

Rômulo Martins de Camargo

Segurança em barragens de rejeitos

Trabalho de formatura em Engenharia de Minas

Orientador: Prof. Dr. Lindolfo Soares

São Paulo

2012

TF-2012
C14s

Argeno 2448752

H2012g

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700009737

Camargo, Rômulo Martins de
Segurança em barragens de rejeitos / R.M. de Camargo. --
São Paulo, 2012.
p. 32

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de
Petróleo.

1. Barragens de rejeitos I. Universidade de São Paulo. Escola
Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
II. t.

Resumo

Barragens de rejeitos são estruturas cuja principal finalidade é conter os rejeitos dos processos de beneficiamento de minérios. Assim como a quantidade de rejeitos que aumenta cada vez mais com o aumento da produção industrial, essas barragens vão se tornando cada vez maiores e mais importantes para a indústria mineira. Contudo, concomitantemente, aumenta também o potencial destrutivo dessas estruturas e diversos acidentes envolvendo barragens de rejeito têm sido observados nos últimos anos, muitos deles com perdas de vidas humanas. Desta forma, a preocupação com a segurança faz-se cada vez mais necessária. Preocupação essa, que deve resultar em medidas preventivas de segurança, presentes em todas as fases da vida desse tipo de empreendimento: projeto, construção, operação e descomissionamento.

Seguindo a tendência mundial, o governo brasileiro estabeleceu em 2010 uma lei que regula a atividade de barragens de rejeitos no país, classifica as barragens conforme o risco potencial e obriga os empreendedores a elaborarem um plano de segurança para a barragem. Essa lei vai diretamente ao encontro dos interesses da sociedade, uma vez que obriga as empresas a adotarem medidas compatíveis com o risco de seu empreendimento e possibilita a responsabilização dos negligentes.

Palavras-chave:

Barragens de rejeito – segurança – boas práticas – plano de segurança de barragens

Abstract

Tailings dams are structures whose primary purpose is to contain the tailings from the processing of ore. As the amount of waste that grows stronger with the increasing industrial production, these dams are becoming increasingly larger and more important for the mining industry. However, concomitantly, also increases the destructive potential of these structures, and several accidents involving tailings dams have been observed in recent years, many with loss of life. Thus, the concern for safety becomes increasingly necessary and should result in preventive safety measures, present in all life stages of this type of development: design, construction, operation and decommissioning.

Following the global trend, the Brazilian government established in 2010 a law that regulates the activity of tailings dams in the country, classifies dams according to the potential risk and forces companies to develop a security plan for the dam. This law will directly serve the interests of society as it forces companies to adopt measures consistent with the risk of their enterprises and enables accountability for negligent.

Key-words

Tailings dams - safety - best practices - plan for dam safety

Sumário

| | |
|---|----|
| 1. Introdução..... | 7 |
| 2. Descrição de uma barragem de contenção de rejeitos..... | 8 |
| 3. Construção de uma barragem de contenção de rejeitos..... | 9 |
| 3.1 Maciço..... | 9 |
| 3.2 Extravasamento..... | 10 |
| 3.2.1 Galeria de encosta..... | 10 |
| 3.2.2 Tulipa..... | 11 |
| 3.2.3 Pontão..... | 11 |
| 3.3 Principais métodos de alteamento de barragens de contenção de rejeitos..... | 12 |
| 3.3.1 Método de montante..... | 12 |
| 3.3.2 Método de jusante..... | 14 |
| 3.3.3 Método de linha de centro..... | 15 |
| 4. Acidentes com barragens de contenção de rejeitos..... | 16 |
| 5. Segurança em barragens de contenção de rejeitos..... | 18 |
| 6. Considerações sobre o projeto..... | 18 |
| 7. Considerações sobre a construção..... | 20 |
| 8. Considerações sobre a operação..... | 21 |
| 9. Considerações sobre o monitoramento..... | 22 |
| 9.1 Inspeções..... | 22 |
| 9.2 Roteiro de inspeção de campo..... | 22 |
| 9.3 Frequência de inspeção..... | 24 |
| 9.4 Relatório de inspeção e plano de ação..... | 24 |
| 9.5 Instrumentação..... | 24 |

| | |
|---|----|
| 10. Considerações sobre o descomissionamento..... | 25 |
| 10.1 Uso futuro da área..... | 25 |
| 10.2 Estabilidade física..... | 26 |
| 10.3 Estabilidade Química..... | 26 |
| 10.4 Paisagismo..... | 26 |
| 11. Plano de Ação Emergencial - PAE..... | 26 |
| 12. Regulamentação de barragens de contenção de rejeitos no Brasil..... | 28 |
| 12.1 Classificação de barragens de contenção de rejeitos..... | 28 |
| 12.2 Plano de Segurança de Barragens..... | 29 |
| 13. Conclusão..... | 30 |
| Referências Bibliográficas..... | 31 |

1. Introdução

As atividades relacionadas à produção mineral geram um volume significativo de massa do minério que é rejeitada nos processos de lavra e beneficiamento. A disposição desses rejeitos, à semelhança daqueles resultantes de atividades industriais, urbanas ou de pesquisas nucleares, é, na atualidade, um contratempo à indústria mineral.

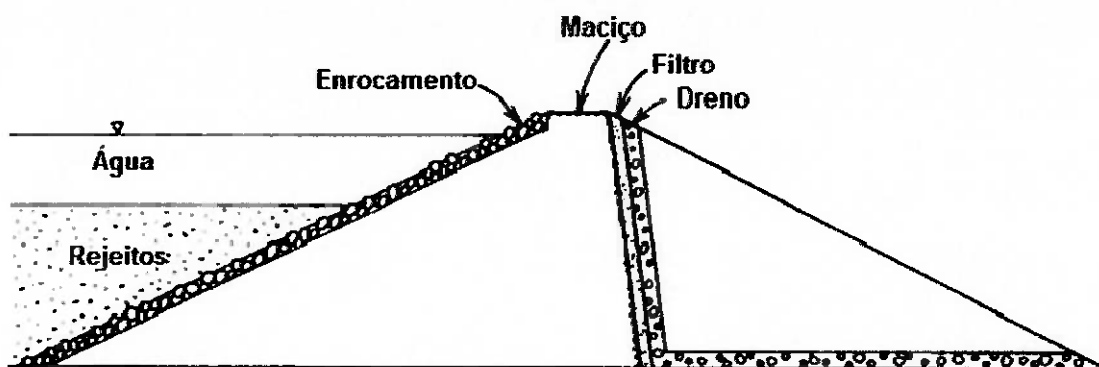
A solução mais usual para dispor os rejeitos da mineração é lança-los em barragens. Tais barragens têm como finalidade, além de armazenar os rejeitos, recuperar a água usada no processo de beneficiamento e recirculá-la.

A quantidade de rejeitos gerados no beneficiamento cresce anualmente, e a tendência é de que este crescimento seja cada vez mais rápido, visto que os depósitos de alto teor são cada vez mais raros e os avanços tecnológicos viabilizam cada vez mais o aproveitamento de minérios de baixos teores. Analogamente, a necessidade de se recuperar a água utilizada nos processos de beneficiamento é também cada vez maior. Esses dois fatores, por si sós, já seriam suficientes para destacar a importância da barragem de contenção de rejeitos em um empreendimento mineiro. Contudo, barragens de contenção de rejeitos ainda são vistas por muitos proprietários como improdutivas ou como uma parte da operação na qual apenas se perde dinheiro. Assim, os esforços de operação de uma mina são naturalmente menos voltados para o gerenciamento dos rejeitos e muitas vezes negligencia-se a segurança em razão dos custos.

Desta forma, muitos acidentes, que poderiam ser evitados adotando-se boas práticas e gestão da segurança nas barragens de contenção de rejeitos, continuam a ocorrer. Seguindo a preocupação mundial com relação a esses acidentes, o governo brasileiro estabeleceu em setembro de 2010 a Política Nacional de Segurança de Barragens, um conjunto de medidas que visa fiscalizar as atividades nesse setor, de forma a garantir a adoção de práticas compatíveis com os riscos inerentes à operação de barragens de contenção de rejeitos.

Este trabalho objetiva então discorrer sobre algumas das boas práticas e sobre a observância das normas de segurança nas diversas fases que compõem a vida de uma barragem de contenção de rejeitos. Pretende também mostrar que a Política Nacional de Segurança de Barragens estabelecida pelo governo vai ao encontro dos interesses da sociedade nesse setor.

2. Descrição de uma barragem de contenção de rejeitos



(Vick, 1983)

Figura 1 – Ilustração de uma barragem de contenção de rejeitos

A barragem consiste em um maciço de argila compactada, construído num vale apertado, fechando uma bacia com razoável capacidade de armazenamento. A barragem é complementada por um sistema de drenagem do excesso de água e por um extravasor de concreto – capaz de auxiliar a drenagem na eventualidade de chuvas ou inundações extraordinárias.

Os rejeitos depositados possuem características muito diversificadas. Em termos de diluição podem variar desde alguns poucos por cento de sólidos em peso, como é o caso dos “overflows” de ciclones, até algumas dezenas por cento de sólidos em peso, como é o caso dos “underflows” dos espessadores. Em termos de granulometria ou mineralogia, possuem diferentes comportamentos reológicos: lamas e argilo-minerais costumam ser muito plásticos, ao passo que areias não o são.

Se um lançamento for feito num ponto qualquer da represa, a fração grossa depositar-se-á imediatamente junto ao ponto de lançamento, e os finos a distâncias crescentes conforme aumente a finura, forma e textura superficial dos sólidos lançados. Consequentemente, a permeabilidade e a resistência ao escoamento dos sólidos depositados variarão continuamente, associadas à distância do ponto de lançamento.

Os rejeitos acumulados dentro da represa são sólidos granulados que têm propriedades reológicas diferentes dos solos com que a mecânica de solos está familiarizada. Esses sólidos possuem granulometria mais variada, suas partículas são angulosas e possuem bordas vivas, e, além disso, têm superfícies sãs do ponto de vista químico.

3. Construção de uma barragem de contenção de rejeitos

Barragens de contenção de rejeitos são estruturas construídas ao longo do tempo através de alteamentos sucessivos que acompanham o processo de extração mineral. Assim, um dique partida é construído inicialmente e a barragem passa por novos alteamentos ao longo de sua vida útil. Podem ser construídas com material compactado proveniente de áreas de empréstimo, ou com o próprio rejeito.

3.1 Maciço

O maciço é uma obra em terra e deve ser projetado e executado com todo o rigor técnico necessário. Para tanto, deve-se considerar a bacia de contribuição e a decorrente capacidade de armazenamento de água, além da capacidade de armazenamento de rejeitos desejada. É também necessário considerar as cheias máximas previsíveis e projetar a barragem para suportar esses eventos. Dependendo do tamanho da lagoa, é necessário considerar a possibilidade de formação de ondas e altear a crista da barragem acima da altura que elas possam atingir.

O enrocamento é um elemento construtivo importante, pois é quem impede a translação de todo o maciço sob a ação do empuxo da água e dos rejeitos.

O maciço é um meio permeável que será saturado pela água presente no reservatório. O solo saturado perde rapidamente a sua coesão e pode escoar. Por isso é necessário drenar parte do maciço, assegurando assim a existência de uma parte seca que sustente a parte saturada. Se as linhas de drenagem emergirem na superfície da barragem, pode haver a formação de “piping”, que progride rapidamente e pode provocar a ruptura do maciço.

A solução alternativa é construir um maciço de baixa permeabilidade, todo ele de argila compactada. Quanto maior o adensamento a que ele for submetido, melhor a impermeabilização. Alternativamente ainda, pode-se revestir a superfície de montante do dique com uma camada impermeável, ou com tapete drenante.

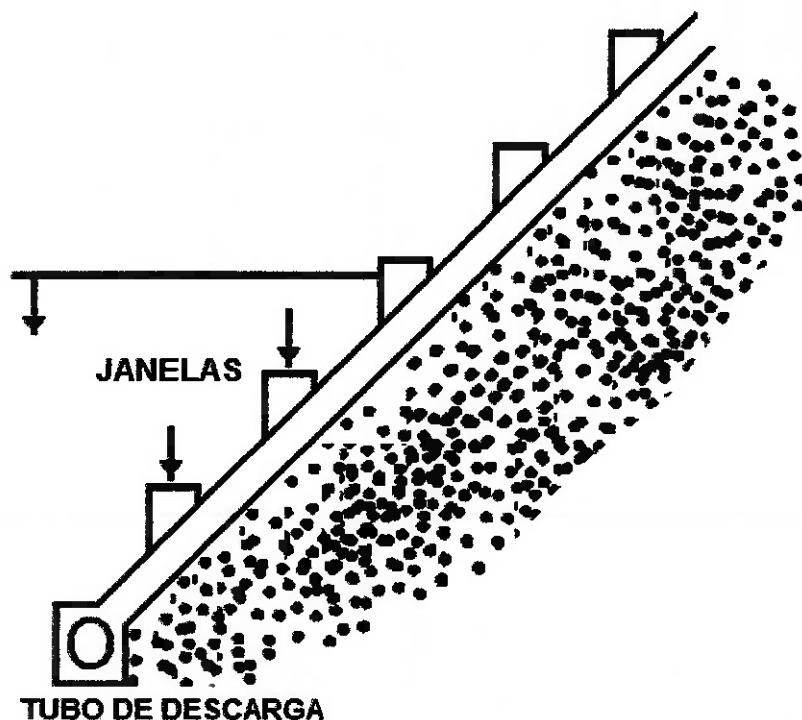
O vertedouro é um dispositivo de segurança, utilizado para transbordar a água contida na lagoa, em caso de enchentes. Não é usado rotineiramente para escoar o excesso de água. O escoamento desta água é feito pelos dispositivos de extravasamento.

3.2 Extravasamento

São três os principais sistemas utilizados para manter o nível da barragem e descarregar a água que acumula.

3.2.1 Galeria de encosta

Consiste em uma galeria de concreto ou tubos metálicos, inclinada, implantada sobre a encosta que constitui a ombreira da barragem. Esta galeria está interligada à uma galeria de fundo que conduz as águas para jusante por sob o maciço da barragem ou à um túnel escavado na ombreira da barragem. A galeria inclinada, que pode ser aumentada gradativamente com a subida do nível d'água ou de rejeitos, apresenta "janelas" ao longo de toda a sua extensão, que podem ser fechadas para reter os rejeitos ou maior volume d'água. Neste caso também, as "janelas" fechadas que vierem a ser cobertas por rejeitos não podem apresentar defeitos, pois dependendo da profundidade em que se encontram seria praticamente impossível a execução de reparos.



(Vick, 1983)

Figura 2 – Extravasor tipo galeria de encosta

3.2.2 Tulipa

Consiste de uma torre de concreto armado ou tubulação de metal construída dentro do reservatório. Possui “janelas” que possibilitam controlar a altura do nível d’água e, portanto, da lâmina d’água onde se processa a sedimentação dos rejeitos argilosos. Esta torre conduz as águas à uma galeria de fundo que atravessa o maciço da barragem, conduzindo a água para jusante. Esta condução das águas pode ser feita através de túnel escavado no maciço da ombreira da barragem. É um dos sistemas mais utilizados em função da sua facilidade construtiva, possibilidade de alteamentos, manutenção e limpeza. Outra vantagem desse sistema é que não necessita operar com equipamentos mecânicos. Em barragens de grande porte, esse sistema demanda investimento maior que as outras opções. O projeto civil da torre deve levar em consideração o empuxo dos rejeitos. Atenção especial deve ser dada às fundações da torre, sua junção à tubulação horizontal, e às juntas, pois sua abertura, devido a recalques da fundação, por exemplo, pode provocar erosão interna do maciço.

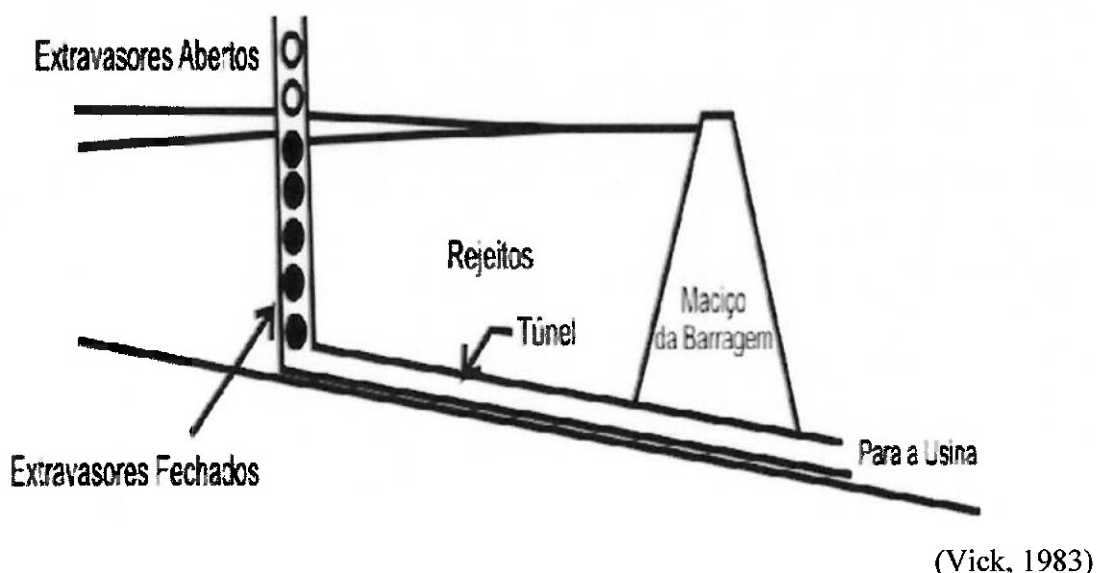
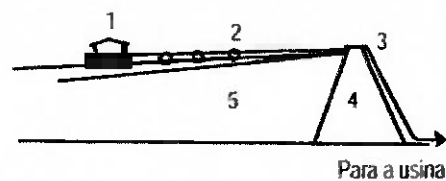


Figura 3 – Extrator tipo tulipa

3.2.3 Pontão

Este sistema torna-se atrativo quando se busca recuperar água para sua reutilização na usina de beneficiamento. O retorno da água é feito com auxílio de um flutuante (balsa) sobre o qual são montadas bombas d’água. A vantagem deste sistema reside na possibilidade de deslocamento do pontão para locais do reservatório nos quais a água encontra-se mais limpa, evitando locais em que a sedimentação dos sólidos em suspensão ainda não se completou. Além disso, esse sistema possibilita, a um custo baixo, manter a água do reservatório a uma distância considerável do corpo da barragem (teoricamente mais permeável).

A maior desvantagem deste sistema reside na possibilidade de falhas no funcionamento das bombas e no alto custo de manutenção associado a esses equipamentos.



Legenda

- 1 Balsa e casa de bomba ou Sifão
- 2 Suporte pontão
- 3 Nível de retorno d água
- 4 Maciço da Barragem
- 5 Rejeitos

(Vick, 1983)

Figura 4- Extravasor tipo pontão

3.3 Principais métodos de alteamento de barragens de contenção de rejeitos

Embora existam grandes variações nos métodos de alteamento de barragens construídas com rejeitos, três métodos destacam-se como os mais comuns: método de montante, método de jusante e método de linha de centro; cujas denominações resultam do deslocamento que o eixo da barragem apresenta durante seu alteamento. A seguir são apresentadas as principais características desses três métodos de alteamento.

3.3.1 Método de montante

O método de montante é considerado o mais econômico e o de maior facilidade executiva. Inicialmente, constrói-se um dique de partida, sendo em seguida os rejeitos lançados a montante a partir da crista, formando assim a chamada praia de rejeitos. Essa praia, por sua vez, torna-se fundação para o segundo dique periférico. E assim, sucessivamente, a barragem recebe incrementos até atingir a altura máxima prevista no projeto.

Durante o lançamento dos rejeitos, ocorre segregação granulométrica, a fração mais grossa fica depositada próximo ao maciço e as frações mais finas (lamas) fluem em direção ao lago de decantação. Para que o material lançado sirva de base para um novo alteamento é necessário que os rejeitos contenham de 40 a 60% de areia e baixa densidade de polpa para que ocorra segregação granulométrica.

Entre as vantagens desse método, pode-se citar:

- Menor custo de construção
- Menores volumes envolvidos no alteamento
- Maior velocidade de alteamento
- Pouco uso de equipamentos de terraplenagem

Entre as desvantagens:

- Menor coeficiente de segurança, devido à linha freática estar geralmente situada próximo ao talude de jusante.
- Superfície crítica de ruptura passa pelos rejeitos sedimentados, porém não devidamente compactados.
- Possibilidade de ocorrência de “piping” devido ao surgimento de água na superfície do talude de jusante, principalmente quando ocorre concentração de fluxo entre dois diques compactados.
- Risco de ruptura devido a liquefação da massa de rejeitos por efeito de sismos naturais, vibrações causadas por explosões ou movimentação de equipamentos.

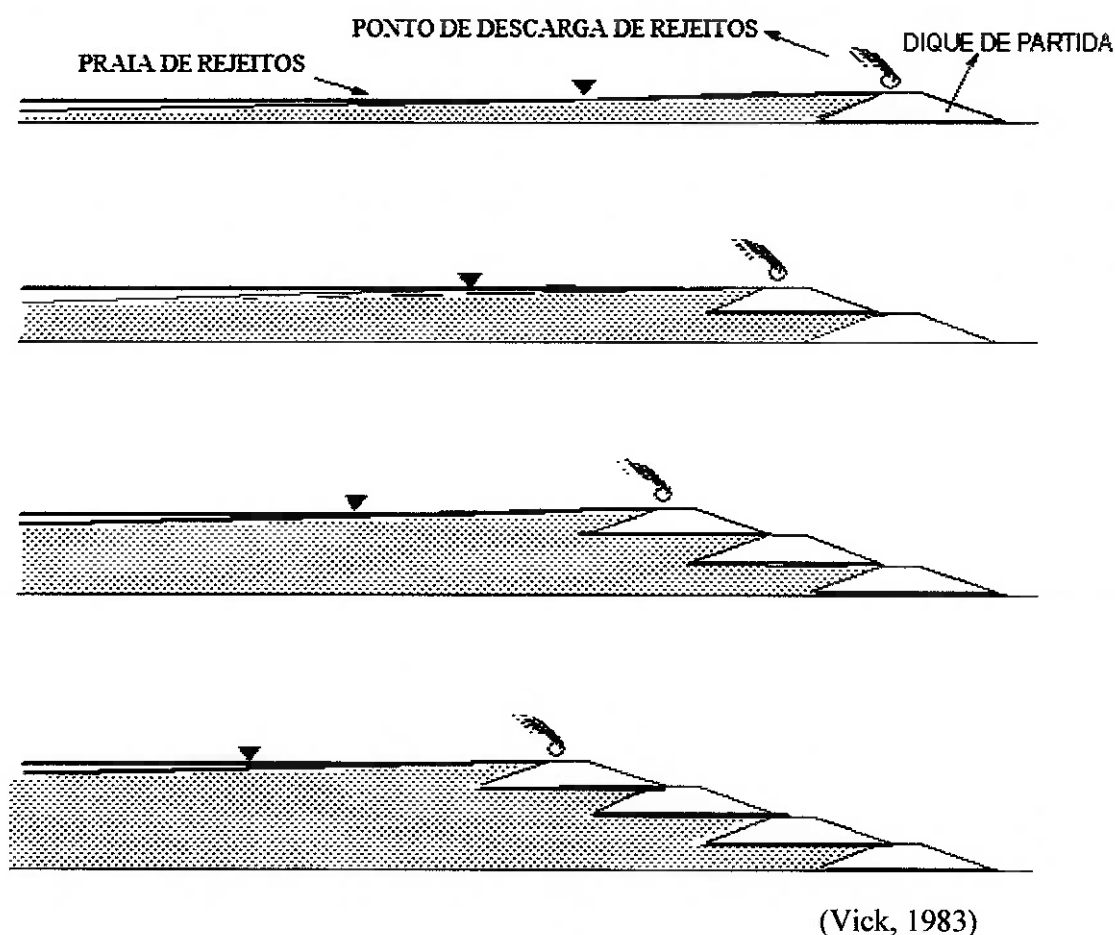
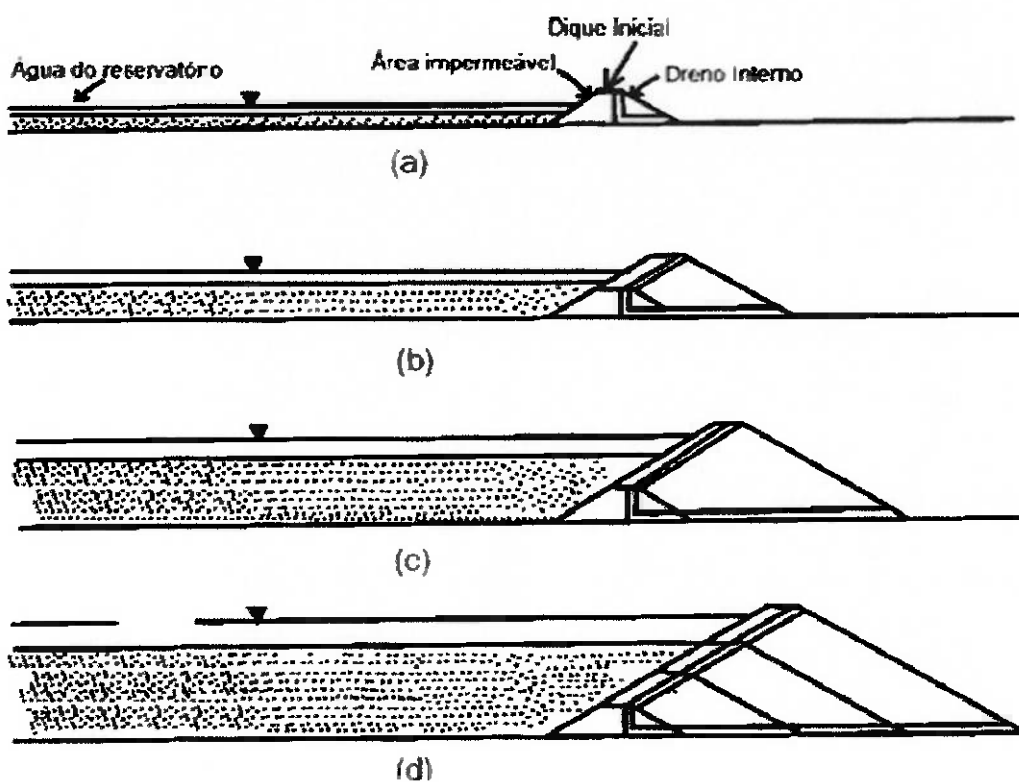


Figura 5 – Alteamento de barragens de rejeito pelo método de montante

3.3.2 Método de jusante

No método de jusante, constrói-se também um dique inicial, impermeável, e os rejeitos são lançados de forma que a linha de centro (eixo da barragem) se desloque para montante em cada alteamento. Neste método, somente os rejeitos grossos são utilizados no alteamento e a barragem pode ser projetada para grandes alturas, incorporando sempre neste alteamento o sistema de impermeabilização e drenagem. Os rejeitos são ciclizados e o “underflow” é lançado no talude de jusante onde sofre compactação e controle construtivo.



(Vick, 1983)

Figura 6 - Sequência de alteamento da barragem por método de jusante

Como vantagens desse método, pode-se citar:

- Maior segurança devido ao alteamento controlado
- Menor probabilidade de “piping” e de rupturas horizontais, devido a maior resistência ao cisalhamento
- Maior resistência a vibrações provocadas por sismos naturais e vibrações devido ao emprego de explosivos na frente de lavra
- Instalação de sistema de drenagem e impermeabilização à medida que se processa o alteamento

Entre as desvantagens, pode-se citar:

- Custo mais elevado
- Maior volume de material a ser movimentado e compactado
- Menor velocidade de alteamento da barragem
- Não possibilita a proteção com cobertura vegetal, e tampouco drenagem superficial durante a fase construtiva, devido à superposição dos rejeitos no talude de jusante.
- Requer emprego de ciclones e construção de enrocamento de pé para conter o avanço do “underflow”.

3.3.3 Método da linha de centro

O método da linha de centro é uma solução intermediária entre os métodos de montante e de jusante, inclusive em termos de custo. Neste método, constrói-se um dique inicial e os rejeitos são lançados perifericamente à montante do mesmo, formando, assim, uma praia. O alteamento subsequente é feito lançando-se os rejeitos sobre a praia anteriormente formada e sobre o talude de jusante do dique de partida. Nesse processo, o eixo da crista do dique inicial e o eixo dos diques resultantes dos sucessivos alteamentos são coincidentes.

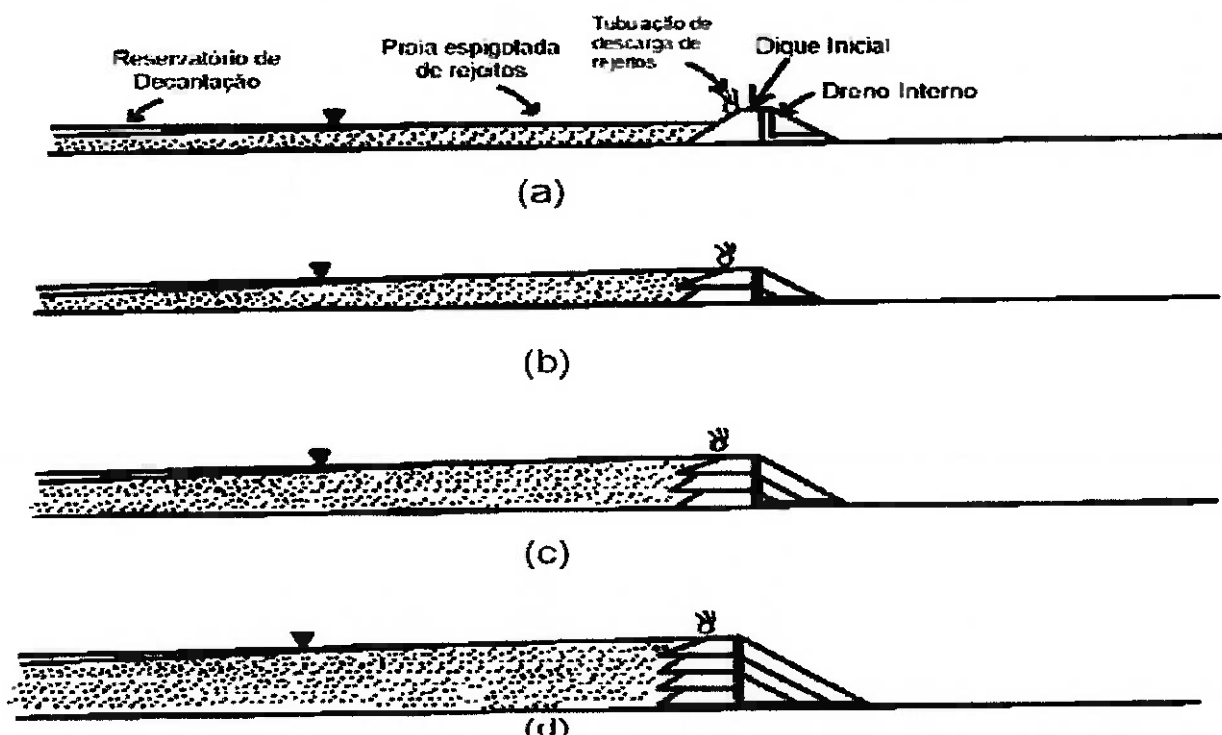


Figura 7 – Sequência de alteamento pelo método de linha de centro

(Vick, 1983)

Este método apresenta vantagens pertencentes aos dois outros métodos descritos e minimiza algumas de suas desvantagens.

Como vantagens, pode-se citar:

- Facilidade construtiva
- O material para alteamento pode vir de áreas de empréstimo, pode ser estéril, ou “underflow” do ciclone
- Permite o controle da linha freática no talude de jusante

As principais desvantagens são:

- A área a montante é passível de escorregamentos
- É necessário o uso de ciclones
- Este método requer, além do dique inicial, enrocamento de pé para conter o avanço do “overflow”.
- Não permite tratamentos da superfície do talude de jusante

4. Acidentes com barragens de contenção de rejeitos

A crescente geração de rejeitos tem conduzido a um aumento significativo das estruturas armazenadoras, fazendo com que, atualmente, as barragens de rejeitos encontrem-se entre as mais importantes obras da mineração. Concomitantemente ao aumento das dimensões dessas barragens, os vários acidentes ocorridos com as mesmas despertam a atenção da comunidade técnico-científica e de autoridades governamentais para a questão da segurança destas obras.

Os acidentes com barragens de contenção de rejeitos frequentemente custam vidas e ocasionam grandes perdas materiais e a poluição e ou destruição de valiosos recursos naturais. As tabelas seguintes mostram alguns dos mais recentes acidentes com barragens de rejeitos no Brasil e no mundo.

Tabela 1 - Acidentes com barragens no mundo

| LOCAL | TIPO DE INCIDENTE | IMPACTO |
|----------------------------------|--|--|
| Shanxi Province, China(2008) | Colapso de barragem de rejeitos durante chuvas | Morte de 254 pessoas 35 feridas |
| Nchanga, Chingola, Zâmbia (2006) | Ruptura de uma tubulação de rejeitos de cobre | Vazamento de rejeitos ácidos para o rio Kafue. |

| | | |
|---|---|---|
| Shaanxi Province, China (2006) | Ruptura de barragem de rejeitos de ouro durante o sexto alteamento | Inundação de casas com 130 residentes desabrigados. Vazamento de cianeto para o rio. Contaminação de 5,0 km para jusante. |
| Bangs Lake, Jackson County, Mississippi, USA (2005) | Ruptura de pilha de gesso, por enchimento rápido do reservatório e ocorrência de chuva intensa. | Vazamento de 17 milhões de m³ de líquido ácido |
| Pinchi Lake, British Columbia, Canada (2004) | Ruptura da barragem de rejeitos com mercúrio | Rejeitos fluíram para o Pinchi Lake |
| Riverview, Florida, USA (2004) | Um dique rompeu no topo de uma pilha de gesso. | 60 milhões de galões de líquido ácido fluíram para o riacho Archie e baía de Hillsboroughliq |
| Partizansk, Primorski Krai, Russia (2004) | Ruptura de um dique de contenção de cinza volante com 1,0 km² de área, com 20 milhões de m³ de cinza. | A polpa de cinza fluiu por um canal de drenagem para um afluente do rio Partizanskaya |
| Malvésí, Aude, France (2004) | Ruptura do dique apos chuvas intensas | 30.000 m³ de líquido vazaram com elevada concentração de nitrato. |
| Cerro Negro, Petorca prov., Quinta Region, Chile (2003) | Ruptura de barragem de rejeitos de cobre | 50.000 ton. de rejeitos fluíram por 20 km do rio Ligua |
| San Marcelino, Zambales, Philippines (2002) | Galgamento e ruptura do vertedouro de duas barragens abandonadas após chuvas intensas | Rejeitos fluíram para o lago Mapanuepe. Inundação de vila com 250 famílias |

(WISE, 2012)

Tabela 2 – Acidentes com barragens no Brasil

| Mês e Ano | Ocorrência |
|-----------------|--|
| Janeiro de 2007 | Reincidente: Rio Pompa Mineração Cataguazes. Miraf, MG. Rompimento da barragem causa danos ambientais, prejuízos materiais, suspensão do abastecimento de água e deixou mais de 500 pessoas desalojadas. |
| Março de 2006 | Rio Pompa Mineração Cataguazes. Miraf, MG. Vazamento de lama causou danos ambientais, prejuízos materiais e suspensão do abastecimento de água em cidades de MG e RJ. |
| Março de 2003 | Indústria Cataguazes de Papel. Cataguazes, MG. Lixívia negra causou interrupção no fornecimento de água. |
| Junho de 2001 | Mineração Rio Verde Ltda. Nova Lima, MG. O rompimento da barragem resultou em 5 mortes, danos à fauna e flora, danos a adutoras de abastecimento de água e assoreamento de rios. |

(FEAM, 2008)

5. Segurança em barragens de contenção de rejeitos

As barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais são estruturas complexas e dinâmicas que requerem cuidados especiais na elaboração dos projetos de engenharia, operação, manutenção das estruturas, bem como para o descomissionamento.

No histórico de acidentes reportados pela ICOLD – International Commission on Large Dams, as principais causas de rompimento barragens são problemas de fundação, capacidade inadequada dos vertedouros, instabilidade dos taludes, falta de controle da erosão, deficiências no controle e inspeção pós-fechamento e falta de dispositivos graduais de segurança ao longo da vida útil da estrutura.

As causas destes acidentes podem estar relacionadas com a perda da compreensão dos fatores que controlam a segurança das operações, ou seja, falta ou falhas na instrumentação e no monitoramento. Existem poucos casos de eventos não previsíveis ou causados por condições climáticas inesperadas, uma vez que o conhecimento de hoje permite a previsão destes eventos. Os acidentes também são resultados de condições inadequadas de investigações de campo, projeto, construção, operação, monitoramento, ou a combinação destes.

O conhecimento sobre os fatores que controlam o comportamento das barragens de contenção de rejeitos cresceu bastante nos últimos trinta anos. As consequências e a percepção pública dos rompimentos nas barragens de contenção de rejeitos cresceram consideravelmente, tornando os proprietários e os gerenciadores mais conscientes dos riscos envolvidos nas construções dos reservatórios.

A probabilidade de uma falha ocorrer pode ser baixa, porém as consequências podem ser desastrosas para comunidades locais e o ambiente a jusante. O risco imposto por toda a barragem de contenção de rejeitos será específico para o local, dependendo, por exemplo, do projeto, da construção e manutenção da barragem, das características da rocha subjacente, das condições de precipitação e da atividade sísmica na área, por isso, cada aspecto deve receber devida atenção, de modo a evitar falhas e acidentes.

Rupturas de barragens de rejeitos geralmente ocorrem onde um ou mais aspectos do projeto e construção/operação são deficientes. Muitas rupturas ocorreram como resultado de práticas operacionais que foram incompatíveis com os requerimentos de projeto, ou vice-versa. Isso não é para dizer que um projeto mal elaborado pode ser salvo por práticas operacionais exemplares, nem que um bom projeto possa resistir às práticas operacionais inadequadas. Isso indica que rupturas podem ocorrer quando um projeto mal elaborado é combinado com práticas operacionais inadequadas.

6. Considerações sobre o projeto

Um projeto adequado deve atender à melhor prática da engenharia e realizar, dentre outros, estudos geológicos, geotécnicos e hidrológicos; prevendo a execução de sondagens e de ensaios nos materiais de fundação, de construção e nos rejeitos, além de estudos do seu

comportamento. Também devem constar no projeto as boas práticas de construção, instrumentação para observação do comportamento da barragem e manual de operação da barragem.

A deficiência no atendimento a estes requisitos tem sido a causa de muitos dos acidentes relatados. Mesmo entre as barragens que não chegam a sofrer acidentes, muitas têm seu custo operacional elevado e requerem maior atenção para tratamento das situações de risco. Num projeto de barragem de contenção de rejeitos, a qualificação do projetista deve abranger conhecimentos nas áreas de Mineração, Mecânica dos Solos, Mecânica de Rochas, Geologia, Hidrologia e Hidráulica.

O projeto de uma barragem de contenção de rejeitos compreende as seguintes fases:

- Definição do local
- Definição do tipo de barramento
- Definição do tratamento da fundação
- Seleção do método de disposição
- Definição do sistema de transporte da polpa
- Seleção do tipo de alteamento
- Conhecimento das propriedades e características geotécnicas da fundação e dos materiais das áreas de empréstimo
- Determinação da borda livre, tamanho de praia e do sistema de drenagem interna, de forma a se obter um controle eficiente da linha de saturação
- Estudo das propriedades tecnológicas do rejeito
- Elaboração do projeto geotécnico constando estudos da fundação, análise de estabilidade de taludes, análise de percolação e análise de tensão-deformação
- Projeto de filtros e drenos
- Análise do potencial de liquefação
- Levantamento de dados e informações necessárias ao fechamento
- Preparação de documentação completa com desenhos, relatórios técnicos, boletins de sondagens e especificações de construção
- Gestão de água e balanço hídrico (recuperação de água para o beneficiamento e controle de vazões extremas)

Alguns fatores que afetam a escolha da localização da barragem:

- Custo
- Estabilidades do sistema de disposição
- Segurança das pessoas e do meio ambiente
- Vida útil
- Uso após o fechamento

A investigação do local, tendo em vista sua possível seleção, deve considerar a dimensão do reservatório, a complexidade do local, as consequências de uma possível ruptura e os riscos de geração de poluição atmosférica ou hídrica.

Após a seleção do local, deve ser definido o tipo de barramento, levando-se em consideração a compatibilidade entre o barramento e a fundação, a disponibilidade do material de construção a ser utilizado e o clima, que influenciará o rendimento da obra.

Outra etapa fundamental é o tratamento das fundações, que é diferente para solos e para rochas, uma vez que cada um deles apresenta problemas peculiares.

7. Considerações sobre a construção

Definidos no projeto o local, o tipo de estrutura, o material a ser utilizado no barramento e o método de alteamento; inicia-se a construção, que deve contar em todo o período com um monitoramento contínuo de estabilidade, de percolação e de deformação. Para isso, devem ser realizadas inspeções para verificação da existência de trincas na crista ou taludes, deslocamentos visíveis e percolações pontuais. Há que se controlar também a linha freática mediante a instalação de piezômetros. O conhecimento da resistência “in situ” é fundamental para se avaliar se a obra encontra-se dentro das especificações do projeto.

A construção de barragens requer uma supervisão especializada de construção, principalmente na fase de escavações, quando é essencial a presença de um engenheiro geotécnico experiente. Mesmo para os locais bem investigados, a fase de escavações pode revelar aspectos que nem sempre podem ser corretamente caracterizados na fase de projeto. Podem ocorrer surpresas geológicas que acarretem diferenças significativas entre as hipóteses de projeto e as condições reais encontradas.

A supervisão especializada é necessária para cobrir adequadamente essas situações, para facilitar a construção como projetado, intervir nas necessidades de adaptação do projeto à realidade encontrada e também para orientar os registros do controle de construção e a elaboração da documentação “as built” (como construído), que é essencial nas fases seguintes de operação, para o correto monitoramento da barragem.

A elaboração do “as built” é fundamental, pois nem sempre a construção de uma barragem ocorre de acordo com as especificações do projeto. Assim, esse documento implica num trabalho contínuo de identificação e registro das alterações verificadas em obra. Consequentemente, melhorias adicionais devem ser avaliadas na prática do projeto, da construção e da operação, reduzindo os riscos de acidentes no futuro.

8. Considerações sobre a operação

As ações de operações de uma barragem de contenção de rejeitos, sobretudo as construídas com alteamento por método de montante, condicionam fortemente a segurança dessas barragens.

Para que a operação ocorra de forma adequada é fundamental a existência de um manual de operação, elaborado pelo projetista. Os procedimentos para operação dos vários itens precisam estar descritos detalhadamente, de forma a possibilitar o seu perfeito entendimento pela equipe de operação. É necessário descrever com clareza aspectos como: largura mínima de praia, borda livre, detalhes de operação da estrutura extravasora, locais de descarga dos rejeitos, controle de clarificação da água, etc.

A falta de um manual de operação faz com que a equipe de operação não tenha a descrição dos requisitos de operação considerados no projeto, e, portanto, ela terá de improvisar em diversas situações, sem o conhecimento adequado das premissas. É claro que isso representa uma situação de risco, mesmo para uma equipe de operação capacitada e bem treinada.

Muitas vezes quem opera a barragem não é uma equipe especializada, mas alguém da produção. O operador, seja ele um especialista ou não, precisa estar capacitado, com conhecimentos específicos das tarefas inerentes à operação. Para tanto, é necessário treinamento específico sobre a estrutura a ser operada.

A barragem de contenção de rejeitos precisa ser submetida a uma inspeção completa pelo menos uma vez ao mês, com base em uma lista de verificação preparada pelo projetista e, complementada pelo operador. Para alguma das barragens, é necessário que uma inspeção em pontos específicos seja realizada diariamente.

De forma geral, na fase de operação deve-se ter:

- Manual de operação
- Registro dos procedimentos operacionais
- Controle de aspectos importantes (estrutura extravasora, largura mínima da praia, borda livre mínima, controle da vazão, de percolação e cuidados com a qualidade da água efluente).

Os resultados do monitoramento devem ser examinados pelo projetista e confrontados com as premissas de projeto. Deve ser elaborado um relatório periódico de operação.

9. Considerações sobre o monitoramento

O monitoramento é uma atividade essencial dentro do sistema de gestão de segurança de uma barragem, pois tem como função fornecer dados para os critérios de projeto, detectar situações de perigo e fornecer informações sobre o desempenho da estrutura.

O projeto e a construção adequados de uma barragem são de extrema importância, porém não são suficientes para a operação segura da mesma. Assim, deve ser estabelecido um processo de acompanhamento e avaliação permanente. Para isso devem ser realizadas verificações mediante inspeções visuais e leituras e análises de instrumentos

9.1 Inspeções

A avaliação da segurança de uma barragem é uma atividade sistemática feita por meio de inspeções pormenorizadas das estruturas, avaliação do desempenho, e verificação dos registros originais de projeto e construção. As inspeções podem ser divididas conforme apresentado a seguir:

- Inspeção visual de rotina: Essa inspeção fica a cargo dos responsáveis pela barragem. Deve ser efetuada com uma frequência mínima adequada às fases de vida da obra e à sua importância.
- Inspeção por especialista: Essa inspeção deve ser realizada por especialista e efetuada numa frequência menor, porém deve avaliar o comportamento hidráulico e estrutural
- Inspeção de caráter excepcional: Esse tipo de inspeção deve ocorrer em situações anormais, tais como grandes cheias, esvaziamentos significativos, sismos e outras condições excepcionais

9.2 Roteiro de inspeção de campo

A inspeção de campo deve abranger todos os elementos que compõem uma barragem. A tabela a seguir mostra uma lista de todos os itens que devem ser checados durante uma inspeção.

Tabela 3 - Elementos que devem ser observados durante a inspeção

| ELEMENTOS | OBSERVAÇÕES |
|--------------------------------------|---|
| Acessos | <ul style="list-style-type: none"> • Verificar se as condições do acesso à barragem e ao reservatório estão adequadas para passagem de veículos e de equipamentos apropriados, para qualquer condição meteorológica (revestimento apropriado, drenagem superficial, taludes de cortes e aterros estáveis e revegetados e possibilidade de acessos secundários para casos eventuais); • Verificar se o acesso ao pé da barragem encontra-se em boas condições (incluindo a região da saída da drenagem interna); • Verificar se a drenagem dos acessos pode oferecer risco à segurança da barragem. |
| Reservatório e Praia | <ul style="list-style-type: none"> • Observar as margens do reservatório da barragem para identificar a presença de focos de erosões, deslizamentos superficiais e aporte de sedimentos que possam acelerar o assoreamento do reservatório, comprometendo a vida útil da barragem. É importante observar se há presença de material flutuante no reservatório que possa vir a obstruir o extravasor; • Verificar a cota do NA através da régua de medida; • Verificar a conformação da praia, em caso de barragem de rejeito; • Verificar o comprimento da praia. |
| Borda Livre | <ul style="list-style-type: none"> • Verificar se a borda livre encontra-se compatível com o valor recomendado em projeto. |
| Ombreiras | <ul style="list-style-type: none"> • Verificar a existência de pontos com umidade excessiva, surgências, erosões, vegetação excessiva, recalques e trincas. |
| Taludes | <ul style="list-style-type: none"> • Observar o estado de conservação dos revestimentos nos taludes, a ocorrência de erosões, buracos de animais e tipo de vegetação. Vegetações que tenham sistema de raízes extensas devem ser removidas. O crescimento de árvores e arbustos tanto no talude de jusante quanto no de montante deve ser prevenido para evitar que as raízes causem danos às estruturas, tal como caminhos de percolações, vazios no maciço, entupimento de tubos, entre outros. Deve-se verificar se ocorrem frentes de umidade ou pontos de surgências de água, bolhas, pontos moles ou crescimentos anormais de vegetação. Os pontos de vegetação com coloração diferenciada podem ser indicio de zonas saturadas; • Verificar a presença de deslocamentos diferenciais ou de trincas; • Checar pontos com potencial de acúmulo de água pluvial. |
| Crista e Tubulação de Rejeitos | <ul style="list-style-type: none"> • Verificar a camada de proteção superficial, o nivelamento, largura, recalques eventuais e ocorrências de trincas, fissuras e erosões; • Verificar o nivelamento da crista e a presença de pontos de abatimento ou de acúmulo de água pluvial; • Verificar nivelamento da tubulação de rejeitos e presença de vazamentos. |
| Dispositivos de Drenagem Superficial | <ul style="list-style-type: none"> • Deve-se observar se estão desassoreados, contínuos e perfeitamente interligados às escadas de descidas de água; • Verificar se existem pontos com drenagem convergente para o interior da barragem; • Verificar se não há pontos de erosão e carreamento de material devido à |

| | |
|-------------------|--|
| | água de chuva. |
| Dreno de Pé | <ul style="list-style-type: none"> • Observar se a saída do sistema de drenagem interna está desobstruída e limpa. |
| Sistema Extravaso | <ul style="list-style-type: none"> • Verificar a presença de danos na estrutura de concreto (trincas, fissuras, exposição de ferragem, deformações ou tombamento das paredes laterais do canal, descolamento da laje de fundo), obstrução do emboque do canal vertente, erosões nas margens, trincas de tensão, recalques diferenciais, vazamentos, vegetações, assoreamento e erosões no canal de restituição ou a jusante da bacia de dissipação. |
| Instrumentação | <ul style="list-style-type: none"> • Observar a integridade física do instrumento, a facilidade na identificação do mesmo, as condições de acessos para leitura e a proteção contra danos causados por vandalismo. |

9.3 Frequência de inspeção

As inspeções de rotina deverão ser realizadas com frequência mensal para avaliação do histórico do comportamento do aterro, fundação e ombreiras. Em caso de necessidade, a frequência de inspeção deverá ser intensificada.

9.4 Relatório de inspeção e plano de ação

Ao fim de cada inspeção, todas as informações levantadas em campo deverão ser entregues ao responsável pela barragem, que deverá emitir o relatório mensal de inspeção. Esse relatório deve ser elaborado de forma simplificada com as informações das áreas inspecionadas. Além disso, deve conter o histórico das leituras dos instrumentos.

Para qualquer anormalidade encontrada na inspeção, deve-se realizar o registro e propor um plano de ação para tomar as medidas corretivas e/ou preventivas. No plano de ação deverá constar o prazo para a execução das medidas e o responsável pela execução.

9.5 Instrumentação

A instrumentação tem como função fornecer aos responsáveis pela verificação da barragem os parâmetros de comparação com as hipóteses consideradas no projeto, contribuindo para o entendimento do seu desempenho e para a manutenção da sua segurança.

O monitoramento deve ser planejado e implantado de acordo com o definido em projeto. O planejamento deve refletir as necessidades de cada barragem individualmente e nele devem constar a descrição da instrumentação, a periodicidade das leituras e a análise dos dados.

A instrumentação não se restringe apenas à seleção dos instrumentos a serem instalados na barragem. Ela constitui-se, na verdade, em um processo que se inicia com a definição dos objetivos e culmina com a rigorosa análise dos dados coletados.

Numa barragem de contenção de rejeitos, as grandezas possíveis de serem medidas por instrumentação são muitas, entre as quais destacam-se: nível d'água, poropressão, deslocamentos, tensões, vazão, e recalque.

10. Considerações sobre o descomissionamento

A barragem deve dispor de um plano de fechamento para orientar, desde o início da operação, as ações para o seu fechamento. Inicialmente, o plano é elaborado de forma conceitual e à medida que as informações forem produzidas, o trabalho inicialmente desenvolvido vai se tornando detalhado.

Quanto mais cedo o plano de fechamento for elaborado e as revisões e validações forem realizadas, maiores serão as chances de se obter sucesso na etapa de fechamento. Os principais itens a serem abordados no plano de fechamento são:

- Uso futuro da área
- Estabilidade física e sustentabilidade de longo prazo
- Estabilidade química
- Paisagismo (topografia e vegetação)

10.1 Uso futuro da área

Esta definição condiciona vários aspectos importantes do projeto. Se a barragem será mantida como reservatório com lago, terá que ser previsto o controle e monitoramento a longo prazo. Se ela será desativada, deverá ter sua estrutura adaptada à nova situação.

10.2 Estabilidade física

- Estabilidade de taludes a longo prazo
- Controle de erosão - Drenagem superficial
- Controle de cheias com vertedouro capaz de escoar vazão máxima provável
- Revegetação (o controle de erosão requer boa drenagem associada a uma boa cobertura vegetal)

10.3 Estabilidade química

- Contenção de contaminantes a longo prazo (potencial gerador de ácido, metais pesados e outros elementos químicos poluidores)
- Controle de efluentes de percolação
- Controle de efluentes de drenagem superficial
- Métodos de remediação

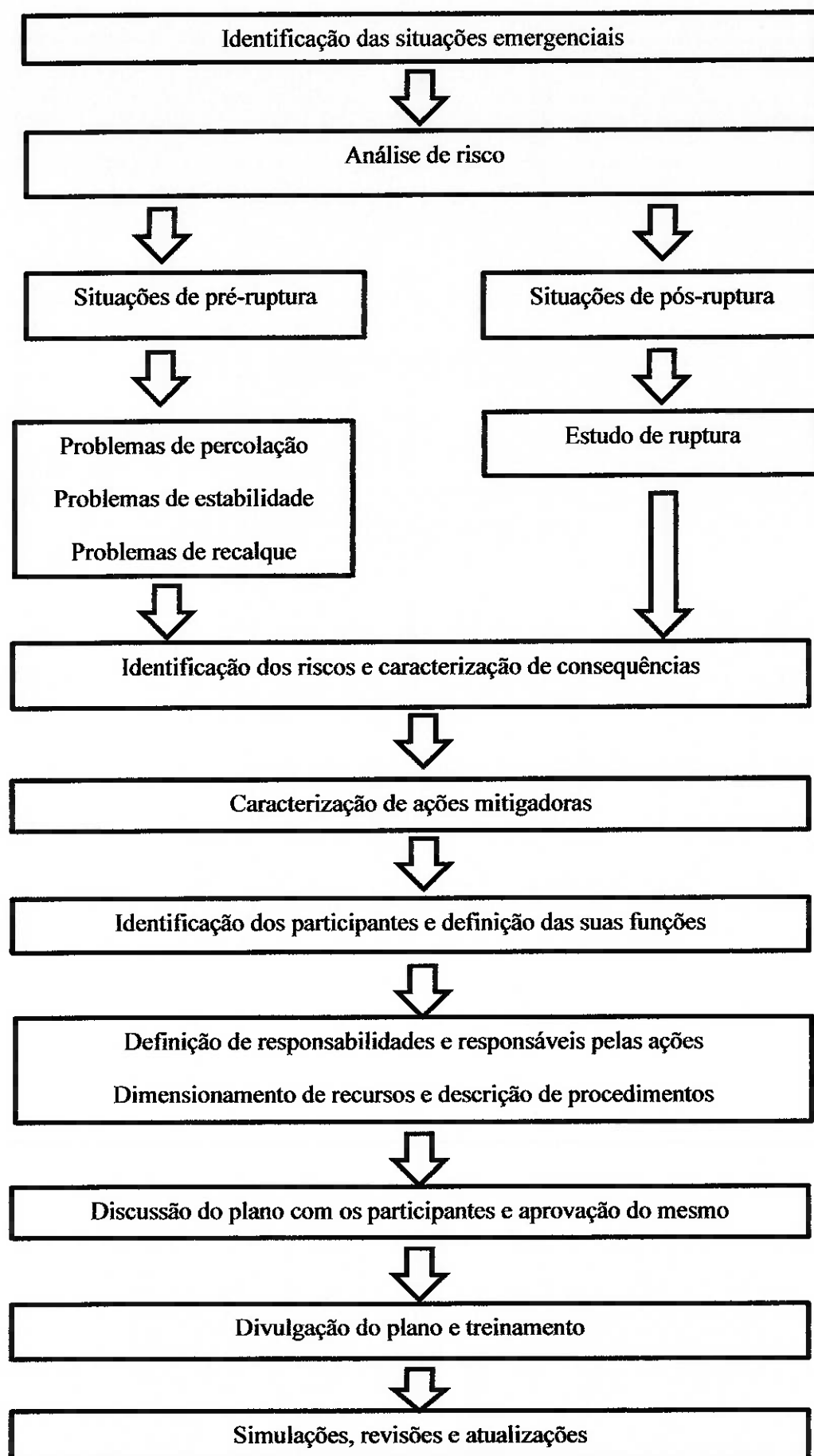
10.4 Paisagismo

- Estudos detalhados das espécies da flora e fauna local
- Análise dos solos que servirão de substrato para a revegetação, identificando as principais limitações
- Manutenção dos corredores ecológicos
- Reconformação topográfica e paisagística

11. Plano de Ação Emergencial - PAE

O plano de ação emergencial é um documento que contém os procedimentos para atuação em situações de emergência, bem como os meios de comunicação e os mapas de inundação que mostram os níveis de água a montante e a jusante e os tempos de chegada das ondas de cheia, que poderiam resultar da ruptura da barragem ou de suas estruturas associadas.

Todas as condições emergenciais da barragem devem ser identificadas e avaliadas, levando em consideração as consequências de uma possível ruptura, de modo que as ações corretivas ou preventivas possam ser executadas. Esse plano possibilita o planejamento do município, da polícia local, das agências estaduais, das companhias de transporte e de outras entidades afetadas na eventualidade de uma ruptura total ou parcial da barragem. O esquema a seguir apresenta as diretrizes para elaboração do PAE.



12. Regulamentação de barragens de contenção de rejeitos no Brasil

Nos últimos anos, várias entidades internacionais têm manifestado grande preocupação com a situação da segurança nas barragens de rejeito no mundo. Muitos foram os trabalhos publicados com a finalidade de promover a conscientização sobre segurança e a adoção de boas práticas com relação a barragens de contenção de rejeitos. Seguindo essa tendência mundial, o Brasil promulgou em 20 de Setembro de 2010 a lei nº 12.334, que estabelece a Política Nacional de segurança de Barragens e cria também o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, uma autarquia que possui, entre outras, a atribuição de classificar as barragens e fiscalizar a implementação do Plano de Segurança de Barragens pelas empresas de mineração.

12.1 Classificação de barragens de contenção de rejeitos

A classificação de barragens de contenção de rejeitos será feita de acordo com as informações declaradas pelo empreendedor no RAL- Relatório Anual de Lavra, e usará os seguintes parâmetros para fazê-la:

- Características técnicas (Altura, comprimento e vazão de projeto)
- Estado de conservação (Confiabilidade das estruturas extravasoras, percolação, deformações, recalques e deterioração dos taludes)
- Plano de Segurança da Barragem
- Dano potencial associado (Volume da barragem, existência de população a jusante, impacto ambiental e impacto sócio-econômico)

Cada barragem deverá estar inserida em uma das cinco classes da tabela abaixo:

Tabela 4 – Quadro de classificação de barragens

| CATEGORIA DE RISCO | DANO POTENCIAL ASSOCIADO | | |
|--------------------|--------------------------|----------|----------|
| | ALTO | MÉDIO | BAIXO |
| ALTO | A | B | C |
| MÉDIO | B | C | D |
| BAIXO | C | D | E |

(DNPM, 2012)

De acordo com a mesma legislação, qualquer barragem de mineração que apresentar pelo menos uma das seguintes características, estará inserida na Política Nacional de Segurança de Barragens:

- Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15 metros
- Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³
- Reservatório que contenha resíduos perigosos
- Categoria de dano potencial associado médio ou alto

12.2 Plano de Segurança da Barragem

Qualquer barragem de rejeitos que se insira na Política Nacional de Segurança de Barragens, segundo critérios acima, deverá elaborar e apresentar ao DNPM um documento chamado Plano de Segurança da Barragem. Este documento discorre sobre as boas práticas que devem ser adotadas com relação à barragem, e deve ser composto por cinco volumes:

- Volume I – Informações gerais
- Volume II – Planos e procedimentos
- Volume III - Registros e controles
- Volume IV – Plano de ação de emergência
- Volume V – Revisão periódica de segurança da barragem

Cada empreendimento deverá apresentar, conforme sua classificação, os seguintes volumes:

- Classe A – Volumes I, II, III, IV e V
- Classe B - Volumes I, II, III e V
- Classe C - Volumes I, II, III, e V
- Classe D - Volumes I, II, III e V
- Classe E - Volumes I, II, III e V

Sendo que sempre que o DNPM julgar necessário, poderá ser exigida a elaboração do volume IV – Plano de ação emergencial- para qualquer empreendimento.

A mesma lei discorre também sobre a periodicidade da revisão do plano de segurança da barragem.

- Classe A – a cada 5 anos
- Classe B – a cada 5 anos
- Classe C – a cada 7 anos
- Classe D – a cada 10 anos
- Classe E – a cada 10 anos

13. Conclusão

Barragens de contenção de rejeitos são estruturas que intrinsecamente possuem um grande potencial destrutivo, uma vez que sua falha ou ruptura pode ocasionar enormes danos materiais, ambientais e mortes. À medida que essas estruturas aumentam, o seu potencial destrutivo também aumenta, o que torna cada vez mais premente a conscientização dos proprietários e pessoas envolvidas face à adoção de boas práticas e medidas de segurança em todas as fases deste tipo de empreendimento.

Destaca-se ainda que a Política Nacional de Segurança de Barragens, se seguida conforme foi concebida, representa um grande avanço no setor, visto que ela obriga os empreendimentos a elaborarem um plano de segurança e fiscaliza o cumprimento das normas estabelecidas.

Referências Bibliográficas

ANA - Agência Nacional de Águas - Relatório de segurança de barragens 2011. Brasília, 2012. Disponível em < <http://www.inema.ba.gov.br> > Acesso em outubro de 2012

CHAVES A. P.; Manuseio de sólidos granulados. São Paulo: oficina de textos, 2012, Teoria e prática do tratamento de minérios; V. 5

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. Cadastro Nacional de Barragens de Mineração. Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=946>>. Acesso em outubro de 2012

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. Classificação das Barragens de Mineração. Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=947>>. Acesso em outubro de 2012

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. Legislação. Disponível em < <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=945> >. Acesso em outubro de 2012

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. Plano de Segurança de Barragens. Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=949>>. Acesso em outubro de 2012

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. Segurança de Barragens. Disponível em < <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=948> >. Acesso em outubro de 2012

DUARTE, A, P. Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008

SOARES, L.; Barragem de rejeitos. In: Tratamento de Minérios – 5ª Edição/Ed. Adão Benvindo da Luz, João Alves Sampaio e Silvia Cristina Alves França - Rio de Janeiro, 2010:

ESPÓSITO, T, J. Controle geotécnico da construção de barragens de rejeito – Análise da estabilidade de taludes e estudos de percolação. (dissertação de mestrado). Universidade de Brasília, Faculdade de tecnologia, Departamento de engenharia civil. Brasília, 1995

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM, MG. Relatórios técnicos, Gestão de barragens 2008. Disponível em < <http://www.feam.br/monitoramento/gestao-de-barragens> >. Acessado em novembro de 2012.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS – ICOLD. A guide to tailings dams and impoundments – design, construction, use and rehabilitation. Paris: International Commission on Large Dams and the United Nations Environmental Programme, 1996b. 239 p. (Bulletin 106).

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS – ICOLD. Manual on tailings dams and dumps. Paris: International Commission on Large Dams, 1982. 237 p. (Bulletin 45).

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS – ICOLD. Monitoring of tailings dams – review and recommendations. Paris: International Commission on Large Dams, 1996. 84 p. (Bulletin 104).

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS – ICOLD, Tailings dam safety – guidelines. Paris: International Commission on Large Dams, 1989a. 107 p. (Bulletin, 74).

LOZANO, F, A, E. Seleção de locais para barragens de rejeitos usando o método de análise hierárquica. (Dissertação de Mestrado), Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2006.

THE MINING ASSOCIATION OF CANADA. A guide to the management of tailings facilities. 2º edição, 2011.

VICK, S.G. Planning. Design and Analysis of Tailing Dams. John Wiley & Sons. New York. 1983.

U.S. Environmental Protection Agency Office of Solid Waste Special Waste Branch – Technical report- Design and evaluation of tailings dams. Washington, 1994.

U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR – BUREAU OF MINES - REPORT OF INVESTIGATIONS. Beach characteristics of mine waste tailings. Denver, USBR, 1988.

U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR – BUREAU OF MINES. Design of dams for mill tailings. Denver, USBR, 1988.

U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR – BUREAU OF LAND RECLAMATION. Design of small dams. Denver, USBR, 1987.

WORLD INFORMATION SERVICE ON ENERGY – WISE. Uranium Project – Tailings Dam Safety. Disponível em < <http://www.wise-uranium.org/mdaf.html> >. Acesso em novembro de 2012.