

# Proposta de desenvolvimento de um novo medidor de nível piezométrico

Maksoel A. Krauspenhar Niz<sup>1,2,3</sup>, Armando Albertazzi Gonçalves Jr.<sup>1,3</sup>,  
Huei Diana Lee<sup>2,3</sup>, Feng Chung Wu<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Metrologia e Automatização (LABMETRO)  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)  
Caixa Postal 5053 – 88040970 – Florianópolis, SC – Brasil

<sup>2</sup>Laboratório de Bioinformática (LABI)  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)  
Parque Tecnológico Itaipu (PTI) – Foz do Iguaçu, PR – Brasil

<sup>3</sup>Centro de Estudos Avançados em Segurança de Barragens (CEASB)  
Parque Tecnológico Itaipu (PTI) – Foz do Iguaçu, PR – Brasil

{mkn,albertazzi}@labmetro.ufsc.br

**Abstract.** *The piezometer is one of the most important instruments for monitoring the behavior of dams. Frequently, the acquisition of data generated by the equipment is performed manually, avoiding insalubrities and the occurrence of errors related to the operator procedures. Therefore, in this work is proposed the development of a portable and reliable piezometric meter-level, which improves the working conditions for the operators.*

**Resumo.** O piezômetro corresponde a um dos instrumentos mais importantes para o monitoramento do comportamento de barragens. Em muitos casos, a leitura desses instrumentos é realizada manualmente, possuindo desvantagens como insalubridade associada aos procedimentos de leitura e susceptibilidade à ocorrência erros nas medições. Nesse contexto, este trabalho tem o objetivo de apresentar uma proposta de desenvolvimento de um medidor de nível piezométrico portátil, confiável e que melhore as condições de trabalho dos operadores.

## 1. Introdução

A segurança das barragens constitui uma preocupação permanente para as entidades governamentais, tanto pela sua importância econômica como pelo risco potencial que a possibilidade de ruptura dessas estruturas representa em termos de vidas humanas, impacto ao meio ambiente, prejuízos materiais e reflexos econômico-financeiros [Medeiros 2003].

Nesse contexto, a instrumentação de barragens apresenta-se de fundamental importância, sendo já utilizada na década de 50. Desde então tem se notado um contínuo avanço nos instrumentos e nos métodos utilizados para o monitoramento de barragens [Silveira 2006]. Por meio da instrumentação pode-se, por exemplo, verificar se a

barragem está se comportando conforme planejada e ainda observar antecipadamente mudanças que possam comprometer a sua integridade.

Assim sendo, a instrumentação possui papel importante na construção, no enchimento e durante todo o período de operação das barragens [CBGB 1996]. Os parâmetros freqüentemente monitorados compreendem as subpressões nas fundações das estruturas e em descontinuidades nas fundações, os recalques, os deslocamentos horizontais, as tensões e as deformações nos elementos estruturais, as temperaturas, as vazões de drenagem e a quantidade de materiais sólidos carreados [Silveira 2006].

Um dos principais instrumentos utilizados no monitoramento de barragens consiste no piezômetro. Na usina hidrelétrica de Itaipu, por exemplo, existem mais de 650 instrumentos dessa categoria, os quais estão posicionados em distintas posições da fundação e possuem a função de quantificar as subpressões nesses locais [ITAIPU 2004]. Na usina hidrelétrica de Itaipu assim como em diversas outras barragens, a leitura desse instrumento é efetuada por meio de um equipamento móvel constituído basicamente por um amperímetro e um cabo coaxial contendo um sensor pio elétrico em sua extremidade. Através da utilização desse conjunto, pode-se determinar o nível de água no interior dos tubos piezométricos [ITAIPU 1992].

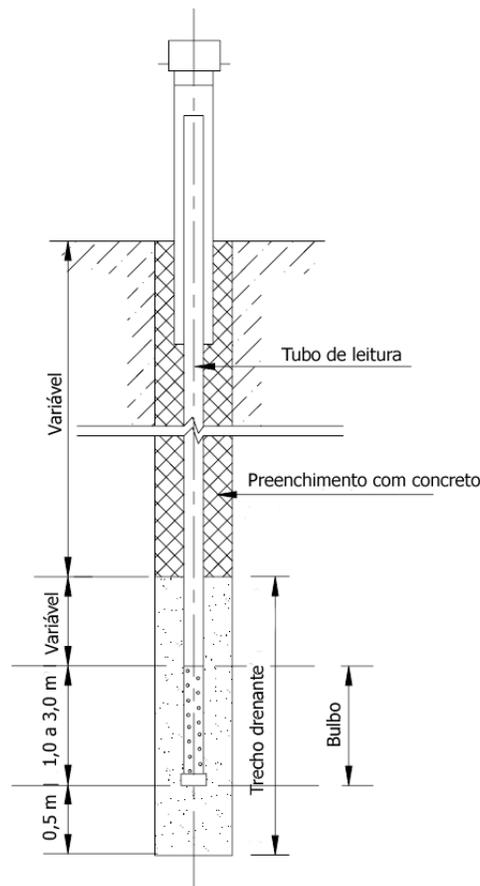
No entanto, devido às desvantagens relacionadas à essa metodologia de medição, o presente trabalho, em andamento, tem o objetivo de propor o desenvolvimento de um sistema de medição capaz de medir níveis d'água em tubos piezométricos abertos sem a necessidade da utilização de cabos e com incertezas a níveis aceitáveis.

Com relação a estrutura deste trabalho, na seção 2 é realizado um estudo a respeito dos piezômetros. Na seção 3 estão apresentados os requisitos iniciais do sistema de medição a ser gerado. Na seção 4, por sua vez, são listadas algumas metodologias que poderão ser utilizadas para a resolução do problema e, na seção 5, as considerações finais.

## **2. O Piezômetro**

Os piezômetros foram empregados inicialmente na Índia no final do século XIX para o estudo da percolação na fundação de barragens construídas para irrigação. Em 1907, esses instrumentos foram utilizados na Inglaterra e a partir de 1917, passaram a ser empregados nos Estados Unidos em barragens de terra, sendo hoje um dos instrumentos mais importantes para o monitoramento do comportamento de barragens [Ligocki, Saré e Sayão 2003; Silveira 2006].

O piezômetro consiste basicamente em um conjunto formado por um elemento poroso denominado bulbo e um tubo piezométrico (Figura 1). Esse conjunto é introduzido em um furo de sondagem realizado da superfície onde será efetuada a leitura até o local a ser monitorado. A função desse instrumento é mensurar a pressão hidráulica em determinados locais da fundação, sendo o seu funcionamento fundamentado no princípio de vasos comunicantes, baseado no fato de que a pressão hidráulica externa atuante na região do bulbo será igualada à pressão exercida pela coluna d'água no interior do tubo de leitura [FERC 2008].



**Figura 1 - Representação esquemática de piezômetro [ITAIPU 2004]**

Em grande parte das usinas hidrelétricas e barragens em geral a leitura desses piezômetros, chamados também de piezômetros “*stand pipe*” ou piezômetros de tubo aberto, é realizada manualmente, utilizando-se um cabo graduado contendo um sensor “pio elétrico” em sua extremidade. Esse conjunto é inserido continuamente no interior do tubo de leitura do piezômetro até o momento em que o sensor pio elétrico entre em contato com a água. Nesse instante o operador mede a distância da coluna de ar com auxílio de uma trena e anota o valor da leitura em planilha correspondente. Posteriormente esses dados são transcritos para um software específico para assim serem efetuadas as análises. Como os níveis nos quais foram instalados os bulbos de drenagem são conhecidos, por meio da medição da altura da coluna de ar existente no tubo de leitura, pode-se determinar a altura da coluna d’água existente no piezômetro. A Figura 2a apresenta um típico terminal de leitura, com três piezômetros e a Figura 2b apresenta o conjunto utilizado atualmente para a realização das medições na usina hidrelétrica de Itaipu.



(a)



(b)

**Figura 2 – (a) Terminal de leitura de piezômetros instalados em Itaipu;  
(b) Conjunto utilizado para a realização das leituras**

No entanto, a medição por meio dessa metodologia, utilizando-se o cabo com o sensor “pio elétrico” na extremidade, apresenta algumas desvantagens, tais como:

- Insalubridade associada à utilização do equipamento, uma vez que essas medições são realizadas diariamente e existem piezômetros que apresentam extensas profundidades;
- Tempo de processamento lento;
- Necessidade de mão de obra capacitada;
- Necessidade freqüente de ajustes no cabo;
- Constantes erros de medição e de transcrição dos dados para as planilhas.

### **3. Requisitos do sistema de medição a ser gerado**

Para o desenvolvimento do novo instrumento de medição diversos requisitos deverão ser estabelecidos e avaliados. Alguns desses atributos estão relacionados abaixo:

- **Medição “wireless”:** um dos requisitos principais da solução a ser gerada consiste na não utilização de cabos para a realização das medições;
- **Faixa de medição:** a solução gerada deverá ser capaz de medir profundidades usualmente evidenciadas em piezômetros de barragens;
- **Aplicabilidade em condições adversas:** a solução gerada deverá estar apta para operar em locais com umidade do ar elevada e ser capaz de medir em locais onde os piezômetros foram instalados inclinados em relação à vertical;

- **Incerteza de medição:** a incerteza de medição do instrumento deverá ser compatível com os níveis considerados adequados para a monitoração dessa grandeza. Os dados gerados deverão ser confiáveis, uma vez que serão utilizados para alimentar sistemas orientados à tomada de decisões;
- **Grau de automação:** o instrumento deverá realizar as medições “*in situ*” de modo a não inibir a realização de inspeções visuais;
- **Calibração:** serão estabelecidos procedimentos de calibração para o sistema de medição, com o intuito de garantir a manutenção de suas características metrológicas;
- **Custo:** uma análise de custos do sistema de medição será realizada, considerando-se valores relacionados às etapas de aquisição, instalação, calibração, operação e manutenção do sistema de medição.

A avaliação destes e de novos requisitos será realizada juntamente com especialistas do Centro de Estudos Avançados em Segurança de Barragens – CEASB.

#### 4. Solução

Este trabalho está sendo desenvolvido pelo Laboratório de Metrologia e Automatização – LABMETRO – da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – em parceria com o Centro de Estudos Avançados em Segurança de Barragens – CEASB – do Parque Tecnológico Itaipu – PTI/BR.

Para o desenvolvimento do novo medidor de nível piezométrico serão avaliadas diferentes tecnologias com o intuito de desenvolver um sistema de medição que atenda da melhor forma a todos os requisitos. Nesse contexto, algumas das tecnologias a serem avaliadas são as seguintes:

- **Ultra-som:** Essa técnica consiste na emissão de um sinal em forma de pulso que é refletido e convertido em um sinal elétrico. Por meio da medição do tempo de propagação entre o sinal emitido e o sinal recebido, pode ser determinada a distância entre o emissor e o receptor;
- **Insuflação de ar:** Através desta técnica pretende-se determinar a distância entre o terminal de leitura e a superfície da água por meio da insuflação de ar no interior do tubo de leitura. Essa distância será calculada com base no tempo necessário para que a pressão interna atinja um nível pré-estabelecido;
- **Sensor flutuante:** Essa metodologia consiste na utilização de um sensor flutuante, que será posicionado no interior do tubo de leitura do piezômetro. No instante de realização das medições esse sensor enviará um sinal a um receptor, posicionado no terminal de leitura dos piezômetros que, por sua vez, determinaria a distância entre esses pontos.

É importante ressaltar que ainda poderão ser avaliadas outras tecnologias e que após a definição da metodologia a ser utilizada, serão realizadas avaliações experimentais, em campo ou em bancadas de ensaio, para a verificação da eficácia do sistema de medição.

## 5. Considerações finais

Apesar dos avanços existentes com relação ao tema segurança de barragens, o discernimento a respeito dos mecanismos que conduzem aos incidentes e acidentes nessas estruturas ainda não está consolidado. A dificuldade na realização dessas análises está relacionada ao fato de que os dados avaliados, em muitos casos, não são confiáveis devido a características como sistema de auscultação deficiente, irregularidades nos procedimentos de leitura e desorganização da documentação da memória técnica da barragem [Medeiros 2003].

Assim sendo, diversas vantagens estão associadas ao desenvolvimento de um novo instrumento para a realização das medições dos níveis piezométricos, dentre as quais destacam-se uma maior precisão nas leituras, o conhecimento das incertezas associadas as medições, o aumento na velocidade de tomada de decisões, a superação da dificuldade de capacitação de pessoal contratado, devido a rotatividade e sensibilidade na execução das leituras e, principalmente, a melhoria nas condições de trabalho dos operadores.

## 6. Agradecimentos

Ao Programa de Desenvolvimento Tecnológico Avançado – PDTA – FPTI/BR e ao Centro de Estudos Avançados em Segurança de Barragens – CEASB, pelo auxílio por meio da linha de financiamento de bolsas.

## Referências

- Medeiros, C. H. (2003). Segurança e auscultação de barragens. Em *XXV Seminário Nacional de Grandes Barragens*, páginas 13–50.
- Silveira, J. F. A. (2006). *Instrumentação e Segurança de Barragens de Terra e Enrocamento*. Oficina de Textos, 1ª edição.
- CBGB – Comitê Brasileiro de Grande Barragens. *Auscultação e instrumentação de Barragens no Brasil*. Belo Horizonte, 1996.
- ITAIPU Binacional. *Descripción de Funcionamiento – Piezómetro tipo “stand pipe”*. Foz do Iguaçu, 2004.
- ITAIPU Binacional. *Descripción de Funcionamiento – Aparato para lectura de nivel de água tipo electrico”*. Foz do Iguaçu, 1992.
- Ligocki, L. P., Saré, A. R. and Sayão, A. S. F. J. (2003). Avaliação de Segurança da Barragem de Curuá-Una com base na Piezometria. Em *XXV Seminário Nacional de Grandes Barragens*, páginas 207–217. Salvador-BA.
- FERC – Federal Energy Regulatory Commission. *Engineering Guidelines for the Evaluation of Hydropower Projects*. Washington DC, 2008.