

Estudo de acurácia da automatização de piezômetros tipo Casagrande em barragens

Cerqueira, Hélio
Vale, Nova Lima, Brasil, helio.cerqueira@vale.com

Lopes, Marilene
Vale, Nova Lima, Brasil, marilene.lopes@vale.com

Queiroz, Camila Moreira
Vale, Nova Lima, Brasil, camila.moreira.queiroz@vale.com

Viel, Isabella do Nascimento
Coffey, Belo Horizonte, Brasil, isabella.viel@coffey.com

Soares, Leonardo
Coffey, Belo Horizonte, Brasil, leonardo.soares@coffey.com

Sebastião, Cristiane Silva
Coffey, Belo Horizonte, Brasil, cristiane.sebastiao@coffey.com

Dias, Leonardo Santana de Oliveira
Coffey, Belo Horizonte, Brasil, leonardo.santana@coffey.com

RESUMO: Um dos principais mecanismos para gestão da segurança de barragens é o monitoramento piezométrico. Os piezômetros do tipo Casagrande são os mais empregados no Brasil para o acompanhamento da variação hidrostática deste tipo de estrutura. Apesar da confiabilidade e simplicidade do Casagrande, o sistema de coleta de dados manual empregado nesses instrumentos, possui algumas limitações. Em função disso, foi identificada a necessidade de testar o processo de automatização deste tipo de piezômetro. Essa automação pode ser realizada com a utilização de um sensor tipo corda vibrante. É possível realizar essa automação durante a instalação de novos piezômetros e até mesmo nos instrumentos já instalados. Para se avaliar a eficiência e acurácia desta automação, se realizou a construção de um piezômetro Casagrande na barragem de Capanema no município de Santa Bárbara, MG. Nesta barragem foi executado um furo de sondagem onde foi se procedeu com a instalação de dois piezômetros corda vibrante com metodologias distintas. Na primeira o sensor corda vibrante foi instalado junto ao tubo de PVC do Casagrande e na segunda, foi inserido dentro do tubo do instrumento. Os dados automatizados de ambos os sensores foram coletados com intervalo de trinta minutos e as leituras manuais foram realizadas uma vez por semana, pelo período de quase oito meses, abrangendo inclusive períodos de chuvas. Os resultados obtidos foram apresentados graficamente e indicam comportamentos semelhantes para os dados manuais e automatizados, sendo as diferenças associadas apenas à ordem de grandeza das medidas. O estudo da acurácia dos dados confirmou a baixa variabilidade dos parâmetros medidos, quando comparados com as leituras manuais. Esse estudo confirmou a viabilidade da realização da automação dos piezômetros Casagrande utilizando sensores piezométricos corda vibrante.

PALAVRAS-CHAVE: Automação, Piezômetro Casagrande, Instrumentação, Acurácia, Monitoramento, Barragem.

1 INTRODUÇÃO

A instrumentação geotécnica é imprescindível no controle e gerenciamento de barragens, o monitoramento é um item obrigatório segundo a lei 12.334 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens.

Um dos principais parâmetros a serem avaliados para a gestão da estabilidade das barragens são as variações hidrostáticas. Os instrumentos mais utilizados para esse controle são os piezômetros do tipo Casagrande. Isso advém principalmente por sua simplicidade e por apresentarem resultados confiáveis. A principal limitação do Casagrande se refere ao fato do método de leitura dos dados ser realizado manualmente, o que regula e limita a periodicidade desta coleta, tornando o sistema suscetível a erros e aumentando o tempo para recebimento desses dados.

Como a maioria das barragens já implantadas possuem normalmente uma rede de piezômetros Casagrande e indicadores de nível de água, buscou-se uma solução para a automação desses instrumentos.

Esse artigo irá apresentar um estudo comparativo entre a automação de um piezômetro Casagrande, com a utilização de sensores piezométricos corda vibrante, e os dados coletados manualmente.

No gráfico gerado com as leituras realizadas em nota-se claramente a correspondência dos valores adquiridos de forma manual e automática.

Os resultados dos dados, obtidos pela aquisição manual e automática, evidenciam a semelhança e acurácia das grandezas medidas, comprovando assim a viabilidade da automação de piezômetros Casagrande. É importante destacar que o termo acurácia, neste artigo, engloba a análise da precisão e da exatidão dos resultados obtidos.

2 PIEZÔMETRO TIPO CASAGRANDE

Os piezômetros são instrumentos utilizados para avaliação do comportamento do nível de água. Segundo Machado (2007) a variação dos registros piezométricos pode ocorrer quando se verifica uma das seguintes condições:

- Aumento da vazão de percolação;
- Elevação do nível de água de montante e jusante;
- Aumento da permeabilidade de materiais a montante do piezômetro;
- Redução da permeabilidade de materiais a jusante do piezômetro.

O piezômetro tipo Casagrande é o mais utilizado nas barragens, apresentando como vantagem, a simplicidade construtiva e consequentemente, custos de instalação reduzidos, confiabilidade dos resultados e boa durabilidade das instalações (Sestrem, 2012).

A leitura desses instrumentos é realizada de forma manual, normalmente utilizando um sensor elétrico. As principais limitações das coletas de dados manuais relacionam-se ao:

- Tempo de disponibilidade das leituras - Dependendo do procedimento da empresa, a coleta e transcrição dos dados podem demorar vários dias;
- Periodicidade de leituras pré-definidas - Permanecendo determinados períodos sem acompanhamento das variações;
- Erros na transcrição dos dados - Uma vez que o levantamento é feito em campo, este tem que ser repassado para uma planilha de acompanhamento;
- Exatidão da leitura - Depende da habilidade do operador (Machado, 2007).

3 AUTOMAÇÃO DO CASAGRANDE

A fim de solucionar as principais limitações da coleta manual de dados, procedeu-se com a instalação de sensores piezométricos tipo corda vibrante dentro de dois piezômetros Casagrande.

Estes sensores medem a pressão de água através da deformação de um diafragma interno, cuja deflexão é medida por um sensor de corda vibrante instalado perpendicularmente ao plano do diafragma (Silveira, 2006).

A unidade de medida do sensor corda vibrante é o dígito:

$$\text{Dígito} = \left(\frac{1}{\text{Período}} \right)^2 \times 10^{-3} \text{ ou } \frac{\text{Hz}^2}{1000}. \quad (1)$$

Esse valor deve ser convertido através das

equações contidas nos manuais dos fabricantes, que utilizam as leituras iniciais e os fatores de calibração, para obtenção das medidas em altura de coluna de água. A altura de coluna de água é somada à cota de instalação do sensor, fornecendo assim cota piezométrica no ponto.

Além do sensor piezométrico, um sistema de automação eficiente necessita de uma estação de campo. Essa estação deverá ser dotada de energia (solar ou elétrica) para alimentar os equipamentos, além de baterias e conversores. O principal componente da estação é o datalogger. Ele é o responsável por receber, armazenar e converter os dados em campo. Os componentes para realização da automação dos piezômetros são sumarizados na Figura 1.



Figura 1. Componentes para a automação de piezômetros. Fonte: VALE (2014).

Com a instalação dos sensores e utilização de equipamentos de armazenamento local, é possível programar o registro contínuo das leituras de nível piezométrico do Casagrande, eliminando assim as limitações da coleta manual.

4 INSTALAÇÃO DE SENSORES NO PIEZÔMETRO CASAGRANDE

O furo para execução do estudo foi realizado no talude de jusante da barragem de Capanema no Município de Santa Bárbara, de propriedade da Vale. O piezômetro Casagrande e os sensores piezométricos foram instalados em uma camada de colúvio (canga rolada), na porção inferior da barragem, conforme identificado na Figura 2.

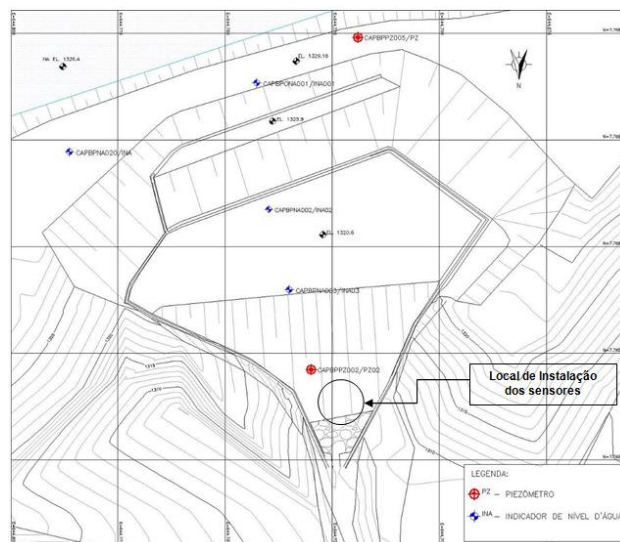


Figura 2. Área de instalação dos sensores e da estação de campo. Fonte: VALE (2014).

Foi realizado um furo para a instalação de um piezômetro Casagrande com a inserção de dois sensores corda vibrante (Figura 3).

O primeiro sensor (PZ-01) foi inserido dentro do tubo de PVC do Casagrande. Esse tipo de instalação possibilita a retirada do sensor e seu deslocamento para outro furo (caso necessário). Neste tipo de instalação há uma maior exposição do sensor, aumentando a possibilidades de ações de vândalos.

O segundo sensor (PZ-02) foi instalado na parte externa do tubo do Casagrande, em contato com a camada de areia. Este tipo de instalação não possibilita a remoção do sensor, no entanto é possível esconder todo o sensor na instalação, mantendo os cabos e o próprio instrumento enterrado, o que diminui a ação de vandalismo e roubos.

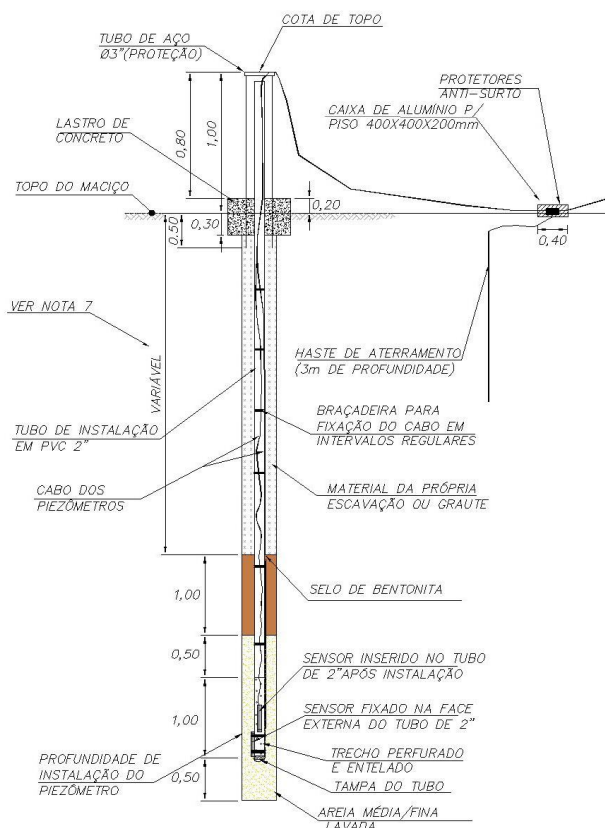


Figura 3. Croqui de instalação do piezômetro Casagrande com sensores automatizados (Coffey, 2014).

A Figura 4 apresenta em detalhes a disposição dos sensores PZ-01 e PZ-02 no piezômetro Casagrande.

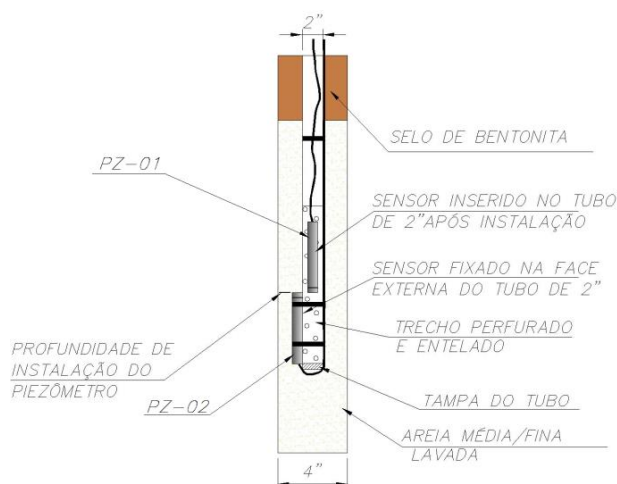
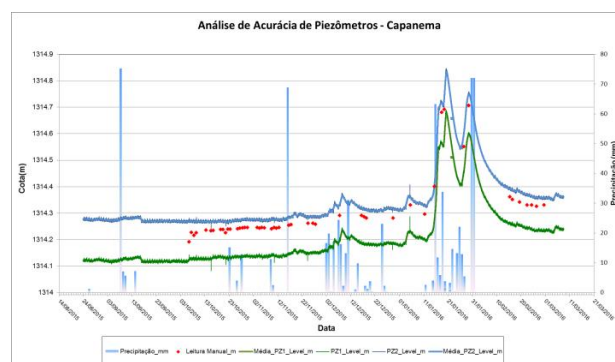


Figura 4. Detalhe da disposição dos sensores piezométricos no piezômetro Casagrande (Coffey, 2015).

5 RESULTADOS

O gráfico da Figura 5 apresenta as leituras realizadas. Os dados de leitura manual são os pontos de referência para a análise (pontos vermelhos), os dados de pluviometria (colunas azuis, com escala apresentada no lado direito do gráfico) os demais valores correspondem à média móvel diária dos valores dos sensores piezométricos.

As medições automatizadas iniciaram em agosto de 2015 com periodicidade de a cada 30 minutos e as leituras manuais iniciadas em outubro do mesmo ano (com frequência variável).



diminuição da cota, as medições manuais identificaram as mesmas variações.

Nos picos mais elevados, ocorridos no mês de janeiro, que correspondem ao período chuvoso identificado, a resposta dos sensores foi equivalente aos dados de leituras manuais.

5.2 Análise de acurácia

Os dados de leitura piezométrica foram submetidos à análise de acurácia através da diferença de valores entre as leituras manuais e a média móvel diária dos registros automáticos. O gráfico da Figura 6 mostra a variação dos valores obtidos pelos sensores PZ-01 e PZ-02, tendo como referência os dados de leitura manual (valor 0 das ordenadas). Este artifício permite que os valores de leitura manual sejam considerados como o valor padrão.

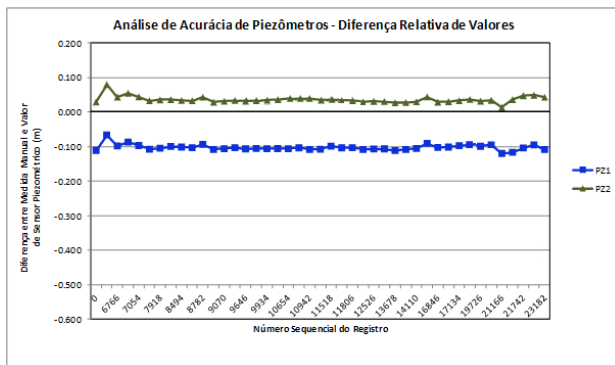


Figura 6. Análise de acurácia de piezômetros (Coffey,2016)

A tabela 1 apresenta o sumário estatístico dos valores medidos. Os limites de aceitação não foram estabelecidos, contudo é possível verificar que os dados dos sensores PZ-01 e PZ-02 possuem um viés (erro de acurácia) médio de 10 cm e 3,5 cm, respectivamente, sendo que este erro possui baixa variabilidade ao longo do tempo, com desvio padrão menor que 1 cm para ambos.

Tabela 1. Estatística dos dados

Índice	PZ-01	PZ-02
Média (m)	-0.103	0.035
Desvio Padrão (m)	0.0086	0.0098
Intervalo de 95% de	-0.086	0.055
Confiança (m)	-0.120	0.015

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A automação de piezômetros do tipo Casagrande, principalmente nas barragens é uma demanda crescente. Para utilização deste método, faz-se necessário comprovar a eficiência desta solução e a acurácia dos dados automáticos quando comparados às leituras manuais. Para isso foi realizada uma instalação de um piezômetro Casagrande que foi automatizado e concomitantemente foi mantida a realização das leituras manuais.

Este trabalho realizou um estudo comparativo, a partir da análise dos dados coletados de forma manual e automática. Com esse estudo, foi possível comprovar a eficiência da automatização do Casagrande, sendo a mesma indicada tanto para novos piezômetros quanto para instrumentos já instalados.

A partir da análise dos gráficos contendo os resultados das leituras do instrumento, foi observada a mesma assinatura tanto para as coletas manuais quanto automatizadas. Nos períodos de ocorrência de chuvas, onde as medidas manuais tiveram aumentos significativos, os sensores automáticos registraram as mesmas variações, o que ocorreu também nos registros de queda de pressão.

Adicionalmente o estudo de acurácia indicou baixa variabilidade das leituras dos piezômetros automáticos em relação as leituras manuais. Os resultados obtidos confirmaram a viabilidade e a confiabilidade dos dados ao realizar a automação do piezômetro Casagrande com a utilização de sensores piezométricos corda vibrante.

Além da automação dos piezômetros Casagrande, existem outros métodos para instalação dos sensores corda vibrante, podendo ser um método convencional ou um totalmente grauteado. Uma das vantagens do método grauteado reside na resposta rápida às variações de pressão, principalmente em solos de baixa permeabilidade.

Em algumas situações, como por exemplo, em barragens onde há predisposição de ocorrência de liquefação, a resposta rápida que um piezômetro corda vibrante totalmente grauteado pode dar é imprescindível. Sugere-se, portanto, para complementação deste estudo, a realização de instalações dos sensores corda vibrante pelos métodos supracitados.

A comparação entre os resultados das leituras

permitirá aferir a viabilidades desses tipos de instalação, além da definição dos casos em que vale a pena, além da automatização do Casagrande, a instalação de novos piezômetros corda vibrante.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos às equipes que fizeram parte deste estudo e participaram das etapas concepção de instalação do mesmo, além dos profissionais sênior que foram fundamentais para o sucesso deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Coffey. (2014). *Evaluation of Piezometer Accuracy - Comparison of Automated and Manually Read Systems: Phase 1 – Benchmarking*. Projeto da Vale.
- Coffey (2015). *Implantação do sistema de instrumentação – Mina de Capanema*. Projeto da Vale.
- Coffey (2016). *Análise dos dados – Mina de Capanema*. Projeto da Vale.
- Machado, W.G.F. (2007). *Monitoramento de barragens de contenção de rejeitos da mineração*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 155 p.
- Sestrem, L. P. *Concepção e implantação de um plano de instrumentação para avaliação das condicionantes geotécnicas de uma encosta litorânea*. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. Curitiba, 2012.
- Silveira, J.F.A. *Instrumentação e segurança de barragens de terra e enrocamento*. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.