

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ANDERSON JOSÉ DA SILVA FILHO
KAIO CÉSAR DE ARAUJO SILVA
LUCAS DE MORAIS SILVA**

MÉTODOS DE ARMAZENAMENTO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO

**VOLTA REDONDA
2019**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

MÉTODOS DE ARMAZENAMENTO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do UniFOA como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Alunos:

Anderson José da Silva Filho

Kaio César de Araujo Silva

Lucas de Moraes Silva

Orientador:

Prof. Me. Marcus Vinicius Faria de Araújo

Coorientador:

Prof. Me. Francisco Roberto Silva de Abreu

VOLTA REDONDA

2019



Fundação Oswaldo Aranha



FOLHA DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: **MÉTODOS DE ARMAZENAMENTO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO**

Elaborado por Anderson José da Silva Filho – Matrícula: 201510386, Kaio César de Araújo Silva – Matrícula: 201510420 e Lucas de Moraes Silva – Matrícula: 201510820 foi apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Civil.

Aprovado em 29 de Outubro de 2019

Banca Avaliadora:

Assinatura dos membros da Banca Examinadora:

.....
Professor Orientador

Prof. Me. Marcus Vinicius de Faria Araujo, UniFOA

.....
Professor Avaliador

Prof. Dr. André Fernão Martins de Andrade, IFRJ

.....
Professor Avaliador

Prof. Dr. Francisco Jacome Gurgel Junior, UniFOA

Dedicamos este trabalho a Deus, por ser essencial em nossas vidas, autor de nossas histórias, nosso guia. E as nossas famílias que nos apoiaram e estiveram conosco em todo instante.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos acima de tudo a Deus por tudo que Ele faz em nossas vidas. A oportunidade de ingressarmos neste curso e a todos que contribuíram de alguma forma para que esse sonho se realizasse. As nossas famílias, que estiveram sempre presentes, nos norteando e estimulando para o caminho da conquistas e crescimento pessoal. A todos os professores que tivemos essa caminhada e em especial ao nosso orientador e nosso coorientador, respectivamente, Prof. Mestre Marcus Vinícius Faria de Araújo e Prof. Mestre Francisco Roberto Silva de Abreu, que estiveram conosco durante todo o desenvolvimento deste trabalho. Enfim, a todos que direta ou indiretamente participaram desta fase de nossas vidas, o nosso muito obrigado!

RESUMO

O setor de extração mineral é responsável por cerca de 5% do Produto Interno Bruto – PIB brasileiro e por outro lado, tem se mostrado extremamente oneroso em termos socioambientais por conta da forma como preferencialmente são armazenados os seus rejeitos. Tragédias recentes ocorridas no estado de Minas Gerais, como as ocorridas em Brumadinho (2019) e Mariana (2015), além de possuírem rejeitos de uma mesma empresa e causarem a morte de muitas pessoas, possuem o mesmo método de armazenamento: o alteamento à montante. Não somente por tais acidentes, mas também pela maioria das publicações sobre técnicas de armazenamento de rejeitos, esse método é o que expõe o meio ambiente e a sociedade a maiores riscos; porém é o de menor custo de operação do ponto de vista privado. Com potencial tão elevado de provocar danos irreparáveis a terceiros, torna-se necessário se estudar alternativas para os rejeitos desse setor tão importante para o país. Por tal motivo o presente trabalho evidencia os três principais métodos de armazenamento de rejeitos de mineração, analisando seus respectivos custos e fragilidades, além de propor alternativa que estabelece como prioridade zero, a preservação da vida em detrimento de quaisquer outros critérios para concepção desse tipo de empreendimento.

Palavras-chave: Extração Mineral. Disposição de rejeitos. Danos ambientais. Prevenção de acidentes.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre as características das barragens de rejeitos.....	36
Tabela 2 - As vantagens e desvantagens dos métodos de rejeitos à montante, à jusante e linha de centro	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução de publicações sobre Métodos de Armazenamento de Rejeitos de Mineração no mundo.....	11
Figura 2 - Países que originaram publicações sobre Métodos de Armazenamento de Rejeitos de Mineração no mundo.....	12
Figura 3 - Etapas da pesquisa.....	13
Figura 4 - Impactos Ambientais oriundos das atividades de mineração.....	17
Figura 5 - Impactos Ambientais da mineração na água.....	18
Figura 6 - Brasil – Cadastro Nacional de Barragens de Mineração (Fev/2019).	25
Figura 7 - Brasil – Categoria de Risco (Fev/2019).	25
Figura 8 - Brasil – Dano Potencial Associado (Fev/2019).	26
Figura 9 - Brasil – Barragens Inseridas na PNSB (Fev/2019).	28
Figura 10 - Brasil - Método Construtivo PNSB (Fev/2019).....	31
Figura 11 - Brasil - Método de alteamento à montante (2016)	33
Figura 12 - Brasil - Método de alteamento à jusante (2016).....	34
Figura 13 - Brasil - Método de alteamento por linha de centro (2016)	35
Figura 14 - Comparação dos volumes para os três tipos de barragens: (a) Método à montante. (b) Método à jusante. (c) Método por linha de centro	39

LISTA DE SIGLAS

AGU	Advocacia-Geral da União
AIA	Avaliação dos Impactos Ambientais
ANM	Agência Nacional de Mineração
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DOI	Department of the Interior
EIA	Estudo dos Impactos Ambientais
EPA	Environmental Protection Agency
GML	General Mining Law
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
MG	Minas Gerais
MME	Ministério de Minas e Energia
NEPA	National Environmental Policy Act
NRCAN	Natural Resources Canadá
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
RAL	Relatório Anual de Lavra
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SEC	Securities and Commission
UF	União Federal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Delimitação da Problemática	10
1.2	Justificativa	11
1.3	Estratégias da pesquisa.....	12
1.4	Etapas e Estrutura da pesquisa	12
1.5	Objetivo geral.....	14
1.6	Objetivos Específicos.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Histórico da Mineração no Brasil	15
2.2	Avaliação de Impactos Ambientais de Mineradoras.....	16
2.3	Sustentabilidade de Atividades Potencialmente Poluidoras	19
2.4	Aspectos a legislação mundial aplicada	22
2.5	Política Nacional de Segurança das Barragens (PNSB).....	24
2.6	Acidentes e Incidentes	27
3	METODOLOGIA.....	29
4	MÉTODOS DE ARMAZENAMENTO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO	30
4.1	Análise dos métodos.....	31
4.2	Método de alteamento à montante.....	32
4.3	Método de alteamento à jusante.....	33
4.4	Método de alteamento por linha de centro	34
4.5	Comparativo entre os métodos de armazenamento	35
5	ANÁLISE E DISCUSSÕES	40
6	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

Segundo Chaves e Rodrigues (2016), a busca por um modelo de desenvolvimento capaz de trazer crescimento econômico para um país de maneira que o ambiente e a sociedade não sejam colocados em segundo plano, é um dos principais objetivos da nossa sociedade.

Apesar desse objetivo, é possível observar muitos casos em que o tripé da sustentabilidade (ambiental, social e econômico) é colocado de lado. Porém o impacto que isso traz e acarreta com o passar dos anos é visivelmente catastrófico para a vida (CARVALHO et al., 2015).

De Queiroz (2018) afirma que os pilares ambiental e social, que fazem parte do tripé da sustentabilidade, têm sido seguidas vezes ignorados e tal prática acaba revelando que muitas atividades somente visam lucro, provocando custos ambientais e na sociedade como um todo. O caso do rompimento da Barragem contendo rejeitos de mineração em Brumadinho/MG, ocorrido em 25/01/2019, pode ser enquadrado nesse caso, ou seja: uma unidade de negócio de mineração focada e amparada apenas no pilar econômico.

Cardozo (2016) ressalta que, além do método de armazenamento dos rejeitos da Mina Córrego do Feijão, existem outros métodos de armazenamento de rejeitos de mineração muito mais seguros, porém mais caros, que consideram aspectos sócio ambientais além de econômicos tanto na implantação como na operação e manutenção.

Assim sendo, torna-se necessário um olhar com maior profundidade a respeito desses métodos de modo a verificar suas respectivas práticas de construção, seus custos e benefícios e estabelecer indicador de sustentabilidade para cada um deles de modo a oferecer à sociedade maior transparência no entendimento dos verdadeiros riscos dessas técnicas de armazenamento de rejeitos (DUARTE, 2008).

1.1 Delimitação da Problemática

Diante dos acontecimentos que acarretaram danos incalculáveis ao município brasileiro de Brumadinho/MG, através de um método de armazenamento de rejeitos de mineração, a problemática do presente trabalho baseia-se na seguinte questão:

- Qual método de armazenamento de rejeitos de mineração, utilizados no Brasil, seria o melhor para o atendimento ao tripé de sustentabilidade?

1.2 Justificativa

O presente trabalho apresenta como justificativa a necessidade de estudar métodos de armazenamento de rejeitos de mineração utilizados no Brasil, a saber: alteamento à montante, alteamento à jusante e alteamento por linha de centro. Adicionalmente a relevância do presente trabalho reside no fato de que para avaliar a melhor alternativa é necessário se realizar uma análise mais aprofundada de cada método, além de identificar aquele que apresenta como elemento principal a questão da sustentabilidade, ou seja: que seja ecologicamente correto, que seja socialmente justo e economicamente viável.

Com vistas a avaliar previamente a importância do tema foi realizada uma análise bibliométrica geral, utilizando a base de dados Scopus. Nela foram encontrados 131 documentos que tratam do assunto “métodos de armazenamento de rejeitos de mineração”. O primeiro registro foi encontrado em 1969 e a pesquisa foi realizada considerando a data limite sendo dezembro/2018.

A figura 1 mostra a evolução das publicações sobre o tema, no mundo, no período citado acima.



Figura 1 - Evolução de publicações sobre Métodos de Armazenamento de Rejeitos de Mineração no mundo

Fonte: SCOPUS (2019)

A partir da figura 1 percebe-se ser crescente o interesse pelo tema, por parte da comunidade acadêmica e científica, tem o mesmo sido acentuado a partir de pelo menos os últimos 10 anos.

Vale observar que em pesquisa feita na mesma base de dados a respeito dos países que originaram tais documentos, o Brasil não aparece entre os dez que mais se interessaram e publicaram sobre o tema, conforme mostrado na figura 2.



Figura 2 - Países que originaram publicações sobre Métodos de Armazenamento de Rejeitos de Mineração no mundo.

Fonte: SCOPUS (2019)

1.3 Estratégias da pesquisa

O presente trabalho, quanto à natureza é classificado como sendo uma pesquisa aplicada, devido a oportunizar a ampliação de conhecimento na área de armazenamento de rejeitos de mineração. Quanto aos objetivos, trata-se de uma pesquisa exploratória que visa a compreensão mais profunda a respeito dos métodos de armazenamento de rejeitos e utilizando uma abordagem qualitativa, tomando por base os casos das barragens de Mariana (MG) e de Brumadinho (MG), as quais colapsaram provocando danos socioambientais e econômicos que ainda não foram internalizados (SEVERINO, 2017).

1.4 Etapas e Estrutura da pesquisa

A figura 3 mostra as etapas da pesquisa do presente trabalho.

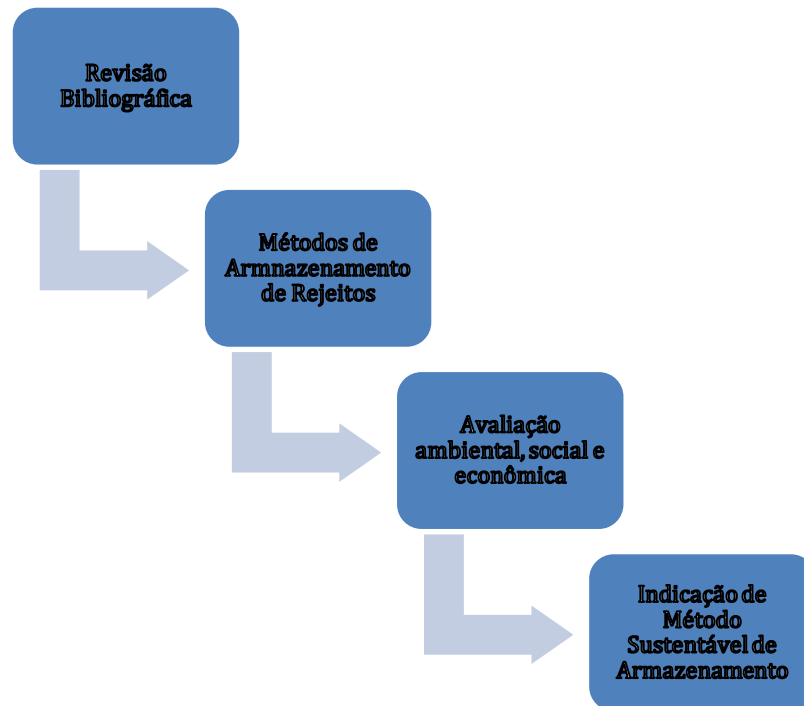


Figura 3 - Etapas da pesquisa.

Fonte: SCOPUS

Para o alcance do cumprimento das etapas planejadas, o presente trabalho está estruturado do seguinte modo: no Capítulo 1 tem-se uma introdução, estabelecendo a delimitação da problemática, a justificativa, as estratégias da pesquisa, objetivo geral e objetivos específicos. O Capítulo 2, mostra uma Revisão Bibliográfica, considerando itens como o histórico da mineração no Brasil, avaliação de impactos ambientais de mineradoras, sustentabilidade de atividades potencialmente poluidoras e aspectos de legislação mundial aplicada. No Capítulo 3 o presente trabalho evidencia a Metodologia empregada com a definição dos métodos de armazenamento a serem estudados e critérios utilizados na seleção da técnica de melhor sustentabilidade. No Capítulo 4 são apresentados os métodos de armazenamento de rejeitos de mineração selecionados bem como suas principais características, tanto construtivas, quanto os impactos causados a sociedade e ao meio ambiente, considerando itens como análise dos métodos, método de alteamento à montante, método de alteamento à jusante, método de alteamento por linha de centro e comparativo entre os métodos de armazenamento. No Capítulo 5 é realizada uma análise e discussões dos critérios adotados pelos autores a fim de possibilitar a escolha do método considerado ecologicamente correto, socialmente justo e

economicamente viável. No Capítulo 6 apresenta-se a conclusão do trabalho. Finalizando, as referências Bibliográficas utilizadas ao longo do mesmo.

1.5 Objetivo geral

Propor um método de armazenamento de rejeitos de mineração que possua segurança ambiental para a sociedade brasileira.

1.6 Objetivos Específicos

- Identificar e comparar os métodos de armazenamento de rejeitos de mineração mais utilizados no Brasil;
- Efetuar uma análise de acidentes e incidentes encontrados em barragem de rejeitos de mineração.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico da Mineração no Brasil

Diante da propagação da ocorrência das diferentes substâncias minerais encontradas na superfície do solo brasileiro nos primórdios da colonização, as massas retiradas eram sempre muito pequenas e empregavam-se mecanismos rudimentares na sua extração. No entanto, a carência de produtos de origem mineral era, naquela época, ainda muito insignificante (GERMANY, 2002).

Para Silva (1995), a situação foi modificada quando os grandes aluviões auríferos de Minas Gerais foram encontrados. Já no século XVII, no qual o pequeno conhecimento da arte da mineração era compensado pela riqueza do jazimento e facilidade de extração do metal, liberado e grosseiro. Ademais, escravos oriundos de regiões africanas frequentadas por árabes detinham o conhecimento em mineração, no qual foi aprendido com esses povos, sendo esta a primeira importação de tecnologia da mineração brasileira.

De acordo com Amorim (2016), até o início do século XVII, a produção de açúcar era a atividade mais predominante na colônia, no entanto, a partir de 1640 ocorreu uma grande concorrência por parte dos espanhóis que haviam sido expulsos e passaram nas Antilhas, obrigando a Coroa portuguesa a investir na investigação por ouro no Brasil.

Germany (2002) ressalta que os primeiros garimpos foram feitos em São Paulo, São Vicente, Vale da Ribeira, e os bandeirantes paulistas espalharam-se depois por Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso. O ouro e os diamantes dos aluviões eram extraídos de forma manual com pás, lançando-se em calhas, depois bateados, sendo que os rejeitos eram depositados manualmente em locais próximos.

Desta maneira, Guimarães e Morais (2018) ressaltam que a partir do final do século XVII a região central do Brasil tornou-se um forte cenário no processo de investigação mineral de ouro e diamantes, o qual recebeu a denominação de “Ciclo do Ouro”. No entanto, é disposto que por meio da utilização das técnicas desenvolvidas em função das condições ambientais, a atividade minerária ocasionou impactos no ambiente, que hoje podem ser identificados como vestígios arqueológicos.

A utilização de instrumentos precários e o processo de exploração ocasionava em uma grande degradação ambiental. Porém, diante da necessidade de expansão e intensidade da exploração, novas técnicas foram introduzidas, assim, os processos tornaram-se mais complexos e os impactos no ambiente mais profundos e variados (GUIMARÃES; MORAIS, 2018).

Os autores Guimarães e Moraes (2018) dispõe ainda que é inevitável o reconhecimento que no decorrer da história do Brasil, a atividade minerária e a degradação ambiental sempre estiveram em uma relação sistemática e permanente. Sendo a região de Minas Gerais atualmente identificada como Quadrilátero Ferrífero, a região que corrobora com a afirmativa, quando considerados os séculos XVIII, XIX e XX.

Em conformidade com Amorim (2016), diante da intensa exploração de ouro, no final do século XVIII as jazidas foram findando e entrou em declínio por dois elementos principais: as altas cargas tributárias por parte da Coroa sobre os mineradores e as dificuldades técnicas atreladas à falta de conhecimento específico para a extração de ouro em rochas profundas. Na qual durante o período colonial, as jazidas minerais eram de posse da Coroa portuguesa, já durante o império, passaram a pertencer a nação e em 1891 tornaram-se de propriedade dos donos das terras.

2.2 Avaliação de Impactos Ambientais de Mineradoras

A definição de Avaliação de Impacto Ambiental pode ser compreendida como uma sucessão de procedimentos legais, institucionais e técnico-científicos. Sendo esta uma ferramenta da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) estabelecida pela Lei n. 6.938 de 1981, o qual objetivou avaliar e identificar a viabilidade ambiental dos empreendimentos através de um exame sistemático dos impactos ambientais de atividade e de suas alternativas para reduzir ou precaver os prejuízos ocorridos (PEREIRA JUNIOR; LIMA, 2018).

Em consonância com Silva e Andrade (2017), estima-se que a atividade mineradora prevalece sendo uma das atividades antrópicas que mais trazem recursos a economia nacional. Tendo em vista o solo fértil e suas diversas preciosidades no quesito minério no Brasil, esta atividade apresenta um vasto crescimento durante os anos. Então, a exploração mineraria corrobora com o desenvolvimento brasileiro, apesar dos impactos negativos ocasionados pela retirada de bens não renováveis.

Os impactos negativos decorrentes da atividade mineradora podem ser diagnosticados desde a fase de planejamento, apesar de elevarem sua potência à medida que as etapas se modificam, no entanto, é imprescindível que esses impactos sejam reconhecidos na fase inicial de implementação para que seja praticável a minimização da dimensão desse impacto no futuro. Os impactos vêm desde a degradação da paisagem até efeitos danosos ao equilíbrio do ecossistema como redução ou destruição de habitat, morte de espécies de fauna e flora, chegando até a extinção (SILVA; ANDRADE, 2017).

De acordo com Bomfim (2017), a avaliação dos impactos decorrente da mineração é visto com importância para a gestão ambiental, tendo em vista que a prática de maneira incorreta pode ocasionar em severos danos ambientais no solo, rios e lençóis freáticos, além provocar interferência negativa à comunidade local, representando também preocupação de cunho social. Desta maneira, classifica-se que os principais impactos ambientais decorrentes deste setor são: no ar, água e solo, conforme figura 4:



Figura 4 - Impactos Ambientais oriundos das atividades de mineração

Fonte: BOMFIM (2017).

Segundo Durães (2017), a atividade de mineração provoca supressão da vegetação ou a restrição de sua regeneração, ocasionando principalmente a degradação do solo e a formação de processos erosivos, instabilidade de taludes e assoreamento dos corpos d'água. É ressaltado ainda que qualidade das águas dos rios e reservatórios pode ser prejudicada pelo carreamento de sedimentos oriundos das áreas de extração.

Assim, Silva e Andrade (2017) dispõem que a contaminação da água é um dos maiores problemas, pois são altas as taxas de metais pesados como arsênio, mercúrio e chumbo. Desta maneira, é necessário a apresentação de medidas para evitar riscos maiores, por parte de qualquer empreendimento que afete de maneira elevada ao meio ambiente ou a sociedade. Os impactos ocasionados à água, decorrente da mineração, podem ser observados na figura 5:



Figura 5 - Impactos Ambientais da mineração na água

Fonte: BOMFIM (2017).

Portanto, conforme a verificação da ocorrência de diversos problemas ambientais, compreende-se que todas as medidas mitigadoras do empreendimento devem estar licenciadas ambientalmente. O licenciamento ambiental é constituído pela Avaliação dos Impactos Ambientais (AIA), Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) que são exigidos pelos órgãos federais e estaduais competentes para a liberação definitiva do empreendimento para a operação (SILVA; ANDRADE, 2017).

De acordo com Bomfim (2017), o processo de AIA surgiu dos Estados Unidos e, então, diversos métodos foram sistematizados e sua expansão ocasionou na necessidade de cada país realizar adequações para seu uso. As linhas metodológicas mais utilizadas no Brasil são:

- AD HOC;
- CHECK-LIST;
- Matrizes de interações;
- Redes de interações;
- Modelos de simulação;
- Superposição de cartas.

O EIA é um documento de cunho técnico-científico, reconhecidamente de maior relevância no processo de AIA, sendo uma ferramenta importante para a tomada de decisão perante o procedimento administrativo de concessão das licenças ambientais, a qual se faz competência do órgão ambiental licenciador (OLIVEIRA, 2015). Para Sá (2017), o RIMA é parte integrante do EIA e seu produto. Sendo o EIA de caráter mais técnico e o RIMA de linguagem mais acessível.

2.3 Sustentabilidade de Atividades Potencialmente Poluidoras

Para Silva e Andrade (2017), diante dos diversos impactos ambientais oriundos das atividades potencialmente poluidoras, inicia-se a busca por alternativas para compensar a degradação causada. Deste modo, o desenvolvimento sustentável é uma das alternativas apresentadas, no qual além de atrair o comércio verde, que atualmente é essencial, a empresa tem como principal desafio integrar sociedade, meio ambiente e a economia em suas atividades.

No ramo da mineração, para que esta atividade se torne mais sustentável, é necessário que os rigores da Lei sejam atendidos. Então, ressalta-se a importância do planejamento prévio do uso do solo e da água que estão contemplados nos Estudos e Relatórios de Impactos Ambientais (BOMFIM, 2017).

O índice de sustentabilidade tem aumentado nos últimos anos, tendo em vista que no setor produtivo a incessante busca por eficiência no uso de recursos e a necessidade de elevar sua competitividade vem diversificando as estruturas corporativas das empresas, originando novas formas de relações com os atores envolvidos (IBRAM, 2013).

Diante disto, IBRAM (2013) ressalta que no Brasil, com a promulgação da Constituição Federal de 1988, foi acertada que a proteção e garantia do meio

ambiente ecologicamente estável como bem de uso de todos, e indispensável à qualidade de vida, sedimentou seu caráter difuso, da mesma forma que a atrelou à garantia de direitos sociais.

Assim, a Constituição brasileira previu a expansão do novo modelo de desenvolvimento, o desenvolvimento sustentável, objetivando como princípio básico a proteção ambiental, e principalmente, sua inclusão na ordem econômica (IBRAM, 2013).

São indispensáveis para o funcionamento das atividades econômicas de extração de minerais, garantias de que as mesmas não irão comprometer a integridade do meio ambiente, tanto para empreendimentos novos, como também para os que já se encontram em atividade. Podendo afirmar que são cada vez mais agudas as pressões pelas condições legais de uma *tríplice licença: título minerário, licença ambiental e licença social* (FERNANDES et al., 2007a).

Contudo, são poucos os estudos existentes aplicados a tema de questão social, principalmente no Brasil. Foi promovido pelo Banco Mundial em 2003 um grande trabalho incluindo sete estudos de caso acerca das Grandes Minas e das Comunidades na América Latina (Peru, Bolívia e Chile), incluindo ainda quatro estudos na Espanha e no Canadá (BANCO MUNDIAL, 2003).

Nos Estados Unidos, a relação entre o meio ambiente e mineração é compromisso direto com os Estados, podendo ser interferida pela União quando necessário. A Lei Nacional de Política Ambiental (**NEPA-National Environmental Policy Act**) assegura o cumprimento das leis ambientais, além de exigir que os órgãos federais analisem os impactos ambientais nas principais obras, inclusive na autorização de mineração em terras federais (FABIO, 2017).

Segundo Fabio (2017), o NEPA foi promulgado em 1970 e é a principal lei ambiental que se aplica a terras federais, gerenciada pela **Environmental Protection Agency** (EPA), e obriga que as agências analisem os projetos minerários e seus respectivos impactos ambientais. A declaração de impactos ambientais é emitida pela própria EPA dependendo dos danos, se os danos forem irrelevantes não é necessário emitir a declaração. Existem ainda outros estatutos como o **Clean Water, o Clean Air Act**, a Lei de Resposta Ambiental Integral e a Lei de Espécies Ameaçadas de Extinção, todas elas gerenciadas pela EPA. Embora exista uma grande diversidade

de leis, não existe ainda regulamentação voltada especificamente para o desenvolvimento sustentável e também para tratar os impactos ambientais provenientes da mineração nos Estados Unidos.

No Canadá, a prioridade do governo federal são os parques nacionais, terras e parques provinciais e reservas indígenas. Segundo o sistema federal do Canadá, os governos federal e provincial são responsáveis pelo compromisso com o meio ambiente. Logo, a necessidade de os níveis do governo trabalharem em colaboração é essencial. Em escala federal, o Departamento de Meio Ambiente é responsável pelas questões ambientais. Os municípios têm o importante papel de dar suporte à implementação da legislação ambiental canadense. Além disso, as organizações não-governamentais fazem o possível para que as pessoas possam se conscientizar sobre assuntos sobre meio ambiente e assim promover ações para a preservação do mesmo (FABIO, 2017).

São revisados por peritos designados pelo Ministro do Meio Ambiente todos os processos de AIA (Avaliação de Impacto Ambiental). Após serem analisados, o aval final fica na responsabilidade do Ministro. A participação pública é presente em todo processo, além de serem disponíveis documentos e comentários para casos de grande complexidade, ocorrendo desta forma audiências públicas para debate. Logo, diante de consequências ambientais negativas acarretadas por organizações exploratórias, os funcionários e diretores são individualmente responsáveis pelo dano, ao mesmo tempo que credores que negligenciaram a segurança e a administração não são responsáveis por falhas acometidas pelos mutuários (FABIO, 2017).

De acordo com Fabio (2017), na Austrália todas as avaliações ambientais são geridas pelas leis da **COMMONWEALTH**, além das leis estatais e territoriais, conforme a dimensão e importância do dano ambiental. A AIA é normalmente aberta para que possa haver consultas ou comentários públicos e a autorização é feita pelo Ministro do Meio Ambiente.

Os projetos de mineração que tem grande impacto ambiental, podendo assim causar danos a espécies ou áreas sensíveis são tratados especialmente pela **COMMONWEALTH**, que também podem confiar aos estados e territórios atribuições, porém isso é raro de acontecer. A dupla responsabilidade pode acarretar longos atrasos em alguns projetos. Desde 1994, de forma geral, todas as concessões minerárias devem obedecer ao código e suas normas, que visam de forma ampla

proporcionar um equilíbrio também para o meio social como empregos, garantia de proteção a áreas do patrimônio cultural, além de compensação financeira e benefícios para a comunidade (FABIO, 2017).

2.4 Aspectos a legislação mundial aplicada

De acordo com Martins (2017) as atividades de exploração mineral e lavra no país são regidas pelo disposto no Código de Mineração e seu Regulamento, juntamente com Portarias Ministeriais, Interministeriais e do DNPM, Instruções Normativas, Orientações Normativas e Comunicados do DNPM; assim como, Pareceres Jurídicos da AGU, MME e DNPM, e legislação correlata de outros ramos do Direito.

Projetos de lei e apensados de autoria do Executivo Nacional foram propostos com o passar dos anos, como é o caso do PL5807/2013, que revogaram o Código de 1967 e estabeleceram novas regras para o setor minerário. Em 2017, o Novo Código de Mineração Nacional foi estabelecido e tem como objetivo de atualizar a legislação sobre a mineração no Brasil (SANTOS, 2018).

Diante na estruturação do Novo Código de Mineração Nacional, a Folha de São Paulo (2018) dispõe que regras mais rígidas estão dispostas. É relatado ainda a obrigatoriedade de um plano de execução de fechamento de minas. No entanto, o Novo Código de Mineração objetiva ainda incentivar os financiamentos para o desenvolvimento minerário.

O Novo Código de Mineração Nacional dispõe que é de responsabilidade da mineradora a recuperação das áreas degradadas pela atividade, bem como colaborar com a redução de impactos ambientais. Portanto, o Novo Código visa minimizar práticas que degradam o meio ambiente, sendo estas decisões tomadas após graves acidentes ambientais ocorridos no Brasil, como o rompimento da barragem de rejeitos da mineradora Samarco no ano de 2015 (FOLHA DE SÃO PAULO, 2018).

Segundo Fabio (2017) a principal lei nos Estados Unidos é a GML/1872 (General Mining Law), ela gere todos os minerais que se encontram em solo americano. Esta lei dá ao cidadão, a possibilidade de explorar, encontrar e adquirir depósitos minerais, sendo estes metálicos e não metálicos, desta forma transformando terras federais em terras privadas. A **Securities and Commission**

(SEC) é a agência federal que institui as reservas e recursos minerais e na maioria das vezes não aceita códigos internacionais oriundos de outros países que produzem minerais. Dentro desta mesma, existe ainda o **Department of the Interior** (DOI) onde são encontradas diversas subsecretarias voltadas à regulação, gestão e pesquisa dos recursos naturais, entre estes, os minerais. Destacam-se entre muitos os Escritórios de Gestão de Terras, Gerenciamento de Receita de Recursos Naturais, os de Segurança, os de Mineração de Superfície e Execução Ambiental, que são associados aos órgãos estaduais que também atuam no controle e regulamentação dos recursos minerais.

No Canadá os responsáveis pela gestão geral dos minerais são os órgãos do governo. Já a Natural **Resources** Canadá (NRCAN) representa a esfera federal, incumbida pela regulação trabalhista, política de minério no país e de tratados de sustentabilidade na área de mineração do país. O NRCAN tem como propósito de promover o avanço econômico e geração de empregos, possibilitar o desenvolvimento sustentável e consolidar a autonomia das províncias nas questões do setor de mineração. A política de extração de urânio, tributação referente aos royalties, reconhecimento no norte do país, exploração de água e o controle das comunidades nativas é estabelecida pelo governo federal (NRCAN, 2014).

A Austrália é separada em sete estados (Tasmânia, Queensland, Western Australia, Northern Territory, South Australia, New South Wales e Victoria), que são os responsáveis pela licença de exploração mineral. Estes estados destinam e recebem os royalties gerados através da exploração de jazidas. Muitos municípios afiliados aos estados são responsabilizados pelos conselhos ambientais, contendo representantes da sociedade civil, contudo poucos são os investimentos. Cada estado possui seu próprio ministério de mineração, eles são responsáveis pela regulamentação no âmbito de seus territórios, planejamento e não enviam adequadamente os recursos aos municípios, impedindo-os de terem a possibilidade de desenvolvimento no campo da economia e no setor de planejamento urbano. Nessa situação essas cidades contam apenas com investimentos de mineradoras locais (PFITZNER, 2014).

2.5 Política Nacional de Segurança das Barragens (PNSB)

Segundo a ANM (2019), em alguns casos, em função da importância para a segurança pública (seja pelo dever de proteção ao meio ambiente, ou pelo risco de danos as pessoas), algumas barragens possuem uma atenção especial do governo federal. Nesse seguimento, foi criada a Política Nacional de Segurança das Barragens -PNSB, pela Lei Federal nº 12.334 de 20/09/2010, ela estabelece que as entidades da Administração Pública têm a obrigação de fiscalizar, no ofício de suas competências e conforme cada estrutura e suas atividades, as barragens que apresentarem pelo menos uma das seguintes propriedades:

- a) Que apresentem altura do maciço, sendo contada de seu ponto mais baixo da fundação até a crista, maior ou igual a 15m (quinze metros);
- b) Que apresentem uma capacidade total do reservatório superior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos);
- c) Que apresentem resíduos perigosos em seu reservatório;
- d) Que apresentem dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas.

Portanto, a estrutura que atender ao menos um dos critérios citados acima estará inserida na PNSB, fazendo com que seu operador receba uma série de deveres legais, tal como sujeitando-se à fiscalização do Governo Federal através de suas entidades. Desta maneira pode-se observar no gráfico abaixo o cadastro das barragens em território nacional (figura 6):



Figura 6 - Brasil – Cadastro Nacional de Barragens de Mineração (Fev/2019).

Fonte: Agência Nacional de Mineração.

Baseado em critérios gerais definidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), as barragens deverão ser classificadas pelos agentes fiscalizadores por categoria de risco e dano potencial associado. A classificação por categoria de risco será feita conforme o estado de conservação do empreendimento, as características técnicas e do plano de segurança da barragem (CNRH Resolução N° 143,10 de julho 2012).

Podemos observar no gráfico abaixo classificação de categoria de risco das barragens atualmente cadastradas na ANM. (Figura 7):

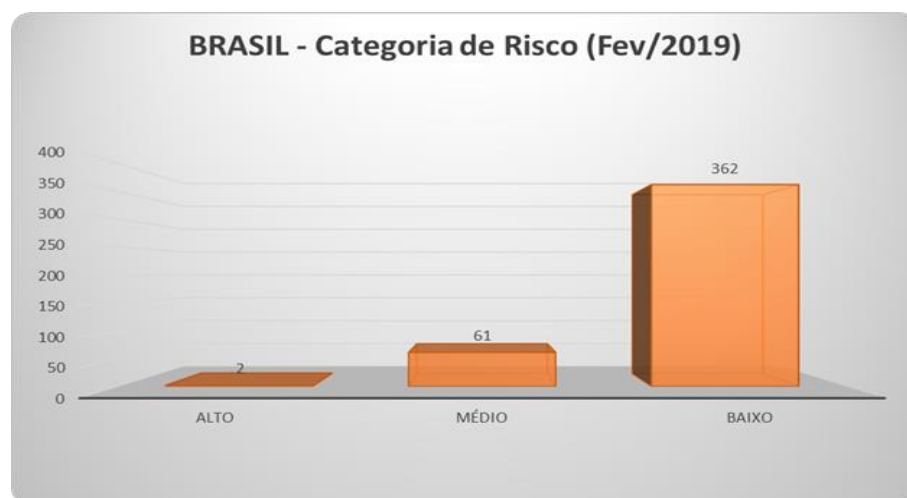


Figura 7 - Brasil – Categoria de Risco (Fev/2019).

Fonte: Agência Nacional de Mineração.

Ainda de acordo com a ANM, a classificação por categoria de dano potencial relacionado a barragem irá considerar os impactos ambientais, sociais e econômicos, além do potencial de perdas de vida humanas decorrentes da ruptura da barragem.

Podemos então observar no gráfico seguinte (figura 8) o dano potencial associado das barragens em território brasileiro cadastradas na ANM:

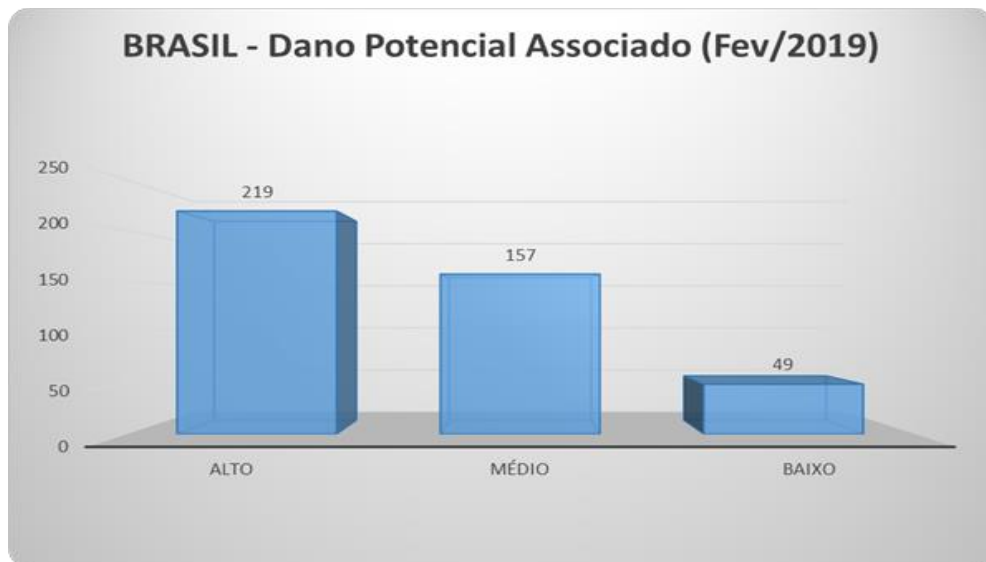


Figura 8 - Brasil – Dano Potencial Associado (Fev/2019).

Fonte: Agência Nacional de Mineração.

As barragens de rejeitos de mineração são fiscalizadas pela Agência Nacional de Mineração – ANM recém-criada. A ANM é hoje o órgão regulador instalado em 05/12/2019, para a substituição do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, que foi o gestor do patrimônio mineral do Brasil desde 1934.

A Agência Nacional de Mineração é atualmente responsável por fiscalizar todos os empreendimentos de pesquisa e lavra para o aproveitamento mineral do Brasil, englobando as barragens de rejeitos manuseadas por cada mineradora.

Qualquer barragem de mineração sujeita à PNSB é obrigada a ter um Plano de Segurança – PSB adequado. O Plano de Segurança integra o principal instrumento da Política Nacional de Segurança das Barragens, sendo o dispositivo pelo qual a ANM faz suas atividades fiscalizatórias em cada barragem.

Baseada em cada Plano, a ANM definirá a frequência das revisões de segurança e inspeções a serem executadas pelo próprio empreendedor, visto que,

segundo a Lei nº 12.334/2010, é responsabilidade de cada empreendedor a segurança de sua barragem. O resultado de cada revisão e inspeção deverá mais tarde ser comunicado à ANM, esse processo é realizado através do Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens – SIGBM.

As barragens de mineração devem viabilizar a contenção dos rejeitos provenientes do beneficiamento mineral, tal como a água e sedimentos descartados ou de reuso. A estrutura dessas barragens geralmente é formada por um ou mais diques com taludes de montante e jusante, berma de segurança, crista e outras estruturas.

2.6 Acidentes e Incidentes

Segundo Vieira (2005), acidente é uma anomalia de grande escala que corresponde à ruptura total ou parcial de uma obra e/ou sua total disfuncionalidade, com consequências graves a economia e a sociedade. Incidente vem a ser um evento físico não desejável, de porte pequeno, que atrapalha a funcionalidade da obra, podendo vir a apresentar eventuais acidentes, mesmo que muito pequenos, se não forem corrigidos a tempo.

Para Ávila (2012), os incidentes são mais comuns, onde não há ruptura, mas acontece o vazamento de sólidos para a jusante efeitos variáveis. Existem ainda muitos incidentes onde, infelizmente, não são comunicados, pois os proprietários não os tornam público, eliminando a chance de aprendizado com suas causas.

O Brasil não é o único país que passa por essa situação, outros países já diagnosticaram as mesmas deficiências das mineradoras, onde falham em sua responsabilidade de assumir procedimentos gerais de segurança, para poder reduzir riscos (MELO; PIASSENTIN, 2011).

O registro do primeiro acidente no Brasil foi em 1986, na barragem Fernandinho, em Rio Acima, Minas Gerais, deixando 7 mortos. Infelizmente continuaram a ocorrer acidentes, sendo eles: Cataguases, 2003, vazamento de lixívia negra; Barragem de Rio Verde, situada no distrito de Nova Lima – MG, ocorreu em 2001, resíduos de mineração e lama cobriram dois quilômetros de uma estrada, gerando o assoreamento, destruição da mata ciliar, degradação de recursos hídricos e cinco mortes; Mirai, 2006 e 2007, com vazamento de rejeitos de bauxita, ambos

geraram a interrupção do fornecimento de água; Barragem Herculano, 2014, deixando 3 mortos, dentre outras (ÁVILA, 2016).

Apesar da grande parte das barragens e acidentes se concentrarem em Minas Gerais, o estado de São Paulo aparece com 23 barragens de rejeitos e já relata acidentes com proporções menores, como o que houve em Jacareí, onde foi lançado os rejeitos no rio Paraíba do Sul. A figura 9 abaixo, apresenta as barragens inseridas na PNSB, divididas por estado.

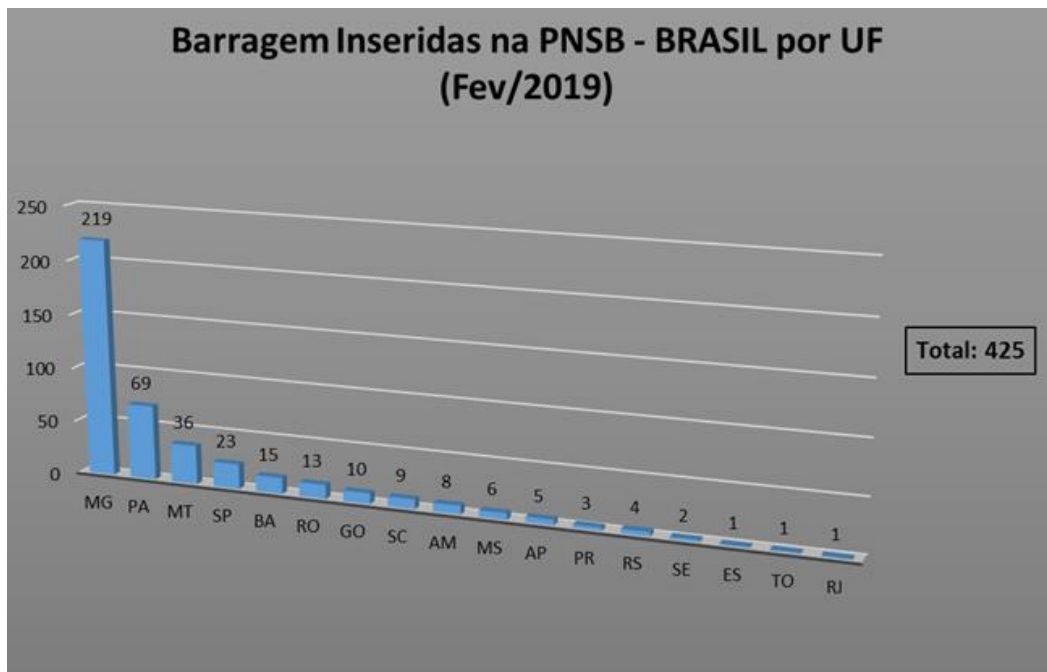


Figura 9 - Brasil – Barragens Inseridas na PNSB (Fev/2019).

Fonte: Agência Nacional de Mineração.

3 METODOLOGIA

Este trabalho fez o uso da natureza básica da metodologia através de um estudo já realizado. Foi efetuado um aprofundamento, buscando melhorar o entendimento sobre os métodos de armazenamento de rejeitos de mineração.

Esse estudo pode ser definido como uma pesquisa descritiva, porque tem como finalidade descrever os principais métodos de armazenamento de rejeitos de mineração e definir qual o método que melhor se encaixa no tripé de sustentabilidade.

Aborda-se a presente pesquisa através da coleta de dados e conceitos relacionados ao tema, pesquisa bibliográfica em livros, artigos e sites eletrônicos especializados, como peças acadêmicas e monográficas, que estejam direcionadas para os métodos de armazenamento de rejeitos de mineração.

4 MÉTODOS DE ARMAZENAMENTO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO

A mineração é a união de atividades fundamentais para retirada econômica de bens minerais na crosta terrestre, causando mudanças no meio ambiente, por meio de atividades de lavra e processo. Lavra é o agrupamento de atividades coordenadas onde delas são extraídos um bem mineral, tendo como objetivo um aproveitamento industrial ou seu uso direto. Os processos de mineração englobam as separações físicas e químicas para poder se obter a substância mineral de interesse (ESPÓSITO, 2000).

No processo são gerados também os rejeitos, que até então são considerados, de valor de mercado baixo e por conta disso são descartados da unidade de beneficiamento. Rejeito é definido como, resíduo proveniente do processo de beneficiamento, que os minérios são submetidos, buscando extrair os elementos de valor econômico. Esses processos têm como objetivos estabelecer a dimensão dos fragmentos, extrair minerais acompanhantes sem valor econômico e aumentar a qualidade, pureza ou proporção do produto final. Os procedimentos aplicados para esse fim são bem variados, porque dependem fundamentalmente do tipo e da qualidade do minério que será extraído (EXPÓSITO, 2000).

De acordo com Bomfim (2017), os rejeitos são dispostos em áreas pertencentes a mineradora ou espaços públicos em forma de pilhas. Em alguns casos, os rejeitos são depositados nos solos. Os métodos comumente utilizados para deposição de rejeitos são em reservatórios criados por diques de contenção ou barragens, que devem ser construídos com todas normas de segurança para impedir infiltração de efluentes danosos, evitando danos socioambientais de grande repercussão.

Ainda de acordo com a ANM, tendo como base informações provenientes do RAL– Relatório Anual de Lavra, é possível identificar os métodos em território brasileiro como podemos observar na Figura 10:

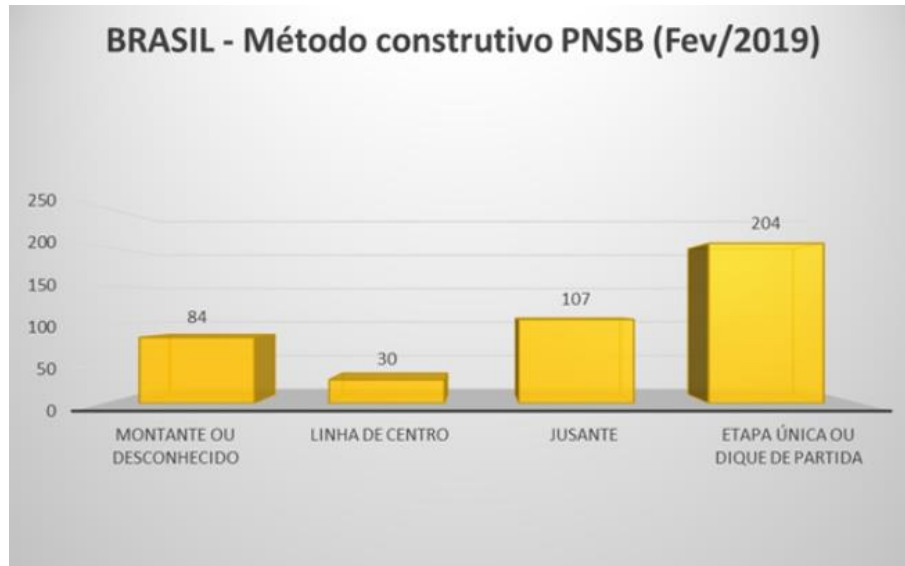


Figura 10 - Brasil - Método Construtivo PNSB (Fev/2019).

Fonte: Agência Nacional de Mineração.

Segundo Zardari (2010), é importante frisar que as mineradoras normalmente constroem um dique inicial, ou aterro, capaz de suportar de dois a três anos de produção. Posteriormente, caso seja necessário, o volume que está disponível para a deposição de rejeitos pode ser desenvolvido com a técnica conhecida como alteamento. A principal razão para executar a obra em variados estágios é econômica, uma vez que eles reduzem o custo inicial de construção da barragem, amortizando ao longo dos anos de exploração o investimento. Serão analisados a seguir os principais métodos de alteamento.

4.1 Análise dos métodos

Para IBRAM (2016), o método mais utilizado para disposição desses rejeitos de minérios nas minerações é a construção de barragens convencionais, com dique de solo, onde ocorre a separação sólido-líquido por sedimentação natural. Ressalta-se ainda que há três formas de disposição de rejeito: a céu aberto, subterrânea ou subaquática.

O método de disposição de rejeito a céu aberto é o mais comum atualmente, mesmo sendo considerado como um processo de alto grau de poder degradante ao meio ambiente, também é o método mais viável. Na disposição subterrânea, os rejeitos são bombeados para o subsolo para que possam preencher as câmaras que

restam após a extração do minério. Não geram tanto impacto ambiental, mas não é um método muito viável economicamente, por isso não é tão utilizado. O subaquático é um método raramente utilizado, por gerar um alto impacto ao ecossistema aquático, na maioria das vezes irreversível, não se tornando viável para as empresas (IBRAM, 2016).

As barragens de rejeito são os métodos de disposição de rejeitos mais utilizados, e podem ser definidas como estruturas construídas com o objetivo de reter e armazenar os rejeitos provenientes dos processos de beneficiamento mineral. Sua estrutura é construída com base em critérios técnicos e geotécnicos de forma que ofereça segurança para obra. Podem ser construídas utilizando-se solos, estéreis e o próprio rejeito (SOUZA, 2019).

As barragens de rejeito podem ser de três maneiras: de alteamento à montante, à jusante ou da linha de centro (SILVA, 2017).

4.2 Método de alteamento à montante

De acordo com Silva (2017), o método de alteamento à montante consiste em alteamentos de rejeitos com deslocamento para montante do dique inicial, sendo os rejeitos depositados aproveitados na construção da estrutura de contenção. O dique inicial deve ser impermeável, geralmente feito de um material argiloso.

De acordo com Araújo (2006), o método à montante é o mais antigo e também o mais simples de construção de barragens. A fase inicial de execução desse tipo de barragem constitui-se na construção de um dique de partida, geralmente formado de material argiloso ou de enrocamento compacto. Depois desta etapa ser realizada, o rejeito é projetado por canhões em direção à montante da linha de simetria do dique, assim formando a praia de deposição, que irá se tornar a fundação e ocasionalmente fornecerá material para a construção de um próximo alteamento. Este processo vai continuando de forma sucessiva, até que atinja a cota final prevista no projeto.

Apesar deste ser muito utilizado por grande parte das mineradoras, o método à montante mostra um baixo controle construtivo, assim tornando-se bem crítico, sobretudo em relação a segurança. Neste caso o agravante se dá pois os alteamentos são executados sobre materiais previamente depositados e não consolidados. Tornando-se assim, perante condições de saturação e a seu estado de capacidade

fofo, estes rejeitos inclinam-se a apresentar uma resistência baixa ao cisalhamento e vulnerabilidade à liquefação por carregamentos estáticos e dinâmicos (ARAUJO, 2006).

Ressalta-se ainda que este método dispõe de vantagens como: menor custo de construção; maior velocidade de alteamento; menores volumes nas etapas de alteamento; pouco uso de equipamentos de terraplanagem; entre outros. Porém, também são observadas algumas desvantagens como: menor coeficiente de segurança em função da linha freática; possível ocorrência de entubamento, o que ocasionaria no aparecimento de água na superfície do talude à jusante; risco de ruptura, provocado pela liquefação da massa de rejeitos; entre outros (SILVA, 2017).

Vale lembrar ainda que neste método de construção há uma grande dificuldade na implantação de um sistema interno e eficaz de drenagem para que se possa controlar o nível de água no interior da barragem, gerando assim um problema a mais com reflexos na estabilidade da estrutura. É possível visualizar este método na figura 11:



Figura 11 - Brasil - Método de alteamento à montante (2016)

Fonte: Acervo Instituto Brasileiro de Mineração.

4.3 Método de alteamento à jusante

O que se refere ao método de alteamento à jusante, Silva (2017) dispõe que este é o formato dispendioso e mais seguro. Primeiramente é construído um dique inicial de maneira semelhante ao método à montante, os alteamentos são colocados sobre os níveis antigos e o eixo da barragem é construído à jusante da linha de centro, o que cria uma estrutura mais volumosa e geralmente mais forte. Este método pode ser utilizado em barragens de grandes alturas, sendo que se deve incorporar um sistema de impermeabilização e drenagem.

Como dito anteriormente, as barragens que são alteadas pelo método à jusante demandam maiores volumes de materiais para serem construídas, apresentando assim custos mais altos associados ao processo de ciclonagem ou a concessão de material. A área ocupada pelo sistema de contenção de rejeitos neste método é muito maior, por conta do progresso da estrutura para jusante devido ao acréscimo de altura (ARAUJO, 2006).

Este método foi desenvolvido para minimizar os riscos associados ao método de alteamento à montante, especialmente quando associado a riscos decorrentes de atividades sísmicas. A instalação de núcleos impermeáveis e zonas de drenagem também pode permitir que a fundação contenha um volume substancial de água diretamente contra o talude à montante, sem comprometer sua estabilidade (SOUZA, 2019). Este método é exemplificado na figura 12:

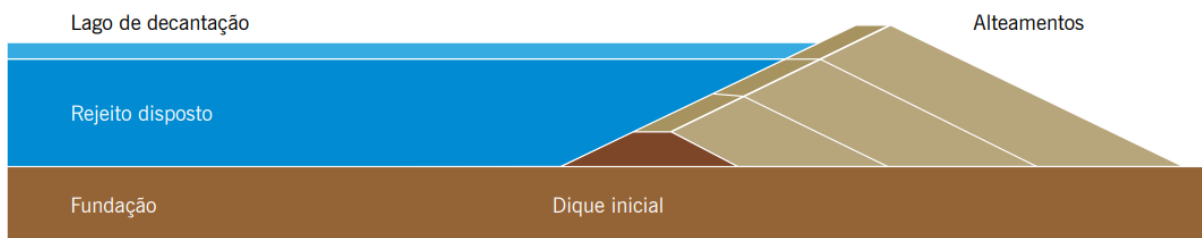


Figura 12 - Brasil - Método de alteamento à jusante (2016)

Fonte: Acervo Instituto Brasileiro de Mineração.

4.4 Método de alteamento por linha de centro

As barragens que são alteadas pelo método por linha de centro mostram uma solução intermediária em relação aos métodos anteriormente citados.

Para o método por linha de centro é disposto que este é um método similar ao sistema anterior. Neste método os alteamentos são construídos sobre níveis antigos, mas com uma construção direcionada para cima e para fora, ou seja, o eixo da barragem é mantido na mesma posição enquanto ela é alteada (SILVA, 2017).

Neste método se torna possível a utilização de áreas de drenagem internas em todas as fazes do alteamento, onde torna-se possível o controle da linha de saturação e proporciona uma dissipação de poropressões, tornando assim o método adequado

para ser utilizado até mesmo em áreas de alta sismicidade (ASSIS; ESPÓSITO, 1995).

De acordo com Souza (2019), este tipo de alteamento é uma associação entre os dois primeiros métodos apresentados anteriormente. Este modelo é mais estável que o método à montante e requer menos material que o método à jusante. Conforme o alteamento prossegue verticalmente, a linha de centro não se move com relação às direções à montante e à jusante da barragem, por isto o termo linha de centro. Isto pode ser visualizado na figura 13:

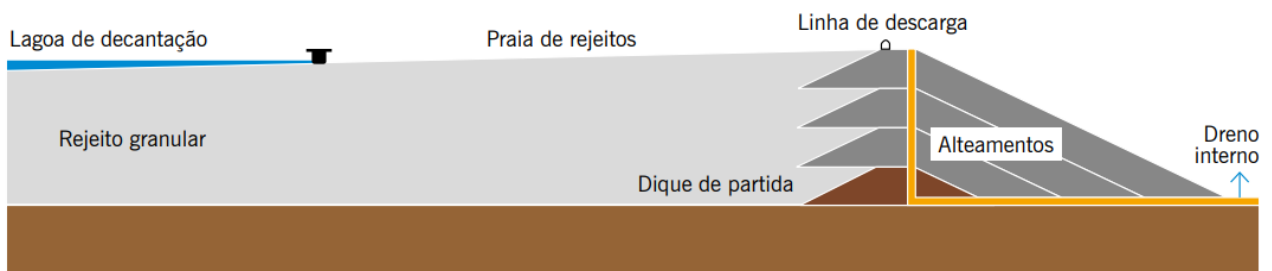


Figura 13 - Brasil - Método de alteamento por linha de centro (2016)

Fonte: Acervo Instituto Brasileiro de Mineração.

4.5 Comparativo entre os métodos de armazenamento

Para Araújo (2006), escolher um método de execução dependerá de uma série de fatores, como: características geotécnicas e nível de produção de rejeitos, modelo de processo industrial, necessidade de reter água, sismicidade, hidrologia, indispensabilidade de controle de água percolada, topografia, hidrogeologia e os custos envolvidos. Porém, como o método de barragens alteadas à montante tem se mostrado com maior simplicidade, facilidade de execução e ainda economicamente mais viável, tem sido preferencialmente adotada pelas empresas de mineração.

A tabela 1 apresenta um resumo comparativo entre os métodos principais de rejeitos, destacando suas vantagens, desvantagens, características, propriedades e entre outros:

Tabela 1 - Comparação entre as características das barragens de rejeitos

	Montante	Jusante	Linha de Centro
Tipo de rejeito	Baixa densidade para que ocorra a segregação	Qualquer tipo	Areia de lamas de baixa plasticidade
Descarga de rejeitos	Periférica	Independente	Periférica
Armazenamento de água	Não recomendável para grandes volumes	Bom	Aceitável
Resistencia a abalos sísmicos	Baixa	Boa	Aceitável
Alteamentos	Ideal menos 10m/ano	Nenhuma Restrição	Pouca restrição
Vantagens	Custo menor, utilizado onde há restrição de área	Maior segurança	Flexibilidade Construtiva
Desvantagens	Baixa segurança suscetibilidade a liquefação e piping	Grande quantidade de material requerido proteção do talude à jusante apenas na configuração final	Necessidade de eficiente sistema de drenagem

Fonte: modificado de Vick, 1983.

Pertinente ao método construtivo e a ação empregada na mineração o método que tende a apresentar o mínimo de problemas é o à jusante. Isto devido ao fato de a geometria da barragem apresentar certa continuidade e controle das prioridades dos materiais de construção independente do andamento de disposição do rejeito, ou seja, se tem um controle claro de toda a barragem, compactação do material, drenos e impermeabilização (ARAÚJO, 2006).

Por ser projetada sobre o material de rejeito assentado, o método à montante leva a uma grande dificuldade de gestão das propriedades geotécnicas da zona em que é executada o alteamento, ou seja, rejeito adensado. De acordo com Martin e McRobert (1999) e Araújo (2006), pelo fato dos alteamentos serem sucedidos sobre materiais previamente depositados e não estabilizados, estes estão em estado saturado e tendem a apresentar pouca resistência ao cisalhamento e suscetibilidade à liquefação por carregamentos dinâmicos e estáticos. Araújo (2006), também comenta sobre os decorrentes problemas do sistema de drenagem interno relativos a este método.

Quanto ao método por linha de centro, classifica-se como um método intermediário, com maiores riscos associados que o método à jusante e menos que o

à montante. Quanto a ele destaca-se o fato de que o dreno está posicionado em posição fixa, vertical, e metade do alteamento ocorre pelo método à jusante, o que leva aos pontos positivos desse procedimento (ARAÚJO, 2006).

Como auxílio temos o estudo de Rico et al. (2008), onde este mostra a relação de falhas em barragens em relação ao método construtivo. Onde o método à montante corresponde a 76% das falhas em barragem, sendo os (24%) procedentes dos demais métodos construtivos (jusante, linha de centro e outros).

Quanto a análise de segurança da barragem, temos uma associação nítida da execução da mesma com a geometria e estruturação dos materiais e suas propriedades. Ou seja, quanto mais acessível a geometria da barragem e mais homogênea for a distribuição dos materiais envolvidos, mais facilitado será o processo de análise da estabilidade, seja por métodos numéricos ou analíticos (Cardozo et al., 2016).

O método à jusante apresenta um processo de análise mais simples frente aos demais, especialmente ao procedimento à montante. O método à montante mostra uma geometria e disposição de materiais em níveis alternados que dificulta sua análise analítica e computacional, fazendo-se fundamental, por exemplo para uma análise numérica um modelo sofisticado com camadas de geometria e propriedades intercaladas (ARAÚJO, 2006).

Quanto as análises a serem praticadas, o que há de mais modernos são os modelos em elementos finitos, os quais fazem análise combinando hipóteses de deslizamentos, tombamento e ruptura circular. Quanto ao mecanismo mais constante de ruptura, Marques Filho e Geraldo (2002) apontam o deslizamento em eventuais planos de fraqueza da fundação, devido ao controle construtivo mal sucedido.

Na Tabela 2, se sintetizam os métodos de construção dos três tipos de barragens descritos, e algumas de suas vantagens e desvantagens.

Tabela 2 - As vantagens e desvantagens dos métodos de rejeitos à montante, à jusante e linha de centro

	Método à montante	Método à jusante	Método de linha de centro
Método construtivo	1 - Método mais utilizado e também o mais antigo	1 - Construção de dique inicial impecável e barragem de pé	
	2 - Construção de dique inicial e diques de alteamento periférico com material de empréstimo, estéreis da lavra ou com "underflow" de ciclonagem.	2 - Divisão dos rejeitos no cume do dique através de hidrociclones	1 - Variação do método à jusante
	3 - Projeção por meio da crista por ciclonagem ou "spigots"	3 - Impermeabilização à montante e drenagem interna	
Vantagens	1 - Custo mais baixo	1 - Mais seguro	
	2 - Maior velocidade nos alteamentos	2 - Compactação do corpo da barragem	2 - Oscilação do volume de "underflow" fundamental com relação ao método à jusante
	3 - Exige uma menor área, por isso é utilizado onde dispõe de menos espaço	3 - É possível misturar os estéreis da lavra	
Desvantagens	1 - Segurança baixa, por conta da linha freática próxima ao talude à jusante, possibilidade de "piping" e estar mais suscetível a liquefação.	1 - Ser necessário quantidades grades de "underflow" (problemas nas primeiras etapas). 2 - Deslocamento do talude à jusante (proteção superficial apenas no fim d construção)	1 - É necessário sistemas de drenagem eficientes e sistemas de contenção à jusante

Fonte: modificado de Soares, 2004.

Na figura 14 são apresentadas as comparações de áreas de seção transversal dos métodos à montante, à jusante e linha de centro, com altura e capacidade de deposição de rejeitos iguais.

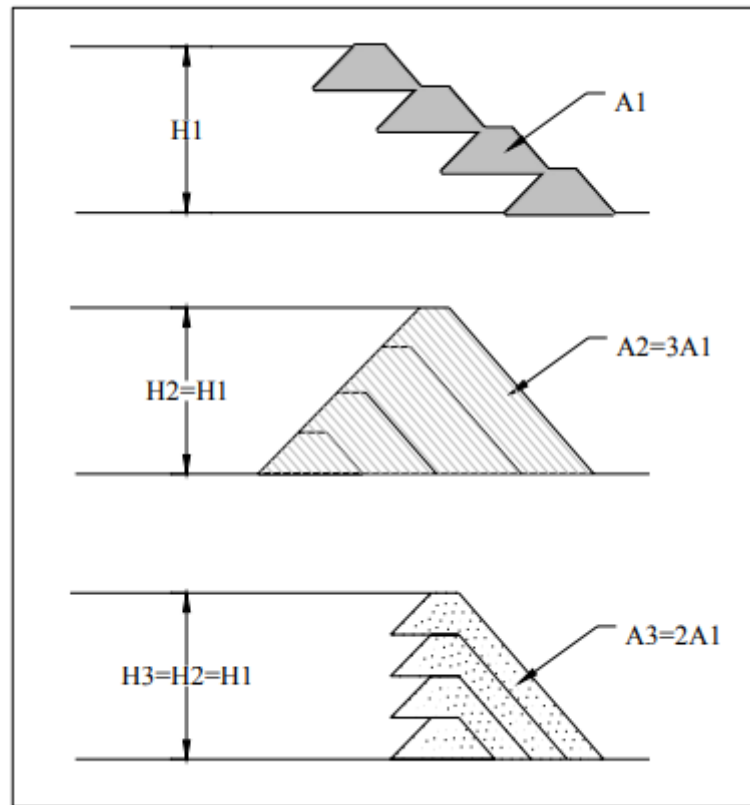


Figura 14 - Comparação dos volumes para os três tipos de barragens: (a) Método à montante. (b) Método à jusante. (c) Método por linha de centro

Fonte: modificado de Vick, 1983.

5 ANÁLISE E DISCUSSÕES

Diante do estudo desenvolvido, dispõe-se que as barragens caracterizadas como convencionais são os métodos mais utilizados como um dispositivo de rejeitos minerais, tendo em vista que por meio deste dispositivo ocorre a separação sólido-líquido por sedimentação natural (IBRAM, 2016).

Assim, ressalta-se que dentro o método convencional de disposição dos rejeitos minerais, o método de alteamento à montante ainda se apresenta muito utilização, tendo em vista a maior simplicidade, acessibilidade de execução e o baixo custo (ARAÚJO, 2006).

No entanto, apesar do alteamento à montante ser muito utilizado, dispõem-se que este um método frágil, conforme a tabela 1, tendo em vista dos inúmeros acidentes decorrentes deste modelo. Assim, o método à jusante apresenta-se como melhor opção, em decorrência da sua maior segurança, tendo em vista que a sua criação objetivou para minimizar os riscos associados ao método de alteamento à montante, no entanto, apresenta-se também como um método de maior custo (SOUZA, 2009).

Ressalta-se ainda que para a real definição do melhor método construtivo, encontra-se a necessidade de avaliar criteriosamente os itens de projetos, como: topografia, hidrologia, geologia, tipos e propriedades do subsolo, granulometria e concentração dos rejeitos, velocidade de disposição, variação da capacidade de armazenamento do reservatório com o aumento da altura, disponibilidade de equipamentos de terraplanagem, compactação e equipes de controle (SOARES, 2010).

Portanto, manifesta-se que após a avaliação criteriosa do projeto, recomenda-se a utilização do método de alteamento à jusante, apesar do maior custo, afim de evitar acidentes ambientais, dos quais ocasionam em custos mais elevados. Assim, conforme Rico et al. (2008), apenas 24% das falhas construtivas são oriundas de métodos como de alteamento à jusante, linha de centro e outros, em confronto com 76% de falhas construtivas decorrente de métodos de alteamento à montante.

Assim, evidencia-se ainda que o método de alteamento à jusante apresenta-se como uma melhor indicação em relação ao método de alteamento por linha de centro, tendo em vista que o método de alteamento à jusante pode ser destinado a qualquer

tipo de rejeito, no entanto, o método de alteamento por linha de centro é destinado apenas a areias de lamias de baixa plasticidade.

Diante disto, manifesta-se que as barragens de rejeitos se apresentam como metodologias de disposição de rejeitos mais utilizados, objetivando a retenção e o armazenamento de rejeitos minerais, considerando suas características técnicas e geotécnicas, garantindo a segurança da obra (SOUZA, 2019).

Assim, compreende-se que a escolha acertada do método de armazenamento do rejeito é de extrema importância para a prevenção de acidentes, desta maneira, as barragens escolhidas devem se constituídas de acordo com a legislação vigente e com todas as normas de segurança para impedir infiltração de efluentes danosos, evitando danos socioambientais de grande repercussão (BOMFIM, 2017).

Portanto, diante da exploração minerárias e a busca pelo melhor método construtivo, destaca-se a importância de expor que essa exploração acarreta em diferentes danos ao meio ambiente, no entanto, esta atividade alicerça o desenvolvimento brasileiro, por conta disto, é ressaltado a importância de uma efetividade na avaliação dos impactos decorrente da mineração, pois os danos causados são extremamente prejudiciais ao meio ambiente (BOMFIM, 2017).

Assim, é exaltada a necessidade de implementação de medidas mitigadoras e maior efetividade das leis ambientais, em conjunto com a devida fiscalização. Por meio de práticas mitigadoras é possível preservar ou minimizar danos provocados no ar, na água e no solo, no qual afetam a população em geral.

Por fim, é disposto que os impactos negativos decorrentes da atividade mineradora podem ser diagnosticados desde a fase planejamento (SILVA; ANDRADE, 2017). Assim, a interação entre a boa concepção de projeto, considerando os impactos negativos decorrente das atividades mineradoras, em conjunto com uma efetiva escolha no processo de armazenamento do rejeito, resulta-se em um ambiente mais sustentável, no qual minimiza os impactos ambientais e apresenta-se preparado para possíveis sinistros.

6 CONCLUSÃO

A partir do que foi exposto sobre os métodos de armazenamento de rejeitos de mineração, conclui-se que o método à montante está relacionado a diversos acidentes, logo, perde sua credibilidade. Portanto, propõe-se a utilização do método à jusante, que, embora exija um maior custo operacional e construtivo, é o que apresenta, atualmente, o melhor controle de suas propriedades e dos materiais envolvidos. Ressalta-se, ainda, que tal método foi selecionado pois apresenta como sua principal vantagem um maior nível de segurança. Isso o torna alinhado com os princípios da sustentabilidade, os quais demandam que o método seja socialmente justo, ambientalmente correto e economicamente viável. Além disso, os acidentes ocorridos nos últimos anos deixam clara a necessidade de se garantir a preservação da vida ao desenvolver um método construtivo de barragem de rejeito. Desta forma, é visível a necessidade de buscar um aprofundamento em pesquisas que levem ao aumento da utilização do método de alteamento à jusante no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO, 2019. **Classificação de barragens de mineração**. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/pasta-classificacao-de-barragens-de-mineracao/plano-de-seguranca-de-barragens/>. Acesso em 23 de jun. 2019.

AMORIM, Luiz Felipe Duarte de. **Avaliação do impacto atmosférico nas operações de uma mineradora de calcário**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Grande Dourados, 2016.

ARAUJO, C. B. **Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro**. 2006. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2006.

ASSIS, A.; ESPÓSITO, T. Construção de barragens de rejeito sob uma visão geotécnica. In: **SIMPÓSIO SOBRE BARRAGENS DE REJEITOS E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS – REGEO, 3.**, 1995. Anais... Ouro Preto: ABMS/ABGE/CBGB, p. 259-273, 1995.

ÁVILA, Joaquim Pimenta. **Acidentes em barragens de rejeitos no Brasil**. Disponível em: Acesso em: 17 de setembro de 2016.

ÁVILA, Joaquim Pimenta. **Barragem de rejeitos**. Rio de Janeiro: CBDB, 2012. 308 p.

BANCO MUNDIAL. **Grandes minas y la comunidad: efectos socioeconómicos en Latinoamérica, Canadá y España**. Banco Mundial/Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, Ottawa, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, Ottawa, Canadá. 2003.

BOMFIM, Marcela Rebouças. **Avaliação de impactos ambientais da atividade mineraria**. Cruz das Almas, BA: UFRB, 2017. 46p.

CARDOZO, F. A. C.; CORDOVA, D. P.; ZINGANO, A. C. GALLI, B.; PENÃ, F. P. Métodos Construtivos de Barragens de Rejeito: Crítica ao Método de Montante. **Anais do Congresso Brasileiro de Geologia**, Porto Alegre, RS, Brasil, 48, 2016.

CARDOZO, Fernando Alves Cantini; PIMENTA, Matheus Montes; ZINGANO, André Cezar. Métodos construtivos de barragens de rejeitos de mineração–uma revisão. **HOLOS**, v. 8, p. 77-85, 2016.

CARVALHO, Nathália Leal et al. Desenvolvimento sustentável X desenvolvimento econômico. **Revista Monografias Ambientais**, v. 14, n. 3, p. 109-117, 2015.

CHAVES, Maria do Perpétuo Socorro Rodrigues; RODRIGUES, Débora Cristina Bandeira. Desenvolvimento sustentável: limites e perspectivas no debate contemporâneo. **Interações** (Campo Grande), v. 8, n. 13, 2016..

DE QUEIROZ, Julia Mello. Desenvolvimento econômico, inovação e meio ambiente: a busca por uma convergência no debate. **Cadernos do Desenvolvimento**, v. 6, n. 9, p. 143-170, 2018.

DUARTE, Anderson Pires. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco**. Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte, 2008.

DURÃES, Maria Clara Oliveira et al. Caracterização dos impactos ambientais da mineração na bacia hidrográfica do rio São Lamberto, Montes Claros/MG. **Cad. ciênc. Agra.**, v. 9, n. 1, p. 49-61, 2017.

ESPÓSITO, T. J. **Metodologia probabilística e observacional aplicada a barragens de rejeito construídas por aterro hidráulico**. 2000. 363 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2000.

FERNANDES, F. R. C.; LIMA, M. H. R.; TEIXEIRA, N. S. Grandes minas e comunidade: algumas questões conceituais. **Série Estudos e Documentos**, CETEM: Rio de Janeiro, v.73. 2007a.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Novo código de mineração do país terá regras mais rígidas**. Brasília, 12 jun. 2018.

GERMANY, Darcy José. **A mineração no Brasil**. Secretaria Técnica do Fundo Setorial Mineral, 2002.

GUIMARÃES, Carlos Magno; MORAIS, Camila Fernandes de. **Mineração, degradação ambiental e arqueologia**. Minas Gerais, Brasil século XVIII, 2018.

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

IBRAM. Instituto Brasileiro de Mineração. **Gestão e manejo de rejeitos da mineração** / Instituto Brasileiro de Mineração. 1. ed. – Brasília: IBRAM, 2016.

MARTINS, Carla Ferreira Vieira. **Avaliação das normas reguladoras de mineração para minas subterrâneas no Brasil e da Legislação Mineral Brasileira para segurança em subsolo**. 2017. 182f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

OLIVEIRA, Nathália Barbosa. **Principais deficiências nos estudos de impacto ambiental EIA/RIMA**. 2015. 21 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Gestão Ambiental) —Universidade de Brasília, Planaltina-DF, 2015.

PEREIRA JUNIOR, Antonio; LIMA, Natalia Caroline Alves de. **Avaliação qualitativa dos impactos ambientais durante o processo produtivo da mineração de areia no rio Xingú**. Altamira-PA. R. gestão e sustentabilidade ambiental, Florianópolis, v. 7, n. 2, p.230-259, abr./jun. 2018.

SÁ, V. P. V. L. **A avaliação de impacto ambiental: sua análise e o estudo de caso do pátio ferroviário das Cinco Pontas**. 2017. 29f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Direito) - Universidade Estadual da Paraíba, Guarabira, 2017.

SANTOS, Fábio Cesar Muniz dos. **Análise comparativa do código de mineração do Brasil Com outros códigos de mineração internacionais**. São Cristóvão, SE, 2018. Monografia (bacharelado em Geologia) – Curso de Geologia, Departamento de Geologia, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.

SILVA, Ludmila Cruz Rezende Senna. **Barragens de rejeitos na indústria mineral brasileira**. 2017.

SILVA, Marina Lima da; ANDRADE, Márcia Cristiane Kravetz. Os impactos ambientais da atividade mineradora. **Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 11, n. 6, 2017.

SILVA, Olintho Pereira da. A mineração em minas gerais: passado, presente e futuro. **Geonomos**, v. 3, n. 1, 1995).

SOUZA, Carolina Vivian de. **Estudo das técnicas de disposição de rejeitos de mineração**. 2018. 77 f. Monografia (Graduação em Minas) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

VICK, S. G. **Planning, design and analysis of tailing dams**. New York: John Wiley & Sons, 1983. 369 p.

VIEIRA, Vicente. P. P. B. **Análise de riscos em recursos hídricos – fundamentos e Aplicações**. Porto Alegre-RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), nov. 2005.

ZARDARI, M. A. **Mechanical properties of fine grained, sulphur rich, silty soils**. Luleå, Sweden, 88 p. Research report - Luleå University of Technology, Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering, 2010.