

1 Introdução

O fenômeno da liquefação estática em barragens de rejeito tem sido muito investigado ao redor do mundo devido às potenciais consequências destrutivas de sua ocorrência, muitas vezes envolvendo perdas de vidas humanas além de danos econômicos, sociais e ao meio ambiente. A literatura registra vários casos históricos de ruptura de barragens de rejeito por liquefação: barragem de Merriespruit (África do Sul), barragem da mina de Sullivan (Canadá), barragem Los Frailes (Espanha), barragens de Fernandinho e Pico de São Luiz (Brasil), entre outras.

Existem dois tipos de liquefação: estática e dinâmica, dependendo, como a própria classificação já indica, da natureza do agente causador de sua iniciação. A liquefação dinâmica é geralmente provocada por eventos sísmicos, enquanto a estática por carregamentos que, sob solicitação não-drenada, causam a geração de excessos de poropressão que podem induzir a liquefação do material.

Nos últimos anos, uma adequada disposição de rejeitos de minério tem sido tema de muito interesse das empresas de mineração em todo o mundo, com preocupação principal de proteger e preservar o meio ambiente. Diariamente geram-se grandes quantidades de rejeitos nas plantas de beneficiamento, sendo necessário dispor de estruturas de armazenamento (barragens) que atentam aos requisitos ambientais e de engenharia. Muitas vezes é previsto fazer o alteamento de barragens existentes, projetando a construção de diques sucessivos para aumentar a capacidade de armazenamento destas estruturas.

Os rejeitos de mineração são em geral materiais granulares e/ou finos não plásticos que, quando dispostos hidraulicamente, tendem a formar camadas de material de baixa densidade, com alto grau de saturação, suscetíveis à liquefação pela aplicação de carregamentos não-drenados.

O conceito do fenômeno de liquefação pode ser resumido como a perda da resistência ao cisalhamento do material, induzido por acréscimos de poropressão. Os solos suscetíveis à ocorrência deste fenômeno são apresentam tendência de

contração de volume sob esforços de cisalhamento, como areias fofas, tipicamente.

Três métodos de alteamento de barragem podem ser enumerados: o método à montante, o método à jusante e o método da linha de centro. Na presente dissertação a pesquisa concentra-se no método à montante, que começa com a construção de um dique de partida. Terminada esta etapa, os rejeitos são depositados à montante, formando uma praia que adensará com o tempo, aumentando gradualmente a resistência do rejeito e servindo de fundação para futuros diques de alteamento. Este procedimento segue sucessivamente, até atingir a cota prevista de projeto. É um método de construção simples e de baixo custo, quando comparado às outras técnicas de alteamento.

A principal desvantagem do método à montante é que se a velocidade do alteamento for excessiva pode-se induzir a liquefação estática, causa principal da ruptura de várias barragens de rejeito construídas com este método.

A avaliação do potencial de liquefação estática pode ser feita através de métodos empíricos, propostos em função de retroanálises de casos históricos de liquefação, ou numericamente pelo método dos elementos finitos associado ao modelo constitutivo específico para simulação da liquefação do material. Nesta dissertação, para estudo do potencial de liquefação da barragem de rejeito de Limonar, situada no Peru, serão empregados o método empírico de Olson (2001), baseado em correlações com dados de ensaios de campo SPT e CPT, e o método dos elementos finitos, com o modelo constitutivo UBCSand (Byrne et al, 2004) implementado no programa computacional Plaxis 2D v. 2010.

1.1. Estrutura da dissertação

O presente trabalho está estruturado em sete capítulos, além das referências bibliográficas, organizados da seguinte maneira:

O capítulo 1 apresenta o tema da dissertação e seus objetivos enquanto que o capítulo 2 é reservado para revisão bibliográfica sobre alguns dos aspectos mais importantes do comportamento de rejeitos de mineração bem como descreve as técnicas de alteamento de barragens.

O capítulo 3 aborda conceitos teóricos sobre o mecanismo de fluxo por liquefação enquanto que os capítulos 4 e 5 apresentam métodos para estimativa do potencial de liquefação estática em barragens de rejeito. O capítulo 4 descreve as características principais do modelo constitutivo elastoplástico UBCSand (Byrne et al., 2004) para previsão do potencial de liquefação de solos arenosos, implementado no método dos elementos finitos no programa computacional Plaxis, enquanto que o capítulo 5 trata do modelo empírico de Olson (2001), para uma estimativa aproximada e expedita da suscetibilidade de liquefação, da análise do potencial de início de liquefação sob carregamento não-drenado e da estimativa da estabilidade de taludes na condição pós-liquefação com base em resultados de ensaios de campo (CPT ou SPT).

O capítulo 6 apresenta as características da barragem de rejeito de Limonar, situada no Peru, as propriedades dos materiais e os resultados obtidos pela aplicação do método dos elementos finitos e do método empírico de Olson na análise do potencial de liquefação estática no processo de alteamento da barragem. Finalmente o capítulo 7 discute as principais conclusões da dissertação e sugere temas para investigações futuras nesta mesma linha de pesquisa.