



RECURSOS HÍDRICOS: IMPACTOS CAUSADOS PELOS ACIDENTES EM BARRAGENS DE REJEITOS DE MINERAÇÃO

Frederico Campos Regazoni Torquato, PPG Sustentabilidade, PUC-Campinas,
frederico.crt@puccampinas.edu.br

Alan Marcelo Barbosa, PPG Sustentabilidade, PUC-Campinas
alan.mb@puccampinas.edu.br

Marcus Vinícius Chiulle Pinheiro, PPG Sustentabilidade, PUC-Campinas
marcus.vcp1@puccampinas.edu.br

Walef Pena Guedes, PPG Sustentabilidade, PUC-Campinas
walef.pg@puccampinas.edu.br

Denise Helena Lombardo Ferreira, PPG Sustentabilidade, PUC-Campinas
lombardo@puc-campinas.edu.br

Resumo

À água é um recurso natural finito, essencial para a subsistência humana, para o desenvolvimento econômico e para o bem-estar social. Tendo em vista sua indispensabilidade e escassez, cerca de quatro bilhões de pessoas sofrem algum tipo de restrição hídrica, e 1,7 bilhão vive em áreas onde as águas subterrâneas são super exploradas. O setor de mineração é um dos grandes usuários de água, o que resulta em impactos significativos da lavra na disponibilidade dos recursos hídricos. A partir de tal contexto, este estudo visa analisar os principais impactos causados pelas barragens de rejeitos de mineração nos recursos hídricos, relacionando-os com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Para tanto, o método utilizado é a revisão sistemática da literatura, caracterizando esta como uma pesquisa exploratória, que utiliza procedimentos técnicos bibliográficos e de análise documental. A partir da discussão dos resultados foi possível relacionar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável com as atividades de empresas mineradoras, e suas inter-relações com o tripé da sustentabilidade. Constatou-se que as ações públicas para a minimização dos impactos gerados pelas mineradoras sobre os recursos hídricos têm se mostrado parcas em sua efetividade.

Palavras-chave: Água, Recursos hídricos, Mineração, Barragens de rejeitos.

1. Introdução

As restrições hídricas, conforme Di Noi, Ciroth (2018) e Northey *et al.* (2016), atingem em torno de quatro bilhões de pessoas, sendo que aproximadamente 700 milhões delas estão em regiões onde há superexploração das águas subterrâneas. A partir de tais circunstâncias, faz-se necessário desenvolver e adotar metodologias e práticas industriais capazes de mitigar e atenuar os efeitos negativos da Pegada Hídrica (PH) humana. Dentre as atividades que detêm o maior potencial de impactos negativos na qualidade das águas superficiais e subterrâneas, a mineração se sobressai, principalmente, pelos efeitos deletérios das rupturas de barragens.

A PH é um dos conceitos associados à quantificação dos impactos negativos das atividades humanas nas águas superficiais e subterrâneas, seja em sua qualidade, ou em sua disponibilidade na biosfera. Este índice visa mensurar a água globalmente disponível, combinando a noção de água virtual com o conceito de pegada ecológica. Dong *et al.* (2019); Northey *et al.* (2016) definem PH como o volume de água que uma população precisa para consumir, ou produzir uma quantidade determinada de bens ou serviços.

Ao relacionar PH com extrativismo mineral, pode-se observar a busca pela elevação do Ph em casos de drenagem ácida como é um fator crítico para o sucesso e sustentabilidade das operações de mineração. Isto se deve aos severos impactos sociais, ambientais e econômicos da acidificação dos mananciais próximos às minas, que ocorre em virtude da notável produção de resíduos das minas, que podem ser denominados como estéril, rejeito ou escória. Os rejeitos são produtos da mineração que não apresentam valor econômico viável para sua extração, os quais são compostos principalmente por micropartículas que variam entre 1 a 600 μm . O material particulado é geralmente misturado com água, formando lamas de rejeitos, que são depositadas em barragens nas imediações das minas, de forma a permitir a separação dos rejeitos por decantação (HEFNI *et al.*, 2021).

Em tal debate, a orientação indicada para a indústria de mineração, a partir de suas associações e fóruns de representação, é destacar o papel estratégico deste setor, que se identifica como um conjunto de ativos relevantes para viabilizar a sustentabilidade em larga escala. Conforme Dong *et al.* (2019) a inovação tecnológica, no que concerne à sustentabilidade ambiental do extrativismo mineral, se constitui gradativamente em uma prática dominante no setor de mineração, de forma a permitir a padronização do processamento e destinação de rejeitos e remediação de impactos negativos em todo o ciclo de vida das minas. Para tanto, faz-se necessária a adoção das melhores práticas para a recuperação e controle de impactos ambientais e sociais negativos, tendo em vista melhores padrões de governança para as plantas industriais de mineração.

Em relação à indústria extrativista mineral, a governança pode ser vista como o conjunto de leis, iniciativas, padrões produtivos, normas e práticas utilizadas pelas partes interessadas a fim de atingirem seus objetivos. A melhoria nos níveis de governança envolve a implementação e comprometimento dos administradores com a estrutura legal, com as regulamentações e boas práticas produtivas, indicadas para cada atividade e conforme aos pressupostos das comunidades locais. No caso da mineração, altos níveis de governança envolvem dissociar as funções econômicas dos impactos socioambientais negativos, considerando-se os ecossistemas locais e globais, bem como suas diversidades e as demandas comunitárias de preservação de seus componentes fundamentais: o clima, o solo e as águas (CHRISTMANN, 2021). Esse pensamento está em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) elaborados na Agenda 2030 pelos estados-membros da Organização das Nações Unidas, que se consolidaram em 17 ODS com 169 metas (ONU, 2015).

Neste contexto, o objetivo dessa pesquisa consiste em verificar os impactos causados pelas atividades em barragens de rejeitos de mineração nos recursos hídricos.

2. Fundamentação teórica

A presente seção tem por finalidade caracterizar a geração de rejeitos na indústria de mineração, apontando os conceitos estruturantes para a redução da PH na mineração, a partir das referências constatadas em revisão sistemática da literatura. São abordados os aspectos técnicos da mineração que foram considerados necessários para o entendimento do assunto pelo público leigo tanto no que se refere à produção de rejeitos, quanto à aplicabilidade prática das noções de sustentabilidade nesse ramo de atividades.

2.1. Recursos Hídricos

O recurso água é responsável por estar presente em diversas áreas, como industrial, agrícola e mineração. A essencialidade dos recursos hídricos gera preocupação para a humanidade. Nesse cenário, em 1997, instaurou-se no Brasil a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) a partir da criação da Lei Federal no 9.433/97, que dentre alguns pontos, destaca os principais instrumentos de gestão - instituição do Plano Nacional de Recursos Hídricos, a outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos e a criação do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, entre outras deliberações (BRASIL, 2022).

A partir de gerenciamento sustentável dos recursos hídricos, podem ser proporcionadas as seguintes vantagens - auxílio na prevenção de desastres naturais; garantia de abastecimento de água nos diversos setores de produção; redução do nível de doenças transmitidas pela água; favorecimento do desenvolvimento sustentável da região. Para Oliveira e Luz (2001) o recurso água é propriedade da União e dos Estados e a legislação exige grande empenho para sua implantação, envolvendo diversas áreas da sociedade

A mineração é um setor considerado como um grande consumidor de água. Uma forma de contaminação do meio ambiente frequentemente encontrada nas minas deriva da liberação de sulfetos, produzindo a drenagem ácida. Este fenômeno pode ocorrer através da ação do intemperismo e da oxidação causada pelo ar, pelo sol ou através de metabolização bacteriana de sulfetos, gerando ácido sulfúrico e, desta forma, é possível a dissolução dos metais que podem ser encontrados em minas. Pesquisas relacionadas à utilização de recursos hídricos para mineração geram relevância tendo em vista os diversos impactos ocasionados e, paralelamente, pesquisas sobre os diversos impactos inerentes à atividade promovem ações norteadoras sobre a perspectiva da sustentabilidade (OLIVEIRA; LUZ, 2001; NORTHEY *et al.*, 2016; XU *et al.*, 2018).

Para que se possa medir a utilização da água, foi desenvolvido um indicador, a Pegada Hídrica. A Pegada Hídrica avalia três principais aspectos, que são: uso da água azul, verde e cinza. A água azul é calculada a partir da utilização de água superficiais, subterrâneas e inclui também água proveniente da evaporação. A água verde é considerada água que precipita e é armazenada no solo e posteriormente evaporada ou transpirada (IBIDHI; SALEM, 2018). A água cinza pode ser definida como o total de água doce necessária para absorver os poluentes que são liberados em um determinado processo, utilizando como base concentrações de compostos de acordo com os padrões legais de qualidade da água (HOEKSTRA; BUURMAN; VAN GINKEL, 2018).



A medição tradicional de consumo de recursos hídricos precisa ser adaptada para mensuração do impacto ambiental negativo associado às plantas de mineração, visto que os mesmos foram concebidos originalmente para relacionar o impacto do consumo nas cadeias de abastecimento, das quais muitas vezes as minas estão distantes (FIGUEIREDO *et al.*, 2021). Devido a isto, os resultados dos cálculos de impacto das PH de minas podem eventualmente não refletir o que de fato ocorre nos ambientes e biotas impactados pela mineração e seus rejeitos. Tais cálculos de PH, na atualidade, estão sujeitos a incertezas inerentes aos processos de medição que, via de regra, seguem métodos ineficientes, orientados pela relação entre consumo e disponibilidade local de água. Tais dificuldades na mensuração dos impactos da mineração na água implicam a necessidade de integração entre diversas metodologias e ferramentas conceituais para identificar impactos negativos, prevenir e remediar a contaminação de águas pela mineração (NORTHEY *et al.*, 2016; DONG *et al.*, 2019; FIGUEIREDO *et al.*, 2021).

Atualmente, na maioria das minas, os resíduos sólidos se acumulam durante o ciclo de vida dos processos de extração, de forma que o gerenciamento dos rejeitos se torna um desafio para o setor, no que tange à redução da contaminação de águas superficiais e subterrâneas. A estratégia mais indicada para enfrentamento desta questão é a manutenção de altos níveis de governança socioambiental desde a concepção das plantas de mineração (KEFENI; MSAGATI; MAMBA, 2017; HEFNI *et al.*, 2021). A partir de tal entendimento, pode ser notado um avanço na busca por melhoria nos requisitos de responsabilidade e conscientização dos gestores e consumidores em relação ao consumo e destruição de recursos naturais, preservação da biota, mitigação e prevenção de desastres ambientais. Para tais efeitos, faz-se necessário o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias na gestão socioambiental da mineração, bem como a adoção de estratégias organizacionais associadas a políticas públicas e financiamento dirigido a melhor utilização dos recursos naturais, tendo em vista a progressiva redução da produtividade das minas, que tende a aumentar a quantidade de rejeitos, assim como a PH da atividade extrativista mineral (LANGFELD; BINDER, 2017; AZNAR-SÁNCHEZ *et al.*, 2018).

2.2. Processo da Mineração

Uma das principais dificuldades da mineração, em relação ao consumo de água, é a lixiviação de águas ácidas, também conhecida como drenagem ácida. A drenagem ácida é decorrente da formação de chorume que ocorre na oxidação de metais e do sulfato proveniente dos rejeitos das minas, sobretudo na extração de ouro e carvão mineral, e como consequência impacta o solo e a água. Tais fatores implicam que a reversão da drenagem ácida é muito onerosa, além de ocasionar impactos negativos no solo, água e comunidades aquáticas (KEFENI; MSAGATI; MAMBA, 2017).

Para prevenir a drenagem ácida é preciso evitar o contato de minerais de sulfeto com o ar, água e bactérias. O aterro de minas constitui uma alternativa para evitar a drenagem ácida e de reutilização dos rejeitos. Para a implantação de atividades extrativistas minerais faz-se necessário reduzir o acúmulo de elementos tóxicos no ambiente, mitigar os impactos ambientais

negativos e internalizar os custos decorrentes. Essa abordagem se consolida pela constatação de que em circunstâncias ambientais tais como as relatadas na mina de Murliden, na Suécia, assim como nas tragédias ocorridas no Brasil nas cidades Mariana e Brumadinho, a reversão dos impactos negativos da mineração é economicamente inviável, de modo que apenas a boa gestão, ou seja, a manutenção de altos níveis de governança socioambiental nas plantas de extração desde a fase de projetos detém o potencial de prevenir danos e manter a atividade de forma aceitável para a comunidade e para os investidores (GORAKHKI; BAREITHER, 2017; KEFENI; MSAGATI; MAMBA, 2017; DONG *et al.*, 2019).

A estimativa é de que a produção mundial de rejeitos minerais é de aproximadamente cinquenta bilhões de toneladas por ano. Nas minas de cobre, por exemplo, a taxa de descarte de minério processado varia entre 95 e 99% do volume extraído, produzindo contaminação do solo, água, falhas catastróficas nas instalações de armazenamento e até fatalidades humanas (CHRISTMANN, 2021; HEFNI *et al.*, 2021). O Relatório Anual de Lavra (RALao) da Agência Nacional de Mineração (ANM) destaca que no Brasil 3,4 bilhões de toneladas de rejeitos e 8,2 bilhões de toneladas de estéril foram geradas na mineração de ferro, ouro, cobre, fosfato, estanho, alumínio, níquel, carvão, manganês, zinco, cromo e vanádio no período de 2010 a 2019 (AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO, 2020).

Tendo em vista a necessidade do destino sustentável dos resíduos da mineração, o aproveitamento de rejeitos e estéril vem ganhando relevância. As estruturas utilizadas como depósitos de rejeitos podem ser consideradas inertes, quando não apresentam riscos ao ambiente, ou perigosas, quando apresentam efeitos negativos para o solo, águas, vegetação, fauna, ou mesmo populações humanas. Os riscos de toxicidade dos depósitos podem ser classificados como agudo, crônico, ou extrínseco, sendo associados às características químicas dos rejeitos, tais como inflamabilidade, reatividade, corrosividade, dentre outros. Parte dos rejeitos tem sido disposta em forma de barragens de mineração. O Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB) define estas obras de arte como “obstáculos artificiais com a capacidade de reter água, qualquer outro líquido, rejeitos, detritos, para fins de armazenamento ou controle” (AZNAR-SÁNCHEZ *et al.*, 2018; CBDB, 2022).

2.3. Acidentes ocorridos em mineradoras brasileiras

O Comitê Brasileiro de Barragens define as barragens como obstáculos artificiais com a capacidade de reter água, qualquer outro líquido, rejeitos, detritos, para fins de armazenamento ou controle. São consideradas como grandes barragens aquelas com mais de 15 metros de altura, ou com potencial para conter mais de 3 milhões de metros cúbicos em seu reservatório. O principal uso dessas obras é estocar água, embora também possam servir para outros destinos, tais como a retenção de chorume e rejeitos de mineração (CBDB, 2022).

Os acidentes com barragens de mineração estão entre os maiores desastres ambientais já vivenciados no Brasil. Foram constatados relatos de 166 barragens acidentadas no Brasil desde 1912, sendo o desastre de Brumadinho, ocorrido em 25 de janeiro de 2019, o que envolveu o maior número de fatalidades (270 vítimas) e de impactos ambientais, sociais e econômicos negativos. O desastre ocorrido obrigou a Agência Nacional de Mineração (ANM)



IV SUSTENTARE & VII WIPIS

WORKSHOP INTERNACIONAL

Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos

de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO
GRATUITO
TOTALMENTE
ONLINE

Realização:





Apoio:





a proibir a técnica de construção que utiliza alteamento a montante (quando a barragem é elevada no sentido contrário ao fluxo de água) na edificação de barragens de rejeitos. A decisão levou à paralisação de obras, desativação e descomissionamento das barragens existentes com esse formato (MELLO; SANDRONI; GUIDICINI, 2021). A Figura 1 ilustra o método de alteamento a montante, amplamente utilizado em barragens de mineração.

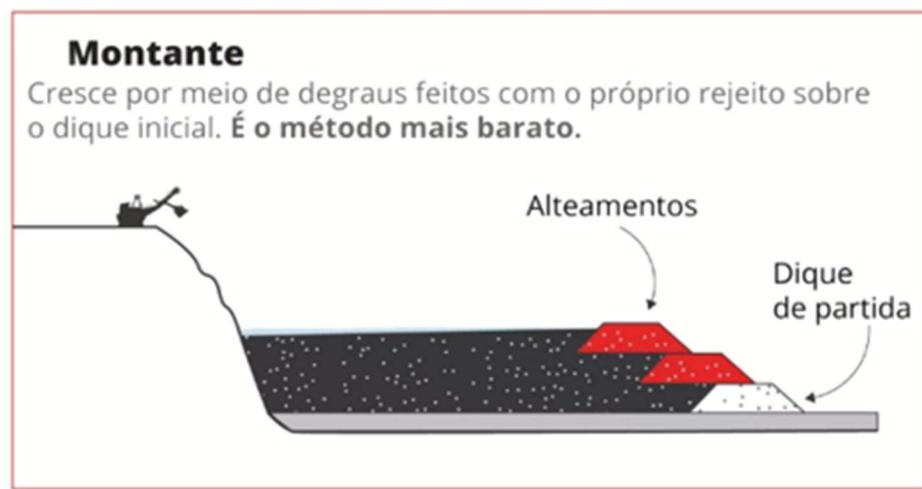


Figura 1. Alteamento e montante.
Fonte: Kael Gestão Comercial (2022).

No ano seguinte ao desastre de Brumadinho foi sancionada a Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020, que estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), alterou a Política Nacional de Recursos Hídricos, bem como Código de Mineração, além de gerar outras providências para regulamentar o uso de barragens no Brasil. Conforme a nova legislação, foram estabelecidas responsabilidades sobre a fiscalização das estruturas, a obrigatoriedade de participação das comunidades afetadas no planejamento e operação das mesmas, proibição do alteamento a montante, exigência da institucionalização de guias de boas práticas como política para o setor, ampliação das sanções e multas aplicáveis para valores próximos a um bilhão de reais, destinadas aos operadores de barragens de rejeitos em desconformidade, dentre outras providências de ordem política, normativa e fiscalizatória (MELLO; SANDRONI; GUIDICINI, 2021).

A nova PNSB é um marco importante no Brasil para a qualificação da atividade de mineração sob novos padrões de governança corporativa, uma vez que instrumentaliza o estado no que tange à fiscalização e obriga as organizações a assumirem novos patamares de compromisso ambiental e responsabilidade social, dentre os quais se destaca a necessidade de desenvolvimento e aplicação de técnicas alternativas para a disposição de rejeitos e para o controle da drenagem ácida, visto que o alteamento de barragens na mineração tem como principais motivações mitigar estes dois tipos de impactos negativos da atividade.

IV SUSTENTARE & VII WIPIS
WORKSHOP INTERNACIONAL
Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos
 de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE

Realização: SUSTENTARE FUD CAMPINAS

Apoio: Agência das Racias PCJ

Como a nova legislação brasileira não coíbe o alteamento a jusante (a elevação da barragem por reforço no sentido do fluxo de água), é provável que muitas das barragens em utilização sejam reformadas para serem adequadas a técnica de construção apresentada na Figura 2, de modo que o setor de mineração brasileiro tende a conviver ainda por muito tempo com a disposição de rejeitos em barragens e com todo o risco que isto implica.

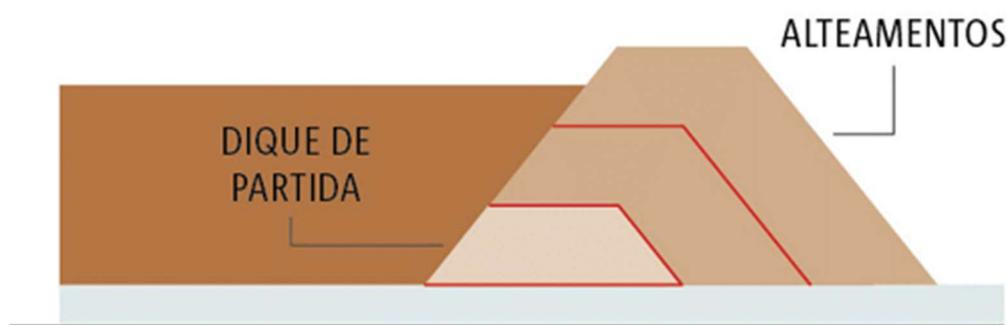


Figura 2. Alteamento a jusante.
Fonte: NEO IPSUN (2022).

A despeito da complacência da sociedade brasileira para com os impactos negativos da mineração, outras formas de regulação colocam o setor em alerta, como a fiscalização de entidades internacionais, tais como o órgão regulador do mercado de capitais dos Estados Unidos da América (EUA), que abriu processo à organização responsável pelo desastre de Brumadinho, acusando a empresa de enganar os governos locais, a sociedade como um todo e os investidores, ao atestar a segurança das barragens acidentadas por meio de certificação fraudulenta desde 2016. A empresa, que nega a responsabilidade, teria levantado mais de 1 bilhão de dólares na bolsa de valores dos EUA por meio de informações enganosas quanto aos padrões de governança adotados pela corporação, espalhando desta forma os prejuízos da irresponsabilidade social e ambiental para toda a economia daquele país. O caso é agravado pela recorrência deste tipo de acidente, visto que já havia sido devidamente documentado em 2015, na cidade de Mariana, onde se verificou o maior crime ambiental da história do Brasil até aquele momento, conforme o Observatório da Mineração (ANGELO, 2022). Embora a empresa defendesse publicamente altos níveis de segurança em suas operações, era conhecido internamente o *ranking* das barragens com probabilidade de ruptura acima dos níveis aceitáveis, conforme exposto na Tabela 1.

Tabela 1. Probabilidade de rompimento de barragens e danos reconhecidos.

Posição	Estrutura	Probabilidade	Consequência – Com Alerta (em R\$)	Modo de Falha
1	Capitão do Mato	1E-02	6.157.587.531,00	Galgamento
2	Taquaras	1E-03	1.186.703.672,00	Instabilização
3	B	1E-03	6.186.703.672,00	Galgamento

4	IV-A	5E-04	4.252.491.238,00	Galgamento
5	Forquilha II	4E-04	17.003.012.700,00	Liquefação
6	Laranjeiras	3E-04	25.538.241.393,00	Erosão Interna
7	Menezes II	3E-04	4.263.438.800,00	Erosão Interna
8	Brumadinho I	2E-04	6.500.769.418,00	Erosão Interna
9	Forquilha I	2E-04	17.003.012.700,00	Liquefação
10	Forquilha III	2E-04	8.382.487.911,00	Liquefação

Fonte: Elaboração própria adaptado de Angelo (2022).

O documento (Tabela 1) que expõe a análise de riscos de rompimento das barragens críticas sob responsabilidade da empresa foi divulgado pelo Ministério Público de Minas Gerais em 21 de janeiro de 2020 e teria sido confeccionado pela mineradora seis meses antes do acidente. Nessa análise de riscos, a barragem de Brumadinho (I) ocupa a oitava posição. A causa prevista para a tragédia seria “erosão interna” e o custo do rompimento foi subestimado em 6,5 bilhões de reais (DURÃO, 2020; ANGELO, 2022).

Os dados da Tabela 1 revelam a importância sobre o tema, em face do volume gerado de rejeitos e estéril e dos impactos potenciais, assim como dos recursos naturais que podem estar disponíveis nos rejeitos, se considerados como fontes secundárias de mineração, objetivando a ampliação do ciclo de vida das minas e a inserção das mesmas no fluxo de valor da economia circular, uma alternativa à noção de desenvolvimento sustentável, que pode ser aplicada à mineração.

As barragens estão entre os principais cenários de crimes ambientais no Brasil, como o ocorrido em Barcarena, estado do Pará, na comunidade de Bom Futuro em 2018, por exemplo. Este caso evidenciou uma série de impactos negativos diretos à saúde das pessoas que conviveram com as condições ambientais decorrentes do extravasamento de barragens de rejeitos minerais, dentre os quais se destacam dores abdominais e de cabeça, problemas de pele, vômitos, diarreia, assim como outros sintomas de contaminação ambiental (NASCIMENTO; SILVA, 2021).

Em Barcarena foi instalada uma planta para processamento de alumínio em 1985, com altos custos ambientais e mínima geração de empregos. A planta visa a apropriação dos enormes recursos naturais da região amazônica por grandes conglomerados industriais. A comunidade de Bom Futuro é composta por 450 famílias em condições de risco social e se encontra vitimada pela vizinhança com dois grandes poluidores, um lixão e a barragem de rejeitos da produção de alumínio, como ilustrado na Figura 3.



IV SUSTENTARE & VII WIPIS

WORKSHOP INTERNACIONAL

Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos

de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO
GRATUITO
TOTALMENTE
ONLINE

Realização:



SUSTENTARE
FLÓRIDA



WIPIS
2019-2021

Apoio:



Agência das Bacias PCJ



COMITÊS PCJ



Figura 3. Localização da comunidade Bom Futuro às proximidades da barragem de rejeitos.
Fonte: Nascimento e Silva (2021).

Nascimento e Silva (2021) registraram ao menos 24 desastres sociais, étnicos ou ambientais na área industrial de Barcarena desde o início do século XXI. No extravasamento de 2018 foram constatados como principais consequências ambientais imediatas a mortandade de peixes, o carregamento de efluentes de caulim e de alumina para os rios e igarapés na proximidade. Tais impactos alteram as composições das águas e do solo, inviabilizando muitas das atividades de subsistência das comunidades locais, tais como pesca e agricultura, além de produzir várias formas de doenças associadas à contaminação ambiental.

Em Barcarena, como é típico em muitas barragens de rejeitos da região norte do Brasil, os impactos ambientais negativos não são incidentais, como nas rupturas de barragens de Mariana e Brumadinho, mas sistêmicos, visto que o extravasamento de rejeitos é sazonal, se repetindo a cada novo período de chuvas na Amazônia. Em 17 de fevereiro de 2018, inicialmente, houve apenas uma suspeita de deposição de rejeitos da barragem nos rios e suprimento de água da região, que foi negada pela empresa responsável - Hydro Alunorte, bem como pela secretaria de meio ambiente local. Somente após a mobilização dos órgãos fiscalizadores e do Instituto Evandro Chagas pela comunidade é que foi reconhecido o crime ambiental. Naquela ocasião foram vitimadas ao menos 223 pessoas da comunidade Bom Futuro, que apresentaram sintomas constatados de contaminação (NASCIMENTO; SILVA, 2021).

O processo de contaminação por extravasamento em Barcarena se deu pela deposição de lama vermelha, constituída principalmente por soda cáustica e caracterizada por altos níveis de alcalinidade, o que a torna corrosiva e tóxica para os seres vivos. A empresa despeja no ambiente 6 milhões de toneladas deste tipo de rejeito por ano, que são potencialmente lixiviadas



para os córregos e rios locais no período das chuvas amazônicas. Além do extravasamento de resíduos tóxicos, a vizinhança com uma mineradora com o nível de responsabilidade social registrado em Barcarena pode oferecer também às comunidades locais os seguintes riscos: nuvem de fuligem (em 2003, 2006, 2010); floração de algas e contaminação de poços (em 2006); drenagem ácida (em 2007); vazamento de óleo combustível (em 2008, 2015) e possível deposição de poeira vermelha em 2017 (NASCIMENTO; SILVA, 2021).

3. Metodologia

Para atender ao propósito do estudo, o método caracteriza-se como exploratório, pois objetiva conhecer com profundidade determinado objeto de estudo (COLLIS; HUSSEY, 2014; GIL, 2017). Somado a isso, Severino (2017, p. 132) destaca que a pesquisa de caráter exploratório “busca levantar informações sobre um determinado objeto, delimitando assim um campo de trabalho, mapeando as condições de manifestação desse objeto”.

Os procedimentos técnicos se enquadram como bibliográfico e documental. Gil (2017) conceitua ambos os tipos, de modo que a pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de materiais como livros e artigos científicos, e a pesquisa documental tem como base os materiais que ainda não receberam processamento analítico para fins específicos.

4. Resultados e discussões

As mineradoras muitas vezes impactam a sustentabilidade ambiental, social e econômica e em termos dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A Figura 4 destaca os ODS relacionados à mineração quanto aos aspectos ambientais, sociais e econômicos.



Figura 4. ODS relacionados à mineração.

Fonte: Elaboração própria.

Quanto ao aspecto ambiental, as empresas de mineração costumam afetar o solo, a água, o clima, a flora e a fauna e as pessoas, pois demandam acesso à terra e à água, e muitas vezes apresentam impactos na paisagem (ODS 6 e 15). Ademais, as atividades nessas empresas requerem uso de energia (ODS 7) e comumente são responsáveis por emissões (ODS 13).

No tocante ao aspecto social, as mineradoras geram receitas significativas e por esse motivo têm condições de oferecer oportunidades de emprego à comunidade no entorno (ODS 1, 5 e 10). Somado a isso, as mineradoras podem contribuir para sociedades pacíficas, respeitando os direitos humanos (ODS 16).

Sobre o aspecto econômico, as mineradoras podem atuar no crescimento e desenvolvimento econômico da região em que está inserida, oferecendo empregos e desenvolvimento profissional (ODS 8 e 9), e trabalhar com tecnologias renováveis, reutilização e reciclagem (ODS 12).

Quanto ao uso da água, foco dessa pesquisa, as atividades de mineração comumente usam imenso volume de água. O atual cenário tem se tornado crítico quanto à disponibilidade da água, sobretudo em locais que se apresentam com escassez de recursos hídricos. De acordo com o PNUD (2016, p. 105) “A mineração pode afetar a qualidade da água e, mesmo com as melhores normas ambientais, o risco de vazamento persiste”. Os mesmos autores destacam a necessidade do acompanhamento e a divulgação da qualidade da água, próximo e a jusante da mina.

No sentido de melhorar a gestão da água das mineradoras, é importante que essas empresas envolvam as comunidades locais compartilhando informações sobre o consumo e uso da água. Adicionalmente, as empresas de mineração devem se engajar com os governos para contribuir e se alinhar com políticas que regem essa gestão.

O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 2016) destaca que em regiões com escassez de água, as empresas de mineração devem construir uma infraestrutura para levar água de outros lugares ou devem bombear água subterrânea, por meio de acordos de parceria com os governos e outros usuários de água.

No que concerne ao impacto direto da atividade de mineração sobre a água, Mechi e Sanches (2010) observam que a maioria absoluta das atividades deste setor implica supressão da cobertura vegetal da área lavrada, com impedimento de sua recuperação. Este fato altera diretamente tanto os cursos dos efluentes próximos, quanto a capacidade de recarga das reservas subterrâneas de água. A exposição do solo favorece a erosão que potencializa o assoreamento dos corpos d’água, prejudicando a qualidade da água que abastece os reservatórios locais. Efeitos recorrentes do assoreamento provocado por mineração são a elevação da turbidez, bem como a contaminação dos leitos dos rios por óleos e graxas oriundos do maquinário industrial, além da acidificação, ou calcinação da água, que ocorre por extravasamento de chorume das minas e de seus depósitos de rejeitos, podendo também atingir águas subterrâneas, contaminando poços e aquíferos, e como consequência reduzir a disponibilidade do recurso água para as atividades futuras das comunidades vizinhas.

Outrossim, podem ser observados ainda como impactos diretos da mineração nos recursos hídricos o rebaixamento dos lençóis freáticos, quando a água é utilizada como recurso para extração mineral, através do método de jateamento (desmonte hidráulico), ao passo que a lavra dos leitos dos rios tende a desestabilizar suas margens, com supressão das matas ciliares e alteração das cheias, potencializando enchentes e deslizamentos de terra. Conforme Mechi e Sanches (2010), certos resíduos tóxicos de minas, como chumbo e arsênio podem permanecer contaminando o ambiente décadas após a desativação das minas como ocorreu no Alto Vale do Ribeira.

Além dos riscos aventados anteriormente, são constatados também impactos psicossociais negativos, em decorrência de desastres ambientais causados por rupturas de barragens. Conforme Araújo; Costa e Gonçalves (2022), a análise integrativa dos casos de Mariana e Brumadinho evidenciam que o Brasil necessita de medidas para regulação e responsabilização das atividades de mineração e de suas consequências sociais e ambientais. Foram constatadas fragilidades na resolução dos crimes, bem como na mitigação dos danos causados por rupturas de barragens, os quais perpetuam uma atmosfera de impunidade e desamparo das comunidades vitimadas pela ingerência das grandes mineradoras.

Silva *et al.* (2022) relatam que os impactos ambientais decorrentes dos acidentes das mineradoras de Mariana e Brumadinho implicaram diretamente na alteração do metabolismo e funcionamento dos ecossistemas naturais, com prejuízos à biodiversidade. Somado a isso, houve riscos de intoxicação, prejuízos à saúde mental, agravos de doenças existentes, arboviroses e zoonoses.

De Benecedito *et al.* (2021) assinalam que o vazamento de rejeitos de bauxita da mineradora Hydro Alunorte em Barcarena, contaminaram os rios da região, dificultando o consumo de água pela comunidade, sendo que 13 comunidades foram afetadas. Nos mananciais foram encontrados elementos tóxicos, tais como alumínio, ferro, arsênio, cobre, mercúrio e chumbo. Para Freitas, Silva e Mendes (2016), além da ocorrência dos impactos ambientais, os desastres podem favorecer surtos de infecções; agravamento de doenças crônicas e da saúde mental; somado às doenças respiratórias decorrentes da toxicidade da lama.

No rompimento da barragem do Fundão, em Mariana, mais de 60 milhões de m³ de rejeitos foram despejados sem controle a jusante das plantas de mineração, causando impacto negativo irreversível na morfologia da bacia hídrica a jusante do crime ambiental. Os detritos lixiviaram para o Oceano Atlântico, impactando a vida marinha, além de permanecerem depositados no leito do Rio Doce, bem como em cachoeiras, confluências e corredeiras da região (FELIPPE; MENDES, 2022).

5. Considerações Finais

Com vistas à análise dos impactos causados pelas atividades de mineração envolvendo barragens de rejeitos nos recursos hídricos indica que a drenagem ácida e as rupturas de barragens são os principais impactos negativos da mineração nos recursos hídricos. Tais impactos implicam em espalhamento de lama e água contaminada para os córregos, rios próximos às minas, bem como perda da potabilidade dos reservatórios subterrâneos,

acarretando forte concorrência entre as mineradoras e as comunidades locais pelos recursos naturais do entorno dos empreendimentos. Outrossim, a drenagem ácida concorre com a biota local, reduzindo o pH das águas e até mesmo inviabilizando a vida de organismos aquáticos impactados tanto pelas rupturas de barragens, quanto pela drenagem ácida.

As comunidades vitimadas pelas dezenas de crimes ambientais associados à mineração têm apresentado casos de intoxicação por metais pesados e perda de acesso a recursos naturais necessários para sua sobrevivência, tais como peixes e solo agricultável, além de serem observadas sequelas mentais e, em casos extremos, perdas de vidas humanas. Vale mencionar ainda que o rompimento das barragens de mineração causa impactos significativos com consequências ambientais diretas e indiretas na agricultura familiar, perda da biodiversidade, poluição dos recursos hídricos e com prejuízos de ordem econômica e social dos mais variados.

Dessa forma, torna-se prudente fazer uso de práticas que minimizem os efeitos da Pegada Hídrica decorrentes das rupturas de barragens. Destaca-se a necessidade de reverter os cenários existentes com o estabelecimento de políticas públicas para o setor.

6. Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO, ANM. **Análise de Impacto Regulatório - AIR: aproveitamento de rejeitos e estéril**, n. 01. [s. l.]: ANM, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/regulacao/analise-do-impacto-regulatorio-air/air_aproveitamento-de-esteril-rejeitos_02-2.pdf. Acesso em: 23 jan. 2022.

ANGELO, M. Vale é processada nos EUA por mentir sobre a segurança de suas barragens antes de Brumadinho, 2022. **Observatório da Mineração**. Disponível em: <https://observatoriodamineracao.com.br/vale-e-processada-nos-eua-por-mentir-sobre-a-seguranca-de-suas-barragens-antes-de-brumadinho/>. Acesso em: 22 mai. 2022.

ARAÚJO, K. F. M.; COSTA, L. F.; GONÇALVES, A. L. Impactos psicossociais dos desastres da mineração em Mariana e Brumadinho: uma revisão integrativa. **Psicologia e Saúde em Debate**, p. 221–237, 2022. <https://doi.org/10.22289/2446-922X.V8N1A13>.

AZNAR-SÁNCHEZ, J.; GARCÍA-GÓMEZ, J.; VELASCO-MUÑOZ, J.; CARRETERO-GÓMEZ, A. Mining Waste and Its Sustainable Management: Advances in Worldwide Research. **Minerals**, v. 8, n. 7, p. 284, 2018. <https://doi.org/10.3390/min8070284>.

BRASIL. Plano Nacional de Recursos Hídricos. 16 mar. 2022. **Ministério do Desenvolvimento Regional**. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/plano-nacional-de-recursos-hidricos-1/plano-nacional-de-recursos-hidricos>. Acesso em: 12 jun. 2022.

CHRISTMANN, P. Mineral Resource Governance in the 21st Century and a sustainable European Union. **Mineral Economics**, v. 34, n. 2, p. 187–208, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13563-021-00265-4>.



COLLIS, J.; HUSSEY, R. **Business research: A practical guide for undergraduate and post-graduate students**. 4th ed. London/New York: Macmillan International Higher Education 2014.

CBDB. Comitê Brasileiro de Barragens, 2022. Disponível em: <http://cbdb.org.br/apresentacao-das-barragens>. Acesso em: 22 mai. 2022.

DE BENEDICTO, S. C.; BITTENCOURT, J. J.; SILVEIRA, L. L.; SILVA, L. H. V. Direito Ambiental, Sustentabilidade e empresas de mineração: gestão de risco e catástrofes ambientais. **Humanidades & Inovação**, v. 8, p. 318-332, 2021.

DI NOI, C.; CIROTH, A. Environmental and Social Pressures in Mining. Results from a Sustainability Hotspots Screening. **Resources**, v. 7, n. 4, p. 80, 2018. <https://doi.org/10.3390/resources7040080>.

DONG, L.; TONG, X.; LI, X.; ZHOU, J.; WANG, S.; LIU, Bing. Some developments and new insights of environmental problems and deep mining strategy for cleaner production in mines. **Journal of Cleaner Production**, v. 210, p. 1562–1578, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.291>.

DURÃO, M. Barragem que rompeu em Brumadinho não era a que mais preocupava Vale, 2020. **Terra**. Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/brasil/cidades/barragem-que-rompeu-em-brumadinho-nao-era-a-que-mais-preocupava-vale.b56280e23d190756dee63ac79a9342efrsupz610.html>. Acesso em: 22 mai. 2022.

FELIPPE, M. F.; MENDES, L. C. Para onde foi a lama da barragem de Fundão (Mariana, Minas Gerais)? A distribuição dos rejeitos ao longo dos vales fluviais afetados pelo desastre da Samarco/Vale/BHP, 2022. Disponível em: <https://zenodo.org/record/5883450>. Acesso em: 12 jun. 2022.

FIGUEIREDO, R. A. M.; SILVEIRA, A. B. M.; MELO, E. L. P.; COSTA, G. Q. G.; BRANDÃO, P. R. G.; AGUILAR, M. T. P.; HENRIQUES, A. B.; MAZZINGHY, D. B. Mechanical and chemical analysis of one-part geopolymers synthesised with iron ore tailings from Brazil. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 14, p. 2650–2657, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.153>.

FREITAS, C. M.; SILVA, M. A. da; MENEZES, F. C. de. O desastre na barragem de mineração da Samarco. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 68, n. 3, p. 25-30, 2016. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v68n3/v68n3a10.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2021.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GORAKHKI, M.; BAREITHER, C. Sustainable Reuse of Mine Tailings and Waste Rock as Water-Balance Covers. **Minerals**, v. 7, n. 7, p. 128, 2017. <https://doi.org/10.3390/min7070128>.

HEFNI, M.; AHMED, H. A. M.; OMAR, E. S.; ALI, M. A. The Potential Re-Use of Saudi Mine Tailings in Mine Backfill: A Path towards Sustainable Mining in Saudi Arabia. **Sustainability**, v. 13, n. 11, p. 6204, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13116204>.

HOEKSTRA, A. Y; BUURMAN, J.; VAN GINKEL, K. C. H. Urban water security: A review. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 5, p. 053002, 2018. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaba52>.

IBIDHI, R.; SALEM, B. Analysis of small ruminants-based farming systems and their interaction with freshwater resources in Tunisia: Interventions for improving water productivity. **Annales de l'INRAT**, Tunisia, ed. 91, p. 227–242, 2018.

KAEL GESTÃO COMERCIAL. arte-barragem-1.jpg (1700×800). 2022. **Kael**. Disponível em: <http://kael.com.br/wp-content/uploads/2019/02/arte-barragem-1.jpg>. Acesso em: 22 mai. 2022.

KEFENI, K. K.; MSAGATI, T. A. M.; MAMBA, B. B. Acid mine drainage: Prevention, treatment options, and resource recovery: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 151, p. 475–493, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.082>.

LANGFELD, O.; BINDER, A. Blue Mining – Today’s Mine Planning for Future Mines. **Geo-Resources Environment and Engineering**, v. 2, 2017. DOI 10.15273/gree.2017.02.001. Disponível em: <https://ojs.library.dal.ca/greebookseries/article/view/7077>. Acesso em: 22 jan. 2022.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 209–220, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142010000100016>.

MELLO, F. M. de; SANDRONI, S. S.; GUIDICINI, G. **Lições aprendidas com acidentes e incidentes em barragem e obras anexas no Brasil** (livro eletrônico). Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Barragens, 2021. Disponível em: <http://cbdb.org.br/acidentes-e-incidentes>. Acesso em: 22 mai. 2022.

NASCIMENTO, P. A. M. do; SILVA, H. P. Saúde ambiental e impactos da mineração em Barcarena, Pará, Brasil o caso da comunidade Bom Futuro: **Pesquisa em saúde & ambiente na Amazônia: perspectivas para sustentabilidade humana e ambiental na região**. 1. ed. [s. l.]: Editora Científica Digital, 2021. p. 96–115. DOI 10.37885/210504445. Disponível em: <http://www.editoracientifica.org/articles/code/210504445>. Acesso em: 29 mai. 2022.

NEO IPSUN. colapso-da-barragem-de-Brumadinho-barragem-a-jusante.png (687×249). **Neo Ipsun - Soluções em Engenharia**. Disponível em: <https://neoipsum.com.br/wp-content/uploads/2020/07/colapso-da-barragem-de-Brumadinho-barragem-a-jusante.png>. Acesso em: 12 jun. 2022.

IV SUSTENTARE & VII WIPIS
WORKSHOP INTERNACIONAL
Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos
 de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE

Realização: SUSTENTARE FUCAMP/UNIFESP

Apoio: Agência das Bacias PCJ, COMITÊS PCJ

NORTHEY, S. A.; MUDD, G. M.; SAARIVUORI, E.; WESSMAN-JÄÄSKELÄINEN, H.; HAQUE, N. Water footprinting and mining: Where are the limitations and opportunities? *Journal of Cleaner Production*, v. 135, p. 1098–1116, nov. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.024>.

OLIVEIRA, A. P. A. de; LUZ, A. B. da. **Recursos hídricos e tratamento de águas na mineração**. Rio de Janeiro, RJ: MCT, CETEM, 2001(Série Tecnologia ambiental, 24).

ONU. Organização das Nações Unidas. A Agenda 2030. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 08 jun. 2022.

PNUD. Programa das Nações Unidas. **Atlas: mapeando os objetivos de desenvolvimento sustentável na mineração**, 2016.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Cortez, 2017.

SILVA, F. L. da; CUNHA-SANTINO, M. B.; FUSHITA, A. T.; MININEL, V. A.; BIANCHINI JR, I. Relações entre saúde e ambiente: potenciais impactos decorrentes do rompimento de barragens de rejeitos – uma revisão da literatura nos casos de Mariana e Brumadinho, MG. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 59, p. 94-109, 2022. <https://DOI: 10.5380/dma.v59i0.74469>.

XU, Z.; LI, M.; ZIMMERMANN, N. E.; SHAO-PENG, L.; LI, H.; REN, H.; SUN, H.; HAN, X.; JIANG, Y.; JIANG, L. Plant functional diversity modulates global environmental change effects on grassland productivity. *Journal of Ecology*, ed. 106, p. 1941–1951, 2018. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12951>.