

Instrumentalização para Monitoramento de Barragens: Métodos e Custos

CACIO DOS SANTOS ALVES JUNIOR¹; TASSIUS PEREIRA LIMA²; FELIPE MARTINS MARQUES DA SILVA³; KARINA RETZLAFF CAMARGO⁴ ; REGINALDO GALSKI BONCZYNSKI⁵ ;ALEXANDRE FELIPE BRUCH⁶

¹*Universidade Federal de Pelotas – cacioalvesjr@outlook.com*

²*Universidade Federal de Pelotas – tassius.lima.tl@gmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas – felipemarquesufpel@gmail.com*

⁴*Universidade Federal do Rio Grande – karinaretzlaff@gmail.com*

⁵*Universidade Federal de Pelotas – rbonczynski@gmail.com*

⁶*Universidade Federal de Pelotas – afbruch@gmail.com*

1. INTRODUÇÃO

Barragens são estruturas artificiais construídas transversalmente a cursos d'água, como rios ou talvegues, ou em encosta como anfiteatros, com a finalidade de reter água ou outros líquidos, como rejeitos e detritos. Ao serem implantadas, formam reservatórios que podem ser utilizados para diversos propósitos. Apesar do progresso tecnológico, ainda são recorrentes os problemas estruturais associados a essas construções.

Conforme apontado por Perini (2009), somente entre os anos de 2000 e 2009, o Brasil registrou 140 ocorrências envolvendo barragens. A partir de 2011, com a publicação do primeiro Relatório de Segurança de Barragens, até o ano de 2021, a Agência Nacional de Águas (ANA) contabilizou 307 casos de acidentes e incidentes.

O monitoramento de barragens consiste em um conjunto de atividades sistemáticas e contínuas voltadas à observação, medição e interpretação do comportamento estrutural e funcional dessas obras ao longo do tempo. Seu principal objetivo é identificar, em tempo hábil, alterações que possam comprometer a segurança da barragem, possibilitando a adoção de medidas preventivas e corretivas que evitem acidentes e minimizem riscos (USSD, 2008).

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2016), o monitoramento é uma das principais ferramentas de gestão da segurança de barragens, englobando o acompanhamento de parâmetros geotécnicos, hidráulicos, hidrológicos e estruturais por meio de inspeções visuais e instrumentação técnica. Entre os dispositivos mais comuns utilizados nesse processo, destacam-se piezômetros, inclinômetros, extensômetros, medidores de vazão, sistemas de detecção passiva ou remota. Nesse sentido, o objetivo principal desta pesquisa é identificar e materializar diferentes estruturas e custos para o monitoramento de barragens, com fins geotécnicos.

2. METODOLOGIA

Para a materialização do monitoramento de barragens através de instrumentação passiva, optou-se pela infraestrutura de posicionamento geodésico preconizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE (2008). Sobre a crista do barramento, optou-se pelo formato padrão RN, com uma base quadrada medindo 50 cm e tronco piramidal com 30 cm em sua base e 18 cm topo (Figura 01a).

Em seu topo foram encravados parafusos de centragem forçada com rosca padrão 5/8. Placas Geodésicas padronizadas, informando o executor e o número do marco cadastrado são fixadas em sua lateral.

O concreto de preenchimento utiliza uma mistura padrão 1 unidade de cimento tipo CP II F32, 3 unidades de areia média (0,42 – 2mm) e 3 unidades de brita média (tipo 2). A fôrma utilizada no padrão RN foi confeccionada em madeira em base e topo, com o intuito de reaproveitamento.

Já o marco de referência externo, identificado como base, sendo do padrão SAT (IBGE, 2008) (Figura 01b), ou seja, possui um dispositivo de centragem forçada em seu topo e altura compensatória que elimina o uso de tripé para o estacionamento do equipamento. Essa escolha foi realizada buscando minimizar os erros grosseiros.

Foi edificado um marco com base quadrada padrão com 1,3 m de lado e 20 cm de altura. No seu centro, foi edificado um pilar com diâmetro de 30 cm em concreto com uma mistura padrão 1 unidade de cimento tipo CP II F32, 3 unidades de areia média (0,42–2mm) e 3 unidades de brita média (tipo 2). A alma do tronco piramidal é constituída por duas treliças de ferro tipo Tg8I com 4.2mm.

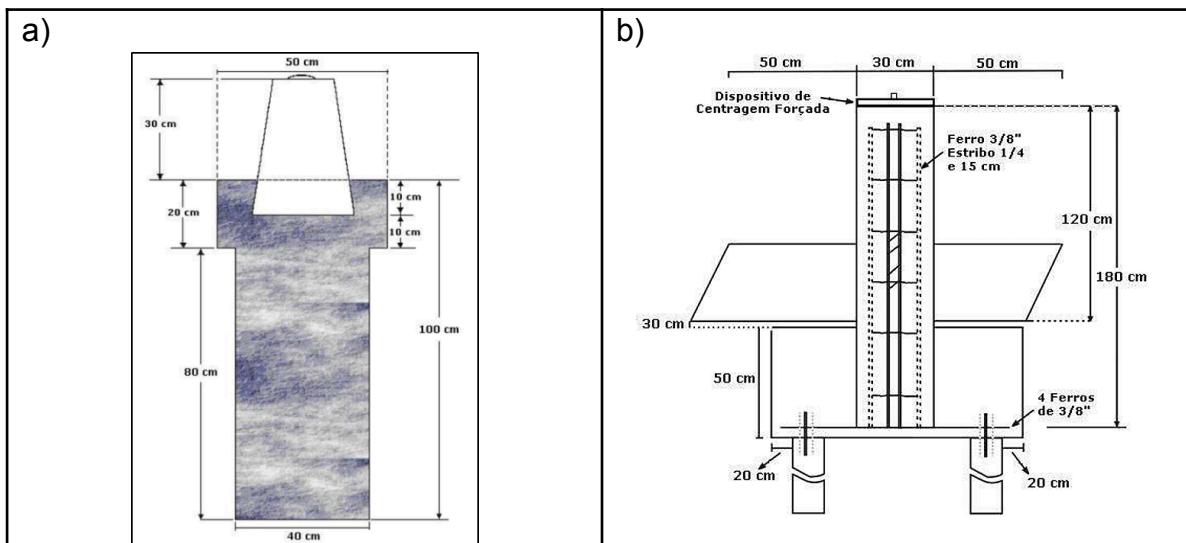


Figura 01: Desenho em perfil esquemático de materialização de marco geodésico tipo RN (a) e SAT (b)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo a ANA (2024), só na região sul do Brasil existem mais de 6.356 barragens, sendo que 50,5% possuem condições de serem enquadradas no Plano Nacional de Segurança de Barragens. Esses dados demonstram o potencial e a necessidade do estabelecimento das infraestruturas de monitoramento. Na implantação dos Marcos padrão RN foi escolhida a face jusante da barragem, por apresentar menor interferência na superfície de operação, principalmente da recomposição do Riprap (enrocamento). Primeiramente, foram estabelecidos os 4 pontos de monitoramento com equidistância de 200 metros em toda crista da barragem. Foi realizada a descobertura da superfície de fixação com gramíneas (60x60 cm). Foi aberta uma cava com o auxílio de pá de corte e pá cavadeira, com diâmetro de 40 cm e profundidade de 40 cm (reduzida em 50% para preservação do filtro do maciço do barramento). Foi introduzida a alma de ferro e na sequência a fôrma de madeira

inferior no formato quadrado. Feita a concretagem da fôrma inferior, foi concretado o topo piramidal com centragem feita por trena (Figura 02^a). No topo também foi centrado e verticalizado o parafuso de centragem forcada 5/8. Na face da base, foi encravada a placa geodésica de identificação do marco de monitoramento. Após cura de 14 dias, foi realizada a retirada da forma de madeira e pintado o marco no padrão de identificação laranja 16781 (Figura 02b).

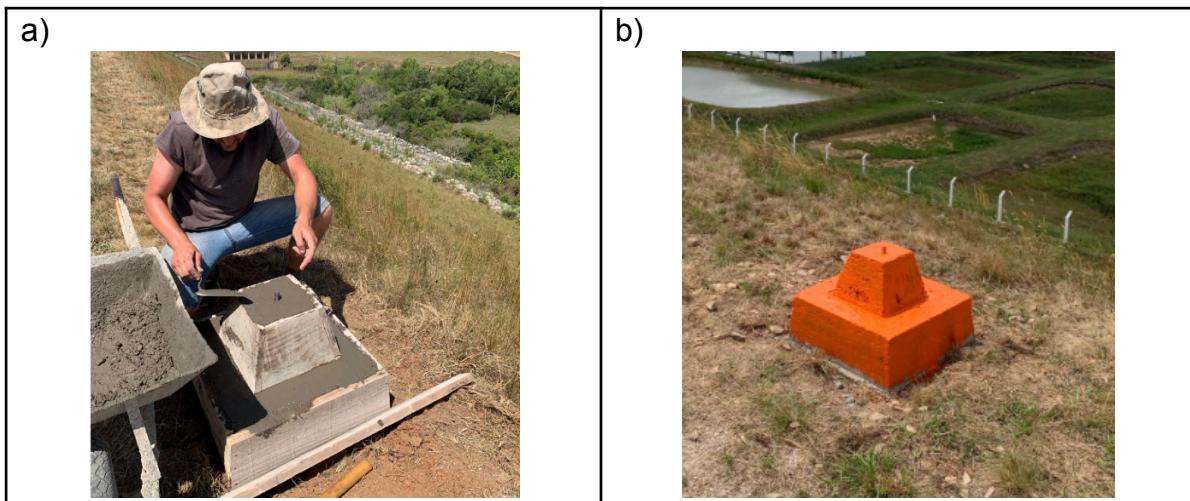


Figura 02: Concretagem do marco geodésico tipo RN (a) e marco pronto para o uso no monitoramento (b)

O Marco padrão SAT seguiu a mesma sequência de construção, onde primeiramente foi realizada a descobertura da superfície de fixação com gramíneas (1,3 x 1,3 m). Foram abertas as duas cavas com pá de corte e pá cavadeira com diâmetro de 30 cm e profundidade de 40 cm. Foi introduzida a alma de ferro 3/8 e a malha 5 mm e na sequência a forma de madeira inferior no formato quadrado 1,3 x 1,3 m. Feita a concretagem da forma inferior, foi concretado o topo, onde primeiro foram introduzidos dois tubos de concreto totalizando 1,8 m (Figura 03a). Nos tubos foi inserida a alma de ferro do tipo treliça, com concretagem até o topo. Foi inserido o dispositivo de centragem forcada com a ancoragem em pré-cura no topo do marco. Após cura de 14 dias, foi retirada a forma de madeira e pintado o marco no padrão de identificação laranja 16781 (Figura 03b).

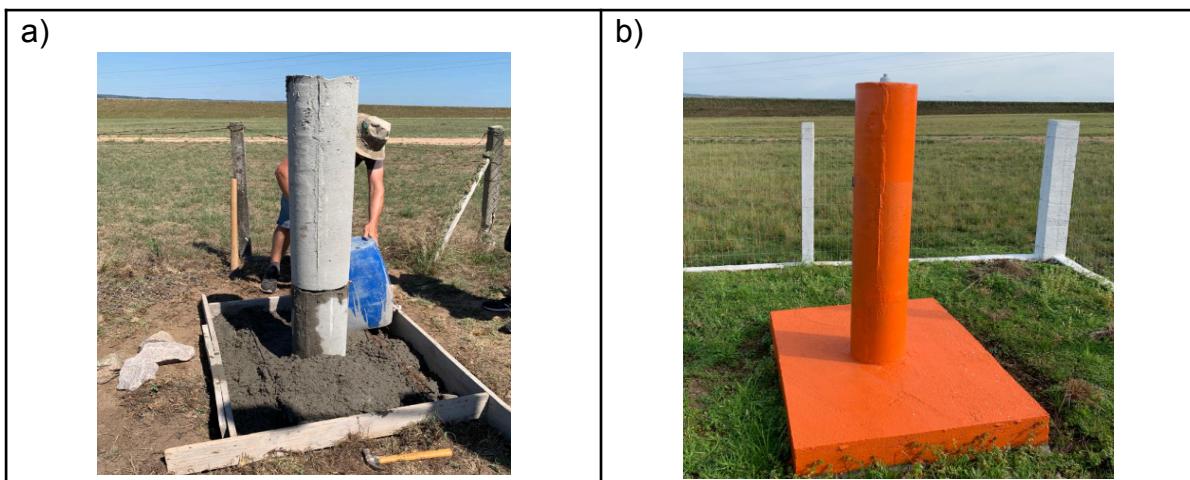


Figura x: Concretagem do marco geodésico tipo SAT (a) e marco pronto para o uso no monitoramento (b)

Para a avaliação dos custos de implantação da infraestrutura de monitoramento, os gastos foram planilhados sendo apresentados na tabela 1, como fonte e referência para futuras implantações.

Tabela 1: Custos associados à implantação da infraestrutura de monitoramento

Quantidade	Material	Preço Unit.(R\$)	Total (R\$)
0,5 m ³	Areia média	140,00	70,00
0,5 m ³	Brita 2	180,00	90,00
6 sc	Cimento	39,00	234,00
2	treliças de ferro	45,20	90,40
2	Tubo de concreto	55,50	111,00
1	Dispositivo de Centragem Forçada	360,00	360,00
5	Placas Geodésicas Pinadas	8,40	42,00
3	Tábuas de Pinus 20 cm x 300 cm	22,70	68,10
1	Galão de Tinta Laranja	128,00	128,00
Total (R\$)			1.193,50

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho propôs uma abordagem prática e de baixo custo para a instrumentalização geodésica de barragens, com foco na segurança geotécnica, por meio da implantação de marcos padrão RN e SAT. A principal inovação reside na adaptação e detalhamento construtivo desses marcos com base em normas do IBGE, aliando precisão de posicionamento com racionalização de materiais e técnicas executivas acessíveis.

A escolha por dispositivos de centragem forçada e o uso de fórmulas reaproveitáveis de madeira contribuem tanto para a redução de custos quanto para a repetibilidade e padronização do processo, promovendo maior confiabilidade no monitoramento ao longo do tempo.

Esse modelo pode servir como referência técnica e econômica para gestores públicos, engenheiros e órgãos fiscalizadores, fortalecendo as ações preventivas previstas no Plano Nacional de Segurança de Barragens e auxiliando na mitigação de riscos associados a essas estruturas críticas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Relatório de segurança de barragens 2023**. Brasília: ANA, 2024.

ANA. Agência Nacional do Aguas (Brasil). **Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem**. Brasília: ANA, 2016.

PERINI, D. S. **Estudo dos processos envolvidos na análise de riscos de barragens de terra**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

USSD. United States Socieety of Dams. **Why include instrumentation in dam monitoring programs?** USSD Comitee on Monitoring of Dams and their Foundations, CO, 13 p. 2008.