

1

INTRODUÇÃO

1.1

Introdução

Grandes obras de engenharia (portos, barragens, usinas nucleares, etc.) apresentam uma grande quantidade de ensaios e instrumentações tanto na etapa do projeto e como no processo de monitoramento da operação da obra.

No caso de barragens, o monitoramento hidráulico-mecânico através da instalação de um sistema de instrumentação desempenha um papel fundamental na avaliação do comportamento destas estruturas, tanto durante o período de construção quanto no período de operação.

Este capítulo faz uma revisão geral dos objetivos principais da instrumentação de barragens e a importância que um adequado monitoramento e interpretação dos dados de instrumentação desempenha no controle de segurança de barragens. Este capítulo trata ainda dos objetivos e da organização deste trabalho.

1.2

Instrumentação de barragens

1.2.1

Objetivos

Gutiérrez (2003) relata os principais objetivos da instrumentação geotécnica de barragens descritas no manual de instrumentação de barragens da U.S. Army Corps of Engineers de 1995. Estes objetivos podem ser agrupados em quatro categorias: avaliações analíticas, previsão do desempenho futuro, avaliações legais e desenvolvimento e verificação de futuros empreendimentos.

As avaliações analíticas englobam as análises dos dados obtidos a partir da instrumentação geotécnica para obter parâmetros de projeto, hipóteses de

modelagem e técnicas de construção, bem como estimar os efeitos de eventos adversos.

Previsões do desempenho futuro são as diferentes formas de tratamento dos dados de instrumentação, executando-se previsões que podem confirmar condições normais de operação ou indicar riscos potenciais para a barragem.

Os dados da instrumentação são úteis também no caso de avaliações legais e em litígios relacionados com a construção da barragem como, por exemplo, nas eventuais mudanças ocorridas nas condições de fluxo sub-superficial.

O desenvolvimento e verificação de futuros empreendimentos se refere à análise do desempenho de uma barragem tanto na etapa de construção quanto na fase de operação, com a finalidade de aperfeiçoar o estado-da-arte do projeto e da construção de barragens.

Gutiérrez (2003) apresenta os objetivos básicos da instrumentação estabelecidos pelo Comitê Brasileiro de Grandes Barragens em 1996. Os objetivos são agrupados de acordo com a etapa de desenvolvimento da barragem: construção, primeiro enchimento e operação.

Período de construção:

- Alertar sobre a ocorrência de possíveis anomalias no comportamento da barragem.
- Possibilitar soluções menos conservadoras, permitindo economia significativa para a obra.
- Fornecer informações, por retro-análise dos dados de instrumentação, a respeito dos valores dos parâmetros dos materiais que constituem a barragem e sua fundação.
- Possibilitar revisões do projeto durante o período construtivo.

Período de enchimento:

- Alertar sobre a ocorrência de possíveis anomalias que possam colocar em risco a segurança da estrutura.
- Possibilitar avaliação do desempenho estrutural, geotécnico e hidráulico da obra, em função das comparações entre grandezas medidas “*in-situ*” e aquelas previstas por modelos teóricos ou experimentais de análise.

- Verificar a adequação das simplificações introduzidas nas hipóteses de projeto.

Período de operação:

- Verificar se a barragem está apresentando um desempenho geral satisfatório, conforme previsto em projeto.
- Caracterizar o comportamento no tempo dos solos e/ou do maciço rochoso de fundação determinando o prazo necessário para a estabilização dos deslocamentos, tensões, sub-pressões, vazões, etc.
- Caracterizar o comportamento no tempo das estruturas da barragem, levando-se também em conta os efeitos das condições termo-ambientais.

1.2.2

Análises dos dados

Os dados gerados durante o período de construção são geralmente analisados através de métodos determinísticos, analíticos ou numéricos. Um modelo matemático da barragem é escolhido para análise. Este modelo deverá considerar relações constitutivas dos diferentes materiais, geometria do problema, condições iniciais, condições de contorno, etc. O grau de precisão das estimativas dependerá da qualidade dos dados disponíveis e da complexidade do modelo utilizado, variando desde simples formulações empíricas a sofisticadas simulações numéricas.

Já os dados gerados durante o período de operação da barragem são geralmente analisados através de métodos estatísticos e/ou probabilísticos. Estes métodos são escolhidos devido à quantidade considerável de dados, provenientes das leituras da instrumentação ao longo de grandes períodos de tempo.

1.2.3

Importância da instrumentação na segurança de barragens

A segurança de uma barragem está intimamente relacionada aos aspectos de projeto, construção, instrumentação/inspeção, operação e manutenção. É claro que, por melhores que tenham sido o projeto de uma barragem e a fiscalização de sua construção, só será possível exercer um eficiente controle das condições de

segurança da barragem se a mesma estiver sendo adequadamente inspecionada e monitorada através de instrumentação apropriada, operada por equipe treinada. Durante a vida útil da barragem, são necessárias obras periódicas de manutenção com a finalidade de preservar em bom estado das várias estruturas, assegurar superfícies hidráulicas satisfatórias e garantir a operacionalidade dos equipamentos eletromecânicos e dos instrumentos de auscultação.

As lições aprendidas com as rupturas de barragens têm revelado que um longo período de operação normal não é jamais garantia de condições futuras de segurança, uma vez que tem havido casos de ruptura brusca após 10 e 20 anos de operação normal. Gutiérrez (2003) relata o exemplo da barragem em arco de Zeuzier, na Suíça, com 156 metros de altura, operou durante 21 anos sem qualquer problema aparente, quando em novembro de 1978 as informações fornecidas pelos pêndulos direitos passaram a indicar deslocamentos que ultrapassavam os valores elásticos anteriormente observados. A crista da barragem começou a apresentar deslocamentos contínuos para montante, apesar do reservatório estar totalmente cheio, enquanto que as medições geodésicas indicavam movimentos de aproximação entre as ombreiras da barragem e recalques do maciço de fundação em toda a região da barragem. Fissuras no concreto, com abertura de 10mm, desenvolveram-se junto às ombreiras, exigindo um intenso tratamento através de injeção de resina epóxi. As investigações realizadas, auxiliadas pelos dados fornecidos pela instrumentação, vieram a indicar que os problemas observados estavam associados à escavação de um túnel rodoviário, afastado 1400 metros da barragem. A barragem encontra-se hoje em operação normal, após paralisação da construção do túnel e a execução das obras de reparo.

Em alguns empreendimentos, os medidores de vazão são instalados em um ou mais locais para monitorar a percolação através e sob a barragem. Tais medidores, devido a sua indiscutível importância, podem ser equipados com dispositivos sensores e transmissores de dados via rádio, micro-ondas ou cabos, encaminhando assim o fluxo de informações constantemente aos sistemas de aquisição de dados.

Em muitos casos, os valores de vazão constituem-se em importantes evidências da ocorrência de problemas no comportamento geotécnico de barragens, sendo muito natural, portanto, que a instalação destes medidores seja

uma prática de longa data na construção de barragens no Brasil e no exterior. Legislações de vários países, como Japão, Noruega e França, impõem a instalação de medidores de vazão como componente essencial de um projeto de instrumentação de barragens.

1.3

Objetivos

Neste trabalho, redes neurais temporais, método estatístico de Box & Jenkins (1970) e métodos geoestatísticos são utilizados na análise de dados de instrumentação de medidores de vazão da barragem de Funil do sistema Furnas Centrais Elétricas. O sistema de medição de vazão é composto por três drenos. O primeiro dreno capta a água percolada através da fundação, o segundo dreno capta a água drenada da margem direita e o terceiro dreno capta a água drenada da margem esquerda.

O programa de monitoramento é composto geralmente por uma série de instrumentações que fornecem dados que são acompanhados e analisados para verificar se o comportamento real da obra está consistente com o modelo teórico concebido em projeto. As instrumentações monitoram medições de deslocamento, pressão, percolação e drenagem junto com fatores ambientais que afetam o comportamento da obra como temperatura, nível de reservatório e precipitação.

Métodos geoestatísticos utilizam-se de variogramas que expressam o grau de correlação entre pares de dados experimentais localizados em diferentes tempos, permitindo a construção de modelos temporais que possibilitam a previsão de valores, com respectivas estimativas de erro, em datas não-amostradas.

Redes neurais artificiais (RNA's) são sistemas que, a exemplo do cérebro humano, possuem capacidade de aprendizagem e de generalização (inferência) sem a necessidade da definição prévia de um modelo determinístico. O processo de aprendizagem consiste na apresentação de conjuntos de entrada e saída de dados à rede que, gradualmente, identifica e simula as principais características do problema. Redes neurais temporais (RNT's) são redes dinâmicas que possuem propriedades de memória. Estas propriedades permitem-nas realizar tarefas de caráter temporal.

Para a análise, consideraram-se as séries históricas da vazão dos drenos, da temperatura e das flutuações do nível do reservatório a montante. O objetivo é fazer o monitoramento e previsão das séries de vazão dos drenos, com a finalidade de poder tomar medidas preventivas em relação à segurança da estrutura da barragem. Séries como as de vazão dos drenos e nível do reservatório a montante são denominadas séries temporais.

As medidas sistemáticas das vazões dos drenos permitem conhecer a vazão máxima captada pelo sistema de drenagem global e, qualquer acréscimo significativo dessa vazão pode indicar uma anomalia que deve ser pesquisada, por exemplo, uma fissura ou fratura do maciço podem ser identificadas com inspeções cuidadosas de superfície. Em muitos casos, valores das vazões de percolação através de barragens e fundações têm sido evidências das imperfeições dessas estruturas. É muito natural, portanto, que essa medição seja um indicador crítico do comportamento da barragem.

Os valores previstos para as vazões dos drenos podem auxiliar na tomada de decisões na operação da barragem, principalmente quando o fenômeno for difícil de ser investigado através de modelagem geomecânica e soluções numéricas envolvendo a necessidade de relações constitutivas, condições de contorno complexas, etc.

1.4

Organização da Tese

Este trabalho está dividido em seis capítulos, assim organizado:

No capítulo 1 descreve-se a importância da instrumentação geotécnica na análise do comportamento de barragens durante a construção, primeiro enchimento do reservatório e operação da instalação. É apresentado o objetivo da tese e descrita sua organização de capítulos.

No capítulo 2 apresenta conceitos sobre séries temporais, faz-se uma revisão bibliográfica dos modelos de Box & Jenkins (1970), faz-se uma descrição da técnica de redes neurais artificiais, redes neurais temporais e métodos geoestatísticos utilizadas neste trabalho.

O capítulo 3 faz uma revisão bibliográfica das metodologias existentes para estimar intervalos de confiança para RNA's. dando maior ênfase aos métodos

adotados neste trabalho. Apresenta ainda a metodologia utilizada para estimar o intervalo de confiança para a krigagem ordinária.

No capítulo 4 apresentam-se as características da Barragem de Funil e do sistema de instrumentação utilizado nesta barragem. Apresenta-se ainda a metodologia adotada neste trabalho para a modelagem e previsão da vazão dos drenos.

No capítulo 5 faz a modelagem e previsão da vazão dos drenos de instrumentação da Barragem de Funil, localizada no estado do Rio de Janeiro.

O capítulo 6 apresenta as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.