

A IMPORTÂNCIA DA AUTOMAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO GEOTÉCNICA DE AUSCULTAÇÃO DA BARRAGEM IRAPÉ - MG

Filipe Henrique Costa Lima (*), Márcia Maria Guimarães

*Engenheiro Civil, filipehc_lima@outlook.com

RESUMO

Automação da instrumentação é o processo de observar, detectar e caracterizar o comportamento de uma barragem e suas estruturas auxiliares. O monitoramento verifica seu desempenho, indicando riscos e ações preventivas a executar, caracterizando uma atividade precisa e em tempo real das condições geotécnicas. É realizada por meio de instrumentos mecânicos na coleta de dados manuais e sensores instalados nas suas estruturas. Desse modo, este artigo apresenta o artifício de automação, suas características, vantagens e desvantagens de sua utilização. A instrumentação é um procedimento que traz benefícios, podendo aumentar a qualidade de informações. Contudo, deve ser continuamente aperfeiçoado, para que alcance cada vez mais confiabilidade nas medições de campo.

PALAVRAS-CHAVE: Automação, Instrumentação geotécnica, Monitoramento, Barragem. Auscultação.

INTRODUÇÃO

No Brasil, de acordo com o último relatório de Segurança de Barragens divulgado em março de 2019, pela Agência Nacional das Águas, contabilizam-se 14.966 barragens, dentre as quais 663 são de rejeitos de mineração. O setor de mineração permite a geração e retirada de grande quantidade de materiais e circulações no processo de minério, representando assim uma das principais atividades econômicas do país. Contudo, apesar da possibilidade em desenvolver a economia, podem impactar negativamente gerando danos recorrentes e impactantes ao meio ambiente e na sociedade.

Nos últimos anos, o Estado de Minas Gerais vem enfrentado graves problemas com barragens de mineradoras, onde o rompimento traz consequências que são historicamente as mesmas: assoreamento de córregos e rios, cidades destruídas pela lama e inúmeras vítimas fatais. Casos como o da barragem em Miraf (2007), Itabirito (2014), Mariana (2015), e Brumadinho (2019), demonstram a importância em se manter seguras estruturas desse porte.

Os especialistas do setor da mineração são uníssomos em afirmar que a utilização de técnicas mais modernas de filtragem dos resíduos, a manutenção correta das barragens, a utilização de instrumentos de monitoramento eletrônico, a implementação de sistemas de alerta, a adoção de planos emergenciais e, sobretudo, uma fiscalização séria e eficiente pelos órgãos competentes são medidas que, se estivessem em pleno funcionamento, certamente teriam evitado esses desastres ou minimizariam seus impactos socioambientais.

Uma das possibilidades a ser utilizada pelas empresas de mineração como prevenção, seria o sistema de monitoramento automático de barragens utilizando sensores geodésicos, processo já utilizado pela empresa americana *Trimble*. O mecanismo conta com GPS, sensores de rachaduras e inclinação, câmeras, medidores de tensão, estações totais robotizadas em cabines e estações meteorológicas, instalados nas partes internas e externas das estruturas. Toda tecnologia é monitorada em tempo real e, em caso de alteração na estrutura, o alarme é disparado.

Esse recente histórico de acidentes, propiciando avarias aos habitantes próximos, mostra que é preciso melhorar as condições de segurança e monitoramento das barragens. Visando fornecer subsídios necessários para manter uma barragem segura durante toda sua vida útil, a coleta dos dados juntamente com as apropriadas interpretações diminui a possibilidade de ocorrências, valorizando a implantação do método.

Nesse contexto, o processo de automação da instrumentação geotécnica, que surgiu entre os anos de 1930 e 1940, visa identificar comportamentos irregulares da infraestrutura, bem como o acompanhamento e as verificações periódicas quanto ao seu desempenho. Método que tem a necessidade de ser compacto e coeso, iniciando com a demarcação de um objetivo e terminando com o planejamento de como os parâmetros a serem medidos serão praticados.

OBJETIVOS

Processos que monitoram e controlam obras geotécnicas de grande porte formam um complexo sistema com a finalidade de prever o comportamento da construção no decorrer de sua vida útil. E ainda, estabelecer a partir da caracterização de possíveis deteriorações que formam risco potencial as condições da segurança do empreendimento. O prognóstico de comportamento futuro fazem referências às distintas maneiras de tratamento das informações de

instrumentação, executando-se prenúncios que podem admitir condições naturais de operação ou recomendar riscos potenciais para a estrutura.

Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo compreender e destacar a importância do processo de automação da instrumentação geotécnica de auscultação em uma barragem, apresentando suas características técnicas e seu monitoramento.

Serão analisadas as atividades de monitoramento de segurança de barragens, incluindo a coleta e análise dos dados da instrumentação de auscultação instalada na barragem de Irapé – MG. Os principais instrumentos de auscultação instalados também serão identificados e caracterizados, assim como a apresentação do quantitativo da instrumentação operante e o respectivo percentual automatizado na barragem.

METODOLOGIA

Apresenta-se um estudo de caso, cujos dados foram obtidos da empresa CEMIG Geração e Transmissão S.A., oriundos do processo de automação da instrumentação geotécnica de auscultação já implantada na barragem de Irapé–MG.

Essa barragem iniciou seu processo operacional no ano de 2006, onde ainda durante a fase de projeto e dos estudos hidrológicos e geológicos foi adotada estrutura do tipo *Rockfill* (areia grossa, brita e pedra), necessária para barragens com altura do maciço superior à 14 metros, contada no nível do terreno natural até o coroamento. Tem a função de captar e disciplinar qualquer fluxo de água oriundo da fundação, direcionando o fluido para a região de menor cota.

A **Figura 1** apresenta de forma esquemática os principais passos metodológicos da rotina de um processo de automação da instrumentação geotécnica de auscultação de barragens.

Localizada no rio Jequitinhonha no município de Grão Mogol, Minas Gerais, a Usina Hidrelétrica de Irapé foi inaugurada em junho de 2006, tendo a CEMIG Geração e Transmissão S.A como concessionária. A obra apresentou um grande marco social, possibilitando o desenvolvimento de uma das regiões mais necessitadas do estado, defendendo assim todo investimento do governo do Estado de Minas Gerais. O reservatório envolve as áreas dos municípios de Berilo, Grão Mogol, José Gonçalves de Minas, Leme do Prado, Cristália, Botumirim e Turmalina.

Trata-se da barragem mais alta do Brasil e a segunda maior da América Latina, com 210 metros de altura, do tipo enrocamento, 590 metros de comprimento e reservatório com 5.963,92 hm³ de capacidade de armazenamento de água. Ainda durante a fase de projeto e dos estudos hidrológicos e geológicos foi adotada estrutura do tipo *Rockfill* (areia grossa, brita e pedra), necessária para barragens com altura do maciço superior à 14 metros, contada no nível do terreno natural até o coroamento. Tem a função de captar e disciplinar qualquer fluxo de água oriundo da fundação, direcionando o fluido para a região de menor cota (CEMIG, 2018).

Presciências da conduta futura são as distintas maneiras de tratamento das informações da instrumentação, efetuando-se possibilidades que podem admitir condições normais de realização ou indicar probabilidades que gerem ameaças de potencialidades para a barragem.

Considerando sua grandeza, o rompimento de uma barragem poderá causar grandes catástrofes. Acidentes esses que podem implicar no alagamento de vastas áreas a jusante e causar danos imensuráveis em termos de impactos socioeconômicos e ambientais. Sendo assim, a segurança é um aspecto de extrema importância no projeto, na construção e no monitoramento dessas estruturas (FUSARO, 2007)

Lindquist (1996) destaca a importância da instrumentação através de três aspectos:

- (1) Hipóteses, critérios e parâmetros adotados em projeto para fins de aprimoramento, garantia técnica e economicidade,
- (2) Adequação dos métodos construtivos,
- (3) Condições de segurança da obra para fins de medidas corretivas em tempo hábil.

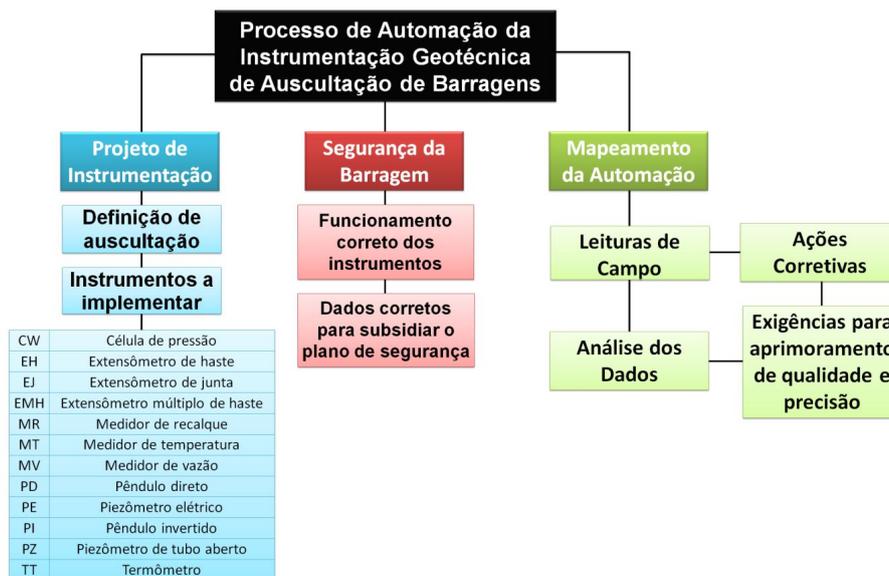


Figura 1 – Processo de automação da instrumentação de auscultação. Fonte: Lima (2018).

O processo de automação dos instrumentos consiste em substituir terminais boxes previamente instalados (Figura 2-A), por estações automatizadas (Figura 2-B) capazes de realizar leituras dos dados captados (Figura 2-C).

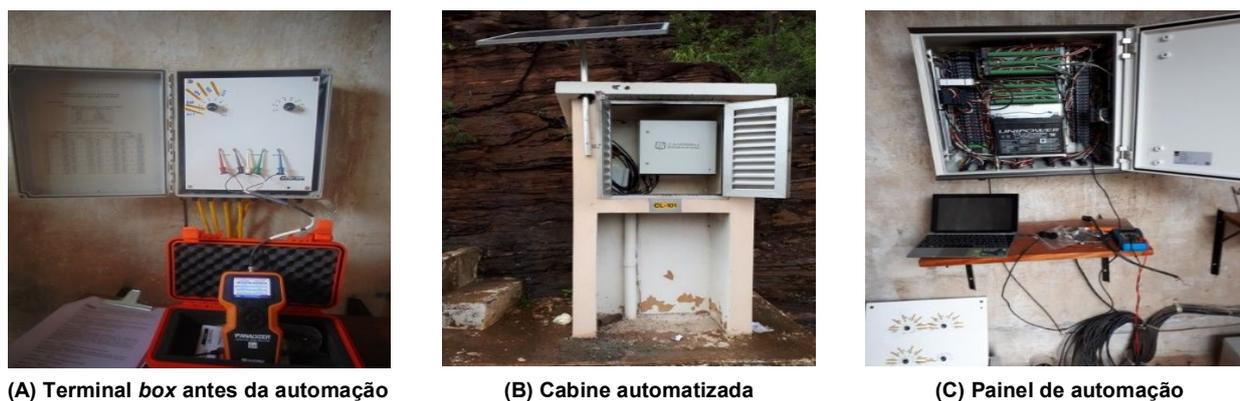


Figura 2 – Equipamentos utilizados na automação de barragens. Fonte: ANDRADE *et al.* (2018).

Além disso, permite monitorar instrumentos, como piezômetros, células de pressão total, corda vibrante, medidores de vazão e entre outros, admitindo análises mais precisas e seguras, conforme Tabela 1.

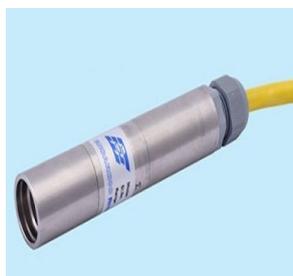
Visando atender aos critérios de segurança de barragens, a implementação do processo tem por objetivo avaliar o desenvolvimento da barragem atendendo dois critérios: enchimento e operação. No período de enchimento do reservatório é possível alertar a ocorrência de possíveis anomalias que possam colocar em risco a segurança da estrutura, possibilidade de avaliar o desempenho estrutural, geotécnico e hidráulico da obra, e verificar a adequação das simplificações introduzidas nas hipóteses de projeto. Já em seu período operacional pode-se verificar se o desempenho está de maneira satisfatória conforme previsto já em projeto, caracterizar o comportamento temporal dos solos e/ou maciço rochoso de fundação determinando prazo necessário para estabilização dos deslocamentos, tensões internas, subpressão, vazões de drenagem, etc. (LIMA, 2018).

Tabela 1 – Tipos de instrumentos utilizados no processo de automação. Fonte: LIMA (2018).

INSTRUMENTOS	GRANDEZAS MEDIDAS
Célula de pressão	Tensões totais em obras de maciços de terra, fundações, muros de arrimo, etc.
Extensômetro de haste	Deslocamentos e deformações em maciços rochosos e concreto. Função de determinar qualitativa e quantitativamente os deslocamentos dos diversos pacotes de um maciço rochoso.
Extensômetro de junta	Afastamento entre as pontas da estrutura.
Medidor de vazão	Vazão percolada através de maciços de terra/enrocamento, suas fundações ou ombreiras e fundações de estruturas de concreto. O perfil vertente pode ser triangular, quadrado ou trapezoidal, de acordo com o volume a ser medido.
Pêndulo direto	Deslocamentos horizontais de pontos dos blocos instrumentados da barragem em determinadas cotas, em relação a fundação da estrutura.
Pêndulo invertido	Inclinação do instrumento em relação aos deslocamentos e portanto a inclinação do tubo no ponto considerado.
Piezômetro de tubo aberto	Pressões neutras em maciços de terra, taludes e fundações. Subpressões nas fundações de estruturas de concreto. A água penetra através do bulbo formando uma coluna d'água equivalente à pressão hidrostática atuante no seu ponto de instalação.
Piezômetro elétrico	Pressões neutras e sub pressões em obras, tais como, taludes, aterros e fundações. Possui ótimo tempo de resposta, sendo muito utilizado no período de construção de barragens.
Termômetro	Temperatura média ambiental. Fornece subsídios para a correção da leitura e análise de instrumentos que sofrem influência deste fator.

RESULTADOS

Destaca-se neste estudo a importância do processo de instrumentação em uma barragem, caracterizando alguns dos tipos de instrumentos que podem ser utilizados, bem como suas vantagens e desvantagens. Foram automatizados todos os instrumentos que possibilitam análise de percolação, vazão e tensões efetivas. Desse modo, o processo de automação da instrumentação geotécnica da barragem de Irapé contemplou o monitoramento em tempo real de 91 instrumentos, sendo 31 células de pressão total de corda vibrante (**Figura 3-A**), 7 medidores de vazão (**Figura 3-B**), 4 piezômetros Casagrande (**Figura 3-C**), e 49 piezômetros de corda vibrante (**Figura 3-D**). Os demais instrumentos instalados possibilitam análise de deslocamentos, o que não demanda análise em tempo real.



(A) Célula de pressão total de corda vibrante



(B) Medidor de vazão



(C) Piezômetro de Casagrande



(D) Piezômetro de corda vibrante

Figura 3 – Instrumentos de monitoramento. Fonte: LIMA (2018).

Após os dados serem coletados e armazenados, são analisados pela equipe de Segurança de Barragens por meio de planilhas e gráficos, utilizando-se de alguns métodos de análise, normalmente baseados em inferências estatísticas e avaliação de dados históricos de forma a avaliar a confiabilidade dos dados e a correlação entre o comportamento apresentado pelos mais diversos instrumentos. Assim, é possível compreender o comportamento da estrutura de forma global.

Toda a instrumentação foi integrada no sistema PIMS (*Process Information Management Systems*), sistema que adquire dados de processos de diversas fontes, os armazenam num banco de dados histórico e os disponibilizam por meio de diversas formas de representação. Podem-se montar tabelas, gráficos de tendência e sinópticos e eliminar as ilhas de informação, concentrando em uma única base de dados as informações sobre todos os aspectos de uma planta. A empresa CEMIG, já utiliza do benefício há mais tempo na área da hidrometeorologia, tendo assim toda estruturação do processo de coleta de dados (LIMA, 2018).

O procedimento para entrada dos dados coletados em campo inicia-se pela geração de um arquivo no formato “.DAT” dos dataloggers de cada estação geotécnica de campo. Assim, todos os arquivos são enviados para o FTP - *File Transfer Protocol* (Protocolo de Transferência de Arquivos) - CEMIG, onde o sistema PIMS têm uma tarefa agendada para coleta. Após a coleta de dados, o endereçamento dos dados por TAG (etiquetas) ocorre por meio do servidor de interfaces, sendo disponibilizado no servidor Asset Framework (estrutura de ativos). Assim, por meio de ferramentas cliente os usuários visualizam os dados do sistema de monitoramento da barragem de Irapé (ANDRADE *et al.*, 2018).

Embora seja extremamente reforçado, o sistema de coleta de dados de campo de forma automática, por si só, não é suficiente para um adequado monitoramento da estrutura. Assim, uma estrutura de ativos com todos os instrumentos da barragem de Irapé foi desenvolvida no sistema PIMS. As informações pertinentes a cada instrumento são denominadas “atributos”.

CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho é compreender o processo de automação da instrumentação geotécnica de auscultação em uma barragem, apresentando suas características e analisando as atividades de monitoramento de segurança. Após essa análise e verificação da importância do plano de auscultação, afere-se que deve-se ter um equilíbrio entre as averiguações *in loco*, documentando as análises, e os procedimentos de acompanhamento e análise.

Verificou-se que a instrumentação é uma tarefa que traz consigo facilidade de uso pelas equipes de campo, podendo agilizar o processo, aumentar a qualidade de informação minimizando erros, e a redução de custos causada pela agilidade no tratamento de informações. Desta forma, a exigência por qualidade e precisão nos métodos de instrumentação e auscultação devem ser continuamente aprimorados, para que se consiga cada vez mais confiabilidade nas medições de campo.

Foram identificados e caracterizados os principais instrumentos de auscultação instalados, apresentando a instrumentação operante com o respectivo percentual automatizado na barragem. Com isso, conclui-se que o processo de automação da instrumentação geotécnica da barragem de Irapé – MG foi um investimento significativo, gerando resultados satisfatórios para a empresa concessionária CEMIG, pois obteve mais confiança na coleta de dados, maior produtividade, possibilidade de detectar instabilidades na estrutura e ter tomada de decisões mais precisas e ágeis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, Johnny Souza Andrade; BALBI, Diego Antônio; MELO, Alexandre Vaz de Melo; BASTOS, Wellerson da Silva. *Design of an automatic and remote monitoring system of dams instrumentation: CEMIG GT's experience at Irapé dam*, 2018.
2. CEMIG Geração e Transmissão S. A. **Usina hidrelétrica Irapé**. Disponível em: http://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig_e_o_futuro/sustentabilidade/nossos_programas/ambientais/irape/Paginas/default.aspx Acesso em 07/abr/2018.
3. FUSARO, T.C. Estabelecimento estatístico de valores de controle para a instrumentação de barragens de terra: estudo de caso das barragens de Emborcação e Piau. **Dissertação de mestrado**. Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Ouro Preto, MG, 2007.
4. LIMA, F.H.C. Automação da instrumentação geotécnica de auscultação da barragem de Irapé-MG. **Trabalho de conclusão de curso – TCC em Engenharia Civil**. Centro Universitário UNA, 2018.
5. LINDQUIST, L. N. & Cruz, P. T. (1996) Instrumentação. In Cruz, P. T (Org.). **100 barragens brasileiras: caso históricos, materiais de construção**, projeto (2ªed., cap. 19, pp. 606-647). São Paulo: Oficina de textos.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à CEMIG Geração e Transmissão S.A. pela disponibilização de informações, e, ao Centro Universitário UNA pelo apoio e incentivo à pesquisa.