



BARRAGENS DE RETENÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO

MINING REJECT RETENTION DAMS

Gabriela Rodrigues Sabbo¹

Milena Maria Graciano de Assis²

Aline Botini Tavares Berterquini³

RESUMO: O presente trabalho visa apresentar as questões relacionadas as barragens de retenção em seu modo construtivo, os impactos gerados, as responsabilidades, os compromissos assumidos pelas mineradoras, mediante as legislações vigentes e no que rege o poder público na análise da viabilidade sócio-econômico-social e ambiental. O monitoramento apropriado e constante, antes, durante e após o uso da barragem garantem a estabilidade e promovem medidas preventivas, corretivas e de emergência.

Palavras-chave: Barragens; Rejeitos; Mineração

ABSTRACT: This paper aims to present the issues related to retention dams in their constructive way, the impacts generated, the responsibilities, the commitments assumed by the mining companies, through the current legislation and in what governs the public power in the analysis of socio-economic-social viability And environmental. Proper and constant monitoring before, during and after the use of the dam guarantees stability and promotes preventive, corrective and emergency measures.

Key words: Dams; Rejects; Mining

¹ Graduanda em Engenharia Civil, UNITOLEDO, 2017.

² Graduanda em Engenharia Civil, UNITOLEDO, 2017.

³ Mestre em Engenharia Civil, UNESP, 2008.

1 - Introdução

Quando se pensa em barragens o que nos vem à mente são grandes obras construídas no intuito de gerar energia, porém este trabalho tem como objetivo apresentar a barragem de rejeitos, construída para conter os resíduos de mineração, considerando sua história ao longo dos anos, o desenvolvimento de tecnologias e as técnicas de engenharia aplicadas à sua construção.

A principal finalidade é obter parâmetros que direcionem qual o melhor método, de modo a causar o menor impacto ambiental, estabelecendo com coerência e concordância o que pode ser feito utilizando todo e qualquer avanço tecnológico e conhecimentos científicos que favoreçam e permitam que tal estudo de projeto se torne viável e concebível.

Entende-se por rejeitos, resíduos resultantes de processos de beneficiamento, a que são submetidos os minérios, visando extrair os elementos de interesse econômico (ESPÓSITO, 2000).

As barragens de rejeitos tiveram início por volta de 300 anos atrás, antes da corrida do ouro no Brasil, com a atividade de mineração em Mina da Passagem, em Mariana. A Mina da Passagem está localizada na Vila da Passagem, lugar da passagem da estrada entre Ouro Preto e Mariana, sob o Ribeirão do Carmo, a sudeste de Belo Horizonte (ÁVILA, 2012).

Foi a partir da década de 30 que, para a manutenção da mineração e a mitigação dos impactos ambientais, as indústrias investiram na construção das primeiras barragens de contenção de rejeitos. As barragens construídas no início do século XIX geralmente eram projetadas transversalmente aos cursos d'água, com considerações limitadas apenas para inundações. Conseqüentemente, quando fortes chuvas ocorriam, poucas destas barragens permaneciam estáveis. Raramente existiam engenheiros ou critérios técnicos envolvidos nas fases de construção e de operação. Somente na década de 40, a disponibilidade de equipamentos de alta capacidade para movimentação de terras, especialmente em minas a céu aberto, tornou possível a construção de barragens de contenção de rejeitos com técnicas de compactação e maior grau de segurança, de maneira similar às barragens convencionais (MELLO; PIASSENTIN, 2011).

O progresso das tecnologias de implantação de barragens de rejeitos foi sempre entremeado pelos acidentes com rupturas de barragens, os quais sempre foram

catalisadores do progresso tecnológico da engenharia de barragens, pela exigência da sociedade da eliminação desses desastres (MELLO; PIASSENTIN, 2011).

Na década de 70, a maioria dos aspectos técnicos (como por exemplo: infiltração, liquefação e estabilidade da fundação) já eram bem entendidos e controlados pelos projetistas. Exemplos dessa aplicação são as barragens de: Pontal, da Vale, em Itabira; Águas Claras, da então MBR Minerações Brasileiras Reunidas, em Nova Lima; e Germano, da Samarco, em Mariana (ÁVILA, 2012).

A partir da década de 80, os aspectos ambientais também cresceram em importância. A atenção foi amplamente voltada para a estabilidade física e econômica das barragens, considerando o potencial de dano ambiental e os mecanismos de transporte de contaminantes. Numa primeira fase, o controle de segurança das barragens era basicamente orientado para a segurança estrutural e hidráulico-operacional, em que a característica básica era investir contra a causa potencial da ruptura da barragem. A regra era optar pelo controle rigoroso do projeto, construção e operação como forma de garantir à sociedade, em geral, e às populações residentes nos vales a jusante, uma segurança satisfatória, compatível com probabilidade de ruptura adequadamente baixa (DUARTE, 2008).

Posteriormente, as técnicas de observação do comportamento das barragens durante a operação vieram reforçar a necessidade do controle da segurança em longo prazo. Com o passar do tempo, a produção de rejeitos aumentou, e as áreas para disposição se tornaram cada vez mais escassas, culminando no desenvolvimento dos projetos de engenharia que permitiam a construção de barragens com alturas cada vez maiores. Esses projetos se tornaram possíveis com a ampliação contínua do conhecimento e controle dos aspectos de segurança, tais como: melhor compreensão do comportamento dos materiais, novos desenvolvimentos na ciência de mecânica do solo e a introdução de equipamentos cada vez mais robustos para movimentação de terra (DUARTE, 2008).

Entretanto, falhas ocorrem muitas vezes, devido à falta de aplicação adequada dos métodos conhecidos, de projetos mal elaborados, de supervisão deficiente e negligência das características vitais incorporadas na fase de construção a falta de manutenção da obra no decorrer dos anos e em alguns casos o abandono da barragem após a sua inativação.

A ocorrência destes acidentes tem tido grande influência na atitude dos profissionais de geotecnia de barragens, nas ações preventivas, e no estabelecimento de regulamentações específicas sobre a segurança de barragens de rejeitos, aspectos que serão abordados resumidamente, em suas particularidades principais. As causas desses acidentes

têm sido atribuídas, em grande parte, à não aplicação das tecnologias existentes, embora seja observado o aparecimento em número crescente de publicações específicas sobre barragens de rejeitos e temas correlatos, o que tem proporcionado uma evolução positiva da própria tecnologia de rejeitos (MELLO; PIASSENTIN,2011).

Por não possuir valor comercial, o rejeito necessita ser descartado da forma mais econômica, minimizando, porém, os impactos ambientais resultantes (MACHADO, 2007).

2 - Métodos construtivos

O projeto de contenção de rejeito transformou-se em uma especialização na área de projetos de barragens convencionais, baseando-se em princípios semelhantes (SOARES, 2010).

A disposição dos rejeitos pode ser feita a céu aberto, de forma subterrânea, ou subaquática. A disposição subaquática não é muito utilizada pelos problemas ambientais que gera e os impactos a esses ecossistemas são negativos e algumas vezes irreversíveis. A disposição subterrânea é feita em câmaras que restam depois da extração do minério; os rejeitos são bombeados na maioria dos casos e depositados preenchendo essas câmaras. A disposição mais comum é a céu aberto, e pode ser feita em pilhas controladas ou em estruturas de contenção localizadas em bacias ou vales (LOZANO, 2006).

Na disposição a céu aberto, como cita Duarte (2008), a polpa (mistura de água e sólidos), é transportada por meio de tubulações com a utilização de sistemas de bombeamento ou por gravidade.

As barragens de rejeito podem ser construídas com material compactado proveniente de áreas de empréstimo, ou com material do próprio rejeito, partículas de granulometria mais grossa, que podem ser separadas pelo processo de ciclonagem (FARIAS; PARANHOS, 2013).

Segundo Vick (1983), a ciclonagem é feita com um equipamento chamado ciclone, que separa granulometricamente, por efeitos da pressão, partículas menos densas e finas de partículas mais densas e grossas.

A ciclonagem dos rejeitos tem sido prática comum na classificação dos sólidos grossos, que são empregados para altear a barragem, e dos sólidos finos que são lançados no reservatório da barragem, ou seja, na bacia de decantação (SOARES, 2010).

Barragens convencionais, ou seja, terra compactada são normalmente construídas em etapa única ou, eventualmente, em dois ou três alteamentos. Além de economicamente

atraente, o modo de construção da barragem por alteamentos sucessivos torna-se possível pelo próprio minerador (SOARES, 2010).

A estrutura de contenção é construída levantando-se inicialmente um dique de partida com solo de empréstimo, o qual deve ter uma capacidade de retenção de rejeitos para dois ou três anos de operações da lavra. Os estágios posteriores (alteamentos) podem ser construídos também com material de empréstimo, com estéreis, por deposição hidráulica de rejeitos ou por ciclonagem dos mesmos rejeitos (VICK 1983).

Os três métodos mais comuns em alteamentos das barragens são: método de montante, de jusante e de linha de centro. Estas denominações referem-se à direção do deslocamento do eixo da barragem em relação ao dique inicial, conforme ocorrem os alteamentos. A seguir são apresentadas as configurações específicas, assim como vantagens e desvantagens de cada método.

2.1 - Método de montante

O método de montante é apresentado na figura 1, e conforme Araujo (2006), essa técnica é a mais antiga, simples e econômica na construção de barragens. A etapa inicial na execução deste tipo de barragem consiste na construção de um dique de partida, normalmente de material argiloso ou enrocamento compactado. Após realizada essa etapa, o rejeito é lançado por canhões em direção a montante da linha de simetria do dique, formando assim a praia de deposição, que se tornará a fundação e eventualmente fornecerá material de construção para o próximo alteamento.

Para que o material lançado sirva de base para um novo alteamento, exige-se que os rejeitos contenham de 40 a 60% de areia e baixa densidade de polpa, favorecendo a segregação granulométrica (SOARES, 2010).

O processo continua sucessivamente até que a cota final prevista em projeto seja atingida (ARAUJO, 2006).

O método de montante apresenta como principais vantagens o baixo custo de sua construção, a necessidade de menor volume de materiais, a rapidez e a simplicidade na execução dos alteamentos, normalmente realizados pela equipe técnica da própria mineradora (VICK, 1983).

Embora seja o mais utilizado pela maioria das mineradoras, o método de montante apresenta um baixo controle construtivo, tornando-se crítico principalmente em relação à segurança. O agravante neste caso está ligado ao fato dos alteamentos serem realizados

sobre materiais previamente depositados e não consolidados (FARIAS; PARANHOS, 2013).

No passado, o precário controle de qualidade empregado na construção destas barragens implicou na ocorrência de numerosos fenômenos de ruptura (ICOLD, 1989 *apud* ALBUQUERQUE FILHO, 2004).

Ressalte-se também, que nesse método construtivo existe uma dificuldade na implantação de um sistema interno de drenagem eficiente para controlar o nível d'água dentro da barragem, constituindo um problema adicional com reflexos na estabilidade da estrutura (FARIAS; PARANHOS, 2013).

Como as barragens alteadas pelo método de montante têm se mostrado de maior facilidade de execução e mais economicamente viáveis, essas têm sido as preferencialmente adotadas pelas empresas mineradoras (ARAUJO, 2006).

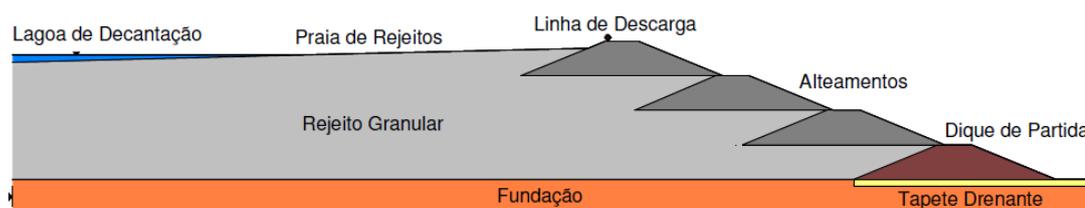


Figura 1 - Método construtivo de montante - Fonte: Albuquerque Filho (2004).

2.2 - Método de jusante

No método de jusante, a linha do centro (eixo da barragem), se desloca a jusante durante os processos de alteamentos. Também neste método se faz necessária a construção de um dique inicial, impermeável, empregando-se normalmente material argiloso compactado. Este dique inicial deve ser dotado de drenagem interna (filtro vertical e tapete drenante), além de ter seu talude de montante impermeabilizado com argila compactada ou mantas plásticas específicas para impermeabilização (SOARES, 2010), como mostra a figura 2.

Neste método somente os rejeitos grossos são utilizados, e a barragem pode ser projetada para grandes alturas, incorporando sempre, neste alteamento, o sistema de impermeabilização e drenagem (SOARES, 2010).

Neste processo construtivo, cada alteamento é estruturalmente independente da disposição do rejeito, melhorando assim a estabilidade da estrutura. Todo o alteamento da

barragem pode ser construído com o mesmo material do dique de partida, assim como os sistemas de drenagem internos podem ser também instalados durante o alteamento, permitindo um melhor controle da superfície freática (RAFAEL, 2012).

Entretanto, barragens alteadas pelo método de jusante necessitam de maiores volumes de material para construção, apresentando maiores custos associados ao processo de ciclonagem ou ao empréstimo de material. Além disto, com este método, a área ocupada pelo sistema de contenção de rejeitos é muito maior, devido ao progresso da estrutura para jusante em função do acréscimo da altura (ARAUJO, 2006).

Nesse sentido, a adoção de estruturas construídas pela técnica de alteamento para jusante possibilitou a execução de barragens de rejeitos de maior porte e com fatores de segurança mais satisfatórios (ALBUQUERQUE FILHO, 2004).

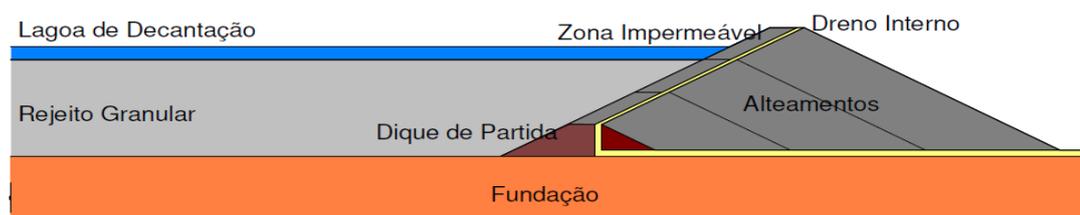


Figura 2 - Método construtivo de jusante - Fonte: Albuquerque Filho (2004).

2.3 - Método de linha de centro

O método de linha de centro, apresentado na figura 3, é intermediário aos métodos de montante e de jusante, apresentados anteriormente, entretanto, conforme Rafael (2012), possui uma estabilidade maior que a barragem alteada somente com o método à montante, e não requerendo um volume de materiais tão significativo como no alteamento somente com o método à jusante.

Inicialmente é construído um dique de partida (dique inicial), e os rejeitos são lançados perifericamente a montante do mesmo, formando uma praia. O alteamento subsequente é realizado lançando-se os rejeitos sobre a praia anteriormente formada e sobre o talude de jusante do dique de partida. Neste processo, o eixo da crista do dique inicial e dos diques resultantes dos sucessivos alteamentos são coincidentes (SOARES, 2010).

Segundo Assis e Espósito (1995), neste método, torna-se possível a utilização de zonas de drenagem internas em todas as fases de alteamento, o que possibilita o controle da

linha de saturação e promove uma dissipação de poropressões, tornando o método apropriado para utilização inclusive em áreas de alta sismicidade.

Conforme Lozano (2006), este método apresenta desvantagens, como a necessidade de sistemas de drenagem eficientes e sistemas de contenção a jusante, pois a saturação do rejeito compromete a estabilidade do maciço e pela complexidade da operação, os investimentos globais podem ser altos.

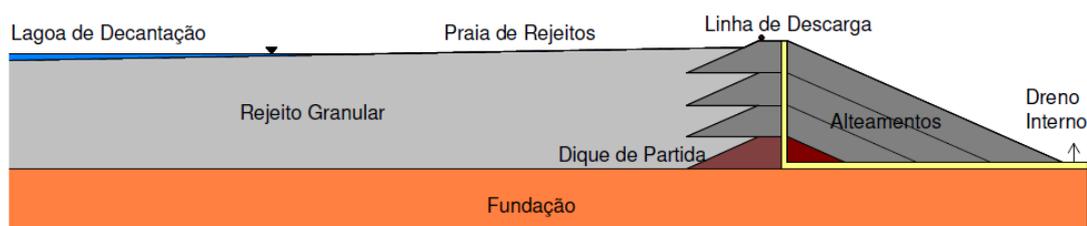


Figura 3 - Método construtivo de linha de centro - Fonte: Albuquerque Filho (2004).

Deve-se assinalar que cada método deverá ser o mais adequado às combinações das variáveis condicionantes de cada projeto: topografia, hidrologia, geologia, tipos e propriedades do subsolo, granulometria e concentração dos rejeitos, velocidade de deposição, variação da capacidade de armazenamento do reservatório com o aumento da altura, disponibilidade de equipamentos de terraplanagem, compactação e equipes de controle (SOARES, 2010).

A seleção de um método ou outro para a disposição dos rejeitos depende da natureza do processo de mineração, das condições geológicas e topográficas da região, das propriedades mecânicas dos materiais e do poder de impacto ambiental do contaminante dos rejeitos (DUARTE, 2008).

3 - Acidentes e incidentes

De acordo com Vieira (2005), acidente é uma anomalia de grande porte correspondente à ruptura parcial ou total de uma obra e/ou a sua completa desfuncionalidade, com graves consequências econômicas e sociais. Incidente é um evento físico indesejável, de pequeno porte, que prejudica a funcionalidade da obra, podendo vir a gerar eventuais acidentes, ainda que muito pequenos, se não corrigidos a tempo.

Na concepção de Ávila (2012) os incidentes são mais numerosos, onde não ocorre a ruptura, mas ocorre o vazamento de sólidos para jusante com consequências variáveis.

Existem ainda numerosos incidentes que, infelizmente, não são informados, porque os proprietários não os revelam, tirando a chance de aprendizado com suas causas.

Esta situação não é exclusiva do Brasil, e outros países já identificaram as mesmas deficiências das mineradoras, que falham na sua responsabilidade de adotar procedimentos gerenciais de segurança, para redução de riscos (MELLO; PIASSENTIN, 2011).

No Brasil, se tem registro do primeiro acidente em 1986, na Barragem Fernandinho, em Rio Acima, Minas Gerais, deixando um total de 7 mortos. Lamentavelmente novos acidentes continuaram a ocorrer, sendo eles: Barragem de Rio Verde, localizado no distrito de Nova Lima-MG, em 2001, lama e resíduos de mineração encobriram 2 quilômetros de uma estrada, provocando o assoreamento, degradação de cursos hídricos, destruição de mata ciliar e 5 (cinco) mortes; em Cataguases, 2003, com vazamento de lixívia negra; em Mirai, 2006 e 2007, vazamento de rejeitos de bauxita, ambos ocasionando a interrupção do fornecimento de água e em Itabirito, Barragem Herculano, 2014, 3 mortes (ÁVILA, 2016).

Porém, as autoridades brasileiras somente se manifestaram diante da tragédia ocorrida em Mariana-MG, 2015, a qual deixou um rastro de destruição. Após colapso da barragem o vazamento da lama causou mortes e deixou centenas de desabrigados, uma vila foi arrasada e a bacia do rio Doce ameaçada.

Apesar da maioria das barragens e acidentes se concentrar em Minas Gerais, o estado de São Paulo conta com 21 barragens de rejeitos e já registra acidentes de menores proporções, como o ocorrido em Jacareí, lançando os resíduos no rio Paraíba do Sul.

Em todos os casos, os rompimentos foram provocados por não se respeitar o limite de capacidade e suporte da fundação e negligenciar a deterioração dos diques e dos sistemas de drenagem.

Os dados mencionados são os acidentes de grande impacto e que causaram ampla repercussão na imprensa a nível nacional e internacional, portanto, pequenos rompimentos e/ou de menores impactos são omitidos.

As barragens de contenção de rejeitos de mineração são estruturas complexas e dinâmicas que requerem cuidados especiais na elaboração dos projetos de engenharia, operação, manutenção das estruturas, mesmo após a sua inativação.

As figuras a seguir retratam os danos causados por rompimento de barragem:



Figura 4 – Lagoa que se formou com resíduos da mineração - Fonte: DW/N.Pontes.



Figura 5 – Rio de lama atingindo a Bacia do Rio Doce - Fonte: Pastoral/Reprodução.



Figura 6 – Parte da vila depois do rompimento da barragem - Fonte: UOL/Reprodução.



Figura 7 – Destroços e vegetação trazidos com a lama - Fonte: Jornal GGN.



Figura 8 – Destroços e vegetação trazidos com a lama - Fonte: Jornal O Estadão.



Figura 9 – Vista superior com parte da Vila e da vegetação - Fonte: Alexandre Nascimento/G1.



Figura 10 – Vista Superior do que sobrou da Vila - Fonte: Alexandre Nascimento/G1.

6 - Considerações finais

No que se refere à barragem de retenção de rejeitos, conclui-se que está muito longe da adequação necessária. As primeiras barragens que se iniciaram na corrida do ouro, meados de 1712, não passaram por melhorias técnicas e avaliação de segurança, para garantir a sua estabilidade. Apesar do avanço tecnológico em termos de engenharia, verifica-se que as novas construções também possuem as mesmas falhas.

Esses empreendimentos continuarão a ser manchetes de jornais e telejornais, no Brasil e no mundo, pois mesmo tendo a possibilidade de estudar cada rompimento, em sua particularidade, são encontrados os mesmos erros, seja por uso acima da capacidade, ou por não levarem a sério laudos técnicos de profissionais habilitados.

Os impactos causados à fauna, à flora, e à população, persistirão, pois não há a devida supervisão.

Infelizmente, com este trabalho, assegura-se que a incidência de acidentes continuará a existir, pois a legislação não é exercida por falta de fiscalização atuante, falta de profissionais capacitados e habilitados para atuarem no setor, negligência das partes que deveriam fazer cumprir as leis vigentes, sabendo que este tipo de obra deve receber monitoramento constante, inclusive após a sua desativação.

7 - Referências

ALBUQUERQUE FILHO, L. H. Avaliação do comportamento geotécnico de barragens de rejeitos de minério de ferro através de ensaios de piezocone. 2004. 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Civil, UFOP, Ouro Preto, MG.

ARAÚJO, C. B. Contribuição ao Estudo do Comportamento de Barragens de Rejeito de Mineração de Ferro. 2006. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

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.

ÁVILA, Joaquim Pimenta. Barragem de rejeitos. Rio de Janeiro: CBDB, 2012. 308 p.

ÁVILA, Joaquim Pimenta. Acidentes em barragens de rejeitos no Brasil. Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/wp-content/uploads/2016/07/ACIDENTES-EM-BARRAGENS-Joaquim-Pimenta-Pimenta-de-%C3%81vila-Engenharia.pdf>> Acesso em: 17 de setembro de 2016.

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

ESPÓSITO, T. D. J. Metodologia probabilística e observacional aplicada a barragens de rejeitos construídas por aterro hidráulico. 2000. 363 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UnB, Brasília, DF.

FARIAS, Rideci; PARANHOS, Haroldo. Geotecnia Ambiental: Barragens de rejeito. 1º semestre, 2013. 10 p. Notas de Aula. UnB. Brasília, DF.

LOZANO, F. A. E. Seleção de locais para barragens de rejeitos usando o método de análise hierárquica. 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica), Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, USP, São Paulo, SP.

MACHADO, W. G. Monitoramento de barragens de contenção de rejeitos da mineração. 2007. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral), Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, USP, São Paulo, SP.

MELLO, Flavio Miguez; PIASENTIN, Corrado. A história das barragens no Brasil. Rio de Janeiro: CBDB, 2011. 524 p.

RAFAEL, H. M. A. M. Análise do potencial de liquefação de uma barragem de rejeito. 2012. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, Rio de Janeiro, RJ.

SOARES, Lindolfo. Barragem de rejeito. In: Luz, A. B. da; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. Tratamento de minérios. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. p. 831-896.

VICK, S. G. Planning, design and analysis of tailing dams. New York: John Wiley & Sons, 1983. 369 p.

VIEIRA, Vicente. P. P. B. Análise de riscos em recursos hídricos – fundamentos e Aplicações. Porto Alegre-RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), nov. 2005.