



ALTERNATIVAS PARA DISPOSIÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO FACE ÀS CATÁSTROFES COM BARRAGENS

ALTERNATIVES FOR MINING TAILINGS DISPOSAL IN THE FACE OF DAM CATASTROPHES

Ricardo Fabel Braga¹

José Claudio Junqueira Ribeiro²

RESUMO

A exploração mineral e o conseqüente aumento da demanda de produtos derivados da mineração apresentam elevada geração de resíduos, provenientes da extração mineral e do beneficiamento: estéril e rejeito respectivamente. A disposição final desses resíduos corresponde às questões de maior risco da atividade. Este artigo, face às catástrofes ocorridas, analisa as questões críticas relativas às barragens de rejeitos e as alternativas com base em pesquisas tecnológicas e experiências adquiridas, de forma mitigar os impactos socioambientais e riscos associados. A pesquisa utiliza o método hipotético-dedutivo, com delineamento qualitativo, exploratório e descritivo, através de estudos de casos e opiniões de especialistas afins.

PALAVRAS-CHAVE: Barragens de Rejeitos. Mineração. Resíduos Sólidos. Pilhas de Rejeitos. Impactos Ambientais.

ABSTRACT

Mineral exploration and the consequent increase in demand for products derived from mining present high waste generation, arising from mineral extraction and processing: tailings piles and tailings dams. The final disposal of these wastes corresponds to the most risk issues of the activity. This article, in view of the catastrophes that have occurred, analyzes the critical issues related to tailings dams and the alternatives based on technological research and acquired experience, in order to mitigate the socio-environmental impacts and associated risks. The research uses the hypothetical-deductive method, with qualitative, exploratory and descriptive design, through case studies and related experts 'opinions.

¹ Mestrando em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável pela Dom Helder Escola de Direito, Pós-Graduações em Administração Financeira e Desenvolvimento Gerencial, ambas pela Fundação Dom Cabral, Engenheiro Eletricista pela PUC-MG. E-mail: ricardo.fabel@hotmail.com; <http://lattes.cnpq.br/9244302404575197>; <https://orcid.org/0000-0001-9169-309>.

² Engenheiro Civil e Sanitarista pela Escola de Engenharia da UFMG. Mestre pela Escola Nacional de Saúde Pública da França (ENSP). Doutor em Saneamento, Meio Ambiente pela UFMG. Professor do Programa de mestrado e doutorado da Escola Superior de Direito Dom Helder Câmara. Email: jcjunqueira@yahoo.com





KEYWORDS: *Tailings Dams. Mining. Solid Waste. Tailings Piles. Environmental Impacts.*

INTRODUÇÃO

O segmento de Mineração tem grande importância na sociedade e vem crescendo sua demanda ao longo do tempo. O aumento da população mundial e conseqüentemente da demanda de produtos advindos desse mercado primário com diferentes commodities aumenta significativamente a geração de resíduos das atividades minerárias. Os produtos da mineração estão presentes em todos os segmentos, como na construção civil, medicina, automóveis, aviões, navios, telecomunicações, celulares. Ainda deve-se destacar que as próprias energias limpas no tocante à geração de gases de efeito estufa, dependem da mineração.

Por outro lado, a mineração possui significativo impacto no meio ambiente e social, o que leva a buscar alternativas de mitigar ou prevenir esses impactos. No que tange à questão dos resíduos sólidos, o ciclo de vida de um processo mineral possui na geração dos resíduos o maior problema, haja vista que esses resíduos sólidos são em grande volume sendo denominados estéreis provenientes do processo de extração e os rejeitos provenientes do beneficiamento mineral. A disposição e gestão desses resíduos necessita do envolvimento de todos os atores que participam do processo mineral, mineradoras, governo, órgãos ambientais, prestadores de serviço, comunidades no entorno e sociedade em geral.

Estudos tecnológicos introduziram a utilização de filtros à vácuo e pressão em grande quantidade, permitindo a disposição do rejeito em estado denominado insaturado. Desta forma, surge uma alternativa para evitar a utilização de barragens de contenção.

As recentes catástrofes ocorridas em Mariana em 2015 e Brumadinho em 2019, ambas no Estado de Minas Gerais, trouxeram a preocupação da sociedade com a disposição de rejeitos utilizando estruturas com grande volume de rejeitos. Nesse contexto, o efeito catastrófico dos desastres com barragens traz à tona a necessidade das partes envolvidas no processo de estudarem e implantarem medidas de alteração no sistema de gestão e disposição de resíduos de mineração o mais breve possível, atendendo a prerrogativas jurisprudenciais e mitigação dos riscos de novos desastres. As questões que se se propõe a verificar são as



alternativas de utilizar os rejeitos dispostos em pilhas ao invés de barragens e elucidar os aspectos de segurança e econômicos. Além das alternativas de empilhamento, verificar as demais opções de aproveitamento dos rejeitos. Como lidar com esses projetos desafiadores e se a legislação ambiental está preparada para se adequar a essas mudanças também são questões que a pesquisa visa analisar.

A hipótese que se propõe discutir e elucidar é que as novas alternativas de disposição de resíduos geram impactos ambientais e também apresentam riscos, apesar de reduzidos. Assim, necessitam seguir estritamente premissas e requisitos técnicos para o sucesso do ciclo de vida da mineração, envolvendo os pilares ambiental, social e econômico.

A pesquisa tem como objetivo geral discutir e elucidar as alternativas para gestão dos rejeitos de mineração, de forma a identificar as vantagens e desvantagens e o atendimento à legislação ambiental.

Em termos de objetivos específicos, o trabalho visa analisar os tipos de barragens e suas respectivas características. Nesse contexto identificar os riscos, métodos de controle e planos de mitigação para as alternativas, examinar a legislação vigente envolvendo relatórios tais como o Estudos de Impacto Ambiental – EIA, Relatório de Impacto Ambiental – RIMA e o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD. Casos concretos balizam a investigação avaliando o dimensionamento de pilhas, associando riscos, fator de segurança e probabilidade de falhas. Outrossim, avaliar o aproveitamento de rejeitos para outros usos como o caso da fabricação de tijolos e outros artefatos para construção civil.

Essa busca por soluções mitigadoras de riscos com acidentes de barragens é fundamentada pelo “catastrofismo emancipatório”, onde pode-se observar os denominados efeitos positivos dos males, nesse caso os danos ambientais causados pelos acidentes com barragens, que geraram uma reação da sociedade e do poder público para eliminar a utilização de barragens a montante e impulsionar a utilização de outras tecnologias já utilizadas em outros países.

A relevância do tema se apresenta, principalmente neste momento, pela busca de alternativas e soluções tecnológicas e inovadoras para substituir as barragens de mineração, haja vista a condição crítica e emergencial em que se encontram centenas de estruturas em operação ou mesmo paralisadas, em todo o país, principalmente no estado de Minas Gerais. Adicionalmente deve-se considerar a previsão do aumento da demanda por commodities nos



próximos anos, que conseqüentemente trará um incremento na implantação de novos projetos de exploração mineral e em efeito cascata, aumento de resíduos sólidos a serem dispostos.

Relativamente à abordagem do problema, esta pesquisa será qualitativa, através de amostras de estudos de casos de alternativas para disposição de rejeitos implantadas ou em implantação e de opiniões de especialistas. A pesquisa será exploratória e descritiva, uma vez que serão analisadas as particularidades e requisitos das medidas ou programas implementados para que sejam atingidos os objetivos das tecnologias utilizadas. O método será o hipotético-dedutivo, haja vista que será testada a hipótese dessas alternativas existentes apresentarem impactos ambientais e riscos associados reduzidos.

2. A MINERAÇÃO E A UTILIZAÇÃO DE BARRAGENS PARA DISPOSIÇÃO DE REJEITOS

A mineração é uma das atividades mais antigas da humanidade e se coloca na atualidade como importante atividade econômica e vital para a vida moderna. As commodities da indústria da mineração se destacam com relevância no mercado primário sendo matérias-primas essenciais para fabricação de equipamentos, uso na medicina, transportes em geral, construção civil, telecomunicações e inclusive como sustentação para as denominadas energias limpas. Sem a mineração é praticamente impossível pensar na vida moderna. Em contrapartida, os impactos ambientais e sociais são significantes. Dessa forma, a mineração precisa ser avaliada continuamente com foco na sustentabilidade. Para isso, necessita desenvolver soluções tecnológicas e inovadoras, com uma visão de mitigação de riscos ambientais, redução de carbono e foco em segurança operacional.

O aumento da população mundial e conseqüentemente da demanda por produtos gera o aumento na cadeia produtiva com a necessidade de exploração e beneficiamento de importantes commodities. A substituição, por exemplo, da matriz energética para as chamadas energias limpas (que não geram gases de efeito estufa) estão conectadas diretamente com importantes commodities da mineração, como o silício, o lítio, o níquel e o urânio. Commodities como o minério de ferro, cobre, bauxita e nióbio são representativas para a fabricação de diversos produtos. Entretanto, o aumento da demanda de produtos derivados das commodities da mineração além de promover impactos ao meio ambiente, impulsionam o crescimento da geração de resíduos sólidos.



No que tange aos tipos de resíduos sólidos provenientes da exploração mineral os mais significantes são os resíduos sólidos da fase de extração (estéril)³ e os da fase de beneficiamento mineral (rejeitos) que são resíduos finos e ultrafinos que sobram no processo. Uma planta de mineração produz outros resíduos típicos de processos industriais como efluentes das estações de tratamento, pneus, óleos e partes de equipamentos em geral que seguem os padrões de coletas da indústria. Relativamente a questão da disposição dos rejeitos da mineração o IBRAM (2016) explica:

Durante a maior parte da História, a extração de substâncias minerais se utilizou de técnicas e ferramentas rudimentares, o mesmo acontecendo nas etapas posteriores de tratamento e beneficiamento. A geração de rejeitos e os impactos decorrentes de sua disposição no meio ambiente eram consideradas desprezíveis, resultando daí descartes diretamente na natureza. Foi o que aconteceu no primórdio da mineração no Brasil, há cerca de 300 anos, sendo que o ouro e posteriormente o diamante, eram as principais tipologias minerais extraídas. No entanto, a chamada Revolução Industrial trouxe não só um acentuado aumento na demanda de insumos minerais, mas, também, com a introdução da força a vapor, houve um grande crescimento nas quantidades produzidas pelos processos de exploração e aproveitamento de substâncias minerais. Como consequência, a geração de rejeitos também cresceu muito e com isto surgiu a necessidade de removê-los das áreas de produção para outros locais, geralmente próximos a cursos d'água. E para que ali pudessem ser depositados e contidos, tornou-se necessária a construção de barramentos e diques de contenção. (IBRAM, 2016, p.11).

A partir da segunda metade do século XX, as indústrias impulsionadas pelos órgãos ambientais, começaram a utilizar metodologias de disposição de rejeitos utilizando estruturas de contenção.

Já na década de 1980, os aspectos ambientais se tornaram relevantes. A estabilidade física e econômica das barragens, considerando o potencial de dano ambiental e os mecanismos de transporte de contaminantes se tornou o foco principal. (IBRAM, 2016)

O desenvolvimento dos projetos minerários ao longo dos anos se baseou na implantação de barragens ou diques de contenção que fazem uso de solo natural ou construídos com os próprios rejeitos advindos do beneficiamento. As barragens de contenção de rejeitos são estruturas construídas ao longo do ciclo de vida do projeto, tendo sucessivos alteamentos implementados. Os métodos construtivos utilizados são denominados a montante,

³ Estéril é o nome dado ao material (solo e rochas) que é descartado diretamente da operação de lavra, sem passar pelas usinas de beneficiamento. Eles são removidos da superfície da mina ou do subsolo e empilhados em platôs. (GOMIDE, et al, 2018, p.106).



jusante ou linha de centro. Durante muitos anos, os custos de implantação (Capex)⁴ pesavam na decisão do método construtivo e conseqüentemente o método de alteamento a montante apresentava vantagens econômicas em relação ao método a jusante, deixando de lado os aspectos de segurança.

No método a montante a etapa inicial de execução consiste na construção de um dique de partida, normalmente de material, argiloso ou enrocamento compactado. A partir daí, durante o beneficiamento mineral o rejeito gerado é lançado a montante do dique constituindo a chamada praia de deposição que se tornará a fundação e será objeto de construção dos alteamentos em direção a montante da linha de simetria do dique, e assim sucessivamente até atingir a cota final prevista no projeto. (IBRAM,2016).

O IBRAM explica o método a jusante: “No método a jusante, a etapa inicial consiste na construção de um dique de partida, normalmente de solo ou enrocamento compactado, em que os alteamentos subsequentes são realizados para jusante do dique de partida. Este processo continua sucessivamente até que a cota final prevista em projeto seja atingida.”

Já o método de linha de centro que é menos utilizado, apresenta uma disposição intermediária entre os dois métodos citados anteriormente, apresentando algumas vantagens dos mesmos, ao mesmo tempo tentando minimizar desvantagens.

Os acidentes nas barragens de rejeitos e suas conseqüências para os recursos hídricos e à segurança da população do entorno das plantas de mineração caracterizam os principais riscos ambientais e sociais desse segmento. Esses riscos e os acidentes ocorridos com barragens de rejeito trazem à tona a necessidade de mudanças na forma de dispor rejeitos de mineração.

3. OS ACIDENTES COM BARRAGENS EM MINAS GERAIS E O CATASTROFISMO EMANCIPATÓRIO

Nos últimos 35 anos, tem ocorrido catástrofes com barragens de mineração no estado de Minas Gerais. Em 1986 ocorreu a ruptura da Barragem a montante da Mina de Fernandinho, em Itabirito/MG, na Região Central. Nesse acidente sete pessoas morreram. Em

⁴ Capex é a sigla da expressão inglesa Capital Expenditure (em português, despesas de capital ou investimento em bens de capital) e que designa o montante de dinheiro dispendido na aquisição (ou introdução de melhorias) de bens de capital de uma determinada empresa. (PMKB – Project Management Knowledge Base).



2001 a Barragem de Rejeitos da Mineração Rio Verde rompeu em São Sebastião das Águas Claras (Macacos), distrito de Nova Lima/MG. Esse acidente causou danos ambientais na região e a morte de 5 pessoas. Em 2007 em Miraf/MG, na Zona da Mata, uma barragem da Mineradora Rio Pomba Cataguases se rompe, atingindo bairros de Miraf e Muriaé em Minas Gerais. Mais de 4.000 moradores ficaram desalojados e, ao mesmo tempo, 1.200 casas foram atingidas, além de danos ambientais na região. Em 2014 a barragem da Mineração Herculano se rompeu em Itabirito/MG no dia 10 de setembro e soterrou três operários que realizavam a manutenção em um talude. No dia 5 de novembro 2015, 53 milhões de metros cúbicos de rejeito de minério de ferro foram liberados no meio ambiente após o rompimento da Barragem de Fundão de propriedade da Samarco (joint venture entre BHP e Vale) em Mariana/MG. Foram 19 mortes e 1500 desabrigados. Os rejeitos provenientes da barragem percorreram 700 km impactando grande parte da bacia do rio Doce até chegar ao Oceano Atlântico, no estado do Espírito Santo, com grandes proporções em danos à fauna, flora, recursos hídricos e consequentemente socioeconômicos. Após a comoção geral pela catástrofe de Fundão, no dia 25 de janeiro de 2019, ocorreu o rompimento das Barragens da mineradora Vale (BI, BIV e BIV-A) em Brumadinho/MG. Foram cerca de 12 milhões de metros cúbicos de rejeito de minério de ferro que percorreram de forma catastrófica 350 quilômetros de rios, deixando um rastro de 260 mortos e 10 desaparecidos.

Essas catástrofes, à medida que foram acontecendo vieram causando repercussões sociais e consequentes mudanças na legislação ambiental, despertando a atenção de todos os atores envolvidos, governo, mineradoras, comunidades o entorno da área minerada, sociedade em geral. Porém, somente após o acidente de Brumadinho em 2019, as barragens a montante foram proibidas de operar e tiveram prazo estabelecido para serem descaracterizadas.

Essa mudança comportamental da sociedade em função de catástrofes é conceituada por Beck:

[...] A teoria da metamorfose vai além da teoria da sociedade de risco mundial: ela não diz respeito aos efeitos colaterais negativos de bens, mas com os efeitos colaterais positivos de males, como o momento de metamorfose cosmopolítica desencadeado pela Segunda Guerra Mundial. Eles produzem horizontes normativos de bens comuns e substituem a perspectiva nacional por uma perspectiva cosmopolita. Isso é o que chamo de “catastrofismo emancipatório” – contudo, mais uma vez, trata-se de um pós-argumento, e não de apelo por catástrofes globais. (BECK, 2015, p.153)



Essa metamorfose em que o mundo vem passando trata as catástrofes como indutores para solução de problemas. No caso em tela das barragens de mineração, a divulgação das catástrofes pelos meios de comunicação em geral, permitiu uma necessidade de encontrar soluções viáveis tecnicamente para disposição dos resíduos. A questão a se verificar é se essas tecnologias que estão sendo implementadas, que estão substituindo as barragens e em alguns casos em fase ainda de implementação, atendem aos requisitos técnicos e se estão adequadas à legislação ambiental.

No que toca às ações após efeitos “colaterais negativos”, imediatamente após o acidente de Brumadinho, o governo de Minas Gerais, sancionou em 25 de fevereiro de 2019, ou seja, exatamente 01 (um) mês após o desastre a Lei nº 23.291/2019, que institui a política estadual de segurança de barragens. Essa lei seu artigo 13 estatui:

Art. 13 Fica vedada a concessão de licença ambiental para operação ou ampliação de barragens destinadas à acumulação ou à disposição final ou temporária de rejeitos ou resíduos industriais ou de mineração que utilizem o método de alteamento a montante.

§ 1º O empreendedor fica obrigado a promover a descaracterização das barragens inativas de contenção de rejeitos ou resíduos que utilizem ou que tenham utilizado o método de alteamento a montante, na forma do regulamento do órgão ambiental competente.

§ 2º O empreendedor responsável por barragem alteada pelo método a montante atualmente em operação promoverá, em até três anos contados da data de publicação desta lei, a migração para tecnologia alternativa de acumulação ou disposição de rejeitos e resíduos e a descaracterização da barragem, na forma do regulamento do órgão ambiental competente.

§ 3º Considera-se barragem descaracterizada, para fins do disposto neste artigo, aquela que não opera como estrutura de contenção de sedimentos ou rejeitos, não possuindo características de barragem, sendo destinada a outra finalidade.

§ 4º A reutilização, para fins industriais, dos sedimentos ou rejeitos decorrentes da descaracterização será objeto de licenciamento ambiental, observado o disposto no caput do art. 6º desta lei.

§ 5º O empreendedor a que se referem os §§ 1º e 2º enviará ao órgão ou à entidade ambiental competente, no prazo de noventa dias contados da data de publicação desta lei, cronograma contendo o planejamento de execução das obrigações previstas nos respectivos parágrafos (MINAS GERAIS, 2019).

No âmbito federal a lei 14.066/2020 teve a inclusão do artigo 2º, relativo ao processo de descaracterização de barragens a montante: “Art. 2º- A. Fica proibida a construção ou o alteamento de barragem de mineração pelo método a montante” (BRASIL, 2020).

O fato de estarem em curso projetos de descaracterização de todas as barragens a montante no Brasil, não resolve imediatamente a questão dos riscos com acidentes e danos ao

meio ambiente. O próprio processo de descomissionamento e descaracterização das barragens é complexo e necessita de atendimento a inúmeros requisitos e empresas capacitadas para as fases de projeto até a efetiva implementação. Outrossim as barragens a jusante que continuam operando também necessitam de atender aos requisitos ambientais com estudos e avaliações, visando a garantia das populações na rota da possível mancha de inundação, como o estudo que avalia os potenciais impactos da ruptura de uma barragem que recebe o nome de “Dam Break”⁵. No que tange às ações necessárias após Brumadinho, Oliveira, Costa trazem a contribuição:

Sem se adentrar nas questões concernentes ao seu processo legislativo e anteriores ao desastre de Brumadinho, a Lei Estadual nº 23.291, de 2019, teve sua conclusão realizada em curto tempo, e logo após o fato. Sob sua regência, os agentes socioeconômicos que se utilizam de barragens no setor de mineração passaram a ser submetidos a maior fiscalização, responsabilização e sancionamento administrativos, além do dever de observância de critérios técnicos mais rígidos de licenciamento ambiental, construção, manutenção, operacionalidade, descaracterização e até de regras impeditivas em relação à modalidade de barragens alteadas pelo método a montante (que deverão ser substituídas por meios tecnológicos alternativos de acumulação ou disposição de rejeitos e resíduos, acompanhadas de descaracterização das respectivas barragens ainda existentes). (OLIVEIRA, COSTA, 2020 p.263)

Com o crescimento da demanda de mineração diretamente proporcional ao crescimento do consumo mundial e da evolução tecnológica que está conectada diretamente com as commodities minerais, exsurge a incontestável necessidade de soluções para a disposição dos rejeitos e estéreis, além da mitigação de impactos advindos das barragens a jusante em operação.

4. SOLUÇÕES ALTERNATIVAS PARA A DISPOSIÇÃO DE REJEITOS

A Lei Federal 12.305 de 12 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelece os princípios, objetivos e instrumentos, além das diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os

⁵ Os estudos de “Dam Break” partem do princípio da ruptura de barragem, mapeamento da mancha de inundação, plano de ações emergenciais, quantificação de danos e riscos, classificação do dano potencial associado e requisito legal e responsabilidade social. (IGEOLÓGICO, 2021)



perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

Em seu artigo 13 estabelece a classificação dos resíduos sólidos e no inciso I “alínea k” relaciona quanto a origem dos resíduos, o tema: “k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios”. No inciso II, quanto a periculosidade: “a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica” (BRASIL, 2010).

No que tange ao Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos a redação do artigo 20 traz:

Art. 20. Estão sujeitos à elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos:
I - os geradores de resíduos sólidos previstos nas alíneas “e”, “f”, “g” e “k” do inciso I do art. 13;

.....
Parágrafo único. Observado o disposto no Capítulo IV deste Título, serão estabelecidas por regulamento exigências específicas relativas ao plano de gerenciamento de resíduos perigosos. (BRASIL, 2010).

Em seguida no artigo 21, apresenta o conteúdo mínimo do plano de gerenciamento de resíduos sólidos:

Art. 21. O plano de gerenciamento de resíduos sólidos tem o seguinte conteúdo mínimo:

- I - descrição do empreendimento ou atividade;
- II - diagnóstico dos resíduos sólidos gerados ou administrados, contendo a origem, o volume e a caracterização dos resíduos, incluindo os passivos ambientais a eles relacionados;
- III - observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa e, se houver, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos:
 - a) explicitação dos responsáveis por cada etapa do gerenciamento de resíduos sólidos;
 - b) definição dos procedimentos operacionais relativos às etapas do gerenciamento de resíduos sólidos sob responsabilidade do gerador;
- IV - identificação das soluções consorciadas ou compartilhadas com outros geradores;
- V - ações preventivas e corretivas a serem executadas em situações de gerenciamento incorreto ou acidentes;
- VI - metas e procedimentos relacionados à minimização da geração de resíduos sólidos e, observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, à reutilização e reciclagem;
- VII - se couber, ações relativas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, na forma do art. 31;
- VIII - medidas saneadoras dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos;
- IX - periodicidade de sua revisão, observado, se couber, o prazo de vigência da respectiva licença de operação a cargo dos órgãos do Sisnama. (BRASIL, 2010).

Para o licenciamento ambiental se exige o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), sendo de responsabilidade da mineradora sua elaboração. Nota-se que os requisitos são amplos e devem ser aplicados às alternativas para disposição dos rejeitos da mineração. Independente da solução escolhida como melhor alternativa do ponto de vista de mitigação de impactos ambientais, devem ser definidos requisitos como responsabilidades, procedimentos operacionais, metas, procedimentos e medidas saneadoras de passivos ambientais no âmbito do plano.

A atuação do Ministério Público de Minas Gerais vem exigindo das mineradoras novas obrigações e controles no que tange às estruturas de disposição de rejeitos. Pode-se citar a Lei estadual nº 23.291/2019 conhecida como “Mar de Lama Nunca Mais”. “Um dos destaques do Projeto de Lei (PL) Mar de Lama Nunca Mais é a exigência de que as empresas adotem tecnologias de ponta para a disposição de rejeitos, o que garantiria mais segurança aos empreendimentos. Entre as alternativas, estão à disposição a seco, a filtragem dos rejeitos arenosos e o espessamento dos lamosos.” (MPMG, 2021).

Essa lei prevê também uma caução ambiental, que obriga a mineradora a garantir os custos da descaracterização das barragens e dos eventuais danos ambientais e sociais. Esse PL começou a ser discutido após o desastre da barragem de fundão da Samarco, porém somente foi aprovado após a catástrofe de Brumadinho. O PL foi aprovado e conseqüentemente a lei foi sancionada em 22 de fevereiro de 2019.

No que tange ao excesso de geração de rejeitos da mineração, é imperioso analisar as soluções tecnológicas em estudo ou em implantação. O aproveitamento desses rejeitos oriundos do beneficiamento e a otimização da disposição são as tendências encontradas para evitar riscos de catástrofes provenientes da utilização de barragens, além dos demais impactos ambientais e sociais conhecidos.

Uma alternativa que vem sendo empregada é a utilização dos rejeitos da mineração para preenchimento de cavas exauridas de minas.

De acordo com o IBRAM (2016), “Trata-se de prática de lançamento da polpa de rejeitos nas cavas a céu aberto, com a finalidade de reduzir a disposição na barragem de rejeito existente e eliminar a implantação de nova barragem ou aumentar a vida útil da barragem existente. Esta prática traz vantagens ambientais para a barragem existente tais



como: maior capacidade do reservatório da barragem; não provoca saturação do dique; menores riscos a jusante; e melhores possibilidades de revegetação no fechamento da barragem.” (IBRAM,2016)

Outra alternativa é a utilização para agricultura. Essa hipótese pode ser considerada quando o rejeito proveniente do beneficiamento possui qualidade para aproveitamento agrícola:

O pó de calcário industrial passou a ser destinado como corretivo do pH de solos para atender as necessidades do mercado agrícola regional. Os resultados de tal iniciativa contribuem para as alternativas de redução de novas áreas ou ampliações de barragens ou lagoas de rejeitos gerados pelo processo de beneficiamento do minério e conseqüentemente os potenciais efeitos ambientais e sociais desencadeados por estas estruturas de deposição de rejeitos. Vale também ressaltar a técnica conhecida como rochagem, em que o pó de rocha é usado diretamente no solo como insumo agrícola alternativo. Este pó fornece nutrientes ao solo, como cálcio, fósforo, magnésio e, principalmente, potássio. Essas rochas também têm a função de condicionadoras do solo. Isto é, permitem que outros nutrientes e condições do solo sejam mais equilibrados e que os nutrientes sejam disponibilizados conforme a demanda da cultura (IBRAM, 2016, p.33).

Pesquisas vêm sendo realizadas para aproveitamento de rejeitos no segmento de rochas ornamentais, nas indústrias de cerâmica de vidro e na construção civil para fabricação de tijolos. Entretanto, as grandes alterações que vem ocorrendo nos projetos em operação que fazem uso de barragens nas metodologias a montante e a jusante, implica em alterações no processo de beneficiamento mineral para se adequar à utilização de pilhas de rejeito – PDR e Pilhas de Estéril - PDE.

A mineração vem passando por mudanças, onde os processos que antes eram desenvolvidos com foco na melhor alternativa econômica, passam a ter os aspectos ambientais e de segurança como balizadores na decisão. As decisões na fase inicial do projeto quando se analisa o estudo de viabilidade e o estudo conceitual são importantes e podem refletir em situações irreversíveis ao longo do projeto e em especial no tema relativo às estruturas de disposição de rejeitos. Assim, o planejamento é importante para a elaboração de um Plano de Disposição de Rejeitos, alinhado com o plano de produção da mineradora avaliando a situação de longo prazo do ciclo de vida. Desse modo, os requisitos para escolha da alternativa serão conhecidos. A avaliação deve estar amparada pelos pilares ambiental, social e econômico.

Para escolher a melhor alternativa, técnicas devem ser utilizadas para verificar a adequação às condições do local no tocante ao clima, topografia, geologia, geotecnia, e a capacidade de produção prevista. Considerando a característica peculiar da rigidez locacional, onde a extração de minérios deve ocorrer no local onde se situam as jazidas, é importante esgotar todas as possibilidades de alternativas locacionais, definir o melhor layout para a planta de beneficiamento e as demais instalações para avaliar os métodos de disposição de resíduos.

Jansen (1980), *apud* Sampaio e Fabel (2021), já destacava esse entendimento décadas atrás, da importância de se planejar uma estrutura de disposição de rejeitos:

A engenharia não conseguiu ainda desenvolver uma técnica que assegure total segurança às barragens. Talvez nunca consiga. Há variáveis, relacionadas ao projeto e fundações, ao material utilizado e à velocidade ou condições de enchimento, que, isolada ou conjuntamente, tornam a imunidade ao risco um desejo irrealizável. Não se quer dizer que não possam desenvolver projetos cuidadosos e controles efetivos sobre etapas de execução e carregamento que reduzam significativamente as possibilidades de ocorrência. (JANSEN 1980, *apud* SAMPAIO, FABEL, 2021, p.298)

Somente na última década após os eventos catastróficos de Mariana e Brumadinho é que, as preocupações com a gestão de resíduos de mineração atingiram o seu ápice e a busca por substituir as barragens por alternativas, além das verificações de segurança e aspectos ambientais envolvidos.

A participação de equipe multidisciplinar de especialistas nesses estudos de alternativas deve ser composta por engenheiros geotécnicos, engenheiros de minas, geólogos, hidrólogos, biólogos, cientistas sociais e economistas, com experiência relevante na avaliação de tecnologias, seleção de locais e projeto, construção e operação de instalações de rejeitos. Dependendo da situação da geografia e da população local, ainda poderá ser necessário a participação de arqueólogos e especialistas em relações com comunidades indígenas e quilombolas (IBRAM,2019).

Além da equipe multidisciplinar, para se escolher a alternativa viável deve-se avaliar vários fatores como o tipo de produto do processo industrial, características geotécnicas, volume de rejeitos, clima, necessidade de controle de água percolada, hidrologia, hidrogeologia atividade sísmica e topografia.



Uma alternativa é o Empilhamento Drenado, que conforme o IBRAM, 2016 “Em vez de utilizar uma estrutura impermeável de barramento, adota-se uma estrutura drenante, que não retém a água livre que sai dos poros dos rejeitos. O empilhamento drenado libera esta água por meio de um sistema de drenagem interna, de grande capacidade de vazão, ligada aos rejeitos do reservatório.” (IBRAM, 2016, p.22).

Esse método não é novo, sendo utilizado desde a década de 1980, mas conforme exposto as barragens dominavam o contexto pelas características econômicas. A Disposição de Rejeitos Finos com Secagem também chamado de “*dry stacking*”, (empilhamento a seco), é também um conhecido e já utilizado. Segundo o IBRAM, 2016, “Neste método o rejeito fino (em geral de granulometria passando na peneira 400) é adensado em espessadores até teores de sólidos elevados, acima de 50% e bombeado para um reservatório onde sua superfície é exposta à evaporação com o teor de sólidos crescendo até valores da ordem de 80%.” (IBRAM, 2016).

Leão, 2021 traz contribuições acerca das pilhas de rejeito filtrado:

Determinar a maneira mais econômica de obter um produto filtrado consistente com os requisitos geomecânicos dos rejeitos pode ser um desafio. Os fabricantes de filtros são fundamentais para o dimensionamento, mas algum teste piloto é essencial, pois todo produto de rejeitos exibirá seu próprio comportamento de filtragem exclusivo. É importante prever mudanças mineralógicas e de moagem que possam ocorrer ao longo da vida do projeto. A caracterização do comportamento mecânico do rejeito a ser disposto na pilha deve ser avaliada quanto a trabalhabilidade, deformabilidade, resistência e permeabilidade. Assim, é muito importante a construção de aterros experimentais, ou seja, verificar o grau de compactação, a espessura da camada, condições de umidade e o número de passadas dos equipamentos de compactação. As características de resistência, retenção de umidade e condutividade hidráulica dos rejeitos precisam ser estabelecidas para qualquer projeto, considerando a tecnologia. A relação de densidade e de umidade não saturada indicam a expectativa de densidade in situ, bem como a sensibilidade do grau de compactação disponível para qualquer conteúdo de umidade. O grau de saturação ideal de 60 a 80%. Os rejeitos filtrados podem ser colocados em um estado relativamente denso, podendo ser dispostos em encostas de vales e fundações pouco competentes. (LEÃO,2021)

A mineração vem passando por alterações necessárias que se amparam em evoluções tecnológicas. O ESG “*Environmental, Social and Governance*” incorpora questões ambientais, sociais e de governança como critérios na avaliação das empresas. Catástrofes com barragens ferem a reputação das mineradoras e a visão de sustentabilidade sai da teoria para a prática. Conforme Beck (2011), os riscos retornam como um efeito bumerangue na reputação das empresas.



Contido na globalização, e ainda assim claramente distinto dela, há um padrão de distribuição dos riscos no qual se encontra um material politicamente explosivo: cedo ou tarde, eles alcançam inclusive aqueles que os produziram ou que lucraram com eles. Em sua disseminação, os riscos apresentam socialmente um efeito bumerangue: nem os ricos e poderosos estão seguros diante deles. Os anteriormente “latentes efeitos colaterais” rebatem também sobre os centros de sua produção. Os atores da modernização acabam, inevitável e bastante concretamente, entrando na ciranda dos perigos que eles próprios desencadeiam e com quais lucram. (BECK, 2011, p.44).

No campo da descaracterização de barragens dos projetos ora em operação e estudos de viabilidade dos novos projetos vindouros, é relevante avaliar alternativas que tragam mais segurança às comunidades do entorno e do meio ambiente. A legislação ambiental e os órgãos governamentais necessitam se adaptar às novas tecnologias para que os processos de EIA, RIMA, PRAD e demais que compõem todo o ciclo de vida de um processo de exploração mineral seja realizado sem prejuízos e danos aos pilares ambiental e social.

É notório que qualquer solução trará benefícios e males. As soluções de empilhamento de resíduos (sejam rejeitos ou estéreis), precisam também de prevenção e mitigação como os efeitos na paisagem, poeira e riscos de carreamento de material. Nessa trilha Toledo; Ribeiro e Thomé (2016), destacam a importância da consolidação da prevenção como princípio do Direito Ambiental:

A conscientização gradativa de que não basta reparar, mas ao reverso, prevenir, foi responsável pela consolidação da prevenção ao longo dos últimos anos como um dos alicerces fundamentais do direito ambiental contemporâneo. Cumpre rememorar que o princípio da prevenção não é aplicado em qualquer situação de perigo de dano. Ele se apoia na certeza científica do impacto ambiental de determinada atividade. Ao se conhecer os impactos sobre o meio ambiente, impõe-se a adoção de todas as medidas preventivas hábeis a minimizar como eliminar os efeitos negativos de uma atividade sobre o ecossistema. (TOLEDO, RIBEIRO, THOMÉ, 2016, p. 67)

Fica evidente que as alternativas existentes devem ser analisadas com critério para minimizar os efeitos negativos impulsionar os efeitos positivos e eliminar os riscos de desastres com barragens de rejeito, fazendo com que a mineração seja um segmento mais seguro, essencial para a sociedade, e adequar, se necessário, a legislação ambiental para a utilização dessas alternativas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS





O aumento na geração dos resíduos de mineração devido à crescente demanda mundial e os recentes acidentes com as barragens de rejeitos têm despertado na sociedade, poder público e mineradoras a necessidade de buscar soluções viáveis nos pilares ambiental, social e econômico. As barragens eram a solução economicamente mais viável, porém o efeito catastrófico produziu a emancipação dessas metodologias de barragens para utilização de outras tecnologias, como os empilhamentos.

As alterações necessárias no processo de beneficiamento mineral para viabilizar empilhamento, são notadamente com o Capex mais elevado que os processos para disposição em barragens. Quanto à hipótese do risco de desastres, as soluções de empilhamento possuem riscos muito menores quando comparado com as barragens, haja vista que o material possui pouca umidade. Os rejeitos filtrados não são exatamente secos, mas insaturados, de modo que a nomenclatura inicial (empilhamento a seco) referente a eles não é tão correta. O material não seria carregado como nas rupturas de barragens, entretanto chuvas torrenciais poderiam carrear material para os cursos d'água gerando impactos ambientais. Deve-se ressaltar que os custos com transporte do material no processo aumentariam, pois, a solução de bombeamento de rejeitos com água através de tubulações de grande diâmetro (rejeitodutos), seria alterada para outros métodos como correias transportadoras ou caminhões.

Conforme exposto, apesar de maior investimento para as soluções em pilhas de estéril e rejeitos, pode-se concluir que o pilar econômico não pode caminhar sozinho. Deve ser analisado pelos aspectos de segurança operacional, impactos ao meio ambiente e social.

O comportamento mecânico do rejeito a ser disposto na pilha deve ser avaliado em relação a vários aspectos como trabalhabilidade, deformabilidade, resistência e permeabilidade. Assim, a participação de empresas capacitadas com profissionais com expertise e experiência nos temas é de fundamental importância. Durante a execução de projetos de pilhas é imprescindível a construção de aterros experimentais, ou seja, verificar se o grau de compactação, a espessura da camada, condições de umidade entre outras ações mitigadoras.

A valoração ambiental é ponto de grande discussão, haja vista que é difícil valorar a natureza. A compensação financeira por danos ambientais tem sido alvo de extensos debates, como recentemente a estipulação de valores vultuosos no acordo da mineradora Vale com o governo de Minas Gerais. Essa questão demonstra que a consideração do valor do meio

ambiente nas fases iniciais do projeto é um indutor para as mineradoras se preocuparem com o investimento na melhor solução técnica e na capacitação de profissionais, evitando desastres ambientais, perda de vidas e o “efeito bumerangue” na reputação da marca e em quantias muito maiores a serem desembolsadas do que a diferença nos investimentos nas soluções tecnológicas.

A redução dos riscos durante o ciclo de vida da exploração mineral, é de responsabilidade da mineradora. Para isso, o planejamento dos projetos desde a viabilidade com adoção de boas práticas de engenharia, identificação da melhor alternativa locacional e dos melhores métodos de disposição de resíduos, às vezes poderá implicar em um pequeno aumento dos investimentos de capital, mas que serão muito bem recuperados com a preservação do meio ambiente, das comunidades do entorno e da imagem institucional da empresa perante a sociedade e o mercado.

Cabe ainda ao ordenamento jurídico verificar a legislação para, se necessário adequá-la às exigências tecnológicas e de capacitação profissional, visando impulsionar a sustentabilidade desse imprescindível segmento para suportar as condições da vida moderna.

REFERÊNCIAS

ANM – **Agência Nacional de Mineração**. Disponível em <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/entidades-vinculadas/dnpm>. Acesso em 30.junho.2021

BECK, Ulrich. **A Metamorfose do Mundo: Novos Conceitos para uma Nova Realidade**. Rio de Janeiro: Zahar, 2018. Tradução de: The metamorphosis of the world.

BECK, Ulrich. **Sociedade de Risco: Rumo a uma outra Modernidade**. São Paulo. Editora 34. Tradução de Sebastião Nascimento, 2011

BRASIL. **Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 30.junho.2021

BRASIL. **Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020**. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14066.htm#:~:text=NR\)-,%E2%80%9CArt.,%C3%B3rg%C3%A3o%20fiscalizador%20as%20provid%C3%A2ncias%20adotadas](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14066.htm#:~:text=NR)-,%E2%80%9CArt.,%C3%B3rg%C3%A3o%20fiscalizador%20as%20provid%C3%A2ncias%20adotadas). Acesso em 10 dezembro de 2020



CARDOZO, Fernando Alves Cantini, PIMENTA, Matheus Montes, ZINGANO, André Cezar (2016) - **Métodos Construtivos de Barragens de Rejeitos de Mineração** – Uma Revisão. Disponível em <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/5367>. Acesso em 10 dezembro de 2020

GOMIDE, et al. **Dicionário crítico de mineração**. Caroline Siqueira Gomide...et al (Orgs). 1.ed.—Marabá, PA : iGuana, 2018. 261 p.

IBRAM. **Gestão de Barragens e Estruturas de Disposição de Rejeitos** – IBRAM, 2019. Disponível em http://portaldaminerao.com.br/wp-content/uploads/2019/09/web_manual-ibram.pdf. Acesso em 29.junho.2021

IBRAM - **Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração** - 2016. Disponível em <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006222.pdf>. Acesso em 09 dezembro de 2020

IGEOLÓGICO. **Você sabe o que é estudo de Dam Break?** Disponível em <http://igeologico.com.br/voce-sabe-o-que-e-estudo-de-dam-break/>. Acesso em 29.junho.2021

Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM). **Gestão para a sustentabilidade na mineração: 20 anos de história; organizadores, Cláudia Franco de Salles Dias, Rinaldo César Mancin, M^a Sulema M. de Budin Pioli**. 1.ed. - Brasília: IBRAM, 2013. 168 p

Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM). **Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração; organizador, Instituto Brasileiro de Mineração**. 1.ed. - Brasília: IBRAM, 2016. 128 p

Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM). Guia de Boas Práticas: **Gestão de Barragens e Estruturas de Disposição de Rejeitos; organizador, Instituto Brasileiro de Mineração**. 1.ed. - Brasília: IBRAM, 2019.144p.

JANSEN, Robert B. **Dams and Public Safety**. Washington, DC: United States Department of the interior, Water and Power Resources Service, 1980.

LEÃO, Marcio. Instituto Minere. **O mínimo que você precisa saber sobre projetos de pilhas de rejeito filtrado** Disponível em: <https://institutominere.com.br/blog/>. Acesso em 06 Julho.2021

MINAS GERAIS. **Lei nº 23291, de 25/02/2019**. Disponível em <https://leisestaduais.com.br/mg/lei-ordinaria-n-23291-2019-minas-gerais-institui-a-politica-estadual-de-seguranca-de-barragens>. Acesso em 10 de dezembro 2020

MPMG – Ministério Público do Estado de Minas Gerais. **Mar de Lama Nunca Mais é aprovado e segue para sanção pelo Governo do estado** Disponível em: <https://www.mpmg.mp.br/comunicacao/noticias/mar-de-lama-nunca-mais-e-aprovado-e-segue-para-sancao-pelo-governo-do-estado.htm>. Acesso em 30.junho.2021

OLIVEIRA, M. L.; COSTA, B. S. **O Instituto-garantia da caução ambiental e a competência legislativa concorrente na relação federativo-constitucional entre o estado**



de Minas Gerais e a União. Veredas do Direito, Belo Horizonte, v. 17, n. 39, p. 243-264, set./dez. 2020. Disponível em: <http://www.domhelder.edu.br/revista/index.php/veredas/article/view/1971>. Acesso em: 29. 06. 2021.

SAMPAIO, José Adércio Leite; FABEL; Luciana Machado Teixeira. **Responsabilidade social corporativa e direito dos desastres** / organizadores: José Adércio Leite Sampaio, Luciana Machado Teixeira Fabel. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2021.

THOMÉ, Romeu; RIBEIRO, Luiz Gustavo Gonçalves; **Descaracterização de Barragens de Rejeito e o Plano de Fechamento de Mina como Instrumentos de Mitigação de Riscos na Mineração**; Veredas do Direito, Belo Horizonte, v.16; n.35; p.63-85; Maio/Agosto de 2019

THOMÉ, Romeu; LAGO, Talita Martins Oliveira. **Barragens de Rejeitos da Mineração: O Princípio da Prevenção e a Implementação de Novas Alternativas.** Revista dos Tribunais On Line

TOLEDO, André de Paiva; RIBEIRO José Cláudio Junqueira; THOMÉ Romeu. **Acidentes com barragens de rejeitos da mineração e o princípio da prevenção:** Rio de Janeiro Lumen Juris, 2016.