

**CAROLINA ARREBOLA POSTIGO  
PRISCILA PORTELA COSTA  
VALDEMAR MONTEIRO DE OLIVEIRA JÚNIOR**

**ANÁLISE DA LEGISLAÇÃO E DO PANORAMA BRASILEIRO  
DE SEGURANÇA DE BARRAGENS DE REJEITOS DE  
MINERAÇÃO E MÉTODOS ALTERNATIVOS DE DISPOSIÇÃO  
DE REJEITOS DE MINERAÇÃO**

Trabalho de Formatura do Curso de  
Engenharia Civil e Engenharia  
Ambiental apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo

São Paulo  
2016



**CAROLINA ARREBOLA POSTIGO  
PRISCILA PORTELA COSTA  
VALDEMAR MONTEIRO DE OLIVEIRA JÚNIOR**

**ANÁLISE DA LEGISLAÇÃO E DO PANORAMA BRASILEIRO  
DE SEGURANÇA DE BARRAGENS DE REJEITOS DE  
MINERAÇÃO E MÉTODOS ALTERNATIVOS DE DISPOSIÇÃO  
DE REJEITOS DE MINERAÇÃO**

Trabalho de Formatura do Curso de  
Engenharia Civil e Engenharia Ambiental  
apresentado à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Abramento

São Paulo  
2016

Postigo, Carolina

Análise da legislação e do panorama brasileiro de segurança de barragens de rejeitos de mineração e métodos alternativos de disposição de rejeitos de mineração / C. Postigo, P. Costa, V. Júnior -- São Paulo, 2016.

143 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica.

1.Barragens de rejeitos 2.Panorama brasileiro 3.Segurança de barragens 4.Métodos alternativos de disposição de rejeitos 5.Entorno de barragens brasileiras  
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica II.t. III.Costa, Priscila IV.Júnior, Valdemar

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela saúde, força e sabedoria para superar as dificuldades e concluir o presente trabalho.

Ao Professor Doutor Maurício Abramento, pela disponibilidade e orientação, pela indicação de bibliografia e esclarecimentos ao longo da conclusão deste trabalho, além das relevantes opiniões e sugestões que nos ajudaram nesta tarefa.

Ao Geólogo Paulo Ribeiro de Santana, ouvidor do DNPM e ao Engenheiro Geotécnico Andy Small, da ICOLD, pela disposição em responder nossas dúvidas e pelo fornecimento de dados, o que garantiram material tão importante para a conclusão deste trabalho.

À banca presente na conclusão do Trabalho de Formatura I, o Professor Doutor Fernando Antônio Medeiros Marinho e o Professor Doutor Edilson Pissato, por sua atenção aos detalhes e sugestão de temas e fontes de pesquisa para a continuidade do trabalho.

Às nossas famílias e amigos, pelo apoio incondicional, pelo amor, pela paciência e pela presença constante durante toda a nossa graduação.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
1.1	Principais Métodos Construtivos de Barragens de Rejeitos de Mineração ..	12
1.1.1	Método de montante .....	13
1.1.2	Método de jusante .....	14
1.1.3	Método de linha de centro .....	15
1.2	Acidentes com Barragens de Rejeitos no Brasil e no Mundo.....	15
2	OBJETIVOS .....	20
3	MÉTODO DE PESQUISA .....	21
4	PANORAMA BRASILEIRO .....	22
4.1	Legislação sobre Barragens de Rejeitos de Mineração .....	22
4.1.1	A Lei no 12.334/2010, suas implicações e panorama atual.....	23
4.2	Sistema de Classificação de Barragens.....	25
4.3	Plano de Segurança da Barragem .....	26
4.4	SNISN e Relatório de Segurança de Barragem .....	27
5	COMPARAÇÃO DO PANORAMA LEGISLATIVO DO BRASIL COM OUTROS PAÍSES .....	38
5.1	Barragens Sujeitas à Legislação .....	46
5.2	Classificação quanto ao Risco das Barragens de Rejeitos de Mineração....	47
5.3	Exigências Legais .....	47
5.4	Inspeções.....	48
6	ANÁLISE DO ENTORNO DAS PRINCIPAIS BARRAGENS DE REJEITOS .....	49
6.1	Minérios das Barragens .....	50
6.2	Empreendedores para a Construção das Barragens .....	51
6.3	Vale S.A. - Antiga Companhia Vale do Rio Doce .....	52
6.3.1	Congonhas e região .....	53
6.3.2	Itabira e região.....	57
6.3.3	Barragem do Sossego .....	61
6.4	Rio Paracatu Mineração S.A.....	65
6.5	Samarco Mineração S.A. .....	69
6.6	Erros de localização .....	73
7	ANÁLISE DO PANORAMA NACIONAL DE BARRAGENS DE REJEITOS .....	75
7.1	Segurança das Barragens de Rejeitos no Brasil.....	79
8	MÉTODOS ALTERNATIVOS DE DISPOSIÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO	80
8.1	Disposição Ambientalmente Correta .....	82
8.1.1	Disposição em Cavas Exauridas .....	82
	ArcelorMittal Mineração Serra Azul – Disposição temporária em cava exaurida com empilhamento drenado .....	83
8.1.2	Disposição compartilhada e codisposição de rejeitos e estéreis .....	85
	Pará Pigmentos S.A. – Codisposição e disposição compartilhada de rejeitos e estéreis em cavas ainda em operação.....	89
	Vale S.A. – Disposição compartilhada em cava exaurida .....	91
8.1.3	Empilhamento drenado.....	93
	AcelorMittal - Empilhamento Drenado na Mina de Serra Azul .....	94
8.2	Tratamento dos Rejeitos .....	96
8.2.1	Espessamento dos rejeitos.....	97
8.2.2	Filtragem de rejeitos .....	100
8.3	Reutilização dos Rejeitos .....	104
8.4	Não Geração dos Rejeitos .....	112

8.4.1	Fine Dry Magnetic Separation (FDMS).....	114
8.4.2	Beneficiamento a umidade natural .....	117
9	CONCLUSÕES .....	119
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	122
	ANEXO I – Quadro para classificação de barragens e disposição de resíduos e rejeitos .....	129
	ANEXO II – Quadro de classificação quanto à categoria de risco.....	130
	ANEXO III – Quadro de classificação quanto ao dano potencial associado .....	133
	ANEXO IV – Estrutura e conteúdo mínimo do plano de segurança de barragens ..	135
	ANEXO V – Barragens de rejeito na região de Congonhas .....	138
	ANEXO VI – Barragens de rejeito na região de Itabira .....	140

## RESUMO

A atividade mineradora, tão importante para a economia brasileira em termos de Produto Interno Bruto (PIB), também é grande geradora de resíduos como rejeitos e estéreis. Há grande demanda por locais de disposição ao mesmo tempo em que há grande fiscalização e restrição pelos órgãos reguladores ambientais. Com isso, torna-se necessário o estudo de novas formas de disposição de rejeitos, sua diminuição e até mesmo seu reaproveitamento.

A este cenário, soma-se o acidente da Barragem do Fundão, em Mariana, onde houve mortes e desaparecidos, gerando grande repercussão nacional. É necessário, portanto, uma comparação e análise de leis e do sistema de classificação brasileiros em relação às barragens de rejeitos.

O presente trabalho analisa e compara o cenário brasileiro e o mundial, com suas leis, seu sistema de classificação, seu conceito de segurança de barragens e os acidentes recentes ocorridos, além da análise dos entornos das barragens de rejeitos nacionais construídas e geridas pelas maiores empreendedoras em número de barragens de rejeito. Por fim, são mostradas alternativas ao método de disposição de rejeitos, com suas vantagens e desvantagens.

Os resultados indicaram que já há atividades mineradoras no Brasil que se utilizam de uma disposição alternativa de rejeitos e estéreis, embora ainda sejam casos pontuais. Os métodos apresentados possuem particularidades de uso, demandando estudos prévios para uma aplicação economicamente e ambientalmente viável para cada caso de disposição.

**Palavras-Chave:** barragens de rejeitos, panorama brasileiro, segurança de barragens, métodos alternativos de disposição de rejeitos, entorno de barragens brasileiras.

## ABSTRACT

*The mining activity, with its significant importance to Brazil's economy due to its GDP (Gross Domestic Product) participation, is also a big source of tailings and waste rock. In addition, the great demand for disposal sites and the close inspection and tight restrictions set by the Ambient Regulatory Bodies coexist. Thus, the study of new methods for material disposal is needed, as well as a waste production reduction method and even waste material reuse.*

*To this scenario, we can also add the Barragem do Fundão accident, leading to deaths and disappearances, creating great national commotion. A comparison of national and international laws, as also its risk classification methods is needed in relation to tailing dams.*

*This dissertation analyzes and compares the international and national scenario regarding their laws, their risk classification method and their tailings dams' safety concept. Furthermore, this dissertation analyzes tailings dam surroundings in Brazil that are under supervision of the biggest companies regarding the number of tailings dam built. At last, the dissertation shows a number of alternative disposal methods, as well as their advantages and disadvantages.*

*The analysis obtained in this work shows that there are already a number of case studies in Brazil regarding alternative disposal methods, although limited to individual cases. The methods shown in this work have usage peculiarities that demands a prior study of its viability in a given case in order to guarantee an economically and environmentally viable application.*

*Key-words: tailing dams, Brazilian scenario, safety of tailing dams, alternative disposal methods, remaining dam environment.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Método construtivo de barragens de rejeito de montante. Fonte: Vick adaptado, 1981.....	13
Figura 2: Método construtivo de barragens de rejeito de jusante. Fonte: Vick adaptado, 1981.....	14
Figura 3: Método construtivo de barragens de rejeito de linha de centro. Fonte: Nieble modificado, 1976.....	15
Figura 4: Registro de acidentes com barragens de rejeito no mundo por década. Fonte: Rico et al, 2007.....	16
Figura 5: Registro de acidentes com barragens de rejeitos por região. Fonte: Rico et al, 2007.....	17
Figura 6: Registro das principais causas dos rompimentos de barragens de rejeitos. Fonte: Rico et al, 2007.....	17
Figura 7: Registro de rompimentos por altura da barragem de rejeito. Fonte: Rico et al, 2007.....	18
Figura 8: Registro de rompimentos por volume de armazenamento das barragens de rejeitos. Fonte: Rico et al, 2007.....	18
Figura 9: Registro de volumes de rejeitos liberados em rompimentos de barragens de rejeitos. Fonte: Rico et al, 2007.....	19
Figura 10: Totais e percentuais de barramentos e seus usos no ano de 2011. Fonte: Dados obtidos de Brasil, 2013.....	28
Figura 11: Barragens de rejeito de mineração cadastradas pelo DNPM conforme classificação do seu conteúdo em 2011. Fonte: Brasil, 2013.....	29
Figura 12: Estados brasileiros com mais de quinze barragens de mineração em 2011. Dados obtidos do Brasil, 2013.....	30
Figura 13: Proporção de barragens cadastradas e classificadas em 2013. Dados obtidos do Brasil, 2015a.....	31
Figura 14: Classificação do estado do Plano de Ação de Emergência nas barragens de rejeito. Dados obtidos do Brasil, 2015b.....	33
Figura 15: Totais e percentuais de barramentos e seus usos no ano de 2015. Dados obtidos do Brasil, 2016.....	34
Figura 16: Altura das Barragens de Mineração em Setembro de 2015. Dados obtidos do Brasil, 2016.....	34
Figura 17: Capacidade de Barramento das Barragens de Mineração em Setembro de 2015. Dados obtidos do Brasil, 2016.....	35
Figura 18: Barragens de Mineração segundo classificação do CRI e DPA. Dados obtidos do Brasil, 2016.....	35
Figura 19: Barragens de Mineração por UF em setembro de 2015. Dados obtidos do Brasil, 2016.....	36
Figura 20: Distribuição de Barragens de Mineração Inseridas na PNSB. Fonte: DNPM, 2015.....	37
Figura 21: Barragens de rejeitos da empreendedora Vale S.A. pelo país. Fonte: IBGE imagens.....	52
Figura 22: Barragens de rejeitos da empreendedora Vale S.A. pelo país. (Fonte: IBGE imagens).....	53
Figura 23: Municípios da região de estudo e localização principal das barragens. Fonte: IBGE imagens.....	54

Figura 24: Barragens de rejeitos e topografia da região de Congonhas. Fonte: IBGE imagens.....	55
Figura 25: UPGRH do Rio Paraopeba e do Rio das Velhas da Bacia Hidrográfico do Rio São Francisco. Fonte: IGAM.....	56
Figura 26: Barragens de rejeitos no município de Itabira. Fonte: IBGE imagens.....	58
Figura 27: Município de Itabira e localização das minas e barragens de rejeitos principais. Fonte: IBGE imagens.....	59
Figura 28: Topografia da região de Itabira. Fonte: IBGE imagens.....	59
Figura 29: UPGRH do Rio Piracicaba e do Rio Santo Antônio da Bacia Hidrográfica do Rio Doce. Fonte: IGAM. ....	60
Figura 30: Localização do município de Canaã dos Carajás - PA. Fonte: IBGE imagens.....	62
Figura 31: Localização da Barragem do Sossego. Fonte: IBGE imagens.....	63
Figura 32: Delimitação do município de Canaã dos Carajás, com barragem visível no centro. Fonte: IBGE imagens. ....	64
Figura 33: Bacias hidrográficas do estado do Pará e localização de Canaã dos Carajás. Fonte: IBGE imagens.....	64
Figura 34: Localização do município de Paracatu. Fonte: IBGE imagens.....	66
Figura 35: Caracterização da região central da cidade de Paracatu. Fonte: IBGE imagens.....	67
Figura 36: UPGRH do Rio Paracatu na bacia hidrográfica do Rio São Francisco. Fonte: IGAM. ....	68
Figura 37: Localização de Mariana na UPGRH do Rio Piranga na Bacia Hidrográfica do Rio Doce. Fonte: IGAM. ....	70
Figura 38: Antes e depois do acidente (área de preservação). Fonte: site G1 notícias. ....	70
Figura 39: Antes e depois do acidente (proximidades da barragem). Fonte: site G1 notícias.....	71
Figura 40: Antes e depois do acidente (área urbana). Fonte: site G1 notícias.....	71
Figura 41: Localização da Barragem de Mata-Porcos pelas coordenadas fornecidas tabela do DNPM. Fonte: Google Maps.....	73
Figura 42: Localização da Barragem do Eustáquio pelas coordenadas fornecidas tabela do DNPM. Fonte: Google Maps.....	74
Figura 43: Evolução do Cadastro de Barragens de Mineração. Fonte: dados de Brasil, 2016. ....	76
Figura 44: Acidentes e Incidentes com Barragens de Mineração ao longo dos anos. (*Dezoito mortos e um desaparecido em um único evento). Fonte: dados de Brasil, 2016. ....	77
Figura 45: Disposição de rejeitos de mineração de ouro em curso d'água. Fonte: Engles, 2006. ....	80
Figura 46: Enchimento da cava exaurida com os rejeitos da mineração. Fonte: Belo Horizonte, 2016. ....	84
Figura 47: Empilhamento drenado dos rejeitos. Fonte: Belo Horizonte, 2016.....	84
Figura 48: Células de rejeitos em depósito de estéreis. Fonte: Silva, 2014. ....	87
Figura 49: Camadas alternadas de estéreis e rejeitos. Fonte: Silva, 2014. ....	88
Figura 50: Injeções de rejeitos no depósito de estéreis. Fonte: Silva, 2014.....	89
Figura 51: Vista Geral da Mina Capim I (2010). Fonte: Silva, 2014. ....	90
Figura 52: Cava da Mina do Cauê em 2002. Fonte: Alves, 2009.....	92
Figura 53: Pilha de rejeito em Xingu. Fonte: Acervo fotográfico da VALE, 2008.....	94

Figura 54: Método esquemático do empilhamento drenado. Fonte: Mohallem, 2016 (modificado).....	95
Figura 55: Disposição dos berços ao longo da elevação. Fonte: Mohallem, 2016....	95
Figura 56: Pasta de rejeito de minério de ferro. Fonte: Guimarães, 2011.....	98
Figura 57: Superfície compactada da disposição de rejeitos espessados. Fonte: Guimarães, 2011.....	99
Figura 58: Disposição de rejeito filtrado em Mantos Blancos, Chile. Fonte: Guimarães, 2011.....	101
Figura 59: Torta gerada pela filtragem de rejeitos da mina de cobre em Mantos Blancos, Chile. Fonte: Guimarães, 2011.....	102
Figura 60: Vista aérea da área da mineração da mina La Coipa, Chile. Fonte: Guimarães, 2011.....	102
Figura 61: Distribuição granulométrica dos agregados. Fonte: Fiorotti, 2016. ....	108
Figura 62: Materiais com (blocos marrons) e sem a adição de rejeitos de mineração. Fonte: Fiorotti, 2016. ....	109
Figura 63: Planta de beneficiamento (sistema para recuperação de água). Fonte: MINAS GERAIS, 2013. ....	110
Figura 64: Areia estocada e galpão da empresa BLOCOITA. Fonte: MINAS GERAIS, 2013. ....	110
Figura 65: Processo de beneficiamento da Mina do Germano. Fonte: Acervo SAMARCO. ....	114
Figura 66: Ação dos processos de separação magnética de acordo com a granulometria. Fonte: Autoral.....	115
Figura 67: Etapas do FDSM. Fonte: Acervo New Steel.....	116
Figura 68: Teor de ferro extraído por algumas mineradoras com o passar do tempo. Fonte: Acervo New Steel.....	117

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Reserva lavrável em toneladas por substância no Brasil em 2009. Fonte: Brasil, 2010.....	11
Quadro 2: Resumo das responsabilidades do empreendedor de barragens e do DNPM. Fonte: Brasil, 2013.....	24
Quadro 3: Classes de classificação de barragens de mineração. Fonte: Dados de Brasil, 2013.....	26
Quadro 4: Maiores empreendedores de barragens de mineração no Brasil. Fonte: Dados do Brasil, 2016.....	36
Quadro 5: Resumo sobre as características da gestão de barragens convencionais e de contenção de rejeitos em alguns países. Fonte: Duarte (2008), modificado.....	39
Quadro 6: Quantidades de barragens de rejeito segmentadas por minério de extração. Fonte: dados fornecidos pelo DNPM.....	50
Quadro 7: CRI da Barragem de Sossego. Fonte: dados do DNPM.....	65
Quadro 8: DPA da Barragem de Sossego. Fonte: dados do DNPM.....	65
Quadro 9: CRI das Barragens de Paracatu. Fonte: dados do DNPM.....	69
Quadro 10: DPA das Barragens de Paracatu. Fonte: dados do DNPM.....	69
Quadro 11: Vantagens e desvantagens do método de codisposição. Fonte: Silva, 2014 (modificado).....	85
Quadro 12: Vantagens e desvantagens do método de disposição compartilhada. Fonte: Silva, 2014 (modificado).....	86
Quadro 13: Relação entre estéril-rejeito em sistemas de codisposição. Fonte: Silva, 2014 (modificado).....	86
Quadro 14: Relação dos custos e índices relativos aos diferentes sistemas de disposição de rejeitos. Fonte: Davies, 2002, em Figueiredo, 2007.....	100
Quadro 15: Diferentes formas de reuso e reciclagem dos rejeitos de mineração. Fonte: Lottermoser, 2011.....	105
Quadro 16: Quadro para classificação de barragens e disposição de resíduos e rejeitos. Fonte: Brasil, 2012a.....	129
Quadro 17: Quadro de classificação em relação às características técnicas. Fonte: Brasil, 2012a.....	130
Quadro 18: Quadro de classificação em relação ao estado de conservação. Fonte: Brasil, 2012a.....	131
Quadro 19: Quadro de classificação em relação ao plano de segurança da barragem. Fonte: Brasil, 2012a.....	132
Quadro 20: Quadro para classificação segundo o dano potencial associado. Fonte: Brasil, 2012a.....	133
Quadro 21: Informações gerais e declaração de classificação da barragem quanto ao Risco e Dano Potencial Associado. Fonte: Brasil, 2012b.....	135
Quadro 22: Documentação técnica do empreendimento. Fonte: Brasil, 2012b.....	135
Quadro 23: Planos e procedimentos. Fonte: Brasil, 2012b.....	135
Quadro 24: Registros e Controles. Fonte: Brasil, 2012b.....	136
Quadro 25: Resumo Executivo. Fonte: Brasil, 2012b.....	136
Quadro 26: Plano de Ação de Emergência – PAE. Fonte: Brasil, 2012b.....	136
Quadro 27: Revisão Periódica da Barragem. Fonte: Brasil, 2012b.....	137
Quadro 28: Características Gerais das barragens de rejeito na região de Congonhas. Fonte: Dados fornecidos pelo DNPM.....	138
Quadro 29: Características da Mina e das Barragens de rejeito na região de Congonhas. Fonte: Dados fornecidos pelo DNPM.....	138

Quadro 30: Classificação de Risco das barragens de rejeito na região de Congonhas. Fonte: Dados fornecidos pelo DNPM.....	138
Quadro 31: Classificação de Risco e Dano das barragens de rejeito na região de Congonhas. Fonte: Dados fornecidos pelo DNPM.....	139
Quadro 32: Características Gerais das barragens de rejeito na região de Itabira. Fonte: Dados fornecidos pelo DNPM.....	140
Quadro 33: Características da Mina e das Barragens de rejeito na região de Itabira. Fonte: Dados fornecidos pelo DNPM.....	140
Quadro 34: Classificação de Risco das barragens de rejeito na região de Itabira. Fonte: Dados fornecidos pelo DNPM.....	141
Quadro 35: Classificação de Risco e Dano das barragens de rejeito na região de Itabira. Fonte: Dados fornecidos pelo DNPM.....	142

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é detentor de grandes reservas minerais, destacando-se os grandes depósitos de substâncias metálicas como minério de ferro no Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais) e Carajás (Pará), bauxita em Oriximiná (Pará), estanho em Presidente Figueiredo (Amazonas), titânio em Mataraca (Paraíba), além de grandes depósitos de substâncias não metálicas como calcário em Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, caulim em São Domingos do Capim (Pará), dolomito e magnesita em Brumado (Bahia).

O Quadro 1 mostra as maiores reservas minerais lavráveis em toneladas no ano de 2009 segundo o Anuário Mineral de 2010, feito pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM).

**Quadro 1: Reserva lavrável em toneladas por substância no Brasil em 2009. Fonte: Brasil, 2010.**

Substância	Reserva Lavrável em Toneladas (2009)
<b>Classe Metálicos</b>	
Ferro	10.799.258.571
Bauxita	1.118.653.471
Estanho	354.854.726
Titânio	167.619.563
<b>Classe Não Metálicos</b>	
Calcário	25.369.280.183
Caulim	413.665.770
Dolomito e Magnesita	2.100.257.316

Essas e outras reservas minerais propiciam o desenvolvimento da atividade mineradora no país. Em 2014, o valor da produção mineral comercializada foi, segundo o Instituto Brasileiro de Mineração – Ibram, mais de quarenta bilhões de dólares, o que representou cerca de 5% do Produto Interno Bruto – PIB industrial do país.

A atividade mineradora, no entanto, gera dois subprodutos: os estéreis e os rejeitos. Os estéreis são fragmentos de solos ou rochas que não possuem valor econômico, originados na extração mineral. Os rejeitos são minerais ou rochas inaproveitáveis presentes no minério que são separadas deste, total ou parcialmente, durante o beneficiamento (SILVA, 2007). A forma de destinação final desses rejeitos é, comumente, o armazenamento a céu aberto em barragens de terra.

As fases de implantação de uma barragem de rejeito em geral é composta por seleção do local, projeto de instalação, construção, operação e fechamento, que representa o fim da sua atividade ou capacidade, mas a qual ainda necessita cuidados, pois as chances de rompimento ainda são bastante relevantes. Essas barragens são em geral construídas em etapas, iniciando com um dique de partida e a medida que a necessidade de alteamento vai surgindo, a altura da barragem com novos diques. Ou seja, as etapas de construção e operação são interdependentes e podem ocorrer simultaneamente.

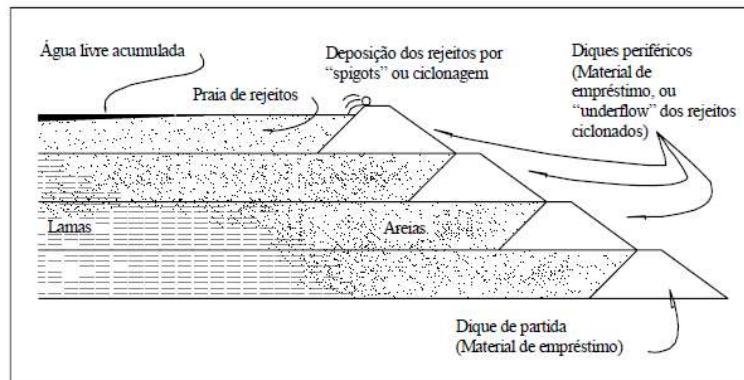
## **1.1 Principais Métodos Construtivos de Barragens de Rejeitos de Mineração**

Os principais métodos construtivos para as barragens de rejeito são três: método à montante, método à jusante e método à linha de centro.

Para construir uma barragem segundo os métodos construtivos de jusante e de linha de centro, é necessária uma área maior para o armazenamento do mesmo volume de rejeitos em relação a uma barragem construída segundo o método de montante, além de o volume requerido de material para a construção ser maior. Portanto, a utilização da técnica do método de montante proporciona uma redução de custos de construção pela facilidade na execução de barragens, sendo assim, o método mais atrativo para as mineradoras (ARAUJO, 2006). Embora mais econômico, problemas construtivos e de segurança podem ocorrer, principalmente devido à falta de controle das características do rejeito, que é utilizado para a fundação dos alteamentos.

### 1.1.1 Método de montante

A etapa inicial na execução deste tipo de barragem consiste na construção de um dique de partida, normalmente de material argiloso ou enrocamento compactado. Após realizada esta etapa, o rejeito é lançado por canhões em direção a montante da linha de simetria do dique formando assim a praia de deposição, que se tornará a fundação e eventualmente fornecerá material de construção para o próximo alteamento. Este processo continua sucessivamente até que a cota final prevista em projeto seja atingida (ARAUJO, 2006). Na Figura 1, o método construtivo de montante é apresentado.

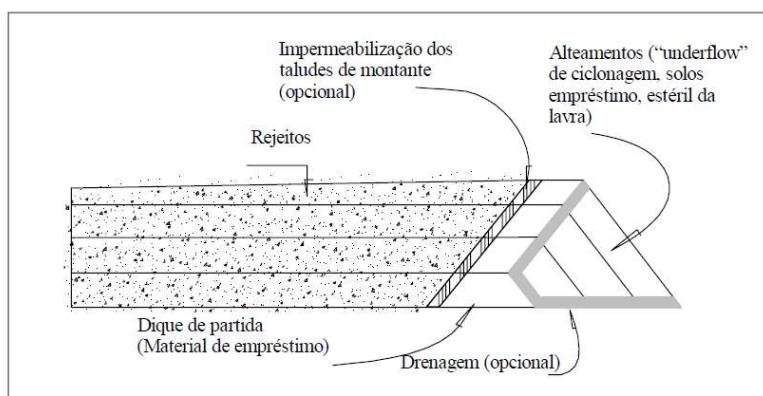


**Figura 1: Método construtivo de barragens de rejeito de montante. Fonte: Vick adaptado, 1981.**

Como já apresentado, esse é o método mais simples e econômico a curto prazo em relação aos demais. Porém, o método a montante representa um baixo controle construtivo, pois a sucessão de alteamentos é realizada sobre os rejeitos previamente depositados e não compactados. Segundo ARAUJO (2006), estes rejeitos, sob condição saturada e estado de compacidade fofo, tendem apresentar baixa resistência ao cisalhamento e susceptibilidade à liquefação por carregamentos dinâmicos e estáticos, além disso, o método de montante dificulta a implantação de um sistema interno de drenagem eficiente, constituindo um problema adicional com reflexos na estabilidade da estrutura.

### 1.1.2 Método de jusante

A etapa inicial do método a jusante é igual a do método de montante com a construção de um dique de partida de solo ou enrocamento compactado. A diferença está nos alteamentos subsequentes, que nesse método são realizados para jusante do dique de partida, fazendo com que haja controle da compactação dos mesmos, uma vez que não são construídos sobre o rejeito previamente depositado. A Figura 2 mostra o método construtivo de jusante.



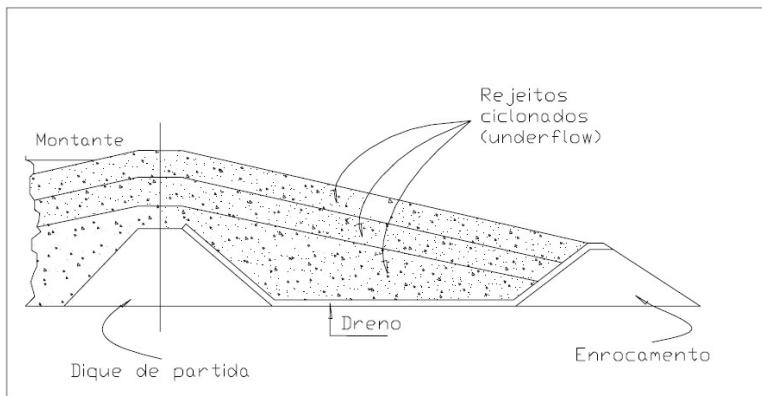
**Figura 2: Método construtivo de barragens de rejeito de jusante. Fonte: Vick adaptado, 1981.**

Outra vantagem desse método, de acordo com KLOHN (1981), é que ele possibilita a instalação dos sistemas de drenagem interna e o seu prolongamento durante o alteamento da barragem, permitindo o controle da linha de saturação na estrutura da barragem e então aumentando sua estabilidade. Assim, a barragem pode ser projetada e subsequentemente construída apresentando a resistência necessária ou requerida, inclusive resistir a qualquer tipo de forças sísmicas, desde que projetadas para tal, já que há a possibilidade de seguimento integral das especificações de projeto.

As duas principais desvantagens desse método em relação ao método de montante são o volume de material necessário para construção da barragem é três vezes maior, para uma mesma altura de barramento e a área ocupada pela barragem também é maior.

### 1.1.3 Método de linha de centro

O método de linha de centro pode ser considerado uma solução intermediária entre os métodos anteriormente citados. O alteamento da crista ocorre de forma vertical, possibilitando a instalação da drenagem interna que possibilita o controle da linha de saturação. Na Figura 3, o método construtivo de linha de centro é apresentado.



**Figura 3: Método construtivo de barragens de rejeito de linha de centro. Fonte: Nieble Rocha modificado, 1976.**

A vantagem em relação ao método de jusante é que o volume requerido é menor, apresentando comportamento geotécnico semelhante ao método de jusante. Mesmo tendo vantagens sobre o método de jusante, ele ainda ocupa área e requer volume maior que o método de montante, sendo o volume requerido duas vezes maior.

## 1.2 Acidentes com Barragens de Rejeitos no Brasil e no Mundo

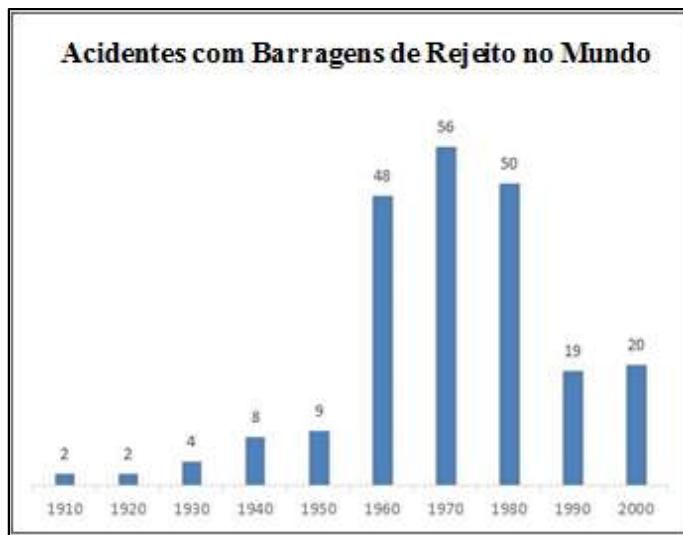
Segundo Davies et. al (2010), o banco de dados de barragens de rejeitos no mundo é muito pobre. Após uma extensa revisão da literatura e discussões com reguladores oficiais de todo o mundo, é estimado que existem no mundo mais de 3.500 barragens de rejeitos.

Na história da mineração, alguns acidentes envolvendo barragens de rejeitos levaram a grandes catástrofes, e elas são, geralmente, vulneráveis pelas seguintes razões (RICO et al., 2007):

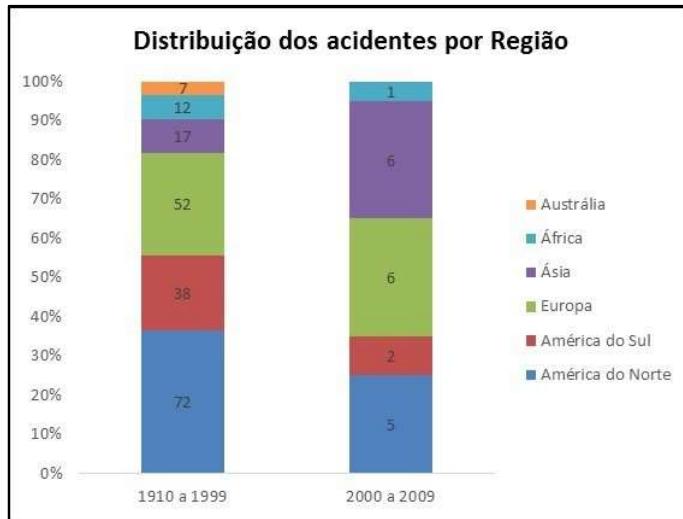
- Construções utilizando materiais residuais da própria operação da barragem;
- Crescimento da altura da barragem juntamente com o aumento dos efluentes;
- Falta de regulamentação em países em desenvolvimento;
- Alto custo de manutenção após o fechamento da barragem.

Com revisão objetiva do banco de dados de instabilidade de barragens de rejeitos, conclui-se que nos últimos 30 anos houveram aproximadamente dois a cinco incidentes com “grandes” barragens de rejeitos por ano. Entre os anos de 1970 e 1999 houveram no mínimo dois incidentes por ano, em todos os anos (HUSTRILD et.al., 2000).

O pico de acidentes com barragens de rejeitos ocorreu entre as décadas de 60 e 80, com concentração nos países desenvolvidos como podemos ver nas Figuras 4 e 5.

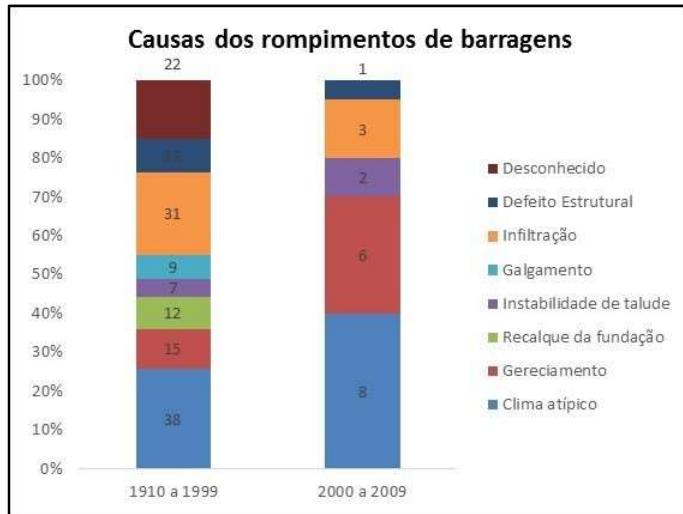


**Figura 4: Registro de acidentes com barragens de rejeito no mundo por década. Fonte: Rico et al, 2007.**



**Figura 5: Registro de acidentes com barragens de rejeitos por região. Fonte: Rico et al, 2007.**

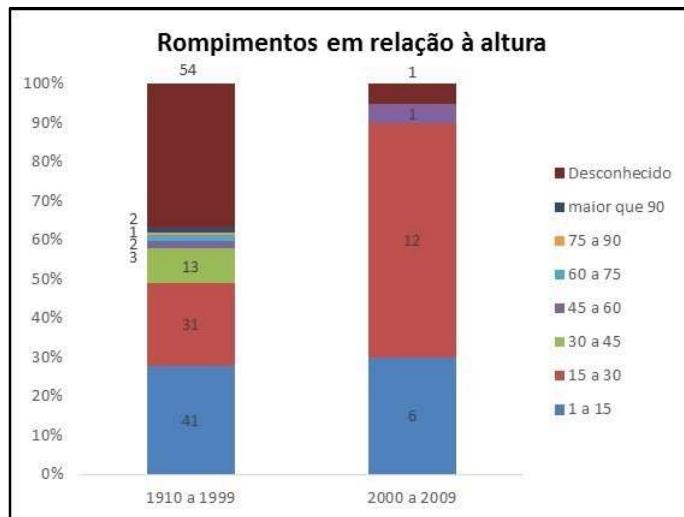
As principais causas de rompimento de barragens no mundo são apresentadas na Figura 6. A principal causa é apresentada como clima atípico, seguido por gerenciamento e infiltração de barragens. Observa-se uma diminuição significativa na falta de informações sobre falhas em barragens, indicando uma melhora no processo de avaliação das causas de acidentes.



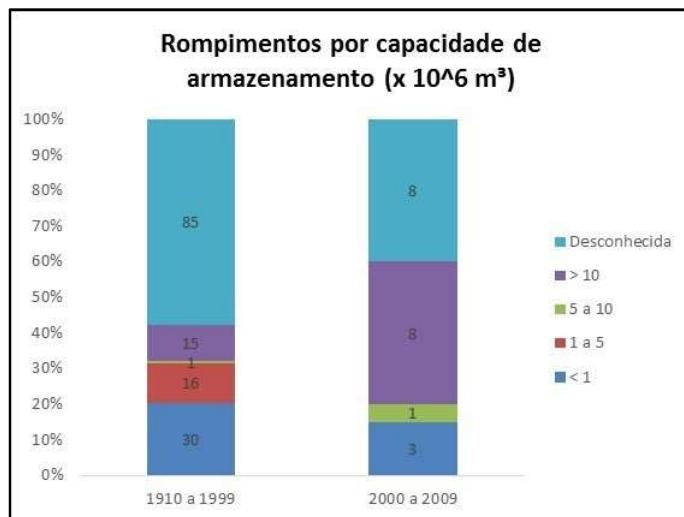
**Figura 6: Registro das principais causas dos rompimentos de barragens de rejeitos. Fonte: Rico et al, 2007.**

Observa-se também nas Figuras 7, 8 e 9 a diminuição da falta de informações ao longo dos anos sobre características físicas importantes das barragens como altura de barramento e capacidade de armazenamento. Também houve progresso na

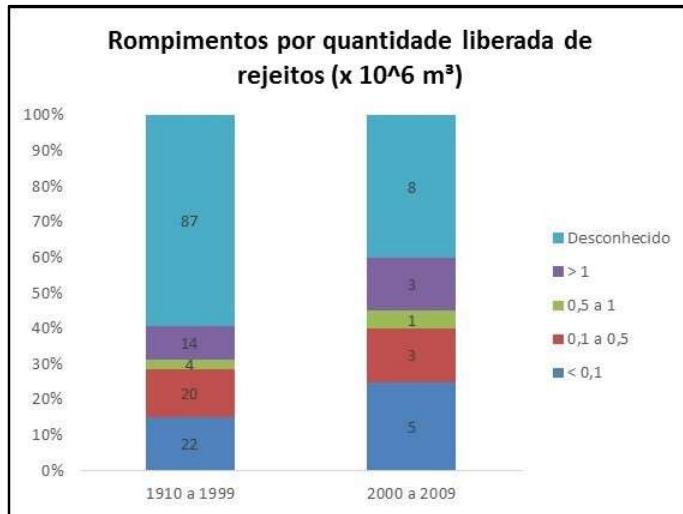
identificação da quantidade de rejeitos liberados no meio ambiente quando ocorre um rompimento de barragens.



**Figura 7: Registro de rompimentos por altura da barragem de rejeito. Fonte: Rico et al, 2007.**



**Figura 8: Registro de rompimentos por volume de armazenamento das barragens de rejeitos. Fonte: Rico et al, 2007.**



**Figura 9: Registro de volumes de rejeitos liberados em rompimentos de barragens de rejeitos.**  
Fonte: Rico et al, 2007.

No Brasil, o acidente no município de Mariana em Minas Gerais no ano de 2015 causou diversas perdas sociais, ambientais e econômicas, o que, junto ao cenário apresentado, evidencia a necessidade de estudos para entender melhor o funcionamento dessas barragens por meio de diferentes aspectos. Observa-se que esse é um tema atual e que possui diferentes perspectivas a serem analisadas ao lidar com aspectos geotécnicos, hidrológicos, topográficos, construtivos, ambientais, sociais, legislativos, entre outros.

## 2 OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho são:

- 1) Analisar o panorama atual de barragens de rejeitos no país e no mundo através de:
  - a) Consulta a órgãos que registram as barragens e fornecem informações técnicas sobre elas;
  - b) Consulta a legislações que definam recomendações ou regras quanto à construção ou à operação;
  - c) Comparaçāo entre as metodologias nacionais e internacionais.
- 2) Avaliar as classificações realizadas pelo Departamento Nacional de Produção Mineral:
  - a) Considerações feitas em relação ao risco;
  - b) Considerações feitas em relação ao dano;
  - c) Dados das barragens considerados como relevantes.
- 3) Analisar a interação das barragens de rejeitos com o meio no qual está inserida:
  - a) Proximidade das barragens com a população;
  - b) Localização das barragens em relação a áreas de cuidado ambiental;
  - c) Regiões que podem ser atingidas pelas barragens considerando as bacias hidrográficas.
- 4) Estudar os seguintes métodos alternativos para disposição de rejeitos (inclusive a não geração do rejeito):
  - a) Disposição em cavas exauridas de mineração;
  - b) Disposição em pilhas de rejeitos utilizando empilhamento drenado;
  - c) Reciclagem dos rejeitos e sua reutilização na construção civil;
  - d) Não geração do rejeito através do beneficiamento do minério com separação magnética.

### **3 MÉTODO DE PESQUISA**

A fim de se compreender o panorama das barragens de rejeito no país e no mundo, o grupo utilizou de diferentes ferramentas para ter entendimento do assunto e constatar a situação atual.

Foram realizadas pesquisas através da internet para se ter informações suficientes para se fazer as comparações necessárias entre diferentes dados de fontes confiáveis. Utilizaram-se também recursos como o Google Maps para a localização de diferentes barragens de rejeitos e observação das características topográficas e de ocupação do solo. O grupo também entrou em contato com diferentes organizações via e-mail para utilizar dados e manuais que pudessem contribuir para a pesquisa.

Com a obtenção dessas informações, o grupo cruzou as informações coletadas e chegou à conclusão sobre o panorama brasileiro de segurança de barragens de rejeitos e com isso pesquisou métodos alternativos mais seguros para a disposição dos rejeitos de mineração.

## 4 PANORAMA BRASILEIRO

### 4.1 Legislação sobre Barragens de Rejeitos de Mineração

Um marco importante no panorama brasileiro de barragens de rejeitos foi a promulgação da Lei no 12.334, de 20 de Setembro de 2010. Esta lei estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) destinada às barragens de acumulação de água para quaisquer usos, de disposição final ou temporária de rejeitos e de acumulação de resíduos industriais.

Observou-se nas últimas décadas uma crescente preocupação a respeito do tema segurança de barragens e a necessidade de uma maior participação do Estado. Se por um lado é notória a importância das barragens para o desenvolvimento de qualquer sociedade, seja para armazenamento de água para os diversos usos, regularização de vazão, para geração de energia, detenção de resíduos minerais e industriais; por outro, essas estruturas podem aumentar a exposição da sociedade a níveis de riscos considerados relevantes. Acidentes com barragens geralmente geram grandes problemas sociais e econômicos e prováveis perdas de vidas (RSB, 2011).

Em uma rápida retrospectiva da primeira década do novo milênio, identificam-se alguns eventos significativos que acenderam o sinal de alerta para a sociedade: em 2001, o acidente da mineração Rio Verde; em 2002, diversas ocorrências de pequeno porte; em 2003, o acidente com a barragem de resíduos industriais em Cataguases, que, além dos impactos ambientais, causou o desabastecimento de aproximadamente 600 mil habitantes por quase um mês; em 2004, o rompimento da Barragem de Camará, na Paraíba, durante sua fase final de construção, causou comoção nacional; e em 2009, destaca-se o rompimento de Algodões I, no Piauí, dentre muitos outros (RSB, 2011).

Antes da promulgação da Lei no 12.334/2010, não havia a indicação direta de responsabilidades, em âmbito nacional, pela fiscalização da segurança das barragens. Órgãos ambientais atuavam isoladamente quando acidentes com barragens ocorriam. Em âmbito estadual, houve algumas iniciativas e alguns avanços

nos estados do Ceará, através da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH), e de Minas Gerais, pela FEAM (RSB, 2011).

A Política Nacional de Segurança de Barragens começou a se materializar com o Projeto de Lei 1.181, do ano de 2003. Um grupo com representes de diversos setores, como ONG's, indústria, vários representantes ministeriais, agências reguladoras, Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, Consórcios e Associações Intermunicipais de Bacias Hidrográficas, e Organizações Técnicas de Ensino e de Pesquisa, como o Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE), e Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS), dentre outras instituições, encaminha para a Câmara Técnica de Assuntos Legais e Institucionais (CTIL) uma minuta de substitutivo que, depois de discutida e aprovada pelo CTIL e pelo plenário do CNRH, deu origem ao Projeto de Lei PLC-168/2009. Finalmente, depois de alguns anos, após os trâmites inerentes ao processo legislativo, no dia 20 de setembro de 2010, foi publicada a Lei no 12.334/2010, que define a Política Nacional de Barragens.

#### **4.1.1 A Lei no 12.334/2010, suas implicações e panorama atual**

Com a publicação da Lei no 12.334/2010, houve uma mudança de paradigma, eliminando-se o vácuo institucional e estabelecendo uma cadeia completa de responsabilidades relacionadas à segurança das barragens construídas no Brasil (RSB, 2011).

O parágrafo único da Lei no 12.334/2010 estabelece para quais barragens o Plano Nacional de Segurança de Barragens se aplica. A Lei aplica-se a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características:

- Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros);

- Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m<sup>3</sup> (três milhões de metros cúbicos);
- Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- Categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas.

A lei esclareceu e reforçou a responsabilidade legal do empreendedor em manter as condições de segurança de sua barragem e definiu o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) como órgão fiscalizador para barragens de acumulação de rejeitos de mineração.

O Quadro 2 mostra o resumo das responsabilidades do empreendedor e do DNPM estabelecidas pela PNSB.

**Quadro 2: Resumo das responsabilidades do empreendedor de barragens e do DNPM. Fonte: Brasil, 2013.**

<i>Empreendedor</i>	<i>DNPM</i>
Segurança da Barragem	Fiscalização da Segurança da Barragem
Elaborar e Atualizar o Plano de Segurança de Barragem	Classificação da Barragem
Realizar Inspeções de Seguranças	Estabelecer a periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento dos planos de segurança.
Elaborar o PAE	Determinar a elaboração do PAE
Cadastro das Barragens	Manter Cadastro das Barragens de Rejeitos

Definiram-se também sete instrumentos da Política Nacional de Segurança de Barragens, a saber:

- O sistema de classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado;
- O Plano de Segurança de Barragem;
- O Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB);
- O Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente (SINIMA);

- O Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;
- O Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais;
- O Relatório de Segurança de Barragens.

Neste estudo, quatro dos instrumentos instituídos pela PNSB que são relevantes para os objetivos do trabalho serão explorados: o Sistema de classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial, o Plano de Segurança de Barragem, o SNISB e o Relatório de Segurança de Barragens.

## **4.2 Sistema de Classificação de Barragens**

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH, através da Resolução Nº 143, de 10 de Julho de 2012, estabelece os critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, em atendimento ao art. 7º da Lei no 12.334/2010.

A classificação por categoria de risco em alto, médio ou baixo será feita em função das características técnicas, do estado de conservação do empreendimento e do atendimento ao Plano de Segurança da Barragem. A classificação por categoria de dano potencial associado à barragem em alto, médio ou baixo será feita em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem.

Nos Anexos I e II deste trabalho estão os quadros de classificação das barragens de rejeitos feitos pelo CNRH, que incluem todos os critérios utilizados para a pontuação do empreendimento e sua classificação.

O DNPM é responsável pela classificação das barragens de mineração em toda a federação. Para isso, o DNPM criou a Portaria Nº 416, de 03 de Setembro de 2012, que 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 ordena a Lei Nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que dispõe sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens.

As barragens de mineração são classificadas de acordo com o Quadro 3, que indica a classificação quanto ao Risco e ao Dano Potencial Associado nas classes A, B, C, D e E. A classificação das barragens é feita em consonância com o declarado pelo empreendedor no Relatório Anual de Lavra - RAL. Caso o empreendedor da barragem não apresente informações sobre determinado critério especificado na Resolução Nº 143/2012, o DNPM aplicará a pontuação máxima para o referido critério. A atualização da classificação das barragens de mineração é feita a cada cinco anos, ou em menor período, quando houver a alteração de suas características, características do rejeito depositado ou da ocupação do vale a jusante que requeiram a revisão da categoria de Risco ou do Dano Potencial Associado à barragem.

**Quadro 3: Classes de classificação de barragens de mineração. Fonte: Dados de Brasil, 2013.**

CATEGORIA DE RISCO	DANO POTENCIAL ASSOCIDADO		
	ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO	A	B	C
MÉDIO	B	C	D
BAIXO	C	D	E

### 4.3 Plano de Segurança da Barragem

Toda a barragem que se enquadra na PNSB deve ter o Plano de Segurança de Barragem. O art. 8º da seção II da Lei Nº 12.334/2010 estabelece as informações que o Plano de Segurança de Barragem deve conter e as seções II e III do Capítulo II da Portaria Nº 416/2012 do DNPM estabelecem a periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento dos planos de segurança. O Plano de Segurança da Barragem é de responsabilidade do empreendedor.

Para as barragens com Dano Potencial Associado Alto, o plano de segurança deverá conter, além do conteúdo obrigatório, o Plano de Ação de Emergência. No Anexo III encontra-se o conteúdo mínimo detalhado do plano.

O plano de segurança deverá ser elaborado por responsável técnico com registro no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia - CREA, com atribuições profissionais para projeto, construção, operação ou manutenção de barragens, compatíveis com as definidas pelo Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CONFEA).

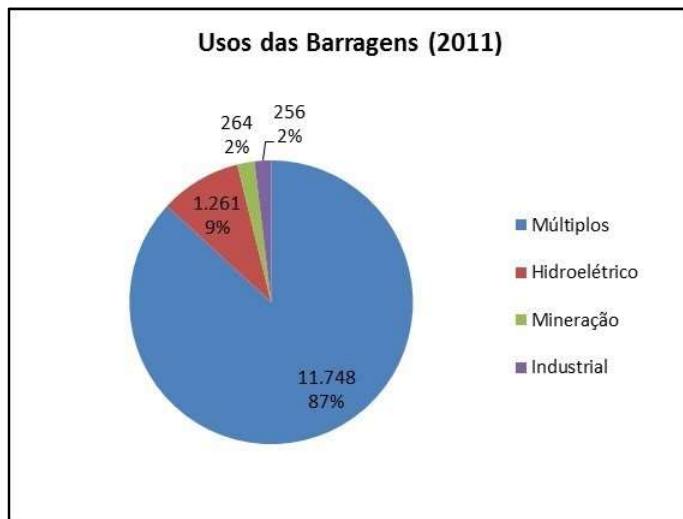
O Plano de Segurança da Barragem deverá ser atualizado em decorrência das Inspeções Regulares, que devem ser feitas pelo empreendedor no máximo a cada quinze dias, das Inspeções Especiais, que são feitas caso encontrem-se irregularidades na barragem, e das Revisões Periódicas de Segurança da Barragem, que verificam o estado geral de segurança da barragem, considerando o atual estado da arte para os critérios de projeto, a atualização dos dados hidrológicos e as alterações das condições a montante e a jusante da barragem. A periodicidade máxima da Revisão Periódica de Segurança de Barragem será definida em função da classificação quanto ao Risco e ao Dano Potencial Associado e varia de 5 a 10 anos, ou sempre que ocorrerem modificações estruturais, como alteamentos, ou modificações na classificação dos rejeitos depositados na barragem de mineração.

As Informações sobre as inspeções das barragens devem ser comunicadas com o DNPM via sítio eletrônico.

#### **4.4 SNISN e Relatório de Segurança de Barragem**

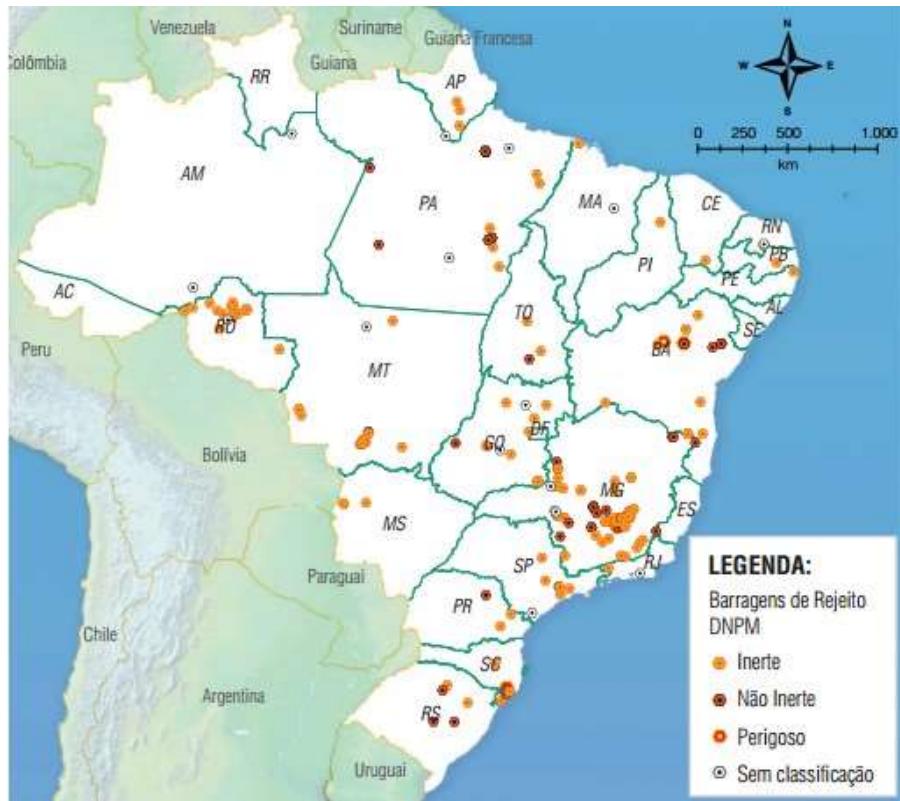
O Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens tem como objetivo centralizar todo o armazenamento das informações relacionadas às seguranças de barragens em todo o território nacional e disponibilizar essa informação para a sociedade. A organização, a implantação e a gestão do SNISB são responsabilidades da Agência Nacional de Águas - ANA, com cada órgão fiscalizador sendo o responsável por manter o cadastro das barragens objeto de sua fiscalização atualizado. Parte fundamental do SNISB será o cadastro de todas as barragens existentes no país, contemplando, obrigatoriamente, as enquadráveis na lei da PNSB.

Uma das formas de disponibilizar para a sociedade as informações sobre barragens é através do Relatório de Segurança de Barragens (RSB). O relatório fica disponível para a sociedade no site da ANA. A primeira edição do relatório anual foi feita em 2011 e tem como objetivo estabelecer uma linha de base para comparações e acompanhamento da evolução da implementação da PNSB. Até o presente momento, foram lançadas quatro edições: RSB 2011, RSB 2012/2013, RSB 2014 e RSB 2015. No primeiro relatório, o panorama de barragens cadastradas até 20 de Setembro de 2011, foram 13.529 barragens, das quais 264 são barragens de rejeito de mineração. A Figura 10 mostra os percentuais de usos das barragens cadastradas.



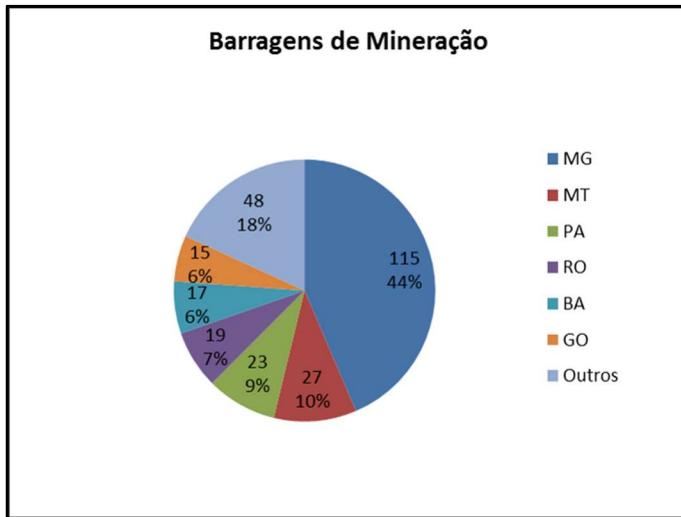
**Figura 10: Totais e percentuais de barramentos e seus usos no ano de 2011. Fonte: Dados obtidos de Brasil, 2013.**

Segundo o DNPM, todas essas barragens de rejeito possuem outorga, licença e autorização para o barramento. A Figura 11 mostra a distribuição dessas barragens de mineração pelo Brasil.



**Figura 11: Barragens de rejeito de mineração cadastradas pelo DNPM conforme classificação do seu conteúdo em 2011. Fonte: Brasil, 2013.**

Os Estados com mais de 15 barragens declaradas em 2011 são Minas Gerais, com 115 barragens; Mato Grosso, com 27 barragens; Pará, com 23 barragens; Rondônia, com 19 barragens; Bahia, com 17 barragens e Goiás com 15 barragens. A Figura 12 mostra a distribuição das barragens de mineração entre os seis estados com mais barragens cadastradas em 2011.



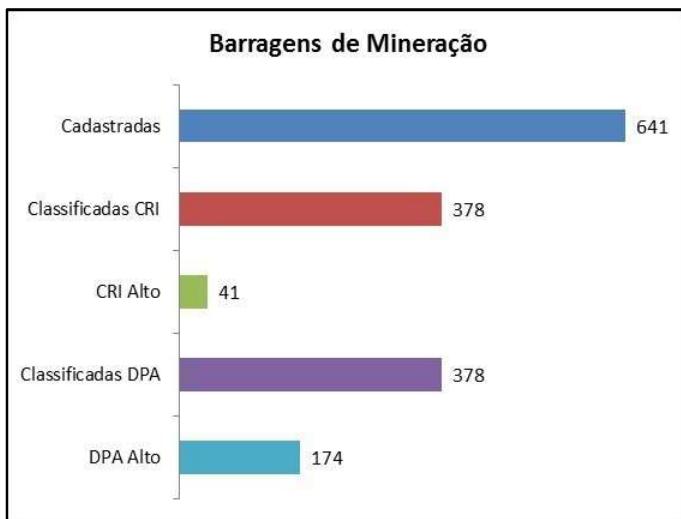
**Figura 12: Estados brasileiros com mais de quinze barragens de mineração em 2011. Dados obtidos do Brasil, 2013.**

Em Janeiro de 2011, foi registrado um acidente com uma barragem de contenção de areia na bacia do rio Corumbataí, Analândia - SP. O excesso de água das chuvas fez romper a barragem da empresa CRS Mineração, Indústria e Comércio Ltda. O rompimento causou a destruição das árvores das margens do córrego e parte da estrada que liga Analândia e Corumbatal, e interrompeu o abastecimento de água por trinta e seis horas em Rio Claro, deixando duzentas mil pessoas sem água. O DNPM não classificou essa barragem em relação à Categoria de Risco (CRI) e ao Dano Potencial Associado (DPA).

No DNPM, não existe equipe exclusiva dedicada ao tema Segurança de Barragens, todavia há três técnicos mais envolvidos com o tema, que se encontram na Coordenação de Fiscalização do Aproveitamento Mineral (CFAM) âmbito da Diretoria de Fiscalização da Atividade Minerária (RSB, 2012/2013).

Em 2012 e 2013, o número de barragens cadastradas pelo DNPM passou de 264 para 641 barragens de rejeito, o que mostra um aumento de quase 2,5 vezes mais barragens cadastradas. Esse aumento pode ser explicado pela progressão da implantação da PNSB para as barragens de jurisdição do DNPM.

Das 641 barragens cadastradas pelo DNPM, 378 foram classificadas quanto ao CRI e ao DPA. 41 barragens foram classificadas com CRI alto e 174 foram classificadas com o DPA alto. A Figura 13 mostra a proporção de barragens cadastradas e classificadas quanto ao CRI e ao DPA.



**Figura 13: Proporção de barragens cadastradas e classificadas em 2013. Dados obtidos do Brasil. 2015a.**

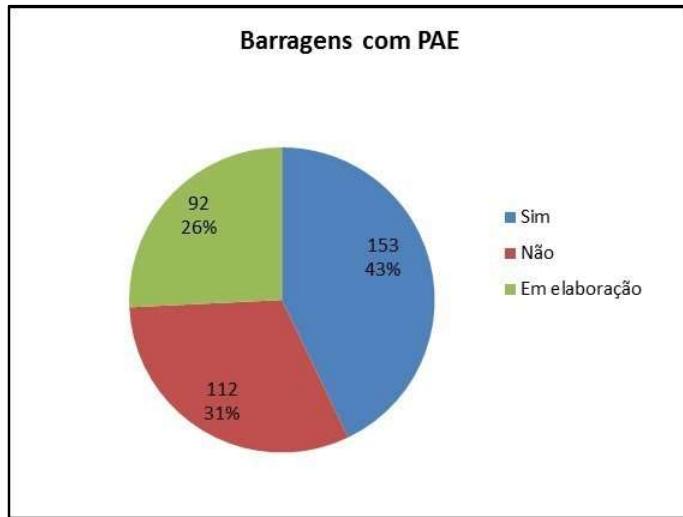
Segundo a ANA, os resultados de poucas barragens com CRI alto apresentadas pelo DNPM poderiam ser explicados pelo fato de que seus empreendedores serem, em sua maioria, pessoas jurídicas que conhecem a legislação e, tradicionalmente, primam pelas boas práticas em segurança de barragens. No ano de 2012 e 2013, foram realizadas 38 e 112 fiscalizações do DNPM em barragens, respectivamente. A vistoria tem a função de verificar em campo a real situação das barragens, as medidas corretivas empreendidas e a documentação do PSB. A ANA não informou quais barragens de mineração foram vistoriadas.

Entre 2012 e 2013, o DNPM relatou dois incidentes ao RSB, um na Barragem de CBE – Companhia Brasileira de Equipamento em Agosto de 2012 e o outro na Barragem Aurizona – Mineração Aurizona S.A., em Maio de 2012 na cidade de Godofredo Viana, Manaus. Entende-se por incidente, qualquer ocorrência que afete o comportamento

da barragem ou estrutura anexa que, se não for controlada, pode causar um acidente (RSB, 2012/2013).

Em 2014, o número de barragens cadastradas pelo DNPM aumentou de 641 barragens para 663 barragens cadastradas. Esse aumento é bem menor em relação ao aumento entre 2011 e 2012/2013, o que mostra uma tendência de estabilização do número de barragens de mineração cadastradas. Todas as barragens cadastradas foram classificadas de acordo com o CRI e o DPA. 535 barragens foram classificadas com CRI baixo, 96 com CRI médio e 32 com CRI alto. 370 barragens foram classificadas com DPA baixo, 108 com DPA médio e 185 com DPA alto.

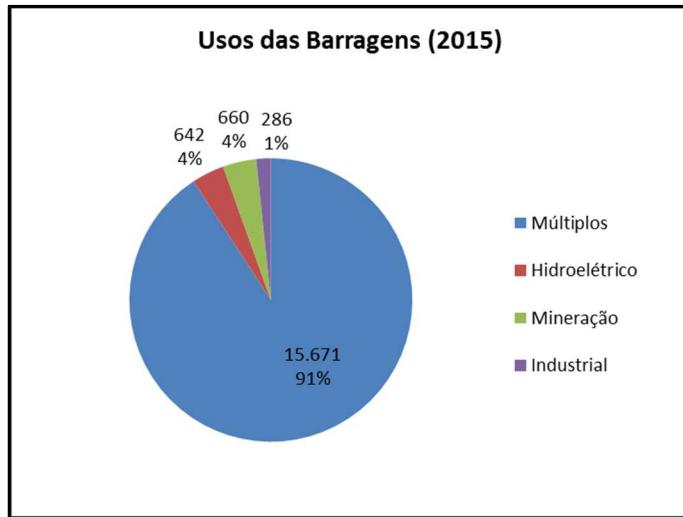
As barragens com CRI e DPA altos devem ter ações de acompanhamento, fiscalização e recuperação priorizadas, pois o CRI alto implica que há maior número de ameaças à segurança da barragem e o DPA alto indica que se houver o acidente, as consequências serão graves. Porém, não se sabe quais ações de acompanhamento, fiscalização e recuperação estão sendo realizadas nem se há um planejamento para que todas as barragens classificadas na categoria “A” sejam priorizadas no plano de ação. Para as barragens com Dano Potencial Associado Alto e outras barragens, segundo o DNPM, o empreendedor deverá ter, de acordo com a legislação vigente, o Plano de Ação de Emergência - PAE para as barragens. Foram exigidos PAE para 357 barragens. A Figura 14 mostra a porcentagem de barragens que possuem o PAE, as que estão em elaboração e as que ainda não cumpriram a exigência.



**Figura 14: Classificação do estado do Plano de Ação de Emergência nas barragens de rejeito.**  
**Dados obtidos do Brasil, 2015b.**

Em Setembro de 2014, houve um acidente com barragens de mineração declarado pelo DNPM à ANA. O acidente ocorreu nas barragens da Mineradora Herculano, chamadas B1 e B2 na cidade de Itabirito, Minas Gerais. A causa provável de ocorrência foi erosão interna no corpo da barragem B1, cujo rompimento causou o rompimento da B2 e comprometeu a estabilidade da barragem B3 a jusante. Esse acidente causou a morte de três operários que trabalhavam no local. O DNPM classificou as barragens B1 e B2, antes do acidente, com CRI baixo e DPA médio e alto, respectivamente.

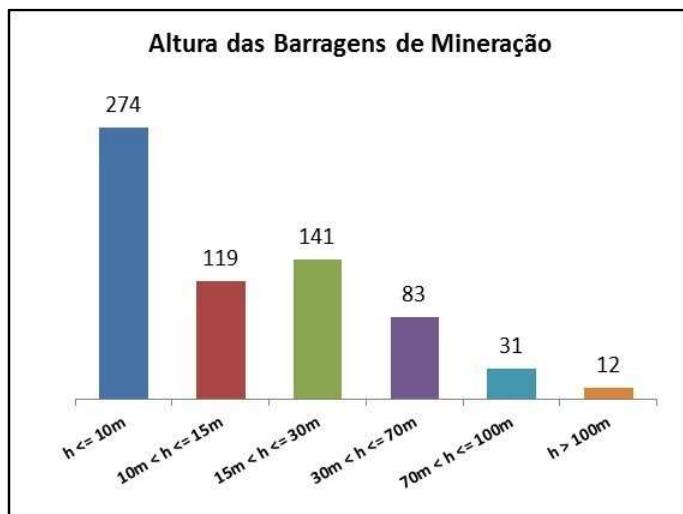
Em 2015, a situação do cadastro de barragens no Brasil mostrou que existem 17.259 barragens sendo 660 barragens de mineração. A Figura 15 mostra as barragens cadastradas de acordo com o uso no ano de 2015.



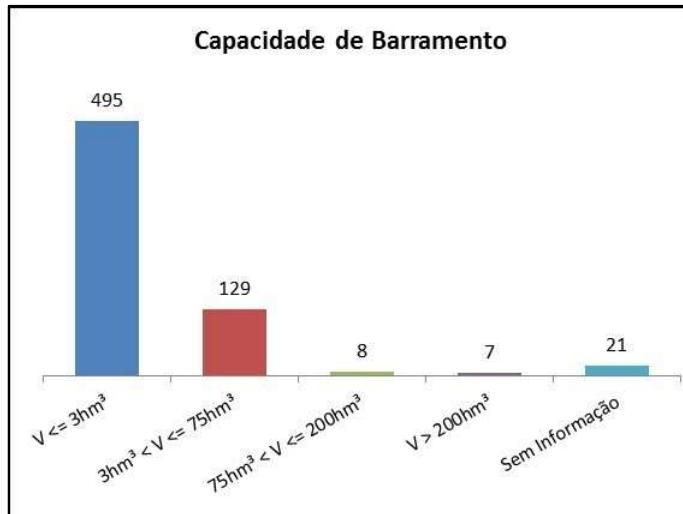
**Figura 15: Totais e percentuais de barramentos e seus usos no ano de 2015. Dados obtidos do Brasil, 2016.**

A tendência de estabilização do número de barragens de mineração cadastradas continua em 2015.

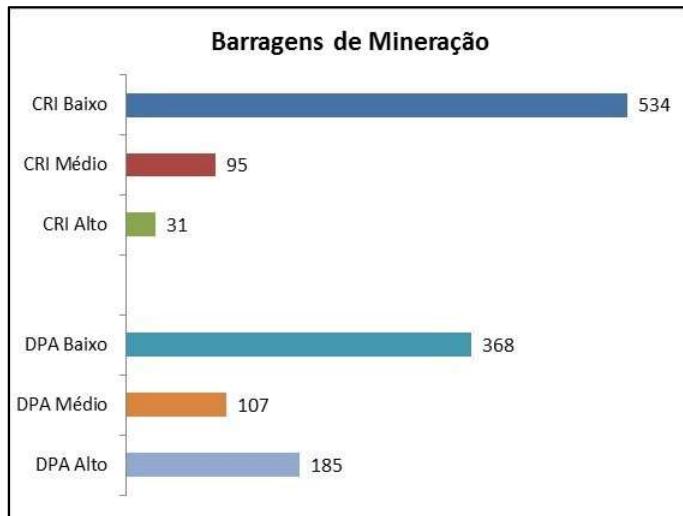
As Figuras 16, 17 e 18 mostram as barragens classificadas distribuídas pela altura do maciço, capacidade de barramento, valor do CRI e DPA, respectivamente.



**Figura 16: Altura das Barragens de Mineração em Setembro de 2015. Dados obtidos do Brasil, 2016.**

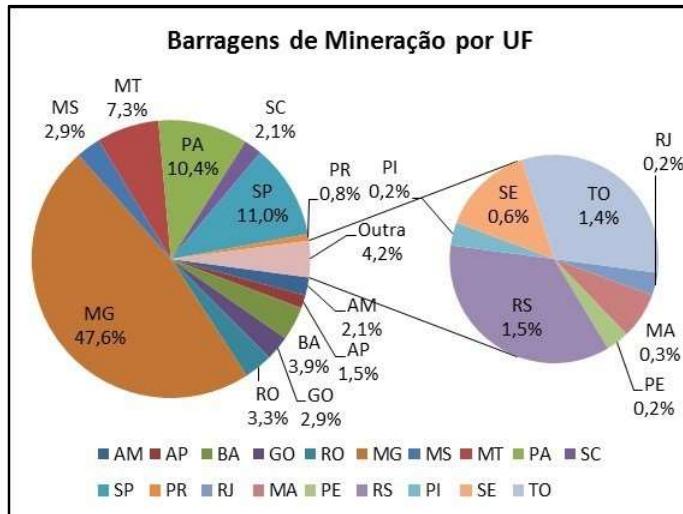


**Figura 17: Capacidade de Barramento das Barragens de Mineração em Setembro de 2015.**  
**Dados obtidos do Brasil, 2016.**



**Figura 18: Barragens de Mineração segundo classificação do CRI e DPA.** Dados obtidos do Brasil, 2016.

As barragens de mineração cadastradas estão distribuídas nas Unidades da Federação como mostra a Figura 19. O estado com o maior número de barragens é Minas Gerais, com aproximadamente 50% das barragens, seguido por São Paulo, com 11% das barragens e Pará com cerca de 10,5% do total. As barragens pertencem a dezenove empreendedores distintos.



**Figura 19: Barragens de Mineração por UF em setembro de 2015. Dados obtidos do Brasil, 2016.**

A Vale S/A e subsidiárias é a maior empreendedora, com 145 barragens de rejeito, seguida pela Mineração Jundu Ltda, com 27 barragens de rejeito e pela Minerações Brasileiras Reunidas S/A, com 24. O Quadro 4 mostra a distribuição por empreendedores.

**Quadro 4: Maiores empreendedores de barragens de mineração no Brasil. Fonte: Dados do Brasil, 2016.**

Nome do Empreendedor	Barragens	Localização das barragens
Vale S/A e subsidiárias	145	GO, MG, PA, SE, SP
Mineração Jundu Ltda.	27	RS, SC, SP
Minerações Brasileiras Reunidas S/A	24	MG
Mineração Rio do Norte S/A	23	PA
Mineração Usiminas S/A	15	MG
Mineração Taboca S/A	14	AM
Urucum Mineração S/A	14	MS
MMX Mineração S/A	12	MG, MS
Metalmig Mineração Indústria e Comércio Ltda.	12	RO
Itaquarela Ind. Extr. Minérios Ltda.	11	SP
Magnesita Refratários S/A	10	BA, MG
Minerita-Minérios Itáuá Ltda.	10	MG

Do total de barragens de rejeito classificadas, 399 barragens estão inseridas na PNSB. A Figura 20 mostra a distribuição das barragens de mineração inseridas na PNSB.



**Figura 20: Distribuição de Barragens de Mineração Inseridas na PNSB. Fonte: DNPM, 2015.**

Em Novembro de 2015, ocorreu no município de Mariana/MG um acidente de grandes proporções com a Barragem de mineração de Fundão, o maior acidente com barragem registrado no Brasil, resultando em 19 vítimas. Os imensos impactos ambientais, sociais e econômicos desse acidente afetaram trinta e cinco cidades na bacia do Rio Doce no estado de Minas Gerais e três cidades no Espírito Santo. O DNPM classificou essa barragem, antes do seu rompimento, com CRI baixo e DPA alto e pertencente à PNSB.

Com os Relatórios de Segurança de Barragens até o ano de 2015, tem-se o panorama atual das barragens de rejeito no Brasil após a promulgação da Política Nacional de Segurança de Barragens.

## 5 COMPARAÇÃO DO PANORAMA LEGISLATIVO DO BRASIL COM OUTROS PAÍSES

Para poder analisar o panorama brasileiro de barragens de mineração, buscaram-se dados, informações e legislação de barragens de rejeitos nos principais países produtores de minérios que possuem diretrizes de manejo de barragens de mineração importantes. Os três principais países são Canadá, Austrália e África do Sul (OLIVEIRA, 2001). Também se buscou contato com a Comissão Internacional de Grandes Barragens (International Commission on Large Dams – ICOLD), que é uma instituição cujo objetivo é definir padrões e guias para garantir que barragens sejam construídas e operadas de forma segura, eficiente, econômica e ambientalmente sustentável.

O Quadro 5 representa um resumo feito por DUARTE (2008) sobre as características da gestão de barragens convencionais e de contenção de rejeitos em alguns países da Europa, na Austrália e na África do Sul, acrescido das informações sobre o Brasil, Canadá e Chile.

Quadro 5: Resumo sobre as características da gestão de barragens convencionais e de contenção de rejeitos em alguns países. Fonte: Duarte (2008), modificado.

País	Barragens sujeitas à legislação (H = altura; V = volume)	Classificação de Risco	Exigências Legais	Inspeções
África do Sul	H>5m e V>50.000 m <sup>3</sup>	Classificação de risco de segurança em níveis elevado, médio ou baixo. Em termos ambientais: classificação quanto à extensão, duração e intensidade dos impactos, considerados significativos ou não significativos	Política de autogerenciamento. Código de Prática com exigências mínimas para a boa prática e classificação de segurança e ambiental.	Devem ser realizadas por consultores independentes

Quadro 5: Resumo sobre as características da gestão de barragens convencionais e de contenção de rejeitos em alguns países. Fonte: Duarte (2008), modificado. (Continuação)

País	Barragens sujeitas à legislação (H = altura; V = volume)	Classificação de Risco	Exigências Legais	Inspeções
Alemanha	$H > 5 \text{ m}$ e $V \geq 100.000 \text{ m}^3$	<p>Não existe classificação quanto ao risco.</p> <p>Há seis tipos de barragens:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>T1: barragens e represas;</li> <li>T2: barragens de rejeito (com água);</li> <li>T3: medidas de segurança;</li> <li>T4: reservatório para controle de inundação;</li> <li>T5: reservatório de armazenamento (com bomba);</li> <li>T6: barragens de rejeito (sem água).</li> </ul>	<p>Legislação específica para barragens de rejeitos com exigência de Relatório de Segurança (anual).</p>	<p>Realizadas por autoridades do Estado (perito).</p> <p>Tipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- contínua (operador);</li> <li>- Frequentes;</li> <li>- Intensiva (a cada dez anos ou após eventos incomuns).</li> </ul>
Austrália	De acordo com a classe	Divisão em três classes de acordo com a compilação de dados de altura e categoria de risco	A legislação sobre barragens de rejeitos é controlada por cada estado australiano individualmente.	De acordo com a classe, a inspeção será a cada um, dois ou três anos.

**Quadro 5: Resumo sobre as características da gestão de barragens convencionais e de contenção de rejeitos em alguns países. Fonte: Duarte (2008), modificado. (Continuação)**

País	Barragens sujeitas à legislação (H = altura; V = volume)	Classificação de Risco	Exigências Legais	Inspeções
Brasil	H ≥ 15m; V ≥ 3.000.000m <sup>3</sup> ; Reservatório que contenha resíduos perigosos; Dano Potencial Associado (DPA) médio ou alto	Classificação de risco (CRI) em níveis alto, médio e baixo. Enquadramento em 5 classes (A, B, C, D e E) de acordo com o CRI e o DPA.	Legislação federal específica para barragens de rejeitos de mineração. Legislação obrigatória.	Inspeções Regulares feitas pelo empreendedor a cada quinze dias; Inspeções especiais, caso encontrem-se irregularidades na barragem e Revisões Periódicas de Segurança da Barragem, que varia de 5 a 10 anos de acordo com o CRI e DPA.
Canadá	H ≥ 15m ou H ≥ 10 e comprimento da crista ≥ 500 m V≥1.000.000 m <sup>3</sup> Inundação ≥ 2.000 m <sup>3</sup> /s	Não há classificação de acordo com o critério de risco, mas sim em relação ao tamanho das barragens	Não há exigências legais para projetos e as leis são provinciais; O órgão nacional CDA apresenta um documento de referência não obrigatório.	Inspeções definidas pelo manual feito pelo CDA, que apresenta diretrizes de monitoramento, porém o seu uso não é obrigatório.

**Quadro 5: Resumo sobre as características da gestão de barragens convencionais e de contenção de rejeitos em alguns países. Fonte: Duarte (2008), modificado. (Continuação)**

País	Barragens sujeitas à legislação (H = altura; V = volume)	Classificação de Risco	Exigências Legais	Inspeções
Chile	Todas as barragens são sujeitas ao Decreto 248/07 e ao Decreto 132/04	Não há classificação de risco	Regulamento de Segurança Mineira (Decreto 132/04) e Regulamento para a Aprovação de Projetos de Desenho, Construção, Operação e Fechamento dos Depósitos de Rejeitos (Decreto 248/07) - Manual de Emergência para Situações Adversas	Realizadas periodicamente pelo Serviço Nacional de Geologia e Mineração. O Usuário deve enviar relatórios trimestrais ao órgão regulador.
Eslovênia	$H \geq 15m$ ou $H \geq 10$ e comprimento da crista $\geq 500$ m $V \geq 1.000.000 m^3$ Inundação $\geq 2.000 m^3/s$	Barragens classificadas em três classes de acordo com potencial de perdas de vidas humanas e efeitos econômicos	Não há exigências formais para projeto; regras gerais da construção civil são utilizadas;	O monitoramento pode ser terceirizado; - O proprietário deve garantir a inspeção, mas a legislação não define o nível de inspeção.

**Quadro 5: Resumo sobre as características da gestão de barragens convencionais e de contenção de rejeitos em alguns países. Fonte: Duarte (2008), modificado. (Continuação)**

País	Barragens sujeitas à legislação (H = altura; V = volume)	Classificação de Risco	Exigências Legais	Inspeções
Espanha	Até 1967 H > 15 m ou 10 < H > 15 m e V > 100.000 m <sup>3</sup> A partir de 1996 Introdução do conceito de potencial de risco	Classe A: risco de perda de vidas humanas; danos em áreas urbanas; importância nos materiais e idade da barragem; Classe B: riscos limitados de perda de vida humana; perigo em população escassa ou em infraestruturas não muito importantes; Classe C: riscos de perda de vidas humanas em condições excepcionais; poucos danos.	Legislação Federal específica e obrigatória com classificação de barragens	A cada 5 ou 10 anos de acordo com a classe ou após eventos excepcionais.
Finlândia	H > 3 m e V “grande” ou perigo à vida, saúde e meio ambiente	Classificação para barragens de rejeitos: P: em caso de acidentes causa riscos à saúde e sérios danos ao meio ambiente e à propriedade O: apresenta perigo mínimo T: estruturas temporárias N: que não se enquadra em P,O ou T.	Exigência de projeto e licença; Para risco elevado: programa de monitoramento, avaliação de risco, código de prática, plano de ação emergencial.	Inspeção de comissionamento; - Inspeção Regular (a cada 5 anos); - Inspeção diária (visual).

**Quadro 5: Resumo sobre as características da gestão de barragens convencionais e de contenção de rejeitos em alguns países. Fonte: Duarte (2008), modificado. (Continuação)**

País	Barragens sujeitas à legislação (H = altura; V = volume)	Classificação de Risco	Exigências Legais	Inspeções
França	Existem regras especiais para cada tipo de barragem H > 20 m H > 10 m (hidroelétricas) pequenas barragens	Não identificado	Não há padrões de projeto definidos, cada barragem deve atender o Estado da Arte.	A inspeção é indicada e não obrigatória, podendo ser anual, a cada cinco ou dez anos; - Os dados devem ser publicados anualmente; - A cada dois anos deve haver análise detalhada dos resultados.
Noruega	H > 4 m e V > 500.000 m <sup>3</sup>	Três classes de acordo com o número de habitantes a jusante	Padrões de projeto e de obra civil.	Aprovação do Programa de Inspeção e Vistoria.
Polônia	Barragens > 10 ha: Ato 9 de novembro de 2000 (exige Estudo de Impacto Ambiental - EIA).	As barragens são divididas em quatro classes, sendo que as barragens de rejeitos são classificadas como barragens de água.	-	De acordo com cada classe.

**Quadro 5: Resumo sobre as características da gestão de barragens convencionais e de contenção de rejeitos em alguns países. Fonte: Duarte (2008), modificado. (Continuação)**

País	Barragens sujeitas à legislação (H = altura; V = volume)	Classificação de Risco	Exigências Legais	Inspeções
Portugal	H > 15 m ou V > 1.000.000 m <sup>3</sup>	Duas classes: - Grandes Barragens H > 15 m ou V > 1.000.000 m <sup>3</sup> ou perigo importante (perdas de vidas humanas, consequências econômicas importantes); - Pequenas Barragens	Há regras gerais com regulamentos e normas (não impõe métodos precisos).	Três tipos: - contínua; - especial; - excepcional.
Romênia	H > 10 m V > 10.000.000 m <sup>3</sup> (áreas habitáveis devem estar a menos de 10 km)	Quatro classes de acordo com volume e altura da barragem	O Estado define alguns padrões de projeto de acordo com a classe da barragem.	A própria empresa define a inspeção e o método de monitoramento; - Inspeções especiais acompanhadas por peritos, em caso de eventos excepcionais.
Suíça	H ≥ 10 m ou H > 5 m e V ≥ 50.000 m <sup>3</sup> ou perigo importante para povos e bens	Não identificada	Não há regras específicas para projeto.	A confederação realiza inspeção: - H > 25 m; - H > 15 m e V > 50.000 m <sup>3</sup> ; - H > 10 m e V > 100.000 m <sup>3</sup> ; - V > 500.000 m <sup>3</sup> .

## 5.1 Barragens Sujeitas à Legislação

Segundo o ICOLD (2001), a definição de barragens cobertas por um regulamento geralmente engloba alguns dos seguintes critérios (DUARTE, 2008):

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

Analizando o panorama apresentado no Quadro 5, observa-se que não há um padrão estabelecido para enquadrar as barragens nas legislações vigentes. Tanto a altura mínima como o volume mínimo de barragens sujeitas à legislação varia muito para cada um dos países. A altura mínima varia de três a 20 metros e o volume mínimo varia de 50.000 m<sup>3</sup> a 3.000.000 m<sup>3</sup>. Além disso, alguns países consideram outras variáveis, como área ocupada pela barragem (Polônia), perigo à vida e meio ambiente (Brasil, Finlândia e Suíça), vazão de inundação (Canadá e Eslovênia) e a periculosidade do resíduo (Brasil).

Observa-se que a Finlândia é o país mais conservador em relação às barragens sujeitas à legislação, enquanto o Brasil é o país menos conservador, juntamente com a Romênia. Para ilustrar essa diferença, analisou-se o cenário atual de barragens do Brasil inseridas na PNSB. Das 660 barragens de rejeitos existentes no Brasil, 399 barragens estão inseridas na PNSB, representando um percentual de 60% das barragens de mineração. Se o critério de altura mínima utilizado pela Finlândia fosse aplicado para o panorama brasileiro, o número de barragens inseridas na PNSB seria de 645 barragens, segundo dados das alturas das barragens de mineração do ano de 2013 informados pelo DNPM. O percentual de barragens de mineração inseridas na PNSB subiria de 60% para 97%.

Portugal é o país que mais se assemelha ao Brasil em relação aos critérios para barragens sujeitas à legislação. Tendo como critérios altura de barramento maior ou

igual e 15 metros e volume de armazenamento maior ou igual a 3.000.000 m<sup>3</sup> no Brasil e 1.000.000 m<sup>3</sup> em Portugal.

## **5.2 Classificação quanto ao Risco das Barragens de Rejeitos de Mineração**

Apenas a África do Sul, a Austrália e o Brasil, dos países analisados, apresentam classificação de barragens de rejeitos quanto ao risco de rompimento. Além de classificar segundo o critério de risco, o Brasil e a África do Sul também classificam as barragens em relação aos potenciais impactos ambientais associados às barragens. Os países Eslovênia, Espanha, Finlândia, Noruega e Portugal possuem classificação das barragens em relação aos potenciais impactos ambientais associados. Os demais países analisados não possuem classificação das barragens de rejeitos de mineração em relação ao risco ou dano potencial associado.

Em relação à classificação das barragens o país que mais se assemelha como Brasil é a África do Sul, ambos classificam em relação ao critério de risco e ao dano potencial associado. Em relação a como é feita essa classificação, não foi possível ter acesso à metodologia de classificação feita pela África do Sul.

Observa-se que o Brasil, junto com a África do Sul, é o país mais avançado em relação à classificação das barragens.

## **5.3 Exigências Legais**

O estudo das exigências legais sobre segurança de barragens de rejeito de mineração de países no mundo é complexa, pois não há uma padronização legal. Alguns países não apresentam legislações específicas para critérios de construção de barragens de rejeitos de mineração como é o caso da Eslovênia, França, Noruega e Suíça. Esses países possuem legislação sobre barragens incluídas em contextos mais abrangentes como, por exemplo, obra civil. Em alguns países como Canadá e Austrália a legislação de barragens de rejeito é distrital, e a federação dá orientações, “guidelines”, que não são estritamente obrigatórias.

Países como África do Sul, Alemanha, Brasil, Chile, Espanha, Finlândia possuem legislação federal obrigatória com exigências para segurança das barragens e para a boa prática, além de planos emergenciais para alguns tipos de barragens. Outros países ainda, como a Romênia, apresentam legislação distinta conforme a dimensão da barragem.

#### **5.4 Inspeções**

Em relação sobre a inspeção das barragens de rejeitos também não há um consenso internacional. As inspeções podem ser ou não obrigatórias e com níveis de detalhamento distintos em cada legislação. Além disso, a responsabilidade de inspeções também varia entre empreendedores, governo e terceiros.

Na África do Sul as inspeções devem ser realizadas por consultores independentes e na Eslovênia o monitoramento das barragens pode ser terceirizado. Na Alemanha, no Chile e na Suíça o Estado realiza inspeções regulares. No Brasil e na Romênia as inspeções são de responsabilidade do empreendedor da barragem.

Na França a inspeção é indicada, porém não é obrigatória. Na Romênia e Eslovênia o nível de inspeção não é detalhado e fica a critério do empreendedor.

Devem conter, por exemplo, a descrição do estudo de caso apresentado e as metas e resultados esperados. Neste item faz-se uma breve descrição de etapas parciais previstas para o estudo.

## 6 ANÁLISE DO ENTORNO DAS PRINCIPAIS BARRAGENS DE REJEITOS

Com o intuito de compreender melhor a situação das barragens de rejeitos no país, realizou-se um estudo de algumas barragens e conjuntos de barragens de maior relevância. Para tal, utilizou-se a tabela fornecida por e-mail pelo ouvidor do DNPM, o Geólogo Paulo Ribeiro de Santana, a qual fornece informações detalhadas sobre as barragens de rejeitos pelo país no ano de 2014.

Para esta análise, foram consideradas tanto barragens que estão inseridas no PNSB quanto as que não estão, e não foram consideradas as cavas exauridas. As principais informações fornecidas nesta tabela são:

- Nome da barragem;
- Empreendedor(a)
- Altura do barramento atual e absoluto;
- Volume total do reservatório atual e absoluto;
- Mina (localização, minério, entre outros);
- Localização das barragens, incluindo coordenadas geográficas;
- Situação operacional;
- Categoria de risco (CRI);
- Dano potencial associado (DPA);
- Classificação.

Não existe informação sobre os métodos construtivos de cada uma das barragens no cadastro do DNPM.

Através das coordenadas das barragens, foi possível determinar as suas localizações e analisar o entorno e como ela pode influenciar não apenas os arredores, como também regiões mais afastadas.

## 6.1 Minérios das Barragens

As barragens de rejeito armazenam o material que é gerado como resultado da extração de minérios, após o beneficiamento do mesmo. De acordo com os registros das Barragens do DNPM, as substâncias principais que são rejeitadas nessas barragens após o seu beneficiamento são as mostradas no Quadro 6:

**Quadro 6: Quantidades de barragens de rejeito segmentadas por minério de extração. Fonte: dados fornecidos pelo DNPM.**

Minério	Quantidade	Minério	Quantidade
FERRO	108	CALCÁRIO	2
AREIA	24	CARVÃO	2
MINÉRIO DE FERRO	22	CASCALHO	2
MINÉRIO DE OURO	21	FELDSPATO	2
BAUXITA	16	FLUORITA	2
ESTANHO	14	MINÉRIO DE ZINCO	2
CAULIM	10	SILVINITA	2
MANGANÊS	10	TANTALITA	2
OURO	10	ALEXANDRITA	1
FOSFATO	7	AREIA INDUSTRIAL	1
APATITA	6	AREIA QUARTZOSA	1
CARVÃO MINERAL	6	CALCÁRIO DOLOMÍTICO	1
CASSITERITA	6	FERRO MANGANÊS	1
MINÉRIO DE NÍQUEL	6	GNAISSE INDUSTRIAL	1
ARGILA	5	GRANITO	1
GRAFITA	5	MÁRMORE	1
GRANITO P/ BRITA	5	MICAXISTO	1
NÍQUEL	5	MINÉRIO DE COBRE	1
ALUMÍNIO	4	OCRE	1
NIÓBIO	4	QUARTZITO	1
COBRE	3	QUARTZO	1
DOLOMITO	3	SAIBREIRA	1
MINÉRIO DE ESTANHO	3	TOPÁZIO IMPERIAL	1
TURFA	3	ZINCO	1
AREIA DE FUNDÇÃO	2	DESCONHECIDO	254

Desta tabela observa-se que grande parte das barragens não possui identificação de seu material principal de recebimento, o que evidencia a carência de informações

sobre as barragens de rejeitos. Considerando os dados fornecidos, observa-se uma considerável predominância de barragens de rejeitos do ferro, da areia e do ouro.

## 6.2 Empreendedores para a Construção das Barragens

Para uma melhor análise do panorama geral das barragens de rejeitos, estudaram-se os empreendedores que trabalham na construção dessas barragens, já que isso permite compreender como as principais e mais desenvolvidas empresas, teoricamente, trabalham.

Os empreendedores para a construção das barragens são diversos, mas observa-se que há uma grande regionalização quanto às construtoras das barragens de rejeito. Em geral, as barragens de rejeito surgem da necessidade que a empresa mineradora possui em descartar os produtos de sua mineração, portanto, ela própria faz a construção da barragem de rejeito desejada. O Quadro 4, apresentado na seção “SNISN e Relatório de Segurança de Barragem” do Capítulo 4 deste relatório, mostra a quantidade de barragens de rejeitos registradas que os principais empreendedores possuem de acordo com o DNPM.

São vários empreendedores diferentes, inclusive pessoas físicas, mas algumas empresas possuem maior destaque nessa listagem.

É importante salientar que a lista feita pelo DNPM não considera conjunto de barragens como uma barragem única, e é muito comum haver conjuntos de barragens nesses empreendimentos. Ou seja, cada barragem de rejeito é individualmente registrada, mesmo que isso implique em várias barragens para uma mesma região de retirada de minério.

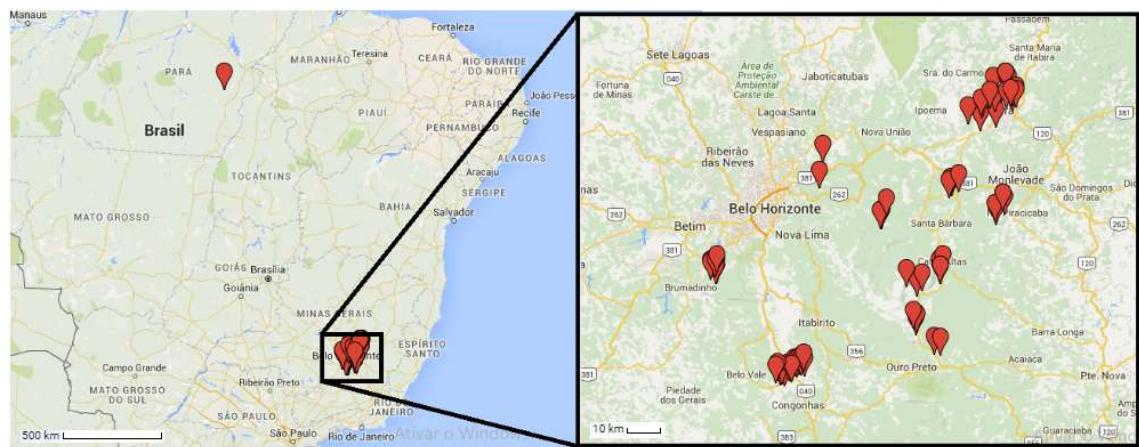
Algumas situações específicas serão analisadas a seguir, quanto à localização das barragens e sua influência quanto aos arredores. Os casos a serem brevemente analisados a seguir foram escolhidos por conta das suas relevâncias, e essa relevância será explicitada em cada situação.

### 6.3 Vale S.A. - Antiga Companhia Vale do Rio Doce

A Vale S.A. é uma empresa multinacional, fundada em 1942 no estado brasileiro de Minas Gerais, e atua hoje em 26 países ao redor do mundo todo. Ela é a maior produtora do mundo de minérios de ferro, pelotas e níquel, e além destes, produz ainda cobre, ferroligas, manganês, entre outros minérios. Essa grande produção de minérios leva a necessidade de se construir uma grande quantidade de barragens de rejeitos, sendo assim, ela é a empresa com maior expressão nesse aspecto no Brasil (VALE, s.d.).

A Vale S.A. possui algumas empresas subsidiárias, como a Vale Limited, Vale Fertilizantes, Samarco, Companhia Siderúrgica do Atlântico, Vale Soluções em Energia, Doce Vale e VLI. O destaque dado nessa seção, porém, é apenas às barragens que possuem explicita e diretamente a responsabilidade da própria empresa, e não de suas subsidiárias.

O mapa da Figura 21 mostra a localização das barragens de rejeitos da Vale S.A. Observa-se que apenas uma barragem é localizada fora do estado de Minas Gerais.



**Figura 21: Barragens de rejeitos da empreendedora Vale S.A. pelo país. Fonte: Google Maps.**

As barragens de rejeitos da Vale S.A. estão localizadas em múltiplas cidades do estado de Minas Gerais. As regiões que possuem a maior presença dessas barragens são as de Congonhas e de Itabira. Cada uma dessas duas regiões será

separadamente analisada. Além disso, a Barragem do Sossego, no Pará, também será estudada por ser a maior altura de barramento absoluto no país.

### 6.3.1 Congonhas e região

A empreendedora possui diversas barragens de rejeitos na região da cidade de Congonhas pela forte extração de ferro que existe na região, como se pode ver na Figura 22. São 16 barragens, o que leva a uma grande ocupação do solo pelo uso da mineração.

As barragens estão localizadas no território de três municípios diferentes: região Norte de Congonhas, região leste de Belo Vale e região do extremo oeste de Ouro Preto. As cidades possuem cerca de 50 mil, 8 mil e 70 mil habitantes respectivamente. A Figura 23 mostra os municípios da região de estudo.

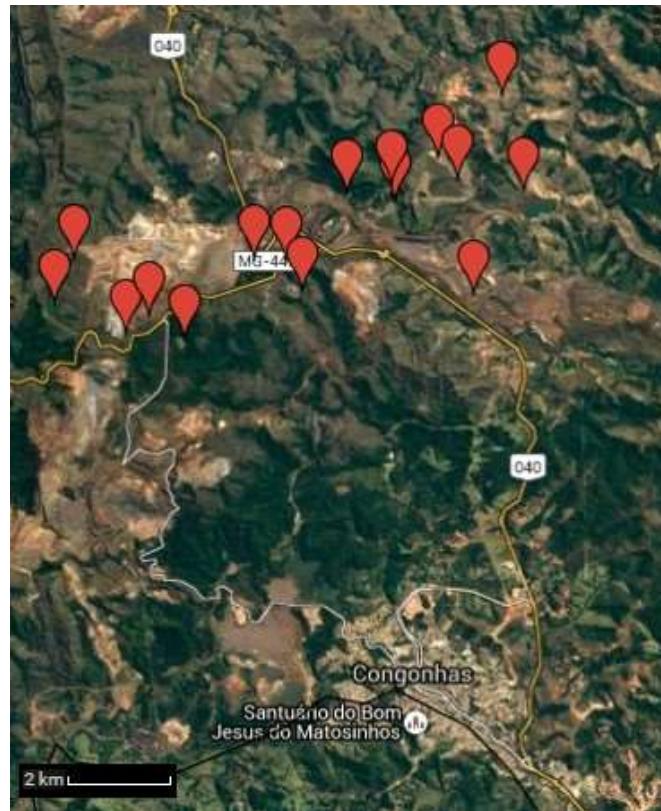
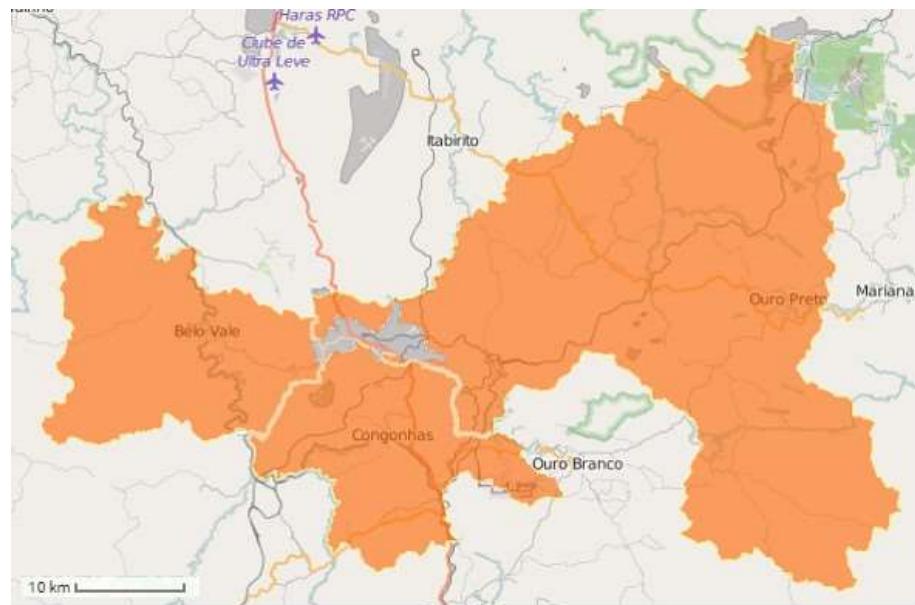


Figura 22: Barragens de rejeitos da empreendedora Vale S.A. pelo país. (Fonte: Google Maps)



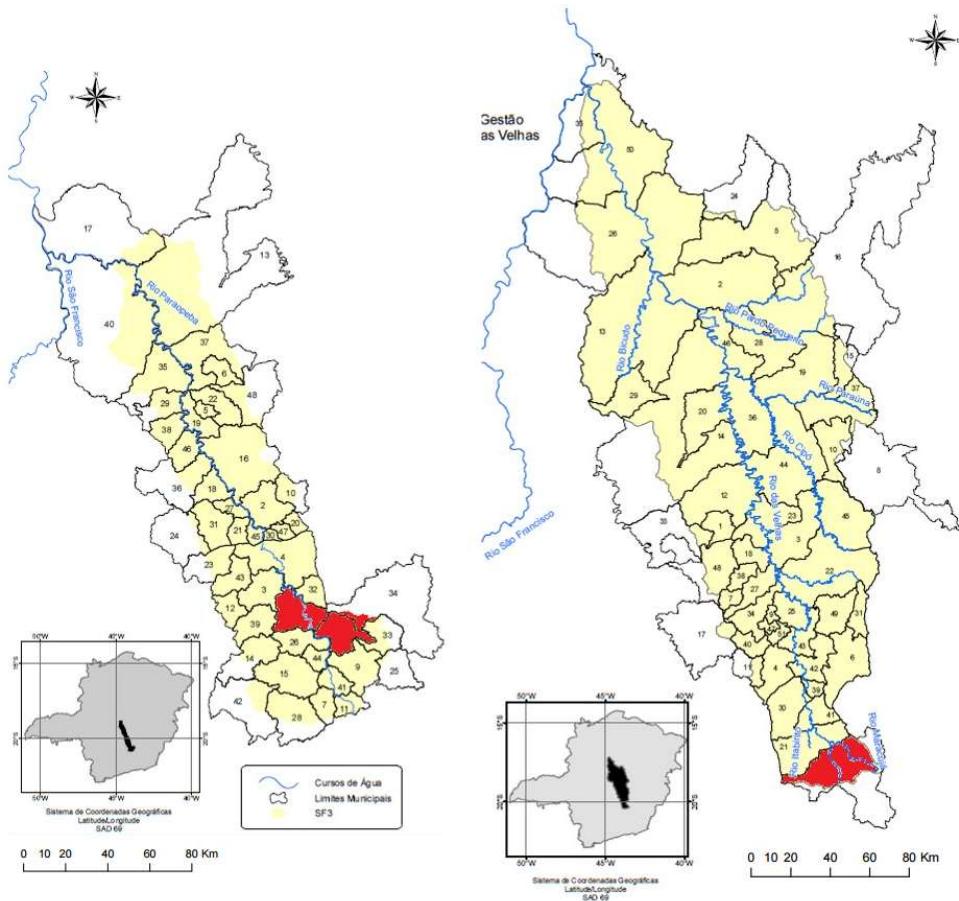
**Figura 23: Municípios da região de estudo e localização principal das barragens. Fonte: IBGE imagens.**

Observa-se através da Figura 22 a grande quantidade de barragens ao norte da cidade de Congonhas, além dos locais de extração. Os locais de extração unidos às barragens possuem uma área consideravelmente maior que a cidade. Ao todo são 16 barragens pela empreendedora Vale S.A. apenas. Outras empresas, como a Companhia Siderúrgica Nacional e a Nacional Minérios, também atuam na cidade de Congonhas. A Figura 24 mostra a topografia da região e observa-se como as barragens estão localizadas em regiões topograficamente mais altas que a cidade de Congonhas. Ainda assim, a diferença de altitude não é algo que acarreta diretamente em um perigo, já que, caso um desastre ocorra, a massa de rejeitos tenderá a seguir o caminho da bacia hidrográfica na qual ela está inserida.



**Figura 24: Barragens de rejeitos e topografia da região de Congonhas. Fonte: Google Maps.**

A bacia hidrográfica na qual esse conjunto de barragens está inserido é a Bacia do Rio São Francisco, a qual possui uma grande influência na economia do estado de Minas Gerais e de vários outros estados brasileiros. O Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) divide as bacias do estado em Unidades de Planejamento de Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH), às quais possuem um rio principal representando uma bacia menor dentro da bacia principal. Os municípios de Belo Vale, Congonhas e parte do município de Ouro Preto estão na unidade do Rio Paraopeba, e outra parte do município de Ouro Preto está na unidade do Rio das Velhas. Os mapas mostrados na Figura 25 foram retirados do site do IGAM e mostram a localização desses municípios em relação à bacia.



**Figura 25: UPGRH do Rio Paraopeba e do Rio das Velhas da Bacia Hidrográfico do Rio São Francisco. Fonte: IGAM.**

Em 2014, as barragens de rejeitos nessa região de estudo possuíam volume atual de operação de 67.643.026 m<sup>3</sup>, que representa 65 % do volume de projeto que é 104.843.026 m<sup>3</sup>. A maior delas é a Barragem Forquilha IV, com 35.000.000 m<sup>3</sup>, mas a qual ainda não recebia rejeito algum até o ano de 2014, já a Barragem Forquilha I é a maior com volume atual de 26.000.000 m<sup>3</sup>, estando ela inativa atualmente.

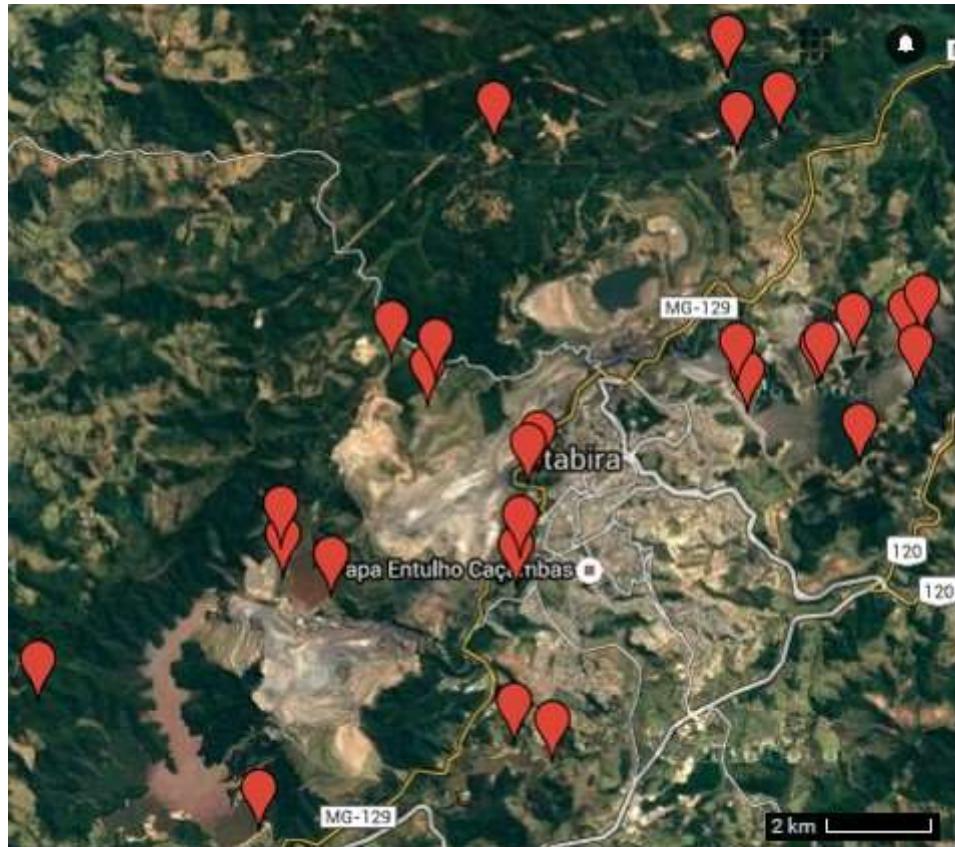
São apresentados a seguir alguns dos dados dessas 16 barragens consideradas nessa região (As informações completas dessas barragens são apresentadas no Anexo V):

- Altura de barramento variando entre 4,9m e 165m;
- Quantidade de minas de onde se provêm esses rejeitos: sete minas;
- Localização das minas: Brumadinho, Caeté, Guanhães, Itabira, Mariana e Ouro Preto;
- Minério de extração: Minério de Ferro ou não registrado;

- Quantidade de barragens em cada município:
  - Belo Vale: Duas barragens;
  - Congonhas: Seis barragens;
  - Ouro Preto: Oito barragens.
- Beneficiamento:
  - Nenhum: 11 barragens;
  - Britagem/moagem: cinco barragens.
- Situação operacional:
  - Em construção: uma barragem;
  - Em operação: 11 barragens;
  - Inativa: quatro barragens.
- Classificação das barragens:
  - Quanto ao risco:
    - Baixo: 15 barragens;
    - Médio: Uma barragem;
    - Alto: 0.
  - Quanto ao dano:
    - Baixo: Duas barragens;
    - Médio: 12 barragens;
    - Alto: Duas barragens.
  - Categoria:
    - A: 0;
    - B: 0;
    - C: três barragens;
    - D: 11 barragens;
    - E: Duas barragens.

### **6.3.2 Itabira e região**

A empresa Vale S.A. também possui uma grande atuação na cidade de Itabira, com uma quantidade de barragens de rejeitos ainda maior, chegando a 27 barragens, como mostrado na Figura 26.



**Figura 26: Barragens de rejeitos no município de Itabira. Fonte: Google Maps.**

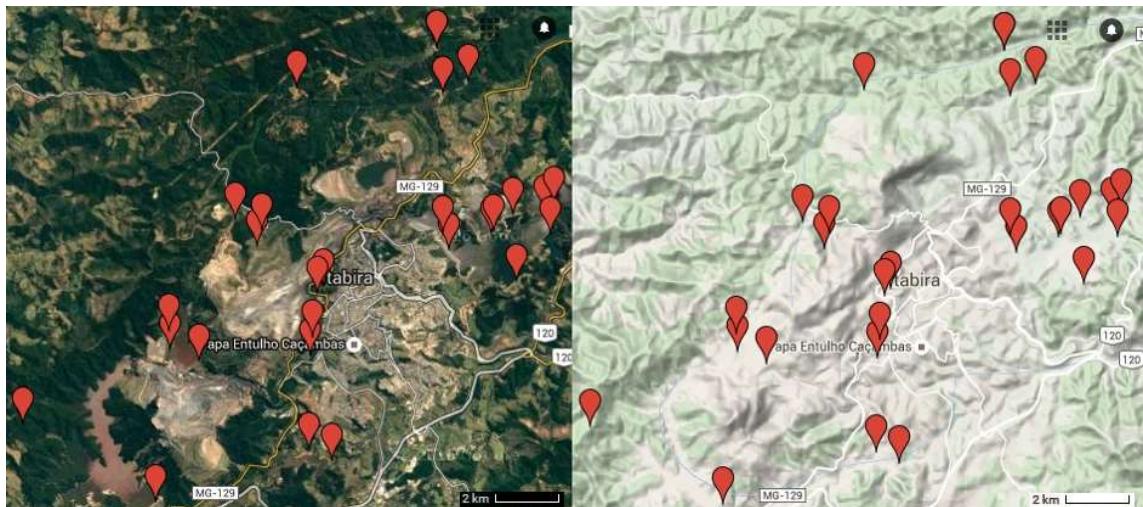
O caso de Itabira é bastante interessante pelo fato de as barragens cercarem a cidade completamente. A dependência econômica da cidade pela extração de minério de ferro levou a essa situação peculiar, e é interessante observar que a própria empresa Vale S.A. foi fundada no município de Itabira pelo seu potencial mineral. É possível se observar através das imagens o quanto explorada tem sido a região por conta da mineração, ocupando o solo de forma considerável, invadindo inclusive regiões com vegetação.

A cidade de Itabira possui uma região central onde fica a cidade com a população urbana, e a leste está localizada a principal porção das barragens de rejeitos no município, como uma proximidade muito maior do que se comparado à situação de Congonhas. O município possui cerca de 110 mil habitantes. A localização das principais barragens está destacada na Figura 27.



**Figura 27: Município de Itabira e localização das minas e barragens de rejeitos principais.**  
Fonte: IBGE imagens.

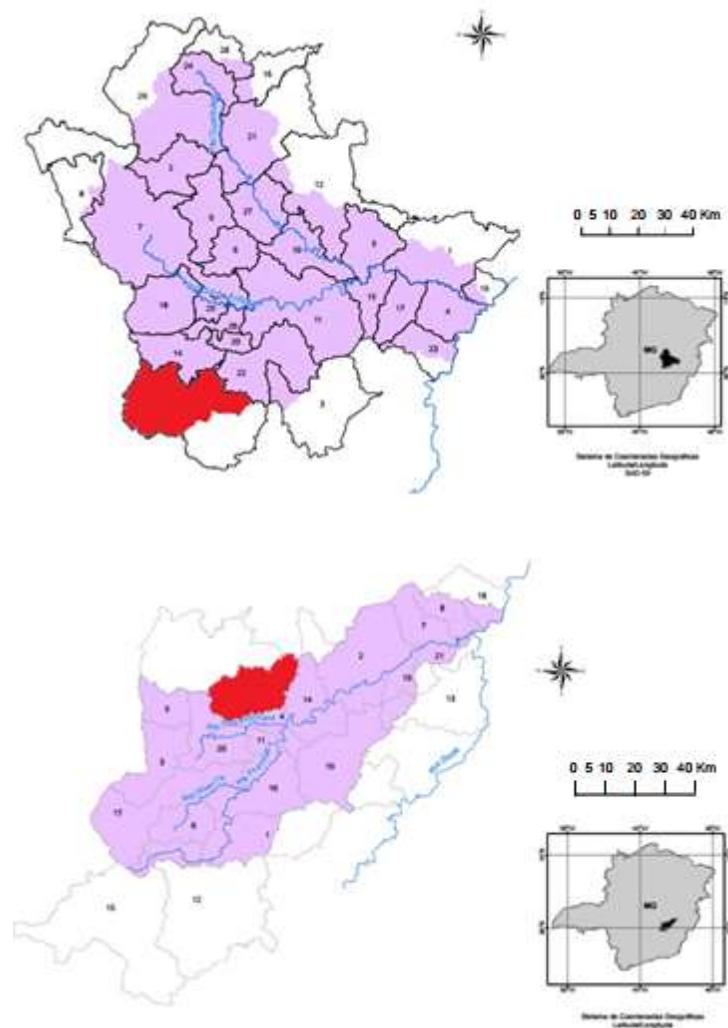
Além disso, o território possui um relevo bastante acidentado, como pode ser observado na Figura 28.



**Figura 28: Topografia da região de Itabira. Fonte: Google Maps.**

Esse conjunto de barragens está inserido na bacia hidrográfica do Rio Doce. O município de Itabira está dividido nas unidades Rio Piracicaba e Rio Santo Antônio e

as barragens estão localizadas nessas duas unidades. Os mapas da Figura 29 retirados do site do IGAM mostram a localização de Itabira em relação à bacia.



**Figura 29: UPGRH do Rio Piracicaba e do Rio Santo Antônio da Bacia Hidrográfica do Rio Doce. Fonte: IGAM.**

As barragens de rejeitos no município de Itabira possuíam como volume de operação, no ano de 2014, uma quantidade de 39.613.246,9m<sup>3</sup> de 558.218.600m<sup>3</sup> de volume absoluto das barragens (ou seja, 7% do total). A maior barragem em volume absoluto é a Barragem Itabiruçu com 230.000.000m<sup>3</sup>, que também é a barragem com maior volume de rejeitos até o ano de 2014, com 13.901.584m<sup>3</sup> até então. A seguir encontram-se alguns dos dados dessas 27 barragens consideradas neste município (As informações completas dessas barragens estão apresentadas no Anexo VI):

- Altura de barramento: Variando entre 6m e 69m;

- Quantidade de minas de onde se provêm esses rejeitos: sete minas;
- Localização das minas: Barão de Cocais, Itabira, Ouro Preto, Sabará e São Gonçalo do Rio Abaixo;
- Minério de extração: Minério de Ferro ou não registrado;
- Beneficiamento:
  - Nenhum: Uma barragem;
  - Britagem/moagem: 15 barragens;
  - Outros: 11 barragens.
- Situação operacional:
  - Todas as barragens em operação.
- Classificação das barragens:
  - Quanto ao risco:
    - Baixo: 27 barragens;
    - Médio: 0;
    - Alto: 0.
  - Quanto ao dano:
    - Baixo: 17 barragens.
    - Médio: Uma barragens;
    - Alto: 9 barragens.
  - Categoria:
    - A: 0;
    - B: 0;
    - C: 9 barragens;
    - D: Uma barragens;
    - E: 17 barragens.

### 6.3.3 Barragem do Sossego

A Barragem do Sossego é a barragem de maior altura de barramento absoluto no país, e ela também é gerida pela empreendedora Vale S.A. É a única das apresentadas anteriormente que não está no estado de Minas Gerais, e sim na cidade de Canaã dos Carajás, no estado do Pará, na região norte do país. Observa-se na Figura 30 a localização do município de Canaã dos Carajás no estado do Pará.



**Figura 30: Localização do município de Canaã dos Carajás - PA. Fonte: IBGE imagens.**

A Barragem do Sossego possui altura de barramento de projeto de 266,6 m, gerando um volume total de 131.760.000 m<sup>3</sup>. No ano de 2014, a altura de barramento era de 247,8 m, com volume de 109.998.465 m<sup>3</sup>. O principal minério extraído do local é o cobre. O mapa da Figura 31 mostra uma visão aérea da barragem com a mina de extração Usina do Sossego a nordeste.



**Figura 31: Localização da Barragem do Sossego. Fonte: Google Maps.**

O município de Canaã dos Carajás está localizado na região oriental da Amazônia Legal e foi fundado em 1994, com grande influência da Vale S.A., na época Companhia Vale do Rio Doce. A Floresta Nacional de Carajás ocupa aproximadamente metade do território do município a noroeste e a população fica concentrada a sudeste do município, que possui cerca de 25 mil habitantes. A mina e sua barragem estão localizadas no centro do município, com divisa para a floresta. A Figura 32 mostra a delimitação do município de Canaã dos Carajás e a localização da barragem de rejeitos.



**Figura 32: Delimitação do município de Canaã dos Carajás, com barragem visível no centro.**  
Fonte: IBGE imagens e Google Maps.

O município está localizado na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia, como mostrado na Figura 33, onde se observa todas as bacias hidrográficas do estado do Pará. Essa região geográfica possui uma localização estratégica, tanto pela navegabilidade quanto pela relevância ambiental da região (PARÁ, 2012).



**Figura 33: Bacias hidrográficas do estado do Pará e localização de Canaã dos Carajás.** Fonte: IBGE imagens.

Devido à localização da barragem, em local cercado por regiões de preservação ambiental e com grande potencial hídrico, nota-se o relevante impacto ambiental potencial da atividade mineradora e da barragem de rejeitos. Ao mesmo tempo,

observa-se que a população possui grande dependência da extração mineral como fonte econômica, sendo a extração a principal razão para o grande crescimento populacional no município desde sua fundação.

O dano potencial associado à barragem é considerado alto e o critério de risco de rompimento da barragem é considerado baixo segundo a classificação do DNPM. Os Quadros 7 e 8 mostram os valores registrados pelo DNPM para essa barragem da Vale S.A.. Os critérios “(a)” até “(m)” para o cálculo do risco e os critérios “(a)” até “(d)” para o dano potencial associado estão explicitados nos Anexos II e III, bem como as regras de pontuação.

**Quadro 7: CRI da Barragem de Sossego. Fonte: dados do DNPM.**

Nome da Barragem	Categoria de Risco				Estado de Conservação				Plano de Segurança de Barragens				
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(l)	(m)	
Barragem do Sossego	7	3	2	0	3	0	2	0	0	0	0	0	

**Quadro 8: DPA da Barragem de Sossego. Fonte: dados do DNPM.**

Nome da Barragem	DPA				CT	EC	PS	DPA	Categoria de Risco CRI = (CT + EC + PS)	CRI	DPA	CLASSIF	Inserida na PNSB?	
	(a)	(b)	(c)	(d)										
Barragem do Sossego	5	3	2	5	12	5	0	15	17	BAIXO	ALTO	C	SIM	

#### **6.4 Rio Paracatu Mineração S.A.**

A Rio Paracatu Mineração S.A. é uma empresa filial da multinacional canadense Kinross Gold Corporation, criada em 1993. Esta está localizada em sete países diferentes, e no Brasil extrai 25% do ouro produzido do país.

A empresa está presente na cidade de Paracatu, no noroeste do estado de Minas Gerais, e possui duas barragens com grande representatividade no país, por ser responsável pela maior e pela terceira maior barragens de rejeitos em volume absoluto no país: a Barragem do Eustáquio e a de Santo Antônio, com 750.000.000 m<sup>3</sup> e 483.000.000 m<sup>3</sup> respectivamente. No mapa da Figura 34 observa-se a localização da cidade de Paracatu no estado de Minas Gerais.



**Figura 34: Localização do município de Paracatu. Fonte: IBGE imagens.**

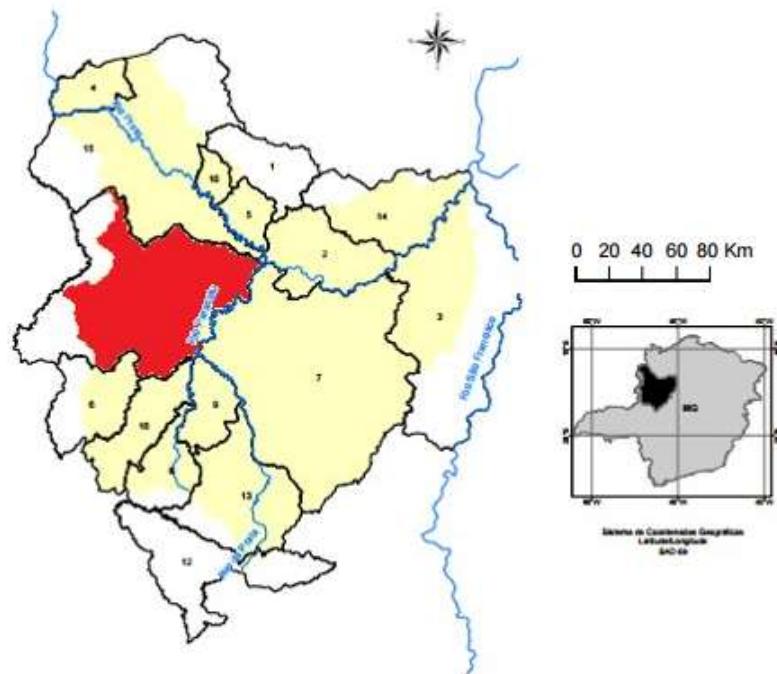
Na região central do município encontra-se ao norte as duas grandes barragens de rejeitos, sendo a Barragem do Eustáquio a oeste e a Barragem de Santo Antônio a leste. Ao sul das barragens encontra-se a mina de ouro, sendo essa a maior mina a céu aberto do país, e mais a sul encontra-se a concentração populacional, com cerca de 80 mil habitantes. As barragens e a mina de ouro são apresentadas na Figura 35.



**Figura 35: Caracterização da região central da cidade de Paracatu. Fonte: Google Maps.**

Observa-se a grande área ocupada pelas duas barragens, que são visivelmente maiores que a mina e juntas também são maiores que a área povoada. Sendo assim, apenas para a estocagem dos rejeitos da mineração, observa-se claramente que a ocupação do solo é substancial por parte das barragens.

A bacia hidrográfica na qual essas duas barragens estão inseridas é a Bacia do Rio São Francisco. A porção relevante do município de Paracatu para esta situação está localizada em uma UPGRH única, a do Rio Paracatu. O mapa da Figura 36 retirado do site do IGAM mostra a localização de Paracatu em relação à bacia.



**Figura 36: UPGRH do Rio Paracatu na bacia hidrográfica do Rio São Francisco. Fonte: IGAM.**

De acordo com a reportagem apresentada no G1 notícias em 2015 (MINEIRO, 2015) logo após o ocorrido em Mariana, a população se mostrou bastante preocupada com a atividade de ambas as barragens, e a empresa Kinross informou que a barragem de Santo Antônio encontra-se inativa, enquanto a Barragem do Eustáquio está em início de operação, e que os cuidados para segurança da barragem tem sido tomados. Mais informações sobre as barragens encontram-se abaixo, de acordo com o DNPM. Os critérios “(a)” até “(m)” para o cálculo do risco e os critérios “(a)” até “(d)” para o dano potencial associado estão explicitados nos Anexos II e III, bem como as regras de pontuação.

- Altura de barramento de projeto:
  - Eustáquio: 140m (68m construído);
  - Santo Antônio: 104m (104m construído);
- Quantidade de minas de onde se provêm esses rejeitos: duas minas;
- Localização das minas: Paracatu;
- Minério de extração: Minério de Ouro e desconhecido;
- Beneficiamento:

- Químico em ambas as barragens.
- Situação operacional:
  - Ambas as barragens em operação.
- Classificação das barragens quanto ao risco
  - Quanto ao risco: Baixo;
  - Quanto ao dano: Alto;
  - Categoria: C.

Os Quadros 9 e 10 indicam como cada critério foi definido para seleção de risco e dano das duas barragens:

**Quadro 9: CRI das Barragens de Paracatu. Fonte: dados do DNPM.**

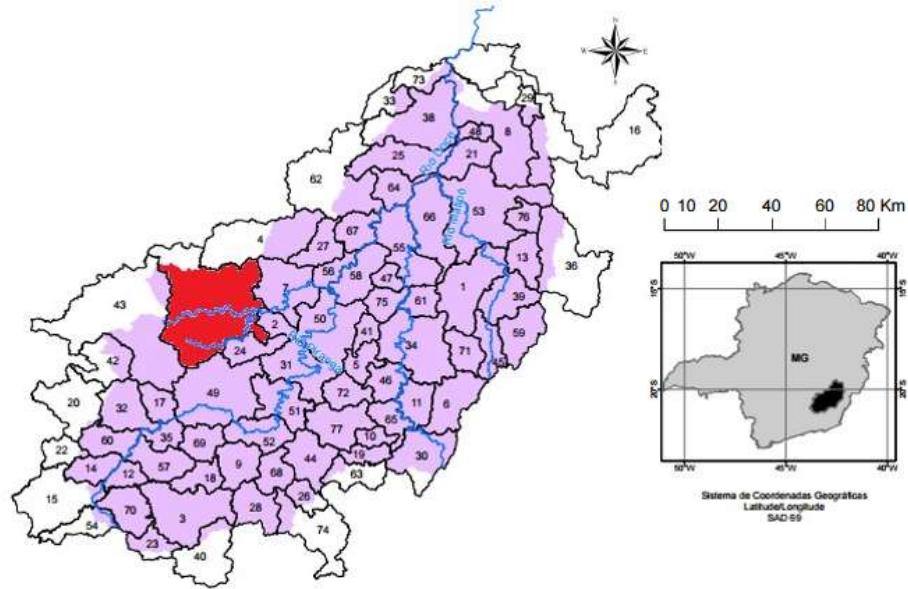
Nome da Barragem	Categoria de Risco				Estado de Conservação				Plano de Segurança de Barragens				
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(l)	(m)	
Barragem do Eustáquio	7	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
Santo Antônio	7	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	

**Quadro 10: DPA das Barragens de Paracatu. Fonte: dados do DNPM.**

Nome da Barragem	DPA				CT	EC	PS	DPA	Categoria de Risco CRI = (CT + EC + PS)	CRI	DPA	CLASSIF	Inserida na PNSB?
	(a)	(b)	(c)	(d)									
Barragem do Eustáquio	5	5	6	3	10	0	1	19	11	BAIXO	ALTO	C	SIM
Santo Antônio	5	5	6	3	10	0	1	19	11	BAIXO	ALTO	C	SIM

## 6.5 Samarco Mineração S.A.

A empresa Samarco Mineração S.A. é uma empresa brasileira subsidiária da Vale S.A., sendo ela uma joint-venture entre esta empresa e a anglo-australiana BHP Billiton, ou seja, produto da união dessas duas empresas. Ela ficou muito famosa com o desastre ocorrido em novembro de 2005 no município de Mariana, com o rompimento da Barragem do Fundão, o qual causou diversos danos ambientais e sociais. A Figura 37 mostra a localização do município de Mariana na unidade do Rio Piranga, na bacia do Rio Doce. A própria empresa Vale S.A. possui algumas barragens de rejeito nesta cidade, e a Samarco possuía quatro barragens neste município.



**Figura 37: Localização de Mariana na UPGRH do Rio Piranga na Bacia Hidrográfica do Rio Doce. Fonte: IGAM.**

As Figuras 38, 39 e 40 foram retiradas do site G1 Notícias, 2015, (MG, 2015) e mostram fotos aéreas antes e depois do acidente para a visualização das dimensões do desastre.



**Figura 38: Antes e depois do acidente (área de preservação). Fonte: site G1 notícias.**



**Figura 39: Antes e depois do acidente (proximidades da barragem). Fonte: site G1 notícias.**



**Figura 40: Antes e depois do acidente (área urbana). Fonte: site G1 notícias.**

Esse desastre causou sérios impactos ambientais, sociais e econômicos. Fazendo uma análise da tabela fornecida pelo DNPM observam-se alguns pontos interessantes. Como características dessa barragem no ano de 2014, tem-se:

- Altura do barramento em 2014: 87m;
- Altura de barramento absoluto: 130m;
- Volume total armazenado: 27.890.000m<sup>3</sup>;
- Volume de projeto: 91.866.000m<sup>3</sup>;
- Mina de onde vinham os rejeitos: Ubú, da cidade de Anchieta, Espírito Santo;
- Minério de extração: Desconhecido;
- Classificação da barragem:
  - Quanto ao risco: Baixo;
  - Quanto ao dano: Alto;

- Categoria: C.

Dessas características observa-se que a expectativa para essa barragem ainda era de receber muito mais rejeitos, não havendo recebido ainda nem metade da quantidade da capacidade prevista. Ou seja, caso a barragem se mantivesse por mais tempo e rompesse muito mais tarde, as consequências poderiam ser ainda maiores. Observa-se também que o DNPM não tem registros do minério de extração da mina que mandava o material para a barragem. Mas o mais relevante de tudo é o fato de o risco da barragem ter sido classificado com baixo. Desmembrando os fatores que levam à categorização do risco e analisando como a barragem do Fundão foi classificada, vê-se que:

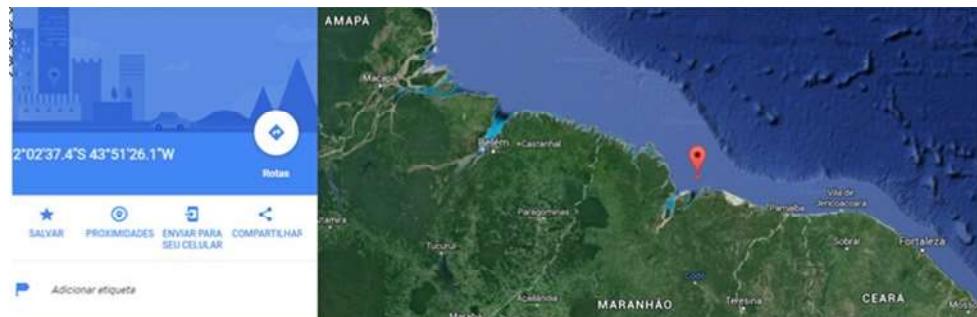
- Categoria de Risco (CT):
  - Altura (a): 7;
  - Comprimento de crista (b): 3;
  - Vazão de projeto (c): 0.
- Estado de Conservação (EC):
  - Confiabilidade das estruturas extravasoras, barragens de rejeitos e resíduos d): 0;
  - Percolação (e): 0;
  - Deformação e recalques (f): 0;
  - Deterioração dos taludes/paramentos (g): 0;
- Plano de Segurança da Barragem (PS):
  - Documentação de projeto (h): 0;
  - Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais na equipe de segurança da barragem (i): 1;
  - Manuais de procedimentos para inspeções de segurança e monitoramento (l): 0;
  - Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e análise de segurança (m): 0.

O CRI total da barragem do Fundão de acordo com o DNPM em 2014 era de 11, muito abaixo do limite entre baixo e médio de 35 dos parâmetros estabelecidos pelo órgão.

## 6.6 Erros de localização

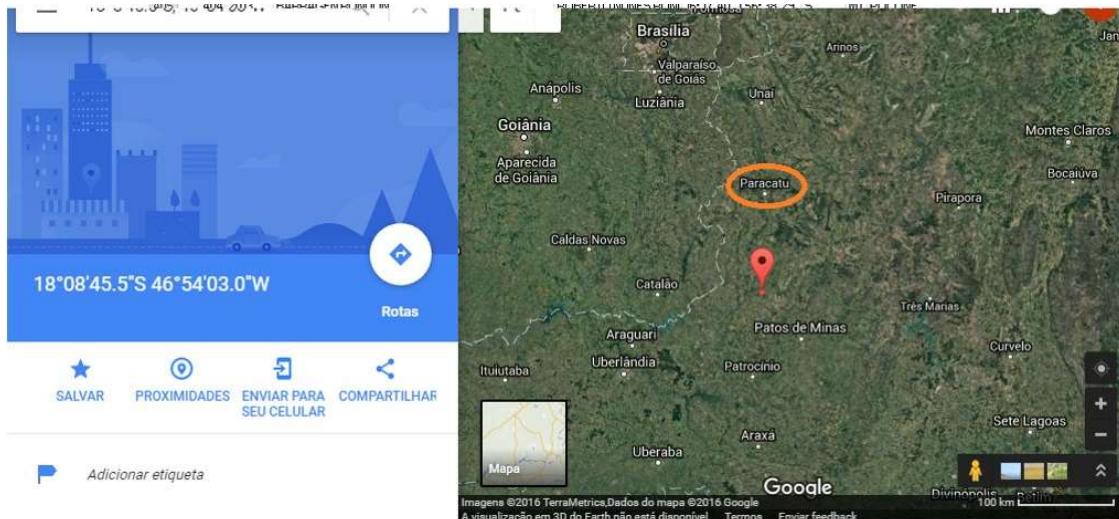
Há algumas barragens que foram cadastradas com coordenadas geográficas erradas, o que dificultou a localização dessas barragens no mapa.

Por exemplo, a Barragem Mata Porcos da Vale S.A., localizado no município de Ouro Preto, em Minas Gerais, foi registrada na tabela com um par de coordenadas que a coloca no mar, ao norte do Maranhão, como se vê na Figura 41.



**Figura 41: Localização da Barragem de Mata-Porcos pelas coordenadas fornecidas tabela do DNPM. Fonte: Google Maps.**

A Barragem do Eustáquio, da empresa Rio Paracatu Mineração S.A., que foi estudada neste trabalho, também possui coordenadas incorretas, apontando para um local com cerca de 100 km de distância da cidade de Paracatu onde não há nenhuma barragem de rejeito, apenas reservas florestais. Nota-se isso na Figura 42.



**Figura 42: Localização da Barragem do Eustáquio pelas coordenadas fornecidas tabela do DNPM. Fonte: Google Maps.**

Além dos erros de localização de algumas barragens, há muitas barragens classificadas com ausência de dados. Muitas células da planilha fornecida pelo DNPM estão em branco. As principais informações não cadastradas das barragens são o material extraído da mina e as coordenadas das barragens.

## 7 ANÁLISE DO PANORAMA NACIONAL DE BARRAGENS DE REJEITOS

Analizando o panorama de barragens de rejeitos no Brasil, observa-se que os empreendimentos de barragens de rejeitos possuem duas principais concepções de projeto, e a escolha da melhor concepção está relacionada à topografia da região, onde cada uma delas pode levar a consequências diferentes. A primeira concepção pode ser visualizada nas barragens das regiões de Congonhas e Itabira, que consiste em conjuntos de barragens de rejeitos, ou seja, áreas próprias para o recebimento de rejeitos com diversas barragens, recebendo inclusive material de minas relativamente distantes, e não só dos próprios municípios onde estão localizadas.

O principal ponto positivo dessa concepção é que as barragens de rejeito construídas podem ter as suas dimensões reduzidas, resultando em um menor volume de rejeitos armazenado em uma única barragem, o que faz com que o risco e o dano potencial associado a essa barragem seja menor do que barragens de grandes dimensões. Além disso, a configuração de barragens menores em série ajuda na contenção dos rejeitos que seriam lançados no ambiente caso houvesse rompimento de uma das barragens, como ocorreu no município de Itabirito em Minas Gerais, em que a barragem B1 rompeu e a onda de rejeitos causou o rompimento da barragem B2, porém parte dos rejeitos foi contida pela barragem B3 a jusante, minimizando o impacto ambiental negativo.

Um ponto negativo dessa concepção é que ter uma área própria para receber rejeitos com várias barragens torna viável o recebimento de rejeitos oriundos de outras cidades, o que faz com que os municípios de Congonhas e Itabira, por exemplo, estejam sujeitos a riscos e danos potenciais elevados oriundos de rejeitos de outros municípios, ficando apenas com o prejuízo da mineração destes, sem desfrutar dos benefícios da economia que a mineração produz nos municípios onde as minas estão instaladas.

A segunda concepção observada pode ser visualizada nas cidades de Canaã dos Carajás e de Paracatu, que consiste na utilização de poucas barragens de dimensões elevadas, sendo na primeira cidade apenas uma barragem e, na segunda, duas. O

principal ponto negativo dessas barragens de grandes dimensões é que o dano potencial associado é muito grande, ou seja, caso ocorra o rompimento de uma barragem de grandes dimensões, os impactos socioambientais negativos serão elevados. Podemos elencar os seguintes pontos positivos: maior facilidade de se obter licenças de construção e operação, maior facilidade de gestão e de cadastro das barragens em relação a múltiplas barragens.

Em relação à localização das barragens, observam-se situações em que elas estão localizadas muito próximas de cidades, como as barragens de Itabira e Paracatu, enquanto as outras áreas analisadas estão mais afastadas da população. A população de cidades como Itabira e Paracatu é beneficiada pelo desenvolvimento econômico oriundo da mineração por conta da oferta de empregos nas minas. Portanto, observa-se que a existência de atividade mineradora próxima à cidades não é totalmente negativa, existindo assim a necessidade de se equilibrar a questão econômica, social e ambiental da atividade de mineração em conjunto com a população.

Em relação ao cadastro das barragens de mineração no Brasil, observa-se que houve um progresso na implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens. A Figura 43 mostra a evolução do cadastro de barragens de rejeitos de mineração desde a promulgação da PNSB.

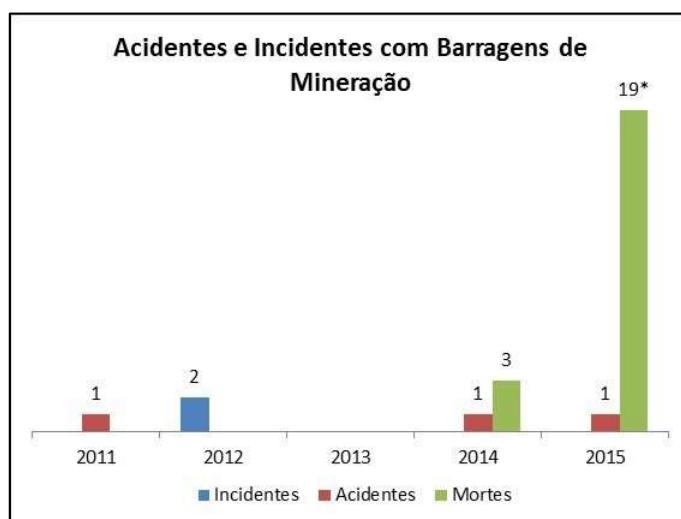


**Figura 43: Evolução do Cadastro de Barragens de Mineração. Fonte: dados de Brasil, 2016.**

Observa-se uma tendência à estabilização do número de barragens cadastradas. A pequena redução no número de barragens de 2014 para 2015 pode ser explicada por um ajuste feito por uma revisão ou pelos acidentes ocorridos no período que ocasionou na perda de barragens.

O cadastro das barragens de mineração, como foi comentado no capítulo 5 do presente trabalho, não inclui o tipo de metodologia que é usada no alteamento das barragens de rejeitos. Essa falta de informação compromete a análise de segurança das barragens, uma vez que os diferentes métodos de alteamento possuem níveis de seguranças distintos. No cadastro de barragens de mineração do Chile, feito pelo Serviço Nacional de Geologia e Mineração (SERNAGEOMIN), é requerido o tipo de alteamento da barragem. Além, disso no Chile, os únicos métodos de alteamento permitidos pela legislação são os métodos de alteamento a montante e de linha de centro, pois como o país possui muita atividade sísmica, o método de alteamento a jusante não atinge o limite de segurança aceitável.

Embora tenha havido um progresso no cadastro de barragens e na implementação da PNSB, o número de acidentes e incidentes com barragens de mineração não tem diminuído ao longo dos anos. A Figura 44 mostra o número dos acidentes e incidentes, dos quais se obteve notícia, ao longo dos anos desde o início da implementação da PNSB.



**Figura 44: Acidentes e Incidentes com Barragens de Mineração ao longo dos anos. (\*Dezoito mortos e um desaparecido em um único evento). Fonte: dados de Brasil, 2016.**

Foram elaboradas três hipóteses para o quadro de acidentes do Brasil. Ao se trabalhar com os dados sobre as barragens fornecidos pelo DNPM, observam-se algumas limitações e equívocos claros que há nessa coleta de dados. Portanto, a primeira hipótese é que a legislação criada, que institui a PNSB, houve “compliance” parcial por parte dos empreendedores, ou seja, os empreendedores aderiram à política e cadastraram as suas barragens com parte das informações requeridas e não houve muito “enforcement” por parte do órgão fiscalizador, o DNPM, ou seja, o órgão não fiscalizou número suficiente de barragens para verificar se as informações apresentadas pelos empreendedores eram verdadeiras e não exigiu o “compliance” total dos empreendedores e por isso a política não causou impacto na prevenção de acidentes.

A segunda hipótese é que os critérios estabelecidos pelo CNRH, através da Resolução nº 143, de 10 de Julho de 2012, para a classificação de barragens por categoria de risco não foram adequadamente escolhidos, pois as duas barragens classificadas que romperam nos anos de 2014, Barragem B1 e Barragem B2, e para a Barragem do Fundão que rompeu em 2015, foram classificadas como Categoria de Risco (CRI) baixo, mostrando potencial ineficiência dos critérios de classificação.

A terceira hipótese é que a política implementada não mostrou impacto na redução de acidentes devido ao pouco tempo desde a sua criação até agora. A PNSB entrou em vigor em setembro de 2010, e as resoluções complementares do CNRH e do DNPM (Resolução nº 143 e Portaria nº 146) foram criadas em julho e setembro de 2012, respectivamente. Portanto, há apenas três anos para a análise da eficácia da política, sendo necessário um maior intervalo de tempo para avaliar o real impacto da mesma, pois é necessário mais tempo para adaptar ao novo cenário legislativo.

A comparação feita com o panorama internacional de barragens de rejeitos mostrou que o Brasil possui uma das legislações mais avançadas sobre classificação de risco e dano potencial associado às barragens. Porém, como não há um padrão internacional para segurança das barragens, as informações obtidas sobre as

legislações e normas internacionais não foram suficientes para analisar o critério de classificação de barragens utilizado no Brasil.

## 7.1 Segurança das Barragens de Rejeitos no Brasil

A segurança das barragens de rejeitos de mineração é um tema que preocupa as autoridades e a população, não só do Brasil, mas de outros países no mundo que possuem atividade de mineração.

É notória a importância da mineração para o desenvolvimento da sociedade brasileira, porém as barragens que armazenam os rejeitos oriundos da atividade mineradora podem aumentar a exposição da sociedade a níveis de riscos considerados relevantes e a grande danos ambientais, sociais e econômicos. Portanto, há a necessidade de se equilibrar a questão econômica, social e ambiental da atividade de mineração através de práticas de gestão e de engenharia que prezem pela segurança das barragens.

O rejeito, pela própria definição da palavra, é algo que não possui valor econômico para o empreendedor de mineração, por isso o investimento em infraestrutura para a segurança das barragens de rejeitos necessita da imposição da legislação. As ações propostas pela legislação no Brasil não tiveram impactos positivos imediatos na segurança de barragens, havendo a necessidade de outros mecanismos de regulamentação e fiscalização, como talvez organizações certificadoras privadas. Outra forma para garantir a segurança é utilizar outras formas de destinação para os rejeitos que não seja o armazenamento em barragens de terra. O método de destinação de rejeitos de mineração em barragens de terra a céu aberto é o mais usual no Brasil e no mundo, porém não é o único método existente. No próximo capítulo deste trabalho serão apresentadas algumas alternativas para a disposição de rejeitos de mineração que garantem mais segurança para a sociedade e para o meio ambiente.

## 8 MÉTODOS ALTERNATIVOS DE DISPOSIÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO

Ao longo da história do beneficiamento dos minérios, a disposição dos rejeitos foi feita de diversas formas. Gomes (2009) considera que a história da disposição de rejeitos até o momento atual é dividida em quatro gerações, sendo elas:

- Primeira geração: descartes descontrolados.
- Segunda geração: descartes contidos.
- Terceira geração: uso dos rejeitos na construção das barragens.
- Quarta geração: descargas espessadas e filtradas.

No início do século XX, a disposição dos rejeitos era feita nos cursos d'água mais próximos, sem controle regular de operação (VICK, 1990). Esse tipo de disposição causa grandes impactos ambientais, como contaminação das águas superficiais, assoreamento de rios e risco à saúde da população. A Figura 45 mostra a disposição de rejeitos de mineração de ouro no início do século XX em Cortez Hills, Nevada, USA.



**Figura 45: Disposição de rejeitos de mineração de ouro em curso d'água. Fonte: Engles, 2006.**

A principal forma de separação do minério de valor comercial das impurezas utilizada era a flotação, que consiste na separação por meio da diferença de densidade do material. Por isso, a necessidade de utilização de água no tratamento úmido do minério somada à preocupação com as questões ambientais resultou no aprimoramento dos sistemas de disposição de rejeitos por volta da década de 1930. Nesse sentido, a adoção do confinamento de rejeitos através de diques e barragens de terra representou um importante avanço no processo de disposição final dos resíduos de beneficiamento mineral. Nessas estruturas, no entanto, ainda persistiam uma série de deficiências técnicas de concepção e execução que comprometiam consideravelmente sua estabilidade e segurança (GOMES, 2009).

Depois da década de 1970, a preocupação ambiental tornou-se tema mundial. Além disso, graves acidentes provocados pela ruptura de barragens e pilhas de rejeitos motivaram a criação de leis ambientais mais rígidas, especificações e normas reguladoras. Com isso, as barragens de rejeitos tornam-se o principal método de disposição utilizado mundialmente, marcando a terceira geração.

Embora as barragens de rejeitos sejam um avanço na disposição final dos rejeitos de mineração, ainda há a necessidade de desenvolvimento e aplicação de novas técnicas de disposição que sejam mais seguras e que reduzam os impactos provocados pela disposição dos rejeitos. Atualmente, essas estruturas ainda apresentam riscos elevados à sociedade como mostrados previamente neste trabalho.

Para Gomes (2009), hoje se estuda o aumento da concentração do rejeito, através do espessamento e filtragem. É a quarta geração na história da disposição de rejeito. Neste trabalho, outras técnicas de disposição final de rejeitos são incluídas nesta “quarta geração”.

A Lei Nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Segundo o Art. 4º, a Política Nacional de Resíduos Sólidos reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao

gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos. Esta lei se aplica aos rejeitos de mineração. Um dos objetivos da PNRS é a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. A Lei define disposição final ambientalmente adequada como distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos. O Art. 9º da Lei define que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Guiado pelo objetivo da Lei apresentado, o presente trabalho reuniu tecnologias que objetivam a não geração, a reciclagem, o tratamento e a disposição ambientalmente correta dos rejeitos de mineração. Essas tecnologias são apresentadas a seguir na ordem inversa de prioridades.

## **8.1 Disposição Ambientalmente Correta**

### **8.1.1 Disposição em Cavas Exauridas**

De acordo com o artigo 2º da Portaria do DNPM Nº 416 de 2012, as cavas exauridas podem ser consideradas como alternativas para a disposição de rejeitos. Em Minas Gerais, o governo estadual definiu recentemente critérios para o licenciamento ambiental para as atividades de disposição de rejeitos e estéril da mineração em cava de mina através da Deliberação Normativa COPAM Nº 210, de 21 de setembro de 2016. COPAM é o Conselho Estadual de Política Ambiental.

Utilizar cavas exauridas para disposição de rejeitos e estéril previne que novas áreas sejam utilizadas para construção de barragens de rejeitos, uma vez que a cava exaurida é uma área já degradada, além de possibilitar o reaproveitamento dessa área. Além disso, esse método diminui o custo de transporte dos resíduos e evita os gastos elevados de licenciamento e construção das barragens.

Entretanto, não são todos os tipos de rejeitos que podem ser dispostos em cavas exauridas devido ao potencial de contaminação das águas subterrâneas por metais pesados contidos em rejeitos de alguns minérios.

Gomes et. al (1999) conclui que a concepção da pilha na cava está condicionada por três processos geológico – geotécnicos principais: estabilidade dos taludes da cava, natureza e comportamento geotécnico do material assoreado no fundo da cava e características de drenabilidade dos rejeitos.

A disposição de rejeitos em cava exaurida pode ser feita de diversas formas e métodos. A seguir são apresentados três estudos de caso no Brasil que atestam a eficiência dos métodos de disposição temporária em cava exaurida para drenagem dos rejeitos, codisposição e disposição compartilhada em área exaurida de cava ainda em operação e disposição compartilhada em cava exaurida.

Vale ressaltar que a disposição de rejeitos em cava exaurida para drenagem e posterior empilhamento do rejeito com baixo teor de umidade pode ser considerado uma forma de tratamento do resíduo sólido e não a destinação final do mesmo, mas para efeito de organização da estrutura deste trabalho este método será apresentado neste item do capítulo.

### **ArcelorMittal Mineração Serra Azul – Disposição temporária em cava exaurida com empilhamento drenado**

De acordo com o site da ArcelorMittal ([brasil.arcelormittal.com.br](http://brasil.arcelormittal.com.br)), a Mina de ferro de Serra Azul está localizada no município de Itatiaiuçu, a 70 km de Belo Horizonte e possui área licenciada de 620 hectares. Em 2011 a empresa iniciou estudos para a utilização de outros métodos de disposição de rejeitos ao invés da disposição por meio de barragens (BELO HORIZONTE, 2016). A empresa adotou o Empilhamento Drenado de Rejeitos como método alternativo. Esse método consiste na secagem do rejeito e seu empenhamento alternado. Para a secagem dos rejeitos, eles foram dispostos em cavas exauridas até que o seu teor de umidade diminuisse para posterior disposição final em pilhas de rejeitos de baixa drenagem, sem a necessidade

de barramento. As Figuras 46 e 47 mostram o enchimento de cava com rejeitos e a disposição do empilhamento drenado dos rejeitos, respectivamente.



**Figura 46: Enchimento da cava exaurida com os rejeitos da mineração. Fonte: Belo Horizonte, 2016.**



**Figura 47: Empilhamento drenado dos rejeitos. Fonte: Belo Horizonte, 2016.**

A utilização da cava exaurida para a disposição temporária dos rejeitos possibilitou a recarga do lençol freático e de acordo com o estudo, a recuperação da água passou de 60% no método convencional para 75%. Além disso, o estudo concluiu que a

disposição temporária na cava reduziu os custos de investimento do empreendimento quando comparado à instalação de uma nova barragem de rejeitos, assim como os riscos ambientais associados a esse tipo de disposição (BELO HORIZONTE, 2016).

### 8.1.2 Disposição compartilhada e codisposição de rejeitos e estéreis

Os métodos de codisposição e disposição compartilhada geralmente se tornam opções desejáveis quando se tem disponível uma área única para disposição de resíduos como cavas exauridas ou outras áreas mineradas. Quando existem outras áreas livres para a disposição dos resíduos, torna-se mais econômico a disposição dos mesmos em separado, evitando-se a complexidade técnica e operacional dos métodos de disposição conjunta (SILVA, 2014).

Segundo Alves (2009), a codisposição de rejeitos e estéreis consiste no método onde há uma mistura prévia de rejeitos e estéreis, e a disposição compartilhada é definida como o método onde a deposição do estéril e o rejeito são depositados em um mesmo local, sem uma prévia mistura. A disposição compartilhada já é aplicada no Brasil (Alves et al., 2010), enquanto os registros de utilização da técnica de codisposição ainda são praticamente inexistentes no país (Peixoto, 2012). Os Quadros 11 e 12 exibem vantagens e desvantagem da disposição conjunta de estéreis e rejeitos.

**Quadro 11: Vantagens e desvantagens do método de codisposição. Fonte: Silva, 2014 (modificado).**

Codisposição	
Vantagens	Desvantagens
A redução de volume gera uma melhoria nas características geotécnicas e de densidade na mistura de rejeitos e estéreis.	Necessidade de maiores cuidados no projeto e no controle durante a operação do sistema.
Melhoria das características de resistência e de deformabilidade quando os resíduos misturados possuem granulometrias muito diferentes entre si.	Possibilidade de comprometimento das características de resistência e de deformabilidade quando resíduos muito finos são misturados com resíduos grossos em grande proporção.

**Quadro 11: Vantagens e desvantagens do método de codisposição. Fonte: Silva, 2014 (modificado). (Continuação)**

Codisposição
--------------

Vantagens	Desvantagens
Redução do comprometimento ambiental das áreas de deposição de rejeitos e consequente recuperação da área minerada.	Comprometimento ambiental caso haja rejeitos quimicamente ativos ou tóxicos.

**Quadro 12: Vantagens e desvantagens do método de disposição compartilhada. Fonte: Silva, 2014 (modificado).**

Disposição compartilhada	
Vantagens	Desvantagens
Aproveitamento de áreas já utilizadas para disposição de rejeitos e estéreis (estéreis lançados em bacias exauridas de rejeito ou rejeitos lançados sobre platôs de pilhas de estéreis).	Necessidade de maiores cuidados no projeto e no controle durante a operação do sistema.
Redução do comprometimento ambiental das áreas de deposição de rejeitos e consequente recuperação da área minerada.	Comprometimento ambiental caso haja rejeitos quimicamente ativos ou tóxicos.

Para ambos os métodos, é necessário que haja uma prévia análise das propriedades geotécnicas dos materiais a serem depositados, principalmente dos aspectos de resistência e permeabilidade, o que pode determinar se a solução pode ou não ser aplicada (Leduc et al., 2003). Além disso, é necessária uma proporção adequada entre rejeitos e estéreis a serem depositados. Esta proporção adequada é apresentada no Quadro 13.

**Quadro 13: Relação entre estéril-rejeito em sistemas de codisposição. Fonte: Silva, 2014 (modificado).**

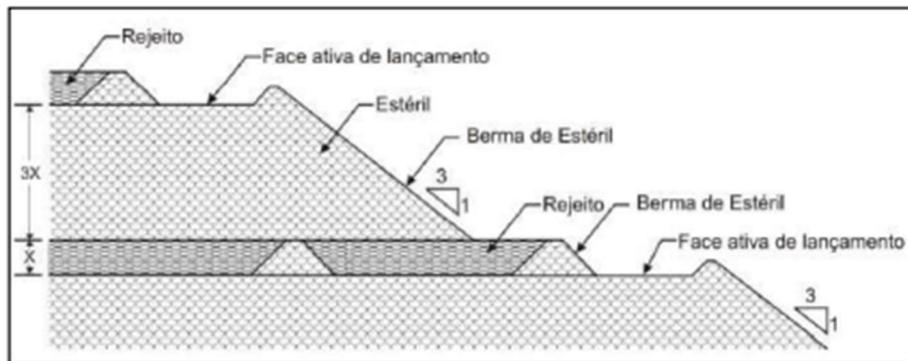
Relação entre estéril e rejeito	Potencial de utilização do método
Maior que 8:1	Provavelmente adequado para codisposição
Entre 4:1 e 8:1	Inconclusivo, requer mais estudos
Menor que 4:1	Provavelmente não adequado para codisposição

Para que a codisposição de estéril e rejeito seja ideal, é necessário equipamentos para terraplenagem, mistura prévia e transporte desses materiais, o que encarece e

pode inviabilizar a implantação e a operação. Assim, para que o processo seja economicamente viável, a codisposição, na prática, ocorre sem a mistura prévia dos rejeitos e estéreis, resultando em uma mistura parcial no local de deposição.

Uma das formas de execução da codisposição é a criação de diques de estéreis que atuam como células receptoras de rejeitos (Leduc et al., 2003). As células são preenchidas em diferentes fases, de forma que, enquanto uma parte está em processo de formação, outra está em secagem e uma outra em etapa de construção. Uma vez que o rejeito é adensado e está seco, o estéril é lançado sobre a célula (Silva, 2014).

Deve se tomar cuidado com a inserção de novas camadas para que, se realizada de forma rápida, pode gerar poropressões que por sua vez podem gerar uma falha súbita na pilha de células (Leduc et al., 2003). A Figura 48 mostra as células de rejeitos em depósito de estéreis.

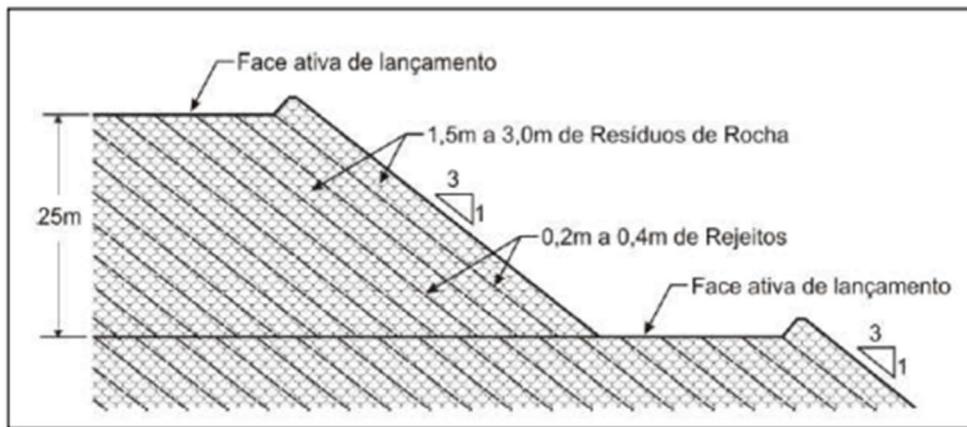


**Figura 48: Células de rejeitos em depósito de estéreis. Fonte: Silva, 2014.**

A segunda forma de codisposição consiste na disposição alternada entre rejeito e estéril, permitindo que haja um grau maior de mistura e consequentemente a diminuição das poropressões nos rejeitos.

A principal vantagem é o grau de homogeneização da mistura que permite uma maior previsibilidade nas propriedades geotécnicas em toda a área. A principal desvantagem consiste nos custos de operação e a necessidade de equipamentos móveis em constante contato com os rejeitos, gerando possíveis preocupações com a saúde dos

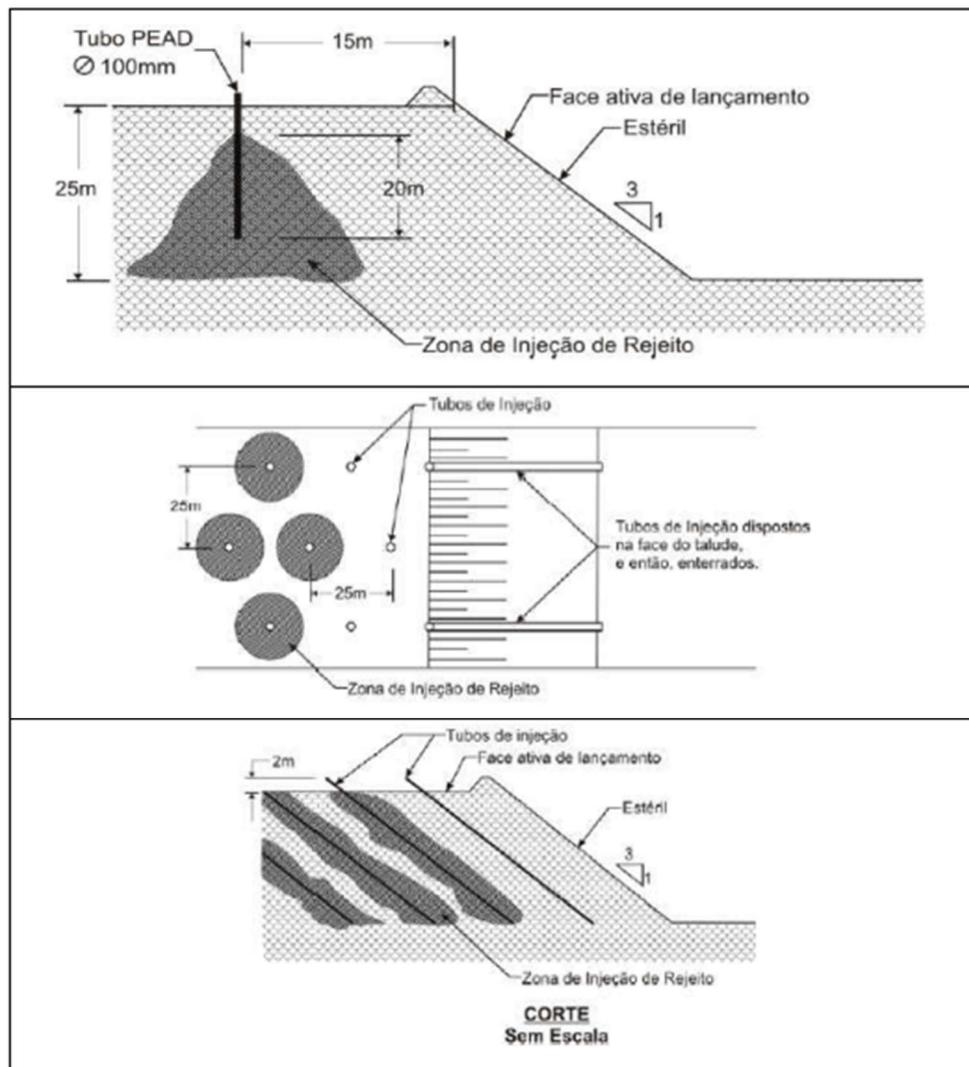
trabalhadores no local (Leduc et al., 2003). A Figura 49 mostra as camadas alternadas de estéreis e rejeitos.



**Figura 49: Camadas alternadas de estéreis e rejeitos. Fonte: Silva, 2014.**

Por fim, a codisposição pode ser feita através de injeção dos rejeitos no depósito de estéreis por meio de perfurações, que podem ser verticais ou inclinadas, formando uma rede de furos na superfície do rejeito. A viabilidade desse método depende do espessamento do rejeito (Peixoto, 2012).

As vantagens deste método consistem no controle e na possibilidade de disposição dos rejeitos o mais longe possível das da face ativa de lançamento, além de diminuir o contato de máquinas e trabalhadores com o rejeito e uma maior eficiência no preenchimento de vazios (Leduc et al., 2003). As principais desvantagens são o alto custo de implantação de tubos, necessidade de utilização de bombas de alta pressão, além de ser necessária uma manutenção e monitoramentos constantes por se tratar de um sistema de disposição complexo (Peixoto, 2012). A Figura 50 mostra as injeções de rejeitos no depósito de estéreis.



**Figura 50: Injeções de rejeitos no depósito de estéreis. Fonte: Silva, 2014.**

#### **Pará Pigmentos S.A. – Codisposição e disposição compartilhada de rejeitos e estéreis em cavas ainda em operação**

O estudo de caso realizado por Silva (2014) foi a disposição dos rejeitos e estéreis na Mina de caulim Capim I de propriedade da Pará Pigmentos S.A. (PPSA). A mina é localizada no município de Ipixuna do Pará, no estado do Pará. O procedimento de disposição será em área exaurida da cava em operação, à medida que a lavra avança.

O empreendimento, iniciado em 1995, foi equipado com a construção da planta de beneficiamento de minério, das barragens B1 e R3 para disposição de rejeitos, da barragem BCA, para clarificação do efluente final de águas para o meio ambiente

natural e com a construção de pilhas de estéreis, todos construídos em área adjacente à cava da mina (SILVA, 2014).

Em 2000, foi construída a Barragem R4 devido à exaustão das Barragens B1 e R3. Dez anos depois, havia a necessidade da construção de mais uma bacia (B2), que seria implantada em uma área de mata natural. Porém, tendo em vista a disponibilidade de área no interior da cava, decidiu-se dispor os rejeitos grossos e os estéreis na área exaurida da cava, mantendo-se a bacia R4 para a disposição dos rejeitos finos. Os estéreis e os rejeitos foram dispostos na cava com a aplicação dos métodos de disposição compartilhada e codisposição em diferentes partes da área exaurida, à medida que a frente de lavra vai sendo exaurida. A Figura 51 mostra a vista Geral da Mina Capim I em 2010.



**Figura 51: Vista Geral da Mina Capim I (2010). Fonte: Silva, 2014.**

A aplicação dos métodos de codisposição e disposição compartilhada implica previamente a determinação das propriedades geotécnicas dos materiais a serem misturados, particularmente em termos resistência e drenabilidade. Outro aspecto fundamental a ser considerado é a ‘trabalhabilidade’ da mistura proposta para viabilizar a praticidade dos procedimentos operacionais em campo (SILVA, 2014).

A disposição na área exaurida da cava trouxe grandes benefícios ambientais, uma vez que evitou a utilização de novas áreas virgens de mata natural e antecipou a recuperação topográfica e ambiental cava exaurida. O projeto permitiu dispor 30 milhões m<sup>3</sup> de estéreis que correspondem a 12 anos de operação e 3,6 milhões m<sup>3</sup> de rejeitos, correspondendo a três anos de operação da mina.

Além dos benefícios ambientais, o sistema proposto reduziu significativamente os custos relativos a novos empreendimentos.

A conclusão do estudo de caso foi que a metodologia de codisposição de rejeitos e disposição compartilhada de rejeitos e estéreis em uma área comum e resultante das atividades prévias de lavra constitui não apenas uma alternativa técnica muito econômica como de grande relevância ambiental. Neste cenário, é fundamental estabelecer as relações e as interferências entre os depósitos de rejeitos e a pilha de estéril de forma a garantir a estabilidade de cada estrutura isoladamente e do sistema de disposição global (SILVA, 2014).

### **Vale S.A. – Disposição compartilhada em cava exaurida**

A Mina de ferro do Cauê da empreendedora Vale foi o estudo de caso escolhido por Alves (2009). A mina está localizada na extremidade norte do Distrito Ferrífero de Itabira, na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero (ALVES, 2009).

O Complexo Minerador de Itabira está inserido numa área de aproximadamente 150 km<sup>2</sup>, e compreende a lavra da Mina do Cauê e de outras como as Minas do Meio, contíguas à primeira, e as instalações de beneficiamento do minério de ferro em uma usina de concentração localizada na Mina do Cauê. Da usina resultam dois fluxos: um concentrado de minério de ferro (produto), que é carregado em vagões e exportado, e os rejeitos e as lamas que são descartados na forma de polpa (sólidos + água) com um teor de sólidos de 50 a 55%.

A cava exaurida da Mina do Cauê é destinada a disposição compartilhada de estéril oriundo do processo de lavra das Minas do Meio e rejeitos da Usina de Concentração

do Cauê, além de captação de água a ser reutilizada nos processos industriais (SPEC, 2004 citado por ALVES, 2009).

Os estéreis são dispostos na Aba Oeste da cava, enquanto os rejeitos são depositados na Aba Leste. Esta distribuição foi assumida considerando o fato de que é mais fácil depositar o estéril na parte mais elevada da mina (Aba Oeste), reduzindo-se a distância de transporte, e a parte baixa (Aba Leste) é mais favorável para acumulação de rejeitos e água e, também, mais próxima da usina, tanto para receber os rejeitos como para bombear a água recirculada, apesar da maior diferença de cota (ALVES, 2009). A Figura 52 mostra a Cava da Mina do Cauê em 2002.



**Figura 52: Cava da Mina do Cauê em 2002. Fonte: Alves, 2009.**

Alves (2009) conclui em seu estudo que a disposição compartilhada de rejeito e estéril é viável, pois, apresenta estabilidade e segurança quando se dispõe dois materiais com características tão diferentes num mesmo espaço. É evidente que para alcançar o melhor resultado deve-se fazer um anteprojeto com todas as possibilidades de associações dos materiais bem estudadas.

### 8.1.3 Empilhamento drenado

O empilhamento drenado é uma forma de disposição em que os rejeitos granulares são depositados na forma de pilha, através da técnica de aterro hidráulico. A pilha deve ser dotada de um sistema de drenagem interna eficiente e os rejeitos devem ter coeficiente de permeabilidade tal que permitam a drenagem da camada lançada de forma otimizada com a área operacional disponível e a produção diária (PORTES, 2013). Tal estrutura drenante possui grande potencial de vazão e libera a água livre que sai dos poros dos rejeitos por sistemas de drenagem ao invés de reter esta mesma água (PIMENTA, 2011).

Uma das principais diferenças entre o empilhamento drenado e a barragem de rejeito convencional é que no empilhamento o rejeito é disposto na forma granular. Rejeitos granulares, materiais arenosos não plásticos, são constituídos de partículas de granulometria de areias finas a médias, não plásticas, possuem alta permeabilidade e resistência ao cisalhamento e baixa compressibilidade (ARAUJO, 2006).

De acordo com Pimenta (2011), este método de disposição de rejeitos tem como objetivo:

- Obter um maciço não saturado e, consequentemente, mais estável;
- Obter maior densidade e, portanto, maior capacidade e vida útil;
- Em caso de ruptura, possuir um menor potencial de dano associado;
- Maior facilidade no fechamento da estrutura e na recuperação ambiental do entorno;
- Maior segurança na aplicação do método à montante, diminuindo o risco de liquefação e ruptura.

Este método de disposição é adequado para rejeitos com granulometria, resistência e permeabilidade que permitam a livre drenagem e capacidade de suporte para alteamentos sucessivos, não sendo recomendado para o uso com rejeitos finos. Caso opte-se por utilizar esse sistema com um rejeito de lama, é necessário que haja uma segunda estrutura para recebê-la. A Figura 53 mostra um exemplo de uma pilha de rejeitos.



**Figura 53: Pilha de rejeito em Xingu. Fonte: Acervo fotográfico da VALE, 2008.**

Segundo Mohallen (2016), essa maneira de disposição é mais econômica em relação à disposição em barragens, pois o custo do licenciamento de uma pilha de disposição em relação ao de uma barragem é menor, além de ser mais sustentável, pois recupera parte da água para o meio ambiente e também em caso de acidentes, os danos ambientais e sociais são bem menores, pois o material depositado não possui a consistência de lama.

### **AcelorMittal - Empilhamento Drenado na Mina de Serra Azul**

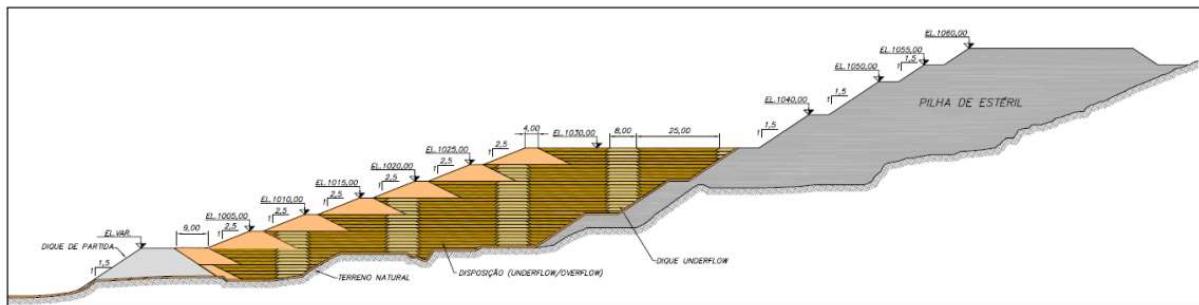
Este estudo de caso já foi apresentado neste capítulo com foco na utilização da cava exaurida para drenagem dos rejeitos. Agora o foco será na parte da disposição com o método de empilhamento drenado.

A Mina de Serra Azul opera desde 1935 e a parte mais fina do rejeito era disposto na forma de lama em uma barragem de rejeito localizada próxima à mina. Com mudança no processo de beneficiamento do minério e com o aumento da produção em 2008, houve a necessidade de se procurar um novo método de disposição de rejeitos, visto que o fim da vida útil da barragem estava próximo (MOHALLEM, 2016). Em 2012 iniciou-se a operação do empilhamento drenado. O projeto é constituído pela execução de berços, estruturas de contenção feitas com rejeitos grossos (“underflow”), com alternância de camadas de rejeito mais grossos e mais finos

(“overflow”). Essa separação é feita pelo processo de centrifugação em hidrociclos. A primeira camada do berço deve ser feita com a parte grossa do rejeito, que será o grande responsável pela drenagem de toda a estrutura. No interior dos berços, é feita a alternância de camadas (50 centímetros) de “underflow” com “overflow”, onde as camadas com o material mais grosso irão drenar as camadas com o rejeito fino. As Figura 54 e 55 ilustram a disposição das camadas no berço.



**Figura 54: Método esquemático do empilhamento drenado. Fonte: Mohallem, 2016 (modificado).**



**Figura 55: Disposição dos berços ao longo da elevação. Fonte: Mohallem, 2016.**

Os berços são dispostos a cada metro e as pilhas alternadas de rejeitos possuem 10 camadas, chegando a cinco metros. Os dois primeiros níveis da pilha estarão confinados pelo Dique de Partida em enrocamento (itabirito compacto). Nesses níveis, têm-se os berços em contato com o dique, considerando uma transição com rejeito de jigue (rejeito grosso retirado na planta de concentração) entre berço e dique. Para os demais níveis (não confinados pelo dique de partida), tem-se inicialmente a execução dos diques em jigue em toda a face do empilhamento. Depois dessa etapa,

segue a sequência de construção dos berços e disposição dos rejeitos (MOHALLEM, 2016).

A pilha chegará a 70 m de altura total com capacidade de armazenamento de aproximadamente 3.000.000 m<sup>3</sup>. A constituição da pilha em volume será de 25,7% de rejeito do jigue, 46,3% de rejeito “underflow” e 28% de rejeito “overflow”.

O empreendedor constatou as seguintes vantagens da utilização do método:

- Possibilita a execução de estruturas para dispor rejeito em espaços de propriedade da ArcelorMittal, o que não ocorre com a opção de uma nova barragem;
- Permite a construção de uma pilha, estrutura com um menor risco geotécnico por não armazenar água se a disposição for bem controlada, quando comparada com os métodos de disposição tradicionais;
- Este projeto ocupará porções lavradas de uma pilha de finos, ocupando dessa forma uma área já impactada e;
- É uma alternativa de implantação em curto prazo, com prazo de licenciamento muito inferior à de uma barragem.

A principal desvantagem é que durante a operação durante o período chuvoso a lama das baías demorava muito pra secar, tornando o processo de disposição mais demorado.

O empreendedor concluiu que o Empilhamento Drenado de rejeitos, mostrou ser um método de disposição que além de economicamente viável, é operacionalmente executável para a escala de trabalhos proposta. Durante o período chuvoso, houve uma dificuldade maior na secagem do overflow, mas sem efeitos graves na produção (MOHALLEM, 2016).

## 8.2 Tratamento dos Rejeitos

Como citado por Gomes (2009), a quarta geração de disposição de rejeitos é feita através do espessamento e filtragem dos rejeitos.

Dependendo do método de disposição dos rejeitos, estes passam por processos de tratamento antes de serem encaminhados para o descarte. Segundo Araujo, 2006, esses processos são o espessamento e a filtragem e eles têm o objetivo de diminuir a perda na usina através da recuperação da água, do aproveitamento de ainda alguma parcela de rejeito e da separação das parcelas de rejeito com diferentes granulometrias. Entretanto, a alteração do estado do rejeito para atendimento à metodologia de disposição compreende, única e exclusivamente, mudança no seu estado de concentração e não de suas características intrínsecas físico-químicas e mineralógicas (FIGUEIREDO, 2007).

De acordo com Gomes, 2009, as principais vantagens da utilização do rejeito desaguado são:

- Permite melhor gerenciamento de água;
- Proporciona a maximização do aproveitamento dos vales (menos/menores barragens);
- Proporciona flexibilidade operacional;
- Gera menor passivo ambiental e;
- Ganho em imagem da empresa junto a órgãos da esfera federal, estadual e municipal e opinião pública.

As principais desvantagens são citadas por Gomes, 2009:

- Necessidade de maior controle operacional e;
- Alto custo de implantação e operação.

Porém, Gomes, 2009 assegura que há a necessidade de discussão sobre os valores calculados para os sistemas convencionais.

A seguir são apresentados os dois principais tipos de rejeitos desaguados.

### **8.2.1 Espessamento dos rejeitos**

Rejeitos espessados podem ser definidos como uma massa viscosa que não apresenta segregação e nem libera, na disposição, significativas quantidades de água (FIGUEIREDO, 2007). Eles também são considerados fluidos homogêneos e bombeáveis. A Figura 56 mostra uma pasta de rejeito de minério de ferro.



**Figura 56: Pasta de rejeito de minério de ferro. Fonte: Guimarães, 2011.**

No sistema de disposição de rejeitos espessados é feita uma preparação da polpa através de um desaguador mecânico chamado de espessador e o transporte até a área de disposição é realizado normalmente por bombas. Não ocorre a segregação das partículas e por capilaridade a água atinge a superfície e evapora. A superfície torna-se firme, compactada e pronta para ser recuperada (GUIMARÃES, 2011). A Figura 57 mostra a superfície compactada da disposição de rejeitos espessados.



**Figura 57: Superfície compactada da disposição de rejeitos espessados. Fonte: Guimarães, 2011.**

Essa metodologia, de acordo com Slotte et al., 2005, foi praticada nos últimos anos na Austrália para disposição do rejeito (lama vermelha) gerado no processamento da alumina. A mina de Bulyanhulu na Tanzânia, que iniciou sua operação em março de 2001, tornou-se a primeira mina no mundo a adotar uma solução total de pasta para todos seus rejeitos, através da utilização de uma parcela do rejeito gerado como material de preenchimento no subsolo (“backfill”) e o restante disposto em superfície em forma de pasta (Theriault e al., 2003). Também se pode citar a Mina de Kimberley (África do Sul), de propriedade da DeBeers CTP, como um exemplo de disposição de rejeitos em pasta em superfície, através da utilização de uma planta de espessamento e de processamento de rejeitos em pasta (HOUMAN, 2003, citado em FIGUEIREDO, 2007).

Para Gomes, 2009, as principais vantagens da disposição de rejeitos espessados são:

- Reaproveitamento imediato de grandes volumes de água diretamente dos espessadores;
- Maior densidade e estabilidade das estruturas de disposição do rejeito;
- Menor susceptibilidade à liquefação e a rupturas catastróficas destas estruturas;
- Menor potencial de contaminação das águas subterrâneas;

- Maior recuperação dos reagentes utilizados nos processos de tratamento e;
- Maior facilidade de aceleração dos procedimentos de reabilitação de áreas degradadas.

Entretanto, considerando principalmente os aspectos relacionados ao transporte dos rejeitos espessados e/ou em pasta, os custos associados à infraestrutura necessária para instalação de bombas de deslocamento e tubulações de transporte são relativamente altos, além do fato de que a linha de montagem tem de ser projetada para cada caso específico, dependendo da localização da planta com relação ao depósito e do tipo e das características da pasta a ser transportada (FIGUEIREDO, 2007).

O Quadro 14 apresenta uma relação dos custos e índices relativos aos diferentes sistemas de disposição de rejeitos, seja na forma convencional, seja na forma de rejeitos em pasta.

**Quadro 14: Relação dos custos e índices relativos aos diferentes sistemas de disposição de rejeitos. Fonte: Davies, 2002, em Figueiredo, 2007, modificado.**

<b>Tipo de Rejeito</b>	<b>Custo Operacional (\$US/ton)</b>	<b>Custo de Desativação</b>	<b>Potencial de Recuperação de água (10 - máximo)</b>
Polpa	0,3 – 1,2	2C	3
Espessa ou em Pasta	0,6 – 3,5	C	6

### **8.2.2 Filtragem de rejeitos**

Rejeitos filtrados possuem a consistência de torta, um material denso e não saturado, com teor de umidade que não possibilita o bombeamento do mesmo.

Uma torta é o resultado da operação de filtragem da polpa. Os filtros são equipamentos de uso generalizado em instalações de tratamento de minério e também podem ser usados no processo de desaguamento de rejeitos. Eles têm a

função de retirar a água da polpa por pressão ou por vácuo, podendo ser montado em forma de colunas, tambores ou esteiras horizontais, sendo estes últimos os de emprego mais comum em empreendimento de grande porte (GOMES, 2009).

Como as tortas não podem ser bombeadas, elas são transportadas por caminhões ou por correias até a área de disposição final e são lançadas, espalhadas e compactadas em camadas ou estabilizadas em pilha. A Figura 58 mostra um exemplo de disposição de rejeito filtrado em Mantos Blancos, Chile.



**Figura 58: Disposição de rejeito filtrado em Mantos Blancos, Chile. Fonte: Guimarães, 2011.**

A filtragem de rejeitos é uma prática usual nas minerações do deserto de Atacama, na região norte do Chile, para reduzir as perdas de água devido a sua escassez na região (GUIMARÃES, 2011). A Figura 59 mostra a torta gerada pela filtragem de rejeitos da mina de cobre em Mantos Blancos, Chile.



**Figura 59: Torta gerada pela filtragem de rejeitos da mina de cobre em Mantos Blancos, Chile.**  
Fonte: Guimarães, 2011.

Outro exemplo da utilização da filtragem do rejeito para a recuperação de água é na mina de ouro de La Coipa, próximo à cidade de Copiapó, Chile. A Figura 60 mostra a vista aérea da área da mineração.



**Figura 60: Vista aérea da área da mineração da mina La Coipa, Chile.** Fonte: Guimarães, 2011.

De acordo com Gomes, 2009, podem-se citar as seguintes vantagens do processo de filtração e da disposição dos rejeitos na forma de torta:

- Não há a necessidade de qualquer estrutura de contenção à jusante;
- A filtração é uma importante fonte de recuperação de reagentes e mesmo de concentrado;
- A torta é um material praticamente insensível a problemas de colapso ou liquefação e potencialmente imune a rupturas catastróficas e de grande impacto ambiental e;
- Apresenta quantidade de água “perdida” na massa de rejeitos empilhados 25% menor que aquela acumulada em barragens e pilhas convencionais.

Gomes, 2009 também cita as principais desvantagens:

- Elevadas porcentagens de finos ou a presença de determinadas substâncias podem comprometer um efetivo processo de filtração;
- Os custos elevados de transporte e disposição final, associados aos equipamentos inseridos nas instalações de tratamento, tornam esta técnica mais onerosa do que outras opções, embora esses custos possam ser amortizados na fase de desativação do empreendimento.

Por fim, Gomes, 2009 conclui que esta tecnologia apresenta potencial uso nas seguintes condições:

- Regiões áridas, nas quais a preservação de água constitui uma premissa de projeto;
- Regiões de elevada sismicidade;
- Regiões frias, com condições operacionais adversas na época do inverno;
- Minerações com espaço físico muito limitado e;
- Projetos com forte imposição de recuperação de reagentes, desde que passível pela filtração.

### 8.3 Reutilização dos Rejeitos

O reaproveitamento dos resíduos de mineração é uma das alternativas que pode ser utilizada para lidar com os subprodutos da atividade mineradora. Esta alternativa tem como viés mais prático o de redução do volume de rejeitos já dispostos nas barragens existentes, utilizando-os principalmente na construção civil. Esta é uma medida mitigadora, que pode auxiliar na redução de volume de rejeitos nessas barragens, o que implicaria em um aumento de sua vida útil, e retardando, mas dificilmente impedindo, atualmente, a criação de novas barragens.

A PNRS define reutilização como “processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química” e reciclagem como “processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos”. Ela ainda define rejeitos como “resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada”, ou seja, de acordo com a definição proposta pela legislação, não se consegue fazer o reaproveitamento de rejeitos, visto que os mesmos não são vistos como possíveis de gerar valor econômico.

O Quadro 15, extraído de Lottermoser, 2011, mostra diferentes formas de reuso e de reciclagem dos rejeitos de mineração.

**Quadro 15: Diferentes formas de reuso e reciclagem dos rejeitos de mineração. Fonte: Lottermoser, 2011.**

Tipo de Rejeito	Opção de Reuso e de Reciclagem
Resíduos de Mineração	<p>Resíduos rochosos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recursos de minerais e metais;</li> <li>• Preenchimento para vazios abertos;</li> <li>• Material de paisagismo;</li> <li>• Material de cobertura para depósitos de resíduos;</li> <li>• Substrato para revegetação de minas;</li> <li>• Agregados para aterros, estrada, pavimento, fundação e construção de edifício;</li> <li>• Componente do asfalto;</li> <li>• Matéria-prima para cimento e concreto;</li> <li>• Resíduos de rochas sulfídricas como aditivo de solo para neutralizar solos agrícolas alcalinos inférteis.</li> </ul>
	<p>Água de mina</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Supressão de poeira e aplicações de processamento de mineral;</li> <li>• Recuperação de metais de águas de drenagem ácida das minas (AMD);</li> <li>• Água potável;</li> <li>• Uso agrícola e industrial;</li> <li>• Agente refrigerador ou aquecedor;</li> <li>• Geração de eletricidade usando a tecnologia de célula de combustível;</li> <li>• Lagoas solares projetadas para capturar calor para geração de eletricidade, aquecimento, ou a dessalinização e destilação de água.</li> </ul>

**Quadro 15: Diferentes formas de reuso e reciclagem dos rejeitos de mineração. Fonte: Lottermoser, 2011. (CONTINUAÇÃO)**

Tipo de Rejeito	Opção de Reuso e de Reciclagem
	<p>Lamas drenadas das minas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Extração de óxidos de ferro-hidratados para os pigmentos de tinta;</li> <li>• Extração de Mn para o esmalte da cerâmica;</li> <li>• Floculante/adsorvente para remover fosfato de esgoto e efluentes agrícolas.</li> </ul>
Resíduos em Processamento	<p>Rejeitos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reprocessamento para extrair minerais e metais;</li> <li>• Redução de resíduos através de extração alvo de minerais valiosos durante o processamento;</li> <li>• Rejeitos ricos em areia misturada com cimento usado como preenchimento em minas subterrâneas;</li> <li>• Rejeitos ricos em argila como uma emenda a solos arenosos e para a fabricação de tijolos, cimento, telhas chão, artigos sanitários e porcelanas;</li> <li>• Rejeitos ricos em Mn utilizados na agro-silvicultura, construção e materiais de construção, revestimentos, lançar produtos de resina, vidro, cerâmicos e esmaltes;</li> <li>• Rejeito de bauxita como fontes de alumina;</li> <li>• Rejeitos ricos em cobre como extensores para tintas;</li> <li>• Rejeitos ricos em ferro misturados com cinzas volantes e lodo de esgoto como cerâmicas leves;</li> <li>• Recuperação de energia a partir de mistura rejeitos de compostos de carvão;</li> <li>• Rejeitos ricos em flogopita para tratamento de esgoto;</li> <li>• Rejeitos ricos em fosfato para a extração de ácido fosfórico;</li> <li>• Rejeitos de rochas ultramáficas para a produção de lã de vidro e rocha;</li> <li>• Sequestro de dióxido de carbono em rejeitos de rochas ultramáficas e rochas residuais.</li> </ul>

**Quadro 15: Diferentes formas de reuso e reciclagem dos rejeitos de mineração. Fonte: Lottermoser, 2011. (CONTINUAÇÃO)**

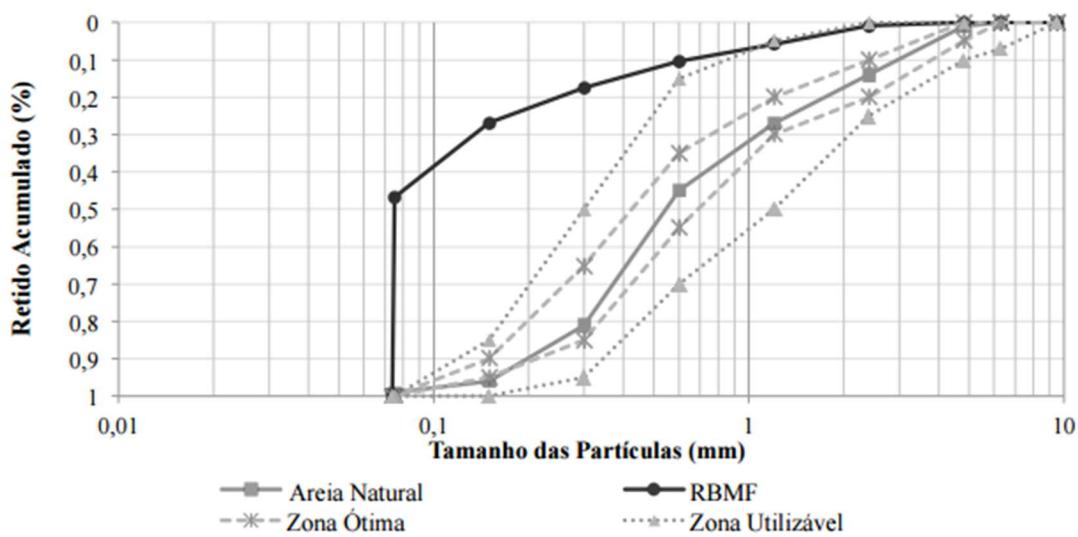
<b>Tipo de Rejeito</b>		<b>Opção de Reuso e de Reciclagem</b>
Resíduos Metalúrgicos	Lama vermelha de bauxita	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamento de efluentes agrícolas e industriais;</li> <li>• Matérias-primas para vidro, telhas, cimento, cerâmica, agregados e tijolos;</li> <li>• Tratamento de águas AMD;</li> <li>• Sequestro de dióxido de carbono.</li> </ul>
	Escória de fundição	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de concreto e cimento;</li> <li>• Uso como preenchimento, lastro, abrasivo e agregado;</li> <li>• Extração de metais (por exemplo, Cu, Pb, Zn, Ag, Au).</li> </ul>
	Fosfo-gesso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Correção do solo;</li> <li>• Material de construção;</li> <li>• Extração de elementos e compostos.</li> </ul>

Observa-se que a grande variedade de práticas de reuso e reciclagem dos rejeitos é utilizada na construção civil, um setor que utiliza muitos recursos naturais. Ainda que difícil de estimar o percentual dos recursos naturais utilizados na construção civil, sabe-se que é uma quantidade elevada (John, 2000), o que mostra o impacto positivo que a reciclagem de resíduos de mineração pode ter na sociedade, tanto por diminuir a disposição de rejeitos no meio como por reduzir a extração de novos recursos na construção civil.

De acordo com Lottermoser, 2011, no entanto, essas práticas são difíceis de serem amplamente implementadas, sendo que na Austrália apenas o reprocessamento e a utilização de rejeitos como preenchimento são mais utilizados.

A questão de reutilização e reciclagem de resíduos de mineração, principalmente para a construção civil, é um assunto que ainda necessita muita pesquisa, sendo que diversas pesquisas vêm sendo realizadas no Brasil. Como já visto, o estado de Minas Gerais possui uma grande atividade mineradora, e na Universidade Federal de Ouro

Preto (UFOP), o laboratório de materiais de construção civil criou um grupo, denominado RECICLOS, que tem o intuito de realizar pesquisas de oportunidades de reciclagem dos rejeitos de mineração para a construção civil. Um relatório produzido pelo grupo mostra as possibilidades de substituição de agregados na construção civil por resíduos de minério de ferro drenado (Fiorotti, 2016). Muitos resultados importantes puderam ser obtidos de pesquisas iniciais, com bons desempenhos de substituição em elementos como argamassa, concreto, blocos de concreto, blocos de pavimentação, ou ainda na infraestrutura de pavimentação urbana e ferroviária, como constituinte das camadas de pavimentação. A Figura 61 mostra a distribuição granulométrica dos agregados na construção civil.



**Figura 61: Distribuição granulométrica dos agregados. Fonte: Fiorotti, 2016.**

O rejeito de barragem de minério de ferro (RBMF), quando comparado à areia, possui uma granulometria diferenciada, com bastantes finos, inclusive fora da zona ótima ou utilizável de acordo com a NBR NM – 248:2003. Essa composição, com uma maior quantidade de “filler”, leva a materiais com menor porosidade e, portanto, maior densidade, já que as partículas menores ocupam os vazios gerados pelas partículas maiores. Ainda assim, foram obtidos bons resultados nos testes realizados com substituição parcial ou total de areia, cal ou outros agregados miúdos por RBMF. Em alguns experimentos foram observados desempenhos superiores, como a utilização

em argamassas, aumentando a capacidade de compressão e de tração, em outros o desempenho não foi superado, mas foi encontrado acima do mínimo requerido. A Figura 62 mostra a comparação entre blocos de pavimentação e blocos de concreto com e sem a utilização de rejeitos de minério de ferro. Observa-se a coloração diferenciada (amarronzada) dos elementos com o rejeito.



**Figura 62: Materiais com (blocos marrons) e sem a adição de rejeitos de mineração. Fonte: Fiorotti, 2016.**

Ainda no estado de Minas Gerais, o Fundo Estadual do Meio Ambiente (FEAM) validou, em seu Banco de Boas Práticas Ambientais, esse reaproveitamento de rejeitos por meio do Projeto Areia Industrial, o qual foi realizado pela empresa MINERITA - Minérios Itaúna Ltda. Foram realizados testes para a produção de blocos vazados e não-vazados e pisos para trânsito leve, médio e pesado, e os resultados encontrados foram positivos. Observa-se ainda, em todo o processo de reciclagem, o reaproveitamento da água (Figura 63), que também é muito benéfico para as esferas ambiental, social e econômica.



**Figura 63: Planta de beneficiamento (sistema para recuperação de água).** Fonte: MINAS GERAIS, 2013.

A MINERITA criou então outra empresa, BLOCOITA, que faz o beneficiamento da areia industrial, e possui um galpão para esta produção, como pode ser visto na Figura 64. Mesmo em pequena escala e a nível de modelo, observa-se que este tipo de produção é possível.



**Figura 64: Areia estocada e galpão da empresa BLOCOITA.** Fonte: MINAS GERAIS, 2013.

Por meio dessas pesquisas e das possibilidades levantadas, conclui-se que o reaproveitamento dos rejeitos de mineração é tecnicamente viável, além de produzir impactos positivos no meio ambiente, como a diminuição da necessidade de armazenamento de rejeitos de mineração. Mas ainda assim enfrenta grandes

dificuldades em relação à viabilidade econômica da solução, principalmente pela falta de interesse por parte das mineradoras, visto que a reciclagem exige bastante na operação, no transporte e nos processos.

### *Considerações quanto à alternativa*

A PNRS exibe no artigo nº47 que os resíduos de mineração são os únicos não proibidos de serem lançados “in natura” a céu aberto, ou seja, sem qualquer tipo de processamento antes da disposição. Esta hierarquia estabelecida mostra que a utilização de barragens de rejeitos como opção de manejo dos resíduos está na última posição de prioridade, mas ainda permitida e é largamente utilizada por questões econômicas. Por outro lado, o reaproveitamento é uma alternativa que promove uma grande valorização do ambiente, e um destaque ao desenvolvimento sustentável, por contribuir na diminuição da extração de materiais e da geração de resíduos que desequilibram o meio. No artigo 7, seção VI da lei da PNRS, encontra-se um incentivo à reciclagem, visto a sua importância socioambiental. Ainda assim, pela própria definição de rejeito, pode ser observada uma grande dificuldade, por parte do empreendedor, em considerar essa alternativa antes da disposição final dos rejeitos. Por isso, é necessária uma mudança de mentalidade, deixando de ver os rejeitos como subprodutos sem valor econômico para começar a vê-lo como algo que possui esse valor, mas que ainda assim gera um custo para alcançá-lo.

Assim sendo, ao se reaproveitar os resíduos de mineração, os mesmos deixam de ser considerados rejeitos, porque irão voltar a ter um valor econômico, mas para tanto, são necessárias pesquisas e investimento para então constatar se é uma prática que economicamente viável. Como visto, pesquisas e projetos têm sido realizados, mas ainda assim é necessária a aceitação e prática por meio das empreendedoras, uma etapa que também é difícil de ser alcançada. Além disso, essa alternativa dificilmente impediria a construção direta de barragens, mas ainda sim pode representar impacto positivo e uma contribuição para a prática da mineração.

## 8.4 Não Geração dos Rejeitos

A não geração de rejeitos, como mostrado pela PNRS, é a melhor forma de lidar com os resíduos sólidos originários das mais diversas atividades humanas quando analisada a questão ambiental. Não é possível eliminar a geração dos rejeitos de mineração, eliminando a produção mineral, visto a importância econômica e social que esta atividade possui, no entanto, mudanças no processo de beneficiamento e extração do minério podem contribuir para minimizar e até eliminar a geração dos rejeitos de mineração.

Para que o minério possa ser utilizado ele precisa passar pelo processo do beneficiamento, que é uma etapa da produção que “visa preparar granulometricamente, concentrar ou purificar minérios por métodos físicos ou químicos sem alteração da constituição química dos minerais” (DNPM, 2012). É no processo de beneficiamento que os rejeitos de mineração são gerados como subprodutos.

Novas alternativas para o beneficiamento têm sido desenvolvidas no Brasil principalmente para o minério de ferro, que é o mais relevante para o país, devido a sua alta produção e necessidade de barragens de rejeitos. O Brasil é o segundo maior produtor de ferro do mundo, atrás apenas da Austrália.

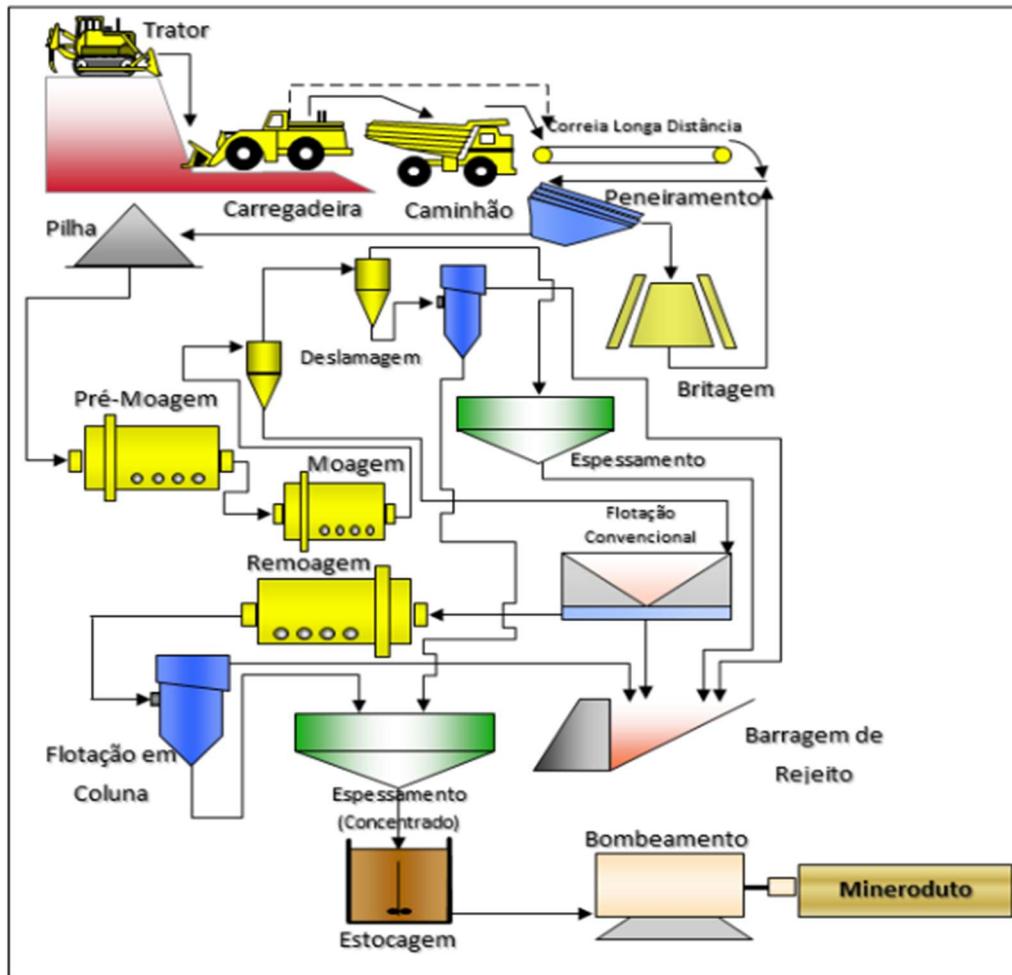
O método convencional de beneficiamento, da maioria dos minérios, inclusive o de ferro é o processo da flotação. A flotação é um processo que realiza a separação de um constituinte do minério dos outros, fazendo que com que este constituinte flutue acima da polpa (TAGGART, 1921). A seletividade e a eficiência desta etapa são garantidas pelo grau de hidrofobicidade que as espécies minerais possuem (PERES et al., 2007).

Como, na natureza, poucas espécies minerais são naturalmente hidrofóbicas, é necessária a adição de reagentes químicos para que haja a diferenciação entre os constituintes. Isso é possível devido à capacidade das partículas hidrofóbicas se prenderem às bolhas de gás, tornando a densidade do conjunto partícula-bolha menor que a da polpa, deslocando-se para a parte superior da mistura (Gomes, 2009).

Geralmente são utilizados os seguintes reagentes: soda, amina, amido e poliacrilamida.

A flotação é o principal processo que concentra os minérios oxidados em baixos teores, reduzindo a concentração de sílica de concentrados obtidos por separação magnética, especialmente quando a liberação do quartzo fino reduz o desempenho da separação realizada (Gomes, 2009).

A Figura 65 mostra o processo de produção de ferro praticado pela Samarco na Usina do Germano. O beneficiamento é constituído pelo peneiramento, moagem e flotação realizada em diferentes etapas, dependendo da granulometria e especificidades dos grãos até o estágio de separação. A flotação exige, portanto, um alto consumo de água que, combinada às impurezas, gera os rejeitos. Esse processo é prejudicial ao meio ambiente por duas razões principais: o elevado consumo do recurso natural água e o grande volume de rejeitos gerados que precisam ser dispostos no meio ambiente.



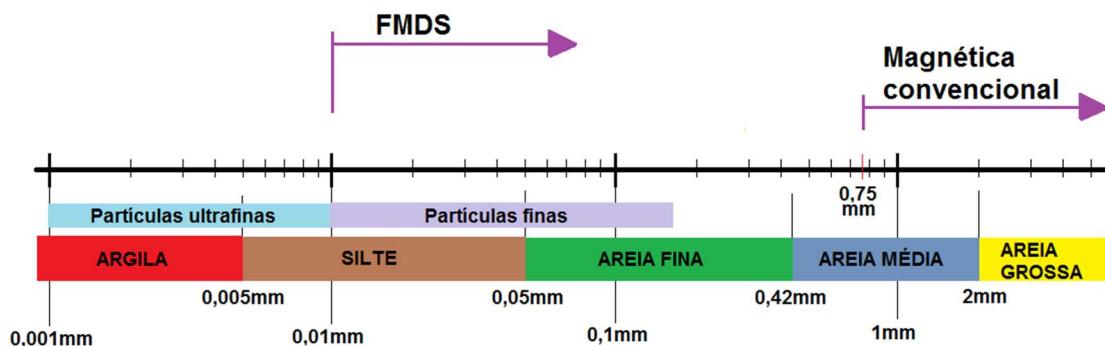
**Figura 65: Processo de beneficiamento da Mina do Germano. Fonte: Acervo SAMARCO.**

Alguns métodos recentes têm sido desenvolvidos e aplicados, como forma de substituição da flotação e eles serão descritos a seguir. O primeiro método foi desenvolvido pela empresa New Stell Ltda, e ele realiza a separação do minério por uma tecnologia chamada Fine Dry Magnetic Separation (FDMS). O segundo método, é o de beneficiamento a umidade natural, que vem sendo aplicado pela mineradora Vale S.A..

#### 8.4.1 Fine Dry Magnetic Separation (FDMS)

Diferentes processos podem ser feitos para a realização do beneficiamento do minério de ferro, dependendo da granulometria das partículas. A separação magnética é uma opção antiga já conhecida que é utilizada para separar partículas de no mínimo 0,75mm de diâmetro. Para a separação de partículas menores é comum a utilização

da flotação, que é o processo gerador de rejeitos. A tecnologia Fine Dry Magnetic Separation (FDMS) é uma tecnologia produzida por laboratórios da empresa New Steel que chega a separar partículas de até 0,01mm, possibilitando a substituição da flotação (EMINA, 2015). A Figura 66 mostra o alcance granulométrico da alternativa FMDS e do processo magnético convencional, caracterizando as partículas de acordo com a sua granulometria, considerando a classificação dos solos (PINTO, 2006) e a escala industrial (BRAGA JÚNIOR, 2010, apud BROD, 2012).



**Figura 66: Ação dos processos de separação magnética de acordo com a granulometria.**  
Fonte: Autoral.

O sistema FDMS foi vencedor do Platts Global Metal Award de 2015, pois ele possibilita o beneficiamento de finos de minério de ferro dos rejeitos da exploração mineral, que possuem baixo teor de ferro. Com isso, tais rejeitos beneficiados tornam-se economicamente viáveis, com índices adequados de ferro e baixo teor de contaminantes.

De acordo com a patente registrada (WO2016054707A1), o processo possui as seguintes etapas:

- Procedimento de secagem com injeção de ar quente e movimentação do material, aumentando o teor de desagregação das partículas;
- Uso de aeroclassificadores para a classificação de partículas em faixas de granulometria pré-determinadas de acordo com o grau de dificuldade de separação magnética do material;
- Resfriamento;

- Separação magnética por meio de rolos magnéticos dispostos em cascata com ímãs de baixa e/ou alta intensidade magnética.

A Figura 67 mostra as etapas do FDMS, mostrando o processo para cada diâmetro de partícula:

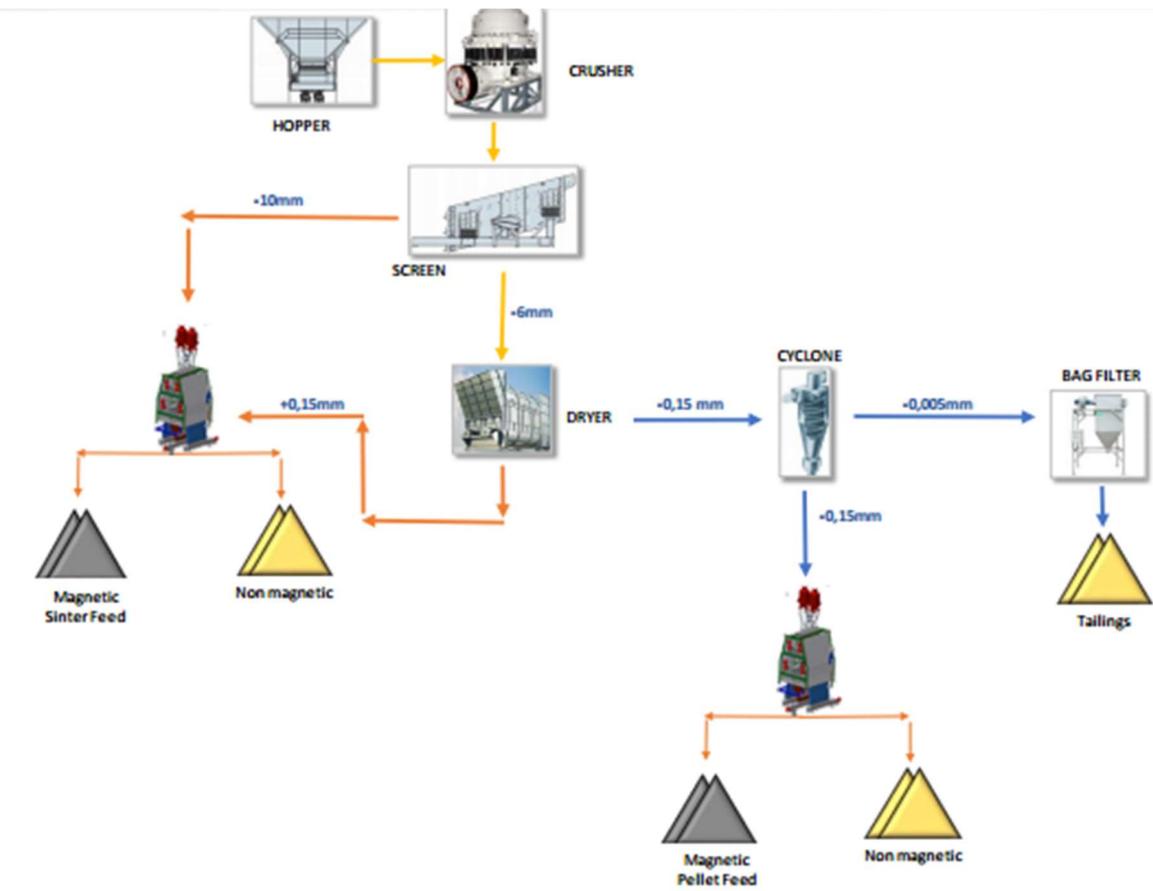
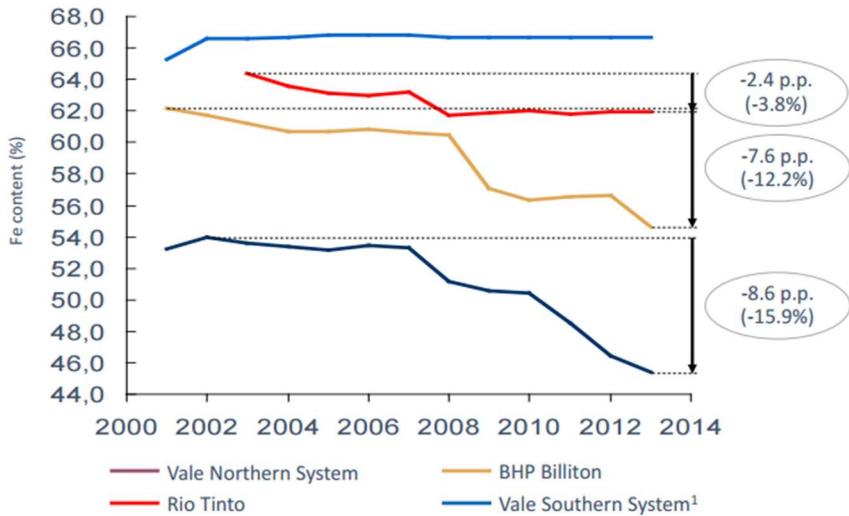


Figura 67: Etapas do FDMS. Fonte: Acervo New Steel.

De acordo com Gustavo Emina, presidente da New Steel, a taxa de recuperação de minério de ferro nos rejeitos é de 85% a 90%, uma vez que a FDMS atua sobre partículas de até 0,01 mm, contra no máximo 0,75mm no processo de separação magnética convencional. Além disso, como o concentrado resultante possui um teor de ferro de 66%, ele está acima do teor de 58% exigido para que o produto vire uma commodity.

A Figura 68 mostra a situação do teor de ferro extraído por algumas mineradoras com o passar dos anos. Observa-se a tendência da redução por conta da grande extração

já existente. Com a tecnologia FDMS a porcentagem pode ser aumentada por conta da recuperação dos finos (IOS, 2016).



**Figura 68: Teor de ferro extraído por algumas mineradoras com o passar do tempo. Fonte: Acervo New Steel.**

Os custos convencionais por flotação são de US\$ 110 a US\$ 120 por tonelada, enquanto o sistema FDMS custa cerca de US\$ 65 por tonelada, ou seja, entre 54% e 59% do custo por flotação. O custo operacional é equivalente nos dois processos.

A viabilidade ambiental também é garantida, uma vez que não há utilização de água em seu processo, ao passo que a separação magnética com flotação pode utilizar até 1000 litros para cada tonelada de minério. A fonte de energia utilizada é o gás natural ou biomassa, além de, como resíduos resultantes do processo, há somente a sílica (areia), que pode ser utilizada em construções.

#### 8.4.2 Beneficiamento a umidade natural

Outra forma de beneficiamento que contribui para a não geração de rejeitos é o beneficiamento a umidade natural. Este procedimento foi desenvolvido por laboratórios da Vale S.A., e trabalha com o peneiramento a seco, sem a adição de água para a separação dos diversos tipos de grãos retirados da mina. Essa tecnologia já foi aplicada em uma planta em Carajás, no Pará, em 2008.

A Vale possui agora um dos maiores projetos de mineração do mundo, no estado do Pará, o projeto S11D, na cidade de Canaã dos Carajás, mesma cidade onde está localizada a barragem do Sossego. A empresa está investindo em uma grande infraestrutura, com construções modulares, tecnologia “truckless”, onde caminhões são substituídos por esteiras, e expansão da Estrada de Ferro Carajás, a fim de levar o minério para o Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, em São Luís, Maranhão. O beneficiamento a umidade natural é outro grande investimento da empresa, que, por não utilizar água, não necessitará de regiões para disposição de rejeitos, pois os mesmos não serão gerados (VALE, 2016b). Quanto a este beneficiamento, no entanto, há muito poucas informações divulgadas pela empresa para o total entendimento do processo.

## 9 CONCLUSÕES

O presente trabalho analisou o panorama legislativo e de segurança de barragens de rejeito de mineração do Brasil e propôs métodos de disposição de rejeitos mais seguros. Portanto conclui-se que:

- A legislação brasileira de segurança de barragens tem evoluído nos últimos anos com a criação da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) em 2010. Em comparação com outros países produtores de minérios, a legislação brasileira mostrou-se avançada, pois é uma das poucas que possui classificação quanto ao risco e ao dano potencial associado às barragens.
- A informação sobre o método de alteamento utilizado em cada barragem não é registrada no cadastro nacional de barragens de rejeitos e também não é considerada para o cálculo de risco, o que prejudica a eficácia na análise da segurança da barragem, uma vez que o método de alteamento interfere diretamente na segurança da barragem como mostrado na introdução do trabalho.
- A implementação da PNSB ainda não produziu impacto positivo na redução de acidentes com barragens de rejeitos, uma vez que o maior acidente com barragem de rejeitos no Brasil ocorreu cinco anos depois da sua implementação.
- A classificação de risco das barragens de rejeitos mostrou-se ineficiente, pois três barragens que colapsaram (Barragens B1 e B2 da Mineradora Herculano e a Barragem do Fundão da Mineradora Samarco) foram classificadas com risco de rompimento baixo, o que gera grande insegurança na população em relação ao real panorama nacional de seguranças das barragens.
- A maioria das barragens de rejeitos no Brasil está localizada próxima a cidades cuja economia depende da atividade mineradora. Mesmo que a mineração produza impactos positivos na economia local é necessário garantir a segurança da população e também proteger o meio ambiente, por isso a fiscalização da segurança das barragens realizadas pelo DNPM é fundamental para garantir a segurança, além da adoção de planos de segurança e de emergência.

- A utilização de barragens para armazenamento de rejeitos representa uma grande evolução para a preservação do meio ambiente em relação aos métodos de disposição prévios, porém esse tipo de armazenamento mostra-se insatisfatório atualmente em relação à segurança social e ambiental frente à evolução da legislação ambiental no país e no mundo, uma vez que a tendência futura é a substituição das barragens por outros métodos de disposição de rejeitos mais seguros.
- O gerenciamento dos rejeitos de mineração deve seguir a ordem de prioridade estabelecida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que deve ser: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.
  - A melhor solução para o futuro dos rejeitos de mineração é a substituição do método de beneficiamento do minério atualmente utilizado no país, a separação por flotação, pela separação a seco, pois nesse método não há a geração de barragens. Essa tecnologia, porém, ainda está em desenvolvimento, sendo necessário mais investimento em pesquisa para garantir a abrangência e expansão desse método. As novas plantas de beneficiamento a serem implantadas devem considerar essas alternativas para prevenir que novas áreas sejam destinadas a construção de barragens e depósitos de rejeitos. As plantas de beneficiamento atuais devem incluir no seu planejamento a futura substituição de tecnologia.
  - Como as pesquisas sobre reciclagem e reutilização dos rejeitos na construção civil têm evoluído nos últimos anos, o empreendedor deve considerar a reciclagem dos rejeitos já armazenados nas barragens, o que prolongaria a vida útil das mesmas e diminuiria a utilização de novas áreas para disposição dos rejeitos. Além disso, o reaproveitamento dos rejeitos pode promover a mudança da visão do rejeito como apenas um subproduto sem valor econômico, para a visão de um agregado para a produção de materiais para a construção civil.
  - O espessamento e a filtração dos rejeitos como tratamento antes da disposição final têm sido alternativas consideradas em outros países em relação à disposição em poupa. O espessamento mostrou-se mais vantajoso economicamente, uma vez que ainda pode ser transportado

por bombeamento. A filtração é a alternativa mais cara para o desaguamento de rejeitos, mas ainda assim é viável em condições climáticas específicas e/ou extremas.

- Por fim, a destinação final dos rejeitos e estéreis na forma de disposição compartilhada e codisposição em cavas exauridas têm se mostrado mais vantajosa na questão ambiental e de segurança que a disposição em barragens, pois além de impedir que novas áreas sejam utilizadas para a disposição de rejeitos, possibilita o reaproveitamento dessa área já degradada. Outro método de disposição também preferível às barragens é o empilhamento drenado dos rejeitos, por questões econômicas, sociais e ambientais.
- As alternativas para o gerenciamento dos rejeitos de mineração não são excludentes, pelo contrário, a sua utilização conjunta potencializa os impactos positivos no meio ambiente e na segurança da população.
- O futuro do panorama de segurança de barragens de rejeitos no Brasil tende a melhorar, uma vez que novas metodologias mais seguras têm sido implementadas pelas próprias empreendedoras de mineração, além de laboratórios de pesquisas. Para garantir a segurança das barragens de rejeitos já existentes, é imprescindível o monitoramento e fiscalização de tais barragens mesmo depois do seu fechamento, além de reavaliar a classificação quanto ao critério de risco dessas barragens.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. R. C. **Disposição compartilhada de rejeito e estéril gerados no processo de extração de minério de ferro.** 2009. Tese (Mestrado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

ALVES, R. C. A., RIBEIRO, L. F. M., ESPÓSITO, T. J. **Análise de estabilidade de sistemas de disposição compartilhada de rejeitos e estéreis em cavas exauridas de minas.** Gramado, 7p. 2010.

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

BELO HORIZONTE. Estudo de Caso. **Disposição de rejeitos em cavas exauridas utilizando o método de empilhamento drenado.** Banco de Boas Práticas Ambientais/Gerência de Produção Sustentável – FEAM/Gerência de Meio Ambiente – FIEMG. Belo Horizonte, 2016.

BRAGA, M. M. J. **Efeito do scalping de quartzo grosso na flotação catiônica reversa de minério de ferro.** Belo Horizonte: Escola de Engenharia de Metalúrgica e de Minas da UFMG, 2010. 173p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).

BRASIL, 2010. **Anuário Mineral Brasileiro, 2010.** Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília, DF. 2010.

BRASIL. **Lei Nº 12.305.** 2 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Seção 1, p. 3.

BRASIL, 2012a. **Resolução Nº 143**. 10 de julho de 2012. Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Diário Oficial da União, Brasília DF, 4 de setembro de 2012. Seção 3, p. 143.

BRASIL, 2012b. **Portaria Nº 416**. 3 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. Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM.

BRASIL, 2013. **Relatório de segurança de barragens 2011** / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2013.

BRASIL, 2015a. **Relatório de segurança de barragens 2012/2013** / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2015.

BRASIL, 2015b. **Relatório de segurança de barragens 2014** / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2015.

BRASIL, 2016. **Relatório de segurança de barragens 2015** / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2016.

BROD, E. R. **Círculo Alternativo Para Flotação de Minério de Ferro**. 2012. Dissertação (mestrado) - Escola de Minas - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

CHILE. **Decreto Supremo Nº132**. 07 de febrero de 2004. Fíjase el siguiente texto y apruébase el siguiente “Regulamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves”. Diario Oficial, Santiago, 11 de abril de 2007.

CHILE. **Decreto Supremo N°248.** 11 de abril de 2007. Fíjase como texto refundido, sistematizado y coordinado del Decreto Supremo N° 72, de 1985, del Ministerio de Minería, que establece el Reglamento de Seguridad Minera. Diario Oficial, Santiago, 07 de febrero de 2004.

DAVIES, M.; MARTIN, T.; LIGHTHALL, P. **Mine Tailings Dans: when things go wrong.** AGRA Earth and Environmental Limited. Burnaby, Canada, 2000.

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral, **Normas reguladoras de mineração.** Recife, 2002.

DNPM – **Classificação das Barragens de Rejeitos de Mineração.** 2015 < <http://www.dnpm.gov.br/assuntos/barragens/classificacao-das-barragens-de-mineracao> > [Online; acessado em 14 de novembro de 2016].

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

EMINA, G. **Tecnologia viabiliza concentração a seco:** depoimento [maio 2015]. São Paulo: Revista In The Mine. Entrevista cedida a Haroldo Aguiar. 2015.

ENGELS, J. **An expert management system for surface tailings storage.** PhD thesis, University of Leeds. Leeds, United Kingdom, 2006.

FIGUEIREDO, M. M. **Estudo de metodologias alternativas de disposição de rejeitos para a mineração Casa de Pedra – Congonhas/MG.** 2007. Tese (Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2007.

FIOROTTI, R.A. **Utilização de Rejeitos de Barragens de Minério de Ferro na Construção Civil.** Relatório de pesquisa – UFOP. Ouro Preto, 2016.

GOMES. M. F. M. **Metodologia de análise hierárquica aplicada para a escolha do sistema de disposição de subprodutos da mineração com ênfase nos rejeitos de minério de ferro.** 2009. Tese (Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2009.

GOMES, M. A. (2009b) **Caracterização tecnológica no aproveitamento do rejeito de minério de ferro.** Ouro Preto, 2009, p.18-21.

GUIMARÃES, N.C. **Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando a sua disposição em pilhas.** 2011. Tese (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2011.

HUSTRUILID, W. A.; MCCARTER, M. K.; ZYL, D. J. A. V. **Slope Stability in Surface Mining.** Colorado, USA: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME), p.366, 2000.

IGAM - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS, **Bacias Mineiras**, 2015. Disponível em <[http://www.igam.mg.gov.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=89&](http://www.igam.mg.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=89&)> [Online, acessado em Maio de 2016].

IRON ORE SYMPOSIUM, 2016. Berlin. **New Steel Soluções Sustentáveis**. 25 slides, color.

JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição à Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento.** Tese livre docência – USP. São Paulo, 2000.

KLOHN, E. J. **The development of current tailing dam design and construction methods.** In: Design and Construction of Tailing Dams, D. Wilson (ed.), Colorado School of Mines, Golden, USA. (1981).

LEDUC, M., SMITH, M. E. **Tailings co-disposal – Innovations for cost savings and liability reduction.** The Latin America Mining Record, 15p. 2003.

LOTTERMOSER, B.G. **Recycling, Reuse and Rehabilitation of Mine Wastes.** Elements, 2011. 7: p. 405-410.

LOZANO, F.A.E. **Seleção de locais para barragens de rejeitos usando o método de análise hierárquica.** 2006. Tese (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MG, G. **Imagens mostram antes e depois de áreas das barragens em Mariana.** 2015. <<http://g1.globo.com/minas-gerais/noticia/2015/11/imagens-mostram-antes-e-depois-de-area-das-barragens-em-mariana.html>>. [Online; acessado em 03 de julho de 2016].

MINAS GERAIS, Fundação Estadual de Meio Ambiente; Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais, Banco de Boas Práticas Ambientais: **Reaproveitamento de Rejeitos de Mineração** – Projeto Areia Industrial. Belo Horizonte, 2013.

MINEIRO, G.T. **Situação das barragens em Paracatu é esclarecida por mineradora.** 2015. <<http://g1.globo.com/minas-gerais/triangulo-mineiro/noticia/2015/12/situacao-de-barragen-em-paracatu-e-esclarecida-por-mineradora.html>>. [Online; acessado em 22 de maio de 2016].

MOHALLEM, S. **Sistema de codisposição dos rejeitos gerados na mina de Serra Azul** – Arcelormittal Mineração Serra Azul, Minas Gerais, 2016.

NIEBLE, C. M; ROCHA, R. dos S. **Método construtivo usa rejeitos para construir barragem de deposição.** Construção Pesada, São Paulo, v.6, n 70, p90-96, 1976.

OLIVEIRA, F. P. C. **Tailings Dams - Risk of Dangerous Occurrences, Lessons Learnt from Practical Experiences.** 2001.

PARÁ (2012). **Política de Recursos Hídricos do Estado do Pará** / Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Belém: SEMA, 2012.

PEIXOTO, C. L. **Nova Metodologia de Desaguamento de Rejeitos em Polpa**. 2012. Dissertação de Mestrado. NUGEO – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP, 93p.

PIMENTA, J. **The drained stacking of granular tailings: a disposal method for a low degree of saturation of the tailings mass**. Proceedings of tailings and Mine Waste. Vancouver, 11p. 2011.

PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PORTE, A. M. C. **Avaliação da Disposição de Rejeitos de Minério de Ferro nas Consistências Polpa e Torta**. 2013. Tese (Mestrado em Geotecnia e Transportes) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

RICO, M. et al. **Reported Tailings Dam Failures: A Review of the European Incidents in the Worldwide Context**. [S.I.]: Elsevier, 2007.

SILVA, R. K. A. **Codisposição e disposição compartilhada de rejeitos e estéreis em cava exaurida**. 2014. Tese (Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

SLOTTE, S. JOHNSON, J. CROZIER, M. 2005. **Paste Thickening Iron Ore Tailings** – XXXV Ironmaking and Raw Materials Seminar, VI Brazilian Symposium on Iron Ore, Aug 30 to Sept 2, 2005, Florianópolis – Santa Catarina - Brazil Partner, PasteThick Associates Partner. 2005.

SOUZA, J.P.S. **Impactos Ambientais Causados por Mineração**. Revista Espaço da Sophia, número 8, Novembro de 2007.

SPEC. **Pilha para Disposição de Estéril da Aba Oeste** (Elevação 945 metros). Conformação Final 2004. SPEC Planejamento, Engenharia e Consultoria LTDA, Relatório do Projeto Executivo - Volume I. RL-119E-17-0039. Itabira, MG, 2004. p. 80.

TAGGART, A. F. **A manual of flotation process**. New York, 1921, 181p.

THERIAULT, J. A., FROSTIAK, J, WELCH, D. **Surface Disposal of Past Tailings at the Bulyanhulu Gold Mine, Tanzania** - Golder Associates Ltd., Mississauga, Ontario, Canada Barrick Gold Corporation, Toronto, Canada. 2003.

VALE. **Vale no mundo**. s.d. <<http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/across-world/Paginas/default.aspx>>. [Online; acessado em 29 de junho de 2016].

VALE (2016b). **Beneficiamento a umidade natural**. 2016. Disponível em <<http://www.vale.com/brasil/PT/initiatives/innovation/processing-based-on-natural-moisture/Paginas/default.aspx>>. [Online; acessado em: 15 de novembro de 2016].

VICK, S.G., 1983 – **Planning, Design, and Analysis of Tailings Dams**, Wiley Interscience , New York.

VIEIRA, A. M.; PERES, A. E. C. (2007) **The effect of amine type, pH, and size range in the flotation of quartz**. Minerals Engineering, v.20, p.1008-1013.

## ANEXO I – QUADRO PARA CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS E REJEITOS

Quadro 16: Quadro para classificação de barragens e disposição de resíduos e rejeitos. Fonte: Brasil, 2012a.

<b>NOME DA BARRAGEM</b>		
<b>NOME DO EMPREENDEDOR</b>		
<b>DATA</b>		
<b>L1 - CATEGORIA DE RISCO:</b>		<b>Pontos</b>
1	Características Técnicas (CT)	
2	Estado de Conservação (EC)	
3	Plano de Segurança de Barragens (PS)	
<b>PONTUAÇÃO TOTAL (CRI) = CT + EC + PS</b>		<b>0</b>
Faixas de Classificação	<b>CATEGORIA DE RISCO</b>	<b>CRI</b>
	ALTO	$\geq 60$ ou EC* = 10 (*)
	MÉDIO	35 a 60
	BAIXO	$\leq 35$
(*) Pontuação (10) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providencias imediatas pelo responsável da barragem.		
<b>L2 - DANO POTENCIAL ASSOCIADO:</b>		<b>Pontos</b>
Faixas de Classificação	<b>DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)</b>	
	<b>DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b>	<b>DPA</b>
	ALTO	$\geq 13$
	MÉDIO	$7 < DPA < 13$
	BAIXO	$\leq 7$
<b>RESULTADO FINAL DA AVALIAÇÃO:</b>		
	<b>CATEGORIA DE RISCO</b>	Alto / Médio / Baixo
	<b>DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b>	Alto / Médio / Baixo

## ANEXO II – QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO

**Quadro 17: Quadro de classificação em relação às características técnicas. Fonte: Brasil, 2012a.**

### 1 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - CT

Altura (a)	Comprimento (b)	Vazão de Projeto (c)
Altura ≤ 15m (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)
15m < Altura < 30m (1)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	200 ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)
Altura > 60m (7)	Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou Desconhecida/ Estudo não confiável (10)

$$CT = \sum (a \text{ até } c)$$

## ANEXO II – QUADROS DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (CONTINUAÇÃO)

**Quadro 18: Quadro de classificação em relação ao estado de conservação. Fonte: Brasil, 2012a.**

### 2 - ESTADO DE CONSERVAÇÃO - EC

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (d)	Percolação (e)	Deformações e Recalques (f)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (g)
Estruturas civis bem mantidas e em operação normal /barragem sem necessidade de estruturas extravasadoras (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Não existem deformações e recalques com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (0)	Não existe deterioração de taludes e paramentos (0)
Estruturas com problemas identificados e medidas corretivas em implantação (3)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes e ombreiras estáveis e monitorados (3)	Existência de trincas e abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de vegetação arbustiva (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Existência de trincas e abatimentos sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Erosões superficiais, ferragem exposta, presença de vegetação arbórea, sem implantação das medidas corretivas necessárias. (6)
Estruturas com problemas identificados, com redução de capacidade vertente e sem medidas corretivas (10)	Surgência nas áreas de jusante com carreamento de material ou com vazão crescente ou infiltração do material contido, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura. (10)

$$EC = \sum (d \text{ até } g)$$

## ANEXO II – QUADROS DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (CONTINUAÇÃO)

Quadro 19: Quadro de classificação em relação ao plano de segurança da barragem. Fonte: Brasil, 2012a.

### 3 - PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM - PS

Documentação de Projeto (h)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (i)	Manuais de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento (j)	Plano de Ação Emergencial - PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (k)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (l)
Projeto executivo e “como construído” (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança (0)
Projeto executivo ou “como construído” (2)	Possui profissional técnico qualificado (próprio ou contratado) responsável pela segurança da barragem (1)	Possui apenas manual de procedimentos de monitoramento (2)	Não possui PAE (não é exigido pelo órgão fiscalizador) (2)	Emite regularmente apenas relatórios de Análise de Segurança (2)
Projeto básico (5)	Possui unidade administrativa sem profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (3)	Possui apenas manual de procedimentos de inspeção (4)	PAE em elaboração (4)	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção e monitoramento (4)
Projeto conceitual (8)	Não possui unidade administrativa e responsável técnico qualificado pela segurança da barragem (6)	Não possui manuais ou procedimentos formais para monitoramento e inspeções (8)	Não possui PAE (quando for exigido pelo órgão fiscalizador) (8)	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção visual (6)
Não há documentação de projeto (10)	-	-	-	Não emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento e de Análise de Segurança (8)

$$PS = \sum (h \text{ até } l)$$

### ANEXO III – QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO

Quadro 20: Quadro para classificação segundo o dano potencial associado. Fonte: Brasil, 2012a.

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socio-económico (d)
Muito Pequeno $\leq 500$ mil m <sup>3</sup> (1)	<b>INEXISTENTE</b> (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	<b>INSIGNIFICANTE</b> (área afetada a jusante da barragem encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais e a estrutura armazena apenas resíduos Classe II B - Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (0)	<b>INEXISTENTE</b> (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m <sup>3</sup> (2)	<b>POUCO FREQUENTE</b> (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (3)	<b>POUCO SIGNIFICATIVO</b> (área afetada a jusante da barragem não apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe II B - Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (2)	<b>BAIXO</b> (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infra-estrutura de relevância socio-económico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m <sup>3</sup> (3)	<b>FREQUENTE</b> (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (5)	<b>SIGNIFICATIVO</b> (área afetada a jusante da barragem apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe II B - Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (6)	<b>MÉDIO</b> (existe moderada concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infra-estrutura de relevância socio-económico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)

### ANEXO III – QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO (CONTINUAÇÃO)

Quadro 16: Quadro para classificação segundo o dano potencial associado. Fonte: Brasil, 2012a. (CONTINUAÇÃO)

Grande 25 milhões a 50 milhões m <sup>3</sup> (4)	EXISTENTE (existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (10)	MUITO SIGNIFICATIVO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe II A - Não Inertes, segundo a NBR 10004 da ABNT) (8)	ALTO (existe alta concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infra- estrutura de relevância socio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande > = 50 milhões m <sup>3</sup> (5)	-	MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I- Perigosos segundo a NBR 10004 da ABNT) (10)	-

$$DPA = \sum (a \text{ até } d)$$

## ANEXO IV – ESTRUTURA E CONTEÚDO MÍNIMO DO PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

**Quadro 21: Informações gerais e declaração de classificação da barragem quanto ao Risco e Dano Potencial Associado. Fonte: Brasil, 2012b.**

VOLUMES	CONTEÚDO MÍNIMO	OBSERVAÇÕES
<b>Volume I –</b> <b>Tomo I</b> <b>Informações Gerais e Declaração de Classificação da Barragem quanto ao Risco e Dano Potencial Associado</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificação do Empreendedor;</li> <li>2. Caracterização do empreendimento;</li> <li>3. Características técnicas do Projeto e da Construção;</li> <li>4. Indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes;</li> <li>5. Estrutura organizacional, contatos dos responsáveis e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem;</li> <li>6. Quando for o caso, indicação da entidade responsável pela regra operacional do reservatório;</li> <li>7. Declaração da classificação da barragem quanto à categoria de risco e dano potencial associado;</li> <li>8. Processos DNPM associados à barragem.</li> </ol>	

**Quadro 22: Documentação técnica do empreendimento. Fonte: Brasil, 2012b.**

VOLUMES	CONTEÚDO MÍNIMO	OBSERVAÇÕES
<b>Volume I –</b> <b>Tomo 2</b> <b>Documentação técnica do Empreendimento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Projetos (básico e/ou executivo), caso existam;</li> <li>2. Projeto como construído (<i>As built</i>), caso exista;</li> <li>3. Manuais dos Equipamentos, caso existam;</li> <li>4. Licenças ambientais, outorgas e demais requerimentos legais.</li> </ol>	

**Quadro 23: Planos e procedimentos. Fonte: Brasil, 2012b.**

VOLUMES	CONTEÚDO MÍNIMO	OBSERVAÇÕES
<b>Volume II</b> <b>Planos e Procedimentos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Plano de operação, incluindo, mas não se limitando, à           <ol style="list-style-type: none"> <li>a. regra operacional dos dispositivos de vertimento, caso existam;</li> <li>b. procedimentos para atendimento às regras operacionais definidas pelo Empreendedor ou por entidade responsável, quando for o caso.</li> </ol> </li> <li>2. Planejamento das manutenções;</li> <li>3. Plano de monitoramento e instrumentação;</li> <li>4. Planejamento das inspeções de segurança da barragem; e</li> <li>5. Cronograma de testes de equipamentos hidráulicos, elétricos e mecânicos, caso existam.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>i. Para barragens Classe D e E, somente o item 1 será obrigatório para o Volume II.</li> <li>ii. A frequência mínima de inspeções de segurança regulares de barragens é definida em regulamento específico emitido pelo DNPM e deverá estar contemplada no Plano de Segurança da Barragem.</li> </ol>

## ANEXO IV – ESTRUTURA E CONTEÚDO MÍNICO DO PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS (CONTINUAÇÃO)

**Quadro 24: Registros e Controles. Fonte: Brasil, 2012b.**

VOLUMES	CONTEÚDO MÍNIMO	OBSERVAÇÕES
<b>Volume III Registros e Controles</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Registros de Operação;</li> <li>2. Registros da Manutenção;</li> <li>3. Registros de Monitoramento e Instrumentação;</li> <li>4. Fichas e relatórios de Inspeções de Segurança de Barragens;</li> <li>5. Registros dos testes de equipamentos hidráulicos, elétricos e mecânicos, caso existam.</li> </ol>	<p>O conteúdo mínimo e o nível de detalhamento dos relatórios de inspeções de segurança regulares de barragens são definidos em regulamento específico emitido pelo DNPM e deverão estar contemplados no Plano de Segurança da Barragem</p>

**Quadro 25: Resumo Executivo. Fonte: Brasil, 2012b.**

VOLUMES	CONTEÚDO MÍNIMO	OBSERVAÇÕES
<b>Volume IV Tomo 2 Resumo Executivo</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificação da barragem e empreendedor;</li> <li>2. Identificação do autor do trabalho;</li> <li>3. Período de realização do trabalho;</li> <li>4. Listagem dos estudos realizados;</li> <li>5. Conclusões;</li> <li>6. Recomendações;</li> <li>7. Plano de ação de melhoria e cronograma de implantação das ações indicadas no trabalho.</li> </ol>	

**Quadro 26: Plano de Ação de Emergência – PAE. Fonte: Brasil, 2012b.**

VOLUMES	CONTEÚDO MÍNIMO	OBSERVAÇÕES
<b>Volume V Plano de Ação de Emergência- PAE</b>		<p>O conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Ação de Emergência serão tratados em regulamento específico.</p>

## ANEXO IV – ESTRUTURA E CONTEÚDO MÍNICO DO PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS (CONTINUAÇÃO)

**Quadro 27: Revisão Periódica da Barragem. Fonte: Brasil, 2012b.**

<b>VOLUMES</b>	<b>CONTEÚDO MÍNIMO</b>	<b>OBSERVAÇÕES</b>
<b>Volume IV</b> <b>Tomo I</b> <b>Revisão Periódica</b> <b>de Segurança da</b> <b>Barragem</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Resultado de inspeção detalhada e adequada do local da barragem e de suas estruturas associadas;</li> <li>2. Reavaliação do projeto existente, de acordo com os critérios de projeto aplicáveis à época da revisão.</li> <li>3. Reavaliação da categoria de risco e dano potencial associado;</li> <li>4. Atualização das séries e estudos hidrológicos e confrontação desses estudos com a capacidade dos dispositivos de vertimento existentes.</li> <li>5. Reavaliação dos procedimentos de operação, manutenção, testes, instrumentação e monitoramento;</li> <li>6. Reavaliação do Plano de Ação de Emergência-PAE, quando for o caso;</li> <li>7. Revisão dos relatórios das revisões periódicas de segurança de barragem de anteriores;</li> <li>8. Relatório Final do estudo.</li> </ol>	<p>2. A reavaliação do projeto existente deve englobar, dentre os elementos dispostos abaixo, aqueles que possam ter sofrido alteração desde a revisão periódica anterior, em virtude de alterações de critérios de projeto, de atualização de séries hidrológicas, do resultado da inspeção detalhada ou da ocorrência de eventos extremos:</p> <p>Registros de construção, para determinar se a barragem foi construída em conformidade com as hipóteses de projeto e verificar a adequabilidade da sua estrutura e dos materiais de fundação.</p> <p>Avaliação da estabilidade e adequação estrutural, resistência à percolação e erosão de todas as partes dos barramentos, incluindo-se suas fundações, bem como quaisquer barreiras naturais sob condições de carregamentos, normais e extremos;</p> <p>Avaliação da capacidade de todos os canais e condutos hidráulicos para descarregar seguramente as vazões de projeto e a adequação desses condutos hidráulicos para suportar a vazão afluente de projeto e de esvaziamento do reservatório, caso necessário, em condições emergenciais;</p> <p>Verificação do projeto de todas as comportas, válvulas, dispositivos de acionamento e controle de fluxo, incluindo-se os controles de fornecimento de energia ou de fluidos hidráulicos para assegurar a operação segura e confiável;</p> <p>Avaliação do comportamento da barragem frente a eventos extremos (sismos e cheias), considerando os eventos ocorridos a partir da construção da barragem;</p> <p>Verificação da adequação das instalações para enfrentar fenômenos especiais que afetem a segurança, por exemplo, entulhos ou erosão, que podem ter sido insuficientemente avaliados na fase de projeto.</p>

## ANEXO V – BARRAGENS DE REJEITO NA REGIÃO DE CONGONHAS

**Quadro 28: Características Gerais das barragens de rejeito na região de Congonhas. Fonte: Dados fornecidos pelo DNPM.**

Nome da Barragem	Altura Barramento Atual	Altura Barramento Absoluto	Volume Total do Reservatório Atual	Volume Total do Reservatório Absoluto	Mina	UF	Município	Substância Principal	Capacidade Total Instalada
Barragem Alto Jacutinga	10,8	10,8	60000	60000	Fábrica Nova	MG	MARIANA	FERRO	1700000
Barragem Baixo João Pereira	15,75	15,75	142500	142500	FÁBRICA	MG	OURO PRETO	NULL	NULL
Barragem Bandeira I	6,7	6,7	3553	3553	Córrego do Feijão	MG	BRUMADINHO	FERRO	1300000
Barragem Bandeira II	6,7	6,7	6660	6660	CAUÉ E CONCEIÇÃO FERRO	MG	ITABIRA	NULL	NULL
Barragem Barnabé	15	15	318550	318550	Minas do Meio e Conceição Lavra	MG	ITABIRA	FERRO	6500000
BARRAGEM CB3	4,9	4,9	763	763	FÁBRICA	MG	OURO PRETO	NULL	NULL
Barragem do Grupo	36	36	800000	800000	Fábrica Nova	MG	MARIANA	FERRO	1700000
Barragem do Prata	7,5	7,5	20000	20000	Guanhães	MG	GUANHÃES	FERRO	0
Barragem Forquilha I	93	93	2600000	2600000	Fábrica Nova	MG	MARIANA	FERRO	1700000
Barragem Forquilha II	88	88	2400000	2400000	Guanhães	MG	GUANHÃES	FERRO	0
Barragem Forquilha III	77	77	1600000	18200000	Fábrica Nova	MG	MARIANA	FERRO	1700000
Barragem Forquilha IV	165	165	0	3500000	Guanhães	MG	GUANHÃES	FERRO	0
Barragem Gambá	8,1	8,1	5000	5000	FÁBRICA	MG	OURO PRETO	NULL	NULL
Barragem Marés I	12,7	12,7	15000	15000	Córrego do Feijão	MG	BRUMADINHO	FERRO	1300000
Barragem Marés II	15,3	15,3	241000	241000	Projeto Apolo	MG	CAETÉ	FERRO	0
Dique Freitas	7,5	7,5	30000	30000	Guanhães	MG	GUANHÃES	FERRO	0

**Quadro 29: Características da Mina e das Barragens de rejeito na região de Congonhas. Fonte: Dados fornecidos pelo DNPM.**

Nome da Barragem	Inicio de Operação	Vida Util Restante (Anos)	Mina Latitude	Mina Longitude	Minério	Barragem Latitude	Barragem Longitude	UF	Município
Barragem Alto Jacutinga	01/01/1997	9	20° 11' 38" 0	43° 27' 13" 0	NULL	20° 25' 30" 4	43° 53' 07" 8	MG	CONGONHAS
Barragem Baixo João Pereira	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	20° 26' 21" 8	43° 54' 18" 0	MG	CONGONHAS
Barragem Bandeira I	01/09/1940	2	20° 05' 49" 6	44° 04' 55" 1	Minério de Ferro	20° 26' 18" 0	43° 54' 59" 5	MG	CONGONHAS
Barragem Bandeira II	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	20° 26' 05" 7	43° 54' 42" 9	MG	CONGONHAS
Barragem Barnabé	01/01/1942	13	19° 39' 41" 8	43° 17' 20" 3	Minério de Ferro	20° 25' 29" 6	43° 53' 30" 0	MG	CONGONHAS
BARRAGEM CB3	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	20° 24' 46" 1	43° 52' 26" 0	MG	OURO PRETO
Barragem do Grupo	01/01/1997	9	20° 11' 38" 0	43° 27' 13" 0	Minério de Ferro	20° 24' 51" 1	43° 51' 52" 2	MG	OURO PRETO
Barragem do Prata	NULL	0	18° 43' 00" 0	42° 54' 00" 0	Minério de Ferro	20° 24' 40" 3	43° 51' 54" 8	MG	OURO PRETO
Barragem Forquilha I	01/01/1997	9	20° 11' 38" 0	43° 27' 13" 0	Minério de Ferro	20° 24' 23" 5	43° 51' 22" 8	MG	OURO PRETO
Barragem Forquilha II	NULL	0	18° 43' 00" 0	42° 54' 00" 0	Minério de Ferro	20° 24' 36" 6	43° 51' 09" 2	MG	OURO PRETO
Barragem Forquilha III	01/01/1997	9	20° 11' 38" 0	43° 27' 13" 0	Minério de Ferro	20° 24' 45" 4	43° 50' 23" 2	MG	OURO PRETO
Barragem Forquilha IV	NULL	0	18° 43' 00" 0	42° 54' 00" 0	Minério de Ferro	20° 23' 42" 0	43° 50' 38" 4	MG	OURO PRETO
Barragem Gambá	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	20° 25' 49" 7	43° 52' 56" 8	MG	CONGONHAS
Barragem Marés I	01/09/1940	2	20° 05' 49" 6	44° 04' 55" 1	Minério de Ferro	20° 25' 28" 7	43° 55' 34" 9	MG	BELO VALE
Barragem Marés II	01/09/1991	0	20° 02' 23" 5	43° 41' 15" 5	Minério de Ferro	20° 25' 58" 2	43° 55' 49" 1	MG	BELO VALE
Dique Freitas	NULL	0	18° 43' 00" 0	42° 54' 00" 0	Minério de Ferro	20° 25' 52" 6	43° 50' 58" 0	MG	OURO PRETO

**Quadro 30: Classificação de Risco das barragens de rejeito na região de Congonhas. Fonte: Dados fornecidos pelo DNPM.**

Nome da Barragem	Categoria de Risco			Estado de Conservação				Plano de Segurança de Barragens					CRI		
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(l)	(m)	CT	EC	PS
Barragem Alto Jacutinga	0	2	2	6	3	0	6	2	0	0	2	0	4	15	4
Barragem Baixo João Pereira	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	2	2	2
Barragem Bandeira I	0	1	2	6	0	0	2	2	0	0	2	0	3	8	4
Barragem Bandeira II	0	1	0	0	0	0	2	2	0	0	2	0	1	2	4
Barragem Barnabé	0	1	0	0	3	0	6	0	0	2	2	0	1	9	4
BARRAGEM CB3	0	0	10	6	3	0	2	2	0	0	2	0	10	11	4
Barragem do Grupo	4	2	0	6	3	0	6	2	0	2	2	0	6	15	6
Barragem do Prata	0	0	10	6	0	0	6	2	0	0	2	0	10	12	4
Barragem Forquilha I	7	2	0	0	0	2	2	0	0	0	2	0	9	4	2
Barragem Forquilha II	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	9	0	2
Barragem Forquilha III	7	3	0	6	6	6	6	0	0	0	2	0	10	24	2
Barragem Forquilha IV	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	7	0	4
Barragem Gambá	0	0	10	6	3	0	2	2	0	0	2	0	10	11	4
Barragem Marés I	0	1	2	6	0	0	2	2	0	0	2	0	3	8	4
Barragem Marés II	1	1	10	6	3	0	0	2	0	2	0	0	12	9	6
Dique Freitas	0	2	2	0	0	0	6	2	0	0	2	0	4	6	4

## ANEXO V – BARRAGENS DE REJEITO NA REGIÃO DE CONGONHAS (CONTINUAÇÃO)

**Quadro 31: Classificação de Risco e Dano das barragens de rejeito na região de Congonhas.**  
**Fonte: Dados fornecidos pelo DNPM.**

Nome da Barragem	(a)	(b)	(c)	(d)	DPA	Categoria de Risco CRI = (CT + EC + PS)	CRI	DPA	CLASSIFICAÇÃO	Inserida na PNSB?
Barragem Alto Jacutinga	1	3	6	0	10	23	BAIXO	MÉDIO	D	SIM
Barragem Baixo João Pereira	1	3	6	1	11	6	BAIXO	MÉDIO	D	SIM
Barragem Bandeira I	1	5	2	1	9	15	BAIXO	MÉDIO	D	SIM
Barragem Bandeira II	1	5	2	1	9	7	BAIXO	MÉDIO	D	SIM
Barragem Barnabé	1	5	2	3	11	14	BAIXO	MÉDIO	D	SIM
BARRAGEM CB3	1	3	6	1	11	25	BAIXO	MÉDIO	D	SIM
Barragem do Grupo	2	3	0	1	6	27	BAIXO	BAIXO	E	SIM
Barragem do Prata	1	3	6	0	10	26	BAIXO	MÉDIO	D	SIM
Barragem Forquilha I	4	5	0	1	10	15	BAIXO	MÉDIO	D	SIM
Barragem Forquilha II	3	5	2	1	11	11	BAIXO	MÉDIO	D	SIM
Barragem Forquilha III	3	5	2	1	11	36	MÉDIO	MÉDIO	C	SIM
Barragem Forquilha IV	1	3	6	3	13	11	BAIXO	ALTO	C	SIM
Barragem Gambá	1	3	6	1	11	25	BAIXO	MÉDIO	D	SIM
Barragem Marés I	1	3	2	3	9	15	BAIXO	MÉDIO	D	SIM
Barragem Marés II	1	10	6	5	22	27	BAIXO	ALTO	C	SIM
Dique Freitas	1	3	2	1	7	14	BAIXO	BAIXO	E	NÃO

## ANEXO VI – BARRAGENS DE REJEITO NA REGIÃO DE ITABIRA

**Quadro 32: Características Gerais das barragens de rejeito na região de Itabira. Fonte: Dados fornecidos pelo DNPM.**

Nome da Barragem	Altura Atual	Altura Barramento Absoluto	Volume Total do Reservatório Atual	Volume Total do Reservatório Absoluto	Mina	UF	Município	Substância Principal	Capacidade Total Instalada
Barragem Alcindo Vieira	27	27	26959,5	2848000	FÁBRICA	MG	OURO PRETO	NULL	NULL
Barragem Cambucal I	17,5	17,5	24456,6	1571000	FÁBRICA	MG	OURO PRETO	NULL	NULL
Barragem Cambucal II	15,4	15,4	297810	2208000	Gongo Soco Lavra	MG	BARÃO DE COCAIS	FERRO	6000000
Barragem Cemig I	32,5	32,5	58316	3700000	FÁBRICA	MG	OURO PRETO	NULL	NULL
Barragem Cemig II	22,35	22,35	535787	12314000	BRUCUTU	MG	SÃO GONÇALO DO RIO ABAIXO	NULL	NULL
Barragem Conceição	60	60	3740059	40600000	FÁBRICA	MG	OURO PRETO	NULL	NULL
Barragem Itabiruçu	68	68	13901584	23000000	FÁBRICA	MG	OURO PRETO	NULL	NULL
Barragem Piabas	28	28	95161,8	59794000	BRUCUTU	MG	SÃO GONÇALO DO RIO ABAIXO	NULL	NULL
Barragem Pontal	69	69	7735694	122500000	Córrego do Mato	MG	SABARÁ	FERRO	0
Barragem Rio do Peixe	31	31	2101858	13110000	FÁBRICA	MG	OURO PRETO	NULL	NULL
Barragem Santana	52,4	52,4	3891353	11000000	Fábrica Lavra	MG	OURO PRETO	FERRO	17500000
Barragem Serraria	9	9	0	40000	FÁBRICA	MG	OURO PRETO	NULL	NULL
Dique 02 Pontal	21	21	0	17400000	FÁBRICA	MG	OURO PRETO	NULL	NULL
Dique 03 Pontal	21	21	0	11000000	Córrego do Mato	MG	SABARÁ	FERRO	0
Dique 04 Pontal	13	13	0	5700000	FÁBRICA	MG	OURO PRETO	NULL	NULL
Dique 05 Pontal	13	13	4199473	7200000	Córrego do Mato	MG	SABARÁ	FERRO	0
Dique 06 Pontal	11	11	2554840	4000000	FÁBRICA	MG	OURO PRETO	NULL	NULL
Dique 105 I	8,14	8,14	87000	87000	Fábrica Lavra	MG	OURO PRETO	FERRO	17500000
Dique 105 II	7,5	7,5	0	1890000	CAUÉ E CONCEIÇÃO FERRO	MG	ITABIRA	NULL	NULL
Dique 1A Conceição	12	12	0	3000000	Fábrica Lavra	MG	OURO PRETO	FERRO	17500000
Dique 1B Conceição	18	18	0	600000	FÁBRICA	MG	OURO PRETO	NULL	NULL
Dique Borrachudo	6	6	38852	81600	CAUÉ E CONCEIÇÃO FERRO	MG	ITABIRA	NULL	NULL
Dique Cordão Nova Vista	17	17	0	0	FÁBRICA	MG	OURO PRETO	NULL	NULL
Dique Ipoema	7,5	7,5	300000	300000	CAUÉ E CONCEIÇÃO FERRO	MG	ITABIRA	NULL	NULL
Dique Minervino	13	13	0	6500000	GONGO SOCÓ	MG	BARÃO DE COCAIS	NULL	NULL
Dique Quinzinho	15	15	15043	385000	FÁBRICA	MG	OURO PRETO	NULL	NULL
Dique Rio do Peixe	7	7	0	450000	Timbópeba Lavra	MG	OURO PRETO	FERRO	0

**Quadro 33: Características da Mina e das Barragens de rejeito na região de Itabira. Fonte: Dados fornecidos pelo DNPM.**

Nome da Barragem	Inicio de Operação	Vida Útil Restante (Anos)	Mina Latitude	Mina Longitude	Minério	Barragem Latitude	Barragem Longitude	UF	Município
Barragem Alcindo Vieira	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	19º 34' 27" 0	43º 14' 46" 0	MG	ITABIRA
Barragem Cambucal I	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	19º 38' 44" 0	43º 14' 32" 0	MG	ITABIRA
Barragem Cambucal II	01/08/1989	2	19º 57' 19" 0	43º 33' 31" 0	1791/1961	19º 38' 26" 0	43º 14' 29" 0	MG	ITABIRA
Barragem Cemig I	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	19º 34' 32" 0	43º 12' 16" 0	MG	ITABIRA
Barragem Cemig II	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	19º 34' 21" 0	43º 11' 50" 0	MG	ITABIRA
Barragem Conceição	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	19º 38' 49" 9	43º 16' 26" 0	MG	ITABIRA
Barragem Itabiruçu	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	19º 41' 05" 0	43º 17' 10" 0	MG	ITABIRA
Barragem Piabas	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	19º 33' 48" 0	43º 12' 22" 0	MG	ITABIRA
Barragem Pontal	NULL	0	19º 46' 35" 2	43º 46' 56" 1	930770/1981	19º 37' 32" 6	43º 11' 00" 0	MG	ITABIRA
Barragem Rio do Peixe	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	19º 40' 25" 2	43º 14' 09" 8	MG	ITABIRA
Barragem Santana	01/04/1940	33	20º 24' 46" 9	43º 53' 05" 1	930925/2005	19º 39' 49" 9	43º 19' 26" 0	MG	ITABIRA
Barragem Serraria	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	19º 36' 46" 0	43º 12' 16" 0	MG	ITABIRA
Dique 02 Pontal	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	19º 36' 47" 0	43º 11' 26" 0	MG	ITABIRA
Dique 03 Pontal	NULL	0	19º 46' 35" 2	43º 46' 56" 1	930770/1981	19º 36' 29" 0	43º 11' 04" 0	MG	ITABIRA
Dique 04 Pontal	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	19º 36' 26" 0	43º 10' 32" 0	MG	ITABIRA
Dique 05 Pontal	NULL	0	19º 46' 35" 2	43º 46' 56" 1	930770/1981	19º 36' 18" 0	43º 10' 22" 0	MG	ITABIRA
Dique 06 Pontal	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	19º 36' 47" 0	43º 10' 26" 0	MG	ITABIRA
Dique 105 I	01/04/1940	33	20º 24' 46" 9	43º 53' 05" 1	930925/2005	19º 37' 37" 0	43º 14' 18" 0	MG	ITABIRA
Dique 105 II	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	19º 37' 45" 0	43º 14' 24" 0	MG	ITABIRA
Dique 1A Conceição	01/04/1940	33	20º 24' 46" 9	43º 53' 05" 1	930925/2005	19º 38' 38" 0	43º 16' 55" 0	MG	ITABIRA
Dique 1B Conceição	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	19º 38' 21" 0	43º 16' 56" 0	MG	ITABIRA
Dique Borrachudo	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	19º 36' 33" 0	43º 15' 48" 0	MG	ITABIRA
Dique Cordão Nova Vista	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	19º 37' 02" 0	43º 12' 10" 0	MG	ITABIRA
Dique Ipoema	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	19º 36' 44" 0	43º 15' 21" 0	MG	ITABIRA
Dique Minervino	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	19º 36' 45" 0	43º 11' 24" 0	MG	ITABIRA
Dique Quinzinho	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	19º 36' 59" 0	43º 15' 26" 0	MG	ITABIRA
Dique Rio do Peixe	01/06/1984	0	20º 14' 55" 0	43º 32' 15" 0	2132/1952	19º 40' 15" 0	43º 14' 33" 0	MG	ITABIRA

## ANEXO VI – BARRAGENS DE REJEITO NA REGIÃO DE ITABIRA (CONTINUAÇÃO)

**Quadro 34: Classificação de Risco das barragens de rejeito na região de Itabira. Fonte: Dados fornecidos pelo DNPM.**

Nome da Barragem	Categoria de Risco			Estado de Conservação				Plano de Segurança de Barragens					CRI		
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(l)	(m)	CT	EC	PS
Barragem Alcindo Vieira	1	1	5	0	0	0	0	2	0	2	4	4	7	0	12
Barragem Cambucal I	1	2	0	0	0	0	2	2	0	2	4	4	3	2	12
Barragem Cambucal II	1	2	0	0	0	0	2	2	0	2	4	4	3	2	12
Barragem Cemig I	4	1	0	0	0	0	0	2	0	2	4	4	5	0	12
Barragem Cemig II	1	1	0	0	0	0	0	2	0	2	4	4	2	0	12
Barragem Conceição	4	2	0	0	0	0	2	2	0	0	4	4	6	2	10
Barragem Itabiruçu	7	3	0	0	0	0	2	2	0	0	4	4	10	2	10
Barragem Piabas	1	1	2	0	0	0	0	2	0	2	4	4	4	0	12
Barragem Pontal	7	3	0	0	0	0	2	2	0	0	4	4	10	2	10
Barragem Rio do Peixe	4	2	0	0	0	0	2	2	0	0	4	4	6	2	10
Barragem Santana	4	1	0	0	3	0	2	2	0	2	4	4	5	5	12
Barragem Serraria	0	2	2	0	0	0	0	5	0	2	4	4	4	0	15
Dique 02 Pontal	1	3	0	0	0	0	0	2	0	2	4	4	4	0	12
Dique 03 Pontal	1	3	0	0	0	0	0	2	0	2	4	4	4	0	12
Dique 04 Pontal	0	2	2	0	0	0	2	2	0	2	4	4	4	2	12
Dique 05 Pontal	0	2	0	0	0	0	2	2	0	2	4	4	2	2	12
Dique 06 Pontal	0	2	0	0	0	0	2	2	0	2	4	4	2	2	12
Dique 105 I	0	1	0	0	0	0	2	2	0	2	4	4	1	2	12
Dique 105 II	0	2	0	0	0	0	2	2	0	2	4	4	2	2	12
Dique 1A Conceição	0	3	5	0	0	0	2	2	0	2	4	4	8	2	12
Dique 1B Conceição	1	2	2	0	0	0	2	2	0	2	4	4	5	2	12
Dique Borrachudo	0	1	0	0	0	0	0	2	0	2	4	4	1	0	12
Dique Cordão Nova Vista	1	3	0	0	0	0	2	2	0	2	4	4	4	2	12
Dique Ipoema	0	1	5	0	0	0	2	2	0	2	4	4	6	2	12
Dique Minervino	0	3	0	0	0	2	2	2	0	0	4	4	3	4	10
Dique Quinzinho	0	1	0	0	0	0	2	2	0	2	4	4	1	2	12
Dique Rio do Peixe	0	2	0	0	0	0	0	2	0	2	4	4	2	0	12

## ANEXO VI – BARRAGENS DE REJEITO NA REGIÃO DE ITABIRA (CONTINUAÇÃO)

**Quadro 35: Classificação de Risco e Dano das barragens de rejeito na região de Itabira. Fonte: Dados fornecidos pelo DNPM.**

Nome da Barragem	(a)	(b)	(c)	(d)	DPA	Categoria de Risco CRI = (CT + EC + PS)	CRI	DPA	CLASSIF
Barragem Alcindo Vieira	1	3	2	1	7	19	BAIXO	BAIXO	E
Barragem Cambucal I	1	10	2	5	18	17	BAIXO	ALTO	C
Barragem Cambucal II	1	10	2	5	18	17	BAIXO	ALTO	C
Barragem Cemig I	1	3	2	1	7	17	BAIXO	BAIXO	E
Barragem Cemig II	2	3	2	1	8	14	BAIXO	MÉDIO	D
Barragem Conceição	2	10	2	5	19	18	BAIXO	ALTO	C
Barragem Itabiruçu	3	10	2	5	20	22	BAIXO	ALTO	C
Barragem Piabas	1	0	2	0	3	16	BAIXO	BAIXO	E
Barragem Pontal	3	10	2	5	20	22	BAIXO	ALTO	C
Barragem Rio do Peixe	2	10	2	5	19	18	BAIXO	ALTO	C
Barragem Santana	2	10	0	5	17	22	BAIXO	ALTO	C
Barragem Serraria	1	0	0	0	1	19	BAIXO	BAIXO	E
Dique 02 Pontal	1	0	0	0	1	16	BAIXO	BAIXO	E
Dique 03 Pontal	1	0	0	0	1	16	BAIXO	BAIXO	E
Dique 04 Pontal	1	0	0	0	1	18	BAIXO	BAIXO	E
Dique 05 Pontal	2	0	0	0	2	16	BAIXO	BAIXO	E
Dique 06 Pontal	2	0	0	0	2	16	BAIXO	BAIXO	E
Dique 105 I	1	10	2	3	16	15	BAIXO	ALTO	C
Dique 105 II	1	3	0	0	4	16	BAIXO	BAIXO	E
Dique 1A Conceição	1	0	0	0	1	22	BAIXO	BAIXO	E
Dique 1B Conceição	1	0	0	0	1	19	BAIXO	BAIXO	E
Dique Borrachudo	1	5	0	1	7	13	BAIXO	BAIXO	E
Dique Cordão Nova Vista	1	0	0	5	6	18	BAIXO	BAIXO	E
Dique Ipoema	1	3	0	0	4	20	BAIXO	BAIXO	E
Dique Minervino	1	10	0	5	16	17	BAIXO	ALTO	C
Dique Quinzinho	1	3	2	1	7	15	BAIXO	BAIXO	E
Dique Rio do Peixe	1	0	0	0	1	14	BAIXO	BAIXO	E