

INSTRUMENTAÇÃO DE MONITORAMENTO DE BARRAGENS: UM ESTUDO DE CASO NA BARRAGEM DO CHASQUEIRO

IGOR WILLRICH LULIER¹; KARINA RETZLAFF CAMARGO²; MARCIANO CARNEIRO³; ALEXANDRE FELIPE BRUCH⁴

¹Universidade Federal de Pelotas – igorlulier@gmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande – karinacamargo@furg.br

³Universidade Federal de Pelotas – marciano.carneiro@ufpel.edu.br

⁴Universidade Federal de Pelotas – afbruch@gmail.com (orientador)

1. INTRODUÇÃO

O significativo avanço nas obras de engenharia pode ocasionar um desequilíbrio no meio natural, ou seja, uma grande carga assentada em um determinado local pode gerar um impacto inesperado ou imprevisível. A partir dessas forças estacionadas, movimentações no corpo de retenção e a resistência da barragem podem ser alteradas. As movimentações são indicativos de deformação em sua estrutura, por isso a importância de monitorar esses deslocamentos sistematicamente, para dimensionar o parâmetro de grandeza de riscos, pois as perdas podem ser na escala financeira, ambientais e até mesmo humanas, oriundas do efeito do desastre (NADAL *et al.*, 2017).

Até 2018, 5.086 barragens foram classificadas por Categoria de Risco - CRI (ou não possuem exigência de classificação) e 6.577 quanto ao Dano Potencial Associado - DPA, sendo 909 classificadas simultaneamente como Categoria de Risco e Dano Potencial Associado alto (ANA, 2019). Ao analisar-se o relatório de monitoramento de barragem, observa-se um grande número de barragens classificadas como CRI e DPA. Entende-se que os métodos de monitoramento têm o potencial de reduzir significativamente este número.

Uma das técnicas utilizadas para monitorar o deslocamento na estrutura da barragem é através de pontos de controle conhecidos ao longo do tempo, com o auxílio das técnicas geodésicas. Essas técnicas são baseadas no uso de instrumentos, como estações totais e níveis. Também pode-se utilizar de técnicas de monitoramento empregando-se receptores GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*).

Sendo assim, esta pesquisa concentra-se no desenvolvimento metodológico de um projeto de monitoramento de barragens, as quais podem ser de armazenamento de água, rejeitos e afins. Nesse sentido, apresenta-se de forma ainda incipiente os resultados alcançados até o momento, principalmente no que tange a infraestrutura necessária, assim como a instrumentação.

Cabe destacar que essa pesquisa está embasada nas normas de segurança de barragens, como a Resolução ANM nº95 de 07 de fevereiro de 2022 (atualmente vigente) que tange a segurança de barragens de mineração e rejeitos e a de segurança de barragens de acumulação de água, procedimentos definidos na Resolução ANA nº 121 de 09 de maio de 2022.

2. METODOLOGIA

A metodologia de monitoramento de barragens a ser desenvolvida nesta pesquisa é o método de irradiação 3D, nos quais as observações são realizadas com o uso do instrumento estação total robótica do fabricante *Geomax, modelo Zomm95, com precisão angular de 1" (Classe 1 – NBR 13.133:2021)*. Os dados coletados em campo permitem um acervo de elementos, no qual auxiliam na interpretação do gerenciamento de controle na segurança da barragem.

Para tanto, o desenvolvimento da metodologia se concentrou na implementação da infraestrutura e no método de monitoramento. A infraestrutura é composta por marcos que compõem a rede geodésica de monitoramento, sendo pontos fixos que permitem a referência para as observações efetuadas. Para a construção da rede geodésica, optou-se pela instrução do IBGE (2008) para a monumentalização dos marcos e pilares das estações que compõem o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Foram implantados os padrões de marcos tipo RN (Referência de Nível) e SAT (Satelital), este último com dispositivo de centragem forçada e homologado no IBGE.

Já a metodologia de coleta dos deslocamentos horizontais e verticais (recalque), priorizou pela implementação de um Plano Topográfico Local, com as origens definidas conforme a NBR-14166:1998. Para tanto, optou-se pela configuração da estação total em alinhamento azimutal conhecido. Sendo assim, o método proposto preconiza a utilização das normas de levantamentos topográficos oficiais utilizadas no Brasil.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Nadal *et al.* (2017), com o avanço tecnológico da instrumentação utilizada, os goniômetros ou teodolitos empregados em décadas passadas em topografia clássica, deram lugar às estações totais, que mais recentemente receberam servos-motores, transformando-se em robotizadas. Esse sistema permite o mínimo de erro humano possível, pois a automatização do processo gera erros mínimos de deslocamento.

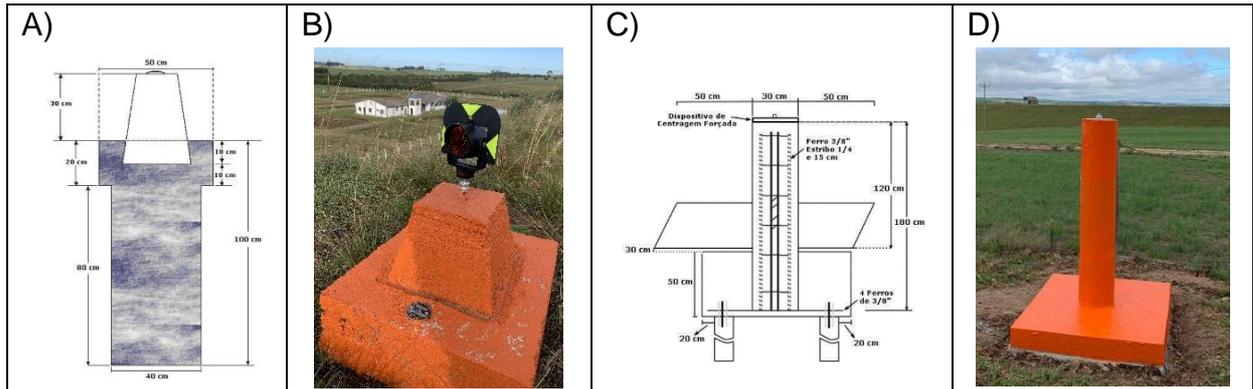
Para garantir que não haja distorções na coleta, a estabilidade de suporte dos prismas foi construída com concreto e aço na sua estrutura. No topo existe uma placa geodésica com uma rosca, na qual permite a locação da estação por meio de parafuso, garantindo assim a reocupação das mesmas posições em períodos distintos de monitoramento (Figura 1- A e B). Este marco apresenta dimensões de 50 x 50 cm em sua base, com tronco piramidal em seu topo, medindo 18 x 18 cm e com alma com treliça de ferro de 5 mm. No topo foi engastado um parafuso com rosca padrão 5/8 para a centragem e fixação do prisma refletor. Foi pintado na cor laranja-sinalização, conforme padronização do IBGE (2008).

Para a fixação da estação total foi construído um marco padrão SAT (Figura 1- C), em concreto armado, de acordo Manual de Padronização de Marcos Geodésicos do IBGE (2008). A implantação deste marco garante a altura do plano horizontal do observador sem a utilização de acessórios. O Marco no qual compõe a fixação do prisma, possui dimensões de base de 1 x 1 metro, com tronco piramidal com diâmetro de 30 cm e altura de 1,35 metros. No topo, um dispositivo de centragem forçada

padrão IBGE (2008), com rosca 5/8 e ancoragem de 4 estiramentos. Pintado na cor laranja-sinalização (Figura 1-D), conforme padronização do IBGE (2008).

Em ambos os marcos foram engastadas placas geodésicas de identificação, sendo estas padronizadas pelo IBGE. A nomenclatura de identificação foi realizada através de marcador manual do tipo punção, com tamanho de fonte de 6 mm. Marco de monitoramento padrão RN

Figura 1: Marco de monitoramento padrão RN: (A) Projeto; e (B) Execução; e Marco de suporte da estação total padrão SAT: (C) Projeto; e (D) Execução.

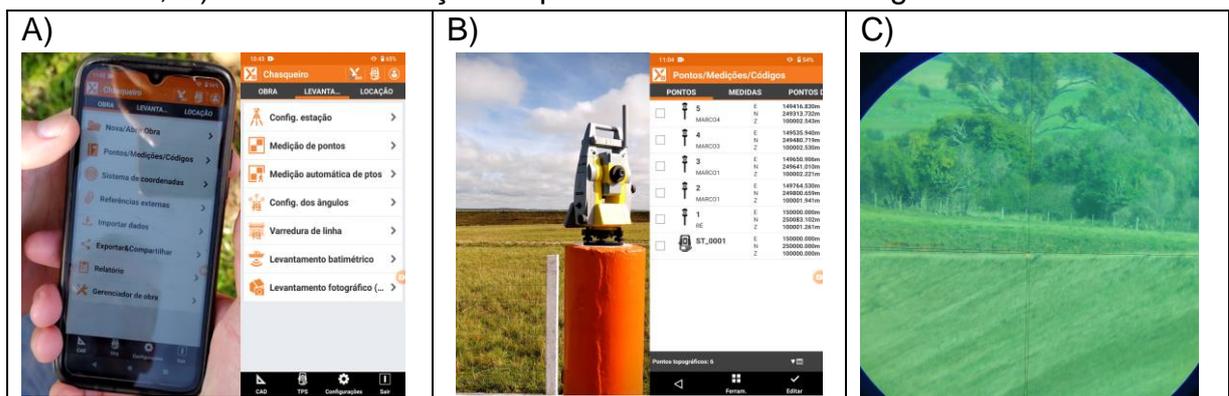


Fonte: Os Autores.

Para o monitoramento dos deslocamentos horizontais e recalques, foi instaurado o plano topográfico local, onde é levado ao nível médio do terreno da área de abrangência do Sistema Topográfico Local. Pela Norma NBR-14166:1998, à superfície de referência no ponto de origem do sistema, o ponto que tangencia o plano topográfico de projeção no elipsóide de referência. Com a origem do sistema dada a partir de 0, de coordenadas geodésicas " φ_0 " e " γ_0 " para plano-retangulares $X = 150.000$ m e $Y = 250.000$ m. A altitude (Z) foi fixada na origem arbitrária de 100 m.

Para o levantamento das posições de monitoramento, foi estabelecida a conexão entre a estação total e um aparelho *smartphone* (Figura 2-A), no qual, com a tela inicial, foi possível configurar o nome do projeto, configuração das dimensões da estação em relação aos pontos, e forma de medida de pontos. Após registrar os pontos conhecidos de forma manual, o aparelho realizou a coleta dos dados roboticamente, conforme figura 2-B. Essa configuração permite a automatização do monitoramento.

Figura 2: A) Tela inicial do aplicativo; B) Equipamento locado, com os pontos coletados; C) Visada em direção ao prisma ancorado à barragem.



Fonte: Os Autores.

4. CONCLUSÕES

O uso de estações totais robotizadas no monitoramento é uma abordagem para garantir a segurança das estruturas de grande porte, na qual a ênfase é no monitoramento de barragem. A capacidade de detectar deformações e mudanças de deslocamento de forma robotizada oferece uma camada adicional de proteção contra desastres relacionados com a barragem, pois pode-se gerar inúmeras métricas de medidas para contabilizar mudanças deformacionais por um determinado período, e com o mínimo de erro humano possível no momento da coleta dos dados.

Sendo assim, esse trabalho apresentou os aspectos iniciais do processo de implantação de uma rede de monitoramento de barragens, onde foram descritos os itens referentes à construção da infraestrutura necessária e da metodologia de coleta de dados. Por fim, pretende-se apresentar em trabalhos futuros os resultados do uso da instrumentação de monitoramento geodésico, e, portanto, possa ser utilizado em grandes barragens pelo Brasil, como um complemento do monitoramento físico.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Relatório de Segurança de Barragens**: 2018. Brasília: ANA, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR13133 - Execução de levantamentos topográficos**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR14166: Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1998.

BRASIL. **Resolução ANA nº 121 de 09 de maio de 2022**. Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

BRASIL. **Resolução ANM Nº 95 de 7 de fevereiro de 2022**. Consolida os atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração. Agência Nacional de Mineração (ANM).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Padronização de Marcos Geodésicos**. Rio de Janeiro: 2008.

NADAL, M. A. D.; VEIGA, L. A. K.; FAGGION, P. L.; NADAL, C. A.; SOARES, M. A. Emprego de estações totais robotizadas na automação, controle e aquisição de dados, voltado ao monitoramento de barragens. **Rev. Bras. Geom.**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 018-030, jan/mar. 2017.