade de declive	N/I	N/I
281	2006	Fonte Santa ,Freixia De Espado a Cinta, Portugal	Portugal	N/I	N/I	Aterro	N/I	Acidente	represamento inativo	galgamento	2.5	N/I
283	2006	Miliang, Zhen'an County, Shangluo, Shaanxi Province, China	China	Ouro	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	desconhecido	5	17
287	2007	Mineracao Rio Pomba Cataguases, Mirai, Minas Gerais, Brazil, Mineração (Indústrias Químicas Cataguases)	Brazil	Alumínio	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	galgamento	2,000,000	N/I
286	2007	Glebe Mines, UK	United Kingdom	Flúor	N/I	Aterro	N/I	Falha	represamento inativo	galgamento	20,000	N/I
291	2008	Kingston fossil plant, Harriman, Tennessee, USA (TVA)	United States of America	Carvão	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	desconhecido	4,100,000	N/I
288	2008	Long Lake Cotainment Ektaki	Canada	Diamante	N/I	N/I	N/I	Acidente	represamento ativo	instabilidade de declive	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
289	2008	Mine, Northwest Territories, CA (BHP Billiton) Lixi Tailings Dam(?) Taoshi, Linfen City, Xiangfen county, Shanxi province, China (Tahsan Mining Co.)	China	Ferro	alçamento a montante	N/I	290000	Falha represamento inativo	desconhecido	268,000	2.5	254
290	2008	Coircancha, Gold Hawk, Peru Tailings	Peru	Prata/Ouro/ Chumbo/Zinco	N/I	N/I	N/I	Falha represamento ativo	galgamento	N/I	N/I	N/I
292	2009	Huayuan County, Xiangxi Autonomous Prefecture, Hunan Province, China	China	Manganês	N/I	N/I	50000	Falha represamento ativo	desconhecido	50,000	N/I	3
293	2009	Karamken, Magadan Region, Russia (cyanide-leach processing facility of gold mines in the region)	Russia	Ouro	N/I	N/I	N/I	Falha represamento ativo	desconhecido	1,200,000	N/I	1
294	2010	Ajka Alumina Plant, Kolontár, Hungary (MAL Magyar Alumínium) #2	Hungary	Alumínio	alçamento a jusante	Cinza compactada	30000000	Falha represamento ativo	infiltração	1,000,000	N/I	10
295	2010	Veta del Agua Tranque No. 5,	Chile	Cobre	alçamento a montante	N/I	N/I	Falha represamento inativo	tremor de terra	80,000	0.1	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
		Nogales, V Region, Valparaiso, Chile										
299	2010	Zijin Mining, Xinyi Yinyan Tin Mine, Guangdong Province, China	China	Estanho	N/I	N/I	N/I	Falha represamento ativo	galgamento	N/I	N/I	22
296	2010	Las Palmas, Pencahue, VII Region, Maule, Chile (COMINOR)	Chile	N/I	N/I	N/I	N/I	Falha represamento inativo	tremor de terra	N/I	0.5	4
297	2010	Tranque Adosado Planta Alhué, Alhué, Region Metropolitana, Chile	Chile	N/I	alçamento a jusante	N/I	N/I	Falha represamento ativo	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
298	2010	Tranque Planta Chacón, Cachapoal, VI Region, Rancagua, Chile	Chile	N/I	N/I	N/I	N/I	Falha represamento inativo	tremor de terra	N/I	N/I	N/I
300	2010	Huancavelica, Peru, Unidad Minera Caudalosa Chica Mine	Peru	Prata/Cobre /Chumbo/Zinco	N/I	N/I	N/I	Falha represamento ativo	infiltração	21,420	N/I	N/I
301	2011	Vales Point Ash Dam, Wyong (Delta), New South Wales	Australia	Carvão	N/I	N/I	N/I	Falha represamento ativo	N/I	N/I	N/I	N/I
304	2011	Ray Mine, Eder Gulch TSF, Asarco, Hayden, AZ, USA	United States of America	Cobre	N/I	N/I	N/I	Falha represamento ativo	estrutural	3,600	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percurso (km)	Mortes
302	2011	Bloom Lake, Triangle Tailings Pond, Quebec, Canada (Cleveland Cliffs)	Canada	Ferro	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	200,000	N/I	N/I
303	2011	Mianyang City, Songpan County, Sichuan Province, China	China	Manganês	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	10,000	N/I	N/I
307	2012	Hudson Bay (HB) Mine, Salmo, British Columbia (Regional District of Central Kootenay & Teck)	Canada	Chumbo/Zinco	N/I	N/I	1800000	Falha	represamento inativo	N/I	N/I	N/I
305	2012	Gullbridge Mine Newfoundland	Canada	Cobre	atendimento a jusante	Aterro	N/I	Falha	represamento inativo	100,000	N/I	N/I
308	2012	Sotkamo, Kainuu Province, Finland (Talvivaara)	Finland	Níquel/Urânio	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	240,000	N/I	N/I
306	2012	Mineracao Serra Grande Tailings Dam, State of Goias Brazil, (Anglo Ashanti)	Brazil	Ouro	Linha de centro	N/I	N/I	N/I	galgamento	900	N/I	N/I
309	2012	Johson Gold Mining Corporation at Barangay Bangong-Bayan	Philippines	Ouro	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	N/I	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
310	2012	Padcal No 3, Benquet Philippines (Philex)	Philippines	Ouro/Cobre	alteamto a montante	N/I	102000000	Falha	represamento ativo	13,000,000	N/I	N/I
312	2013	Obed Mountain Coal Mine Alberta, Canada (Sherritt International)	Canada	Carvão	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento inativo	670,000	N/I	N/I
316	2013	Coalmont Energy Corporation, Basin Coal Mine	United States of America	Carvão	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	30	30	N/I
311	2013	Zangezur Copper Molybdenum Combine, Armenia	Armenia	Cobre/Molibdênio	N/I	N/I	31000000	Acident e	represamento ativo	N/I	N/I	N/I
314	2013	Durango, Mexico	Mexico	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	1
315	2013	Minas De Bacias Mine Co, Mexico	Mexico	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	130	N/I
313	2013	Casa Berardi Mine, La Sarre, Abitibi region, Quebec (Hecla Mining Company)	Canada	Ouro	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento inativo	57,000	N/I	N/I
320	2014	Dan River Steam Station, North Carolina (Duke Energy)	United States of America	Carvão	N/I	N/I	155000000	Falha	represamento ativo	334,000	N/I	N/I
319	2014	Buenvista del Cobre mine, Cananea, Sonora,	Mexico	Cobre	N/I	N/I	N/I	Falha	represamento ativo	40,000	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
		Mexico (Grupo Mexico)										
321	2014	Imperial Metals, Mt Polley, British Columbia, Canada	Canada	Cobre/Ouro	Linha de centro	Resíduos de mineração	74000000	Falha represamento ativo	Fundação	23,600,000	7	N/I
318	2014	Herculano Iron Mine, Itabirite, Minas Gerais, Brazil	Brazil	Ferro	N/I	N/I	N/I	Falha represamento ativo	desconhecido	N/I	N/I	3
317	2014	Queensland Nickel, Yabulu Refinery, (Clive Pamer), Townsville Australia	Australia	Níquel	N/I	N/I	N/I	Falha represamento ativo	galgamento	N/I	N/I	N/I
322	2015	Sepon Mine Western TSF Pipeline MMG as Lane Zane Minerals, Savannakhet Province Laos	Laos	Cobre/Ouro	N/I	Aterro	N/I	Acident e represamento ativo	N/I	N/I	N/I	N/I
327	2015	Fundao (Germano), Minas Gerais, Brazil, Samarco (Vale & BHP)	Brazil	Ferro	alteamento a montante	Resíduos de mineração	55000000	Falha represamento ativo	estrutural	45,000,000	637	19
325	2015	Hpakant, Kachin state, Myanmar	Myanmar	Jade	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	115
323	2015	Yellow Giant Mine, Banks Island, British Columbia, Canada	Canada	Ouro	N/I	N/I	N/I	Acident e represamento ativo	estrutural	240	1	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
326	2015	Gold King Mine, near Silverton, Colorado	United States of America	Ouro	N/I	N/I	N/I	Infiltração por águas subterrâneas	estrutural	11,356	N/I	N/I
324	2015	Rosario Mine, San Luis Potosi Mexico, Santa Cruz Silver Mining LTD.	Mexico	Prata	N/I	N/I	N/I	Falha	representamento ativo	2,000	N/I	N/I
328	2016	Louyang Xiangjiang Wanji Aluminum, China	China	Alumínio	N/I	N/I	N/I	Falha	representamento ativo	2,000,000	N/I	N/I
330	2016	Duke Energy Coal Ash Overt	United States of America	Carvão	N/I	N/I	414938	Falha	representamento inativo	N/I	N/I	N/I
331	2016	New Wales plant, Mulberry, Polk County, Florida (Mosaic Co)	United States of America	Fosfato	N/I	N/I	N/I	Falha	desconhecido	800,000	N/I	N/I
329	2016	Antamok, Baguio, Philippines (Benguet Corp.)	Philippines	Ouro	N/I	N/I	N/I	Acidente	representamento inativo	50,000	N/I	N/I
334	2017	Vedanta Aluminium Limited Smelter Ash Pond, Jharsuguda, India	India	Alumínio	N/I	N/I	N/I	Falha	representamento ativo	2,625,000	N/I	N/I
339	2017	Kentucky Power & Light	United States of America	Carvão	N/I	N/I	N/I	Falha	N/I	N/I	0	1

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percurso (km)	Mortes
332	2017	Highland Valley Copper, British Columbia, Canada (Teck Resources)	Canada	Cobre	N/I	Areia	N/I	Falha represamento ativo	N/I	850	0	0
333	2017	Tonglvshan Mine, Hubei Province, China (China Daye Ltd.)	China	Cobre/Ouro /Prata/Ferro	N/I	N/I	N/I	Falha represamento ativo	N/I	200,000	N/I	2
335	2017	Mishor Rotem, Israel (ICL Rotem)	Israel	Fosfato	N/I	N/I	N/I	Falha represamento ativo	instabilidade de declive	100,000	20	N/I
336	2017	Kokoya Gold Mine, MNG Gold Mining Ltd, Monrovia, Liberia a Avesoro Holding	Liberia	Ouro	N/I	N/I	300000	Falha represamento ativo	estrutural	11,356	N/I	N/I
338	2017	Compartment 2 Hemic Platinum Project (ferrochrome) South Africa	South Africa	Platina	N/I	N/I	N/I	Falha represamento ativo	instabilidade de declive	N/I	N/I	N/I
337	2017	Husab, Namibia (Swakop Uranium (Taurus Minerals))	Namibia	Urânio	N/I	N/I	N/I	Falha represamento ativo	galgamento	N/I	N/I	0
343	2018	Barcarena, Pará, Brazil, Alunorte (Hydro Alu Norte/Norsk Hydro ASA)	Brazil	Bauxita	N/I	N/I	N/I	Falha represamento ativo	galgamento	N/I	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percorso (km)	Mortes
349	2018	Duke Energy, HF Lee Power Plant, Goldsboro, North Carolina	United States of America	Carvão	N/I	N/I	304750	N/I	galgamento	N/I	N/I	0
340	2018	Duke Energy, L.V. Sutton Power Station, Wilmington, North Carolina	United States of America	Cinza	N/I	N/I	2,100,000	Acidente e represamento inativo	galgamento	N/I	N/I	N/I
344	2018	Caserones Copper Mine, Lumina Copper, Chile	Chile	Cobre	N/I	N/I	N/I	Falha de represamento ativo	N/I	15	N/I	N/I
350	2018	Hector Mine Pit Pond, MN, USA	United States of America	Ferro	N/I	N/I	185000	Falha de represamento inativo	galgamento	123,000	N/I	N/I
346	2018	Hpakant Jade Mines, Myanmar	Myanmar	Jade	N/I	N/I	N/I	Infiltração por águas subterrâneas	N/I	N/I	N/I	20
347	2018	Huancapátí Ancash, Peru Companhia Minera Lincuna SA (Grupo Picasso), Tailings Dam # 3	Peru	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	80,000	N/I	N/I
348	2018	Antamok Mine, TSF#3 Itogon Benguet Mining Corp, Philippines	Philippines	Ouro	N/I	N/I	N/I	Falha de represamento inativo	N/I	N/I	N/I	0

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percurso (km)	Mortes
		Myanmar, Shwe Nagar Koe Kaung Gems Co. Ltd., Myanmar Thura Gems Co. Ltd.										
352	2019	Nossa Senhora do Livramento, Mato Grosso, Brazil (VM Mineração e Construção, Cuiabá)	Brazil	Ouro	N/I	N/I	580000	Falha represamento ativo	N/I	N/I	2	N/I
359	2020	San José de Los Manzanos, Canelas, Durango, Mexico (Exportaciones de Minerales de Topia SA - EMITSA)	Mexico	Chumbo/Zinco	N/I	N/I	N/I	Falha represamento ativo	galgamento	6,000	5	N/I
360	2020	Hpakant, estado de Kachin, Mianmar	Myanmar	jade	N/I	N/I	N/I	Falha	galgamento	N/I	N/I	126
357	2020	Yichun Luming Mining, (China Railway Resources Group) Heilongjiang Province, China	China	Molibdênio	alçamento a montante	N/I	N/I	Falha represamento ativo	estrutural	2,530,000	110	N/I
358	2020	Ponce Enriquez, Azuay Province, Equador (Austro Gold)	Equador	Ouro	N/I	N/I	N/I	Falha represamento ativo	estrutural	50	N/I	N/I
364	2021	Ulundi, KwaZulu-Natal, África do Sul (Minerva de Antracite Zululand)	South Africa	carvão antracito	N/I	N/I	N/I	Falha	N/I	1,500	N/I	N/I

Nº	Ano	Descrição da instalação e da mina	País	Tipo de minério	Tipo de barragem	Material de enchimento de barragem	Volume de armazenamento (metros cúbicos)	Tipo de Incidente	Causa do acidente	Liberação (metros cúbicos)	Percurso (km)	Mortes
362	2021	Aldeia de Yedikardes, distrito de Sebinkarahisar de Giresun, Turquia (Nesko Madencilik AS (Yildizlar Holding))	Turkey	chumbo, zinco e cobre	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	5	0
361	2021	Mina Catoca, Saurimo, Lunda Sul, Angola (Sociedade Mineira de Catoca Lda)	Angola	Diamante	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	100	0
363	2021	Mina de San Antonio de María, Ananea, província de San Antonio de Putina, Puno, Peru (Central de Cooperativas Mineras de San Antonio de Poto (CECOMSAP))	Peru	ouro	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	0.4	0
365	2021	Aurizona mine, Maranhão, Brazil (Equinox Gold)	Brazil	ouro	N/I	N/I	N/I	N/I	galgamento	N/I	N/I	N/I
366	2021	Rio Panusco SA de CV, municipality of Concordia, Sinaloa State, Mexico	Mexico	Prata, cobre, chumbo e zinco	N/I	N/I	N/I	N/I	galgamento	N/I	N/I	N/I