

Avaliação das medições dos sistemas de recolha automática de dados de barragens de betão em Portugal



António Tavares de Castro*

Investigador Principal, Chefe do Núcleo de Observação do Departamento de Barragens de Betão
Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Lisboa
tcastro@lnec.pt



Juan Mata

Bolseiro de Pós-Doutoramento,
Engenheiro Civil no
Departamento de Barragens de Betão
Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Lisboa
jmata@lnec.pt

SUMÁRIO

No âmbito da automatização das atividades relacionadas com o controlo de segurança de grandes barragens de betão, o LNEC promoveu, em 2004, o desenvolvimento do sistema GestBarragens¹. Tendo em conta a confiança adquirida ao longo de várias décadas nos instrumentos de recolha manual, cujo funcionamento se baseia em princípios físicos relativamente simples, a validação das medições efetuadas com os sistemas de recolha automática de dados (RAD²) tem-se baseado na comparação das suas medições com as efetuadas com instrumentos de recolha manual instalados em paralelo. Atualmente essa comparação pode ser efetuada, considerando longos períodos de tempo, a partir dos registos existentes na base de dados do sistema GestBarragens e tirando partido de funcionalidades específicas implementadas neste sistema.

Palavras-chave: Barragens de betão, monitorização, recolha automática de dados, avaliação de medições.

¹ O GestBarragens é um sistema de informação que permite o suporte de todas as atividades do controlo de segurança de barragens em Portugal e onde são arquivadas todas as medições efetuadas com os instrumentos de recolha manual e com os sistemas de recolha automática de dados instalados nas barragens portuguesas.

² Na elaboração deste trabalho foi designado por sistema RAD (Recolha Automática de Dados) o subconjunto do sistema de observação constituído por instrumentos de recolha automática de dados e por sistema RMD (Recolha Manual de Dados) o subconjunto do sistema de observação constituído por instrumentos de leitura manual.

1. INTRODUÇÃO

A ocorrência de acidentes ou de incidentes em barragens é uma das principais preocupações dos engenheiros e dos donos das obras pelo que uma atenção especial tem sido orientada para a segurança deste tipo de estruturas.

As atividades de controlo de segurança de barragens de betão têm um carácter preventivo, na medida em que podem permitir a deteção atempada de anomalias que possam levar à ocorrência de acidentes e de incidentes e servir de suporte à tomada de decisões para evitar ou minimizar as consequências resultantes de um eventual acidente ou incidente.

Neste sentido, no Regulamento de Segurança de Barragens [1], o controlo de segurança é definido como o “conjunto de medidas a tomar nas várias fases da vida da obra, contemplando aspetos estruturais, hidráulico-operacionais e ambientais, com vista a assegurar as suas condições de segurança e que, nas fases de primeiro enchimento e de exploração, deve permitir um conhecimento adequado e continuado do estado da barragem, a deteção oportuna de eventuais anomalias e uma intervenção eficaz sempre que necessário”.

Em Portugal existe uma grande experiência acumulada ao longo de anos no que diz respeito ao exercício do controlo da segurança de barragens de betão. Esta experiência é partilhada tanto pelos donos de obra como pelas entidades da Administração Pública envolvidas no controlo de segurança das barragens [1], entre elas:

- A Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. (APA), na qualidade de organismo com competência genérica de controlo de segurança das barragens, que se designa por Autoridade Nacional de Segurança de Barragens.
- O Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I. P. (LNEC), na qualidade de consultor da Autoridade em matéria de controlo de segurança das barragens.
- A Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC), como entidade orientadora e coordenadora das atividades de proteção civil a nível nacional.

Os avanços científicos e tecnológicos no domínio da instrumentação e dos sistemas de informação têm permitido a automatização de aspetos relacionados com: i) a medição de grandezas em barragens de betão; ii) a transmissão dos resultados das medições, e; iii) o processamento de dados.

As primeiras experiências na utilização de instrumentos com recolha automática de dados (RAD), em Portugal, foram efetuadas na barragem do Varosa, em 1984, durante os trabalhos de reforço da sua fundação [2]. Após esta experiência, diversos sistemas RAD têm sido instalados em muitas barragens de betão, nomeadamente nas seguintes: Aguireira, Cabril, Pracana e Raiva em 1994; Bouçã e Castelo de Bode em 1995; Alto Rabagão em 2001; Caniçada e Salomonde em 2002; Vilarinho das Furnas em 2003; Alto Lindoso e Touvedo em 2004; Fratel em 2005; Varosa e Venda Nova em 2006; Crestuma e Vilar em

2007, e Pedrógão em 2011. Devido aos avanços tecnológicos ocorridos nos últimos anos e ao carácter experimental de alguns destes sistemas, em algumas destas barragens foram já instalados sistemas de uma nova geração, enquanto noutros casos os sistemas deixaram de ser explorados.

Ao longo dos anos estes sistemas foram evoluindo, em função dos avanços ocorridos, por um lado no projeto e na produção dos instrumentos e, por outro, nas tecnologias de informação que suportam a transmissão, o arquivo e o processamento dos respetivos dados e resultados.

No âmbito da modernização das atividades subjacentes ao controlo de segurança de grandes barragens de betão com base em processos automatizados, o LNEC promoveu, em 2004, o desenvolvimento do sistema GestBarragens, tendo como parceiros o Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores – Investigação e Desenvolvimento (INESC-ID) e a EDP-Energias de Portugal [2, 3].

Neste contexto foram desenvolvidas novas metodologias para o controlo de segurança de barragens de betão, em tempo real, com o auxílio de sistemas de monitorização automática. De entre os principais contributos destacam-se o desenvolvimento de metodologias para a avaliação dos resultados constantes da base de dados e referentes às medições provenientes dos sistemas RAD em Portugal, que se descrevem, de forma sumária, no presente trabalho.

2. ERROS E INCERTEZAS DE MEDIÇÃO

Os resultados de medição afastam-se do valor verdadeiro da grandeza medida por uma quantidade de valor exato desconhecido designada de erro de medição.

O erro da medição, ξ , é constituído por três tipos de componentes, equação (1): uma componente metodológica, ξ_m ; uma componente instrumental, ξ_i , e uma componente humana, ξ_h .

$$\xi = \xi_m + \xi_i + \xi_h \quad (1)$$

Em cada uma destas componentes podem ser encontrados diversos fatores de influência que contribuem para o erro da medição [5]:

- Na componente metodológica do erro encontram-se fatores como: a inadequada formulação da Teoria relativa ao fenómeno que suporta a medição; a inexatidão das relações que determinam a estimativa da mensurada; a discrepância entre o modelo conceptual do objeto e a realidade do próprio objeto.
- Na componente instrumental do erro encontram-se fatores como: a imperfeição inerente aos instrumentos e sistemas de medição; o desempenho intrínseco da instrumentação; a influência de fatores exógenos cuja variabilidade pode determinar a causa de desvios,

quer na mensurada sob observação, quer nas mensuradas que constituem parte integrante do processo de medição.

- A componente humana do erro, observável em situações onde essa intervenção seja influente, depende de fatores como: a interpretação humana da informação, a decisão e registo do momento de uma ocorrência, a observação e interpretação de padrões, a interpretação de leituras de dispositivos de indicação analógica, etc.

É impossível conhecer exatamente o erro de medição, mas através de estudos acerca de caracterização de cada um destes fatores é possível obter uma estimativas do seu valor.

Como já foi referido, o erro de medição corresponde à diferença entre o resultado da medição e o valor verdadeiro da mensurada. Embora seja impossível eliminar completamente o erro de medição, é possível caracterizá-lo.

Numa outra perspetiva, o erro de medição inclui os erros sistemáticos, os erros aleatórios, e os erros grosseiros.

Os erros sistemáticos assumem sempre o mesmo valor em medições da mesma mensurada efetuadas nas mesmas condições. As principais causas deste tipo de erro estão relacionadas com os aspetos construtivos do instrumento de medida, com os procedimentos de medição, com o desgaste de peças, com problemas de afinações ou com fatores relacionados com as condições ambientais.

Os erros aleatórios estão na base do facto de medições repetidas, efetuadas sob as mesmas condições, produzirem resultados diferentes. As causas que originam a dispersão dos resultados da medição estão associadas com a existência de folgas, atrito, vibrações, flutuações na tensão elétrica ou alteração nas condições ambientais ou outras grandezas que influenciam a medição. A caracterização deste tipo de erros é normalmente efetuada através de procedimentos estatísticos. Os erros aleatórios são, usualmente, modelado por uma distribuição normal com média nula. Na prática, quando são efetuadas muitas medições da mesma mensurada, a média dos erros aleatórios tende para zero. A dispersão dos dados pode ser estimada através do desvio padrão da amostra dos dados. Assumindo que um número suficientemente grande de medições foi efetuado, a influência do erro aleatório no valor médio das medições tende a ser desprezável.

O erro grosseiro é o menos frequente e é provavelmente o mais fácil de identificar. Está relacionado com a má utilização ou deficiente funcionamento do sistema de medição. Resulta de uma leitura errada, de uma execução errada de procedimentos ou mesmo de avaria ou dano do sistema de medição. No geral, considera-se que os procedimentos durante as medições são suficientemente robustos e que estes tipos de erros são identificáveis e eliminados.

Assim sendo, o valor médio de um número grande de medidas efetuadas repetidamente estará predominantemente afetado pelo erro sistemático. Se cada uma das parcelas de erro fosse perfeitamente quantificada, então o resultado da medição poderia ser corrigido e o

valor verdadeiro seria conhecido. Apesar de os erros sistemáticos poderem ser relativamente bem estimados, os erros aleatórios não são facilmente estimáveis, pelo que não é possível compensar o erro totalmente.

O conhecimento aproximado do erro sistemático e a caracterização da parcela aleatória é sempre desejável, pois isto torna possível sua correção parcial e a delimitação da faixa de incerteza presente no resultado de uma medição.

3. SISTEMAS DE OBSERVAÇÃO EM BARRAGENS DE BETÃO

O controlo de segurança é efetuado de uma forma planificada, sendo realizado com o apoio de um Plano de Observação. Em Portugal, o Plano de Observação é um documento vinculativo, consignado no Regulamento de Segurança de Barragens [1], obrigatório quer para obras novas quer para as antigas, e visa, essencialmente, o controlo de segurança durante as várias fases de vida da obra. Um dos elementos principais do Plano de Observação é a definição do Sistema de Observação, o qual permite, ao longo da vida da obra, a medição de variáveis representativas das ações, das propriedades dos materiais e das respostas estruturais [6].

Em cenários usuais, as ações mais importantes nas barragens de betão são as gravíticas (peso próprio dos materiais), as que se relacionam com as variações do nível da água a montante e a jusante, e com as variações de temperatura do ar e da água. No estudo de cenários excecionais é necessário considerar também as ações sísmicas e, no estudo de cenários de deterioração das características dos materiais, as ações químicas.

No domínio da exploração dos sistemas de observação existiram nos últimos anos avanços tecnológicos que contribuem para a melhoria das atividades relacionadas com o controlo de segurança das barragens, de entre os quais se destacam os mais recentes sistemas de recolha automática de dados, de transmissão dos dados e de gestão da informação (Fig. 1), que facilitaram o desenvolvimento de metodologias para o controlo de segurança em tempo real.

Na figura 2 é apresentada, para as barragens Portuguesas com sistemas RAD, a data de início das observações manuais e das observações do sistema RAD, e na figura 3 é apresentada a evolução, ao longo do tempo, da quantidade de novos dados que são diariamente obtidos e processados. Constata-se que o grande incremento na quantidade de informação que, desde 2004, tem de ser diariamente analisada é proveniente dos sistemas RAD. Torna-se clara a necessidade no desenvolvimento de metodologias que auxiliem as atividades de controlo de segurança em tempo real.

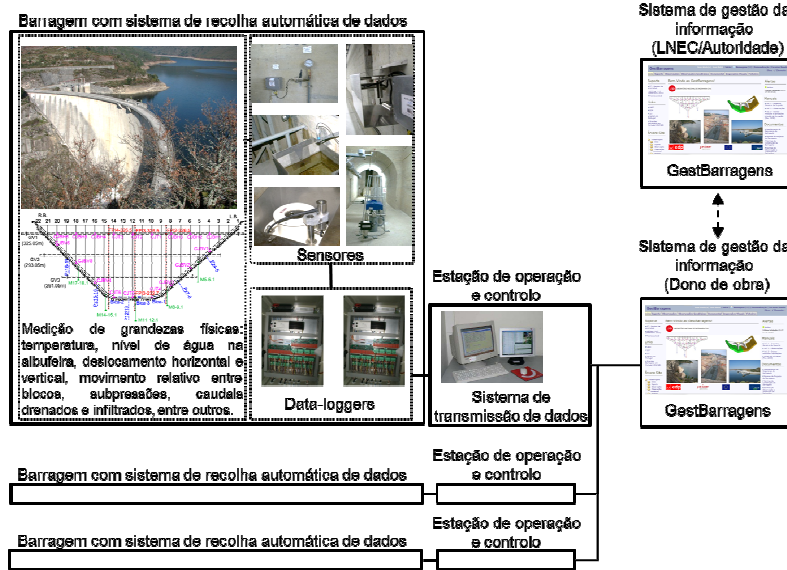


Figura 1. Sistema global constituído pelos sistemas de recolha automática de dados, pelos sistemas de transmissão dos dados e pelos sistemas de gestão da informação.

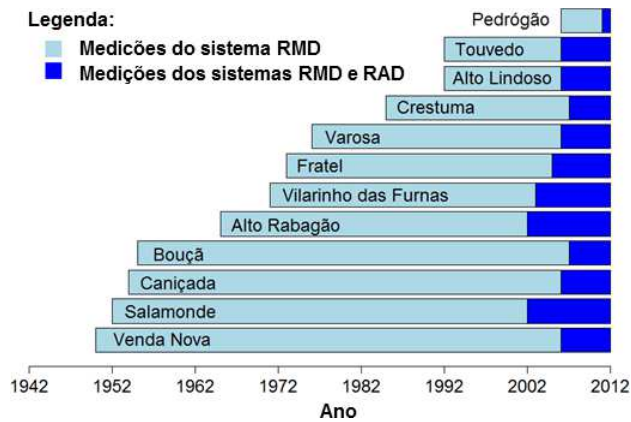


Figura 2. Barragens com sistemas RMD e RAD.



Figura 3. Evolução dos dados ao longo do tempo.

4. AVALIAÇÃO DO HISTÓRICO DAS MEDIÇÕES DOS SISTEMAS DE RECOLHA AUTOMÁTICA DE BARRAGENS DE BETÃO EM PORTUGAL

Em Portugal, os sistemas RAD têm uma estrutura tradicional, sendo compostos por um sistema automático de aquisição de dados, um sistema de transmissão de dados e um sistema de gestão e processamento dos dados. Nos últimos anos, o GestBarragens tem sido o sistema de processamento e gerenciamento de dados para a monitorização, diagnóstico e controlo de segurança utilizado no LNEC.

A avaliação dos registos das medições RAD existentes na base de dados do sistema GestBarragens é um aspeto relevante no controlo de segurança das barragens, uma vez que o histórico das medições é um elemento base para a análise e interpretação do comportamento das obras. O método proposto para a avaliação das medições existentes na base de dados do sistema GestBarragens consiste na análise integrada de quatro tipos de gráficos.

Na maior parte das situações é possível a medição da mesma grandeza através dos sistemas de medição RMD e RAD (Fig. 4). Como nas medições manuais são utilizados instrumentos com princípios de funcionamento relativamente simples e há uma vasta experiência adquirida ao longo dos anos, estas medições são geralmente consideradas de boa qualidade, podendo ser utilizadas como referência para a análise das medições dos sistemas RAD. Por esta razão, junto a cada instrumento do sistema RAD existe em regra um instrumento com recolha manual que mede a mesma grandeza.

A validação dos resultados dos sistemas RAD pode ser efetuada por métodos estatísticos, verificando se os pares de valores medidos (x_{RAD}, x_{RMD}) representam a mesma população, recorrendo a funções densidade probabilidade (*FDP*) para caracterizar a distribuição das medições em cada um dos sistemas de medição. No caso dos pares de medições RAD e RMD, são esperadas duas *FDP* semelhantes, isto é, $FDP(x_{RAD}) \approx FDP(x_{RMD})$. As diferenças entre as medições dos sistemas RMD e RAD estarão refletidas nas duas *FDP* (Fig. 5).

A representação da $FDP(x_{RAD} - x_{RMD})$ permite caracterizar o valor médio e a dispersão da diferença entre as medições (Fig. 6). A representação dos pares (x_{RMD}, x_{RAD}) (Fig. 7) permite visualizar as principais diferenças face à situação ideal (amostra de pares sobre a linha $x_{RAD} = x_{RMD}$) e identificar a causa dessas diferenças.

Nos casos em que a relação entre as medições RMD e RAD é linear, o modelo de regressão do tipo $x_{RAD} = m \times x_{RMD} + b$ permite a caracterização da relação entre as medições obtidas pelos dois sistemas de medição. A correção de desvios (das medições do sistema RAD quando é considerado que as medições do sistema RMD são a referência) pode ser obtida através da equação (1) (Fig. 8).

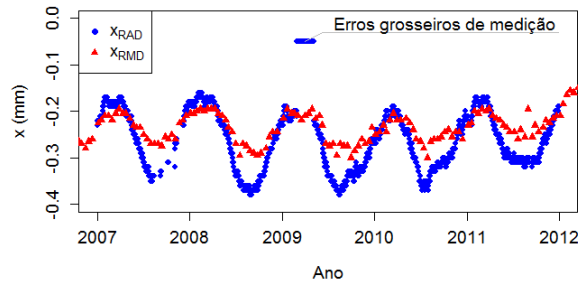


Figura 4. Exemplo de medições dos sistemas RAD e RMD ao longo do tempo. Identificação de erros grosseiros.

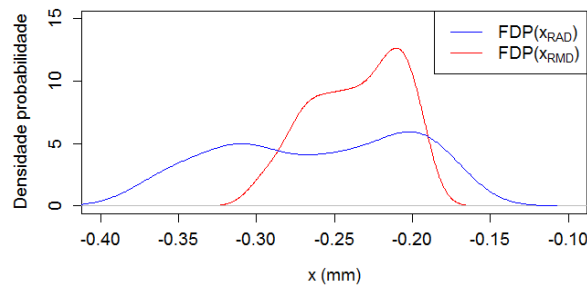


Figura 5. Exemplo da função densidade probabilidade de duas amostras com diferentes amplitudes e médias.

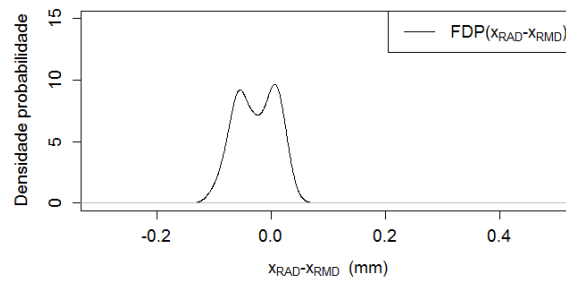


Figura 6. Exemplo da função densidade probabilidade $x_{RAD} - x_{RMD}$.

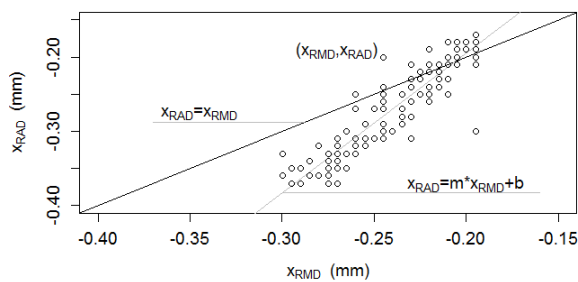


Figura 7. Pares (x_{RMD}, x_{RAD}) e modelo de regressão linear.

$$x_{RAD}^{Novo} = \frac{x_{RAD} - \bar{x}_{RAD}}{m} + \bar{x}_{RMD} \quad (1)$$

onde x_{RAD}^{Novo} é o x_{RAD} corrigido, \bar{x}_{RAD} é a média da amostra de x_{RAD} , \bar{x}_{RMD} é a média da amostra de x_{RMD} , e m é o coeficiente de regressão. Depois da transformação tem-se

$$\bar{x}_{RAD}^{Novo} = \bar{x}_{RMD}.$$

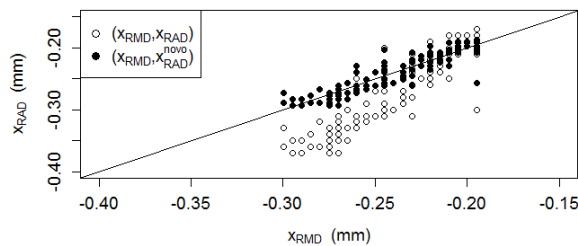


Figura 8. Pares (x_{RMD}, x_{RAD}) e pares $(x_{RMD}, x_{RAD}^{Novo})$.

5. CASO DE ESTUDO

Com o auxílio de uma ferramenta informática com as funcionalidades descritas na secção anterior, foi realizada uma análise global aos registos armazenados na base de dados da instância LNEC do GestBarragens. Nesta secção são apresentados alguns dos resultados da análise efetuada aos dados referentes ao sistema RAD da barragem do Alto Lindoso.

5.1 Descrição da barragem do Alto Lindoso

A barragem do Alto Lindoso está localizada no distrito de Viana do Castelo e tem como linha de água principal o rio Lima, na bacia hidrográfica do Lima (Fig. 9).

A barragem do Alto Lindoso é uma barragem de betão, do tipo abóbada de dupla curvatura, com arcos de diretriz parabólica, que, dada a forma do vale e as boas características da rocha de fundação, descarrega os impulsos diretamente sobre a fundação, sem recurso a encontros artificiais ou soco [7].

A barragem apresenta uma altura máxima de 110 m, o coroamento está à cota 339 m e o comprimento total do coroamento é de 297 m. A espessura dos blocos varia entre 4 m no coroamento e 21 m na base. O nível de pleno armazenamento (NPA) está à cota 338 m e o nível mínimo de exploração (NmE) à cota 280 m. A barragem cria uma albufeira com um volume útil de $350 \times 10^6 \text{ m}^3$, para a água na albufeira à cota do NPA. A barragem está equipada com duas descargas de fundo no corpo da obra, que complementam dois descarregadores de cheias, em túnel, na margem direita, com extensões em planta de 238 m e 268 m, respetivamente, que, em conjunto com as descargas de fundo, permitem a vazão de um caudal máximo de $3170 \text{ m}^3/\text{s}$.

Para além de uma galeria geral de drenagem (GGD) que acompanha toda a inserção da abóbada na fundação, a barragem dispõe de três galerias de visita horizontais (GV1, GV2 e GV3), às cotas 325 m, 293, m e 261 m, respetivamente, que penetram cerca de 50 m na fundação em ambas as margens, e cinco galerias radiais situadas próximo dos poços dos fios de prumo com a galeria geral de drenagem.

O primeiro enchimento da albufeira iniciou-se em janeiro de 1992, com o nível da água na albufeira à cota 234,0 m, tendo o NPA, à cota 338 m, sido atingido em abril de 1994.



Figura 9. Barragem do Alto Lindoso.

5.2 Sistema de observação da barragem do Alto Lindoso

O sistema de observação é constituído por um conjunto vasto de instrumentos de leitura manual e de leitura automática.

O sistema instalado na barragem para a medição do nível da albufeira é constituído por um limnígrafo, que fornece um registo da evolução da cota da água ao longo do tempo, e por uma escala de níveis instalada no paramento da tomada de água.

Na barragem estão instalados equipamentos para medir a temperatura do ar, do interior do betão e à superfície dos paramentos a montante e a jusante. A medição da temperatura no betão é feita com 70 termómetros de resistência elétrica, do tipo Carlson, distribuídos ao longo da espessura do betão em 16 secções de diversos blocos. A localização dos termómetros foi definida tendo em conta que os restantes aparelhos de resistência elétrica (extensómetros, medidores do movimento de juntas, medidores de pressão e tensómetros) também permitem a determinação da temperatura do betão que os envolve [7].

A medição das subpressões no contacto barragem-fundação é feita através da leitura dos valores registados na rede piezométrica, que engloba 23 piezómetros. As pressões no interior do betão são observadas por meio de dois conjuntos de três medidores de pressão instalados em duas secções da consola central às cotas 310 m e 236 m.

A medição de deslocamentos, horizontais e verticais, é feita recorrendo a um sistema integrado que inclui fios de prumo, extensómetros de fundação e observação geodésica. Os movimentos diferenciais entre blocos são medidos à superfície em rosetas de bases de alongâmetro e, no interior do betão, por meio de medidores do movimento de juntas de resistência elétrica. O estado de deformação é observado por meio de extensómetros elétricos dispostos em grupos planos e tridimensionais, situados em diversas secções radiais, que permitem também a determinação do estado de tensão, uma vez que são realizados ensaios de módulo de elasticidade do betão que os envolve. Junto a alguns destes grupos de extensómetros foram colocados, pares de tensómetros, que permitem a medição direta de tensões. Os caudais drenados e infiltrados são medidos individualmente, à saída dos drenos que constituem a rede de drenagem instalada na fundação da barragem, e em bicas coletoras que diferenciam os caudais totais na galeria geral de drenagem por zonas características da obra [7].

O sistema de recolha automática de dados da barragem do Alto Lindoso encontra-se em funcionamento desde dezembro de 2004.

Os instrumentos incluídos no sistema RAD constituem um subconjunto do sistema de observação, que se considera suficiente para a avaliação rápida e contínua das condições de segurança da obra. O sistema RAD contempla as principais grandezas observadas: deslocamentos horizontais em fios de prumo, deslocamentos medidos em extensómetros de fundação, movimento relativos em juntas, caudais em bicas e subpressão em piezómetros. Este sistema inclui também a recolha automática do nível da albufeira a montante e da temperatura do ar.

Na figura 10 é apresentada a localização dos instrumentos do sistema RAD e dos respetivos instrumentos RMD.

5.3 Avaliação das medições existentes na base de dados do sistema GestBarragens

A avaliação das medições consistiu, numa primeira fase, na eliminação de erros grosseiros de medição e, numa segunda fase, na análise das restantes medições RAD. A partir desta análise, concluiu-se que, além de erros grosseiros de medição e de pequenas variações devidas a efeitos aleatórios, existem diferenças sistemáticas entre as medições RAD e RMD.

Nos telecoordinómetros³ e nos controladores de juntas⁴, a diferença nas medições são principalmente devidas a diferenças no zero de escala e/ou a diferenças de sensibilidade dos dois tipos de instrumentos (para a mesma variação de medida). As diferenças nas medições RAD foram corrigidas com base na equação (1). Exemplos dos desvios típicos são apresentados nas figuras 11 e 12.

³ Os telecoordinómetros permitem a medição de deslocamentos horizontais em fios de prumo.

⁴ Os controladores de juntas permitem a medição de deslocamentos relativos entre blocos.

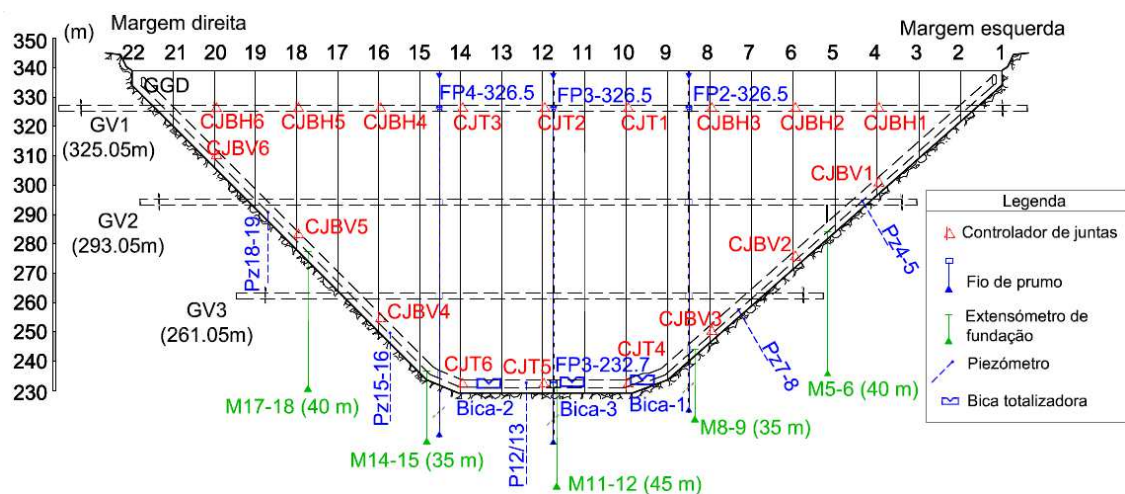


Figura 10. Sistema de observação RAD da barragem do Alto Lindoso.

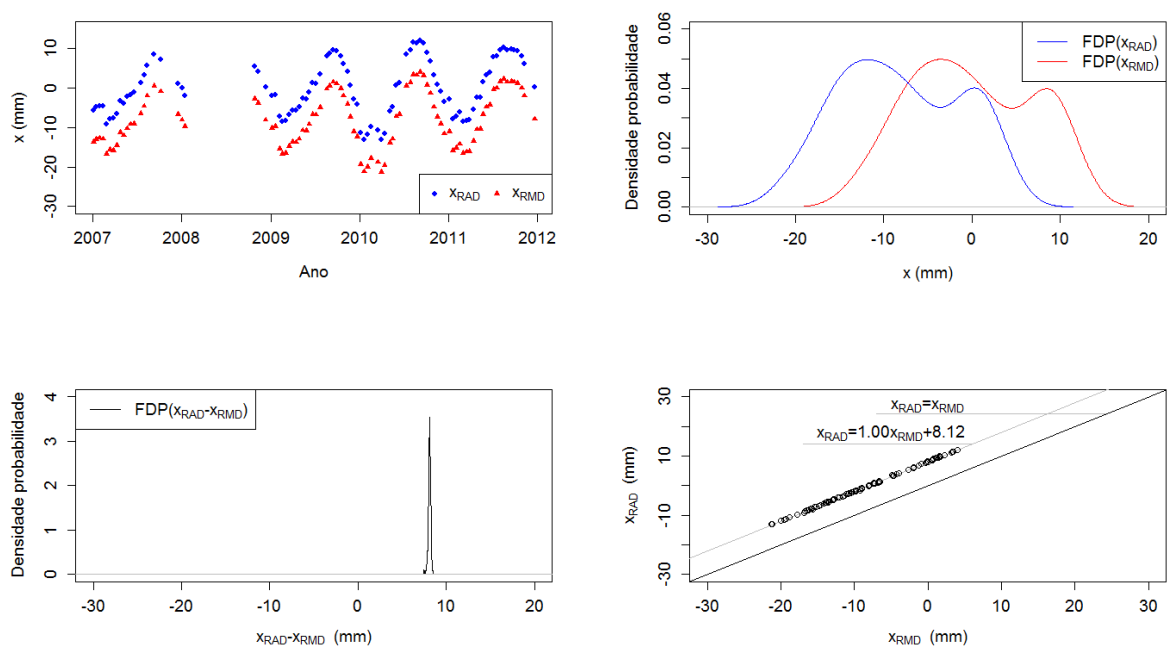


Figura 11. Desvios típicos entre medições RAD e RMD do deslocamento radial em fios de prumo (medições no FP2-326.5 da barragem do Alto Lindoso).

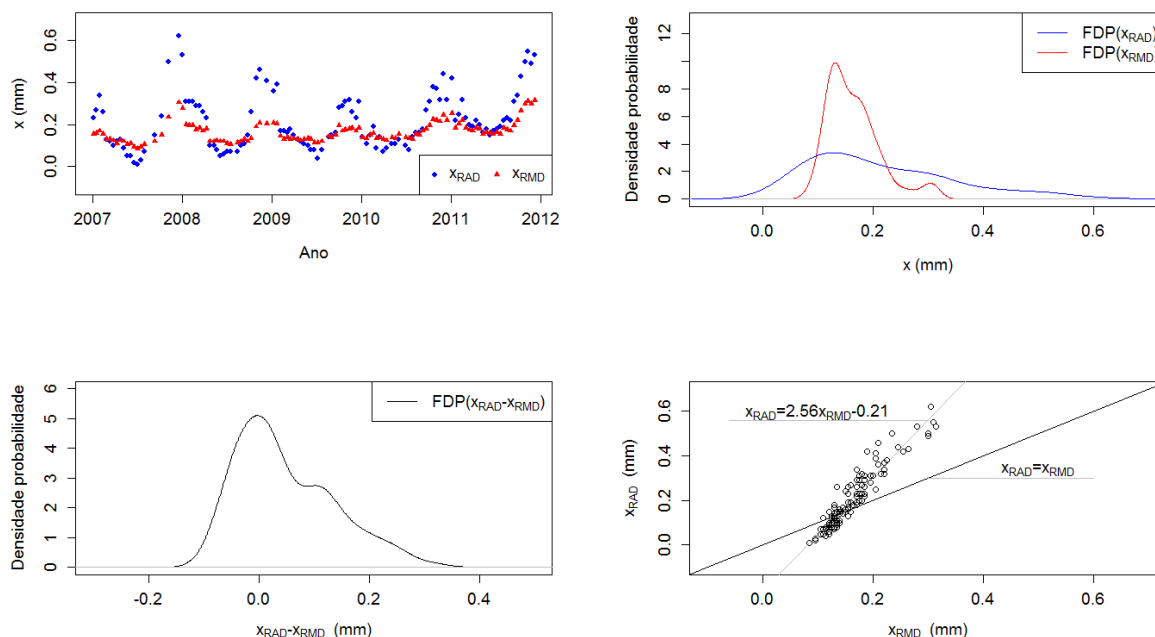


Figura 12. Desvios típicos entre medições RAD e RMD em movimentos de abertura-fecho de juntas em controladores de juntas (medições no CJT3 da barragem do Alto Lindoso).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho apresentou-se uma metodologia de base estatística, implementada no sistema GestBarragens, para avaliar a qualidade das medições de sistemas RAD a partir da comparação das medições efetuadas com este sistema com os resultados da observação dos instrumentos de recolha manual que medem a mesma grandeza.

No caso de estudo apresentado, foi avaliado se, no período em análise, os registos x_{RAD} e x_{RMD} , correspondentes a medições da mesma grandeza efetuadas com os sistemas RAD e RMD, respetivamente, representavam amostras da mesma população, recorrendo a funções de densidade de probabilidade (*FDP*) representativas da distribuição de cada uma das variáveis. Neste estudo foram identificadas diferenças devidas a diferentes zeros de escala e a diferentes sensibilidades dos instrumentos de medição. Após a identificação destas diferenças, foi possível corrigir os resultados dos sistemas RAD, potenciando assim a sua utilização em estudos de interpretação do comportamento e de avaliação das condições de segurança da obra.

Este tipo de estudo poderá agora ser realizado de forma sistemática em todas as obras em que existem sistemas RAD.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa EDP-Energias de Portugal, que forneceu e autorizou a utilização dos dados utilizados nos procedimentos estatísticos abordados neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] RSB – *Regulamento de Segurança de Barragens* – Decreto-Lei n.º 344/2007, de 15 de Outubro de 2007.
- [2] Braga Farinha, M.; Tavares de Castro, A.; Pina, A. – *Definição e exploração de sistema de recolha automática de dados da observação de barragens de betão*, Relatório 175/04, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2004.
- [3] Portela, E.; Pina, C.; Silva, A. R.; Galhardas, H.; Barateiro, J. – “A modernização dos sistemas de informação de barragens: o sistema GestBarragens”. Seminário Barragens: Tecnologia, Segurança e Interação com a Sociedade. Lisboa, 2005.
- [4] Tavares de Castro, A.; Mata, J.; Barateiro, J.; Miranda, P. – “Information Management Systems for Dam Safety Control. The Portuguese Experience”. Dam World Conference 2012. Brasil, 2012.
- [5] Silva Ribeiro, A. – *Avaliação de Incertezas de Medição em Sistemas Complexos Lineares e Não-Lineares*. Tese para obtenção de grau de Doutor em “Física Tecnológica”, pela Universidade de Lisboa, 2006.
- [6] Oliveira Pedro, J. – *Segurança e funcionalidade das barragens*. Memória N. 824. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2001.
- [7] Schclar Leitão, N. – *Barragem do Alto Lindoso. Relatório de análise de comportamento*. Relatório 266/2009, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2009.