

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



Revisão Metodológica para a Análise de Monitoramento e Instrumentação de Barragem de Rejeitos de Mineração

De Freitas, Isabela Vasconcelos Leite

Engenheira Geotécnica Sênior, Vale, Nova Lima, Brasil, isabela.freitas@vale.com

De Freitas, Guilherme Alex Sanders Cardoso. Vasconcelos

Diretor Técnico, Geocontrole, Nova Lima, Brasil, guilhermefreitas@geocontrole.com

RESUMO: A atividade humana está intimamente ligada a utilização de recursos naturais e nesse contexto são construídas as barragens: estruturas com o objetivo de armazenar água, rejeitos ou mesmo para a geração de energia, neste caso, através do aproveitamento de variações no gradiente topográfico. Dadas as recentes tragédias envolvendo grandes estruturas, o monitoramento delas se tornou algo relevante, inclusive mais não somente, quando a estrutura é ou foi construída pelo método à montante. Este estudo tem como objetivo desenvolver uma metodologia para o entendimento do comportamento das barragens ao longo do tempo, através da previsão do comportamento em fase de projeto e comparativamente com os dados obtidos com o monitoramento de instrumentos de auscultação, desde os ditos convencionais até as mais recentes tecnologias disponíveis no mercado. Para tal análise será proposto a verificação dos dados de projeto e investigações realizadas, dos documentos de construção, tais como “AS BUILT”, “AS IS”, entre outros, estudos de tensão x deformação e análises de percolação. Após o levantamento conceitual do comportamento será realizada a calibração dos modelos com os dados advindos do monitoramento geotécnico, relativamente para a definição de níveis e potenciais piezométricos, variações do nível de água, gradientes de deslocamentos, oscilações de vazões, entre outras vias de monitoramento propostas.

PALAVRAS-CHAVE: Auscultação geotécnica, calibração de modelos de comportamento, deslocamento e vibração, potencial piezométrico, segurança de barragens.

ABSTRACT: Human activity is closely linked to the use of natural resources and inand in this context dams are built as structures with the objective of storing water, mining waste: tailings dams with the objective of storing water, rejecting or even generating energy, in this case, by taking advantage of changes in the topographic gradient. Given recent tragedies involving large structures, monitoring has become relevant. The main objective of this study is to develop a methodology which can be used to understand the behavior of dams over time, by predicting behavior at the design stage and comparatively with the data obtained from monitoring auscultation instruments. For such analysis will be adopted the verification of the data of the project and of the investigations carried out, of the construction documents, such as "as constructed", "as is", among others, studies of stress x displacement and percolation analysis. After the conceptual survey of the behavior, the models will be calibrated with the advanced data for monitoring auscultation instruments, regarding changes in levels and piezometric data, water pressure levels, displacement gradients, leakage oscillations, among other routes. of monitoring.

KEYWORDS: geotechnical survey, calibration of behavior models, displacement and vibration, piezometric potential, dam safety.

1 Introdução

A instrumentação geotécnica de obras de engenharia constitui uma das ferramentas empregadas para a observação, detecção e caracterização de eventuais comportamentos que constituem risco potencial às condições da segurança global do empreendimento.

Ela permite pôr em prática um processo de aquisição, registro e processamento sistemático dos dados obtidos, a partir dos instrumentos de monitoramento instalados em diferentes seções e zonas dos maciços investigados. Nessas análises são incluídos valores limites no programa de instrumentação de forma a facilitar

a detecção imediata de possíveis anomalias. Assim, em condições adequadas, um programa de instrumentação tende a garantir acurácia, bem como fornecer parâmetros relacionados à confiabilidade das leituras, e à compatibilidade em relação às metodologias construtivas e às premissas de projeto. (FONSECA, 2003)

As primeiras aplicações de instrumentação em obras geotécnicas de grande porte ocorreram entre 1930 e 1940. Durante os primeiros 50 anos de atividades de instrumentação, constatou-se um desenvolvimento acelerado. Nos primeiros anos, predominaram instrumentos simples, mecânicos e hidráulicos. Com o avanço tecnológico das décadas seguintes, surgiram instrumentos mais sofisticados, como transdutores pneumáticos e elétricos. Ao final do século XX, registrou-se o aparecimento de sistemas automatizados de aquisição de dados (ADAS - Automated Data Acquisition System), alguns dos quais utilizam satélites espaciais para transmissões dos dados (Affonso, 2004).

Segundo Dunnicliff (1988), a instrumentação geotécnica envolve a união das capacidades dos instrumentos de medida e das capacidades das pessoas. A prática da instrumentação não se restringe apenas à seleção de instrumentos, sendo na verdade um processo que começa com a definição do objetivo e termina com a análise rigorosa dos dados coletados. Cada passo neste processo é relevante para o sucesso do programa de instrumentação. (Affonso, 2004).

Recentemente, o Centro de Monitoramento Geotécnico da Vale S.A. (Pimental et. al, 2021) desde 2019, ou seja, nos últimos dois anos vêm implementando um programa de otimização do monitoramento de barragens de rejeitos responsável pela criação de três centros de monitoramento geotécnico que possuem recursos e equipamentos dedicados para a prática de cotidiana do acompanhamento de barragens de rejeitos.

Além de permitir as devidas intervenções no tempo correto, é possível acumular conhecimento do comportamento dos maciços, refinar os dados de análise, conhecer e melhorar os ciclos de manutenção preventivas e corretivas, além de fazer intervenções pontuais que garantem a segurança.

Posto os conceitos introdutórios, o presente estudo tem como objetivo desenvolver uma metodologia para o entendimento do comportamento das barragens ao longo do tempo, através da previsão do comportamento em fase de projeto e comparativamente com os dados de instrumentos de auscultação. Para tal análise será proposto a verificação dos dados de projeto e investigações realizadas, dos documentos de construção (“AS BUILT”, “AS IS”, entre outros), estudos tensão x deformação, análises de percolação. Após o levantamento conceitual do comportamento deverá ser realizada a calibração dos modelos com os dados de instrumentos de monitoramento, sejam eles para definição de piezometria, nível de água, deslocamentos, vazão, entre outros.

Este trabalho está organizado em capítulos, com a seguinte disposição: no primeiro capítulo é apresentado breve conceituação de barragens. Já no segundo capítulo é realizada a descrição dos tipos de instrumentos geotécnicos existentes e suas funções. O terceiro capítulo objetiva inserir os estudos a serem realizados durante as fases de projeto, fase essa na qual onde são descritos os principais comportamentos esperados pela estrutura em suas fases. Já no quarto capítulo serão verificadas através dos documentos de construção (“AS BUILT” e “AS IS”) a aderência da construção ao projeto. No quinto capítulo será proposta a calibração dos modelos da estrutura com base nas medições realizadas pelos instrumentos. No sexto capítulo são encontradas as premissas de monitoramento das estruturas. Finalmente serão apresentadas as considerações finais e as sugestões de pesquisas futuras.

2 Histórico de Barragens e Conceituação de Instrumentação

Barragem é uma barreira artificial, feita em cursos de água para a retenção de grandes quantidades de água ou armazenamento de outros materiais, tal como os rejeitos, por exemplo. É uma estrutura amplamente utilizada em diversos setores econômicos tais como, na geração de energia, armazenamento de água, rejeitos ou clarificação de água para controle ambiental, dentre outros fins menos relevantes.

De acordo com o Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), os principais benefícios das estruturas estão atrelados a: abastecimento de água, irrigação, controle de cheias, regularização de vazões, geração de energia elétrica, contenção de rejeitos, navegação interior, piscicultura, paisagismo e urbanismo e dessedentação.

O conceito de barragem de Mineração, a luz da portaria 70.389 (ANM, 2019) corresponde a barragens, barramentos, diques, cavas com barramentos construídos, associados às atividades desenvolvidas com base em direito mineral, construídos em cota superior à da topografia original do terreno, utilizados em caráter temporário ou definitivo para fins de contenção, acumulação, decantação ou descarga de rejeitos de mineração

ou de sedimentos provenientes de atividades de mineração com ou sem captação de água associada, compreendendo a estrutura do barramento e suas estruturas associadas, excluindo-se deste conceito as barragens de contenção de resíduos industriais.

O monitoramento das barragens é fundamental para permitir as devidas intervenções no tempo correto, além de ser possível acumular conhecimento do comportamento dos maciços, refinar os dados de análise, conhecer e melhorar os ciclos de manutenção preventivas e corretivas, além de fazer intervenções pontuais que garantem a segurança. Assim sendo, o monitoramento e instrumentação deve ser realizado na fase construtiva, enchimento do reservatório, operação, fechamento e descomissionamento da barragem.

A barragem de Teton, estrutura construída de aterro compactado com 92,00m de altura se rompeu em 05/07/1976 levando 11 pessoas a óbito. De acordo com SILVEIRA (2015), conclui-se que se a barragem de Teton dispusesse de um bom plano de instrumentação, teria sido possível estabelecer um alerta com boa antecipação sobre o processo de erosão interna, talvez permitindo evitar essa ruptura ou os acidentes fatais e grandes danos materiais a jusante.

Conforme Silveira (2015), todo instrumento em um empreendimento deve ser selecionado e instalado para responder a questões específicas: se não há perguntas, não deve haver instrumentação. Antes de indicar os métodos de medição propriamente ditos, deve ser feita uma lista das questões geotécnicas que provavelmente surgirão durante as fases de projeto, construção ou operação. Toda barragem de grande porte, e mesmo algumas de pequeno, possuem pontos mais suscetíveis a problemas na fundação, em decorrência de anomalias geológicas ou, então, pontos de fraqueza estrutural na interface das estruturas de solo/concreto ou solo/enrocamento, os quais requerem, normalmente, uma instrumentação específica para a observação de seu desempenho a longo prazo.

Ainda segundo Silveira (2015), os parâmetros a serem medidos incluem a pressão da água nos poros, a pressão da água na rocha de fundação, as pressões totais, os recalques, os deslocamentos horizontais, as cargas e a tensão nos elementos estruturais, a temperatura, as vazões de drenagem, os materiais sólidos careados etc. A questão a ser respondida é: quais parâmetros são mais importantes?

São boas premissas e é um bom critério associar os tipos de monitoramento a serem empregados a complexidade das estruturas e aos possíveis modos de falha (galgamento, instabilização, liquefação, erosão interna, contaminação), causas estas que estão ligadas às características geotécnicas, fragilidades construtivas além de levar em conta o impacto ambiental, social, de vítimas fatais e econômico de uma possível ruptura, como ilustrado na Figura 1 (IBRAM, 2019).



Figura 1 Monitoramento de estruturas de disposição de rejeitos (Guia de Boas Práticas do IBRAM, 2019).

3 Histórico de Barragens e Conceituação de Instrumentação

A seguir são definidos os instrumentos geotécnicos que podem ser utilizados na observação do comportamento de barragens de rejeitos.

3.1 Instrumentos para medição de vazão

Medidores de vazão são instrumentos destinados para medidas das vazões efluentes dos sistemas de drenagem interna e/ou das ombreiras da barragem, bem como vazões dos sistemas extravasores. Eles podem ser do tipo calha parshall, medidor de geometria triangular ou retangular.

3.2 Instrumentos para medição de deslocamento

Os deslocamentos das estruturas podem ser mensurados em superfície ou subsuperfície. Para medir deslocamentos internos são utilizados inclinômetros, que consistem de haste cilíndrica com um sensor de inclinação embutido no seu interior e duas ou quatro rodas distribuídas nas laterais. As rodas se encaixam nas ranhuras existentes em um tubo flexível enterrado no solo, fazendo com que o sensor acompanhe a direção do tubo (Geothra, 2019). É então medida a inclinação do tubo em intervalos constantes, e calculado, a partir do ângulo de inclinação, o deslocamento de cada segmento de tubo e tais leituras são comparadas com a leitura de base (inicial) de instalação.

O tipo de equipamento eficiente para medição de deslocamento superficial está relacionado a velocidade dos deslocamentos, área de abrangência, entre outros.

Já os radares interferométricos terrestres, usam o mesmo princípio de interferometria para identificação de deslocamentos, mensurando também as velocidades e deslocamentos. O intervalo de aquisição entre os dados é pequeno (aproximadamente 02 a 03 segundos), por isso acumulam dados bastante ruidosos, tais como vegetação, interferências atmosféricas. Para tanto é necessário realizar o sub-processamento dos dados, a fim de obter dados menos ruidosos.

Para a medição pontual, podem ser utilizados estações totais robotizadas ou não, que realizam as leituras de distâncias e variações angulares entre o ponto de instalação, os alvos dispostos na estrutura e marcos de referências instalados fora da estrutura.

Ainda em tempo e de forma mais convencional existem excelentes aplicações na medição de deslocamentos para instrumentos como extensômetros, tassômetros e diferentes tipos de medidores de recalque.

3.3 Instrumentos para medição de pressão

Os piezômetros são instrumentos que medem a carga piezométrica ou a poropressão em diferentes profundidades, utilizado para a medida in situ de pressões neutras e subpressões. Entre as tecnologias existentes para construção do instrumento destaca-se piezômetro de tubo aberto, ou Casagrande, o tipo pneumático, ou ainda os sensores elétricos de corda vibrante, resistivos e de fibra óptica.

3.4 Instrumentos para medição de nível de água

Os indicadores de nível de água (INA) tem como função identificar a cota na qual o solo se encontra saturado, definindo assim o nível freático naquele ponto. Destaca-se que envolto a toda a profundidade do tubo é instalado material drenante.

No reservatório da estrutura também deverá ser instalado régua limnimétrica com o objetivo de realizar a medição do nível de água superficial a montante da estrutura.

3.6 Instrumentos para medição de precipitações

Os pluviômetros são instrumentos cuja instalação tem a finalidade de mensurar a precipitação ocorrida na bacia. O instrumento pode ser dotado também de evaporímetro e barômetro, com o objetivo de medir a evaporação e pressão atmosférica. É um instrumento importante na medida em que pode ser feita a correlação entre aumento do nível de água, piezômetro, bem como balanço hídrico da estrutura.

3.5 Novas tecnologias de monitoramento

O estudo de ondas sísmicas de pequena amplitude, muitas vezes imperceptíveis no espectro da sismografia clássica e, na maioria dos casos, ocasionadas por vibrações induzidas antropicamente, seja pela prática mineral via detonações para desmonte de rochas ou pelo tráfego de equipamentos de operação, corresponde ao campo de estudo denominado como microssísmica. A microssísmica têm dito relevante destaque no seguimento de implantação de novas tecnologias de monitoramento de barragens de rejeitos de mineração, sendo fundamentalmente consubstanciada pelo uso e aplicação de sismógrafos de engenharia capazes de perceberem a propagação de ondas sísmicas superficiais (ondas Love e ondas Rayleigh, por exemplo) e, a partir da mensuração dessas ondas obter-se a velocidade de partícula, parâmetro este que é considerado nos estudos de performance e estabilidade de estruturas geotécnicas.

Dentro do espectro da tecnologia de radares interferométricos, o uso de radares satelitais (InSAR) têm cada vez mais sido adotado pelos corpos de engenharia do proprietário e de empreendedores responsáveis por barragens de rejeito de mineração. Segundo Pimentel et. al (2021) a utilização do InSAR permite uma via de monitoramento complementar ao radar de superfície, o que inclui a mensuração de diferentes níveis de ruído e a correlação de gradientes de deformação obtida *in loco* com a informação obtida remotamente pelo InSAR, aumento assim o espectro de variabilidade de informações de monitoramento e, logo, da possibilidade de acompanhamento do comportamento dos rejeitos e dos maciços das barragens. Radares satelitais são eficientes para verificação de movimentações lentas, a medida em que utilizam micro-ondas do espectro eletromagnético, eliminando bastante os ruídos atmosféricos, de vegetação, entre outros.

4 Documentos Verificados em Fase de Projeto

Durante as fases de projeto, sejam eles estudo de viabilidade, projeto conceitual, básico ou executivo, deverão ser realizados estudos para a viabilidade técnica, econômica, ambiental e social da implantação da estrutura.

De acordo com o Guia de Boas Práticas de Gestão de Barragens e Estruturas de Disposição de Rejeitos, IBRAM (2019) em fase de projeto devem ser avaliados, no mínimo, não se limitando a:

- a) Fase de estudo de alternativas:

Condições e características locais tais como geológicas, morfológicas e topográficas, características dos rejeitos, alternativas locacionais, alternativas tecnológicas potenciais e premissas e compromissos com as partes interessadas:

- b) Fase de projeto:

Aspectos gerais, geotécnicos, hidrológicos, outorga e uso da água e aspectos geoquímicos e hidrogeológicos, premissas de monitoramento.

Os estudos geotécnicos, partes relevantes no projeto de barragens, devem ser iniciados com o mapeamento geológico-geotécnico da fundação da estrutura bem como das jazidas que serão utilizadas como material de empréstimo. Para conhecimento da subsuperfície é comum o emprego de sondagens mistas, percussivas, rotativas e a trado.

Em amostras representativas dos materiais de fundação e de construção deverão ser realizados ensaios de campo e de laboratório a fim de caracterizar e determinar as características relevantes dos materiais, tais como resistência ao cisalhamento, permeabilidade, rigidez, plasticidade, entre outras.

De posse das características dos materiais, devem ser realizadas análises de percolação, na qual são avaliadas o desenvolvimento de poropressões na estrutura, abrangendo fundações e maciço. Posteriormente, devem ser realizadas análises de estabilidade com o foco em se obter através do método de equilíbrio limite o fator de segurança da estrutura. Destaca-se que tais resultados devem levar em consideração cenários de construção, operação, fechamento, além de cenários críticos, ou seja aqueles nas quais são simuladas condições não esperadas, tais como carregamento rápido, não funcionamento dos componentes de drenagem, ocorrência de sismos naturais ou induzidos.

Posteriormente devem ser realizados estudos tensão x deformação a fim de mensurar deslocamentos durante a fase de construção, operação e toda vida útil da estrutura. É importante classificar as deformações em esperadas e anormais com previsão temporal, a fim de identificar futuramente, através dos dados de monitoramento em qual estágio de deformação a estrutura se encontra.

Em sequência, deve ser realizada a definição dos níveis de controle das estruturas, tanto em termos de nível de água, piezometria, vazão e deformação.

Através da previsão do comportamento da estrutura, deverá ser realizado, preferencialmente por empresa independente especialista em projetos de geotecnia, o plano de instrumentação e monitoramento com a definição dos instrumentos e tecnologias a serem empregados para detecção de comportamentos anômalos da estrutura

Destaca-se que é primordial a manutenção da integridade dos registros e dados gerados, sendo estes, organizados com as informações concisas e confiáveis

5 Documentos Construtivos

A construção da barragem equivale a etapa de materialização do projetado em campo. Podem ser encontradas condições diferentes daquelas esperadas, seja em termos de características dos materiais, logística de obra, entre outros. Quaisquer alterações realizadas devem ser consultadas os responsáveis pelo projeto, para certificar que não existe mudança no comportamento esperado da estrutura.

É essencial realizar o registro de construção e de determinados ensaios durante a fase construtiva. No fim da construção da estrutura é fundamental a elaboração da peça “AS BUILT”, que representa a compilação do que foi construído, bem como registros de adequações e estudos geotécnicos revisados, inclusive para atender ao requisito legal normativo da Lei 12.334 de 2010.

Para as estruturas que não possui “AS BUILT” faz necessária a elaboração do registro de “AS IS”, dispondo de investigações geotécnicas, ensaios de laboratório e campo, além dos registros de inspeções e monitoramento da estrutura, sendo assim possível proceder com a caracterização da mesma.

Ressalta-se que, caso seja constatado alterações significativas na estrutura, os estudos geotécnicos devem ser revistos a fim de adequar as características da construção.

6 Verificação dos Modelos Conceituais

Após um período de monitoramento de pelo menos um ano, os estudos geotécnicos podem ser verificados e calibrados. As análises de percolação podem ser calibradas com o uso de informações de piezômetros e medidores de nível de água. Os estudos tensão x deformação podem ser verificados e calibrados com a utilização de informações sobre deformações obtidas através dos dados de monitoramento.

É uma boa prática a utilização de artifícios estatísticos para a definição de medições de referências, com o intuito de se realizar uma melhor calibração. Dispondo de uma historicidade de dados também é possível realizar a revisão dos níveis de controle estabelecidos para os diversos instrumentos de auscultação.

Estudos geofísicos auxiliam no levantamento de camadas com diferentes resistividades no maciço e fundação que podem estar atrelados as respostas de indicadores de nível de água e de piezômetros.

Importante salientar que o sucesso da verificação dos modelos conceituais é mais facilmente alcançado, na ocasião em que o projeto previu tipos e quantidades de diferentes metodologias de instrumentação, que sejam suficientes para responder integralmente as perguntas sobre o monitoramento da estrutura.

7 Proposta dos Tipos de Monitoramento

O monitoramento de barragens deve ser realizado levando-se em conta os monitoramentos de curto prazo (emergência) e de longo prazo. É relevante destacar que os monitoramentos são complementares.

7.1 Monitoramento de Curto Prazo

O monitoramento de emergência consiste em tecnologias capazes de detectarem problemas críticos em um curto período antes da ruptura ou eminência dela, para tanto, devem ser utilizados instrumentos de respostas rápidas.

No âmbito da detecção de deformações podem ser empregadas as tecnologias de radares interferométricos terrestre, estações robóticas e inclinômetros automatizados, dotados de alertas para constatação do risco ou evolução rápida da ruptura.

Em termos de piezometria e níveis de água a utilização de instrumentos dotados de sensores digitais que permitem a obtenção de medições espaçadas em curto espaço de tempo, na qual, o atingimento de níveis de alertas pode ser facilmente detectado.

Além disso, a utilização de inteligência artificial é relevante a medida que os equipamentos de videomonitoramento podem ser programados para a detecção de alterações de textura em superfícies de taludes, sinais de erosões ou escorregamentos, mudanças de coloração da água que escoam drenagem interna, entre outros.

Para a situação de emergência é imprescindível a manutenção de sala de monitoramento e controle 24/7 (24 horas por dia, sete dias por semana), munidos de profissionais especializados e capazes de analisar e detectar a evolução do risco, tomando as providências relativas ao acionamento de sirenes ou outros dispositivos de alerta.

É importante que seja realizada a comparação entre os sinais dados nos diversos tipos de instrumentação, com a finalidade de correlacionar possíveis eventos e causas, além de eliminar eventuais ruídos inerentes às tecnologias.

7.2 Monitoramento de Longo Prazo

O monitoramento de longo prazo deve ser realizado com frequência menor e com o objetivo de identificar tendências, alterações de comportamento além de sinalizar a respeito da eficiência do monitoramento.

Os dados de piezômetros, indicadores de nível de água, medidores de vazão e régua limnimétrica são adquiridos manualmente, no qual se permite espaço maior entre leituras, ou conforme definido pelo projeto de monitoramento respeitando a frequência quinzenal exigida pela portaria 70.389 da ANM.

Para mensurar os deslocamentos podem ser utilizados radares satelitais, radares terrestres (com sub-processamento), levantamentos topográficos de campanha (emprego de estação total) ou em tempo real (aquisições em horários com menores interferências atmosféricas).

As deformações em estruturas construídas com materiais não homogêneo podem variar de forma lenta, nas quais movimentações, em análise de curto prazo, ocorrem dentro dos ruídos associados às limitações de equipamentos e/ ou suas respectivas instalações. Posto isso, é extremamente relevante realizar o monitoramento de longo prazo, aquele no qual se realiza a busca por modificações em tendências em um lapso temporal mais abrangente.

As análises dos gráficos de deslocamentos, sejam elas realizadas em áreas específicas da superfície da estrutura monitorada por radares, ou por pontos de estações robóticas devem ser realizadas com o intuito de identificar tendências progressivas ou variações de tendências, que conjugadas a outros tipos de instrumentação podem prever um modo de ruptura.

O estudo de Zavadni (2001) e antecessores demonstra os tipos de assinaturas de deformações ocorridas em rupturas de taludes rochosos. Para barragens ainda não é um consenso sobre o formato de tais assinaturas, entretanto, consiste em uma boa prática adotar os padrões consagrados para materiais rochosos por estes autores.

Da mesma forma, o comportamento dos indicadores de nível de água e piezômetros da estrutura deve ser analisado em um período mais longo, pelo menos por um ano hidrológico, para que seja possível diferenciar a resposta dos instrumentos em relação a variação de saturação da estrutura em períodos chuvosos e secos.

A medida em que são realizadas as aquisições dos dados das medições, as respostas previstas pelos instrumentos devem ser revisitadas, para períodos de maiores ou menores precipitações, levando-se em considerações também os fatores operacionais da estrutura (bombeamento de água dos reservatórios, lançamento de rejeitos, obras de adequação, alteamento da estrutura, entre outras.). Tal prática resulta em um benefício, na medida que permite a equipe responsável pela estrutura realizar comparações entre fatores operacionais versus fatores naturais, evitando-se alarmes falsos.

Assim como no monitoramento de curto prazo, ao serem identificadas variações em algum tipo de instrumento, devem ser verificados as leituras dos demais instrumentos (outros tipos, instalados em outros materiais e regiões) com o objetivo de se entender as causas e efeitos das alterações.

8 Considerações Finais

No presente estudo foi realizada a proposta metodológica para a análise de instrumentação e monitoramento de barragens de rejeitos. A verificação dos dados de projeto e de construção é fundamental para que se tenha de forma atualizada a previsão do comportamento da estrutura.

As tecnologias existentes são suficientes para o monitoramento dessas estruturas. Entretanto, deve ser realizada de forma criteriosa a calibração dos modelos de comportamento, a partir de dados confiáveis de monitoramento, a fim de se obter valores limites dos instrumentos. Isso posto, a detecção imediata de possíveis anomalias é bastante facilitada.

Todavia é imprescindível a realização de manutenções corretivas e principalmente preditivas nos instrumentos de monitoramento, para que se obtenha a maior confiabilidade possível dos dados de monitoramento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Affonso, H. M. M. (2004). Instrumentação para medir deslocamentos em barragens de enrocamento. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, pp.35.
- ANM – Agência Nacional de Mineração(2019). Portaria Nº 70.389, de 17 de maio de 2017, Brasília, Distrito Federal, Brasil.
- CBDB – Comitê Brasileiro de Grandes Barragens, <http://www.cbdb.org.br/>, 18/01/2020.
- Fonseca, A. Da R. (2003). Auscultação por instrumentação de barragens de terra e enrocamento para geração de energia elétrica – Estudo de Caso das Barragens da UHE São Simião, Ouro Preto, MG.
- Dunncliff, J. (1988). Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance, New York, John Wiley & Sons, Inc. 577p.
- Geothra Geologia & Geotecnia, Instrumentação Geotécnica, www.geothra.com, 18/01/2020.
- IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. (2019). Gestão de Barragens e Estruturas de Disposição de Rejeito, Brasília, Brasil.
- Oficina de Textos, Silveira, J.F.A, Barragens: caso histórico de acidente, www.ofitexto.com.br, 18/01/2020.
- Silveira, J.F. A (2015) Instrumentação e Segurança de Barragens de Terra e Enrocamento. Oficina de Textos. 2nd ed., São Paulo, Brasil.
- Zavadoni, Z.M. (2001) Time dependant Movements of Open Pit Slopes, Proceedings, Slope Stability in Surface Mining, (Hustrelid, McCarthur and vanZyls eds.) SME.