

FACULDADE EVANGÉLICA DE JARAGUÁ
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

BRENDON CORRÊA E SILVA
ROMÁRIO LUCAS OLIVEIRA

**USO E APLICAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS VISANDO A SEGURANÇA
DE BARRAGENS**

Jaraguá - 2019

BRENDON CORRÊA E SILVA

ROMÁRIO LUCAS OLIVEIRA

**USO E APLICAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS VISANDO A SEGURANÇA
DE BARRAGENS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia Civil da Faculdade Evangélica de Jaraguá, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador(a):

Prof. Dr. Milton Gonçalves da Silva Junior

Jaraguá - 2019

BRENDON CORRÊA E SILVA

ROMÁRIO LUCAS OLIVEIRA

**USO E APLICAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS VISANDO A SEGURANÇA
DE BARRAGENS**

Trabalho de Conclusão de Curso DEFENDIDO e APROVADO em ____ de _____ de
2019, pela Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil, constituída pelos membros:

Prof. Dr. Milton Gonçalves da Silva Junior

- Orientador -

Prof. Esp. Rafael Gonçalves Fagundes Pereira

- Membro Interno -

Prof. Esp. Thalita Lopes Trindade

- Membro Interno -

SUMÁRIO

RESUMO	4
1 INTRODUÇÃO	5
2 MATERIAL E MÉTODOS	6
2.1 Coleta de dados	6
2.2 Análise dos dados	7
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	7
4 CONCLUSÃO	28
REFERÊNCIAS	29

USO E APLICAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS VISANDO A SEGURANÇA DE BARRAGENS

Brendon Corrêa E Silva ¹
Romário Lucas Oliveira ²
Milton Gonçalves da Silva Junior ³

RESUMO

Existem no Brasil diversos tipos de barragens, de diversas dimensões e destinadas a diferentes usos, tais como barragens para acumulação de água, geração de energia, aterros, barragens de contenção de rejeitos de mineração, entre outros. O assunto barragem de rejeitos vem merecendo grande atenção, devido a seu potencial danoso em caso de falhas. Este estudo teve como objetivo demonstrar os métodos construtivos de barragens e propor o uso de tecnologias visando a segurança de barragens. Logo a coleta de dados foi realizada por pesquisa bibliográfica, os dados secundários foram obtidos por meio da busca em bancos de dados, revisões literárias em artigos e revistas especializadas na construção de barragens. Após ser feita a análise dos métodos construtivos de maneira minuciosa, os resultados demonstraram que o grande número de acidentes causados especificamente por rompimento de barragens de rejeito, são devidas há falhas no gerenciamento de riscos, que se inicia na escolha do método construtivo, e passa também por falhas de gestão de riscos de rotinas de inspeção e instrumentação de barragens de rejeito, ocasionando acidentes com consequências socioambientais catastróficas. Contudo, concluiu-se que o principal fator causador de acidentes não são apenas o método construtivo em si, mas sim a falta de manutenção, e é possível sim obter estruturas seguras feitas com métodos construtivos que sejam mais antigos e tenham maior risco de falhas, porém é necessário tomar um maior cuidado e requer maior observação, sendo importante um maior planejamento, controle de riscos e manutenção adequada, ressaltando que as tecnologias são fundamentais tanto para a execução, quanto para o monitoramento, e principalmente na sua segurança.

Palavras-chave: Barragens; segurança; tecnologias.

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Civil – Faculdade Evangélica de Jaraguá. E-mail: brendon220@gmail.com

² Acadêmico do curso de Engenharia Civil – Faculdade Evangélica de Jaraguá. E-mail: Romariolucas2012@hotmail.com

³ Professor, titulação, orientador do curso de Engenharia Civil – Faculdade Evangélica de Jaraguá. E-mail: professormiltonjunior@outlook.com

1 INTRODUÇÃO

Desde o começo da civilização, as barragens foram fundamentais para o desenvolvimento da espécie humana. Sua construção foi projetada principalmente para combater a escassez de água na estação seca. Devido a Revolução Industrial, mais e mais barragens tiveram de ser construídas, o que possibilitou a melhoria progressiva das técnicas de projeto e construção. No entanto, surgiram as primeiras barragens de aterro modernas e as barragens de concreto.

No Brasil o marco da construção de barragens iniciou em 1880, após a Grande Seca no Nordeste, quando o imperador Dom Pedro II nomeou uma comissão para solucionar o problema das secas, sendo uma dessas soluções a construção de barragens de armazenamento de água. A barragem de armazenamento chamada Cedros foi a primeira a ser concluída em 1906, no Ceará (MELLO, 2011). Após ela, várias outras foram construídas, especialmente nos anos 1950 e 1960. Atualmente o Brasil é um país com mais de 24 mil barragens registradas pela Agência Nacional das Águas (ANA), também é considerado um dos maiores produtores de minério do Mundo. Estima-se que desse total de barragens, cerca de 790 são barragens para contenção de rejeitos de minério.

De acordo com a ANA (2017), se observadas de perto, das 790 barragens de contenção de rejeitos de mineração, 204 têm potencialidade de dano alto. O minério extraído solo precisa passar por um processo de separação de impurezas para aumentar o valor comercial e, para isso, normalmente usa-se água e substâncias químicas. Contudo, independentemente do tipo de mineral extraído, as empresas de mineração que utilizam barragens de rejeito estão sujeitas a causar impactos socioambientais de grandes proporções. O histórico de acidentes mostra que o rompimento de barragens de rejeito de minério, vem crescendo ao longo dos últimos anos, acarretando tragédias ambientais e a humanidade.

Deve ser feito o controle do risco de uma barragem desde o início de sua construção, onde um bom controle se dá em suas etapas de planejamento, juntamente com os métodos utilizados na construção da barragem. A maioria das falhas em barragens ocorre devido à aplicação de métodos inadequados, construção desprovida de supervisão adequada ou negligência em respeito a questões vitais incorporadas a certos estágios da construção (PENMAN, 2000).

Quanto aos métodos de alteamento das barragens construídas com rejeitos, existem três tipos principais, denominados de método da linha à montante, a linha à jusante e a linha central, denominações resultantes do deslocamento que o eixo da barragem apresenta durante seu alteamento. De maneira geral, qual seja o método construtivo escolhido, as barragens de contenção de rejeitos são alteadas sucessivamente com rejeitos de mineração, sendo a estrutura do barramento iniciada com uma barragem piloto ou dique de partida, constituído na maioria das vezes de solo argiloso compactado (CASTRO, 2008).

O método à montante foi um dos primeiros a surgirem no mundo, sendo o mais antigo, e o método mais simples e barato. Esse método é o mais vulnerável, devido a sua forma de construção, sendo normalmente utilizado material argiloso, assim após feito um dique de partida, o rejeito é lançado em direção ao montante da linha de centro do dique, formando uma camada que será usada para fazer o próximo alteamento. Embora este seja o mais utilizado pela maioria das mineradoras, o método construtivo à montante tem um controle construtivo fraco, que se torna crítico, principalmente no que diz respeito à segurança (DIAS, ET AL., 2016).

O método de alteamento para jusante consiste de construção e alteamento do barramento sempre à jusante. É a mais cara, mas considerada a mais segura, tem por primeira etapa a construção de um dique de partida, feito em solos compactados, sendo aumentado sua dimensão de construção aos poucos de baixo para cima, fazendo com que sua área construída seja maior, porém mais segura devido ao seu alto índice de compactação e por não ser feita em cima de

rejeitos. Passos (2009), observa que as vantagens do método à jusante residem na sua resistência a cargas dinâmicas, uma vez que planeja a construção sem comprometer a segurança, facilitando a drenagem, possui baixa suscetibilidade à liquefação e simplicidade de operação.

O método construtivo na linha de centro se caracteriza por ser o intermediário em relação aos outros métodos citados acima. Segundo Assis e Espósito (1995), o comportamento geotécnico do método de linha de centro se assemelha mais a barragens alteadas para jusante, constituindo uma variação deste método, onde o alteamento da crista é realizado de forma vertical, sendo o eixo vertical dos alteamentos coincidente com o eixo do dique de partida.

O método da linha de centro é um método intermediário que tenta minimizar as desvantagens entre o método de montante e o de jusante (PASSOS, 2009). Sem dúvida, é necessário prever a escolha do método mais apropriado e, acima de tudo, investir na manutenção das estruturas dessas barragens. No caso de um rompimento, é necessário ter um centro de monitoramento com soluções de vídeo integradas, sirenes e sistemas de evacuação por voz, tudo em um único projeto para melhorar a eficiência dos procedimentos. Tecnologias devem ser sempre implantadas para ajudar no controle de riscos, nesse sentido, o mercado já possui algumas tecnologias que atendem a esse tipo de demanda, como é o caso do sistema integrado de evacuação de barragens desenvolvido pela Bosch. Ao utilizar essas tecnologias, é possível atenuar o risco de outros desastres sociais e ambientais, como o de Mariana (ABDU, 2016).

O trabalho teve como objetivos demonstrar os tipos de sistema/métodos construtivos de barragens; averiguar a segurança das barragens e dos sistemas/métodos construtivos mais utilizados no Brasil e propor o uso de tecnologias para aprimorar a segurança de barragens.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta de dados

A pesquisa foi caracterizada como descritiva, porque foi realizada sobre a realidade dos métodos construtivos tendo por objetivo a segurança de barragens. A pesquisa descritiva exige do investigador uma série de informações sobre o que deseja pesquisar. Esse tipo de estudo pretende descrever os fatos e fenômenos de determinada realidade (TRIVIÑOS, 1987).

Logo, foi utilizado o procedimento de pesquisa bibliográfica que é uma etapa fundamental que influenciará em todas as etapas deste trabalho, através dessa busca foi levantada informações sobre os sistemas que são utilizados para a segurança de barragens, verificando a eficácia de seu planejamento e execução afim de evitar possíveis tragédias. A pesquisa bibliográfica se caracteriza pela explicação dos problemas através das referências teóricas publicadas em fontes bibliográficas.

Portanto as informações necessárias para o desenvolvimento desse trabalho foram obtidas pela coleta de dados secundários. Os dados secundários foram obtidos por meio da busca em bancos de dados, revisões literárias em artigos e revistas especializadas na construção de barragens, com o intuito de reunir o maior número de informações e dados possíveis sobre o tema segurança de barragens. Posteriormente, através de leitura criteriosa dos trabalhos encontrados que abordam o tema proposto, foram reunido um grande número de informações detalhadas que serviram de base para a análise das informações e alcance dos objetivos propostos.

2.2 Análise dos dados

Atualmente existem vários tipos de métodos/sistemas construtivos de barragens, nessa pesquisa foram analisados diversos métodos/sistemas tendo em vista seu uso e aplicação em obras do Brasil. A análise foi realizada por abordagem qualitativa afim de identificar problemas, compreender seu uso e aplicação, fornecendo informações a respeito dos objetivos propostos na pesquisa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tipos de sistema/métodos construtivos de barragens

As barragens são construídas de maneira natural ou artificial, sobre córregos, rios ou canais, elas são usadas principalmente para abastecimento de água, controle da qualidade e retenção do fluxo da água, irrigação, recreação e paisagismo, garantia mínima de vazão à jusante, agricultura, geração de energia elétrica e controle de resíduos. Mesmo feitas para exercerem diversas funções, as barragens possuem algumas finalidades únicas que variam bastante. Essas finalidades são definidas através de sua forma construtiva e do material utilizado em seu corpo principal (CARDOZO, ET AL., 2016).

Cada barragem deve ser classificada de acordo com as consequências de sua ruptura. A classificação constitui a base para a análise da segurança da barragem e para fixar níveis apropriados de atividades de inspeção (STEPHENS, 2011). A segurança das barragens deve ser perseguida desde o início do projeto. A concepção geral do projeto, a organização e o dimensionamento das estruturas, são fundamentais para o sucesso do empreendimento, pois erros ou estudos insuficientes podem levar a consequências graves.

Os estudos geológicos/geotécnicos são fundamentais para a escolha do tipo de barragem no que se refere às fundações e aos materiais de construção. As tecnologias e conhecimentos para construção de barragens evoluíram e deram origem a dois grupos distintos: barragens convencionais, que são mais utilizadas e cujo mecanismo é objeto de pesquisas, e não convencionais, que inclui barragens que são pouco utilizadas (COSTA, 2012).

Barragens Convencionais

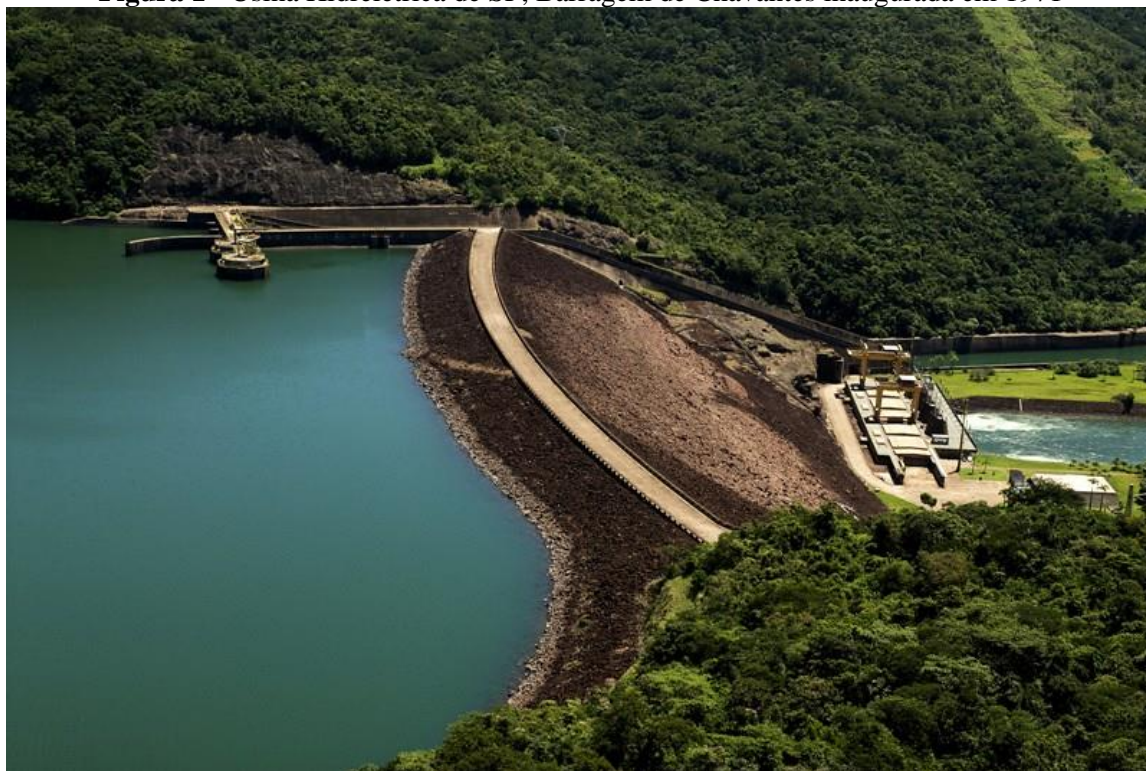
Barragem de terra

Desde o início das civilizações, as barragens de terra eram construídas para fins de retenção de água para irrigação, sendo algumas de tamanho considerável, como por exemplo, uma construída no Ceilão no ano 504 a.C., com 17 km de comprimento e 21 m de altura, e contendo cerca de 15 milhões de metros cúbicos de material (MARANGON, 2004). No início das civilizações, grande parte das barragens de terra eram projetadas por métodos empíricos e a literatura de engenharia está repleta de registros de ruptura e acidentes dessas barragens.

As barragens de terra são contenções que já vinham sendo erguidas desde a antiguidade. Há registros de uma barragem com 12 m de altura, construída no Egito há cerca de 6.800 anos, que rompeu por efeitos de transbordamento (MASSAD, 2003).

A partir de 1.907, começaram a surgir os primeiros procedimentos racionais para projeto de barragens. Atualmente tais procedimentos permitem a construção de barragens de terra com mais de 150 m de altura. No Estado de São Paulo, a barragem de Chavantes no Rio Paranapanema (Figura 1), atinge 89 m de altura (MARANGON, 2004).

Figura 1 - Usina Hidrelétrica de SP, Barragem de Chavantes inaugurada em 1971



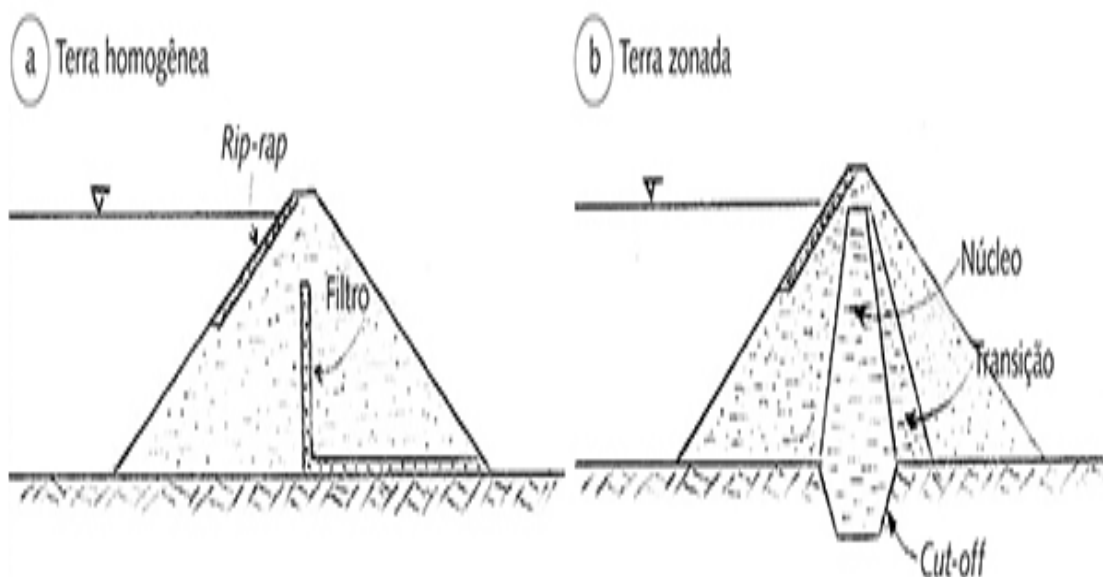
Fonte: Alonso (2012)

A barragem de terra é a mais comum no Brasil, por se ter vales muito largos e ombreiras suaves, necessitando de grandes extensões de crista, ao mesmo tempo em que se dispõe abundantemente de solo. Por não ser uma estrutura rígida estas barragens permitem ser assentes em fundações mais deformáveis, transmitindo esforços baixos para as fundações se comparadas com as outras barragens (MENDONÇA, 2012).

Para a sua construção, são adotados materiais naturais (argila, areia e silte) com um mínimo de processamento prévio. As barragens de terra podem ser homogêneas ou zoneadas. Essa definição depende do volume e da qualidade dos materiais utilizados no local, dos processos de construção a serem utilizados e dos solos que compõem as fundações da barragem. A barragem é considerada homogênea quando há predominância de um único material, embora possam ocorrer elementos diversificados, como filtros, rip-rap (COSTA, 2012).

Se no local o material não for suficiente para a construção de uma barragem homogênea, recomenda-se uma barragem com construção do tipo zoneada ou mista (Figura 2). Nesse tipo de barragem, os materiais mais permeáveis são jogados para fora da seção transversal da barragem, sendo os menos permeáveis (mais argiloso) jogado no meio e/ou à montante (MEIRELLES, 2019).

Figura 2 - Barragem de terra homogênea e barragem de terra zonada



Fonte: Costa (2012)

As barragens de terra são utilizadas em vários meios, seja ele urbano, para geração de energia elétrica, bem como no meio rural, onde a mesma se destina à irrigação de cultivos e reservas para abastecimento de propriedades rurais. Segundo Leão (2012), a utilização deste tipo de barragem se dá pela facilidade de execução e pelo custo reduzido.

Barragem de Enrocamento

As barragens de enrocamento vêm sendo construídas desde o final do século XIX e nos últimos anos têm sido frequentemente adotadas, principalmente quando se necessita de estruturas de grande altura.

É uma barragem onde são utilizados blocos de rocha de vários tamanhos para sua construção e também é utilizada uma membrana impermeável na face de montante. Seu custo de produção depende de grandes quantidades de rochas, sendo somente econômico em áreas onde o custo do concreto fosse relativamente alto ou onde houvesse escassez de materiais terrosos, e ainda excesso de rocha dura e resistente (MARANGON, 2004).

Por ser um material de elevada resistência, os taludes podem ser mais íngremes e a construção é relativamente rápida quando comparada a das barragens de terra por não exigir um controle de compactação tão restrito em termos de umidade, o que possibilita sua construção também em períodos chuvosos.

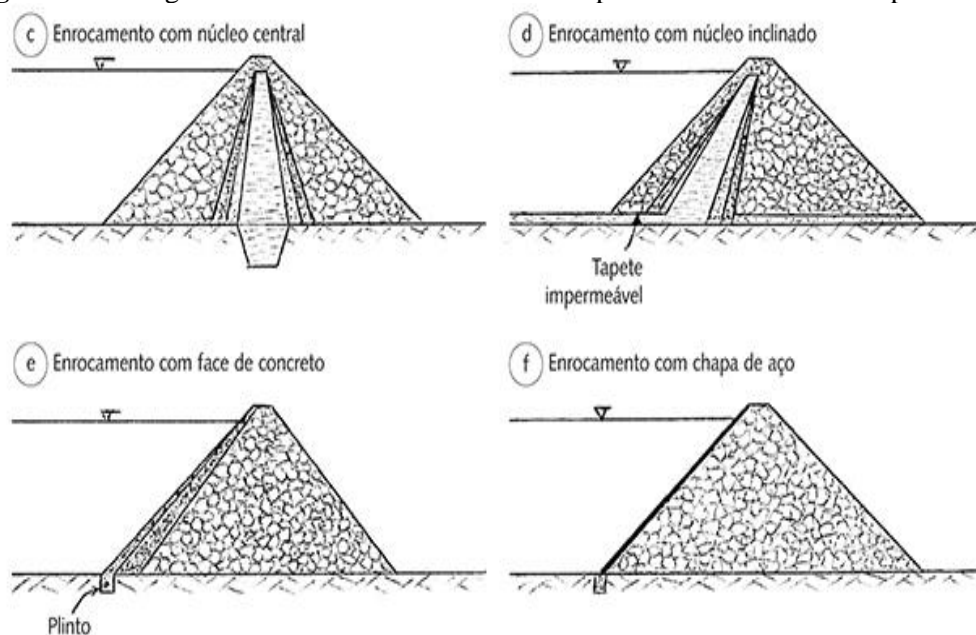
Meirelles (2019), ressalta que o local considerado adequado para a seleção de uma barragem de enrocamento deve ter as seguintes características: A disponibilidade de material rochoso suficiente. Para cada 130 m³ de rocha lançada na barragem, geralmente é necessário extrair 100 m³. As pedreiras devem preferencialmente ser mais altas que a área de construção da barragem para facilitar o manuseio do material. A possibilidade de uso direto do material, independentemente da fonte seja proveniente de escavações em fundações ou outras estruturas, ou pedreiras. A largura do vale na altura da crista da barragem deve ser mais estreita na rota do rio utilizável para reduzir o volume da barragem. As fundações e as ombreiras devem ser robustas e estanques. Deve haver facilidade para construção e acessos.

Nas barragens de enrocamento (Figura 3), o aterro é feito com fragmentos de rocha ou cascalho, compactado em camadas. Devem possuir uma zona impermeável, formada por solos e filtros de material granular.

Figura 3 - Barragem de Enrocamento

Fonte: Engwhere (2018)

As barragens de Enrocamento podem ser classificadas em: com núcleo impermeável e com face impermeável. Costa (2012), define as barragens de enrocamento como: com núcleo impermeável: na barragem de enrocamento, o material rochoso é predominante e a vedação da água, nesse caso, é feita por meio de um núcleo argiloso, separado do enrocamento por zonas de transição, para evitar o carreamento do material fino para o interior do enrocamento. O núcleo pode ficar centralizado (Figura 4. c) ou inclinado para montante (Figura 4. d). Com face impermeável: nesse tipo de barragem, a vedação da água é garantida pela impermeabilização da face à montante da barragem, seja por uma camada de asfalto, seja por uma placa de concreto (Figura 4. e), ou ainda, por uma chapa de aço (Figura 4. f).

Figura 4 - Barragem de Enrocamento com núcleo impermeável e com face impermeável

Fonte: Costa (2012)

As barragens de enrocamento mais comuns são as de núcleo interno de argila, existindo algumas com face de concreto e, mais recentemente, barragens de enrocamento com núcleo de asfalto, sendo que no Brasil existem duas barragens deste tipo: nas usinas hidrelétricas Foz do Chapecó (Figura 5), e Jirau.

A estabilidade da obra é resultante do seu peso e da sobreposição das partículas dos diferentes materiais que compõem a barragem (MEIRELLES, 2019).

Figura 5 - Barragem de Enrocamento Foz de Chapecó



Fonte: Acervo Foz do Chapecó (2019)

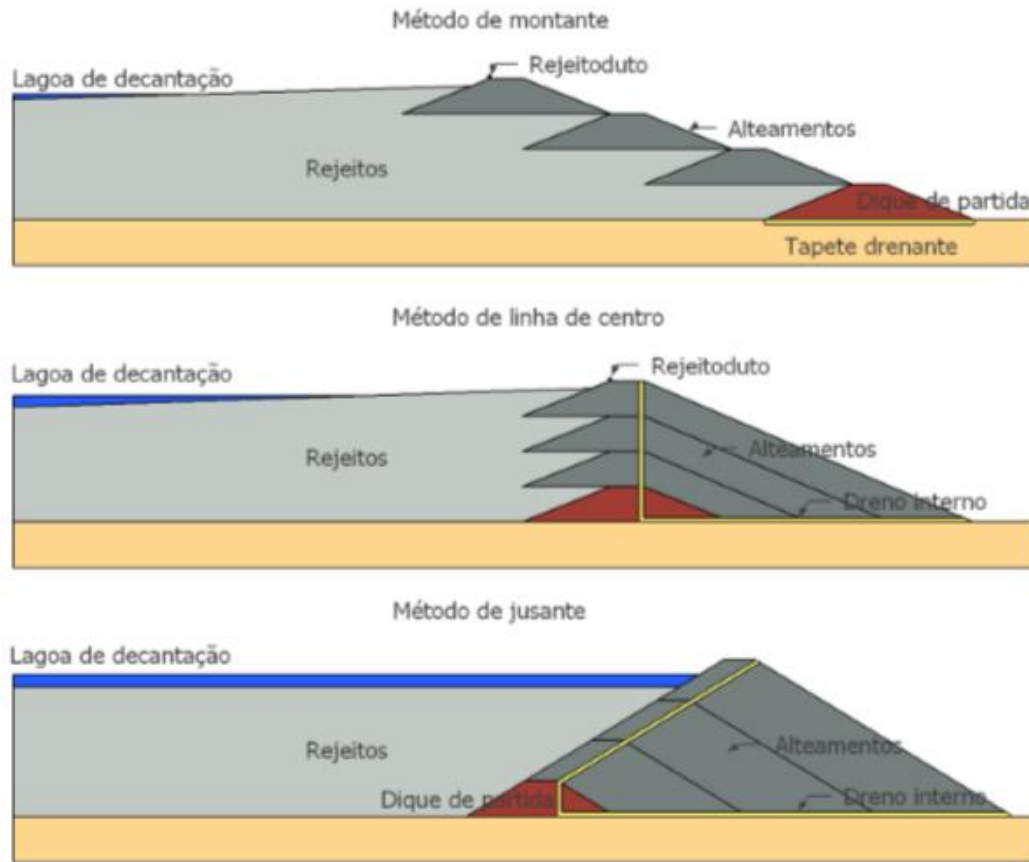
Barragem de rejeitos

Com o avanço da exploração mineral e a necessidade de conservação socioambiental relacionada com a mesma, o assunto barragem de rejeitos merece muita atenção, devido ao seu potencial prejudicial em caso de falhas.

Diferentemente das barragens convencionais, que normalmente barram água, barragens de rejeito armazenam rejeitos dos processos minerais, dá medida que são gerados rejeitos, os alteamentos são executados. As barragens de rejeitos também são reconhecidas, por causarem um impacto ambiental significativo, eventuais falhas resultam em grandes volumes de rejeitos descarregados no meio ambiente (DUARTE, 2008).

A forma mais comum para a disposição de rejeitos é construindo um dique de partida capaz de armazenar cerca de 2 a 3 anos de produção de rejeitos, e quando há a necessidade de armazenamento de mais rejeitos, são realizados os alteamentos. Os alteamentos, na maioria das vezes, são realizados a partir de três métodos construtivos distintos (Figura 6): método de montante, método de jusante e método de linha de centro, utilizando solos de áreas de empréstimo, materiais estéreis ou até mesmo o próprio rejeito (ZARDARI, 2010).

Figura 6 - Métodos construtivos de barragens de rejeitos



Fonte: Valerius (2014)

O método de montante consiste de construção e alteamento do barramento sempre à montante sobre o rejeito já consolidado. Primeiramente é feito o dique de partida, podendo ser feito de aterro compactado ou material argiloso. O dique de partida possui um controle construtivo melhor, com materiais permeáveis que permitem a drenagem de água e controlam a erosão. Quando o reservatório está quase cheio, um novo alteamento é executado sobre o rejeito à montante do dique construído anteriormente. De acordo com a necessidade, o processo se repete até a elevação final prevista, com o eixo da crista sempre se deslocando para montante (VALERIUS, 2014).

O método da linha de jusante (Figura 6), desloca o eixo de construção na direção oposta ao do lago de decantação. Nesse caso, o dique deve ser dotado de drenagem interna (filtro vertical e tapete drenante) e o talude à montante é impermeabilizado com argila ou materiais do próprio dique de partida (THOMÉ E PASSINI, 2018).

O método da linha de centro utiliza uma técnica intermediária, que uni a segurança do método para jusante com o custo e velocidade do alteamento para montante. Sendo assim, este método também permite um bom controle da drenagem interna e da compactação do aterro, o que proporciona uma boa resistência sísmica (VALERIUS, 2014).

Também é bastante comum a mineradora optar por uma variação de métodos de alteamento, combinando dois ou mais métodos (DUARTE, 2008). Geralmente esse procedimento é adotado quando não há mais espaço disponível à jusante, quando se tem disponível pouco material de construção de aterro, ou ainda quando há a necessidade de melhorar a estabilidade do barramento. Nesses casos, quando não há área disponível à jusante ou quando há pouco material de aterro disponível, é utilizado o alteamento pelo método de

montante. Quando a intenção é aumentar o fator de segurança da barragem, é utilizado o alteamento pelo método de jusante ou linha de centro.

O (Quadro 1), apresenta uma comparação realizada entre os principais métodos construtivos de barragens de rejeitos, destacando suas vantagens e desvantagens.

Quadro 1 – Resumo comparativo dos principais métodos construtivos de barragens de rejeito

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

Fonte: Cardozo, et al., (2016)

Os métodos de alteamento mais utilizados em barragens de rejeito se resumem em método à montante, à jusante e à linha de centro, sendo assim, conforme mostra o (quadro 1), cada um deles tem suas vantagens e desvantagens em relação ao seu uso e aplicação, como o tipo de rejeito a ser armazenado, descarga de rejeitos, armazenamento de água, resistência a abalos sísmicos e altura recomendada de alteamentos para cada caso.

O método à montante, por exemplo, é o método mais utilizado, devido as questões econômicas, onde possui como vantagem principal o seu baixo custo, no qual a estrutura é iniciada a partir de um dique de partida, normalmente de material argiloso o enrocamento compactado. Após a conclusão dessa estrutura inicial, é utilizada a técnica de aterro hidráulico e o próprio rejeito é lançado à montante, o que torna a estrutura com um preço inferior se comparado aos outros métodos construtivos, porém como desvantagem possui uma menor resistência.

Já o método à jusante é o método construtivo mais eficiente e que possui maior segurança, inicia-se com um dique de partida em solo compactado. A partir desta etapa iniciam-se os alteamentos em sentido jusante do dique de partida, os alteamentos são geralmente feitos com aterro compactado, e devido o maior rigor construtivo, requer um investimento financeiro superior ao método de montante, pois necessita-se de maiores volumes de material (maior relação areia/lama), necessita de grandes quantidades de rejeitos nas primeiras etapas da construção e sistema de drenagem. E também como consequência possui uma maior área ocupada, devido ao sentido de alteamento para jusante.

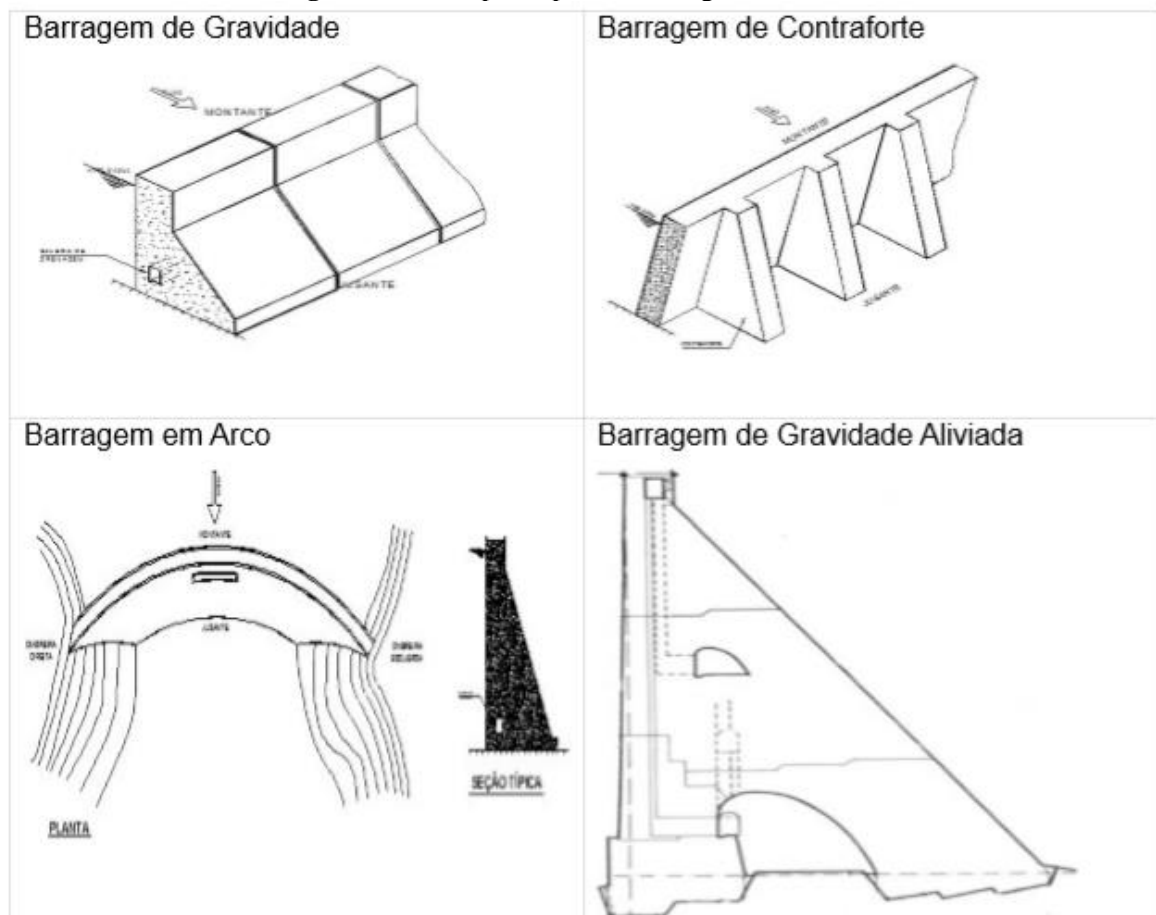
O método da linha de centro apresenta solução adequando os dois métodos anteriores, ou seja, uma solução intermediária, embora seu comportamento estrutural se aproxime do método à jusante. A barragem inicia-se por um dique de partida sendo os alteamentos executados mantendo-se inalterado o eixo da barragem, sua maior vantagem é possuir uma maior flexibilidade na sua construção.

Barragem de Concreto

Construídas normalmente utilizando como matéria prima materiais naturais (areia) e materiais produzidos artificialmente (britas), juntamente com a adição de aglomerantes como cimento, pozolanas e aditivos químicos como retardador de pega, assim é produzido o concreto utilizado na construção dessas barragens.

Conforme apresentado na (figura 7), essas barragens podem se classificar de acordo com sua forma ou geometria, em: Barragens de gravidade aliviada, Barragens de contrafortes, Barragens em arco ou arco-gravidade, Barragens de gravidade.

Figura 7 - Principais tipos de Barragens de concreto



Fonte: Junior e Salles (2011)

Barragem de Gravidade

Do ponto de vista de Possan (2019), barragem de gravidade é considerada uma estrutura maciça de concreto, onde são constituídas por vários blocos de concreto, onde são separados entre si pelas chamadas juntas de contração, afim de minimizar os efeitos que as tensões de origem térmica podem provocar. Possuem um formato quase trapezoidal, sendo projetada para

resistir aos esforços decorrentes das pressões hidrostáticas que atuam no seu pareamento de montante, tendo seu próprio peso para obter equilíbrio estático.

Para Marangon (2004), a Barragem em gravidade (Figura 8), é considerada uma das mais resistentes e de menores custos para manutenção. Podendo ser adaptada para todos os tipos de locais, porém sua altura é limitada pela sua resistência de fundação. Em alguns casos, como por exemplo, quando a fundação pode ser feita em rocha sã, é mais indicado e econômico utilizar-se da construção de barragem de terra, porque a mesma não necessita repousar sobre fundação em rocha e assim evita-se uma quantidade de escavação.

Figura 8 - Barragem de Caraíbas em Gravidade em CCR (Concreto Compactado com Rolo)



Fonte: Possan (2019)

A força resultante que atuam nesse tipo de estrutura é transmitida através da sua base, até o solo do leito do fluxo de água ou rio onde o qual se apoia, a segurança global da estrutura é garantida pela condição de estabilidade, em relação ao tombamento, flutuação e deslizamento. Essa estrutura depende de sua massa para obter estabilidade (POSSAM, 2019).

Nas Barragens de gravidade é necessário que a sua fundação seja construída em rocha sã, em casos que se tenha uma demanda de cuidados especiais, ou uma estrutura de caso muito excepcional, podem ser assentadas em solo compacto (JUNIOR E SALLES, 2011).

Barragem em Gravidade Aliviada

Trata-se de uma estrutura mais leve, onde a barragem de gravidade convencional acha-se vazada com o objetivo de imprimir menor pressão às fundações ou economizar concreto, que pode atingir menos da metade do consumo de uma barragem de gravidade. Nesse tipo de barragem, ocorrem esforços de tração que exigem um maior uso de armação (COSTA, 2012).

Na (figura 9), mostra o trecho principal da barragem de Itaipu, construída em gravidade aliviada.

Figura 9 - Barragem em Gravidade Aliviada - UHE Itaipu Binacional, PR



Fonte: Possan (2019)

Barragem em Contraforte (Pilares)

Contrafortes são estruturas caracterizadas do tipo “pilares”, devido ao seu formato, esses pilares recebem o esforço do empuxo do paramento de montante, que é conseqüentemente descarregado para as fundações. Sua parede de vedação é formada por lajes de concreto armado que são apoiadas nos contrafortes, ou por abóboras cilíndricas, na maioria dos casos em forma de semicírculo (SCHREIBER, 1977).

A barragem é formada por uma laje impermeável à montante, apoiada em contrafortes verticais, exercendo compressão na fundação maior do que na barragem de concreto gravidade, sendo assim, a fundação onde será apoiada uma barragem de concreto com contrafortes deve ser rocha com elevada rigidez (SAYÃO, 2009).

Barragens de contraforte (Figura 10), constituem por ser um tipo de barragem onde o esforço é transmitido à fundação devido a uma série de contrafortes, que são posicionados perpendiculares ao eixo do paramento de montante (POSSAN, 2019).

Figura 10 - Barragem construída com Contraforte - UHE Itaipu Binacional, PR



Fonte: Possan (2019)

Neste tipo de barragem, a fundação precisa atender aos mesmos requisitos exigidos pela barragem de gravidade, com alguns ajustes. Em geral, são empregadas em vales “abertos” (JUNIOR E SALLES, 2011). No Brasil, essas barragens são raras.

Barragem em Arco

As barragens em arco (Figura 11), são consideradas as mais raras, onde seu comprimento é pequeno se comparado a sua altura, exigindo a presença de materiais rochosos adequados de grande resistência nas encostas dos vales, onde são construídas, fazendo com que possam suportar grande resistência e esforços a elas transmitidos. Essas barragens são mais comuns na Europa, onde os vales são profundos e fechados (MARANGON, 2004).

Figura 11 - Barragem em Arco – Laxiwa Dam – China



Fonte: Engwhere (2018)

Barragem Mista

A barragem pode ser considerada mista em sua seção ou em seu traçado. A barragem de seção mista é aquela constituída por diferentes materiais ao longo de uma seção transversal.

Os tipos conhecidos são: terra/enrocamento, terra/concreto e enrocamento/concreto. A barragem é mista ao longo do seu traçado quando parte da obra é de um tipo e parte, de outro, entre as barragens convencionais.

Nas barragens mistas de terra-enrocamento, os taludes podem ser mais íngremes do que nas barragens de terra, o que permite reduzir consideravelmente o volume da barragem, podendo essas soluções ser adotadas, sempre que exista disponibilidade de enrocamento, proveniente de escavações obrigatórias ou de jazidas próximas da obra, e as fundações sejam de boa resistência (MAGALHÃES, 2017).

Barragens não convencionais

Barragem de Gabião

De acordo com Costa (2012), a barragem de gabião (Figura 12), é uma obra de pequeno porte (geralmente inferior a 10m de altura) projetada para ser parcial ou totalmente vertedora.

Esta obra é constituída por uma parede de gabião com extensão para jusante formando a bacia de dissipação e é aterrada à montante com material argiloso.

Figura 12 - Barragem de Gabião



Fonte: Engwhere (2018)

Barragem de Madeira

A barragem de madeira (Figura 13), exige madeira de boa qualidade e deve ser revestida com uma chapa de aço que garantirá a sua vedação. As caixas formadas pela armação de madeira devem ser preenchidas com rocha para evitar o seu deslocamento pelas pressões hidrostáticas (COSTA, 2012).

Figura 13 - Barragem de Madeira



Fonte: Engwhere (2018)

No (Quadro 2), são apresentados alguns dados históricos referentes às barragens da antiguidade e ao surgimento de novas práticas de execução. O quadro mostra a evolução de técnicas construtivas, que graças ao surgimento de novas tecnologias, hoje se torna possível construir grandes estruturas sem comprometer a sua segurança.

Quadro 2 – Alguns dados históricos

Ano	Registro de ocorrência	Local
4800 a C.	Barragem de Sadd – El Katara Altura: 12 m Destruída por transbordamento	Egito
500 a C.	Barragem de Terra no Ceilão Altura: 12 a 27 m 13.000.000 m ³ de material	Ceilão
100 a C.	Barragens Romanas em Arco	Norte da Itália Sul da França
1200 d C.	Barragem Madduk – Masur Altura: 90 m Destruída por transbordamento	Índia
1789	Barragem de Estrecho de Rientes Altura: 46 m Destruída logo após o primeiro enchimento	Espanha
1820	Telford introduz o uso de núcleos argilosos em barragens de terra e enrocamento	Inglaterra
Fim do século XIX	Barragem de Fort Peck Altura: 76 m Volume de material: 100.000.000 m ³ de material	EUA
1856	Experiências de Darcy Velocidade de percolação da água	França
1859	Patente do primeiro rolo compactador a vapor	Inglaterra
1904	Surge o primeiro rolo compactador Pé de carneiro	EUA
1930-1940	A Mecânica dos Solos consolida – se como ciência aplicada	EUA
1971	Barragem de Chavantes Altura: 89 m 3 500 m de comprimento Submetida a um amplo sistema de monitoramento, controle e manutenção, capaz de garantir a segurança.	Brasil
Hoje	Rolos compactadores vibratórios Barragem de Nurek (URSS): 312 m Barragens com Membranas Barragens em terra armada	EUA URSS Brasil e outros

Fonte: Massad (2003)

No surgimento das primeiras barragens, convém lembrar que os rompimentos e falhas eram constantes, isso acontecia devido à falta de um bom planejamento, por falta de tecnologia e métodos ultrapassados na época.

As primeiras barragens eram construídas com terra do local, compactada por pisoteamento. Os métodos construtivos extremamente arcaicos não garantiam segurança às obras de terra. Com o passar dos anos foram surgindo novos tipos de barragens e os métodos construtivos foram evoluindo, hoje em função das modernas técnicas construtivas, constroem-se barragens em terra armada e barragens com membranas (de madeira, aço, material

betuminoso ou concreto) colocadas na face montante de enrocamento, com a função de impermeabilizá-las.

Segurança das barragens sistema/ métodos construtivos mais utilizados no Brasil

As barragens surgiram em decorrência da necessidade de se usufruir dos benefícios do uso múltiplo dos recursos hídricos para a população brasileira. O ano de 1877 foi o início da maior tragédia nacional devido a fenômeno natural: A Grande Seca no Nordeste com duração superior a três anos deixou cicatrizes que até hoje são nítidas. Em 1880, logo após a Grande Seca, o Imperador D. Pedro II que esteve na área atingida, nomeou uma comissão para recomendar uma solução para o problema das secas no Nordeste (MELLO, 2011).

As principais recomendações foram a construção de estradas para que a população pudesse atingir o litoral e a construção de barragens para suprimento de água e irrigação.

Isso marcou o início do planejamento e projeto de grandes barragens no Brasil. A primeira dessas barragens foi Cedros (Figura 14), situada no Ceará e concluída em 1906. Após ela, várias barragens foram construídas, especialmente nos anos entre 1950 e 1960.

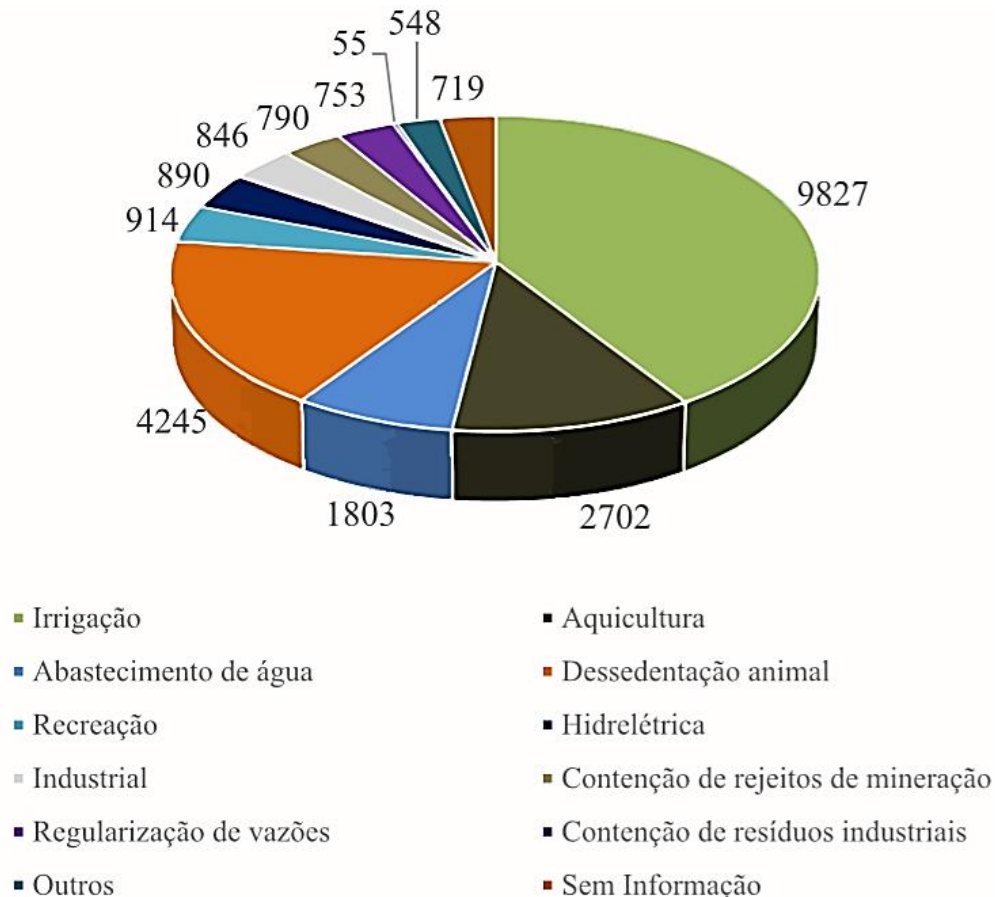
Figura 14 - Barragem de Cedros, uma das mais antigas grandes barragens do Brasil



Fonte: Wikipedia (2007)

Observa-se que com o aperfeiçoamento das técnicas de construção de barragens, o Brasil passou a abrigar algumas das mais impressionantes estruturas do mundo. Contudo, a construção de um empreendimento destas dimensões é bastante contestada pelos impactos ambientais e patrimoniais que pode provocar nas áreas envolvidas.

Conforme mostra o relatório da ANA (2017), o Brasil é um país com mais de 24 mil barragens registradas (Figura 15), e também é considerado um dos maiores produtores de minério do mundo. Estima-se que desse total de barragens, cerca de mais de 700 são barragens para contenção de rejeitos de minério.

Figura 15 - Distribuição das barragens em relação ao uso principal

Fonte: ANA (2017)

O Brasil é um dos países com mais barragens construídas no mundo, onde as barragens que apresentam maior risco de rompimento por de falta de segurança são as de rejeitos de minério de ferro. Analisando as barragens da mineração mais de perto, é possível dizer que 204 têm potencialidade de dano alto, seja ao meio ambiente ou para pessoas, caso haja algum acidente.

Segundo Madeiro (2019), entre 2001 e 2018, esse tipo de tragédia custou a vida de 65 pessoas. 4 dos 10 casos ocorreram em Minas Gerais, conforme o quadro a seguir.

Quadro 3 – Tragédias envolvendo rompimento de barragens entre 2001 e 2018

Rompimentos de barragens com mortes neste século no Brasil
22 de junho de 2001 Barragem rejeitos de minério em São Sebastião das Águas Claras, município de Nova Lima (MG). Mortos: 5
17 de junho de 2004 Barragem de Camará, em Alagoa Nova (PB). Mortos: 5
27 de maio de 2009 Barragem hídrica de Algodões, nos municípios de Cocal e Buriti dos Lopes (PI). Mortos: 24 (9 no momento e 15 em decorrência)
5 de março de 2014 Barragem de terra de uma fazenda no município de Uruana (GO) Mortos: 2
29 de março de 2014 Barreira provisória da hidrelétrica de Santo Antônio, em Laranjal do Jari (AP) Mortos: 4

10 de setembro de 2014 Barragem de rejeito uma mina em Itabirito (MG) Mortos: 3
5 de novembro de 2015 Barragem de rejeitos Fundão, no distrito de Bento Rodrigues, em Mariana (MG) Mortos: 19
24 de agosto de 2016 Barragem na Fazenda Guavirova, em União da Vitória (PR) Mortos: 1
12 de abril de 2018 3 barragens elevaram o nível do Rio Uraim e inundaram Paragominas (PA) Mortos: 2
25 de janeiro de 2019 Rompimento da barragem de rejeitos da Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho (MG) Mortos: 121

Fonte: Madeiro (2019)

O Quadro 3 apresenta alguns casos recentes de rompimento de barragens, sendo a maior parte destinada à contenção de rejeitos e de resíduos industriais, destacando as barragens de Minas Gerais. Foi a partir de rompimentos como estes que a legislação brasileira começou a se desenvolver e atuar, estabelecendo cobrança das diretrizes de gerenciamento e rotinas de inspeção.

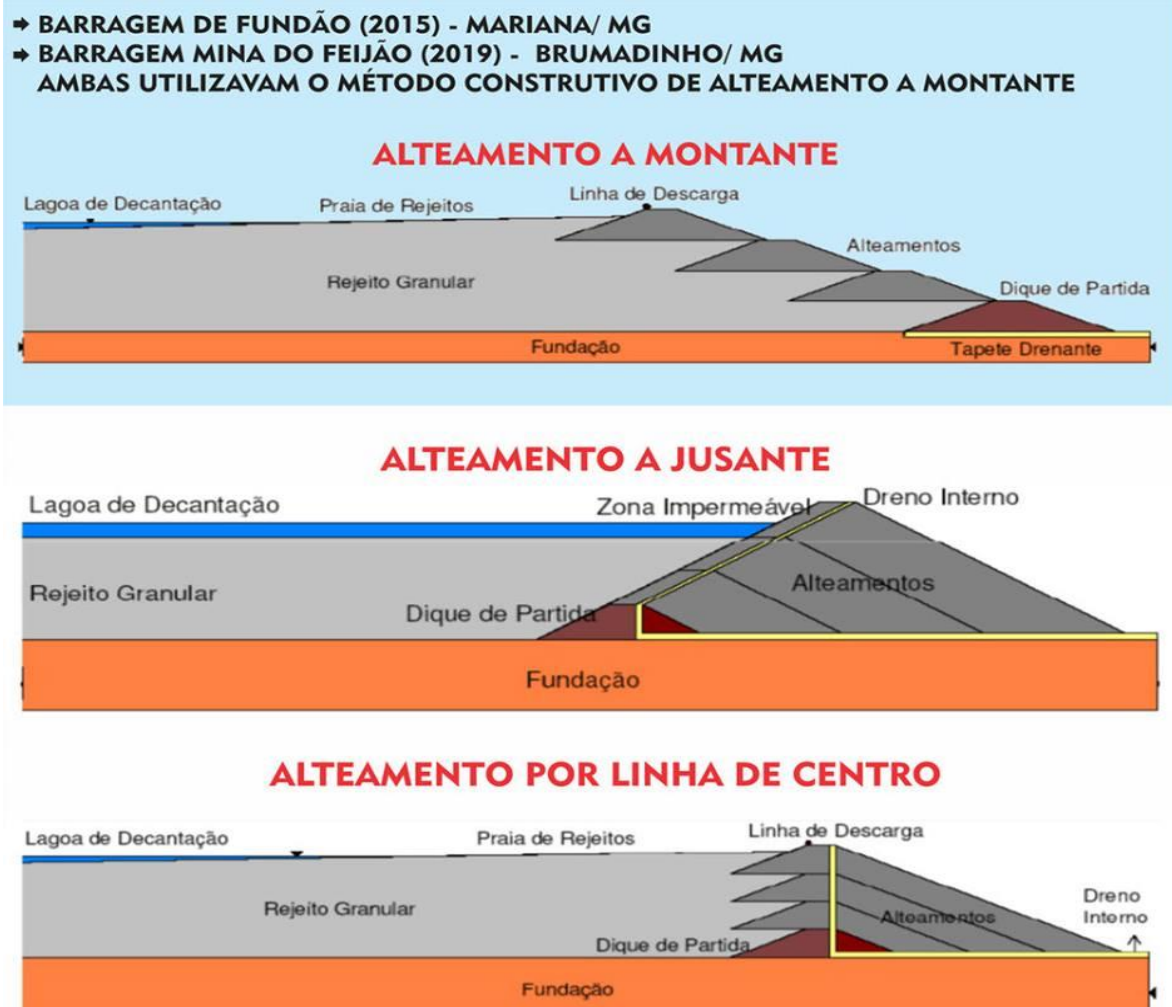
Geralmente, esses rompimentos ocorrem devido ao método construtivo ser antigo e ultrapassado, se caracterizando na maior parte dos casos ser o método à montante, onde é considerado o mais vulnerável. Aguiar (2014), alega que historicamente o método que apresenta maior número de falhas e com expressivo número de fatalidades é o método de “alçamento à montante”, que mesmo quando é executado adequadamente, é considerado de menor confiabilidade quando comparado com os outros métodos.

O método à montante foi um dos primeiros a surgirem no mundo, sendo um dos mais utilizados no Brasil, devido a sua construção ser mais rápida e barata. Consequentemente esse método é o mais vulnerável há falhas, devido a sua construção ser feita em cima de rejeitos compactados no sentido à montante da barragem, ou seja, fazendo com que sua estrutura seja menos resistente.

Alçamentos à montante são proibidos em alguns países. Chile e Peru são países que se localizam em região do planeta marcada pelo limite convergente das placas tectônicas como Nazca e Sul Americana, onde não admitem essa técnica. O método para montante não é recomendado em zonas tectonicamente ativas, sujeitas a fortes tremores (THOMÉ E PASSINI, 2018).

Existem também o método à jusante, que é considerado o mais seguro devido a sua estrutura ter uma maior área de impacto, e não ser feita em cima de rejeitos compactados, e o método de linha de centro, que veio para ser o intermediário entre o montante e o à jusante (Figura 16).

Figura 16 - Alateamentos barragens de rejeitos



Fonte: Araújo (2006)

Para falar sobre segurança de barragens, primeiro é preciso entender um pouco sobre quais motivos levam a essa falta de segurança. A Ruptura é um dos principais fatores que causam tragédias, onde há uma liberação não controlada do conteúdo do reservatório ocasionada pelo colapso da barragem ou por parte dela (MENESCAL; VIEIRA; OLIVEIRA, 2001).

Para CNPGB (2005), a ruptura, de uma forma geral, é a perda de capacidade de uma barragem, ou de parte dela, de funcionar como previsto. Algumas das causas predominantes de ruptura envolvendo órgãos de segurança e exploração de barragens são obtidas por: I. insuficiente capacidade de vazão ou o mau funcionamento dos órgãos de descarga de cheias (incluindo a deficiente avaliação da vazão de dimensionamento, a incorreta utilização dos critérios de dimensionamento hidráulico e o não funcionamento das comportas), representando cerca de 42% do número total de rupturas de barragens; II. as relacionadas com as fundações (percolação, erosão interna), com as erosões localizadas e com o deficiente comportamento estrutural, representando cerca de 23% das rupturas.

A norma ISO 31.010 (2012), orienta que o risco deve ser reduzido para patamares aceitáveis ou toleráveis com a implementação de ações para alterar a probabilidade de ocorrência, alterar o efeito do risco ou ambos. O nível do risco dependerá da adequação e eficácia dos controles existentes.

De acordo com ICME (1998), o conhecimento sobre métodos de construção de barragens permite afirmar que as barragens podem ser construídas de forma efetivamente

segura e ambientalmente aceitáveis. Na visão de Araújo (2006), o risco de barragens de rejeito de mineração é maior quando se utiliza o método de “Alteamento à montante”, em comparação com os métodos de alteamento de “Linha de centro” e “Alteamento à jusante”. A maioria das barragens de rejeito de mineração que se romperam nas últimas décadas foi construída pelo método de alteamento à montante.

A Agência Nacional de Mineração (ANM), ampliou para até 2027 o prazo para eliminação das barragens como as que se romperam em Brumadinho e Mariana, em Minas Gerais. As Barragens com volume de até 12 milhões de metros cúbicos tiveram prazo ampliado para setembro de 2022, aquelas com até 30 milhões de metros cúbicos para setembro de 2025 e estruturas maiores, que passam disso, até 2027. O prazo para que as empresas fizessem reforço ou construção de nova barragem à jusante também foi ampliado: passou de fevereiro de 2020 para setembro de 2021 (ANM, 2019).

No Brasil, a legislação sobre segurança de barragens é a recentemente aprovada Lei Nº 12.334 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens, e passa a ser, desde 2010, o instrumento nacional para regular o setor de barragens no Brasil.

A análise dos riscos é muito importante para combater ou minimizar os riscos e gerar mais segurança, onde os benefícios dessa análise podem ser: I. a comunicação do risco: a quantificação do risco informa aos tomadores de decisão a gravidade do risco e suas potenciais consequências; II. uma melhor compreensão do comportamento das barragens: a análise é capaz de identificar as características e condições da barragem que contribuem para sua vulnerabilidade; III. a análise identifica quais informações adicionais são necessárias para reduzir as incertezas; IV. fornece um grupo de alternativas de ações corretivas para mitigar os riscos identificados; V. ajuda na escolha da alocação de recursos, pois indica quais são as prioridades de acordo com a classificação relativa do risco.

Analisando a legislação sobre segurança de barragens, podemos perceber que a segurança das barragens está totalmente ligada ao controle e gerenciamento dos riscos, onde ao serem bem executados, podem aumentar a segurança e evitar possíveis tragédias.

Os princípios básicos da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) são: a segurança de uma barragem deve ser levada em consideração no planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeira inspeção, operação, desativação e uso de novos projetos; a população deve ser informada e incentivada a participar, direta ou indiretamente, de medidas preventivas e de emergência; o contratado e o legislador responsável pela segurança da barragem, cabendo-lhe o desenvolvimento de ações para garanti-la; promover mecanismos de participação e controle social, que a segurança de uma barragem age diretamente na sua sustentabilidade e no alcance de seus efeitos socioambientais (BRASIL, 2010).

Acredita-se que a segurança pode ser sustentada por três pilares: segurança estrutural (planejamento, construção e manutenção adequada), monitoramento e gerenciamento de emergências. Investimentos devem ser feitos durante a fase de planejamento e construção, de maneira que os riscos sejam minimizados. No entanto, sabe-se que alguns riscos são inerentes à construção de uma barragem, tais como, um transbordamento devido a falha na operação dos extravasores ou no envelhecimento dos materiais de construção utilizados.

Embora, mesmo com o planejamento e construção adequados, existe um risco restante que deve ser controlado por um processo de monitoramento e avaliação permanentes das estruturas. Este processo recebe o nome de auscultação de barragens, e envolve as atividades de observação, detecção e caracterização de eventuais deteriorações que possam aumentar o potencial de risco de uma estrutura (FONSECA, 2003). O objetivo final da auscultação é fornecer elementos para avaliar o comportamento das barragens e identificar a necessidade de reparos onde for preciso ou mesmo a necessidade de adoção de medidas emergenciais. Entretanto, pouca importância terá o monitoramento se, quando detectadas necessidades de manutenção (reparo ou melhorias), estas não forem realizadas em tempo hábil para que sejam

restaurados os níveis de segurança estrutural desejados. Em outras palavras. “medidas estruturais” devem ser tomadas para o restabelecimento da segurança.

Barragem segura é aquela cujo desempenho satisfaz às exigências de comportamento necessárias para evitar acidentes e incidentes que se referem a aspectos estruturais, econômicos, ambientais e sociais. A segurança de uma determinada barragem pode ser garantida adotando-se três procedimentos básicos, que são eles: correção de qualquer deficiência prevista ou constatada; operação segura, continuada, manutenção e inspeção; preparação adequada para emergências (MENESCAL, 2005). Infelizmente no Brasil ainda ocorre acidentes ocasionados por rupturas de barragens, como pode ser visto recentemente em acidentes ocorridos em Brumadinho – MG e Mariana – MG.

Os tipos de métodos construtivos podem sim influenciar na segurança das barragens, porém um dos principais causadores de tragédias são ocasionados não em si pelo método, mais sim pela falta de planejamento, execução e manutenção adequada, onde a manutenção é de extrema importância para a vida útil e segurança da estrutura de uma barragem.

Tecnologias para aprimorar a segurança de barragens

Tendo em vista os últimos acontecimentos sobre o rompimento de barragens, atualmente está sendo muito discutido sobre as tecnologias existentes para garantir a sua segurança, onde cada vez mais está sendo investido em propostas de melhorar os sistemas antigos e criar novas tecnologias afim de eliminar ou minimizar os riscos por falta de segurança.

O Engenheiro Civil Sayão (2019), alega que a água e o maior inimigo das barragens de rejeito, onde ele afirma que a chuva não derruba uma barragem, o que derruba é algum erro de engenharia, gerenciamento ou manutenção. O sistema de drenagem é considerado o coração de toda barragem. Ele garante que a água não fique presa, liberando a pressão sobre a estrutura.

Uma das tecnologias utilizadas para solucionar os problemas com alto volume de água, são a instalação de drenos, onde são posicionados em pontos estratégicos na estrutura da barragem, fazendo com a drenagem possa ser realizada quando houver chuvas fortes.

A instalação de cabines de monitoramento, onde deem acesso a câmeras instaladas por toda estrutura da barragem é de extrema importância para a segurança, onde visam poder tomar decisões rápidas e eficazes, juntamente com a instalação de sistemas de evacuação por voz, sirenes e alarmes, saídas de emergência planejadas, para caso houver um acidente, as pessoas possam evacuar o local mais rápido o possível.

A empresa Vale S.A (2019), afirma que o acionamento de sirene faz parte do plano emergencial da barragem de mineração. No caso do nível 1 e 2, a sirene tem a função específica de recomendar e alertar a necessidade de evacuação da zona de auto salvamento. Do nível 2 para o nível 3, é apenas uma alerta em relação às pessoas que estão na zona de salvamento secundária. É um protocolo previsto por lei para dar mais segurança à população.

Atualmente os drones também estão sendo muito utilizados em toda a engenharia, e no monitoramento de barragens é uma ferramenta muito útil, onde pode ser facilmente manipulada, dando visão ampla de toda estrutura da barragem com imagens de alta qualidade. Podem também serem utilizados para o controle de doenças, como no combate à dengue em municípios vizinho a barragem, que é o caso da cidade de Brumadinho – MG.

As inspeções visuais são da maior importância e devem ser estendidas a toda a barragem, suas ombreiras, fundações e áreas próximas, cobrindo as áreas pouco instrumentadas, possibilitando a verificação de pequenos detalhes, defeitos ou fenômenos imprevistos. Estas inspeções devem ser realizadas por pessoas experientes e familiarizadas com o tipo de barragem. O conjunto de atividades de monitoramento tem por finalidade subsidiar a tomada de decisões e execução de medidas preventivas de manutenção que evitem os indesejáveis acidentes e incidentes. As medidas preventivas podem ser estudos ou serviços de reparo e

reabilitação que aumentam o grau de conhecimento ou os fatores de segurança das estruturas, diminuindo o risco de falhas (PIASENTIN, 2019).

De acordo com o Senado Federal (2019), o projeto de Lei 1452/19 acrescenta dois novos objetivos na Política Nacional de Segurança de Barragens (Lei 12.334/10). Pela proposta, os novos objetivos são promover o reaproveitamento de resíduos industriais e de rejeitos de mineração acumulados em barragens e fomentar a utilização de tecnologias que reduzam a geração de resíduos industriais e de rejeitos de mineração nas barragens.

Novas tecnologias vêm tomando espaço no cenário atual, uma tecnologia desenvolvida na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) oferece uma alternativa de aproveitamento dos rejeitos de minério armazenados nas barragens que há no Brasil (Figura 17). A pesquisa experimental conseguiu transformar o rejeito em uma espécie de cimento - pozolana, em areia e em pigmento. Os produtos já se mostraram úteis como base de concreto, argamassa e pelotas de minério e podem ser aplicados na construção civil, na pavimentação de estradas e também na agricultura.

Figura 17 - Tecnologia usada para reaproveitamento de rejeitos



Fonte: UFMG (2019)

Moraes (2019), argumenta que tudo o que estiver nas barragens de minério pode virar produto. A proposta é ter um sistema sustentável completo na cadeia da mineração. Isso é uma técnica e é economicamente viável. Mas para esse projeto ir adiante teria de haver incentivos do governo para isso, como ocorre em outros países. O porcelanato chinês que é comprado no Brasil é feito com rejeito de minério, e 25% dos rejeitos da China viram outros produtos, exemplifica ele. Sem dúvida, é preciso planejar e, principalmente, investir na manutenção estrutural dessas barragens e, no caso de rompimento, é preciso contar com uma central de monitoramento com soluções incorporadas de vídeo (Figura 18), sirenes e sistemas de evacuação por voz, tudo em um único projeto para reforçar a eficiência dos procedimentos de emergência.

Figura 18 - Tecnologia usada para monitoramento e segurança das barragens



Fonte: Samarco (2016)

Neste sentido, o mercado já conta com tecnologias que atendem esse tipo de demanda, como é o caso do sistema integrado de evacuação de barragens desenvolvido pela Bosch. Com o uso dessas tecnologias, é possível mitigar o risco de outras catástrofes sociais e ambientais, como a que ocorreu em Mariana (ABDU, 2016).

4 CONCLUSÃO

Em virtude do que foi mencionado, os benefícios proporcionados pelas barragens são múltiplos. No entanto, as obras têm um potencial de risco alto, que em caso de acidentes ou incidentes pode provocar graves prejuízos e até desastres. Tendo em vista esses aspectos, é necessário nas fases de projeto estudar seus efeitos causados no meio social e ambiental, para poder evitar erros de execução e poder garantir a segurança da barragem. Os tipos de barragens são basicamente definidos com base nos materiais utilizados para sua construção, onde cada tipo de barragem é determinado de acordo com seu uso e aplicação, fazendo com que não se tenha um melhor método construtivo previamente determinado, mais sim cada método deve ser aplicado de acordo com a finalidade de cada obra. Com o passar dos anos as barragens vão se deteriorando, mas com um programa de manutenção adequado pode-se prolongar bastante sua vida útil. As tecnologias são muito importantes tanto para a execução, quanto para o monitoramento, e principalmente na sua segurança. Para manter um nível de segurança adequado é preciso elaborar e executar um plano de manutenção com ênfase nas atividades de inspeção efetuadas com frequência regular por meio de profissionais experientes, a fim de constatar possíveis falhas e corrigi-las a tempo.

Portando, após a análise dos aspectos apresentados no trabalho, pode-se concluir que os métodos construtivos por mais que sejam antigos e tenham suas falhas, não contribuem totalmente para ocorrência de tragédias, pois a maior parte vem de uma falta de manutenção adequada, má aplicação de técnicas de engenharia, mal planejamento e negligência por parte de empresas e pessoas envolvidas na obra.

REFERÊNCIAS

ABDU, Alberto. **Tecnologia pode aprimorar segurança em barragens**. 2016. Disponível em: <<https://www.inthemine.com.br/site/tecnologia-pode-aprimorar-seguranca-em-barragens/>>. Acesso em: 28 setembro 2019.

ABNT NBR ISO 31.010:2012. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. Gestão de riscos — Técnicas para o processo de avaliação de riscos. 2012.

AGUIAR, D. P. O. **Contribuição ao estudo do índice de segurança de barragens – ISB**. Dissertação de Mestrado. p.146. Universidade de Campinas. UNICAMP. Campinas, 2014.

ALONSO, Lilia. **Usina de Chavantes**. 2012. Disponível em: <<http://chavantesporliliaalonso.blogspot.com/2012/05/usina-de-xavantes.html>>. Acesso em: 21 setembro 2019.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Relatório de segurança de barragens 2017**. Brasília, 2017.

ANM – Agência Nacional de Mineração. **Agência de mineração amplia prazo para eliminar barragens como a de Brumadinho**. 2019. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2019/08/agencia-de-mineracao-amplia-prazo-para-eliminar-barragens-como-a-de-brumadinho.shtml>>. Acesso em: 06 outubro 2019.

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

ASSIS, A; ESPÓSITO, T. **Construção de barragens de rejeitos sob uma visão geotécnica**. In: Simpósio sobre barragens de rejeitos e disposição de resíduos - regeo, 3., 1995, Ouro Preto, Anais. Ouro Preto: ABMS/ABGE/CBGB, 1995.

BRASIL (2010). **Lei Nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Política nacional de Segurança de Barragens**. Online. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm>. Acesso em: 18 setembro 2019.

CNPGB – Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens. **Grupo de trabalho de análise de riscos em barragens**. 1º Relatório de Progresso, Lisboa: INAG ed., 2005.

CARDOZO, F. A. C., CORDOVA, D. P., ZINGANO, A. C., GALLI, B., & PENÃ, F. P. **Métodos construtivos de barragens de rejeito: Crítica ao método de Montante**. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, RS, Brasil, 2016.

CASTRO, Leandro Vida Pinheiro de. **Avaliação do comportamento do nível d'água em barragem de contenção de rejeito alteada à montante**. 2008. 103f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2008.

COSTA, W. D. **Geologia de Barragens**. Oficina dos textos. 352f. 1ª Edição. 2012.

DIAS, R. E. S. D. A, OLIVEIRA, D.O.S, FURTADO, M.C, TAVEIRA, N.C.D, SOUZA, A.C.A.D. **Gestão de riscos de barragem de rejeito de mineração: Prevenção nas etapas de planejamento e operação do empreendimento.** Poços de Caldas, 2016.

DUARTE, A. P. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos da mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco.** 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 2008.

ENGWHERE. **Tipos de Barragens.** 2018. Disponível em: <<https://www.engwhere.com.br/>>. Acesso em: 28 set. 2019.

FONSECA, A.R. **Auscultação por instrumentação de barragens de terra e enrocamento para geração de energia elétrica** – Estudo de Caso das Barragens da UHE São Simão. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, p.6-47, 2003.

FOZ DO CHAPECÓ ENERGIA SA. **A Usina Foz do Chapecó.** Disponível em: <<http://www.fozdochapeco.com.br/usina/>>. Acesso em: 30 setembro 2019.

ICME. **The International Council on Metals and the Environment.** Case Studies on Tailings Management. 58 p. Canadá, 1998.

JUNIOR, Luiz Prado Vieira; SALLES, Flávio Moreira. **A tecnologia do concreto aplicada ao projeto de barragens. Melhores práticas tecnologia do concreto.** São Paulo: Concreto e Construções, p.15-23, 2011.

LEÃO, F.R. **Dimensionamento de uma pequena barragem de terra para produção de energia hidrelétrica e irrigação em uma propriedade rural.** Monografia para obtenção do título de Bacharel – Engenharia agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Goiás, 110f, 2012.

MADEIRO, Carlos. **Brasil registrou 65 mortes em 9 incidentes com barragens entre 2001 e 2018.** 2019. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2019/02/03/brasil-registrou-65-mortes-em-9-incidentes-com-barragens-entre-2001-e-2018.htm>>. Acesso em: 02 outubro 2019.

MAGALHÃES, Ricardo Aguiar. **Barragens de Aterro - Terra e Enrocamento.** Rio de Janeiro, 2017.

MARANGON, M. **Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra.** Barragens de Terra e Enrocamento, Cap 5, 2004.

MASSAD, F. **“Obras de Terra – Curso Básico de Geotecnia”.** São Paulo, editora Oficina de Textos, 2003.

MEIRELLES, Fernando Setembrino Cruz. **Módulo I – Barragens: Aspectos legais, técnicos e sócio ambientais:** Unidade 9: Barragens de terra e enrocamento. Rio Grande do Sul: ICBA – Centro de Línguas, 2019.

MELLO, Flavio Miguez de. **A história das barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens**. Rio de Janeiro: Corrado Piasentin, p.524, 2011.

MENDONÇA, M. B. “**Notas de aula da disciplina Obras de Terra**”. UFRJ/Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2012.

MENESCAL, R. A. (Org.). **A segurança de barragens e a gestão de recursos hídricos no Brasil**. 2. ed. Brasília: Ministério da Integração Nacional, p.315, 2005.

MENESCAL, R.A.; VIEIRA, V.P.P.B. & OLIVEIRA, S.K. **Terminologia para análise de risco**. XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens, Anais Pós-congresso, Fortaleza, CE, 2001.

MORAES, Evandro. **Tecnologia brasileira permite esvaziar barragens e fazer cimento**. 2019. Disponível em: <<https://revistapegn.globo.com/Noticias/noticia/2019/05/pegn-tecnologia-brasileira-permite-esvaziar-barragens-e-fazer-cimento.html>>. Acesso em: 28 setembro 2019.

PASSOS, N. C. S. T. **Barragem de Rejeito: Avaliação dos parâmetros geotécnicos de rejeito de minério de ferro utilizando ensaios de campo – Um estudo de caso**. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil, 2009.

PENMAN, A.D. “**Risk assessment and the safety of tailing dams and waste impoundments**”. Proceedings of the Twentieth Congress on Large Dams, Question 76, p. 113-121, 19-22 September, Beijing, 2000.

PIASENTIN, Corrado. **Unidade 2: aspectos gerais da segurança de barragens**. Minas Gerais: Icba – Centro de Línguas, 2019.

POSSAN, Edna. **Unidade 10: barragens de concreto**. Rio Grande do Sul: ICBA – Centro de Línguas, 2019.

REPÚBLICA, Presidência da. **Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm>. Acesso em: 28 set. 2019.

SAMARCO. **Tecnologia é usada para monitoramento e segurança das barragens**. 2016. Disponível em: <<https://www.samarco.com/noticia/tecnologia-e-usada-para-monitoramento-e-seguranca-das-barragens/>>. Acesso em: 28 setembro 2019.

SAYÃO, A. **Notas de aula da disciplina de Barragens de Terra e Enrocamento**. Curso de Mestrado da PUC -RJ, Rio de Janeiro, 2009.

SAYÃO, Alberto. **Por ser menos seguro, modelo de barragem de Brumadinho já foi banido em outro país**. 2019. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/brasil/por-ser-menos-seguro-modelo-de-barragem-de-brumadinho-ja-foi-banido-em-outro-pais-23409303>>. Acesso em: 10 outubro 2019.

SCHREIBER, Gerhard P. **Usinas Hidrelétricas**. São Paulo: Edgard Blucher, p. 240, 1977.

SENADO FEDERAL. **Projeto de Lei PL 1452/2019**. 2019. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2203836>>. Acesso em: 28 outubro 2019.

STEPHENS, T. F. **Manual sobre pequenas barragens de terra: guia para localização, projeto e construção**. Roma: Organização das Nações Unidas para a alimentação e agricultura, p.120, 2011.

THOMÉ, Romeu; PASSINI, Matheus Leonardo. **Barragens de rejeitos de mineração: características do método de alteamento para montante que fundamentaram a suspensão de sua utilização em minas gerais**. Minas Gerais: Icba – Centro de Línguas, 2018.

TRIVIÑOS, A.N.S. **Introdução à Pesquisa em Ciências Sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, p.175, 1987.

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. **Pesquisas buscam aproveitamento integral de rejeitos da mineração**. 2019. Disponível em: <<https://ufmg.br/comunicacao/noticias/pesquisas-viabilizam-aproveitamento-integral-de-rejeitos-da-mineracao>>. Acesso em: 28 setembro 2019.

VALE S.A. **Segurança de barragens**. 2019. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/servicos-para-comunidade/minas-gerais/atualizacoes_brumadinho/Paginas/seguranca-de-barragens.aspx>. Acesso em: 28 set. 2019.

VALERIUS, M. B. **Cadastro e análise do potencial de risco das barragens de rejeitos de mineração do estado de Goiás**. Distrito Federal, p.105. Dissertação de Mestrado - UnB, 2014.

WIKIPEDIA. **Açude do Cedro**. 2007. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Açude_do_Cedro>. Acesso em: 28 setembro 2019.

ZARDARI, M. A. **Mechanical Properties of Fine Grained, Sulphur Rich, Silty Soils**. Luleå, Sweden, p.88. Research report - Luleå University of Technology, Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering, 2010.