

## A QUALIDADE DAS MEDIÇÕES DE DESLOCAMENTO RADIAL E TANGENCIAL PELO MÉTODO DO FIO-DE-PRUMO NO CONTROLO DA SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS DE BETÃO

L. Lages Martins, J. Mata, A. Silva Ribeiro

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

### RESUMO

A presente comunicação descreve a avaliação da qualidade das medições de deslocamento radial e tangencial em barragens de betão, obtidas pelo método do fio-de-prumo com recurso ao coordenómetro óptico como instrumento de medição, constituindo uma contribuição relevante no contexto da actividade de observação e controlo de segurança estrutural visando a detecção atempada de eventuais processos de deterioração.

A avaliação efectuada é suportada na determinação das incertezas de medição das mensurandas de interesse tendo em conta as fontes de incerteza que caracterizam as grandezas de entrada dos modelos matemáticos aplicáveis. A natureza linear destes modelos permite que o método GUM [1] constitua uma solução adequada para o cálculo da propagação das incertezas de medição. No processo de caracterização probabilística das grandezas de entrada destaca-se a quantificação das componentes de incerteza de repetibilidade e reprodutibilidade pelo método estatístico de análise de variâncias (ANOVA) [2].

### 1. Introdução

A ocorrência de eventuais acidentes durante as fases de construção e exploração barragens de betão apresenta um elevado risco tendo em conta, sobretudo, as consequências humanas, materiais e ambientais que daí podem resultar. Deste modo, a segurança constitui uma preocupação permanente das entidades e organizações envolvidas em todas as fases da vida de uma barragem (projecto, construção, primeiro enchimento, exploração, abandono e demolição). Actualmente, é possível assistir a um crescente aumento do nível de exigência associado à segurança de barragens, em muitos casos, resultante da necessidade de extensão da vida útil destas infra-estruturas.

O controlo de segurança (abrangendo as vertentes estrutural, hidráulico-operacional e ambiental) desempenha um papel fundamental neste contexto, tendo por objectivo a detecção atempada de eventuais processos de deterioração de modo a permitir a adopção de medidas correctivas e preventivas eficazes. Em Portugal, este processo possui um enquadramento legislativo definido pelo Regulamento de Segurança de Barragens [3], o qual estabelece a obrigatoriedade de definição de um Plano de Observação para todas as barragens existentes a nível nacional independentemente da fase de vida em que se encontram.

Considerando apenas a vertente de controlo de segurança estrutural, este documento define os aspectos essenciais das actividades de observação a efectuar numa obra, em particular, a definição do Sistema de Observação que assegure a medição das grandezas físicas representativas das acções, propriedades e respostas estruturais que caracterizam e influenciam o comportamento real da obra durante as fases de construção, primeiro enchimento ou exploração. O conhecimento experimental adquirido é essencial à detecção e acompanhamento de eventuais anomalias, permitindo julgamentos fundamentados sobre a segurança estrutural da obra, justificando e suportando o processo de tomada de decisões nesse contexto. Salienta-se, também, a relevância deste conhecimento no âmbito do desenvolvimento e validação de modelos de simulação (de natureza física ou computacional) do comportamento da obra, os quais constituem elementos centrais para estudos de cenários de risco.

A presente comunicação tem por objectivo avaliar a qualidade das medições de deslocamento radial e tangencial em barragens de betão, obtidas aplicando o método do fio-de-prumo, recorrendo ao coordenómetro óptico como instrumento de medição. A quantificação destas grandezas suporta a análise da resposta estrutural global ou localizada da obra (deformadas), conduzindo a uma melhoria do conhecimento do seu comportamento real contribuindo, desta forma, para a garantia de segurança da

infra-estrutura monitorizada pelo que a determinação do nível de exactidão destas medições constitui uma matéria de interesse para o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

## 2. Resultados

A avaliação realizada é composta por duas fases – a formulação probabilística das grandezas de entrada e o cálculo de incertezas de medição das grandezas de saída – seguindo uma abordagem funcional do processo de medição.

A primeira fase do estudo visou promover a caracterização probabilística das grandezas de entrada mediante a identificação e quantificação dos limites de variação das componentes de incerteza, tendo em conta a especificidade do método (fio-de-prumo) e do instrumento de medição (coordinómetro óptico) adoptados. A concretização desta fase decorreu mediante duas etapas distintas.

A primeira etapa da primeira fase consistiu na determinação das componentes de incerteza de repetibilidade e reprodutibilidade segundo uma perspectiva frequencista (descrita no GUM [1] como incerteza do tipo A) e adoptando o método estatístico de análise das variâncias (ANOVA) [2]. A motivação para o estudo experimental destas componentes de incerteza decorre da influência que os operadores possuem no processo de medição analisado, nomeadamente, no que diz respeito às operações de montagem, focagem e alinhamento óptico entre o coordinómetro e o fio-de-prumo ou cone e, ainda, às leituras das escalas analógicas incorporadas no referido instrumento de medição. Com efeito, estas medições são efectuadas em locais distintos, podendo ser obtidas por diferentes equipas técnicas, constituindo fontes de incerteza particularmente relevantes para o processo em causa.

Na segunda etapa da primeira fase estabeleceu-se a parametrização de funções densidade de probabilidade associadas às componentes de incerteza decorrentes do conhecimento prévio do método e do instrumento de medição. Esta parametrização seguiu a abordagem bayesiana descrita no GUM [1] como incerteza do tipo B, tendo em consideração a experiência acumulada na realização de campanhas de observação do LNEC e de informação bibliográfica disponível (dados de medições anteriores, especificações técnicas e certificados de calibração).

A segunda fase do estudo consistiu no cálculo das incertezas de medição usando o método GUM [1]. Atendendo à linearidade dos modelos matemáticos envolvidos, este método revela-se adequado para a estimativa das incertezas de medição associadas ao deslocamento radial e tangencial. Os resultados obtidos permitem, adicionalmente, efectuar uma análise de sensibilidade visando a identificação das fontes de incerteza cuja contribuição é mais significativa no cômputo de incerteza de medição combinada das mensurandas de saída.

## 3. Conclusões

O estudo realizado permitiu obter estimativas das incertezas de medição associadas ao deslocamento radial e tangencial em barragens de betão. Os valores obtidos traduzem os efeitos de natureza aleatória associados ao método do fio-de-prumo e ao coordinómetro óptico nos resultados das medições de interesse, permitindo conhecer o seu nível de exactidão e assegurar comparações robustas com outros processos de medição disponíveis para este efeito (por exemplo, pelo método de geodesia de posição).

No que se refere às grandezas de entrada, destaca-se o conhecimento adquirido acerca da repetibilidade e reprodutibilidade do processo de medição, bem como, das componentes de incerteza com efeito mais significativo na incerteza de medição combinada das grandezas de saída.

## REFERÊNCIAS

- [1] Guide to the expression of Uncertainty in Measurement (GUM), 1<sup>st</sup> edition. Genève: International Organization for Standardization (ISO), 1995.
- [2] Montgomery, D.C., Introduction to statistical quality control, 3<sup>rd</sup> edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [3] Regulamento de Segurança de Barragens (RSB) – Decreto-Lei n.º 344/2007, de 15 de Outubro de 2007.