1 Introdução

1.1. Objetivo

Construções de barragens de terra ou enrocamento têm sido feitas desde a mais remota antiguidade. Até o início do século XX, estas eram projetadas empiricamente, reproduzindo padrões considerados bem sucedidos, mas que resultavam quase sempre em obras antieconômicas. A partir do século XX, a construção de barragens adquiriu uma maior importância, sob os pontos de vista técnico, econômico e social, para atender as demandas de populações urbanas crescentes em relação às necessidades de abastecimento de água, irrigação, controle de enchentes e geração de energia. Barragens de grande altura e reservatórios com grande capacidade de armazenamento foram construídas em todo o mundo, com especial destaque no Brasil cuja matriz energética é majoritariamente baseada na hidroeletricidade gerada por barragens de grande porte.

À medida que as dimensões das barragens foram aumentando, o projeto das mesmas passou gradualmente de conceitos simples, baseados em formulações empíricas e técnicas intuitivas, para as análises modernas que consideram o comportamento da estrutura em suas diversas fases de vida (construção, primeiro enchimento do reservatório, regime de plena operação), sob carregamentos estáticos e sísmicos, condições de contorno complexas e sofisticadas relações constitutivas para o maciço de fundação e para os materiais que formam a barragem propriamente dita, seja ela de terra, enrocamento, concreto ou de natureza mista como as barragens de enrocamento com face de concreto. A transição entre os projetos empíricos para os baseados em métodos racionais pode ser situada na década de 1940, com o surgimento da necessidade da construção de grandes barragens, bem como devido à evolução dos critérios e procedimentos técnicos advindos da nova ciência da mecânica dos solos, já então em pleno desenvolvimento. Os projetos destas grandes estruturas foram também gradualmente aperfeiçoados nas décadas seguintes com a instalação de instrumentação geotécnica,

originalmente destinada para monitorar os níveis de segurança da barragem, mas que também propiciaram, através de criteriosa comparação de valores previstos e medidos de tensões, deslocamentos, poropressões e vazões, analisar a influência dos diversos parâmetros de projeto e introduzir outros aspectos inicialmente desconsiderados como, por exemplo, os efeitos do método construtivo. As informações adquiridas dos processos completos de instrumentação, ensaios de campo e/ou laboratório e retroanálise do comportamento da obra, foram especialmente úteis no caso das barragens de enrocamento visto o desempenho pouco satisfatório que apresentavam as estruturas mais antigas.

Outro aspecto fundamental a ser avaliado no projeto de barragens, principalmente em regiões que apresentam ocorrência de falhas geológicas ativas como nos países da costa Andina, é a análise do comportamento da obra sob carregamento sísmico. É de interesse do projetista estimar os valores de tensões, deslocamentos, velocidades e acelerações máximas que podem ser geradas na estrutura sob a ação de terremotos, como no caso da barragem de terra de Breapampa, analisada neste trabalho, situada no Peru.

O objetivo desta pesquisa é analisar através de modelagem numérica o comportamento estático (durante a construção e primeiro enchimento do reservatório) e dinâmico (carregamento sísmico) da barragem de terra de Breapampa, com auxílio do programa de computador FLAC-2D (versão 7), baseado no método das diferenças finitas, disponível no Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio. Trata-se de um dos simuladores computacionais mais completos dentre os atualmente disponíveis para análises de problemas geotécnicos sob ação de carregamentos dinâmicos. Uma descrição dos procedimentos numéricos, das dificuldades, vantagens e limitações na sua utilização serão discutidas no decorrer deste trabalho.

1.2. Estrutura da dissertação

Este trabalho é formalmente dividido em sete capítulos, os quais contêm os seguintes temas: o capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre os conceitos mais relevantes de sismicidade e propagação de ondas necessários para o desenvolvimento da dissertação, enquanto que o capítulo 3 aborda o comportamento estático de barragens de terra, durante a sua construção e primeiro enchimento do reservatório, e discute aspectos relacionados com a

resposta da estrutura sob carregamento dinâmico. O capítulo 4 apresenta procedimentos de modelagem computacional de geoestruturas sob carregamento sísmico e o capítulo 5 descreve as principais características do programa computacional FLAC 2D v.7 empregado nas análises numéricas. O capítulo 6 é dedicado à modelagem da barragem de Breapampa, situada no departamento de Ayacucho, Peru, considerando análises estáticas, pseudo-estáticas e dinâmicas para verificar a estabilidade dos taludes, a resposta da estrutura quando submetida a carregamentos sísmicos e o potencial de liquefação dos materiais, enquanto que o capítulo 7 é reservado para as conclusões da presente pesquisa e sugestões para outras futuras. Anexos são também incluídos para detalhar procedimentos das análises numéricas executadas.