

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/566

Revisão Bibliográfica Sobre Instrumentação Geotécnica em Barragens: Vantagens e Desvantagens da Automação

Thainá Rainho do Sacramento França

Engenheira Geotécnica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, thainafraanca22@gmail.com

Clarissa Maria Silva Honório

Engenheira Geotécnica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, clahonorio07@gmail.com

RESUMO: O presente artigo avalia de forma abrangente, através da revisão bibliográfica, as vantagens e desvantagens da automatização dos principais instrumentos geotécnicos utilizados no monitoramento de barragens. A instrumentação geotécnica exerce um papel fundamental na caracterização do desempenho e manutenção da segurança da estrutura. Com o avanço da tecnologia e a atualização de regulamentações de barragens, tem-se observado uma tendência na automação dos instrumentos geotécnicos. A automatização desse processo de monitoramento gera diversos benefícios, tais como a capacidade de coletar dados em tempo real, aprimorando a precisão, eficiência e a confiabilidade na aquisição de informações. Entretanto, o artigo também destaca as desvantagens, como o elevado custo de implementação e a complexidade operacional. Dessa forma, a partir de uma revisão bibliográfica, este estudo aborda: i) a legislação e as normas brasileiras direcionadas para o monitoramento; ii) os principais instrumentos geotécnicos e iii) as vantagens e as desvantagens da automação da instrumentação. A compreensão das tendências e limitações da evolução tecnológica são essenciais para a aplicação eficaz da instrumentação geotécnica em barragens.

PALAVRAS-CHAVE: Instrumentação Geotécnica; Monitoramento; Barragem; Automação

ABSTRACT: This article comprehensively evaluates the advantages and disadvantages of automating the main geotechnical instruments used to monitor dams. Geotechnical instrumentation plays a fundamental role in characterizing the performance and maintaining the safety of the structure. With the advance of technology and the updating of dam regulations, there has been a trend towards the automation of geotechnical instruments. The automation of this monitoring process generates several benefits, such as the ability to collect data in real time, improving the accuracy, efficiency and reliability of information acquisition. However, the article also highlights the disadvantages, such as the high cost of implementation and operational complexity. Based on a literature review, this study looks at: i) the main geotechnical instruments; ii) Brazilian legislation and standards for monitoring; and iii) the advantages and disadvantages of automating instrumentation. Understanding the trends and limitations of technological evolution is essential for the effective application of geotechnical instrumentation in dams.

KEYWORDS: Geotechnical Instrumentation; Monitoring; Dam; Automation

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, houve uma série de grandes acidentes em barragens no Brasil, como o rompimento da barragem de Fundão em Mariana/MG (2015) e da barragem Córrego do Feijão em Brumadinho/MG (2019). Estes eventos destacam a importância do monitoramento adequado das estruturas, o qual seria capaz de prevenir ou minimizar tais tragédias.

Em função desses e de outros acidentes ocorridos ao longo da história, a segurança e a estabilidade das barragens têm ganhado cada vez mais importância na engenharia civil. A instrumentação geotécnica desempenha um papel crucial no monitoramento das estruturas, fornecendo dados essenciais para avaliar seu desempenho e garantir sua integridade ao longo dos anos. Com o avanço da tecnologia e evolução das regulamentações associadas a essas estruturas, observa-se uma crescente adoção da automatização dos instrumentos geotécnicos.

Dentre os instrumentos mais utilizados na auscultação das barragens pode-se destacar os piezômetros, medidores de nível d'água, medidores de vazão e medidores de deslocamentos, tais como marcos superficiais e inclinômetros, os quais podem ser utilizados manualmente ou automatizados.

Granemann (2005) destaca que a coleta de dados da instrumentação geotécnica pode ser realizada manualmente ou por sistemas automatizados, com a escolha a depender das condições específicas do projeto, incluindo tamanho, localização e tipo de instrumento. É fundamental avaliar cuidadosamente todas as informações durante a coleta de dados, a fim de corrigir qualquer erro imediatamente, especialmente em coletas manuais. Compreender essas nuances é crucial para implementar efetivamente a instrumentação geotécnica, garantindo não apenas a segurança, mas também a eficiência operacional das barragens.

Desse modo, o objetivo deste trabalho é avaliar os principais instrumentos geotécnicos utilizados em barragens, as regulamentações e normas pertinentes ao monitoramento dessas estruturas e, principalmente, a implicação da automação nesse contexto. Compreender as tendências e limitações da evolução tecnológica é crucial para aplicar efetivamente a instrumentação geotécnica em barragens, visando sempre garantir a segurança e a estabilidade dessas estruturas.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

A metodologia utilizada no presente artigo consiste em uma revisão bibliográfica, com o objetivo de apresentar, discutir e analisar a literatura existente sobre as vantagens e desvantagens da automatização dos instrumentos geotécnicos em barragens. O processo de revisão bibliográfica seguiu as etapas descritas abaixo:

1. Definição do tema, escopo e objetivo do estudo;
2. Busca e seleção de informações em bases de dados acadêmicos, como repositórios de Universidades do Brasil, referências de artigos relevantes sobre o tema, além de livros e normas;
3. Análise e síntese da pesquisa;
4. Avaliação e apresentação dos resultados em resumo;
5. Considerações finais do estudo.

2.2 Resultados e Discussões

2.2.1 Legislação e Normas Brasileiras Direcionadas para o Monitoramento

Existem diversas legislações e normas que regem o monitoramento da instrumentação geotécnica em barragens. Essas regulamentações visam garantir a segurança das barragens e prevenir acidentes. No Brasil, a primeira norma regulamentadora voltada especificamente para barragens de rejeitos foi a Portaria nº 237, de 18 de outubro de 2001, (DNPM, 2001). A partir de então, foram criadas diversas normas para melhorar a gestão da segurança de barragens em nível nacional (SOUZA, 2019).

Em 2003, começou a ser debatido no Congresso Nacional o Projeto de Lei 1.181, o qual tinha o objetivo de criar a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) no Brasil. Entretanto, essa política foi aprovada em 2010, ocorrendo a promulgação da Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, a qual é destinada à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais,

A Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010 (BRASIL, 2010), determina a classificação das estruturas em operação quanto ao risco, ao dano potencial e determina a confecção de um Plano de Ação Emergencial, dependendo do resultado da classificação da barragem. Ela também é responsável pela criação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança (SNISB). A finalidade dessa legislação é reconhecer os perigos potenciais oferecidos pelas barragens, estabelecer procedimentos para a classificação, fiscalização e monitoramento, buscando evitar desastres e garantir a segurança das comunidades e do meio ambiente.

Posteriormente, a Lei Federal nº 12.334 foi atualizada pela Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020 (BRASIL, 2020), que estabelece a obrigatoriedade da confecção de um Plano de Segurança de Barragens, ou seja, determina a obrigatoriedade da elaboração de relatório de segurança regular e especial e do Plano de Ação de Emergência (PAE) para barragens de médio e alto Dano Potencial Associado (DPA), determina a atualização do PSB e a sua disponibilização para os órgãos fiscalizadores. De acordo com Pereira (2021), a

PNSB com a readequação dessa legislação possibilitou uma maior abrangência quanto às responsabilidades do empreendedor, além do estabelecimento dos critérios de controle e monitoramento.

Em maio de 2017, o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) emitiu a Portaria 70.389, que estabelece que empresas detentoras das barragens de mineração devem implantar um sistema de monitoramento de segurança dentro de 24 meses após a publicação do documento. A complexidade desse sistema varia de acordo com a classificação do DPA, sendo integral para casos de DPA alto, ou seja, quando há risco significativo para populações a jusante da barragem. A escolha da tecnologia e dos processos de monitoramento é de responsabilidade da empresa, enquanto o empreendedor é encarregado de realizar e registrar o monitoramento, reportando os dados às autoridades competentes.

A Resolução nº 32/2020, aprovada pela Agência Nacional de Mineração (ANM), promoveu ajustes na portaria DNPM nº 70.389/2017. Essas mudanças incluem a exigência de acionamento automatizado de sirenes e alertas, além de critérios mais detalhados para classificação de risco e elaboração de estudos de ruptura hipotética (GOV, 2020). Dentre essas mudanças, é importante destacar o artigo 7º da seção 2, o qual prevê que para estruturas de mineração com DPA alto, o empreendedor é obrigado a manter um sistema de monitoramento automatizado de instrumentação, adequado à complexidade da estrutura, com acompanhamento em tempo real e período integral, seguindo critérios definidos pelo projetista.

A norma ABNT NBR 13.028, publicada em 2017, estipula requisitos para a elaboração e apresentação de projetos, exigindo a consideração do manual de operação da estrutura, incluindo procedimentos de inspeção de campo e monitoramento geotécnico. Para o monitoramento, a norma requer a especificação dos elementos a serem monitorados, a frequência das inspeções de campo, as leituras dos instrumentos e os critérios de análise dos dados obtidos (SILVA, 2016). Além disso, ela determina que devem ser instalados instrumentos para, no mínimo, controle das vazões da drenagem interna, dos níveis de água e poropressão no interior do maciço das barragens, das suas fundações e deformações.

Por fim, em 7 de fevereiro de 2022, a ANM emitiu a norma número 95, a qual define os níveis de controle para a instrumentação empregada em instalações e equipamentos de mineração. Conforme especificado na norma, a instrumentação nessas instalações deve ser classificada em três níveis de controle: básico, intermediário e avançado. Cada nível implica uma série de requisitos e procedimentos a serem seguidos para assegurar a operação com segurança. O principal objetivo dessa norma é assegurar a segurança dos trabalhadores e a preservação do meio ambiente durante as atividades de mineração.

2.2.2 Principais Instrumentos Geotécnicos

A norma brasileira NBR 13028 (2017), estabelece que projetos de estruturas de disposição de rejeito devem prever a instalação de instrumentos para, no mínimo, controle dos níveis de água e poropressão no interior do maciço da barragem, das suas fundações e deformações, bem como das vazões da drenagem interna.

O emprego da instrumentação, incluindo medidores de deslocamento, piezômetros, inclinômetros e marcos topográficos, viabiliza a interpretação de dados em tempo real, o que facilita a tomada de decisões proativas para prevenir acidentes que possam resultar em perdas humanas, interrupções operacionais e impactos ambientais, sociais e financeiros (MOURA *et al.*, 2018).

A Tabela 1 apresenta os principais tipos de instrumentos utilizados no monitoramento de barragens de terra para as medidas de controle especificadas na NBR 13028 (2017).

Tabela 1. Instrumentos e medidas de controle.

Instrumento	Medida de Controle
Medidor de Vazão	Vazões da drenagem interna
Medidor de Nível d'Água	Nível freático
Piezômetro	Poropressão no interior do maciço e na fundação
Marco Superficial	Deslocamentos verticais e horizontais em superfície
Inclinômetro	Deslocamentos horizontais em superfície e subsuperfície

Fonte: Autores.

Medidor de Vazão

Segundo a Agência Nacional de Águas - ANA (2019), os medidores de vazão são projetados para mensurar as vazões de drenagem na fundação e as infiltrações no aterro.

Os dispositivos de medição de vazão são geralmente instalados perpendicularmente ao fluxo de água em canais livres de sólidos e sedimentos e recomenda-se sua instalação em locais com surgência de água

(SILVEIRA, 2013). O sistema de vertedouro dos medidores de vazão pode adotar diferentes geometrias, como seção triangular, trapezoidal ou calhas Parshall (SILVA, 2016).

Para calcular a vazão, a altura da lâmina d'água (carga hidráulica) é medida a montante do vertedor. Isso é feito utilizando uma fórmula experimental que leva em consideração o ângulo da lâmina do tipo de medidor (ANA, 2019).

Medidor de Nível d'Água

De acordo com Santos (2019), os medidores de nível d'água são os dispositivos mais básicos empregados em barragens. Sua principal finalidade é indicar a profundidade do lençol freático em aterros de terra. A partir de um furo de sondagem ou poço, é viável determinar a elevação do nível d'água.

O medidor de nível d'água é empregado para avaliar a profundidade ou altura do nível de água em relação a um ponto de referência, como a boca do furo. Esse dispositivo é composto por uma fita graduada conectada a um apito ou a uma sonda elétrica que emite sinais sonoros ao entrar em contato com a água (CERQUEIRA, 2017).

Fonseca (2003) destaca que a identificação do nível freático no maciço compactado de uma barragem é fundamental para a análise de sua estabilidade ou para a interpretação dos dados obtidos em instrumentos piezométricos.

Piezômetro

Os piezômetros são empregados para aferir a pressão da água (poropressão) em pontos específicos de barragens, fundações e encostas. A finalidade de uma medição piezométrica é registrar a pressão da água em um local determinado dentro de um maciço de terra, rocha ou concreto (DHAWAN *et al.*, 2017).

Conforme apresentado por Silveira (2013), todos os piezômetros demandam algum fluxo de água para dentro ou para fora do instrumento, até que seja alcançado o equilíbrio com a poropressão no solo. Por conseguinte, o tempo de resposta do piezômetro para detectar uma variação na poropressão está vinculado à quantidade de água necessária para sensibilizar o dispositivo, que pode ser hidráulico, pneumático ou elétrico.

A resistência e a deformação dos solos são influenciadas pela tensão efetiva. Portanto, a avaliação da poropressão é crucial para identificar a localização da superfície freática e da rede de percolação em todo o maciço e na fundação (SILVEIRA, 2013).

Marco Superficial

Segundo Silveira (2013), uma das abordagens mais antigas e diretas para monitorar os deslocamentos em barragens de terra e/ou enrocamento envolve a instalação de marcos superficiais ao longo das bermas e da crista, fundamentais para monitorar os recalques na barragem e identificar eventuais sinais de instabilidade no talude a jusante.

Os movimentos são registrados através de levantamentos topográficos periódicos, em relação aos marcos fixos instalados em locais não afetados pela barragem (FONSECA, 2003).

Inclinômetros

Os inclinômetros são empregados para quantificar deslocamentos horizontais em profundidade e superfície (MACHADO, 2007).

Conforme Dhawan *et al.* (2017), esses instrumentos são compostos por uma placa de base, sensor e dispositivo de leitura. A placa de base é fixada à superfície horizontal ou vertical, permitindo a medição da rotação vertical da superfície.

De acordo com Fonseca (2003), os tubos dos inclinômetros podem ser feitos de plástico, alumínio ou PVC rígido. A leitura da deflexão é realizada inserindo um torpedo no tubo guia até o fundo do furo. Após sua

estabilização à temperatura ambiente, o torpedo é puxado por um cabo de ligação que passa por uma polia no topo do furo e por uma catraca. Em cada ponto a ser medido, os deslocamentos horizontais são estimados integrando os deslocamentos relativos a um ponto fixo em profundidade.

Machado (2007) acrescenta que os inclinômetros podem medir deformações horizontais de massas de solo para detectar regiões de concentração de deformações, ou seja, potenciais superfícies de ruptura.

2.2.3 Tendências da Automação do Monitoramento Geotécnico

No setor de mineração, a automação da instrumentação está se tornando mais comum, especialmente devido à necessidade de monitoramento contínuo das estruturas de alteamento, além das exigências regulatórias mais rígidas após os recentes desastres de ruptura de barragens (SALOMÃO et. al, 2023).

Conforme o boletim de diretrizes e estudos de casos sobre Automação de Sistemas de Monitoramento de Barragens, divulgado pelo ICOLD (*International Commission on Large Dams*) (2000), a garantia da segurança das barragens exige a execução dos seguintes procedimentos:

1. Inspeções visuais periódicas das superfícies expostas e acessíveis da barragem, fundação, galerias, obras auxiliares e reservatório;
2. Monitoramento sistemático da barragem e sua fundação usando medição dispositivos instalados na barragem para avaliar a segurança da estrutura.

Além disso, descreve as principais operações envolvidas no monitoramento de uma barragem, sendo a execução de medições por meio de dispositivos de auscultação, a coleta e verificação de dados, o processamento e análise de dados e a interpretação e apresentação de resultados (ICOLD, 2000).

Segundo Moura *et al.* (2018), com o aumento da produção das mineradoras e consequente aumento na quantidade de estruturas a serem monitoradas, surge a necessidade de mudanças nos recursos de coleta e análise dos dados que facilitem as análises. Para que seja possível realizar a coleta de dados automatizada e de forma segura é necessário automatizar os instrumentos e integrá-los a um banco de dados ou a um software para que seja possível realizar a análise das informações coletadas (ZUCHERATTO JÚNIOR, 2021).

Silveira (2013) aborda que se tem avançado sobre automação dos medidores de vazão, para detecção rápida de qualquer aumento súbito das vazões de drenagem a jusante das barragens, visto que a partir de um eventual aumento de vazão há a possibilidade de ocorrência do fenômeno de erosão interna (*piping*).

Segundo Machado (2007), os piezômetros elétricos correlacionam sinais elétricos a grandezas físicas e pode-se automatizar suas leituras, possibilitando o monitoramento das poropressões remotamente. Silveira (2013), aborda que estes instrumentos são frequentemente utilizados para automação dos piezômetros Standpipe, havendo necessidade de instalação de um transdutor para cada local a ser utilizado e ter uma rotina de calibração do equipamento.

Conforme apresentado por Silveira (2013), os piezômetros de corda vibrante são muito usados na auscultação de barragens de terra, pois têm boa precisão, sensibilidade e podem ser lidos à distância, permitindo que sejam integrados a um sistema de automação. Niz (2010) acrescenta que podem ser instalados diretamente em furos de sondagem ou também utilizados para automação dos piezômetros Standpipe (Casagrande).

Os medidores de deslocamento citados no item 2.2.1 possuem versões automatizadas (QUISPE *et al.*, 2018). Em relação aos marcos superficiais, com o avanço tecnológico, Saraiva *et al.* (2017) exploram em seu estudo o uso de Estações Totais Robóticas para avaliar deslocamentos. Essas estações possuem capacidade de localizar automaticamente prismas, os quais são rastreados pelo próprio equipamento, permitindo a gravação dos dados na memória do equipamento e enviá-los a um sistema online para que as medições feitas sejam gravadas e avaliadas em um terminal remoto. Ao contrário das Estações Totais Tradicionais, que requerem medições a partir da mira em cada prisma dos marcos superficiais instalados ao longo das estruturas e são necessárias anotações por parte do responsável.

Zucheratto Júnior (2021), acredita que é essencial automatizar os instrumentos de monitoramento de barragens e integrá-los a um único software ou banco de dados. Isso permite uma análise mais detalhada das informações, reduzindo o tempo de resposta a novos dados e aumentando a confiabilidade dos resultados.

2.2.4 Vantagens e Desvantagens da Automação

O boletim de diretrizes e estudos de casos sobre a Automação de Sistemas de Monitoramento de Barragens, divulgado pelo International Commission on Large Dams (ICOLD) em 2000, destaca várias vantagens do uso de sistemas de monitoramento remoto. Estas vantagens incluem a superação das limitações

de acesso devido a condições climáticas adversas e problemas de disponibilidade de equipes de intervenção em emergências. Além disso, o sistema permite a flexibilidade na escolha de intervalos de leitura diferentes para diferentes sensores, a ativação de alarmes e o envio de mensagens de advertência de forma remota. Ademais, a automação possibilita a detecção de pequenas variações nos parâmetros monitorados pela instrumentação, aumentando assim a sensibilidade e a precisão das medições. Isso também elimina possíveis erros humanos associados à leitura manual no campo e reduz os custos relacionados à necessidade de pessoal para realizar as leituras dos dispositivos e analisar os dados.

Entretanto, segundo o mesmo boletim ICOLD (2000), a automatização dos instrumentos das barragens pode ter algumas desvantagens, tais como o excesso de dados coletados, os quais podem não ser analisados corretamente, fazendo com que anomalias não sejam detectadas e medidas mitigadoras não sejam realizadas, outrossim, podem fazer com que os dados gerados sejam errôneos. Além disso, a automação possui elevado custo de implementação e necessidade de calibração e manutenção em campo. Em função desses fatores, o boletim salienta a necessidade da possibilidade de se operar manualmente em um sistema de monitoramento de instrumentação geotécnica.

Salomão *et al.* (2023) apresentam no estudo que os instrumentos automatizados melhoram a qualidade do monitoramento ao eliminar erros humanos durante a coleta de dados. Ademais, leituras mais frequentes proporcionam análises mais precisas dos parâmetros medidos, contanto que haja um sistema informatizado robusto para gerir os dados. Acrescentam também que as informações estão sempre atualizadas e disponíveis para análise do comportamento da estrutura, permitindo decisões mais ágeis, mesmo durante eventos críticos ou excepcionais. Ramos *et al.* (2023) aborda que a automação do monitoramento contribui para a segurança, eliminando a exposição das equipes de campo a riscos comuns em estruturas de barragens, especialmente em locais que exigem trabalhos em altura ou acesso a espaços confinados para a coleta de dados.

Os sistemas exigem manutenção e verificações contínuas das estações em campo, com equipes mais especializadas. Além disso, é necessário realizar calibrações e verificações periódicas dos equipamentos, como dataloggers, sensores e acessórios, para garantir medições confiáveis. Também é importante realizar atualizações tecnológicas nos sistemas informatizados para gerenciar o grande volume de leituras automatizadas (SALOMÃO *et al.*, 2023). Ramos *et al.* (2023) discorre que a implementação de um sistema automatizado para coletar leituras em instrumentos de monitoramento de barragens demanda um investimento inicial significativo devido, em grande parte, à importação dos equipamentos, além dos custos contínuos de manutenção preventiva e corretiva para garantir sua operacionalidade.

Os sistemas automatizados de monitoramento estão se tornando amplamente utilizados e eficazes. No entanto, é importante compreender as limitações que essa mudança pode trazer. Por conseguinte, a Tabela 2 apresenta de forma resumida algumas vantagens e desvantagens da automação do monitoramento geotécnico.

Tabela 2. Resumo das vantagens e desvantagens da Automação do Monitoramento Geotécnico

Vantagens	Desvantagens
Previne restrições de acesso devido a condições meteorológicas adversas e problemas de disponibilidade de equipes de intervenção em situações imprevistas.	Uma grande quantidade de dados coletados pode resultar em falhas nas análises, levando à não detecção de anomalias e, por consequência, à não implementação de medidas mitigadoras.
Oferece flexibilidade na definição de intervalos de leitura variados para diferentes sensores, permite a ativação de alarmes e facilita o envio de mensagens de alerta de forma remota.	Alto custo de implementação em relação a instrumentação manual.
Aumenta a sensibilidade e a precisão das medições, facilitando a detecção de pequenas variações nos parâmetros monitorados.	Necessidade de calibração e manutenção constantes.
Elimina possíveis erros humanos associados à leitura manual no campo.	Custos contínuos de manutenção preventiva e corretiva para garantir sua operacionalidade.

As informações estão sempre atualizadas e disponíveis para análise do comportamento da estrutura, permitindo decisões mais ágeis.	Atualizações tecnológicas contínuas nos sistemas informatizados para gerenciar o grande volume de leituras automatizadas.
Diminui a exposição das equipes de campo a riscos comuns em estruturas de barragens, especialmente em locais que exigem trabalhos em altura ou acesso a espaços confinados para a coleta de dados.	Necessidade de equipe técnica especializada.

Fonte: Autores.

Conforme Quispe *et al.* (2018), muitos especialistas sugerem que, devido ao custo elevado e à relativa falta de familiaridade com a instrumentação automatizada, ela seja aplicada em até 25% do total de instrumentação em um projeto. Essa estratégia oferece uma nova abordagem de monitoramento, permitindo a comparação entre os resultados obtidos pela instrumentação manual e pela automatizada.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, a implementação da instrumentação automatizada em barragens no Brasil proporciona diversos benefícios em termos de segurança, agilidade e confiabilidade na coleta dos dados. Entretanto, a adoção da automação enfrenta desafios significativos, especialmente em função dos elevados custos iniciais e a necessidade de uma infraestrutura de rede robusta.

Apesar dos obstáculos, a transição para automatização dos instrumentos gera melhorias substanciais em relação aos métodos manuais de monitoramento e consolida-se como um passo crucial rumo à eficiência e segurança das barragens no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 13028: Mineração - Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água - Requisitos. Rio de Janeiro. 2017.
- Agência Nacional de Mineração (ANM). Resolução nº 32, de 11 de maio de 2020. Dispõe sobre os procedimentos para a elaboração de planos de fechamento de mina 83 e dá outras providências. Disponível em: <<https://anmlegis.datalegis.net/action/ActionDatalegis.php?acao>>. Acesso em: 09 abr. 2024
- BRASIL. Congresso. Senado. Lei Nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), Brasília, DF, 30 de Setembro de 2020. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.066-de-30-de-setembro-de-2020-280529982>>.
- BRASIL. Congresso. Senado. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), 20 Setembro 2010. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2010/lei-12334-20-setembro-2010-608607-publicacaooriginal-129691-pl.html>.
- CERQUEIRA, Hélio Márcio Lopes de. Critérios de projeto para instrumentação piezométrica de diversas estruturas geotécnicas de mineração. 2017. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, [S. l.], 2017.
- FONSECA, Alessandra da Rocha. Auscultação por instrumentação de barragens de terra e enrocamento para geração de energia elétrica - estudo de caso das barragens da UHE São Simão. 2003. 158 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003.
- FROEHLICH, D.; DHAWAN, D. Guidelines for Instrumentation of Large Dams. 1. ed. Índia: Dam Rehabilitation and Improvement Project, 2017.
- Granemann, D. C. (2005) Estabelecimento de uma Rede Geodésica para o Monitoramento de Estruturas: Estudo de Caso na Usina Hidrelétrica de Salto Caxias. Dissertação Apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, Curitiba, 112p.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (ICOLD). Guidelines for Instrumentation of Large Dams. Beijing: ICOLD, 2000. Disponível em: <<https://www.icold-cigb.org/GB/publications/publications.asp>>.

- MACHADO, G. de F. Monitoramento de Barragens de Contenção de Rejeitos da Mineração. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo – MG, 2007.
- MOURA, Juliana Ester Martins; LEÃO, Márcio F. Automatização de instrumentos de monitoramento em barragens de rejeito no Pará–método construtivo, aplicabilidade e custo para mineradoras. In: XX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 2018, Belo Horizonte. Anais do XX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2018. p. 1-10. Disponível em: <https://www.abas.org/cbhsf2018trabalhos/194.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2024.
- Niz, M. A. K. Análise da viabilidade da medição de níveis piezométricos por meio da técnica de borbulhamento. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- PEREIRA, Flávio Godinho; FIRME, Paulo Henrique Camargos; COTTA, João Paulo Vieira. Plano de Ação de Emergência de barragens de mineração: evolução, conceito e discussões. *Territorium*, n. 28 (I), p. 53-66, 2021.
- Quispe, C. C., Fontes, M. M. M., Cardoso, J. C. M., (2018) Instrumentação em barragens: a automatização é realmente uma necessidade? XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG): 28 de agosto a 1 de setembro. Salvador, Bahia, Brasil.
- RAMOS, Juliano *et al.* XXXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens, Tema 127. Foz do Iguaçu – PR, 28 e 29 de agosto de 2023. AUTOMATIZAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE MONITORAMENTO NA UHE ILHA SOLTEIRA. Engenheiro Civil - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA UNESP; Engenheiro Civil - UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA UFV; Engenheiro Civil - UNIVERSIDADE PAULISTA UNIP; Engenheira Civil – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ UFPR; Engenheiro Civil - UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA UFV.
- SALOMÃO, Alciene; MELO, Alexandre Vaz de. XXXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens, 127, 2023, Foz do Iguaçu – PR. AUTOMATIZAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO CIVIL DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO: LIÇÕES APRENDIDAS. Engenheira de Segurança de Barragens- Cepemar, Engenheiro de Segurança de Barragens - Cemig G. Classificação: Público.
- SANTOS, Laryssa Cortes. Estudo sobre a instrumentação de barragens de terra e rejeitos. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade de Uberlândia, Uberlândia, 2019
- SILVA, Lays Capingote Serafim *et al.* Gestão de resíduos industriais: um estudo do aproveitamento de rejeitos na mineração. *Caderno Técnico de Economia e Gestão Ambiental*, v. 4, n. 1, pág. 91-104, 2016.
- SILVEIRA, João Francisco Alves. Instrumentação e segurança de barragens de terra e enrocamento. 2. Ed. [S. l.]: Oficina de textos, 2013.
- SNISB - Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. Guia de Diretrizes para Elaboração de Projeto de Barragens e Revisão Periódica: Módulo 4 - Plano de Monitoramento e Instrumentação. Disponível em: https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/capacitacao/Arquivos_Cursos/curso-guia-de-diretrizes-para-elaboracao-de-projeto-de-barragens-e-revisao-periodica-modulo-4-plano-de-monitoramento-e-instrumentacao.pdf/view. Acesso em: 25 mar. 2024.
- SOUZA JÚNIOR, T. F. D., MOREIRA E. B., & HEINECK, K. S. (2018). Barragens de contenção de rejeitos de mineração no Brasil. *Holos* [recurso eletrônico]. Natal, RN. Vol. 5 (2018), p. 1-39.
- ZUCHERATTO JÚNIOR, Luiz Nelson. Revisão bibliográfica sobre segurança em barragens de terra por meio de instrumentação geotécnica. 2021