

CENTRO UNIVERSITÁRIO ATENAS

RAFAEL FONSECA DOS SANTOS

**BARRAGEM DE REJEITO: O ORGULHO DA ENGENHARIA CIVIL
NA MINERAÇÃO, COM OLHARES DE MEDO DA POPULAÇÃO.**

Paracatu

2019

RAFAEL FONSECA DOS SANTOS

**BARRAGEM DE REJEITO: O ORGULHO DA ENGENHARIA CIVIL NA
MINERAÇÃO, COM OLHARES DE MEDO DA POPULAÇÃO.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração:

Orientadora: Prof^a. Dra. Lidiane Aparecida Silva.

Paracatu

2019

RAFAEL FONSECA DOS SANTOS

**BARRAGEM DE REJEITO: O ORGULHO DA ENGENHARIA CIVIL NA
MINERAÇÃO, COM OLHARES DE MEDO DA POPULAÇÃO.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do UniAtenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Ciências

Orientadora: Prof^a. D.Sc. Lidiane Aparecida Silva.

Banca Examinadora:

Paracatu- MG, ____ de _____ de 2019.

Prof^a. D.Sc. Lidiane Aparecida Silva.
UniAtenas

Prof. Carlos Eduardo Ribeiro Chula
UniAtenas

Prof. Pedro Henrique Pedrosa de Melo
UniAtenas

Dedico aos meus pais, pelo estímulo, carinho e compreensão, pessoas realmente maravilhosas em minha vida, que em nenhum momento negaram auxílio, amor e carinho para mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que iluminou e guiou os meus passos nessa caminhada.

Aos meus pais, Francisco de Assis e Maria Antônia por terem me dado toda a base necessária e me mostrado a direção a ser seguida.

A minha esposa Gislaine, que caminhou ao meu lado durante toda a jornada, seu apoio, sua força foi fundamental.

Ao meu filho, que chegou no meio da caminhada, tornando tudo mais especial, Miguel, você se tornou o combustível que me faltava.

A minha irmã e sobrinha, Sandra e Jeniffer, por todo auxílio e incentivo de sempre.

Aos meus colegas de caminhada do curso, sem vocês tudo seria bem mais difícil, colegas que nos se auto estipulamos de os fodões.

A cada professor que encontrei nessa caminhada, muitos se tornaram amigos, e em especial a orientadora dessa monografia, você foi muito importante no desenvolvimento desse trabalho.

*“Pedras no caminho? Guardo
todas, um dia vou construir um castelo...”
Nox Nemo*

RESUMO

O presente trabalho discorre sobre um intuito de tornar barragens de rejeitos normalmente utilizada na mineração, em edificações confiáveis e seguras para o pessoal que vive e trabalha próximo destas grandes obras. Na engenharia moderna, existem métodos e técnica eficazes para tornar o risco de rompimento de barragens em faixas de segurança confiáveis, e evidente que o cenário nacional nos últimos anos sobre o rompimento de barragens, vem trazendo medo e desconfianças de pessoas que convivem próximas a essas grandes obras da engenharia. Porém as barragens que estão apresentando colapso, são obras antigas que foram utilizadas técnica de construção não mais executadas pela engenharia, por ser tornar ultrapassadas e inviáveis para uma barragem de rejeito segura. É evidente que o profissional deve conhecer os tipos de solos que serão utilizados em sua construção e manutenção principalmente no seu alteamento pois irá receber maior volume de carga e vibrações em sua estrutura, detectar e eliminar patologias que afetem a segurança das barragens e realizar o gerenciamento de riscos de barragens, realizando medidas de segurança em possível rompimento e evacuação de áreas de risco. Com tudo no presente estudo, tem o objetivo de demonstrar a segurança e métodos de controle para a sua construção, orientar a população que vive próxima a essas estruturas e vive com medo de um possível rompimento, medidas que evitem acidentes catastróficos, que afetem e tem prejuízos de forma humana, ambiental, sócio ambiental, social econômico social, cultural e econômico.

Palavras-chave: barragem de rejeito. Segurança de barragens. Técnica de construções.

ABSTRACT

This paper discusses the purpose of making tailings dams normally used in mining, in reliable and safe buildings for the people who live and work near these major works. In modern engineering, there are effective methods and techniques for making the risk of dam breaking in safe strips reliable, and it is evident that the national senary in recent years about dam breaking has brought fear and distrust of people living close to them. Great works of engineering. But the dams that are collapsing are old works that were used construction technique no longer performed by engineering, because they are outdated and unviable for a safe tailing dam. It is evident that the professional must know the types of soils that will be used in its construction, maintenance especially in its elevation as it will receive greater load volume, and vibrations in its structure, detect and eliminate pathologies that affect the safety of dams and perform management. Dam risks, performing safety measures on possible rupture and evacuation of risk are With everything in the present study, the objective is to demonstrate the safety and control methods for its construction, to guide the population who live near these structures and live in fear of possible disruption, measures that prevent catastrophic accidents that affect and have human, environmental, social environmental, social economic, cultural and economic damages.

Keywords: *tailings dam. Dam safety. Construction technique.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Transporte de terra para pavimentação. CRUZ (2006)	15
Figura 2 - Método construtivo de barragem de rejeito (BORGES, 2019)	16
Figura 3 - Método construtivo de barragem montante (ARAÚJO,2006)	17
Figura 4 - Barragem da Mineração Taboca BA, (TABOCA, 2018).	17
Figura 5 - Método construtivo de barragem jusante (ARAÚJO,2006)	18
Figura 6 - Mineração Aipoena MT. (APOENA, 2013).....	19
Figura 7 - Método construtivo de barragem por linha de centro (ARAÚJO,2006)	20
Figura 8 - Mineração Vale do Rio Doce PA. (VALE, 2017).	20
Figura 9 - Perfil barragem de Terra (PINHEIRO, 2019).....	21
Figura 10 - Patologia do percolamento de água (PINHEIRO, 2019).	22
Figura 11 - Compactação de solo jusante (COSTA, 2012)	24
Figura 12 - solo siltoso, arenoso e argiloso (CORREIA, 2018).....	27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA	12
1.2 HIPÓTESE DO ESTUDO	12
1.3 OBJETIVOS	12
1.3.1 OBJETIVO GERAL	12
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.4 JUSTIFICATIVA	13
1.5 METODOLOGIA DO ESTUDO	14
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 MÉTODOS DE ALTEAMENTO DE BARRAGENS DE REJEITO E SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO	15
2.1 BARRAGEM DE REJEITO A MONTANTE	16
2.2 BARRAGEM DE REJEITO A JUSANTE	18
2.3 BARRAGEM DE LINHA DE CENTRO	19
3 PATOLOGIAS E FORMAS DE MONITORAMENTO DE BARRAGENS DE REJEITO	21
4 TÉCNICAS DE COMPACTAÇÃO EM SOLOS SILTOSOS, ARGILOSOS E ARENOSO	24
4.1 SOLO SILTOSO	25
4.2 SOLO ARGILOSO	26
4.3 SOLO ARENOSO	26
5 GERENCIAMENTO DE RISCOS DE BARRAGENS DE REJEITO	28
5.1 GERENCIAMENTO DE RISCO E EMERGÊNCIA	29
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

A mineração encontra-se fortemente envolvida à história dos países, representando uma das principais atividades econômicas do mundo. Ela é responsável pela colonização de várias nações com a extração do bem mineral. Do mesmo modo, no Brasil ela tem sido essencial para o crescimento econômico do país. Assim, o beneficiamento do ouro e dos diamantes, e a extração e produção do ferro, são atividades que ainda tem forte presença nas indústrias que mais empregam e que mais se destacam no cenário mundial (RIBEIRO, 2015).

Atualmente, a mineração no Brasil representa cerca de 180 mil vagas de empregos diretos, correspondendo à 4% do produto interno bruto nacional, e é responsável por 25% do saldo comercial do país, sendo uma grande potência mundial na extração e beneficiamento de minério, recebendo o título de segunda maior potência mineral e exportação de bem mineral (CETEM, 2013).

O Brasil conseguiu essa posição no destaque mundial devido à grande dimensão territorial, além de ser privilegiado por sua geologia e grande fartura nos recursos hídricos que são a base da recuperação do bem mineral.

Todavia, a mineração apresenta diversos impactos ambientais em todo o seu processo mineral, provocando alterações na atmosfera, geologia, malha hídrica e biológica de grandes escalas. Assim, é necessário dominar este assunto para reduzir os efeitos agressivos e enfatizar a preservação ambiental. (DNPM, 2019).

Além disso, é evidente que acidentes aconteceram e marcaram a história da mineração nacional, dentre eles, é possível destacar o rompimento de barragens de rejeito, envolvendo a Vale do Rio Doce (MME, 2019).

O último acidente registrado no Brasil, foi no dia 25 de janeiro de 2019, ocasionando o rompimento de barragem na cidade de Brumadinho/MG, com as mesmas características da tragédia do rompimento da barragem da cidade de Mariana/MG, ocorrido a dois anos atrás com dimensões territoriais expressivas, porém, em menor proporção de perda de vidas. No desastre de Mariana foram confirmadas dezenove óbitos e uma pessoa desaparecida, em Brumadinho os óbitos ultrapassaram 230 pessoas (MME, 2019).

Portanto, devido as grandes tragédias expostas anteriormente, que vem provocando medo para muitos brasileiros, o objetivo deste estudo e o irá apresentar técnicas eficazes para garantir a segurança de trabalhadores e comunidades

próximas a barragens de rejeito, considerando os processos de alteamento e manutenção.

1.1 PROBLEMA

Como as grandes empresas mineradoras podem confiar no método de barragem montante, jusante e de linha de centro, para que não ocorram mais tragédias com rompimentos e que a sociedade volte a ter confiança nos trabalhos realizados pelos engenheiros envolvidos na construção das barragens?

1.2 HIPÓTESE DO ESTUDO

- i. Sistema padrão de barragem a montante, sendo o próprio rejeito misturados com outros aglomerantes, serão compactados e formando uma barreira com alta plasticidade, evitando a infiltração de líquidos.
- ii. Sistemas de drenos verticais, com sensores de movimento e de aumento pluviométrico.
- iii. Sistemas sonoros, que automaticamente emitirá sinais de alerta irá detectar algum sinistro avisando a população e empresas de possível rompimento.
- iv. O monitoramento adequado das barragens pode evitar rompimentos, permitindo maior segurança aos trabalhadores e sociedade;

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar medidas de segurança e manutenção de barragens, a população caso alguma barragem apresente risco a sociedade.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. apresentar os processos de alteamento das barragens de rejeito a montante, jusante e linha de centro e a melhor forma de construção, garantindo a segurança da população e meio ambiente;
- b. apontar possíveis patologias e discutir sobre forma de monitoramento para que a estrutura não perca a estabilidade;
- c. abordar sobre técnicas com o solo siltoso, argiloso e arenoso, métodos de compactação e testes realizados para verificar plasticidade e umidade relativa;
- d. discutir sobre o gerenciamento de riscos em barragens de rejeito, apontar medidas de segurança e evacuação de área.

1.4 JUSTIFICATIVA

É de suma importância o estudo das barragens de rejeitos no Brasil, visto que há um elo fraco na engenharia diante as tragédias e perdas de vidas nos últimos anos. Tendo em vista as novas técnicas e modelos de barragens para minimizar a degradação do meio ambiente e transformar os possíveis riscos de rompimento em uma engenharia de qualidade e segura, este ramo está em grande evidência nacional, visando trazer paz aos trabalhadores e à população (COSTA, 2017).

As barragens de rejeitos são obras de destaques na construção civil, realizadas por profissionais técnicos e engenheiros com vasta experiência. É evidente que deverá existir órgãos de fiscalização qualificados. Sobretudo as empresas mineradoras deverão exercer sua extração mineral de forma consciente, garantir suas responsabilidades e realizar fiscalizações rotineiras (MACHADO, 2017).

Segundo Cordeiro (2019), após os rompimentos das barragens de Mariana e Brumadinho, muita coisa mudou e as empresas estão se mobilizando para atendimento à nova legislação. No entanto, existem diversas barragens antigas, que não atendem aos requisitos de segurança mais modernos. Assim, é de suma importância estabelecer formas de tratar este grande problema no país.

É conclusivo que um projeto de barragem de rejeitos envolve diversas áreas do conhecimento com igual índice de importância. Portanto, neste trabalho, pretende-se discutir o assunto de forma abrangente, com linguagem simples e acessível a todos os especialistas da área, além de contribuir, de alguma forma, para o avanço da tecnologia mineral no Brasil.

1.5 METODOLOGIA DO ESTUDO

A elaboração do presente trabalho dar-se-á através de pesquisas mediante fontes bibliográficas, tais como livros, artigos e sítios de internet na esfera do tema escolhidos, além de pesquisas sobre opiniões e pareceres de doutrinadores.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente estudo foi dividido em 05 (cinco capítulos).

O primeiro capítulo, e a construção do estudo de barragens de rejeito, demonstrando a sua importância no processo minerário e os objetivos a serem estudados, para aprofundar os conhecimentos e métodos de alteamento, monitoramento e evacuação em caso de rompimento de barragem.

O Segundo capítulo consiste em apresentar o processo e métodos das barragens de rejeito a montante, jusante e linha de centro para a melhor forma de construção, garantindo a segurança da população e meio ambiente.

O terceiro capítulo, apontar possíveis patologias para que a estrutura não perca a estabilidade e discutir sobre formas de monitoramento.

No quarto capítulo abordar sobre técnicas com o solo siltoso, argiloso e arenoso métodos de compactação.

O quinto capítulo, apresentar o gerenciamento de risco das barragens de rejeito.

O sexto capítulo, considerações finais.

2 MÉTODOS DE ALTEAMENTO DE BARRAGENS DE REJEITO E SEGURAÇA NA CONSTRUÇÃO

As obras de barragens no Brasil, em sua maior parte foram construídas em meados da década de 70, com técnicas que para a época eram as mais avançadas e seguras. Assim era utilizado, projetos sem muitos equipamentos precisos e tecnologias de ponta, baseando apenas nos cálculos de dezenas de engenheiros. Naquela época eram calculados a capacidade de carga da barragem, e o tempo máximo de sua vida útil, métodos iguais aos utilizados nos dias de hoje (YOUNG, 2019)

Porém, não existiam aparelhos de medição adequados para detectar alguma movimentação de massa ou métodos de compactação para o melhor tratamento do solo.

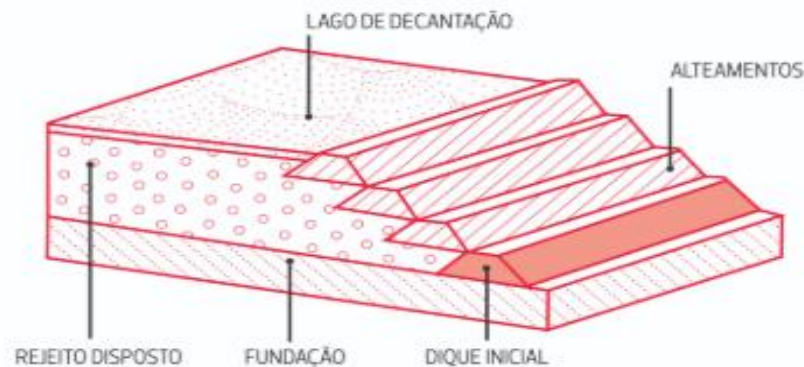
Figura 1 - Transporte de terra para pavimentação. CRUZ (2006)



Conforme CRUZ (2006) na região de Minas Gerais, rica em de óxido de ferro, com grandes áreas de exploração, porém com teor menor que outras regiões do país, no estado mineiro. Tende se encontrar um minério mais fino que necessita de um tratamento com mais água, e com isso a geração do rejeito, os minérios de óxido de ferro encontrado na região norte e nordeste do país, são de características de maior concentração do minério, que podem ser utilizados em alguns casos o tratamento a seco. Tendo uma economia de 70% do uso de agua no processo de recuperação mineral. Contudo as incidências de acidentes no estado de Minas Gerais,

são mais comuns de acontecerem devido ao volume maior de polpa gerada no processo de recuperação mineral.

Figura 2 - Método construtivo de barragem de rejeito (BORGES, 2019)



Segundo Costa (2012) quanto mais rejeito é produzido na extração mineral, mais recursos financeiros são gastos, a sua função principal é evitar o assoreamento são manutenção dos rios, por se tratar de uma obra de grandes custos, o processo mais viável economicamente, é o alteamento da barragem.

Existem três metodologias de alteamento de uma barragem, conhecida das como a montante e a jusante, em ambas são alteados os seus diques e conseqüentemente aumento a capacidade de carga de rejeito (LOPES e LIMA 2017).

2.1 BARRAGEM DE REJEITO A MONTANTE

Tende-se utilizar o método nas grandes indústrias de processo hidráulico de recuperação mineral para esse tipo de barragens, por tratar de ser o mais viável economicamente. Mas é o método em que o ministério público denomina “assassino”. Como todo método de barragens são realizados os dois sentidos, a foz, sempre o ponto mais baixo, ela e o ponto em que são compactadas e tratadas pela ação humana, e a nascente que é o ponto mais elevado, sempre com um local firme em encosta de paredões, colinas e montanhas (MACHADO, 2017).

O método a montante o alteamento é realizado sobre o material já depositado no decorrer dos anos, sua base de sustentação e na foz da barragem, sendo assim o lado mais frágil. Esse método se torna o mais rápido e barato, porém o menos seguro, de forma mais comum de aparecimento de patologias com liquefação e rachaduras (MACHADO, 2017).

Figura 3 - Método construtivo de barragem montante (ARAÚJO,2006)



Segundo Silveira (2003) o método se inicia pelo dique de partida geralmente feito pelo próprio rejeito ou rochas da região. Assim que o dique estiver na sua carga máxima é realizado na foz o alteamento com material compactado, e assim sucessivamente. Os taludes de alteamento, ficam em forma de degraus de escada, portanto a barragem até o seu último alteamento fica em alturas de grande expressão e com concentração de força na base do talude.

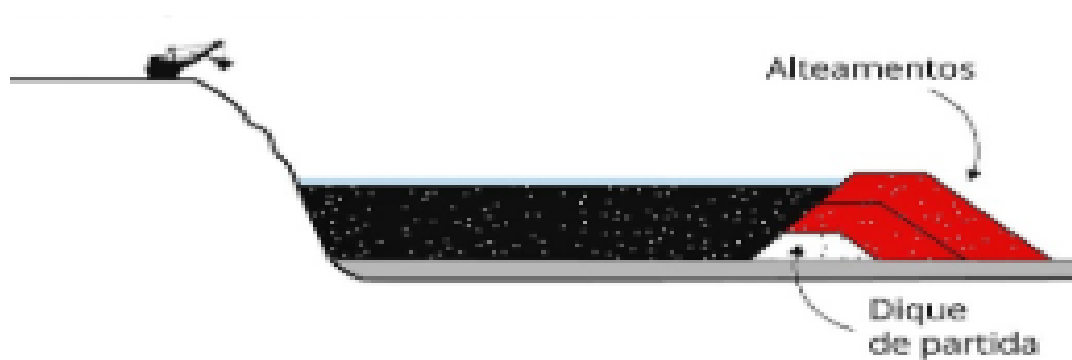
Figura 4 - Barragem da Mineração Taboca BA, (TABOCA, 2018).



2.2 BARRAGEM DE REJEITO A JUSANTE

Diferentemente do método anterior a jusante é o mais seguro e menos utilizado no país, quanto mais altura a barragem tem, mais base de sustentação é criada para o dique. Portanto, se o dique amplia a sua base, a barragem tem mais estabilidade e maior segurança, de antemão, menos risco de rompimento (COSTA, 2012).

Figura 5 - Método construtivo de barragem jusante (ARAÚJO,2006)



Conforme pode-se observar nas palavras de MACHADO (2017) as barragens a jusante, são projetadas em formato de trapézio, são as mais seguras devido a base ser maior que o topo, porém são obras que recebem menos capacidade de carga devido sua área útil ser menor, e conseqüentemente os custos maiores.

É evidente que este método mais seguro, também é o método mais caro a ser construído. Além disso esse tipo de barragem ocupa mais espaço para ser projetada, contudo os impactos ambientais com o desmatamento são maiores, agredindo diretamente a fauna e flora de uma região. O alteamento requer o uso de argila e pedregulhos, geralmente material estéril retirado da mineração (BRASIL, 2012).

Este material é compactado e nivelado com auxílio de equipamentos pesados. Após realizar o processo de compactação e nivelamento, será despejado blocos ao entorno da crista da barragem, este processo é conhecido como enrocamento (MACHADO, 2017).

Figura 6 - Mineração Apoena MT. (APOENA, 2013).



O método de alteamento de barragem a jusante, por não necessitar do material de rejeito diretamente, pode ser construído de forma mais rápida e suporta 30% maior capacidade de rejeitos gerados pela mineração. O método de jusante foi estipulado por lei no estado de Minas Gerais em 2015 que este método deveria ser utilizado. Neste sentido, por ser o método mais seguro e único e autorizado para novas construções, as barragens antigas do método de montante deverão passar por vistorias e monitoramentos constantemente para evitar inícios de patologias (MACHADO, 2017).

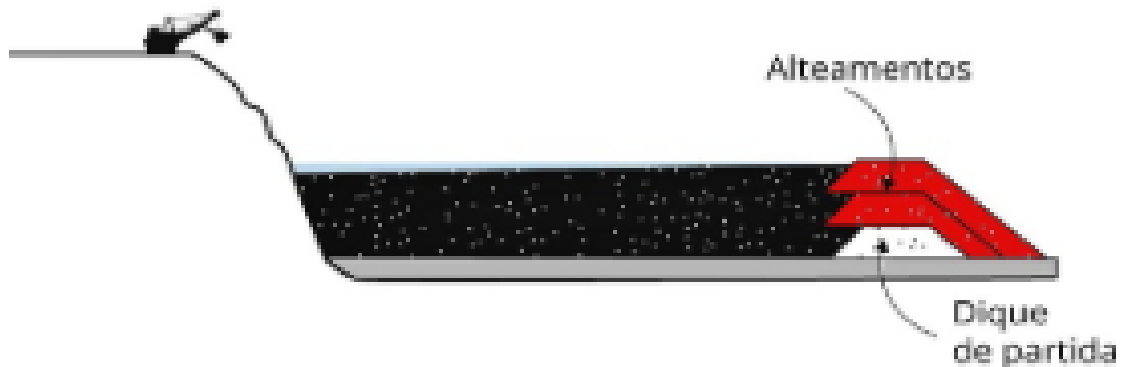
Os rejeitos de mineração, por não possuir valor econômico serão descartados nas barragens de rejeito em locais minuciosamente planejados e que o custo de seu transporte seja por gravidade, onde seu transporte é viável e barato (BRASIL, 2012).

2.3 BARRAGEM DE LINHA DE CENTRO

A barragem de linha de centro, é o modelo menos utilizado no mundo, porém seu método é mais eficaz que o de barragem a montante. Ela não requer um volume de rejeito em grande escala, sua construção se assemelha as de jusante e montante onde seu ponto de partida também se inicia de um dique. Os rejeitos são lançados a partir na crista do dique inicial. Caso necessitem de um alteamento da barragem por linha de centro, os novos diques serão construídos pelos próprios rejeitos presentes

na barragem é por solo de empréstimo de outras áreas, ao centro da barragem e formada ilhas onde irá receber todo o rejeito. O rejeito ao tocar na ilha irá se espalhar com a mesma simetria para todos os lados (COSTA, 2012).

Figura 7 - Método construtivo de barragem por linha de centro (ARAÚJO,2006)



Entretanto, o método de linha de centro tem a vantagem de ser a maneira mais facilitada de sua construção, ela se ajusta e permite que sua função se adeque a superfície do talude da jusante com a cobertura vegetal ao longo de sua crista e da drenagem superficial em relação ao nivelamento da lamina de água. (MACHADO, 2012).

Figura 8 - Mineração Vale do Rio Doce PA. (VALE, 2017).



3 PATOLOGIAS E FORMAS DE MONITORAMENTO DE BARRAGENS DE REJEITO

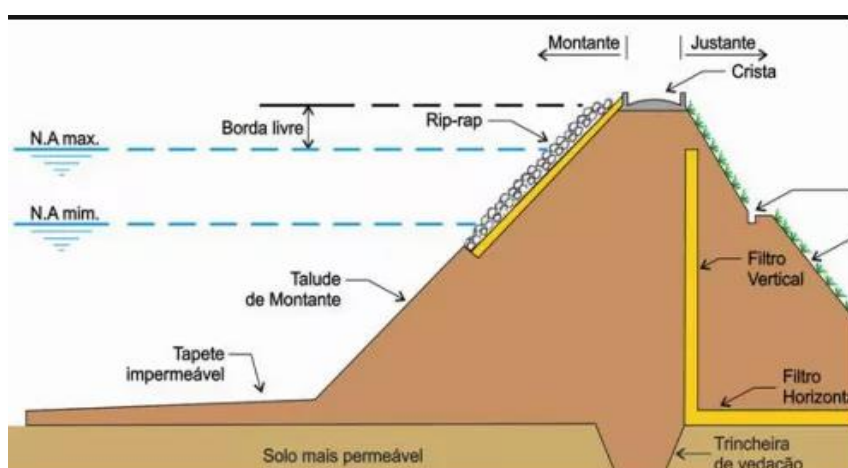
Segundo Machado (2017), o instrumento de medições utilizados no monitoramento de barragens tem o intuito de reduzir ou eliminar os riscos de rompimento de uma barragem, pois todas as obras de grande porte ao longo dos anos apresentam sinais de alguma anormalidade que futuramente pode se tornar em problemas irreversíveis.

Contudo, apenas os instrumentos de tecnologias avançadas não são as ferramentas mais eficazes no monitoramento. Todas as barragens de rejeito devem ter acesso para pessoas e equipamentos que auxiliem no monitoramento visual, pois em dias secos é possível observar manchas de umidade nos taludes, que ocorrem devido a infiltração e partículas de água. Este fato ocasiona o assoreamento e percolação de água, causando grandes patologias na barragem (BRASIL, 2002).

Em barragens de rejeito, as inspeções devem ser realizadas em períodos de intervalos curtos pelo menos duas vezes por semana. Algumas patologias que ocorrem em barragens irão depender do estado de deformação, onde os danos aceleram o potencial de rompimento (MACHADO, 2017).

As barragens de rejeitos devido ações de uso, clima e tensões, estão diariamente sujeitas a deformações. Podendo ocorrer em dois tipos: a externa que é caracterizada por deslocamento de toda a estrutura e a interna que se caracteriza apenas em uma deformação (BORGES, 2019).

Figura 9 - Perfil barragem de Terra (PINHEIRO, 2019).



De acordo com Costa (2012), as erosões causadas na obra de barragem de rejeito quando a raiz for águas de chuvas são chamadas de erosão pluvial, geralmente ocasionada por chuvas torrenciais e com compactação de má qualidade. Dentre as formas de patologias mais comuns em barragens são o entupimento de drenos, que são dispositivos internos nos taludes que recebem parte da água infiltrada no interior do talude, e o expulsa para fora, evitando a infiltração de parte da barragem. Em situações de entupimento do dreno, ocasiona a fadiga e o abalamento da barragem ocasionando o seu rompimento.

Contudo, para evitar essas patologias mais presentes, são utilizados instrumentos de medições, com funções diretamente direcionada para alarmes de patologias (SILVEIRA, 2003), tais como:

- a- Medição de recalque: são sensores que transmite em tempo real o nível da barragem e se existe algum desnível em velocidade considerada diferente do normal;
- b- Extensômetros múltiplos: são sensores instalados em profundidade na vertical, semelhantes aos sensores de recalque, que consegue detectar a variação de pressão;
- c- Marcos Superficiais: podem ser medidos através de nivelamento topográfico ao longo da crista da barragem;
- d- Pêndulos Diretos: são pêndulos nivelados em dois pontos do nível da lamina d'água, porém são usados apenas no período de alteamento das barragens.

Figura 10 - Patologia do percolamento de água (PINHEIRO, 2019).



Em toda obra projetada sempre irá ocorrer um risco eminente de deformação de sua estrutura, em barragem de rejeito não é diferente, podendo ocorrer movimento em grande escala de massa. Isso irá acarretar a modificação da geometria interna quando a obra é submetida à aplicação de grandes esforços. No caso de barragens de rejeito que são constituídas por materiais moles e compactados essa deformação da estrutura, irá desencadear ao longo dos anos e jamais imediatamente após a aplicação de esforços no carregamento (MACHADO,2017).

O setor de mineração deve se atentar da importância da prevenção de sinistros, para que seu próprio empreendimento seja mais sustentável, as grandes empresas usam métodos e toda normais possíveis de segurança. Em contrapartida em empresas de pequeno e médio porte a prevenção e o monitoramento constante ainda necessita ser intensificado (AGUIAR, 2011).

Por fim, todos os processos em relação ao sistema de barragens de rejeitos, devem possuir um fluxograma ou um programa de monitoramento das obras, os monitoramentos devem ser realizados desde o início de sua construção até o final de sua vida útil, e principalmente em seu período de alteamento (SILVEIRA, 2013).

4 TÉCNICAS DE COMPACTAÇÃO EM SOLOS SILTOSOS, ARGILOSOS E ARENOSO

A compactação do solo e a redução de espaços vazios presente em sua estrutura, irão melhorar a plasticidade, resistência e impermeabilidade, este processo faz com que o solo seja homogêneo. Essa operação é conhecida como aumento específico do peso do solo. Toda via para completar os espaços vazios é necessária a adição de mais materiais empoados, geralmente são argila, silte e material arenoso (MACHADO, 2017).

Durante o processo de compactação dos solos, o teor de umidade do solo tende a se manter constante e uniforme sendo o diferencial para uma boa compactação do solo. Em barragens de rejeito o processo não é diferente, são utilizados equipamentos pesados como tratores, retroescavadeira, motoniveladora, rolos compressores para que sua compactação seja eficaz, porém não só material fino e composta a barragem de rejeito, e necessário material de granulometria relativamente grosseiras denominado de enrocamento que agrupado aos solos finos transforma em uma estrutura sólida e firme (SILVEIRA, 2013).

A geologia e a hidrografia e o divisor de águas na construção de barragens de rejeitos o grande divisor de águas, com os dados topográficos e mapas da região pode-se determinar a área por planimétrica, entre as características físicas para a determinada área a ser construída uma barragem está o levantamento do sistema de drenagem e o tipo de material a ser utilizado na sua construção, em muitos casos, necessita de grandes áreas de material siltoso e argiloso (CAMPOS, 2019).

Figura 11 - Compactação de solo jusante (COSTA, 2012)



Segundo Conama (2011) todas as obras que utilizam matéria prima como argila e silte, necessitam de um grande deposito onde são retirados a matéria de estoque e transportado para outra área. Geralmente por maquinas pesadas esses depósitos devem ser próximos as obras de barragem para evitar a redução de custos. Porém a o material pode estar em áreas protegidas e que envolve licenciamento de proprietários para a retirada deste material.

Todo material retirado de deposito, a área degradada dever ser reflorestada afim de minimizar os danos causados pelo impacto ambiental (SILVEIRA, 2013).

4.1 SOLO SILTOSO

O silte está entre a família da areia e argila e conhecido como o primo pobre, ele e um pó semelhante a argila, porém sua coesão a capacidade de reter fluidos líquidos e muito apreciável no meio de compactação de solos, sua plasticidade a maneira de se deformar e compactar quando umidificada e muito notória, o silte trabalhado a seco por um material muito fino gera muita poeira e muito úmido muda sua característica para lama ou barro (BRASIL, 2002).

De acordo com a associação brasileira de normas técnicas, a NBR6502 (2012) define solo siltoso como baixa plasticidade ou nenhuma que trabalhado a seco e evidente exhibe baixa resistência. O silte não se agrega com facilidade como a argila sua prima rica, ao mesmo tempo suas partículas são muito finas, o silte e gerado pela pressão e cisalhamento de rochas no mecanismo de rochas, isso ocorre por erosão causadas pela ação dos ventos, deslocamento de agua e em grandes altitudes por ações de geleiras (COSTA, 2012).

Devido sua característica, o silte nunca pode ser usado sem a adição de outros solos, geralmente são agregados a argila e material arenoso, porém ele e uma importante liga para a construção de uma barragem, locais onde são encontrados silte, não é aconselhável realizar o desenvolvimento de grandes projetos, por não haver estabilidade necessária para suportar o peso das obras (CRUZ, 2004).

4.2 SOLO ARGILOSO

Dentre todos os tipos de solos, este é o mais predominante no Brasil, o solo argiloso tem grande porcentagem na economia nacional. Por ser a matéria prima principal de materiais importantes na construção civil como tijolos, telhas e cerâmicas. Semelhante a granulometria do silte as argilas possuem partículas muito finas, e um solo que sofre o processo completo de intemperismo. Ele é considerado um solo velho, isso significa que um dia sua estrutura estava no estado de rocha e transformou em um pó fino (COSTA, 2012).

As partículas de argila têm a propriedade muito bem vista na construção de barragens devido suas partículas se agruparem muito bem entre si, este processo é conhecido como ligação molecular. Por este motivo a argila é considerada um material consistente e que é procurado para estruturas de várias obras de grande porte (BRASIL, 2002).

Devido estas características o solo argiloso é considerado o mais seguro dentre os solos para a construção civil, sua forma física geralmente um solo avermelhado composto por óxido de ferro, sua plasticidade quando úmida e de excelente deformação e sua impermeabilidade de fluidos são muito eficazes, principalmente na construção de barragem de contenção (MATOS APUD SILVA, 2000).

O solo encontrado na natureza em temporada de chuvas serve de esponja na sucção da água levando diretamente para os lençóis freáticos devido suas partículas finas e em temporadas de seca, sua crosta se encontra dura, porém abaixo de sua superfície encontrasse um solo fino e com baixa umidade, porém não é um solo aconselhável para o desenvolvimento da vegetação.

4.3 SOLO ARENOSO

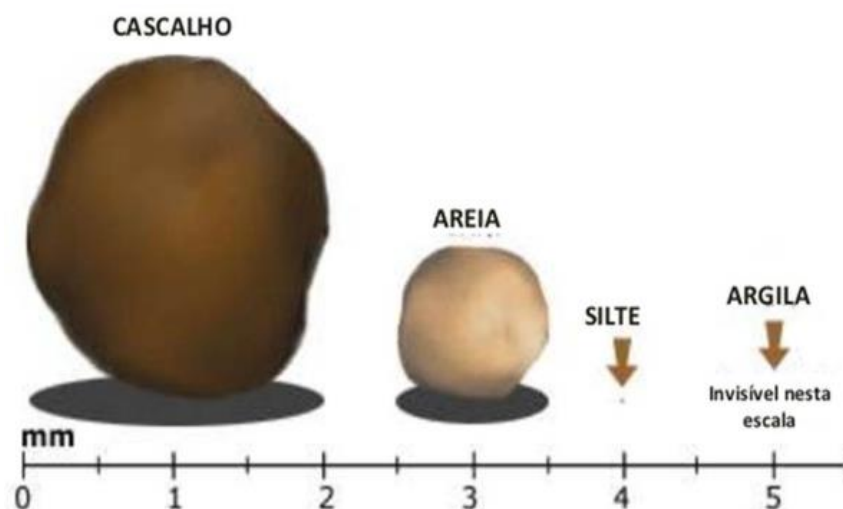
São solos em que a areia é predominante, são constituídos de grãos grandes, médios e finos, visível a olho nu. O solo arenoso diferente do silte e argila não tem coesão, ou seja, os seus grãos são separados com facilidade por peneiramento. O solo arenoso quando úmido ganha uma propriedade temporária de

coesão, suas partículas se agrupam e tonam o terreno estável, a exemplos castelos de areia, quanto úmido recebe temporariamente a facilidade de compactação. Porém quando seca de desmorona com facilidade (COSTA, 2012).

Contudo, este solo em épocas de chuva não gera lama e em épocas de seca não gera poeira, isso porque seus grãos são relativamente pesados e não se locomovem com facilidade (COSTA, 2012).

Por fim, o solo arenoso e um importante componente na liga juntamente ao silte e argila na compactação de obras de grande proporção, porém não muito utilizados em barragens de rejeito. Ele e mais utilizado em drenos no núcleo das barragens de ligação da crista até o pé da barragem, este solo tem a facilidade de percolação de água. Evitando aparecimentos de patologias nas estruturas da barragem com o fenômeno denominado de piping, que é a maior causa de rompimento de barragem (MACHADO, 2017).

Figura 12 - solo siltoso, arenoso e argiloso (CORREIA, 2018).



5 GERENCIAMENTO DE RISCOS DE BARRAGENS DE REJEITO

As barragens de rejeito de mineração, são consideradas grandes obras da engenharia civil com um risco de falhas elevado, em todo os projetos de barragens estas falhas devem ser levantadas e avaliadas, este conceito também é valido para barragens que já estão em uso ou finalizou o seu tempo de vida útil (BARROS,2016).

Portanto estes cuidados tem um principal foco, proteger a população e áreas onde um possível rompimento irá afetar as vidas e degradar o meio ambiente (COSTA, 2012).

Contudo, nesta década no país, especificamente no estado de Minas Gerais, duas grandes tragédias humanas e ambientais aconteceram envolvendo barragens de rejeito, onde os erros de monitoramento de projetos que ceifaram vidas e destruíram rios, nascentes, florestas e a economia de uma região (BARROS,2016).

Entretanto a segurança de barragens é de responsabilidade de todo engenheiro civil, deve ser tratado como o objetivo principal do projeto, desde o seu início de obras até o monitoramento. Mesmo com cuidados e seguindo normas, toda estrutura pode apresentar falhas no decorrer do tempo, que podem ser controladas e eliminadas com avaliações da estrutura de forma continua (PRUSKI, 2000).

Segundo COSTA (2012) por mais precisas que as monitorias e inspeções sejam realizadas, elas não são suficientes para garantir um possível não rompimento da estrutura, a Defesa Civil tem como base a classificação de desastres de barragens agentes causadores primários, são destacados três aspectos:

- a. Natureza que depende de ações naturais para os abalos.
- b. Humanos provocados por erros e omissões de responsabilidades.
- c. Mistos quando se intercalam entre erros naturais e humano.

No entanto, no recente passado nacional, a cultura de evacuação em caso de rompimento era nula ou mínima, a população utilizava apenas os conhecimentos empíricos, em situações de cheias próximos de rios e grandes centros urbanos, através da captação do curso natural d'água (CRUZ, 2004).

Dessa forma, nem sempre as medidas eliminariam os riscos de desastres por alagamentos, a população passou aderir sistemas de alerta de possíveis deslocamento de massa ou água com forma de gerenciamento de risco, principalmente em áreas com riscos para a população que vivem em áreas mais baixa.

5.1 GERENCIAMENTO DE RISCO E EMERGÊNCIA

O gerenciamento de risco, engloba quanto para cheias por chuvas quanto por rompimento de barragens de rejeito, estes riscos podem ser divididos em três fases, antes, durante e depois após a emergência, conhecido como fases da mitigação sendo a preparação e prevenção (YOUNG, 2019).

Segundo VIANNA (2015) a mitigação é a primeira fase antes da emergência, ela garante procedimentos da preservação e preparação, e irá depender do estado de prontidão dos envolvidos para atuarem em um rompimento de barragem.

E notório que inspeções e monitoramentos constante por empresas responsáveis por barragens de rejeitos, reduz a proporção de acidentes com erros humanos, reforços de barragens é obras para aumentar a capacidade de carga, devem ser monitoradas com frequência maior, devido a estrutura poder sofrer abalos por algum processo de compactação ou vibração da barragem (BARROS,2016).

Portanto equipamentos e sensores devem ser distribuídos por toda estrutura, que permitem detectar qualquer tremor ou deslocamento de massa em tempo hábil para uma possível evacuação ou medidas emergências eliminando um provável rompimento (COSTA, 2012).

Todavia as empresas responsáveis por barragens que estão localizadas em áreas de risco, devem se atentar a vulnerabilidade da população, dispositivo sonoro e visual deverá indicar por toda área de risco, pontos de segurança e rotas para que não corram riscos de acidente devido ao rompimento de barragem (MATOS, 2015).

Por fim, o gerenciamento de risco consiste na implantação do plano de segurança, que tem como fundamento identificar e eliminar ações que ofereça riscos a população, medidas como promoção da reabilitação da estruturais irá reduzir riscos eminentes e vida útil da estrutura da barragem por mais tempo (VIANNA, 2015).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como visto em estudos, as técnicas de construção e manutenção de barragens de rejeito foram de vasto conhecimento para formação de novos engenheiros civis, visando a segurança das pessoas que vivem próximo as essas estruturas.

Os sistemas de drenagem que são agregados a outros materiais finos, são eficazes devido a percolação da água passante aliviar a pressão no maciço da barragem, evitando que materiais finos se desloque e crie caminhos para desestabilização da barragem, apenas a água poderá ir pelos drenos.

Evidente, que drenos com dispositivos e sensores de movimento de massa, são muitos úteis no monitoramento, grandes barragens possuem este sistema, sua principal função é transmitir em tempo real qualquer movimentação ou vibração diferente na barragem, com os dados as empresas irão realizar medidas para evitar possíveis sinistros dependendo do grau de deslocamento.

Em um esporádico rompimento, a sociedade em geral irá sofrer com impactos diretos na economia, social, socioeconômico, mental, ambiental, fauna, flora, desaceleração de regeneração da natureza e em casos com de Brumadinho afetando culturas indígenas que retiravam o seu sustento do Rio Paraopeba.

O presente estudo demonstra que os projetos e monitoramentos de barragens na construção civil, está entre as atividades que mais preocupa a população por insegurança de um possível acidente, nenhuma estrutura se danifica em períodos curto de tempo, todas apresentam patologia e sinais que podem ocasionar um risco, em barragens a infiltração e assoreamento da crista por percursos de água de chuva, são danos que devem ser eliminados imediatamente, uma pequeno percurso de água irá acarretar o deslocamento de massa como as barragens de Mariana e Brumadinho.

Portanto o estudo realizado demonstrou que existem ainda muitos problemas a serem sanados em relação a sustentabilidade das barragens, porém existem muitas soluções que se seguidas conforme o projeto, podem evitar problemas que possam vir a ocasionar um esporádico rompimento, o avanço da tecnologia em monitoramento é um grande auxiliar na manutenção e preservação da estabilidade das barragens, onde a população devidamente estruídas sobre a composição e tipos

de monitoramento e sistemas de evacuação, poderá conviver ao lado destas obras sem o receio de um rompimento inesperado.

REFERÊNCIAS

ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, **Fiscalização e Consumo de Recursos Hídricos em Barragens.** Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/@@busca?SearchableText=BARRAGENS>. Acesso em 08 Fev. 2019

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13028, Projeto de Barragens para Disposição de Rejeitos** – Procedimento. Rio de Janeiro, 13 de mar de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004/2004, Política Nacional de Segurança de Barragens** – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

BATISTA, A. J. **Indicadores ambientais na pesquisa mineral.** Termo de Referência n. 120508 do Projeto BRA/01/039 – PNUD, 2006.

COSTA, Walter Duarte; **Geologia de barragens.** - São Paulo: Oficina de textos, 2012.

CRUZ, Paulo Teixeira da; **100 barragens brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projeto.** – São Paulo: Oficina de textos, 1996.

CETEM. **Valorização da Extração Mineral, em relação ao crescimento do PIB.** Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br>. Acesso 10 Jan. 2019.

DNPM, DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS E HÍDRICOS, **Projetos e Modelos de Barragens a Montante, Jusante e Linha de Centro,** Disponível em: www.dnpm.gov.br. 15 Fev.2019.

LOPES, Jose Dermerval Saraiva; **Pequenas barragens de terra- planejamento, dimensionamento e construção.** – Viçosa: Aprenda Fácil,2017.

MACHADO, William Gladstone de Freitas; **Monitoramento de Barragens de Contenção de Rejeitos da Mineração.** Mauritius: Novas Edições Acadêmicas, 2017.

MATOS, Antonio Teixeira de; **Barragens de terra de pequeno porte.** Demetrius David da Silva, Fernando Falco Pruski. – Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012.

SILVEIRA, João Francisco Alves; **Instrumentos e comportamento de fundações de barragens de concreto.** – São Paulo : Oficina de textos, 2003.

PACHECO, D., ROVERE, L., LORIGGIO, D.D., WATZKO, A. & STRAMANDINOLI, J.S.B.(2003) - **Modelagem de Barragens de Enrocamento com Face de Concreto.** V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, São Paulo, 2003.

RIBEIRO, V. Q. F. **Proposta de metodologia para avaliação dos efeitos de rupturas de estruturas de disposição de rejeitos.** Belo Horizonte, 267 p. Dissertação de Mestrado - UFMG, 2015.

VEIGA PINTO, A.A. (1979) - **Características de Resistência e Deformabilidade dos Materiais de Enrocamento**, Geotécnica No . 27, pp.3-41, 1979.