



Universidade de Ribeirão Preto  
Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias  
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental

ANA MARIA ÁVILA GOMES

AVALIAÇÃO DE RISCO DA BARRAGEM DE MINERAÇÃO EM  
FORTALEZA DE MINAS-MG.

RIBEIRÃO PRETO  
2017

ANA MARIA ÁVILA GOMES

AVALIAÇÃO DE RISCO DA BARRAGEM DE MINERAÇÃO EM  
FORTALEZA DE MINAS-MG.

Dissertação de mestrado apresentada ao programa de pós-graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto como requisito de defesa para obtenção do título de mestre.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Cristina Filomena Pereira Rosa Paschoalato

RIBEIRÃO PRETO  
2017

**Ana Maria Ávila Gomes**

**“Avaliação de risco da barragem de mineração em Fortaleza de Minas -  
MG”.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo programa de Mestrado Profissionalizante em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto.

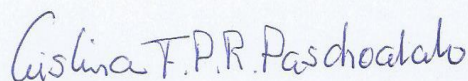
Orientadora: Profa. Dra. Cristina  
Filomena Pereira Rosa  
Paschoalato

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

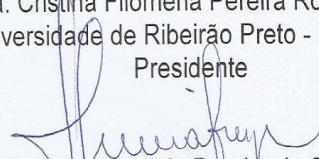
Data de defesa: 29 de setembro de 2017

Resultado: Aprovada

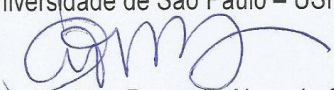
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Cristina Filomena Pereira Rosa Paschoalato  
Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP  
Presidente



Prof. Dr. Marcelo Pereira de Souza  
Universidade de São Paulo - USP



Profa. Dra. Luciana Rezende Alves de Oliveira  
Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP

Ribeirão Preto  
2017

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento  
Técnico da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

Gomes, Ana Maria Ávila, 1974-

P348p      Avaliação de risco da barragem de mineração em fortaleza de  
Minas-MG / Ana Maria Ávila Gomes. --Ribeirão Preto, 2017.  
84 f.: il. color.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Cristina Filomena Pereira R. Paschoalato.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Ribeirão Preto,  
UNAERP, Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto, 2017.

1. Categoria do risco. 2. Mineração. 3. Rejeito de mineração.  
I. Título.

Dedico esse trabalho aos meus filhos Gustavo Ávila Gomes, Laura Ávila Gomes e Emanuel Ávila Gomes pelas horas de minha ausência.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso fosse possível, por Ele iluminar meu caminho e sempre me dar força para seguir em frente.

A prefeitura municipal de Fortaleza de Minas, pela atenção e disponibilização de documentos.

A Mineradora Votorantim Metais e Zinco, pela liberação de visitas e esclarecimentos.

Ao Prof. Dr. Valdir Schalch pelo incentivo e apoio com material científico.

A orientadora e professora do curso de mestrado em Tecnologia Ambiental da UNAERP Dra. Cristina Filomena Pereira Rosa Paschoalato, minha terna gratidão pelo carinho, suporte, empenho aos quais foram de suma importância para o desenvolvimento e concretização desse trabalho.

A minha mãe Rosa Lima Ávila e minha tia Aparecida Ávila pela compreensão e cooperação.

Aos amigos Carlos André Souza Pereira e Débora Vitória Souza Pereira pela acolhida e hospitalidade.

Aos meus eternos amigos Roberto Alves Pereira e Jeferson Candido pelo apoio e companheirismo, que fizeram parte dessa caminhada e que vão continuar presente em minha vida com certeza.

## RESUMO

A mineração é um dos setores que impulsiona a economia de vários países, a atividade minerária muitas vezes é responsável pelo desenvolvimento do progresso de diversas regiões do mundo. Em algumas atividades extrativas minerais é necessário o uso de barragens de rejeito para armazenar o descarte dos rejeitos. As barragens de rejeitos são estruturas de construção civil complexas e dinâmicas que requerem cuidado, atenção desde a etapa de projeto, operação, manutenção e encerramento das atividades. Essas barragens são impactantes tanto para o ecossistema, economia e população. A presente pesquisa avaliou o risco ambiental sobre a barragem de rejeito do município de Fortaleza de Minas-MG. A metodologia proposta no presente estudo esteve relacionada através de análises documentais da prefeitura do município de Fortaleza de Minas-MG, mapeamento da área, histórico da operação, tipo de atividade minerária, tipo de construção da barragem, medidas de controle do risco existente e visita técnica com prévia autorização na mineradora em estudo. Os resultados obtidos indicam que a classificação de risco existente da barragem quanto à classificação DN COPAM 062/2002 a soma dos critérios foi no valor de 8, classificada como alto potencial de dano ambiental. A área calculado impacto ou de auto salvamento corresponde a 2,8 km de extensão abrangendo o córrego Muniz e o rio São João que estão localizados a 2,3km. Caso haja o rompimento da barragem além de dois córregos, área de vegetação, propriedades rurais poderão ser atingidas pela lama de rejeito. Portanto a mineradora necessita de um plano de evacuação para a área a ser atingida pela lama de rejeito.

**Palavras-chave:** Categoria do risco, Barragem de rejeito, mineração, Rejeito de mineração

## ABSTRACT

Mining is one of the sectors that drives the economy of several countries, mining activity is often responsible for the development of progress in various regions of the world. In some mineral extractive activities it is necessary to use tailings dams to store waste discards. Waste dams are complex and dynamic civil construction structures that require care, attention from the design, operation, maintenance and waxing stage of the activities. These dams are impacting both to the ecosystem, economy and population. The present study evaluated the environmental risk on the reject dam of the municipality of Fortaleza de Minas-MG. The methodology proposed in the present study was related through documentary analyzes of the municipality of Fortaleza de Minas-MG, mapping of the area, operation history, type of mining activity, type of dam construction, existing risk control measures and visit with prior authorization in the mining company under study. The results indicate that the existing risk classification of the dam in relation to DN COPAM classification 062/2002 the sum of the criteria was in the value of 8, classified as high environmental damage potential. The calculated impact or self-rescue area corresponds to 2.8 km in length covering the Muniz stream and the São João river which are located 2.3km. If there is a rupture of the dam beyond two streams, vegetation area, rural properties may be affected by tailings mud. Therefore, the miner needs an evacuation plan for the area to be hit by tailings sludge.

**Key words:** Risk category, tailings dam, mining, mining tailings



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Projeção do setor de mineração para o território brasileiro.....	21
Figura 2 - Extração a céu aberto da Mina de ferro em Carajás-PA.....	29
Figura 3 - Passagem de minério extraído por lavra subterrânea.....	30
Figura 4 - Método de disposição de rejeito com barragem a montante.....	42
Figura 5 - Método de disposição de rejeito com barragem a jusante.....	42
Figura 6 - Método de disposição de rejeito com barragem de Linha de Centro .....	43
Figura 7 - Barragens que formam o complexo da Alegria da mineradora Samarco..	49
Figura 8 - Localização da Barragem de Fundão a montante do subdistrito de Mariana em Bento Rodrigues – MG, antes do rompimento.....	50
Figura 9 - Antes e depois do rompimento da barragem de Fundão no subdistrito de Mariana em Bento Rodrigues-MG.....	51
Figura 10 - Fluxograma resumo da metodologia.....	53
Figura 11 - Cálculo de deslizamento de fluxo de resíduos.....	56
Figura 12 - Unidade da mineradora no município de Fortaleza de Minas-MG. ....	58
Figura 13 - Fluxograma de notificações de responsáveis em caso de ruptura da barragem de rejeito .....	63
Figura 14 - Visão da barragem de rejeito da mineradora no município de Fortaleza de Minas-MG .....	69
Figura 15 - Distanciamento entre a barragem de rejeito e o Rio São João .....	70
Figura 16 - Mapa da Usina Hidroelétrica de Peixoto e a Foz do Rio São João.....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios para classificação das barragens segundo DN COPAM nº062/2002. ....	54
Tabela 2 - Resultado da classificação do potencial de dano ambiental da barragem de estudo segundo DN COPAM nº062/2002.....	72

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Métodos de barramento, vantagens, desvantagens e observações .....	44
Quadro 2 - Acidentes com barragem de rejeito de mineração em alguns países nos últimos 10 anos .....	46
Quadro 3 - Acidentes com rupturas de barragens no estado de Minas Gerais .....	48
Quadro 4 - Telefones a serem utilizados em caso de ruptura da barragem de rejeito de mineração da VTM Fortaleza de Minas-MG .....	74
Quadro 5 - Medidas corretivas a serem tomadas de acordo com o Nível de água (NA) de Emergência do reservatório .....	75

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>AVALIA</b>	Avaliação contínua do comportamento das barragens
<b>CDA</b>	Associação de Barragens do Canadá
<b>CNRH</b>	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
<b>COPAM</b>	Conselho de Política Ambiental
<b>D</b>	Extensão da área impactada
<b>DME</b>	Departamento de Minerais e Energia da Austrália
<b>DNPM</b>	Departamento Nacional de Produção Mineral
<b>EIA/RIMA</b>	Estudo de Impacto Ambiental/Relatório Impacto do Meio Ambiente
<b>EU</b>	União Europeia
<b>EUA</b>	Estados Unidos da América
<b>FEAM</b>	Fundação Estadual do Meio Ambiente
<b>FS</b>	Fator de Segurança
<b>GVISTA</b>	Informações visuais sobre as barragens
<b>H</b>	Altura da Barragem
<b>I</b>	Gradiente Topográfico da área de escoamento
<b>IBRAM</b>	Instituto Brasileiro de Mineração
<b>ICOLD</b>	International Commission of Large Dams
<b>INA's</b>	Índice para Avaliação do Nível de Auscultação
<b>MONITORA</b>	Monitoramento de atividade geotécnica
<b>NA</b>	Nível de Água
<b>NBR</b>	Normas Brasileiras Regulamentadoras
<b>ORR</b>	Organograma de Responsáveis e Responsabilidades
<b>PAEBM</b>	Plano de Emergência de Mineração de Barragem
<b>PRELIM</b>	Atividades preliminares de preparação
<b>PZ</b>	Cota piezométrica de Jusante
<b>SECEX</b>	Secretaria do Comercio Exterior
<b>SEMA</b>	Secretaria Especial do Meio Ambiente
<b>SEMAD</b>	Secretária de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
<b>SIGBAR</b>	Sistema de Gestão de Segurança de Barragem

<b>SSMA</b>	Sistema de Saneamento e Meio Ambiente
<b>TREINAR</b>	Treinamento e capacitação dos envolvidos com as barragens
<b>UFIR</b>	Unidade Fiscal de Referência
<b>V</b>	Valor de pontuação do risco
<b>VTZ</b>	Votorantim Metais e Zinco

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	17
2.1 OBJETIVO GERAL .....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	18
3.1 PROCESSO DE LAVRA .....	22
3.2 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DE LAVRA .....	23
3.3 LAVRA A CÉU ABERTO.....	27
3.4 LAVRA SUBTERRÂNEA.....	30
3.5 LAVRA POR DISSOLUÇÃO .....	31
3.6 LEGISLAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO DE BARRAGEM DE REJEITO DE MINERAÇÃO NO CENÁRIO INTERNACIONAL.....	32
3.7 LEGISLAÇÃO DE SEGURANÇA EM BARRAGENS DE MINERAÇÃO DO BRASIL .....	38
3.8 LEI ORGÂNICA DO MUNICÍPIO DE FORTALEZA DE MINAS-MG .....	40
3.9 TIPO DE BARRAGENS PARA REJEITO E ESTÉREIS DE MINERAÇÃO .....	40
3.10 RUPTURA DE BARRAGEM DE REJEITOS DE MINERAÇÃO.....	45
3.11 INCIDENTES E ACIDENTES COM BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITO .....	45
3.12 INCIDENTES E ACIDENTES EM BARRAGEM DE REJEITO EM MINAS GERAIS.....	47
3.13 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A LITERATURA .....	52
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	53
4.1 DIAGNÓSTICO DA BARRAGEM DE REJEITO DE UMA MINERADORA NO MUNICÍPIO DE FORTALEZA DE MINAS-MG .....	53
4.1.1 Classificação do Dano Ambiental da Barragem .....	53
4.2 MAPEAMENTO DA ÁREA DA BARRAGEM DE REJEITO DE UMA	

MINERADORA NO MUNICIPIO DE FORTALEZA DE MINAS-MG.....	55
4.2.1 Cálculo da Área de Impacto ou auto salvamento .....	55
4.3 AVALIAÇÃO DE RISCO EM CASO DE RUPTURA DA BARRAGEM.....	56
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>57</b>
5.1 DIAGNÓSTICO DA BARRAGEM DE REJEITO DE UMA MINERADORA NO MUNICIPIO DE FORTALEZA DE MINAS-MG .....	57
5.2 SUBSTÂNCIA MINERAL EXPLORADA.....	57
5.3 TIPO DE CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM .....	58
5.3.1 Medidas de Controle da mineradora .....	60
5.4 PROCESSO E SUBSTÂNCIA MINERADA .....	65
5.5 CARACTERIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM DE REJEITO.....	65
5.6 CÁLCULO DA ÁREA DE IMPACTO EM CASO DE RUPTURA DA BARRAGEM .....	66
5.7 MAPEAMENTO DA ÁREA DA MINERADORA .....	68
5.8 AVALIAÇÃO DO RISCO EM CASO DE RUTURA DA BARRAGEM DA MINERADORA.....	70
5.9 MEDIDAS DE CONTROLE DA MINERADORA .....	73
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>78</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>80</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a mineração é um dos setores propulsores da economia, contribuindo de forma decisiva na geração de riquezas do país através da criação de empregos e melhoria da qualidade de vida. A atividade mineraria, muitas vezes, é responsável pela formação do progresso de diversas regiões brasileiras, como exemplo, o estado de Minas Gerais que teve seu desenvolvimento moldado na mineração, desde o período colonial até os dias atuais. (ESPÓSITO, 2000)

Entretanto, é inegável que essa atividade é extremamente impactante ao meio ambiente, alterando áreas mineradas e circunvizinhas, onde são colocados depósitos de estéreis e rejeitos. As empresas mineradoras reconhecem esse dano ambiental; porém, devido aos elevados custos de investimentos em recuperação de áreas degradadas, algumas se omitem na proposição de soluções minimizadoras e apenas possuem Planos Diretores de Meio Ambiente. (ESPÓSITO, 2000)

No Brasil, há uma grande quantidade de barramentos de diversas dimensões e para diferentes utilidades, tais como: geração de energia, aterros para disposição de resíduos industriais, barragens de rejeito de mineração, entre outros. A variabilidade entre dimensão e uso dessas barragens reflete nas condições dessas estruturas. Algumas atendem às especificações normativas de segurança, enquanto outras são estruturadas conforme leis mais flexíveis mediante o poder público. (ESPÓSITO, 2000)

Outro aspecto importante é um programa de manutenção das barragens de resíduos de mineração, uma vez que um rompimento estrutural causa um impacto sobre o meio ambiente com danos ambientais devastadores, de imediato e à longo prazo, com prejuízos tanto econômicos, quanto humanos e sociais. (ESPÓSITO, 2000)

As barragens de rejeito de mineração são estruturas complexas e dinâmicas que requerem cuidados e atenção em todas as etapas, desde a elaboração do projeto de engenharia, operação minerária, manutenção até o encerramento da atividade. (ESPÓSITO, 2000)

A preocupação ambiental com as atividades de mineração no Brasil teve início na década de 70, com a conferência de Estocolmo, a qual vincula desenvolvimento e meio ambiente. Nesse contexto, em 1973, houve a criação de leis em âmbito Federal da Secretária Especial do Meio Ambiente (SEMA). Em 1977,



o estado de Minas Gerais criou o Conselho de Política Ambiental (COPAM) que, a partir de 1980, passou a elaborar leis e normas para as atividades de lavra com o objetivo de promover a proteção e melhoria do meio ambiente. (MENESCAI, 2001)

Não sendo diferente de outras cidades com atividades minerárias, o município de Fortaleza de Minas teve seu desenvolvimento econômico sustentado pela mineração de níquel, principal setor da economia local.

No entanto, tal progresso contrapõe-se às preocupações das autoridades governamentais e da sociedade civil sobre os possíveis impactos ambientais que podem ser causados por essa atividade. Uma barragem de rejeito de minério, quando não monitorada e com efetiva manutenção, em caso de rompimento, pode causar prejuízos financeiros, humanos e ambientais para a população à jusante da barragem.

Nesse contexto, o foco deste estudo é a barragem de rejeito de mineração existente no município de Fortaleza de Minas-MG. Inicialmente, a construção da barragem foi projetada para conter os materiais resultantes do beneficiamento do minério de Níquel. Atualmente, a mineradora está encerrando suas atividades de exploração de Níquel mantendo a exploração do mate de níquel sulfetado. Neste sentido, aumenta a preocupação sobre as barragens de rejeito, uma vez que tal exploração é classificada pelo Departamento Nacional de Produção Mineral como Dano Potencial Associado Alto. (DNPM, 2011)

O presente estudo avaliou o risco ambiental geográfico sobre a barragem de rejeito desse município. Outro ponto a ser considerado é a dependência de municípios adjacentes em utilizar águas do rio São João para o abastecimento. Uma realidade que poderá não ser diferente do ocorrido com o rompimento da barragem de Bento Rodrigues no município de Mariana em novembro de 2015, pois a barragem de Fortaleza de Minas se encontra em semelhantes condições e não se isenta do mesmo destino.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa teve como objetivo geral a avaliação do risco ambiental geográfico da barragem de rejeito de mineração no município de Fortaleza de Minas-MG.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos necessários para o desenvolvimento do estudo foram:

- Realizar um diagnóstico da barragem de rejeito de mineração, considerando o tipo de construção; além do histórico de operação e medidas de controle de risco;
- Mapear as áreas de estudo localizadas à jusante da barragem de rejeito (comunidades, cidades, indústrias, fazendas e lavouras, mananciais de abastecimento, córregos, minas e nascentes);

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

Entende-se por mineração todos os processos e atividades industriais que têm por finalidade a extração de substâncias minerais do solo, a partir de perfurações de áreas ou depósitos minerais. Essas atividades se relacionam em maior ou menor grau com todos os fenômenos sociais e estão ligados com todas as questões de crescimento e desenvolvimento do país. Entretanto, muito se debate sobre essa atividade, em função de seus impactos ambientais, que sempre foram bastante grandes (ALMEIDA E RIGOLIN, 2004).

De acordo com Departamento Nacional de Produção Mineral o termo mineração refere-se às atividades de extração, elaboração e beneficiamento de minerais que se encontram em seu estado natural. Nesse caso, inclui-se para esse departamento também a beneficiação dos minerais em geral, de forma a torna-lo comercializável sem provocar alterações em caráter irreversível nas condições primárias. (ALMEIDA E RIGOLIN, 2004).

As condições para o desenvolvimento da mineração no Brasil foram advindas do processo de desbravamento do interior da colônia operado pelas denominadas entradas e bandeiras, que consistiam em expedições armadas que saíam da Capitania de São Paulo rumo ao sertão, com o objetivo de apresar índios, destruir quilombos e encontrar metais preciosos. No ano de 1696, uma dessas expedições conseguiu encontrar jazidas de ouro nas regiões montanhosas de Minas Gerais, onde teve início a ocupação do Vale do Ouro Preto (COTRIM, 2002).

Nessa e em outras regiões de Minas e depois em Goiás e no Mato Grosso, o ouro, inicialmente, era encontrado na forma de aluvião. Logo em seguida, começou-se a exploração de rochas localizadas nas encostas das montanhas, empregando-se a técnica conhecida como grupiara. Grandes sistemas de prospecção foram construídos, desde escavações das encostas até canais de drenagem e ventilação (COTRIM, 2002).

A exploração do ouro em Minas desencadeou uma grande onda migratória de portugueses e de pessoas de outras regiões da colônia no século XVII. Cerca de 30 a 50 mil aventureiros vieram em direção às minas à procura de enriquecimento. A densidade populacional aumentou sobremaneira nessa região e aumentaria ainda mais com a presença dos escravos que, encarregados do trabalho braçal, passaram a compor a base da sociedade mineradora, de acordo com (FAUSTO, 2013).

A mineração está intimamente ligada à história e à formação do estado de Minas Gerais. Durante o período colonial, a partir de 1690, já havia centenas de lavras de ouro aluvionar na Região Central do Estado. De 1700 a 1780, as minas mineiras produziram cerca de dois terços do ouro e boa parte das gemas e diamantes extraídos no Brasil. A grande produção de recurso minerais no estado de minas, impulsionou a abertura de estradas, a implantação de núcleos urbanos, a unificação do território, a criação de uma estrutura administrativa própria e a construção da Estrada Real. Cidades como Ouro Preto, Congonhas, Sabará, São João Del Rei, Tiradentes, Diamantina, Serro e várias outras desenvolveram em torno das minas (ALVES, 1998).

As primeiras mineradoras de grande porte a instalar-se no estado de Minas Gerais no século XX foram a Itabira Iron Ore Corporation, empresa inglesa que adquiriu o direito de lavra e beneficiamento das minas de ferro de Itabira e a participação na estrada de ferro Vitoria / Minas. Durante o governo do presidente Artur Bernardes foi lançado incentivo a indústrias siderúrgicas nacionais e a Companhia Siderúrgica Mineira transformou-se na Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira. Em 1940 os direitos de minas de Itabira foram transferidos para os governos brasileiros e posteriormente foi instituída Companhia Vale do Rio Doce.

Em 1960 teve a entrada de capital estrangeiro no setor de mineração brasileiro com a presença das empresas MBR, Samitri, Ferteco, Alcoa, CBMM e Usiminas, entre outras (IBRAM, 2015).

No momento atual as principais empresas mineradoras do estado estão: Vale; Companhia Siderúrgica Nacional (CSN); Anglo Gold Ashanti; Samarco; Usiminas; Votorantim; Arcelor Mittal; Mineração Curimbaba; V & M Mineração e Cia. Brasileira de Alumínio (CBA); Kinross; Jaguar Mining; CBMM; Alcoa e MMX. A Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) é o maior complexo minero-industrial de nióbio de todo o mundo, com sua produção em Araxá. O nióbio produzido em Araxá responde por 75% de toda a produção mundial (FAUSTO, 2013).

A grande extensão territorial do Brasil, em seus 8,5 milhões de km<sup>2</sup> e sua diversidade de estrutura geológica confere-lhe uma variedade de recursos minerais. Por ter retorno financeiro garantido, a indústria de mineração no Brasil atrai investimentos. Atualmente, a mineração brasileira produz e comercializa para todo o tipo de indústria, perfazendo um montante de 72 substâncias minerais, sendo que 23

são metálicas, 4 tipos de combustíveis, e 45 não metálicas. Originam atualmente um montante de 8.400 minas, entre as quais 236 são de grande porte com potencial de exploração de 1 milhão de t/ano; 1.233 de médio porte com produção entre 100 mil e 1 milhão t/ano; 2.815 são pequeno porte com produção entre 100 mil e t/ano e acima de 10 mil t/ano; 4.116 são micro, com produção inferior a 10 t/ano (IBRAM, 2015).

Segundo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), a palavra mineração deriva do latim medieval mineralium, a partir da ação de cavar minas criou-se o verbo minar no século XVI, devido ao fato de escavar fossos ao entorno das fortalezas durante a Idade Média com o objetivo de ruir adotou-se o termo “mina” para designar explosivos militares. A associação de ambos os termos “escavar” e “minas” deu origem a palavra mineração, uma vez que a escavação das minas ocorre com o auxílio de explosivos (SANTOS et al., 2007)

Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), a mão de obra empregada nesse setor apresenta grande expressão, em 2011, alcançaram 165 mil trabalhadores. Um estudo realizado pela Secretaria Nacional de Geologia, Mineração e Transporte do Ministério de Minas de Energia declarou que a geração de emprego para cada setor da indústria mineral é de 1:13, portanto considera-se que, para cada posto de trabalho da mineração, são criadas 13 outras vagas diretas ao longo da cadeia produtiva, além de empregos indiretos, totalizando cerca de 2,1 milhões de trabalhadores diretos, sem considerar a fase de prospecção e pesquisa (DNPM, 2011).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), em 2015, houve uma evolução da produção mineral brasileira tanto no crescimento quanto na diversificação e exploração de seus recursos minerais, dos quais em 2014 foram US\$40 bilhões, com recordes na produção de minério de ferro, bauxita, alumínio primário, níquel entre outros.

As exportações do setor de minério e concentrados foram responsáveis pela agregação de 232 bilhões de dólares no conjunto de reservas cambiais. O mineral que liderou foi o minério de ferro, seguido pelo ouro. Desse conjunto perfaz-se um montante de 34.255,4 milhões de dólares. No que diz respeito às importações, o Brasil mais importou potássio (US\$ 2.934,20), seguido pelo carvão (US\$ 2.733,60), perfazendo um total de todos os produtos importado de 7897,1 milhões de dólares, tendo um saldo mineral de US\$ 26.358,30 (Aliceweb, 2015).

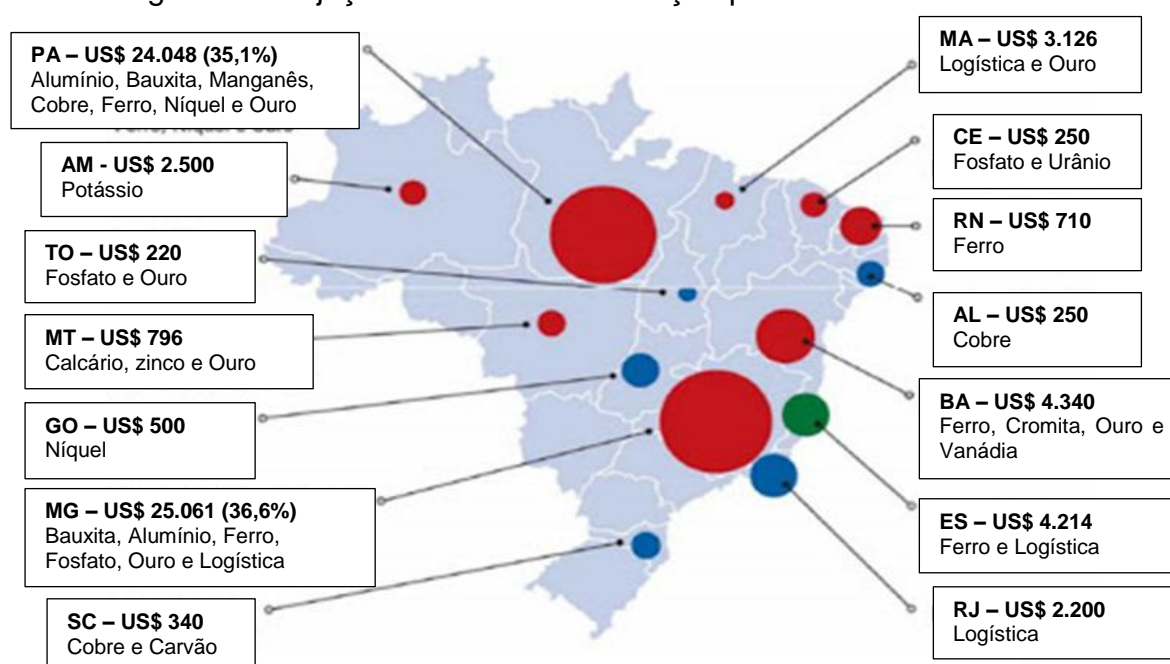
Segundo a Secretaria do Comércio Exterior (SECEX) do Ministério do

Desenvolvimento da Indústria e do Comércio Exterior, em 2014, o minério de ferro liderou as exportações dos produtos básicos e representou 11,47% desses. No entanto, desde 2009, a liderança foi assumida pela Austrália (SECEX, 2015).

Muitos países com crescimento expressivo de produção e consumo apresentam tendência de crescimento, tais como China, Índia, Japão, Rússia e Brasil. Isto demanda investimentos em infraestrutura, em habitação, novos padrões de consumo (automóveis), o que demonstra a carência de infraestrutura, que requererá muito aço. Por exemplo, a China está com a sua maior mina de ferro produzindo 10 milhões de toneladas por ano. É um minério caro, com infraestrutura complicada, devido ao fato de que os chineses estão lavrando esse minério com teores cada vez mais baixos e custo de produção muito elevado. Atualmente, os 10 países que mais investem em pesquisas do setor de mineração são: África do Sul e Brasil 3%, China 4%, Chile, México e Rússia correspondem a 5%, Estados Unidos 6%, Peru 7%, Austrália 13% e Canadá 16% (IBRAM, 2015)

Os maiores investimentos nesse setor concentram-se nas indústrias privadas, com estimativa para 2014 a 2018 no valor de 53,6 bilhões de dólares. Os estados que mais têm investimentos são Minas Gerais e Pará, conforme exposto na Figura 1 está apresentada a projeção do setor de mineração para o Brasil (IBRAM, 2011).

Figura 1 - Projeção do setor de mineração para o território brasileiro



Fonte: IBRAM, 2011.

A produção minérios no Brasil é bastante diversificada, em 2010 foram produzidas mais de 70 substâncias minerais. Embora seja autossuficiente para a maior parte das substâncias, o país é dependente das importações de vanádio, molibdênio, potássio, enxofre, fosfato e carvão metalúrgico. Apesar do produto de bens minerais primários representarem uma parcela reduzida do PIB, ele tem um elevado efeito multiplicador na economia, provocando um círculo virtuoso na geração de emprego e renda (IBRAM, 2015).

O intercâmbio comercial de produtos de origem mineral pelo Brasil envolve mais de 200 países. Nas exportações o minério de ferro gerou receita de US\$ 30,8 bilhões, representando 15,3% do valor total exportado. Porém, mesmo com toda a arrecadação oriunda da produção mineral.

### 3.1 PROCESSO DE LAVRA

A seleção do processo de extração ou método de lavra é um dos principais elementos em qualquer análise econômica e sua escolha permite o desenvolvimento da operação de forma mais segura e econômica. Quanto ao desmonte do minério, pode ser feito por meio mecânico ou com recursos de explosivos (MACÊDO et al, 2001).

A atividade de mineração é praticada em todo o mundo e as técnicas de extração estão em constante evolução. Pode haver mais de 300 métodos de lavra, dos quais dez são mais comuns e desses ocorrem três métodos mais utilizados devido à disponibilidade e desenvolvimento dos equipamentos assim como os fatores que influenciam nessa seleção além dos aspectos tecnológicos, sociais, econômicos e políticos, (MACÊDO, 2001). A seleção do método de lavra pode ser dividida em duas fases:

- Avaliação, das condições geológicas, ambientais e sociais a fim de eliminar outros métodos que não estejam de acordo com o planejamento da mina.
- Escolha de um método com menor custo e garantia de maior segurança.

Existem três tipos de métodos de lavra mais frequentes: A céu aberto; subterrânea e por dissolução. As variáveis que podem influenciar no método de lavra, são:

- Propriedades físicas da rocha e do minério;

- Dimensão do corpo mineral;
- Teor do minério;
- Competência da rocha;
- Recuperação e diluição;
- Escala de produção;
- Custo da infraestrutura e operacionais;
- Investimentos.

### 3.2 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DE LAVRA

Segundo o Código de Mineração, no Cap.III da Lavra Art.36:

“Entende-se por lavra o conjunto de operações coordenadas objetivando o aproveitamento da jazida desde a extração de substâncias minerais uteis que contiver até o beneficiamento das mesmas”.

Tal processo é normatizado de acordo com os seguintes artigos:

Art. 37 - Na outorga da lavra, serão observadas as seguintes condições:

I - A jazida deverá estar pesquisada, com o Relatório aprovado pelo DNPM;  
II - A área de lavra será a adequada à condução técnico-econômico dos trabalhos de extração e beneficiamento, respeitados os limites da área de pesquisa.

Parágrafo Único - Não haverá restrições quanto ao número de concessões outorgadas a uma mesma Empresa.

Art. 38 - O requerimento de autorização de lavra será dirigido ao Ministro de Minas e Energia, pelo titular da autorização de pesquisa, ou seu sucessor, e deverá ser instruído com os seguintes elementos de informação e prova:

I - certidão de registro no Departamento Nacional de Registro do Comércio, da entidade constituída;

II - designação das substâncias minerais a lavar, com indicação do Alvará de Pesquisa outorgado, e de aprovação do respectivo Relatório;

III - denominação e descrição da localização do campo pretendido para a lavra, relacionando-o, com precisão e clareza, aos vales dos rios ou córregos, constantes de mapas ou plantas de notória autenticidade e precisão, e estradas de ferro e rodovias, ou, ainda, a marcos natural ou acidentes topográficos de inconfundível determinação; suas confrontações com autorização de pesquisa e concessões de lavra vizinhas, se as houver, e indicação do Distrito, Município, Comarca e Estado, e, ainda, nome e residência dos proprietários do solo ou posseiros;

IV - definição gráfica da área pretendida, delimitada por figura geométrica formada, obrigatoriamente, por segmentos de retas com orientação Norte-Sul e Leste-Oeste verdadeiros, com 2 (dois) de seus vértices, ou excepcionalmente 1 (um), amarrados a ponto fixo e inconfundível do terreno, sendo os vetores de amarração definidos por seus comprimentos e rumos verdadeiros, e configuradas, ainda, as propriedades territoriais por ela interessadas, com os nomes dos respectivos superficiários, além de planta de situação;



V - servidões de que deverá gozar a mina;

VI - plano de aproveitamento econômico da jazida, com descrição das instalações de beneficiamento;

VII- prova de disponibilidade de fundos ou da existência de compromissos de financiamento, necessários para execução do plano de aproveitamento econômico e operação da mina.

Parágrafo Único - Quando tiver por objeto área situada na faixa de fronteira, a concessão de lavra fica sujeita aos critérios e condições estabelecidas em lei.

Art. 39 - O plano de aproveitamento econômico da jazida será apresentado em duas vias e constará de:

I - Memorial explicativo;

II - Projetos ou anteprojetos referentes:

a) ao método de mineração a ser adotado, fazendo referência à escala de produção prevista inicialmente e à sua projeção;

b) à iluminação, ventilação, transporte, sinalização e segurança do trabalho, quando se tratar de lavra subterrânea;

c) ao transporte na superfície e ao beneficiamento e aglomeração do minério;

d) às instalações de energia, de abastecimento de água e condicionamento de ar;

e) à higiene da mina e dos respectivos trabalhos;

f) às moradias e suas condições de habitabilidade para todos os que residem no local da mineração;

g) às instalações de captação e proteção das fontes, adução, distribuição e utilização de água, para as jazidas da Classe VIII.

Art. 40 - O dimensionamento das instalações e equipamentos previstos no plano de aproveitamento econômico da jazida, deverá ser condizente com a produção justificada no Memorial Explicativo, e apresentar previsão das ampliações futuras.

Art. 41 - O requerimento será numerado e registrado cronologicamente, no DNPM, por processo mecânico, sendo juntado ao processo que autorizou a respectiva pesquisa.

§ 1º - Ao interessado será fornecido recibo com as indicações do protocolo e menção dos documentos apresentados.

§ 2º - Quando necessário cumprimento de exigências para melhor instrução do processo, terá o requerente o prazo de 60 (sessenta) dias para satisfazê-las.

§ 3º - Poderá esse prazo ser prorrogado até igual período, a juízo do Diretor-Geral do DNPM, desde que requerido dentro do prazo concedido para cumprimento das exigências.

§ 4º. Se o requerente deixar de atender, no prazo próprio, as exigências formuladas para melhor instrução do processo, o pedido será indeferido, devendo o DNPM declarar a disponibilidade da área, para fins de requerimento de concessão de lavra, na forma do art. 32.

Art. 42 - A autorização será recusada, se a lavra for considerada prejudicial ao bem público ou comprometer interesses que superem a utilidade da exploração industrial, a juízo do Governo. Neste último caso, o pesquisador terá direito de receber do Governo a indenização das despesas feitas com os trabalhos de pesquisa, uma vez que haja sido aprovado o Relatório.

Art. 43 - A concessão de lavra terá por título uma portaria assinada pelo Ministro de Estado de Minas e Energia.

Art. 44 - O titular da concessão de lavra requererá ao DNPM a Posse da Jazida, dentro de noventa dias a contar da data da publicação da respectiva

portaria no Diário Oficial da União.

Parágrafo Único. O titular pagará uma taxa de emolumentos correspondente a quinhentas UFIR.

Art. 45 - A Imissão de Posse processar-se-á de modo seguinte:

I - serão intimados, por meio de ofício ou telegrama, os concessionários das minas limítrofes se as houver, com 8 (oito) dias de antecedência, para que, por si ou seus representantes possam presenciar o ato, e, em especial, assistir à demarcação; e,

II - no dia e hora determinados, será fixado, definitivamente, o marco dos limites da jazida que o concessionário terá para esse fim preparado, colocados precisamente nos pontos indicados no Decreto de Concessão, dando-se em seguida, ao concessionário, a Posse da jazida.

§ 1º - Do que ocorrer, o representante do DNPM lavrará termo, que assinará com o titular da lavra, testemunhas e concessionários das minas limítrofes, presentes ao ato.

§ 2º - Os marcos deverão ser conservados bem visíveis e só poderão ser mudados com autorização expressa do DNPM.

Art. 46 - Caberá recurso ao Ministro de Minas e Energia contra a Imissão de Posse, dentro de 15 (quinze) dias, contados da data do ato de imissão.

Parágrafo Único - O recurso, se provido, anulará a Imissão de Posse.

Art. 47 - Ficará obrigado o titular da concessão, além das condições gerais que constam deste Código, ainda, às seguintes, sob pena de sanções previstas no Capítulo V:

I - Iniciar os trabalhos previstos no plano de lavra, dentro do prazo de 6 (seis) meses, contados da data da publicação do Decreto de Concessão no Diário Oficial da União, salvo motivo de força maior, a juízo do DNPM.;

II - Lavrar a jazida de acordo com o plano de lavra aprovado pelo DNPM., e cuja segunda via, devidamente autenticada, deverá ser mantida no local da mina;

III - Extrair somente as substâncias minerais indicadas no Decreto de Concessão;

IV - Comunicar imediatamente ao DNPM. O descobrimento de qualquer outra substância mineral não incluída no Decreto de Concessão;

V - Executar os trabalhos de mineração com observância das normas regulamentares;

VI - Confiar, obrigatoriamente, a direção dos trabalhos de lavra a técnico legalmente habilitado ao exercício da profissão;

VII - Não dificultar ou impossibilitar, por lavra ambiciosa, o aproveitamento ulterior da jazida;

VIII - Responder pelos danos e prejuízos a terceiros, que resultarem, direta ou indiretamente, da lavra;

IX - Promover a segurança e a salubridade das habitações existentes no local;

X - Evitar o extravio das águas e drenar as que possam ocasionar danos e prejuízos aos vizinhos;

XI - Evitar poluição do ar, ou da água, que possa resultar dos trabalhos de mineração;

XII - Proteger e conservar as Fontes, bem como utilizar as águas segundo os preceitos técnicos quando se tratar de lavra de jazida da Classe VIII;

XIII - Tomar as providências indicadas pela Fiscalização dos órgãos Federais;

XIV - Não suspender os trabalhos de lavra, sem prévia comunicação ao DNPM;

XV - Manter a mina em bom estado, no caso de suspensão temporária dos trabalhos de lavra, de modo a permitir a retomada das operações;

XVI - Apresentar ao Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM.

até o dia 15 (quinze) de março de cada ano, relatório das atividades realizadas no ano anterior.

Parágrafo Único - Para o aproveitamento, pelo concessionário de lavra, de substâncias referidas no item IV deste artigo, será necessário aditamento ao seu título de lavra.

Art. 48 - Considera-se ambiciosa, a lavra conduzida sem observância do plano preestabelecido, ou efetuada de modo a impossibilitar o ulterior aproveitamento econômico da jazida.

Art. 49 - Os trabalhos de lavra, uma vez iniciados, não poderão ser interrompidos por mais de 6 (seis) meses consecutivos, salvo motivo comprovado de força maior.

Art. 50 - O Relatório Anual das atividades realizadas no ano anterior deverá conter, entre outros, dados sobre os seguintes tópicos:

I - Método de lavra, transporte e distribuição no mercado consumidor, das substâncias minerais extraídas;

II - Modificações verificadas nas reservas, características das substâncias minerais produzidas, inclusive o teor mínimo economicamente compensador e a relação observada entre a substância útil e o estéril;

III - Quadro mensal, em que figurem, pelo menos, os elementos de: produção, estoque, preço médio de venda, destino do produto bruto e do beneficiado, recolhimento do Imposto Único e o pagamento do Dízimo do proprietário;

IV - Número de trabalhadores da mina e do beneficiamento;

V - Investimentos feitos na mina e nos trabalhos de pesquisa;

VI - Balanço anual da Empresa.

Art. 51 - Quando o melhor conhecimento da jazida obtido durante os trabalhos de lavra justificar mudanças no plano de aproveitamento econômico, ou as condições do mercado exigir modificações na escala de produção, deverá o concessionário propor as necessárias alterações ao DNPM, para exame e eventual aprovação do novo plano.

Art. 52 - A lavra, praticada em desacordo com o plano aprovado pelo DNPM, sujeita o concessionário a sanções que podem ir gradativamente da advertência à caducidade.

Art. 53 - A critério do DNPM., várias concessões de lavra de um mesmo titular e da mesma substância mineral, em áreas de um mesmo jazimento ou zona mineralizada, poderão ser reunidas em uma só unidade de mineração, sob a denominação de Grupamento Mineiro.

Parágrafo Único - O concessionário de um Grupamento Mineiro, a juízo do DNPM, poderá concentrar as atividades da lavra em uma ou algumas das concessões agrupadas contanto que a intensidade da lavra seja compatível com a importância da reserva total das jazidas agrupadas.

Art. 54 - Em zona que tenha sido declarada Reserva Nacional de determinada substância mineral, o Governo poderá autorizar a pesquisa ou lavra de outra substância mineral, sempre que os trabalhos relativos à autorização solicitada forem compatíveis e independentes dos referentes à substância da Reserva e mediante condições especiais, de conformidade com os interesses da União e da economia nacional.

Parágrafo Único - As disposições deste artigo aplicam-se também a áreas específicas que estiverem sendo objeto de pesquisa ou de lavra sob regime de monopólio.

Art. 55 - Subsistirá a Concessão, quanto aos direitos, obrigações, limitações e efeitos dela decorrentes, quando o concessionário a alienar ou gravar na forma da lei.

§ 1º - Os atos de alienação ou oneração só terão validade depois de averbados no DNPM.

§ 2º - A concessão de lavra somente é transmissível a quem for capaz de exercê-la de acordo com as disposições deste Código.

§ 3º - As dívidas e gravames constituídos sobre a concessão resolvem-se com extinção desta, ressalvada a ação pessoal contra o devedor.

§ 4º - Os credores não têm ação alguma contra o novo titular da concessão extinta, salvo se esta, por qualquer motivo, voltar ao domínio do primitivo concessionário devedor.

Art. 56 - A concessão de lavra poderá ser desmembrada em duas ou mais concessões distintas, a juízo do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM., se o fracionamento não comprometer o racional aproveitamento da jazida e desde que evidenciadas a viabilidade técnica, a economicidade do aproveitamento autônomo das unidades mineiras resultantes e o incremento da produção da jazida.

Parágrafo Único - O desmembramento será pleiteado pelo concessionário, conjuntamente com os pretendentes às novas concessões, se for o caso, em requerimento dirigido ao Ministro de Minas e Energia, entregue mediante recibo no Protocolo do DNPM, onde será mecanicamente numerado e registrado, devendo conter, além de memorial justificativo, os elementos de instrução referidos no artigo 38 deste Código, relativamente a cada uma das concessões propostas.

Art. 57 - No curso de qualquer medida judicial não poderá haver embargo ou sequestro que resulte em interrupção dos trabalhos de lavra.

Art. 58 - Poderá o titular da portaria de Concessão de Lavra, mediante requerimento justificado ao Ministro de Estado de Minas e Energia, obter a suspensão temporária da lavra, ou comunicar a renúncia ao seu título.

§ 1º - Em ambos os casos, o requerimento será acompanhado de um relatório dos trabalhos efetuados e do estado da mina, e suas possibilidades futuras.

§ 2º - Somente após verificação "in loco" por um de seus técnicos, emitirá o DNPM. Parecer conclusivo para decisão do Ministro de Minas e Energia.

§ 3º - Não aceitas as razões da suspensão dos trabalhos, ou efetivada a renúncia, caberá ao DNPM. Sugerir ao Ministro de Minas e Energia medidas que se fizerem necessárias à continuação dos trabalhos e a aplicação de sanções se for o caso.

### 3.3 LAVRA A CÉU ABERTO

Segundo Girodo (2005), a lavra a céu aberto nada mais é do que uma escavação ampla da superfície do terreno com a finalidade de retirar minerais metálicos e não metálicos em qualquer tipo de rocha. A lavra a céu aberto pode ser realizada desde raspagens superficiais nos terrenos ou até enormes escavações com centenas de metros adentro do terreno, podendo ocupar desde centenas de metros até centenas de quilômetros na superfície do terreno.

Nesse tipo de escavação, os serviços podem ser realizados manualmente com pás e picaretas até equipamentos de grande porte (REDAELLI E CERELLO, 1998). Devido ao desenvolvimento da capacidade e do poder de escavação dos equipamentos, nos últimos anos a necessidade de desmonte através de dinamites

vem se reduzindo, mas ainda é amplamente utilizada. A lavra a céu aberto também possibilita ampla flexibilidade na produção, na qual inclui a habilidade de se extrair 100% o minério existente no corte. Tal extração é realizada até o momento em que a relação estéril/minério suba consideravelmente; tornando-se, então, inviável (GIRODO, 2005).

O método de lavra a céu aberto corresponde a 70% da produção atual, justificando-se tanto pela economia quanto pela tecnologia empregada, quando são identificados depósitos de rochas ou minerais com viabilidade de comercialização e os quais estão em profundidade relativamente pequena em relação à superfície.

Na lavra a céu aberto, normalmente, exploram as jazidas até a exaustão dos recursos minerais, ou quando o volume produzido se torna economicamente inviável. De acordo com Macêdo et al. (2001), o mergulho do corpo mineral é um fator importante que influencia tanto no método, como nas escolhas dos equipamentos. Pode ser definido como:

- Suave (horizontal a 20°);
- Médio (20° a 50°);
- Íngreme (50° a vertical).

A espessura do depósito também permite a exclusão de determinados métodos, sendo estes determinados como: estreito (<10m), intermediário (10m a 30m), espesso (30m a 100m), muito espesso (> 100m).

Outros fatores que influenciam no método de lavra e o condicionamento das características dos metais são: teor; distribuição espacial e a presença de água superficial ou subterrânea, caso haja lagos ou rios que cobrem o corpo do minério. O método de lavra a céu aberto deve ser desconsiderado, no entanto, caso haja a presença de água fluindo da mina. Se houver a drenagem da área ainda se pode considerar a lavra a céu aberto, desde que observados cuidados suplementares com o tratamento dessa água, para não ocorrer à poluição do meio ambiente. (MACEDO et al., 2001).

Quanto às considerações geotécnicas, objetiva a avaliação prevendo o comportamento do terreno quanto às escavações a serem executadas e como elas afetarão a segurança do projeto (SOUZA et al., 1998).

No que diz respeito às considerações ambientais, o impacto ambiental ocorre principalmente na fase de lavra, cujos efeitos durante a abertura da cava podem ser percebidos tais como supressão vegetal, escavação, mudança no visual,

movimentação de massa, uso de explosivo, ruídos, poeiras entre outras. Devido a essas questões ambientais o método de lavra a ser escolhido deve estar adequado à legislação do país onde o empreendimento está sendo implementado (SILVA, 2008).

Assim como na lavra em céu aberto, na lavra subterrânea há vários fatores que devem ser analisados para efetuar a escolha desse método, dentre eles destaca-se a viabilidade econômica, condições técnicas, configurações das minas, equipamentos e mão de obra. Torna-se imprescindível nas minas subterrâneas o conhecimento sobre o comportamento das rochas encaixantes e do minério, pois quanto mais resistentes forem as rochas encaixantes, menos suportes artificiais serão necessários, obtendo assim uma mais rápida e recuperação do minério. Na Figura 2 está apresentada a extração de ferro a céu aberto em Carajás-PA.

Figura 2 - Extração a céu aberto da Mina de ferro em Carajás-PA

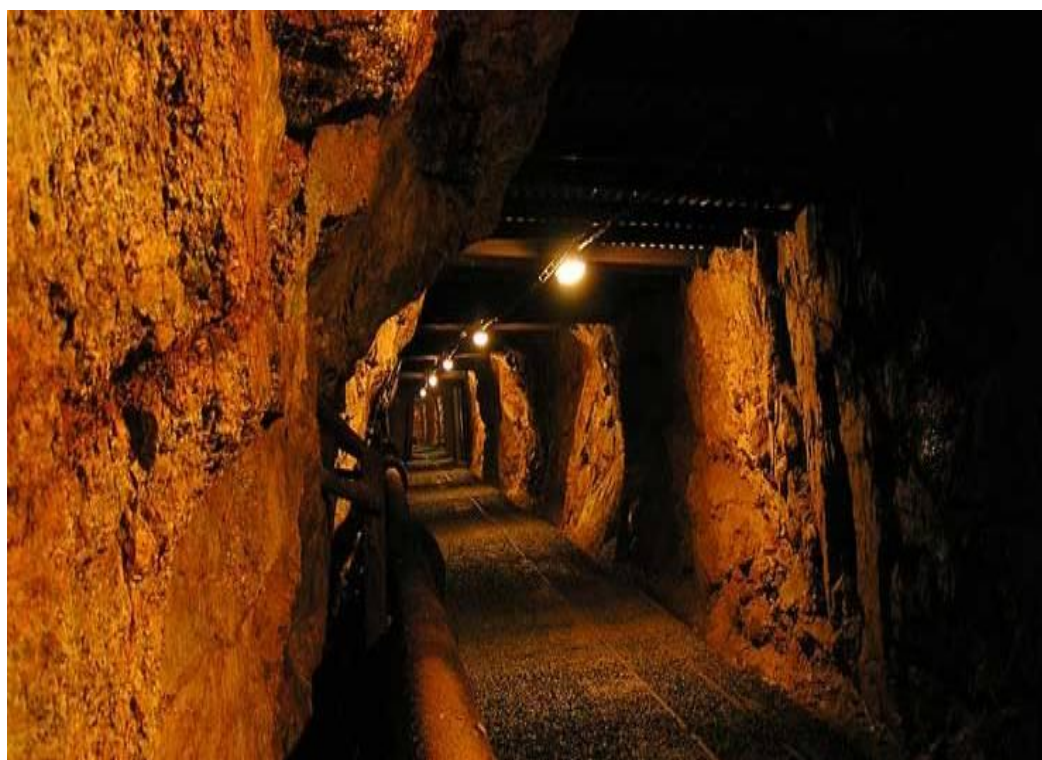


Fonte: Luiz Jardim (2015).

### 3.4 LAVRA SUBTERRÂNEA

São diversos os tipos de escavações realizadas em uma mina subterrânea, sendo: poços, túneis, rampas, galerias, subidas e passagens. O escoamento do material fragmentado por gravidade ocorre nas passagens ou caídas e nos silos escavados em rochas. As passagens são escavações inclinadas ou verticais denominadas de acordo com função do material a ser transferido como passagem do minério, do estéril e do material de preenchimento. As passagens das lavras podem ser escavadas nas rochas as e construídas em lances à medida que a lavra avança através dos tubos ou quadrados. Sua dimensão varia entre 1m a 3m no Brasil, no exterior pode variar 1,5m a 9m, com espaçamento de 5m a 15m, que variam conforme o método da lavra, e com comprimento de 18m a 180m (BEUS et al., 2001) Na Figura 3, está apresentada uma ilustração de passagem de uma mina subterrânea.

Figura 3 - Passagem de minério extraído por lavra subterrânea.



Fonte: Lopes, 2015.

As passagens são uma forma primitiva de transferir o minério da lavra de forma vertical para estocagem e, posteriormente, seu transporte à superfície. Os



elementos do sistema de passagem estão no nível da mina, as estruturas estão na porção superior da passagem (ponto de carregamento), na passagem propriamente dita e nas estruturas de base da passagem está o chute de descarga e suporte. Nem sempre as passagens apresentam todos os elementos e muitas vezes estes podem até se confundir. O ponto de carregamento é onde o minério é extraído. Desse ponto, o minério é transportado para a gaveta, onde o material é lançado na passagem. Quando as passagens são usadas para estocagem temporária de minério, suas extremidades inferiores são fechadas por um portão radial denominado por alguns autores de “chute”. Para, essa denominação é apenas para o dispositivo de controle de descarga (bica) (STACEY e SWART, 1997).

### 3.5 LAVRA POR DISSOLUÇÃO

O método de lavra por dissolução é muito empregado na região Nordeste do Brasil, onde é utilizado para a extração de salgema, encontrado nos sedimentos perfurados pela Petrobrás, na pesquisa de petróleo. A partir de poços de 1200m de profundidade e 6” de diâmetro, injeta-se água doce, que dissolve o sal numa área de influência de 160 m, trazendo a solução com 25% de salinidade e transportando para as plantas de evaporação, distantes cerca de 60 km. As duas operações produzem 700.000 e 2.000.000 toneladas por ano. As tecnologias são muito fechadas, havendo possibilidade potencial de se aplicar o método para a lavra dos depósitos de potássio de Nova Olinda-AM (ESPÓSITO, 2000).

A lavra por dissolução também pode ser considerada uma operação subterrânea, preferiu-se mencioná-la juntamente com os métodos a céu aberto, por ser feita a partir da superfície.

Na extração do bem mineral, são produzidos rejeitos, que são considerados de pouco valor comercial. Os rejeitos são resultantes do processo do beneficiamento do minério visando extrair o elemento de interesse econômico. Nos processos empregados para estabelecer o tamanho dos fragmentos, remover minerais agregados sem valor econômico e aumentar a qualidade ou o teor do produto final podem ser encontrados rejeitos com várias características geotécnicas, físicas, químicas e mineralógicas diferenciadas. Quando eles são de granulometria fina, são chamados de lama, quando de granulometria grossa acima de 0,074mm, são denominados rejeitos granulares. Seu descarte pode ocorrer em forma de granel ou



em forma de polpa (ESPÓSITO, 2000).

A disposição dos rejeitos pode ser em minas subterrâneas, em cavas hauridas de minas, por empilhamento a seco (dry stacking) ou por disposição em barragens de contenção de rejeito. Estas últimas são as preferidas e podem ser construídas utilizando solos, estéreis da própria mineração ou o próprio rejeito.

Segundo os ordenamentos jurídicos ABNT NBR 13028 (2006); ABNT 13029 (2006), estéreis são minérios com pouco ou nenhum mineral útil. Referem-se aos acompanhantes de minério, que não têm aplicação econômica, solo ou rocha em que o minério está ausente ou presente em teores muito baixos para ser aproveitado economicamente. Após 2010, os requisitos legais e normativos estabelecidos para a prática da disposição dos estéreis auxiliaram a adoção de critérios técnicos de segurança e a prevenção de riscos de impactos ambientais para os projetos desses depósitos, colaborando para a introdução de critérios geotécnicos de prevenção e controle desses depósitos em seu fechamento para a recuperação das áreas em que estes se encontram.

### 3.6 LEGISLAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO DE BARRAGEM DE REJEITO DE MINERAÇÃO NO CENÁRIO INTERNACIONAL

As legislações que normatizam as barragens de contenção de rejeito, seus métodos e padronização são definidas conforme o critério de cada país, de acordo com as características locais e seu histórico de desenvolvimento. Os Estados Unidos e a Austrália apresentam legislações específicas para a barragem de contenção de rejeito; enquanto outros países, como Portugal, Espanha e França, possuem sistema legislativo mais avançado e até mesmo a classificação quantitativa de risco, de acordo com as características de cada barragem de rejeito.

A forma de regulamentação pode ser focal ou difocal, em alguns países, como a Alemanha, a legislação para a segurança de barragens é específica, enquanto na Eslovênia a segurança dessas estruturas é mais geral, combinando a geração de energia, recursos naturais e contenção de água (BRADLOW, 2002).

A operação dessas barragens fica a cargo da própria empresa de segurança, supervisionada pelo Poder Público; por isso a segurança das barragens fica em segundo plano, pelo fato de que as autoridades voltam seu trabalho para a avaliação de outros aspectos, tais como: avaliação da produção; meio ambiente;

segurança do trabalho; dentre outros.

A legislação deve ser flexível e suficiente para acondicionar as variações físicas, técnicas e considerações sociais de diferentes áreas. O ideal deveria ser que a regulamentação de uma estrutura pudesse não só acomodar mudanças futuras, como o conhecimento técnico e o crescimento esperado da comunidade, deve também antecipar as mudanças potenciais e os perigos ao invés de somente reduzir os eventos inaceitáveis depois de ocorrido (GOLDER, 1999).

Segundo ICOLD (2001), os critérios que embasam a regulamentação para as barragens são:

- Altura (com relação ao nível da terra ou da fundação);
- Nível da água;
- Volume do reservatório;
- Mapa de inundação;
- Comprimento da crista.

Não existe um padrão para a classificação de risco, cada país faz uso de seus próprios critérios de acordo com suas particularidades, considerando valores a partir dos quais a barragem possa estar sujeita a essa legislação, um exemplo é a Suíça, que considera  $H \geq 10$  m e  $V \geq 50.000$  m<sup>3</sup>. Ao final da década de 1990 a legislação e elaboração de normas mais rígidas para que as barragens tornem-se mais estruturadas, para garantir a proteção de populações situadas a jusante, considerando:

- Probabilidade de ruptura independente de sua ocorrência ou não;
- Produção de mapas das áreas de inundação nos períodos de cheias, onde possa a vir ocorrer acidentes;
- Elaboração de planos de evacuação das áreas de risco;
- Implantação de um sistema de alarme e avisos eficazes;
- Planos de emergência com a participação de autoridade locais e da população da área ao entorno a mineradora;
- Controle da população da área de risco.

Uma das razões para a evolução de acidentes com barragens ocorre devido ao envelhecimento das barragens, às alterações hidrológicas, às cheias excedendo a capacidade da vazão de segurança além das alterações climáticas globais, que aumentam o risco de acidentes.

O estudo sobre a legislação de segurança de barragens em âmbito mundial

encontra algumas dificuldades devido aos seguintes itens:

- A legislação sobre barragens pode estar incluída em legislação referente a contextos mais vastos, como, por exemplo, infraestruturas hidráulicas;
- A legislação sobre barragens pode remeter para outros textos legais;
- A legislação pode ser de tipos diferentes (puramente administrativa ou técnico administrativa) e apresentar graus de pormenorização diversos;
- O "peso" jurídico da legislação pode ser diverso: em Portugal, por exemplo, há regulamentos e normas, enquanto que no Canadá há orientações (guidelines) que não são estritamente obrigatórias;
- Pode haver legislação distinta conforme a dimensão da barragem;
- Acompanhamento das atualizações da legislação e qual nível a legislação está sendo aplicada.

A legislação de alguns países sobre barragens convencionais e barragem de contenção de rejeito.

Na Europa, uma das soluções para vários problemas relacionados à segurança das barragens e a diferença na legislação e regulamentação entre os países membros da União Europeia, porém, na maioria dos países, as barragens de contenção de rejeito permanecem fora das regulamentações em relação às barragens convencionais.

Quanto aos resíduos da indústria mineral, a União Europeia (EU) ainda não possui regulamentação própria, entretanto, ocorre um desenvolvimento gradativo das legislações pertinente a essa questão. Porém, os membros da EU têm sua própria legislação sobre a mineração e o meio ambiente e é aplicável ao gerenciamento das barragens de contenção de rejeito (DELLIOU, 2001).

Após o acidente da Baía Maré (Roménia) e Azcollar (Espanha), devido a poluição causada por esses acidentes, a UE comunicou a “Operação de Segurança das atividades de mineração”, levantando três elementos chaves visando o aumento da segurança no controle dos acidentes de grandes proporções envolvendo substancias perigosas, para concluir em seu escopo os reservatórios de barragens de contenção de rejeito; a criação de um Departamento de Referência denominado Best Available Tchnic (BAT) com o objetivo de reduzir a poluição diária e prevenir ou mitigar acidentes com mineração; e a proposta de uma Diretiva de Mineração.

O objetivo desta iniciativa foi a melhoria no gerenciamento de risco através do levantamento dos riscos ao meio ambiente durante a fase de disposição dos

resíduos e, principalmente, a segurança das barragens, incluindo a drenagem ácida e possível contaminação do meio ambiente (DELLIOU, 2001).

Na Austrália, o Departamento de Minerais e Energia da Austrália (DME) disponibilizou orientações que auxiliam na execução de projetos e na construção ao descomissionamento de barragem de contenção de rejeito, visando alcançar eficiência, custo eficaz segurança e resultados ambientais aceitáveis. Essas orientações procuram fornecer uma abordagem comum ao projeto, à construção, à operação, à reabilitação segura, além de um método de classificação adequada à circunstância de operações normais e anormais (AUSTRÁLIAN EPA, 1995).

Os guias visam o desejo das indústrias de mineração em seguir em direção ao autogerenciamento, através de um certificado de conformidade para os projetos de construção de barragens, e abordam um planejamento de estrutura de contenção de rejeito mais completo. Uma questão crítica é a reabilitação final de uma barragem e a administração da disposição dos rejeitos, durante a fase de operação; já que sem a disposição sistemática dos rejeitos, gestão da água, a reabilitação final ficaria onerosa em um momento em que a empresa estaria com o capital para investimento limitado ou inexistente. Segundo Duarte (2008), essa situação pode ser atenuada com o planejamento adequado, associado à uma boa gestão dos resíduos e o adiantamento do uso de técnicas sadias durante o ciclo da vida da instalação.

Nos Estados Unidos da América (EUA), as regulamentações não descrevem práticas de gerenciamento para as indústrias, separadamente de requerimentos básicos, como: requerimento de um programa de inspeção de barragens, requerimento de relatórios anuais e manuais de operação. Em termos de aspectos ambientais, (qualidade da água, por exemplo), a legislação é prescritiva. As próprias companhias de mineração, apoiadas pelos seus construtores e projetistas, são mais bem qualificadas para projetar programas de gerenciamento para suas estruturas em particular. Uma tentativa dos legisladores de impôr um "código de gerenciamento" uniforme não teve sucesso, porque cada companhia mineradora, e cada barragem de contenção de rejeitos têm seus próprios requerimentos, recursos, problemas e condições específicas do local. No gerenciamento de organizações específicas, aspectos não podem ser efetivamente regulados, por isso é que a legislação EUA exige um alto grau de autogerenciamento.

Os legisladores dos EUA e Canadá estão mostrando um aumento aceitável de projetos mais robustos e tecnologias que apresentam maior controle sobre os

rejeitos. Nos últimos anos autores estão envolvidos em muitos projetos de propostas que apresentem maiores especificações que sejam mais robustos e não tradicionais.

A ruptura da barragem de Teton, em 1977, constituiu um marco nos conceitos de segurança e risco a jusante nos EUA, o que culminou em Recomendações Federais para Segurança de Barragens as quais passaram a ser adotadas e implementadas pelas agências federais. Essas recomendações incluem, entre outras ações, a elaboração e a implementação de Planos de Ação de Emergência, com o envolvimento das autoridades e comunidades locais.

Salienta-se a relativa alta frequência de acidentes em pequenas e médias barragens de terra nos EUA, o que justificou um rigor particular nas atividades de segurança desencadeadas pelas diversas agências de licenciamento de barragens, autoridades de segurança e donos de obras, em particular o Bureau of Reclamation e o US Army Corps of Engineers. Em 1981, esta última instituição desencadeou um Programa de Inspeção Nacional em 9.000 barragens, tendo concluído que cerca de um terço estavam em condições de segurança deficientes.

No Canadá, alguns incidentes recentes em barragens de contenção de rejeitos, foram causados, em parte, pela falta de uma base de dados histórica relevante e acessível e/ou apreciação inadequada dessa base de dados (MARTIN et al. 2002).

A Associação de Barragens do Canadá atualizou orientações em segurança de barragens, incluindo recomendações a respeito das responsabilidades para a segurança, o escopo e a frequência de revisões de segurança, operação, manutenção e inspeção e também preparação para emergências. Essas orientações indicam que as barragens convencionais, de terra, para armazenamento de água ou rejeitos de mineração são, em muitos casos, similares quanto aos critérios de projeto para estabilidade.

No Canadá, "Um Guia para o Gerenciamento das Barragens de Contenção de Rejeitos" (MAC, 1998) apresenta uma estrutura de gestão da vida útil e fornece recomendações para planejamento, projeto, construção, operação, descomissionamento e fechamento para barragens de contenção de rejeitos. A estrutura é expandida em uma série de listas de verificação (check lists) que se dirigem aos vários estágios do ciclo de vida de uma barragem de contenção de rejeitos. O guia identifica seis elementos chaves para a execução eficaz da operação e da gestão da barragem: 1) Gerenciamento das Ações, 2) Responsabilidade, 3)

Medição do Desempenho, 4) Programação, 5) Considerações Técnicas e 6) Outras Referências.

Em 2003, a Associação de Mineração do Canadá lançou outro guia Desenvolvendo um Manual de Operação, Manutenção e Inspeção para estruturas de contenção de água e rejeitos a fim de não só ajudar as companhias de mineração a aplicar os sistemas de gerenciamento dos rejeitos, que incluem critérios ambientais e de segurança. A finalidade é também melhorar a consistência da aplicação de princípios sadios da engenharia e de gestão nas estruturas de contenção de água e de rejeitos em todo o seu ciclo de vida.

O Padrão Oficial Mexicano também estipula exigências para seleção de local, construção, operação e monitoramento de uma estrutura de contenção de rejeitos. De acordo com Martins (1999), essas exigências incluem:

- Estudo de impacto ambiental;
- Conformidade com as leis que governam a preservação do patrimônio histórico ou cultural;
- Garantia que não haverá percolação de lixiviados tóxicos no aquífero mais próximo ou na água superficial dentro de 300 anos;
- Aprovação de planos para monitoramento de águas subterrâneas e superficiais;
- Caracterização detalhada da estrutura geológica e das propriedades mecânicas de formações da rocha e dos depósitos do solo;
- Vistorias do local para delinear elevações e características, tais como estradas e encanamentos;
- Conformidade com padrões civis do projeto de trabalho para barragens;
- Monitoramento da instrumentação para uma estrutura de contenção de rejeitos com mais de 50 m de altura.

Na África do Sul, há uma política de autogerenciamento aplicada às minas em que exige um relatório de gestão ambiental no estágio de planejamento, além de um código de prática para os resíduos de mina, que deve ser durante o ciclo de vida do projeto, construção e operação e descomissionamento. Esse código apresenta objetivos, princípios e exigências mínimas, visando assegurar que não haja risco, problemas ou irregularidades às gerações futuras. Esse código de prática solicita que cada barragem tenha uma classificação de segurança ambiental de cada

barragem.

As barragens seguindo o código Sul Africano são classificadas como tendo um perigo de segurança elevada, médio ou baixo. Quanto ao meio ambiente, a barragem é classificada de acordo com sua extensão, duração e intensidade dos impactos espaciais e potenciais, sendo considerados como “significativos” e “não significativos”. Essa classificação determina as exigências mínimas para a investigação do projeto, construção, operação e descomissionamento de barragem.

O responsável pela regulamentação de implementação e o Departamento de Minas e Energia deverá dar atenção especial para alguns fatores que contribuam para a segurança das barragens atendendo as regulamentações normativas. Essas regulamentações ganharam força a partir de 1976, exigindo uma borda livre de 0,5m a ser mantida em todas as situações nas barragens de contenção de rejeito, com previsão de ocorrência de chuvas de cem anos sem risco de transbordamento (PENMAN, 2001).

### 3.7 LEGISLAÇÃO DE SEGURANÇA EM BARRAGENS DE MINERAÇÃO DO BRASIL

As leis que estabelecem as disposições legais para a segurança da gestão das barragens de rejeito de mineração no âmbito nacional são:

- Lei Federal nº 12.305/2010 - 02/08/2010: institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências, que apresenta o rejeito da mineração como uma categoria de resíduo (art.13, inciso I, “k”);
- Lei Federal nº 12.334/2010 - 20/09/2010: estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000;
- Ministério do Meio Ambiente - Conselho Nacional de Recursos Hídricos - Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012: estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo seu volume, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010;
- Ministério do Meio Ambiente - Conselho Nacional de Recursos Hídricos - Resolução nº 144, de 10 de julho de 2012: estabelece diretrizes para implantação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, em atendimento ao art. 20 da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que alterou o art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

- Portaria DNPM nº 416, de 03 de setembro de 2012: cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e dispõe sobre o Plano de Segurança, Revisão Periódica de Segurança e Inspeções Regulares e Especiais de Segurança das Barragens de Mineração conforme a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que dispõe sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens.

#### No âmbito do Estado de Minas Gerais:

- Deliberação Normativa COPAM nº 62, de 17 de dezembro de 2002 e da Deliberação Normativa COPAM nº 87, de 17 de junho de 2005 e Deliberação Normativa COPAM nº 124, de 09 de outubro de 2008 que dispõem sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração;
- Decreto nº 46.933, de 2 de maio de 2016: institui a Auditoria Técnica Extraordinária de Segurança de Barragem e dá outras providências;
- Resolução Conjunta SEMAD/FEAM nº 2372, de 06 de maio de 2016: estabelece diretrizes para realização da auditoria extraordinária de segurança de barragens de rejeito com alteamento para montante e para a emissão da correspondente Declaração Extraordinária de Condição de Estabilidade de que trata o Decreto nº 46.993 de 02 de maio de 2016 e dá outras providências.

#### Outros requisitos:

- ABNT NBR 13028 (2006) - Mineração - Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água.
- ABNT NBR 13029 (2006) - Mineração - Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha.

#### Outras legislações:

##### Cadastro e Classificação de Barragens Instrumentos Legais - MG

- Deliberação Normativa COPAM n.º 87, 06-09-2005:
- Dispõe sobre os critérios para classificação das barragens quanto ao potencial de dano ambiental.
- Estabelece as prerrogativas técnicas para definição da área a jusante da barragem,
- Define a periodicidade para a realização de Auditoria Técnica de mineração.

Segundo Prado Filho e Souza (2004), a avaliação de impacto ambiental (AIA) exigida para a emissão de licença prévia de empreendimentos com potencial risco de degradação ambiental, apresenta disparidade no que se refere à efetiva implantação das medidas de controle propostas no EIA/RIMAs. Tal fato foi à motivação para a realização de uma análise da implementação de medidas de controle ambiental em oito (8) mineradoras do quadrilátero ferrífero de Minas Gerais. Foram listadas 113 medidas mitigadoras propostas no EIA/RIMA e conclui-se que as



medidas são comuns entre as mineradoras e devido ao dinamismo da atividade mineraria partes destas medidas não são executadas como aprovadas no licenciamento e outras medidas ficam apenas citadas e não são executadas.

### 3.8 LEI ORGÂNICA DO MUNICÍPIO DE FORTALEZA DE MINAS-MG

#### SEÇÃO VI - DA POLÍTICA DO MEIO AMBIENTE

Art. 204 - O Município deverá atuar no sentido de assegurar a todos os cidadãos o direito ao meio ambiente ecologicamente saudável e equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à qualidade de vida.

§ Único - para assegurar efetividade a esse direito, o Município deverá articular-se com os órgãos estaduais, regionais e federais competentes e ainda, quando for o caso, com outros municípios, objetivando a solução de problemas comuns relativos à proteção ambiental.

Art.205 - O Município deverá atuar mediante planejamento, controle e fiscalização das atividades, públicas ou privadas, causadoras efetivas ou potenciais de alterações significativas no meio ambiente.

Art. 206 - O Município, ao promover a ordenação de seu território, definirá zoneamento e diretrizes gerais de ocupação que assegurem a proteção dos recursos naturais, em consonância com o disposto na legislação estadual pertinentes.

Art. 207 - A política urbana do Município e o seu plano diretor deverão contribuir para a proteção do meio ambiente, através da adoção de diretrizes adequadas de uso e ocupação do solo urbano.

Art. 208 - Nas licenças de parcelamento, loteamento e localização o Município exigirá o cumprimento da legislação de proteção ambiental emanada da União e do Estado.

Art. 209 - As empresas concessionárias o permissionárias de serviços públicos deverão atender rigorosamente aos dispositivos de proteção ambiental em vigor, sob pena de não ser renovada a concessão ou permissão pelo Município.

Art. 210 - O Município assegurará a participação das entidades representativas da comunidade no planejamento e na fiscalização de proteção ambiental, garantindo o amplo acesso dos interessados às informações sobre as fontes de poluição ambiental ao seu dispor.

### 3.9 TIPO DE BARRAGENS PARA REJEITO E ESTÉREIS DE MINERAÇÃO

Segundo Davies e Martin (2000), devido ao grande volume de rejeito gerado e ao alto custo de sua disposição, a utilização do próprio rejeito na construção das barragens de contenção é bastante atrativa, desde que observados alguns critérios, tais como:

- Separação da fração grossa e fina (as propriedades geotécnicas são

diferentes entre as frações);

- Controle dos processos de separação (granulometria);
- Utilização de sistemas de drenagens eficientes, compactação dos rejeitos (aumento da densidade e da resistência);
- Proteção superficial da barragem, dentre outras.

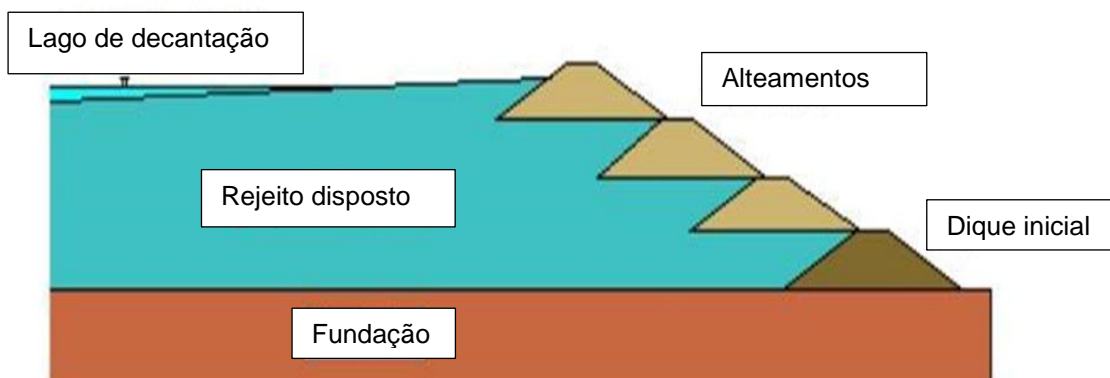
As barragens de rejeito são estruturas construídas para armazenar resíduos de mineração (fração estéril) e devem constituir uma estrutura estável junto com sua fundação, além de reter inteiramente o rejeito em seu reservatório, bem como fazer o controle da água percolante, e garantir o controle da poluição, segurança e a capacidade limite de armazenamento (ASSIS e ESPÓSITO, 1995).

A partir de um dique constituído inicialmente, as barragens passam por alteamento ao longo de sua vida útil. Elas podem ser construídas com material compactado resultante de áreas de empréstimo, ou com o próprio rejeito. Geralmente são empregados três métodos construtivos: montante; jusante e linha de centro.

O mais antigo dos métodos é o de montante, por ser simples e econômico, depositando os rejeitos minerais como parte da estrutura. É iniciada a partir de um dique ou barragem piloto, sobre o qual os rejeitos são lançados à montante da crista, ao longo de seu perímetro, formando uma praia. Os próximos alteamento são realizados para a jusante do dique de partida, sendo um processo contínuo, até que a cota do projeto seja atingida. Embora esse método seja mais utilizado, apresenta fatores que devem ser observados, como: o baixo controle construtivo, tornando-se uma preocupação em relação à segurança, pelo fato dos alteamentos serem realizados sobre materiais previamente depositados, assim os rejeitos podem apresentar baixa resistência e ficarem com permeabilidade no cisalhamento e susceptibilidade à liquefação por carregamento dinâmico e estático (ARAUJO, 2006).

Outra dificuldade é a implantação de um sistema interno de drenagem para controlar o nível da água dentro da barragem que pode vir a refletir na estabilidade da estrutura. Na Figura 4 esta apresentada o método de disposição de rejeito com a barragem a montante.

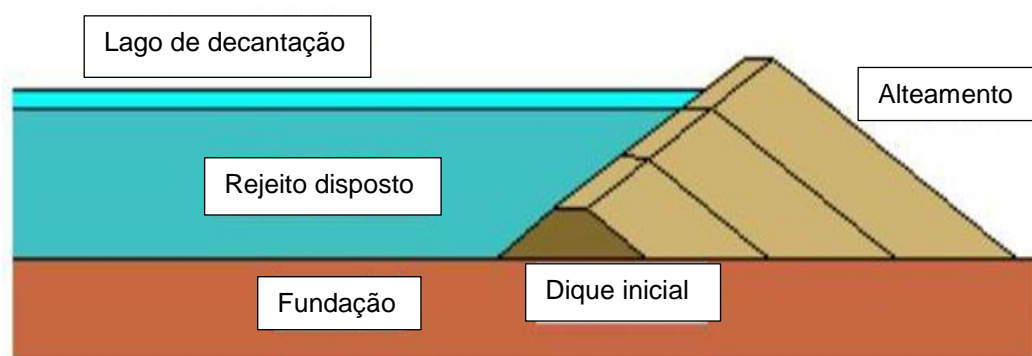
Figura 4 - Método de disposição de rejeito com barragem a montante.



Fonte: ARAÚJO, 2006.

O método a jusante, assim como o montante, consiste no alteamento a partir de um dique. O que diferencia ambos é o eixo da crista, que vai se movendo em direção a jusante, conforme a construção de novos diques. Essas construções podem ser realizadas com material de empréstimos ou com o próprio rejeito, decape da mina ou estéril, esse material é lançado e compactado no talude de jusante. Os diques iniciais assim como os que sucedem, podem ser impermeabilizados e com drenagem interna. Na Figura 5 ilustra o método de disposição de rejeito com a barragem a jusante.

Figura 5 - Método de disposição de rejeito com barragem a jusante.



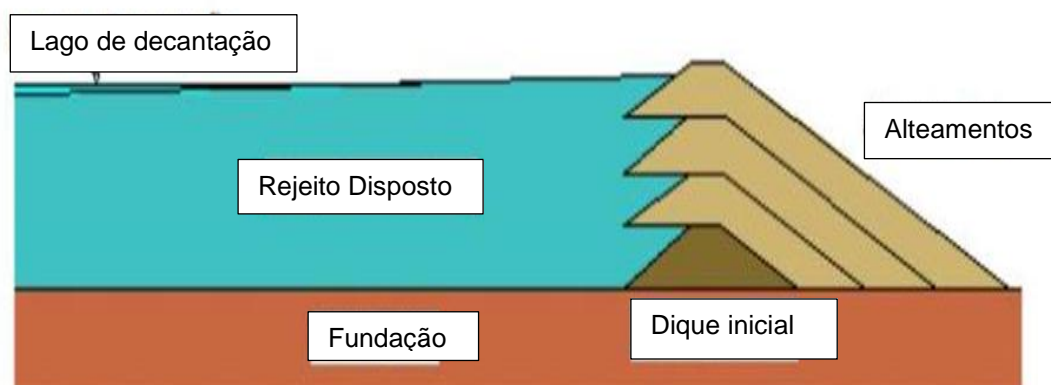
Fonte: ARAÚJO, 2006

As vantagens do método a jusante são a resistência inclusive às forças sísmicas, a facilidade na drenagem, a baixa disposição à liquefação e a simplicidade na operação. Entretanto, esse tipo de barragem necessita do emprego de ciclone e

do empréstimo do material e a área ocupada pela contenção de rejeito é muito maior, devido ao aumento da estrutura para a jusante em função do acréscimo da altura (ARAÚJO, 2006). Na Figura 5 esta apresentada o método de disposição de rejeito com a barragem a jusante.

De acordo com Assis e Espósito (1995), o método da linha de centro é uma variação do método a jusante, no qual o alteamento da crista é feito de forma vertical, sendo que o eixo vertical do alteamento coincide com o eixo do dique de partida, onde é possível a utilização de um sistema de drenagem interna em todas as fases do alteamento, possibilitando o controle da linha de saturação, fato que torna o método mais indicado para área de alta sismicidade. Na Figura 6 esta apresentada o método de disposição de rejeito com a barragem de linha de centro.

Figura 6 - Método de disposição de rejeito com barragem de Linha de Centro



Fonte: ARAÚJO (2006).

Segundo Araújo (2006), a escolha de um método depende de fatores, tais como: tipo de processo industrial, características geotécnicas, níveis de produção de rejeito, reserva de água, controle da água percolada, sismicidade, topografia, hidrologia e custos. No Quadro 1 estão apresentados os métodos de barramento com vantagens, desvantagens e observações.

Quadro 1 - Métodos de barramento, vantagens, desvantagens e observações

Método de barramento	Vantagens	Desvantagens	Observações
Jusante	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Menor possibilidade de ruptura interna.</li> <li>•Superfície provável de ruptura passando sempre ao longo de material resistente e compactado.</li> <li>•Abatimento da linha freática, uma vez que se impõe um sistema de drenagem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Custo elevado.</li> <li>•Menor aproveitamento da área disponível.</li> <li>•Maior volume de material compactado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•O alteamento pode ser realizado com o próprio rejeito. No entanto, é mais comum o uso de materiais proveniente de áreas de empréstimos.</li> </ul>
Montante	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Menor custo.</li> <li>•Maior velocidade de construção.</li> </ul> <p>Melhor aproveitamento da área.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Menor vazão <math>V_{areia} / V_{lama}</math> Não existe erosão eólica e hidráulica nos taludes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Superfície freática elevada.</li> <li>•Maior risco de ruptura por piping.</li> <li>•Superfície provável de ruptura passando pelo material de baixa resistência ao cisalhamento.</li> <li>•Dificuldade de implementação de sistema de drenagem eficiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Aterro hidráulico com o próprio rejeito bombeado.</li> <li>•Diques geralmente construídos com o rejeito escavado na periferia do lago.</li> </ul>
Linha de centro	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Economia de espaço físico.</li> <li>•Menor volume de material compactado.</li> <li>•Drenagem interna eficiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Possibilidade de ocorrência de fissuras no corpo da barragem.</li> <li>•Maior risco de ruptura por piping.</li> <li>•Dificuldade de implementação de sistema de drenagem eficiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Caso particular do método a jusante.</li> </ul>

Fonte: adaptado de Duarte (2008).

### 3.10 RUPTURA DE BARRAGEM DE REJEITOS DE MINERAÇÃO

Em caso de ruptura da barragem de rejeito, devem ser avaliadas as possíveis causas e dinâmicas dessa ruptura e a condição do reservatório quando da ocorrência. Em função das características da estrutura e do seu tempo de operação, a estrutura pode romper por cisalhamento do maciço, por cisalhamento da fundação ou por erosão interna, podendo ocorrer tanto no período seco como no chuvoso, influenciando a quantidade de água existente no reservatório.

A ruptura por galgamento implica a passagem de água sobre a crista, erosão das maciças e conseqüente ruptura da estrutura. Para isso o reservatório da barragem estaria na condição de completamente cheio (SANTOS et al., 2007).

A ruptura por cisalhamento do maciço ou da fundação pode ser gerada por elevação do nível de água do reservatório interno do maciço (problema no sistema de drenagem interna). Para esse tipo de ruptura, o reservatório da barragem não necessariamente precisa estar completo com água, apesar de ser uma condição que agrava os efeitos e aumenta a possibilidade de ocorrência (CHIOSSI, 2013).

A ruptura por erosão interna necessita de um problema com o sistema de drenagem interna e que o reservatório esteja com quantidade considerável de água, de modo a possibilitar que a água de percolação encontre um “novo” caminho e aflore no talude (CHIOSSI, 2013).

Em função das inúmeras variáveis envolvidas, A dinâmica de ruptura é demasiadamente difícil de determinar, na elaboração de um Plano de Emergência de Barragem de Mineração (PAEBM), considera-se que o cenário mais crítico é o de cisalhamento do maciço, pois liberaria o material do reservatório de imediato.

### 3.11 INCIDENTES E ACIDENTES COM BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITO

Segundo Vieira (2005), acidente é uma anomalia que corresponde à ruptura parcial ou total de uma obra e sua completa desfuncionalidade, com graves conseqüências econômicas e sociais. Incidente é um episódio indesejável, de pequenas proporções, que prejudica o funcionamento da obra e, se não corrigido a tempo, pode provocar eventuais acidentes (Quadro 2).

Quadro 2 - Acidentes com barragem de rejeito de mineração em alguns países nos últimos 10 anos

Local	Tipo de Incidente	Impacto
SHANXI PROVINCE, CHINA (2008)	Colapso de barragem de rejeitos durante chuvas	Morte de 254 pessoas 35 feridas
NCHANGA, CHINGOLA, ZAMBIA (2006 )	Ruptura de uma tubulação de rejeitos de cobre	Vazamento de rejeitos ácidos para o rio kafue: cobre, manganês, cobalto.
SHAANXI PROVINCE CHINA( 2006)	Ruptura da barragem de rejeito de ouro durante o sexto alteamento	Escoamento e inundação 130 casas e desabrigados, vazamento de cianeto para o rio 5,0 km a jusante.
BANGS LAKE, JACKSON COUNTY, MISSISSIPPI, USA (2005)	Ruptura de pilha de gesso, por enchimento rápido do reservatório e ocorrência de chuva intensa.	Vazamento de 17milhões de m <sup>3</sup> de líquido ácido
PINCHI LAKE, BRITISH COLUMBIA, CANADA(2004)	Ruptura de o barragem de rejeitos com mercúrio.	Rejeitos fluíram para o pinchi lake.
RIVERVIEW, FLORIDA, USA (2004)	Rompimento de dique no topo de uma pilha de gesso	60 milhões de galões de líquido ácido, fluíram para o riacho archie e baia de hillsboroughliq
PARTIZANSK, PRIMORSKI KRAI, RUSSIA(2004)	Ruptura de um dique de contenção de cinza volante com 1,0 km <sup>2</sup> de área, com 20 milhões de m <sup>3</sup> de cinza.	a polpa de cinza fluiu por um canal de drenagem para um afluente do rio partizanskaya
MALVÉSI, AUDE, FRANCE (2004)	Ruptura do dique após chuvas intensa	30 000 m <sup>3</sup> de líquido vazaram com elevada concentração de nitrato
CERRO NEGRO, PETORCA PROV QUINTA REGION, CHILE (2003)	Ruptura de barragem de rejeitos de cobre	50.000 ton. de rejeitos fluíram por 20km do rio Ligua
SAN MARCELINO, ZAMBALES, PHILIPPINES (2002)	Galgamento e ruptura do vertedouro de duas barragens abandonadas após chuvas intensas	rejeitos fluíram para o lago mapanuepe. inundação de vila com 250 famílias

Fonte: IBRAM/ PIMENTA DE ÁVILA 2009

No histórico dos acidentes ocorridos pelo método a montante, o primeiro foi o de Barahona, no Chile. Durante um terremoto em 1928, houve o rompimento da barragem matando mais de 50 pessoas.

As barragens de rejeito são estruturas complexas e dinâmicas que necessitam cuidados especiais na elaboração dos projetos de engenharia, operação e manutenção dessas estruturas até seu descomissionamento. De acordo com ICOLD (2001), as principais causas do rompimento das barragens são os problemas em sua fundação, a ineficácia dos vertedouros, a fragilidade dos taludes, a falta de controle da erosão, a falha no controle de inspeção e pós-fechamento e a falta de dispositivos graduais de segurança ao longo da vida útil da estrutura.

Muitas vezes, as causas desses acidentes podem estar relacionadas à ausência da compreensão dos fatores que controlam a segurança das operações, falha na instrumentação e monitoramento. A possibilidade de uma falha ocorrer pode ser baixa, porém as consequências podem ser desastrosas para as comunidades locais e o ambiente a jusante. Em caso de ocorrência de algum incidente, os proprietários apresentam certa resistência na divulgação desses incidentes ou falhas, a não ser quando esses casos se tornam públicos.

### 3.12 INCIDENTES E ACIDENTES EM BARRAGEM DE REJEITO EM MINAS GERAIS

No Quadro 3 estão apresentados os principais acidentes de ruptura de barragens de rejeitos, ocorridos no estado de Minas Gerais, com destaque para o corrido em 5 de novembro de 2015, Bento Rodrigues, que é subdistrito de Mariana-MG, houve o rompimento da barragem de Fundão, propriedade da mineradora Samarco. Mariana tem 80% de sua economia proveniente da atividade mineradora, o que levou o prefeito a declarar que “sem as atividades de mineração a cidade fecha as portas” (DUARTE Jr., 2015).

A barragem de Fundão foi a primeira a se romper, devido ao processo de liquefação; posteriormente houve o rompimento das barragens de Germano e de Santarém que formam o complexo da Alegria, da mineradora Samarco. Esses rompimentos despejaram, em apenas onze minutos, um total de 62 milhões de quilômetros cúbicos de lama e de rejeito tóxico, destruindo o subdistrito de Bento Rodrigues, Mariana-MG, deixando 18 pessoas desaparecidas, 19 pessoas mortas,



600 pessoas desabrigadas e meio milhão de pessoas sem abastecimento de água.

Quadro 3 - Acidentes com rupturas de barragens no estado de Minas Gerais

Período da ocorrência	Identificação da Mineradora
Junho de 2001	Mineração Rio Verde Ltda. Nova Lima- MG, danos à fauna, flora e unidade de conservação, danos a adutoras de abastecimento de água, assoreamento dos rios, pagamento de multas e prestação de serviços sociais.
Março de 2003	Indústria Cataguazes de papel. Cataguazes-MG. Lixivia negra causa a interrupção no abastecimento de água.
Março de 2006	Rio Pomba mineração Cataguazes. Miraí – MG. Vazamento de lama causou danos ambientais, prejuízos materiais, suspensão do abastecimento de água nos estados de MG e RJ.
Janeiro de 2007	Reincidente: Rio Pomba Mineração Cataguazes, Miraí – MG. Rompimento da barragem causa danos ambientais, prejuízo materiais, suspensão do abastecimento de água, mais de 500 pessoas desalojadas.
Novembro de 2015	Bento Rodrigues subdistrito de Mariana-MG, rompimento da barragem de rejeito de Fundão, propriedade da mineradora Samarco, 62bilhões de litros de rejeito despejados na região atingindo o Rio Doce, causando danos ambientais, prejuízos materiais, suspensão do abastecimento de água dos estados de MG e ES, morte de 19 pessoas, 600 pessoas desabrigadas.

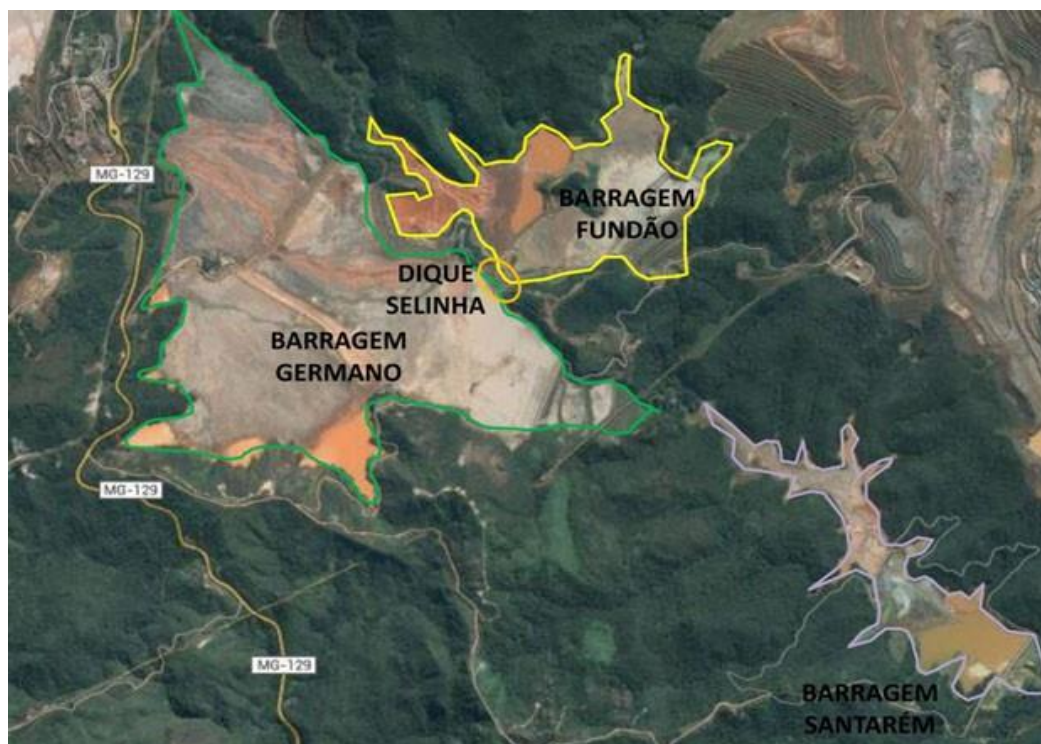
Fonte: Duarte, 2008.

Na Figura 7 apresenta uma vista da barragem que do complexo da Alegria, operado pela Mineradora Samarco.

Com o rompimento das três barragens, a lama proveniente da exploração do minério de ferro contaminou o rio Gualaxo do Norte, o rio do Carmo e o rio Doce; 120 nascentes dessa região foram soterradas pelo caminho comprometendo o

abastecimento de água de cidades do estado de Minas Gerais (Bento Rodrigues) e Espírito Santo (Linhares). O tempo de percurso da lama entre Bento Rodrigues-MG e Linhares, onde é a foz do rio Doce, foi pouco mais de 14, dias sendo, 879 quilômetros percorridos. Na área onde se encontra o subdistrito de Bento Rodrigues é possível que se transforme em um deserto, pelo fato dos resíduos de mineração ser tóxicos e nada mais crescerá por ali (RUSCHI, 2015).

Figura 7 - Barragens que formam o complexo da Alegria da mineradora Samarco



Fonte: G1 Globo.com (2015).

A barragem de Fundão era uma estrutura feita de areia e acúmulo de rejeito com 90 metros de altura, sem filtros de drenagem. Segundo especialistas, o que explica a causa do rompimento é que a camada arenosa deixa de expelir a água, retendo-a. Com o aumento da pressão interna no reservatório formado pela barragem, essa areia transforma em lama pressionando a parede interna da barragem ocasionando o rompimento. Existem técnicas mais modernas e seguras para essas estruturas com uso de filtros para garantir a drenagem, porém seus custos podem encarecer a exploração de uma jazida em até seis vezes (MORGENSTERN, 2016).

Um grande impacto ambiental causado pelo rompimento da barragem de

Fundão teve mortandade de 11 toneladas de peixes do rio Doce. Outro impacto é que não se avista na área degradada movimentação de peixes nem de anfíbios ou garças que eram comuns na região, além dos crustáceos, que também desapareceram (RUSCHI, 2015).

Logo após o acidente a empresa Samarco, Joint Venture da brasileira Vale com a australiana BHP Billiton, esclareceu que desde 2009, tinha informações do risco de ruptura da barragem de Fundão e que em 2013 foi avisada de problemas pelo Instituto Préstimo, uma organização sem fins lucrativos que realizou um estudo no local a mando do Ministério Público Estadual.

Na Figura 8 está apresentada a localização da barragem de Fundão que faz parte do complexo da Alegria de propriedade da mineradora Samarco e Bento Rodrigues à jusante, pela imagem obtida antes do rompimento, pode-se observar que Bento Rodrigues está situado numa topograficamente abaixo e numa direção propícia a um desastre ambiental, tal como ocorreu.

Figura 8 - Localização da Barragem de Fundão a montante do subdistrito de Mariana em Bento Rodrigues – MG, antes do rompimento.



Fonte: <http://www.itatiaia.com.br> (2015).



Em 2014, uma revisão do projeto previu um tapete drenante chegando a sua capacidade máxima, além de uma série de trincas e infiltrações no recuo. A praia tinha tamanho menor que o indicado. Mesmo com todas essas indicações e estudos sobre a barragem nenhuma medida foi tomada para evitar o acidente mesmo. Na Figura 9, está apresentado o subdistrito de Bento Rodrigues após o rompimento da Barragem de Fundão. Ele está na direção exata do escoamento da lama de rejeito de mineração de ferro. Demonstrando-se como era a área antes e depois do rompimento.

Figura 9 - Antes e depois do rompimento da barragem de Fundão no subdistrito de Mariana em Bento Rodrigues-MG.



Fonte: G1.globo.com (2015)>acesso em 16/02/17.

Quando, em 2009, foi sugerido o uso da telemetria, porém, o plano ficou engavetado pela empresa Samarco, pelo fato de que ficaria caro. Assim o que poderia ter sido um pequeno incidente, ocasionou um acidente de grave impacto econômico, humano e ambiental para as áreas atingidas (MORGENSTERN, 2016).

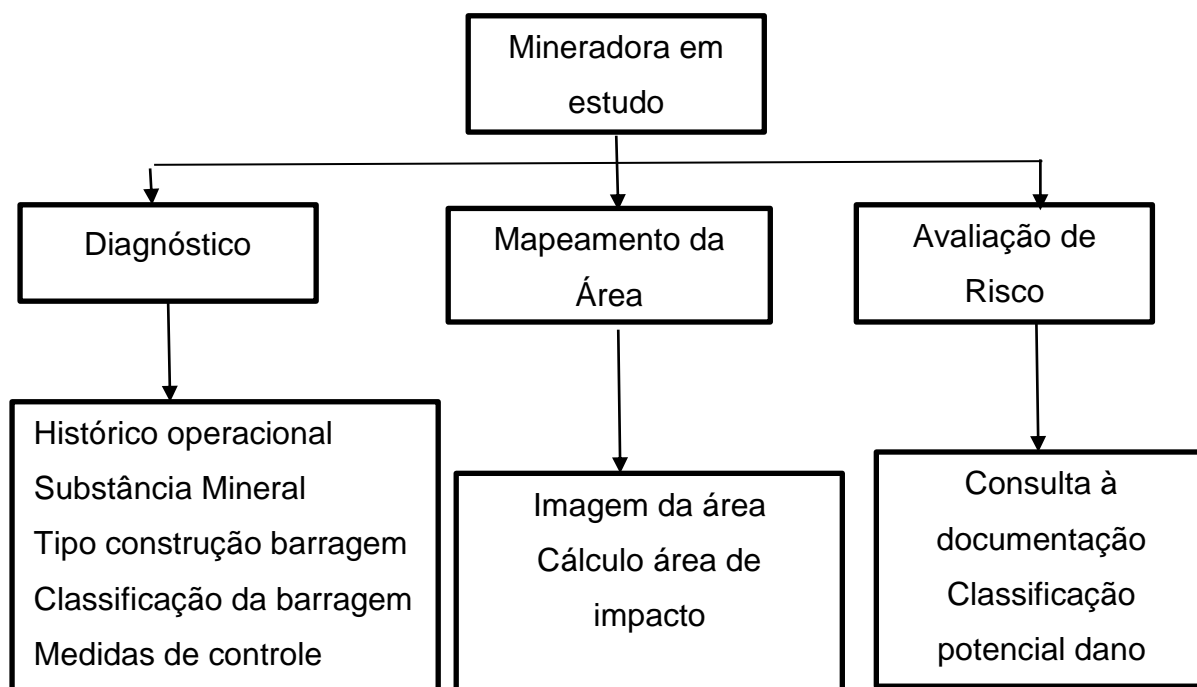
### 3.13 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A LITERATURA

A literatura evidencia que a atividade de mineração tem uma expressiva importância econômica e social para o Brasil, sendo o estado de Minas Gerais um grande produtor e exportador de minério. Os processos de mineração empregados no Brasil são à céu aberto; minas subterrâneas e por dissolução. Atualmente a legislação pertinente à regulamentação e controle ambiental da atividade de mineração é do DNPM, COPAM e a FEAM. Foram encontrados registros de incidentes e acidentes envolvendo rompimento de barragens de rejeito no mundo todo, destaque para os acidentes ocorridos em Minas Gerais, mais especificamente sobre o rompimento da barragem de Bento Rodrigues no município de Mariana-MG, mineração operada pela Samarco. Tal ocorrência foi amplamente divulgada na mídia e mostra a necessidade de adequação na legislação, intensificação de planos de controle e monitoramento de riscos e qualificação de mão de obra técnica para operação das Barragens. Neste sentido este trabalho vem contribuir para a melhoria e desenvolvimento de planos de controle de riscos.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia empregada no presente trabalho consiste em estudos para avaliar o risco do impacto ambiental de uma barragem que se encontra em operação no município de Fortaleza de Minas- MG. Para levantar os dados necessários para o mapeamento, foi feito um levantamento documental no órgão público e através de visita técnica com prévia autorização na mineradora em estudo. Para o desenvolvimento da pesquisa foram desenvolvidas as etapas apresentadas na Figura 10.

Figura 10 - Fluxograma resumo da metodologia



Fonte: Autora, 2017

### 4.1 DIAGNÓSTICO DA BARRAGEM DE REJEITO DE UMA MINERADORA NO MUNICÍPIO DE FORTALEZA DE MINAS-MG

O diagnóstico realizado contemplou o histórico de operação e à atividade minerária, tipo de construção da barragem, classificação de barragem, as medidas de controle de risco existentes e uma visita técnica.

#### 4.1.1 Classificação do Dano Ambiental da Barragem

A avaliação da classificação da barragem de rejeito de Fortaleza de Minas-

MG foi baseada na Resolução CNRH Nº 143 de 10/07/2012 em que deve ser considerada a categoria de risco e o dano potencial associado. A Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais (DN COPAM) nº 62/2002, define dois critérios técnicos: altura da barragem (H) e volume do reservatório ( $V_r$ ) e os critérios ambientais a jusante da barragem são: ocupação humana, interesse ambiental e instalações na área. Segundo a metodologia, dependendo das características das barragens, cada um desses critérios recebe uma pontuação (V) que varia de zero (0) a três (3). Esta metodologia esta apresentada na Tabela 4 e foi utilizada para a classificação quanto ao potencial de dano ambiental da barragem em estudo.

Assim o porte de uma barragem é determinado pela altura e o porte do reservatório é determinado pelo seu volume.

Quanto ao dano ambiental em potencial é classificado em três categorias:

- Baixo potencial de dano ambiental – Classe I  $V \leq 2$ .
- Médio potencial de dano ambiental – Classe II  $2 < V \leq 4$ .
- Alto potencial de dano ambiental – Classe III  $V > 4$ .

Para a classificação o COPAM considera dois critérios, um técnico que é a altura da barragem(H) e volume do reservatório ( $V_r$ ), e os critérios ambientais tais como: ocupação humana a jusante; interesse ambiental a jusante; instalações na área a jusante da barragem. Para cada critério utilizado é considerado um valor (V) Tabela 1.

Tabela 1 - Critérios para classificação das barragens segundo DN COPAM nº062/2002.

<b>Altura da barragem H(m)</b>	<b>Volume do reservatório (<math>10^6 \text{ m}^3</math>)</b>	<b>Ocupação Humana a jusante</b>	<b>Interesse Ambiental a jusante</b>	<b>Instalações na Área de jusante</b>
H < 15 V=0	$V_r < 0,5$ V=0	Inexistente V=0	Pouco Significativo V=0	Inexistente V=0
$15 \leq H \leq 30$ V=1	$0,5 \leq V_r \leq 0,5$ V=1	Eventual V=2	Significativo V=1	Baixa Concentração V=1
H > 30 V=2	$V_r > 5,0$ V=2	Grande V=3	Elevado V=3	Alta Concentração V=2

Fonte: Adaptado de DN COPAM nº 062/2002.

#### 4.1.2 Visita técnica na mineradora em estudo

Foi realizada uma visita à mineradora localizada no município de Fortaleza de Minas-MG, que foi recepcionada e acompanhada pela gerente de Sistema de Saneamento e Meio Ambiente Silvana Valéria Filho e pelo Técnico Operador da Barragem, Joaquim Sávio Torres Figueiredo.

Foram destacadas as medidas de segurança da barragem, método de construção, medidas de manutenção, instrumentação, treinamento da equipe envolvida com a barragem e outros.

#### 4.2 MAPEAMENTO DA ÁREA DA BARRAGEM DE REJEITO DE UMA MINERADORA NO MUNICÍPIO DE FORTALEZA DE MINAS-MG

O mapeamento da área de estudo da mineradora no município de Fortaleza de Minas-MG foi realizado através da aquisição de imagens de satélite disponíveis na rede mundial de computadores, para evidenciar o distanciamento da barragem de rejeito em relação ao Rio São João bem como os outros barramentos desse complexo.

##### 4.2.1 Cálculo da Área de Impacto ou auto salvamento

A extensão da área a ser possivelmente impactada foi calculada com o uso de software específico de domínio público, o mesmo adotado na África do Sul denominado software “Tailings flow slide calculator”, que relaciona a extensão da área a ser impactada com a altura da barragem e a inclinação topográfica a jusante. Porém, não tem em consideração as características físicas da lama (água e sólidos) que fluirá para no sentido à jusante.

A estimativa da extensão da área a ser impactada foi calculada de acordo com as equações 1,0 e 2,0:

$$D = 100 \times H \quad (1,0)$$

Sendo:

D: extensão da área de possível impacto

H: altura máxima da barragem, considerando o desnível entre a crista da barragem de rejeito atual).



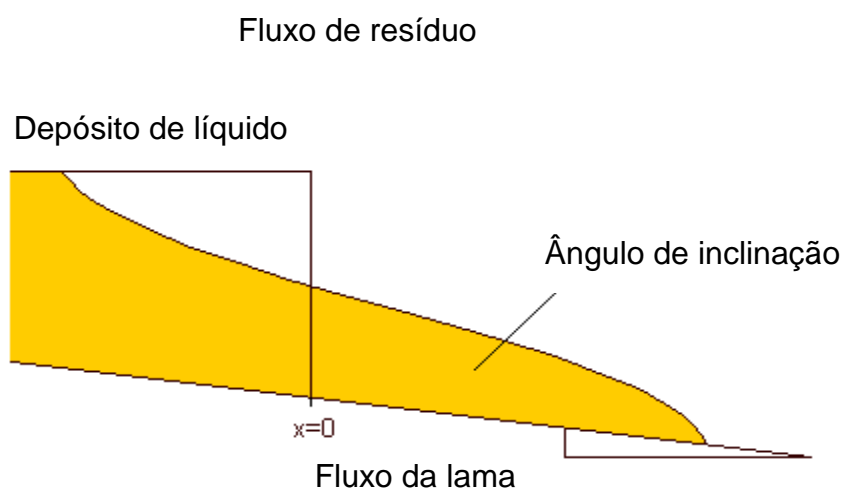
$$D = 2 \times i \quad (2,0)$$

Sendo:

$i$  = gradiente topográfico da área de escoamento a jusante.

Para efeitos da análise de deslizamento de fluxo, o depósito de rejeitos está representado como um corpo de material fluido com uma face vertical, conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Cálculo de deslizamento de fluxo de resíduos.



Fonte: Adaptado de Geoconsultoria (2015).

#### 4.3 AVALIAÇÃO DE RISCO EM CASO DE RUPTURA DA BARRAGEM

O risco a ser avaliado considerou que na ocorrência de um rompimento da barragem em estudo, qual seria a comunidade existente, localizada à jusante, que poderia vir ser atingidos, quais os corpos d'água, minas e nascentes que poderiam ser comprometidas, visando os seus usos múltiplos e principalmente a importância no abastecimento, também foram avaliadas as áreas com atividades rurais de agricultura e pecuária.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir estão apresentados os resultados obtidos e discussões referentes ao diagnóstico, mapeamento da área e da avaliação de risco da mineradora em estudo.

### 5.1 DIAGNÓSTICO DA BARRAGEM DE REJEITO DE UMA MINERADORA NO MUNICÍPIO DE FORTALEZA DE MINAS-MG

De acordo com os documentos disponibilizados pela prefeitura municipal a empresa mineradora em estudo localiza-se na estrada particular João Soares da Silveira, no município de Fortaleza de Minas- MG. O depósito de rejeitos está localizado no mesmo município, no lado sudoeste (SW) do estado, e implantado em uma encosta natural, de baixa declividade, que não é cortada por nenhuma drenagem. Essa encosta, em cotas mais baixas, é a mesma onde se apoia o reservatório da barragem de água, que por sua vez está implantado no córrego Muniz, que deságua na margem esquerda do rio São João. Segundo a Comissão Política Ambiental (COPAM-MG, 1982), a barragem localiza-se cerca de 5 km a montante da cidade de Fortaleza de Minas, pelo caminhamento do rio (Câmara Municipal de Fortaleza de Minas-MG, 2017).

Poligonal delimitadora da área de extração (Secretaria de Ciência e Tecnologia, 1982), as coordenadas do empreendimento são:

“S – 20° 53' 41,78”

“O – 46° 42' 58,74”

A cidade de Fortaleza de Minas situa-se a SW da cidade de Belo Horizonte, distando desta cerca de 350 km (em linha reta). Logo depois da estrada municipal asfaltada de Fortaleza de Minas encontra-se a rodovia MG 050. Situa-se também ao Norte da cidade de São Paulo, distando cerca de 400 km, por estrada asfaltada (Câmara Municipal de Fortaleza de Minas-MG, 2017).

### 5.2 SUBSTÂNCIA MINERAL EXPLORADA

A mineradora em estudo efetua a lavra, concentração e fundição de minério de níquel. A Figura 12 mostra a entrada da unidade no município de Fortaleza de Minas- MG.

Figura 12 - Unidade da mineradora no município de Fortaleza de Minas-MG.



Fonte: Google earth/ 22/03/2017 10:01

### 5.3 TIPO DE CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM

Em 1996, o projeto de construção de rejeito da barragem foi desenvolvido pela empresa americana SRK Consulting, com sede em Reno, no estado de Nevada, Estados Unidos. O projeto foi conduzido com investigações geológicas e geotécnicas, de campo e de laboratório, e a geometria e seções típicas da barragem foram dimensionadas para exibir coeficientes de segurança na ruptura acima de 1,5 m.

Para a construção da barragem, foram executados serviços de limpeza do terreno de fundação e controle de compactação.

A construção do dique inicial foi realizada com terra compactada, sendo que a partir disso foram realizados alteamentos, utilizando como material de empréstimo terra e, posteriormente, rejeitos compactados, pelo método de montante, ou seja, os diques de alteamento são apoiados na praia dos rejeitos lançados no reservatório.

A barragem é formada a partir do maciço e do depósito de rejeito de encosta, a partir de um dique inicial de terra compactada, a qual sua crista, na

encosta apresenta 930 metros do nível do mar e largura de 7 m, com altura máxima de 42 metros. O material de construção da barragem foi escavado na própria área do reservatório, tanto para diminuir a distância de transporte de empréstimo como para aumentar o volume de reservação de rejeito.

A área escavada do reservatório foi escarificada na sua camada superior, com 0,30 m de espessura, e compactada com controle, visando constituir em camada impermeável para reduzir o fluxo de água para o terreno de fundação. Sobre essa superfície compactada, foram executados drenos radiais, associados a outros periféricos, com caminhamento pelo pé montante do dique inicial, cruzando o dique em determinadas posições a fim de auxiliar no rebaixamento da água do depósito de rejeito e facilitar a drenagem da praia de rejeito.

Foram executados alteamentos da barragem a partir de um dique inicial em 11 etapas, posicionando a crista atual na encosta 956,8 m em relação ao nível do mar. No terceiro alteamento, foi utilizado rejeito escavado na própria praia da barragem, para formar a parte interna do dique. Onde a parte externa sempre é construída com terra compactada, mas a parte interna é completada com rejeitos compactados.

A largura das cristas nos alteamentos tem variado entre 5 e 6 m, os taludes individuais dos alteamentos tem inclinação de 1V : 2H, enquanto o talude médio global tem inclinação média de 1V : 2,8H. A altura máxima atual é de 45 m.

Os rejeitos são descartados por tubulações, a partir da crista da barragem formando uma praia, que auxilia na estabilidade da barragem, não só no reforço como também no nível da água, afastando-a da mesma (Geoconsultoria, 2015).

O reservatório da barragem, na sua cota atual, tem capacidade de armazenamento de 4,1 milhões de m<sup>3</sup>. A área do topo do reservatório é de 91.500m<sup>2</sup>, a área ocupada do terreno ("foot print" ou pegada) é de 246.000m<sup>2</sup> e o comprimento da crista é de 1.250 m.

Devido ao controle de operação do reservatório, chegou-se a quase totalidade do volume de rejeito sedimentada e parcialmente consolidada, sendo que o volume de água sobrenadante é de 50.000 a 100.000m<sup>3</sup> (Geoconsultoria, 2015)

O sistema extravasor é composto originalmente por duas tulipas conectadas a tubos implantados no terreno de fundação do reservatório. Foram realizados estudos hidrológicos e hidráulicos para dimensionamento do extravasor (tulipas), as quais são capazes de reverter vazões para chuvas com tempo de retorno de 100

anos.

Até 2013 o depósito operava com dois sistemas de tulipas sendo um operacional e outro de emergência, sendo que cada um destes com duas tulipas verticais implantadas no terreno de fundação do reservatório cruzando o eixo do dique inicial.

As tulipas posicionadas no lado oeste do reservatório desaguam em uma caixa de sedimentação de sólidos, da qual a água extravasada vai para um reservatório de água recuperada, onde é bombeada para recircular na usina de concentração. Em caso de excesso é descartado para a barragem de água a jusante. Quanto às tulipas de emergência, estão localizadas no lado leste do reservatório, e deságuam em um canal revestido de concreto, que desaguando no reservatório de água recirculada.

O alteamento das tulipas que vão sendo alteadas continuamente devido ao assoreamento do reservatório de rejeitos sendo composta de anéis de concreto com 12 cm de altura e 60 cm de diâmetro.

Foram instaladas duas novas tulipas extravasoras no local das antigas tulipas operacionais, em função de suprir a deficiência de extravasão das antigas tulipas. A tubulação semi-horizontal se apoiou na estrutura da passarela de madeira que dá acesso ao emboque das tulipas, desaguando no talude leste do depósito, até uma caixa de concreto que regula a vazão e flui para uma canaleta periférica até o reservatório de água recirculada (Geoconsultoria, 2015).

A área da bacia de drenagem da barragem é representada pela própria área de topo da mesma, pois não há contribuição externa de água que atinge o reservatório. Por se constituir em depósito de encosta, não há drenagem direcionada para o reservatório (Geoconsultoria, 2015).

O acesso à barragem de rejeito pode ser feito pela ombreira esquerda, no seu lado oeste, a partir da portaria de acesso do empreendimento, e pela ombreira direita, no seu lado leste. Estes acessos estão revestidos com terra encascalhadas e com boas condições de trânsito. A distância entre a usina e a barragem, por esses caminhos, é de cerca de 1 km (Geoconsultoria, 2015).

### 5.3.1 Medidas de Controle da mineradora

A unidade de Fortaleza de Minas implementou e mantém em operação o

Sistema de Gestão de Segurança de Barragens (SIGBAR), aplicado por uma empresa terceirizada, esse sistema tem como objetivo principal a garantia de segurança de barragens de água e de rejeito ao longo do tempo, através do acompanhamento e da avaliação contínua do comportamento dessas estruturas.

O sistema de monitoramento SIGBAR é composto por seis módulos principais, os quais são: preliminar; documenta; monitora; avalia; gvista; treinar. As inspeções de campo das barragens são realizadas quinzenalmente.

As medições nos equipamentos instalados nas barragens são realizadas diariamente para a pluviometria e quinzenalmente para o piezômetro, os dados são reportados a Gerencia da unidade e a diretoria da empresa. Com frequência semestral o engenheiro da empresa contratada deverá realizar inspeção de campo em conjunto com a equipe da unidade.

Esse tipo de inspeção de campo, evita eventuais problemas os quais são detectados com rapidez, possibilitando tomada de ações imediatas para evitar a evolução de um problema esse problema para um incidente e posteriormente para um acidente.

No caso em que em uma inspeção seja detectada alguma anomalia a qual resulte em pontuação máxima 10(dez), segundo o software “Tailings Flow Slide Calculator” e o Código da África do Sul para barragens de rejeito de mineração, o estágio da anomalia é avançado e as ações não foram tomadas a tempo e a contento para evitar a evolução do mesmo. Pelo fato de que nesse sistema adotado pela mineradora a anomalia poderá ser detectada em estágio inicial.

Segundo o DNPM nº 526 e a contratada da mineradora responsável pela inspeção das barragens de mineração, uma barragem pode apresentar três níveis de emergência, tais como:

- Nível 1 é a situação de emergência de não ruptura, quando é detectado um problema de pontuação máxima dez (10), o qual compromete a segurança da estrutura. Nessa situação onde os problemas ainda são insipientes, mas que podem comprometer a segurança da barragem recomenda-se adoção de medidas corretiva para evolução de problema.

- Nível 2, nesse caso são tomadas ações para evitar a evolução da situação de emergência, as quais não obtiveram efeito no Nível 1, ou seja, o resultado das ações do Nível 1 é classificado como não extinto segundo a definição do Inciso X do Art.31 da Portaria nº 416. Nesse caso o problema torna-se mais

grave, mas ainda há tempo para tomada de decisões para evitar a ruptura da barragem.

- Nível 3, nesse caso houve falha de todas as medidas tomadas para impedir a evolução do problema detectado no Nível 1, onde o processo de ruptura da barragem é iminente ou está ocorrendo.

A detecção da situação de emergência é de responsabilidade do técnico Operador da Barragem. É de responsabilidade do coordenador do Plano de Ação de Emergência de Barragem de Mineração (PAEBM) a definição do nível em que se encontra a emergência, para proceder com as notificações dos responsáveis. Por esse fato que faz se necessário o monitoramento também de maneira expedita pelo técnico operador da barragem visando buscar indícios de comportamento anormal das estruturas.

A barragem de rejeito de mineração localizada no município de Fortaleza de Minas, no lado SW do estado de Minas Gerais, é composta de um dique inicial, de terra compactada e alteada para a montante, com diques de terra compactada e rejeito compactados, com cota da crista atual 956,8m em relação ao nível do mar que serve para contenção de rejeitos gerados na usina de concentração mineral. Desde 2013, por conta da paralisação temporária das atividades da mina e da usina de beneficiamento, o depósito de rejeito não recebe mais sólidos em seu reservatório.

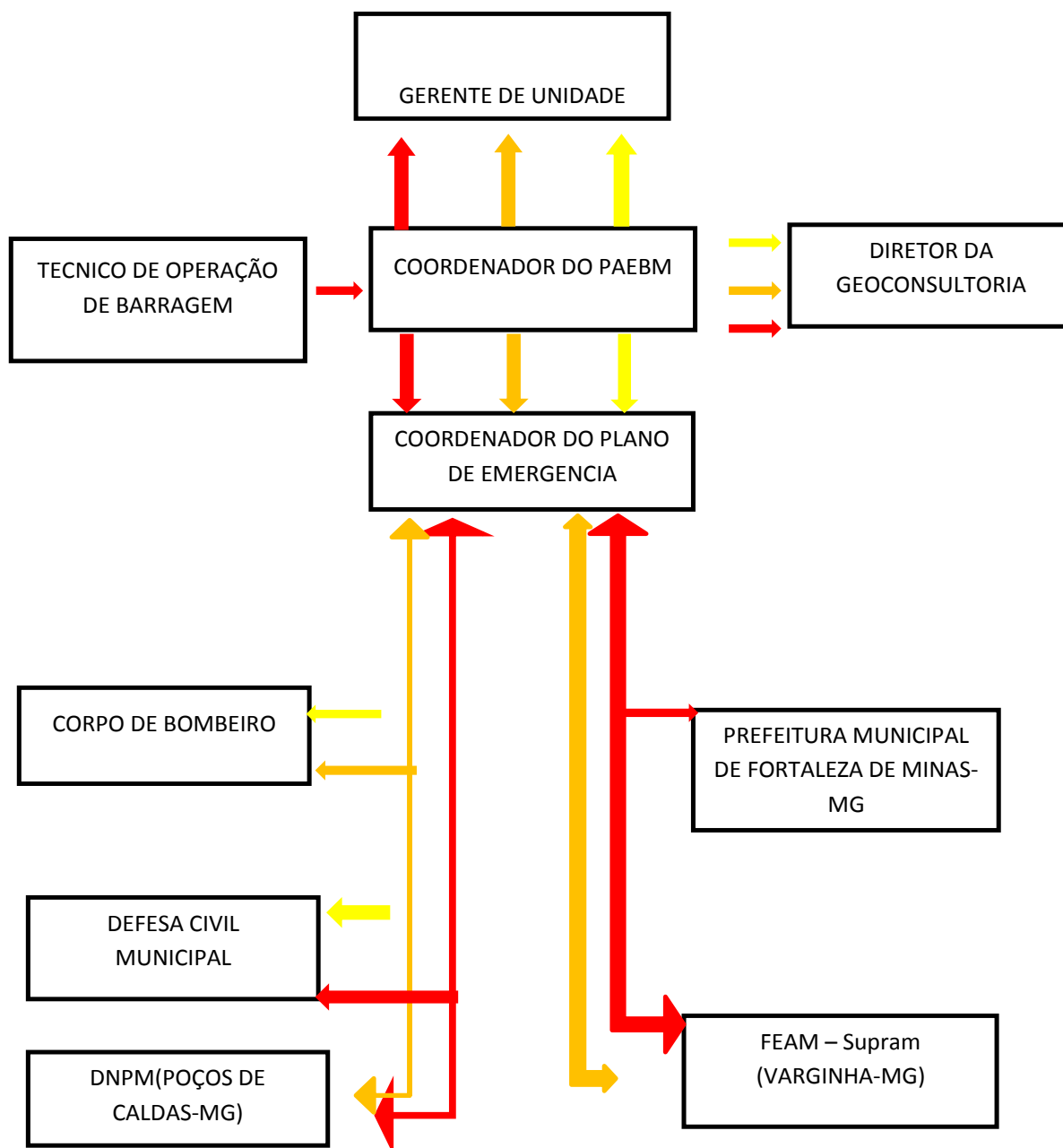
A barragem é parte integrante do complexo minero-industrial da Unidade de uma empresa particular localizada no município de Fortaleza de Minas-MG. Para sua eficaz manutenção e preservação e para evitar problemas que possam evoluir a um possível incidente ou acidente fez-se necessário o desenvolvimento de um Plano de Ação de Emergência de Barragens de Mineração, para tanto esse plano segue diretrizes e determinações estabelecidas na portaria do DNPM nº143 do CNRH.

Para a implementação desse plano, estabeleceu-se uma estrutura de responsáveis e responsabilidades da equipe da unidade de Fortaleza de Minas-MG, os quais estão relacionados com o depósito de rejeito. O desenvolvimento e a operação desse plano foram de responsabilidade de uma empresa particular contratada pela mineradora, tal planejamento é denominado de Organograma de Responsabilidade e responsáveis (ORR), cuja pratica é em conjunto com a empresa contratada e com equipe da mineradora.

A estrutura de responsáveis e responsabilidades de cada funcionário da

equipe do núcleo da Unidade de Fortaleza de Minas-MG, está representada na Figura 13.

Figura 13 - Fluxograma de notificações de responsáveis em caso de ruptura da barragem de rejeito



Fonte: Adaptado de Geoconsultoria, 2015

A responsabilidade específica de cada integrante da equipe da Unidade da mineradora primeiramente foi definida por uma equipe núcleo, responsáveis pelas principais ações a serem tomadas em caso de situação de risco com as barragens



de rejeitos, as quais são:

- Gerente da Unidade;
- Coordenador do PAEBM (empresa contratada);
- Técnico Operador da Barragem;
- Gerente de SSMA.

As principais responsabilidades de cada integrante da equipe núcleo da mineradora unidade de Fortaleza de Minas-MG, são:

Do Gerente da Unidade de Fortaleza de Minas-MG:

- Responsáveis por todas as operações e decisões da Unidade;
- Designação de equipes e equipamento para combate da situação de emergência;
- Agilizar a obtenção dos materiais necessários para o combate da situação de emergência;
- Acompanhamento da evolução da situação de emergência;
- Autorizar a comunicação da situação de emergência para os órgãos externos (autoridades municipais, defesa civil, órgãos públicos e de proteção ambiental).

Do Coordenador do PAEBM (empresa contratada):

- Definir o nível e declarar uma situação de emergência;
- Coordenar as ações previstas no PAEBM para combate a situação de emergência;
- Informar e descrever as responsabilidades de cada equipe;
- Realizar treinamentos internos das equipes da unidade para o combate da situação de emergência, incluindo simulações;
- Coordenar situação de reparo após o encerramento da situação de emergência;
- Operar em sintonia com os demais integrantes da equipe núcleo desses PAEBM;
- Elaborar declaração de encerramento de emergência.

Do Técnico Operador da Barragem:

- Realização das inspeções rotineira de campo das estruturas;
- Realização das medições dos instrumentos de monitoramento geotécnico;
- Detecção e notificação inicial de uma situação de emergência.

Do Gerente da SSAM:

-Notificação de eventual situação de emergência para as autoridades municipais, defesa civil, órgãos públicos e de proteção ambiental.

-Comunicação com o órgão da imprensa;

-Comunicação com terceiros potencialmente impactados por conta da emergência.

#### 5.4 PROCESSO E SUBSTÂNCIA MINERADA

Essa unidade manteve em operação até 2013, produzindo o mate níquel em 90% e em quantidades menores produziam o ferro e o cobalto, no processo de fundição também extraíam o enxofre. Quanto à lavra inicialmente era realizada a céu aberto em tiras, posteriormente passou a ser realizado em lavra subterrânea, entretanto, atualmente na mina está apenas sendo realizada a drenagem da água.

No período de alta produtividade de níquel, junto com sua fundição é gerado um subproduto denominado silicato que é vendido para a empresa “Cimento Itaú”.

#### 5.5 CARACTERIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM DE REJEITO

O tipo de construção da barragem de rejeito é do método de barragem a montante, porém, como a mineradora tem previsão para voltar a explorar o níquel até o ano de 2020 tem pretensão de modificar o sistema de descarte de rejeito assim que realizarem os alteamentos previstos, passando a descartar os rejeitos por empilhamento a seco (Dry Stacking).

No método atual de descarte, a barragem de rejeito possui drenos de fundos onde são acionados em caso de emergência para reduzir o volume de água da barragem em relação ao nível da crista. Nos taludes próximos à praia os rejeitos são transportados por gravidade em tubulações lançados em vários pontos de descarga em tempos alternados, para que a praia fique uniforme e o rejeito não apresente acúmulo em um só ponto.

Em função da pouca produtividade dos últimos anos houve a evaporação da água da praia ocorrendo o ressecamento da superfície do reservatório de rejeito. Porém, foram instalados em pontos diferentes, tubos abertos de material PVC para

medição do volume de água retida no fundo da barragem, estas medições são realizadas semanalmente através de um medidor de nível de água subterrânea, atualmente a medida do nível da água é de 30,40cm.

As medidas de segurança ficam a cargo do engenheiro operador da barragem que faz a inspeção visual tais como, insurgência de água no talude, eliminação de formigueiro e cupins, manutenção da vegetação sempre rasteira, rachaduras no talude, conferir se as medições estão sendo realizada de forma correta.

A barragem possui 46 m de altura, 11 alteamentos e está a 956,8 metros de altitude em relação ao nível do mar. Entretanto há possibilidade ainda para realizarem mais dois alteamentos de 2 a 4 metros cada, chegando a uma altitude máxima em relação ao nível do mar de 964,8.

Quanto à questão de segurança, a mineradora não realiza treinamento em caso de uma possível emergência com os funcionários da empresa, apesar de seguirem rigorosamente todos os quesitos de segurança pessoal, também não possui sirene de alerta em caso de qualquer emergência que venha ocorrer, entretanto, segundo o informado, providências estão sendo tomadas para sanar essa questão. Quanto aos proprietários da área vizinha da barragem denominada de auto salvamento, não possui nenhum esclarecimento sobre o risco que correm em caso de ruptura da barragem, além de não possuir um sistema para serem alertado em caso de emergência.

O depósito de rejeitos dessa unidade é uma estrutura composta por um dique de partida de terra compactada e rejeitos compactados a montante. Em caso de ruptura desse depósito, uma onda de sólidos fluirá para jusante, impactando de imediato o reservatório da barragem de água, que implicaria a ruptura por galgamento da barragem, lançando para a jusante o fluxo de água e sólidos, com elevado potencial de destruição, impactando as construções e colocando em risco a vida de pessoas e pequenos sítios na área a jusante da barragem de rejeito da mineradora.

## 5.6 CÁLCULO DA ÁREA DE IMPACTO EM CASO DE RUPTURA DA BARRAGEM

De acordo com a portaria do Departamento Nacional de Produção Mineral DNPM nº 526 inciso XI do Art. 2º, a área que é denominada de impacto ou como

área de “auto salvamento” a região a jusante da barragem, em que se considera não haver tempo para uma intervenção das autoridades competentes em caso de ruptura. Nessa, encontram-se 11 propriedades habitadas de médio porte e pequenos sítios, quatro pontes municipais e o rio São João bem como parte das matas ciliares dele e do córrego Muniz.

A área de impacto ou de autossalvamento foi dimensionada de acordo com o software “Tailings flow slide calculator” e simula também o avanço da onda liberada após a ruptura. O cálculo da área impactada leva em consideração a extensão da área a ser impactada em duas dimensões (extensão e altura). Os dados de entrada para a simulação são a altura da barragem, declividade do vale a jusante e parâmetros físicos da lama. Assim é realizado de acordo com o “Code of Practice” e a seguinte equação 1:

$$D = 100 \times H \quad (1)$$

Sendo:

H: altura máxima da barragem de 83,8m, calculado pela diferença entre o desnível entre o nível da crista da barragem de 956,8 m e o nível de rejeito atual 873 m, resultado H de 83,8m, portanto da equação 1, tem-se

$$D = 100 \times 83,8 = 8.380 \text{ m ou } 8,4 \text{ km}$$

Pelo resultado obtido a distância a ser atingida pela massa de água e sólidos foi de aproximadamente 8,4 km, considerando o código da África do Sul, que recomenda uma distância segura em 10 km, justifica-se o planejamento de ações emergenciais.

O cálculo da distância da área a ser impactada foi realizado pela equação 2.

$$D = 2 \times i \quad (2)$$

Sendo:

D: distância a ser impactada (km)

i : gradiente topográfico da área de escoamento a jusante de 1,4

$$D = 2 \times 1,4 = 2,8 \text{ km}$$

Considerando que a área de auto-salvamento a ser impactada de imediato

está localizada a 2,3 km de distância entre a barragem e o rio São João e o córrego Muniz, e se considerando o desnível da barragem e o local mais baixo o relevo dessa área a distancia é de 2,8 km, ou seja, esta área é muito próxima da barragem de rejeito da mineração. Portanto não existe a possibilidade de intervenção para minimizar o risco do impacto por parte tanto da mineradora quanto do poder público ou da defesa civil, uma vez que o município de Fortaleza de Minas não dispõe desse serviço e a defesa civil mais próxima e o corpo de bombeiro mais próximo fica na cidade de Passos-MG a 20 km do local de auto salvamento e a 15 km da cidade de Fortaleza de Minas.

## 5.7 MAPEAMENTO DA ÁREA DA MINERADORA

O córrego Muniz tem sua nascente junto ao Complexo Industrial, fluindo no sentido Norte, até encontrar o rio São João, cerca de 2 km a Jusante da barragem de água. A partir do ponto de confluência, o rio São João se desenvolve no sentido Noroeste, encontrando a cidade de Fortaleza de Minas cerca de 3 km abaixo, e continuando nesse sentido, deságua no reservatório da barragem da hidroelétrica de Peixoto, aproximadamente entre 60 e 70 km.

Segundo levantamento realizado pela própria mineradora consta que ao longo do córrego Muniz, estão localizadas 11 propriedades na área com potencial risco de serem atingidas por escoamento de rejeito das barragens, as quais possuem moradores. As atividades econômicas de duas dessas propriedades são baseadas na pecuária leiteira, outras quatro propriedades são voltadas para o cultivo de produtos agrícolas. As outras propriedades são de pequenos sítiantes que praticam a agricultura de subsistência, com pequenos rebanhos de gado leiteiro.

Na Figura 14, está em destaque o distanciamento entre a barragem de rejeito da mineração e o Rio São João que é de 2,3 km.

Figura 14 - Visão da barragem de rejeito da mineradora no município de Fortaleza de Minas-MG



Fonte: Google Earth/ 22/03/2017 18:12

À jusante da barragem, o córrego Muniz é recoberto por matas ciliares até a confluência com rio São João; quatro pontes e uma estrada municipal também estão na área de potencial risco da barragem. O rio São João corta o município de Itaú de Minas-MG, o qual fornece água para o abastecimento desse município. Tal rio tem seu percurso a noroeste da mineração e desagua no reservatório da Barragem Hidrelétrica de Peixoto, aproximadamente entre 60 e 70 km da barragem de rejeito da mineradora no município de Fortaleza de Minas-MG. Na Figura 15, está apresentada uma visão em planta da mineradora no município em Fortaleza de Minas -MG.



Figura 15 - Distanciamento entre a barragem de rejeito e o Rio São João



Fonte: Google Earth/ 22/03/2017 18:12

## 5.8 AVALIAÇÃO DO RISCO EM CASO DE RUTURA DA BARRAGEM DA MINERADORA

Como a barragem de rejeito está localizada à montante da barragem de água do rio São João, em caso de ruptura, uma massa de sólidos atingiria de imediato o espaço ocupado pela água no reservatório da barragem, causando elevação rápida e significativa do NA. Por consequência, também ocorreria à ruptura da barragem, por galgamento.

Assim, no caso da Barragem da mineração no município de Fortaleza de Minas, o cenário mais crítico considera a ruptura do depósito de rejeitos e a ruptura em seguida da barragem de água.

Em caso de ruptura do depósito de rejeito, uma onda de água e sólidos fluirá para a jusante, impactando de imediato o depósito da barragem de água, implicando no galgamento dessa barragem, lançando para a jusante o fluxo de água e sólidos

com elevado potencial de destruição, colocando em risco a vida de pessoas e ainda causar impactos em corpos d'água, agricultura e pecuária.

O córrego Muniz localizado ao longo da barragem de rejeito, poderá ser atingido em seu leito e suas margem, por uma mistura de água e sólidos causando possível destruição nas matas ciliares e contaminando suas águas com compostos tóxico de níquel e devido ao dióxido de enxofre presente no seu processo de fundição que por conter sais dissolvidos, metais pesados e outros resíduos químicos do processo mineralógicos, além de serem atingidas 11 propriedades por rejeitos e água das quais três possuem casas nessas áreas denominadas de auto salvamento, além de quatro pontes, uma estrada municipal e uma linha de emissário de efluente da própria mineradora.

O talvegue do córrego Muniz até o rio São João é de 2,3 km com declive médio de 53 m, deste ponto do córrego Muniz até a cidade de Fortaleza de Minas a distância também é de 2,3 km com declive médio de 0,3%, o que nesse caso terá o mesmo impacto já mencionado uma vez que a lama de rejeito seguira o mesmo percurso do rio São João até sua foz. Considerando-se o trecho todo entre a barragem e a cidade tem-se uma distância de 4,6km com desnível de 63m, resultando em uma declividade topográfica média de 1,4%.

A extensão da área afetada sofrera as consequências mais graves da onda de destruição, que poderá se deslocar a grandes velocidades. Como a ruptura da barragem implica no fluxo de água e sólidos erodidos a jusante, ocorrerá o aumento da turbidez e dos sólidos em suspensão na água dos rios a jusante, com as partículas mais leves, que comprometerá a tecnologia empregada na Estação de tratamento de água para o abastecimento da cidade de Itaú de Minas-MG, implicando em gastos com produtos químicos para potabilização adequada.

Na Figura 16 pode ser observada a distância de 35 a 40 km entre a foz do rio São João e a Barragem de Peixoto (Usina Hidroelétrica Mascarenhas de Morais), localizada no Rio Grande.



Figura 16 - Mapa da Usina Hidroelétrica de Peixoto e a Foz do Rio São João



Fonte: Google Earth. Acessado em 05/04/2017 09h:45

A Tabela 2 apresenta os critérios para a classificação do potencial de dano ambiental das barragens segundo o DNPM e na última linha o resultado obtido para a barragem em estudo.

Tabela 2 - Resultado da classificação do potencial de dano ambiental da barragem de estudo segundo DN COPAM nº062/2002

Altura da barragem H(m)	Volume do reservatório (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Ocupação Humana a jusante	Interesse Ambiental a jusante	Instalações na Área de jusante
H < 15 V=0	V <sub>r</sub> < 0,5 V=0	Inexistente V=0	Pouco significativo V=0	Inexistente V=0
15 ≤ H ≤ 30 V=1	0,5 ≤ V <sub>r</sub> ≤ 0,5 V=1	Eventual V=2	Significativo V=1	Baixa concentração V=1
H > 30 V=2	V <sub>r</sub> > 5,0 V=2	Grande V=3	Elevado V=3	Alta concentração V=2
H = 42m V = 2	V <sub>r</sub> = 4,1 milhões m <sup>3</sup> V = 2	Eventual V = 2	Significativo V=1	Baixa concentração V = 1

Fonte: Autora, 2017

Para a classificação o COPAM considerou critérios técnicos (altura da barragem e volume do reservatório), e ambientais como ocupação humana a jusante. Para cada critério é utilizado um valor (V) que varia entre 1 e 3.

- Baixo potencial de dano ambiental – Classe I  $V \leq 2$ .
- Médio potencial de dano ambiental – Classe II  $2 < V \leq 4$ .
- Alto potencial de dano ambiental – Classe III  $V > 4$ .

A soma dos valores obtidos foi 8 ( $V=8$ ); segundo o COPAM, classifica-se como Alto Potencial de Dano Ambiental.

## 5.9 MEDIDAS DE CONTROLE DA MINERADORA

O sistema de monitoramento SIGBAR é composto por seis módulos principais, a saber:

- **PRELIMINAR:** Atividades preliminares de preparação, como definição de responsáveis e responsabilidades, elaboração de plantas cadastrais, sinalização, entre outros.
- **DOCUMENTA:** Trata-se de arquivamento e organização dos documentos e das informações sobre barragens.
- **MONITORA:** Monitoramento geotécnico (inspeção de campo e leituras dos instrumentos instalados das barragens).
- **AVALIA:** Consiste na avaliação contínua emitindo relatórios mensais. Realização de inspeção de campo em conjunto com a equipe técnica da unidade, com elaboração de relatório de visita com devidas recomendações. Auditoria anual para atendimento as normas de segurança conforme os órgãos de fiscalização.
- **GVISTA:** Disponibilização das principais informações sobre a barragem de forma visual e facilitada para todos os envolvidos com as barragens.
- **TREINAR:** Capacitação e treinamento de todos os envolvidos com as barragens e das atividades envolvidas com o sistema SIGBAR. As inspeções de campo das barragens devem ser realizadas quinzenalmente.

Esse tipo de inspeção de campo, evita eventuais problemas os quais são detectados com rapidez, possibilitando tomada de ações imediatas para evitar a evolução de um problema esse problema para um incidente e posteriormente para um acidente. O Quadro 4 apresenta os principais órgãos municipais, estaduais e de defesa civil, além de outros contatos em caso de ruptura da barragem de rejeito de

mineração do município de Fortaleza de Minas.

Quadro 4 - Telefones a serem utilizados em caso de ruptura da barragem de rejeito de mineração da VTM Fortaleza de Minas-MG

Órgão ou Instituição	Telefones
Prefeitura Municipal (Fortaleza de Minas)	(35)3537-1250
Defesa Civil Estadual	(31)3915-0274
Defesa Civil (Passos-MG)	(35) 3522-8626
Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil	(61)2034-5869
Corpo de Bombeiro (Passos-MG)	193
SAMU (Passos-MG)	192
Polícia Militar (Fortaleza de Minas-MG)	190 ou (35)99861-9797
FEAM- Supram (Varginha-MG)	(35) 3229-1816
DNPM (Poços de Caldas-MG)	(35) 3712-6541
Polícia Ambiental (Passos-MG)	(35) 3521-2414

Fonte: Prefeitura Municipal de Fortaleza de Minas

As medições nos equipamentos instalados nas barragens devem ser realizadas diariamente para a pluviometria e quinzenalmente para o piezômetro. Os dados levantados devem ser reportados à Gerência da unidade e a diretoria da empresa. Com frequência semestral o engenheiro da empresa contratada pela mineradora deverá realizar inspeção de campo em conjunto com a equipe da unidade.

Caso em que em uma inspeção seja detectada alguma anomalia que resulte em pontuação máxima 10 (dez), segundo o software “Tailings Flow Slide Calculator” e o Código da África do Sul para barragens de rejeito de mineração, o estágio da anomalia é avançado e as ações não foram tomadas a tempo e a contento para evitar a evolução do mesmo. Pelo fato de que nesse sistema adotado pela mineradora a anomalia poderá ser detectada em estágio inicial. Segundo o DNPM nº 526 e a contratada da mineradora, responsável pela inspeção das barragens de mineração, uma barragem pode apresentar três níveis de emergência, tais como:

- Nível 1: Situação de emergência de não ruptura: Quando é detectada um problema de pontuação máxima dez (10), o qual compromete a segurança da

estrutura. Nessa situação onde os problemas ainda são insipientes, mas que podem comprometer a segurança da barragem e que permite a medida a adoção de medidas corretiva para evolução de problema.

-Nível 2: Nesse caso são tomadas ações para evitar a evolução da situação de emergência, as quais não obtiveram efeito no Nível 1, ou seja, o resultado das ações do Nível 1 é classificado como “não extinto” segundo a definição do Inciso X do Art.31 da portaria nº 416. Nesse caso o problema torna mais grave, mas ainda há tempo para tomada de decisões para evitar a ruptura da barragem.

-Nível 3: Nesse caso houve falha de todas as medidas tomadas para impedir a evolução do problema detectado no Nível 1, onde o processo de ruptura da barragem é iminente ou está ocorrendo.

A detecção da situação de emergência é de responsabilidade do técnico Operador da Barragem. É de responsabilidade do coordenador do PAEBM a definição do nível em que se encontra a emergência, para proceder com as notificações dos responsáveis. Por esse fato que faz se necessário o monitoramento também de maneira expedita pelo técnico operador da barragem visando buscar indícios de comportamento anormal das estruturas.

A detecção de uma situação de emergência indicará deficiência nas atividades de inspeções e monitoramento da barragem de rejeito, a classificação quanto ao nível da situação de emergência dependerá de condições exclusivas da gravidade da ocorrência, rapidez, alteração além do clima (seco ou chuvoso), condições operacionais da estrutura, entre outras.

As medidas corretivas a serem tomadas para o combate de um problema detectado, gerando uma situação de emergência, não são únicas e devem ser bem avaliadas, de acordo com a anomalia observada e da época do ano, devem seguir ações corretivas específicas para cada tipo de problema. Essas ações que devem ser seguidas conforme o nível de emergência das anomalias detectadas nas barragens estão relacionadas no Quadro 5.

Quadro 5 - Medidas corretivas a serem tomadas de acordo com o Nível de água (NA) de Emergência do reservatório

Condição	Nível de Alerta	Ação
Até 1m abaixo da crista (borda livre mínima de = 1m)	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Se ocorrer elevação continuada do NA, com indicação de que a borda livre mínima será superada, disparar a situação de emergência Nível 1.</li> <li>•Paralisar o lançamento de rejeito no reservatório.</li> <li>•Convocar a projetista.</li> <li>•Instalar o bombeamento no reservatório, lançando a água à jusante.</li> <li>•Aumentar a frequência das leituras para diária.</li> </ul>
Entre 1m e 0,5m abaixo da crista	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Caso o NA ultrapasse a borda livre mínima, disparar a situação de emergência de Nível 2.</li> <li>•Paralisar o lançamento de rejeito no reservatório.</li> <li>•Convocar o projetista.</li> <li>•Aumentar o bombeamento.</li> <li>•Colocar em operação tubos para sinfonamento.</li> <li>•Mobilizar equipes, equipamentos e materiais para eventualidade de se altear o dique.</li> <li>•Aumentar a frequência das medições duas vezes ao dia.</li> </ul>
Menos de 0,5m abaixo da crista	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Caso o NA do reservatório continue subindo, chegando a 0,5m da crista, a situação de emergência de Nível 3 deverá ser disparada.</li> <li>•Paralisar o lançamento de rejeitos do reservatório.</li> <li>•Convocar o projetista.</li> <li>•Executar alteamento de emergência da crista da barragem. Se não for possível, escavar um canal, com trator, em uma das ombreiras, para permitir a saída da água.</li> <li>•Remover o pessoal e equipamentos da área de risco da barragem.</li> </ul>
Abaixo da superfície na análise de estabilidade para FS = 1,5	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Se ocorrer a elevação continuada do N.A. dos PZ's e INA's, com indicação de que o limite da superfície considerada na análise de estabilidade será superado, a situação de emergência de Nível 1 deverá ser disparada.</li> <li>•Lançar rejeitos da crista da barragem, aumentando a largura da praia.</li> <li>•Instalar bombeamento no reservatório para rebaixar o N.A. do mesmo, lançado a água para a jusante.</li> <li>•Verificar se a saída do dreno de fundo está livre.</li> <li>•Convocar a projetista.</li> <li>•Rebaixar o N.A. do reservatório, instalando bombeamento e lançando a água para a jusante.</li> <li>•Aumentar a frequência das leituras dos instrumentos diária.</li> </ul>

Continuação: Quadro 6		
Acima da superfície para FS = 1,5 e abaixo da FS = 1,2	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Caso o N.A. dos instrumentos continue subindo, disparar a situação de emergência de Nível 2.</li> <li>•Convocar a projetista.</li> <li>•Mobilizar empresa de sondagem e executar drenagem horizontal profunda.</li> <li>•Laçar rejeitos na crista da barragem aumentando ainda mais a largura da praia.</li> <li>•Instalar bombeamento no reservatório para rebaixar o N.A do mesmo, lançando a água para a jusante.</li> <li>•Aumentar a frequência das medições para duas vezes ao dia.</li> </ul>
Acima da superfície para FS = 1,2	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Caso o N.A. dos instrumentos continue subindo, disparar a situação de emergência de Nível 3.</li> <li>•Convocar a Projetista.</li> <li>•Mobilizar empresa de sondagem e executar drenagem horizontal profunda ou adicional.</li> <li>•Lançar rejeitos na crista da barragem, aumentando ainda mais a largura da praia.</li> <li>•Instalar bombeamento no reservatório para rebaixar o N.A. do mesmo, lançado a água para a jusante.</li> <li>•Executar Dique de reforço no pé da barragem.</li> <li>•Remover pessoal e equipamentos da área de risco.</li> </ul>
Trincas na crista ou nos taludes	1/2/3	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Convocar a projetista.</li> <li>•Cadastrar com levantamento topográfico.</li> <li>•Com orientação da projetista pode-se:               <ul style="list-style-type: none"> <li>-Escavar no local da trinca para avaliar sua extensão;</li> <li>Obturar com solo socado ou com nata de cimento e bentonita; monitorar com marcos e controle topográfico; executar obra de reforço ou estabilização.</li> </ul> </li> </ul>
Surgências d'água nos taludes	1/2/3	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Convocar a projetista.</li> <li>•Cadastrar com levantamento topográfico.</li> <li>•Coletar a surgência com um tubo, de modo a se poder medir a vazão e verificar a presença de sólidos.</li> <li>•Com orientação da projetista, adotar medidas de proteção, com execução de filtros invertidos a jusante.</li> </ul>
Erosão no Talude	1/2/3	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Tomar ações para combater a causa, desviando ou ajustando o fluxo das águas de superfície.</li> <li>•Executar a recomposição do local.</li> </ul>

Fonte: Geoconsultoria, 2015

## 6 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a barragem de rejeito de mineração em estudo apresenta risco ambiental geográfico iminente.

Pelo estudo realizado pode-se concluir que a mineradora em questão possui um sistema de barragem de contenção de rejeito construído de acordo com o método a montante, o qual requer a observação de alguns fatores construtivos e operacionais, visto que esse não é o método mais seguro conforme cita a literatura. Entretanto conclui-se que foram observados os fatores exigidos para a construção e operação da barragem de rejeito, todos obedecendo às legislações pertinentes.

A mineradora tem um plano de ação bem elaborado, denominado Plano de Ação de Emergência de Barragem de Mineração (PAEBM), com treinamento, capacitação de equipe, para evitar uma possível eventualidade que possa evoluir para uma ruptura na barragem de rejeitos. Porém, conclui-se que há alguns pontos desse plano os quais requerem maior atenção e modificações mediante uma ruptura eminente da barragem, sendo:

- Quanto à defesa civil: O município de Fortaleza de Minas-MG, não dispõe desse serviço, posto que a defesa civil mais próxima, localiza-se na cidade vizinha de Passos-MG que se encontra à 35min da barragem de rejeito e da área denominada de auto salvamento.
- No que diz respeito ao Corpo de Bombeiro e ao SAMU mais próximos da área da barragem de rejeito também se encontra na cidade de Passos-MG. E em caso de ruptura da barragem apresentará a mesma demora na prestação de socorro, entretanto PAEBM não atentou para esse fato.
- Implantar um sistema de cinere de alerta no local da barragem, e também plano de evacuação de emergência na cidade.

O mapeamento sugere um risco de dano ambiental, no caso de uma possível ruptura, que certamente afetaria propriedades rurais com residentes próximas a barragem, cursos d'águas, rio São João, matas ciliares, estradas, além de comprometer o abastecimento da cidade de Itaú de Minas-MG.

O potencial de risco calculado foi 8 (valor >4), sendo classificado como alto potencial de dano ambiental – Classe III V > 4.

Já que avaliação do risco depende tanto do projeto, tipo de construção, instrumentação quanto da seriedade dos profissionais responsáveis pelo

monitoramento, conclui-se que pode se evitar muitos acidentes e grandes impactos ambientais com monitoração efetivamente aplicadas.

Pode ser concluir sobre uma divergência entre as normas legais e órgãos ambientais sobre o impacto ambiental, sendo que o município de Fortaleza de Minas-MG não dispõe sobre esse assunto em sua Lei Orgânica e não apresenta um Plano Diretor conforme estabelece a Lei nº10. 257 de julho de 2001, portanto recomenda-se a obrigatoriedade de elaboração de um Plano Diretor para o município de Fortaleza de Minas-MG.



## REFERÊNCIAS

- ALICEWEB/MDIC, 2015 - Sistema de Análise de Informações de Comercio Exterior Via Internet do Governo Federal–SECRETARIA DE COMERCIO EXTERIOR (SECEX).
- ALMEIDA, L. M. e RIGOLIN, T. B. (2004) **Fronteiras da globalização**, Ed. Ática, Cap. 18 pg. 198 - 209.
- ALVES, A. N.. HISTÓRICO E IMPORTÂNCIA DA MINERAÇÃO NO ESTADO. **Revista do legislativo de Minas Gerais**, 1998 págs. 27 - 32.
- ARAUJO, C. B.. **Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro**. 133 p. Dissertação de 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-MG: ABMS/ABGE/CBGB, 1995, p. 259-273.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBR) nº 10.004**. Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 1987.
- AUSTRALIAN ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. **Best Practice Environmental Management in Mining. Tailings Containment**. Australian EPA, Canberra. 1995.
- BRADLOW, D.; PALMIERI, A.; SALMAN M. A. S. **Regulatory frameworks for dam safety - a comparative study. The International Bank for Reconstruction and Development**
- CAMARA MUNICIPAL DE FORTALEZA DE MINAS e PREFEITURA DE FORTALEZA DE MINAS, **Departamento de Meio Ambiente 2015**
- CANADIAN DAM ASSOCIATION (CDA). Dam safety guidelines. 1999. Disponível em: <<http://www.cda.ca>>. Acesso em: 2 fev. 2017
- CHIOSSI, N.. (2013) Geologia de Engenharia - 3ª Ed. Cap.13 p. 424
- COTRIM, G. História Global: Brasil e Geral. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2002. p 608.
- CONSELHO DE POLÍTICA AMBIENTAL (COPAM). Deliberação Normativa n. 62. **Dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais**. Lex: Diário do Executivo - Minas Gerais, 17 de dezembro de 2002. 9 p
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA) Resolução n. 237. **Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na**

**Política Nacional do Meio Ambiente.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF, 22 dez. 1997. Seção 1. p. 30.841-30.843.

DAVIES, M. P. **Impounded mine tailings: what are the failures telling us?. CIM Distinguished Lecture 2000-2001.** The Canadian Mining and Metallurgical Bulletin, July, v. 94, n. 1052, p. 53-59, 2001.

DELLIOU, P. Le. **Working group on dam legislation, final report. ICOLD European Club,** fev. 2001. Disponível em:  
<<http://cnpqb.inag.pt/IcoldClub/documents/LEGISLATIONFinalReport.PDF>>.  
Aceso em 11 nov. 2016

Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). **A Importância Econômica da Mineração no Brasil,** ago/2011. 24p.

DNPM, DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL  
(Superintendência em Pernambuco) SANTOS, 2010.

Emissora de Televisão Globo Minas: <http://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2013/11/>

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

FAUSTO, B.. (2013) **Historia do Brasil,** Cap.10 Ed. Saraiva - 14<sup>o</sup> edição.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **Evolução das ações de gestão de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatórios de água de em empreendimentos industriais e minerários no Estado de Minas Gerais.** Março 2007. 128 p. Disponível em:  
<<http://www.feam.br>>. Acesso em: 11 de nov. 2016

GEOCONSULTORIA, (2015); **Relatório Técnico da Barragem da Unidade de Fortaleza de Minas-MG.**

GIRODO, A. C. Mineração: Projeto Apa Sul RMBH – **Estudos Físicos.** V. 2. Belo Horizonte, 2005.168p.

GOLDER. **Operating manual for the tailings management facility at the Lisheen mine.** Ireland: Golder Associates, 1999. p. 81. (Report No. 99640128).

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS; **Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável; Subsecretaria de Gestão e Regularização Ambiental Integrada; Superintendência Regional de Regularização Ambiental do Sul de Minas.**

IBRAM; MELO, J. C..(2015); /“ **Aspectos da mineração em Minas Gerais. Congresso Brasileiro de Mineração/ Instituto brasileiro de mineração.**

- IBRAM; GIRODO, A. C.; B. J. L.; Instituto Brasileiro de Mineração **Elementos Básicos de um Projeto de Mineração**. Belo Horizonte, nov/1981, 28p
- INTERNATIONAL COMMISSION OF LARGE DAMS – ICOLD. **Tailings dams: risk of dangerous occurrences - Lessons learnt from practical experiences**. Paris: UNEP/ICOLD, 2001. (Bulletin 121).
- LOPES, M.. Portal Técnico em Mineração – **Mecânica das rochas, fatores de risco na lavra subterrânea** - <http://tecnicoemineracao.com.br/mecanica-das-rocha> acesso em 16/02/2017 22:08.
- MACÊDO, A. J. B. de; BAZANTE, A. J.; BONATES, E. J. L. (2001). **Seleção do método de lavra: arte e ciência**. Revista Escola de Minas. v. 54 n.3, jul./ set 2001.
- MARTINS, R. **Legislação sobre segurança de barragens a nível mundial. Jornada Técnica. Legislação sobre segurança de barragens**. Projeto NATO-PO FLOODRISK MANAGEMENT. LNEC, 15 de nov. 1999. Disponível em: <[http://www.dha.lnec.pt/nre/portugues/funcionarios/papers/rmartins/Legislacao\\_Seg\\_Barragens.pdf](http://www.dha.lnec.pt/nre/portugues/funcionarios/papers/rmartins/Legislacao_Seg_Barragens.pdf)>. Acesso em 06 dez 2016
- MEDEIROS, C. H. A. C. **Utilização da técnica de análise de probabilidade de risco na avaliação de segurança de barragens**. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 23., 1999. Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, MG.
- MENESCAL, R. A.; CRUZ, P. T.; CARVALHO, R. V.; FONTENELLE, A. S.; OLIVEIRA, S. K. F. **Uma metodologia para avaliação do potencial de risco em barragens do semi-árido**. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 24., 2001. Fortaleza. Anais... Fortaleza, 2001.
- MENESCAL, R.A. e Costa, M.P, 1998. **Levantamentos Batimétricos em Reservatórios da Região Metropolitana de Fortaleza**, (2001).
- MINING ASSOCIATION OF CANADA – MAC. **A guide to the management of tailings facilities**. 1998. Disponível em: <<http://www.mining.ca>>. Acesso em: 10 fev. 2017.
- MORGENSTERN, N. **Acúmulo de lama é uma das causas da ruptura de barragem**. G1/Minas Gerais, Agosto (2016).
- PENMAN, A. D. M. Risk analyses of tailings dam construction. In: **SEMINAR ON SAFE TAILINGS DAM CONSTRUCTIONS**, Gallivare, Swedish Mining Association, Natur Vards Verket, European Commission, 2001. p. 37-53.
- PRADO FILHO, J. F. e SOUZA, M. P. **O licenciamento Ambiental da mineração no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais - Uma análise da implementação de medidas de controle ambiental formuladas em EIAs/RIMAs**. Eng. Sanit. Ambient. Vol.9 nº4 out/dez (2004), p. 343 - 349.
- REDAELLI, L. L e CERELLO, L. **Geologia de Engenharia: Escavação**. 1. Ed. São

Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE). 1998 p.311-330.

REVISTA VEJA, pág.86 **O mapa da destruição**, editora Abril, ed.2454, ano 48 02/12/2015.

RUSCHI, A. (2015). **Impacto de Lama Seria Como Dizimar o Pantanal** – BBC/ Brasil em Londres. Escola Estação de Biologia Marinha-ES

SANTOS, J. B; FRANÇA, M. J; ALMEIDA, A. B; **Risco Associado à Ruptura Por Galgamento de Barragem Em Aterro**. Ingeniería del Agua, Vol. 14, nº4 Diciembre 2007.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. Coordenadoria de Planejamento Ambiental. Manual de Orientação, **Roteiro de EIA/RIMA para empreendimentos minerários: Plano de recuperação de áreas degradadas**. São Paulo, SMA, 1991.

SILVA, A. M. P. **Sustentabilidade Operacional no Contexto da Indústria Mineral: Caso de Caulim no município de Cabo Santo Agostinho**. Recife, 2008, 70 p.

SOUZA, L. A. P.; SILVA, R. F.; IYOMASA, W. S. (1998) **Geologia de Engenharia: Métodos de investigação** 1. Ed. São Paulo: ABGE- Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998 p.163-196.

STACEY, T. R.; SWART, A. H. **Investigation into draw points, tips, ore passes and chutes**. Safety in mines research advisory committee, v. 1, 105 pp. 1997.