

UTILIZAÇÃO DE ELETRÔNÍVEIS NA MONITORAÇÃO DA BARRAGEM DE XINGÓ

ALBERTO JORGE C. T. CAVALCANTI. Eng. Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
RICARDO J. BARBOSA DE SOUZA. Eng. Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
PEDRICTO ROCHA FILHO. Ph. D. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
FERNANDO SABOYA ALBUQUERQUE JR. Ph. D. Universidade Norte Fluminense

RESUMO: A barragem de Xingó, do tipo enrocamento com face de concreto, foi instrumentada com eletrônives na laje da face. Esta é a primeira vez que esse instrumento é utilizado no Brasil na monitoração de barragens. O presente trabalho descreve a experiência durante o enchimento do reservatório de Xingó, com esse novo instrumento, que apresenta vantagens econômicas e elimina interferências com a construção. São apresentados os detalhes do projeto de instrumentação com eletrônives, dos resultados das leituras e das análises efetuadas.

INTRODUÇÃO

A instrumentação de barragens de enrocamento com face de concreto, tem sido feita com a finalidade de monitorar as deformações do maciço e os esforços decorrentes na face de concreto, cuja função é garantir a estanqueidade das barragens. São medidos deslocamentos nas direções horizontal e vertical, junto à face e no interior do maciço, bem como deformações e abertura de juntas da laje de concreto.

A instrumentação do maciço de enrocamento deve ser feita logo no início da construção, de maneira a se obter os parâmetros de deformabilidade "in situ", visando a utilização destes parâmetros nas análises de previsão do comportamento da barragem em operação.

A grande interferência, da instalação dos medidores de deslocamento no interior do maciço, com o processo construtivo, é um fator restritivo à sua maior utilização, resultando na monitoração de alguns poucos pontos da face, espaçados de várias dezenas de metros. Este procedimento tem resultado em conhecimento de valores de deslocamentos do maciço, e tensões na laje, em pontos muito afastados entre si, o que leva à baixa precisão nas interpolações.

O refinamento da malha dos pontos de medição no maciço, representa um aumento considerável da interferência com a construção, além do aumento de custos. Por outro lado, a utilização de inclinômetro, instalado ao longo da laje, não tem apresentado bons resultados.

Com o advento dos eletrônicos, tornou-se viável a monitoração da laje de concreto das barragens de enrocamento, em pontos menos espaçados, de maneira precisa e confiável, livre de interferência com a construção e economicamente atraente.

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Eletrônicos são instrumentos dotados de transdutores eletrolíticos de alta precisão, que medem movimentos angulares. Os transdutores funcionam baseados no princípio fundamental de que uma bolha, suspensa em uma cápsula contendo um líquido eletrolítico, é biseccionada pela direção vertical da gravidade. Quando o transdutor gira, é alterada linearmente a resistência elétrica medida através do líquido eletrolítico. Um circuito elétrico transforma esta variação de resistência em leituras altamente precisas. Estes transdutores são protegidos por uma blindagem metálica estanque e ligados através de cabos elétricos a uma central de leituras.

TRATAMENTO DAS LEITURAS

De posse das leituras dos movimentos angulares, em vários pontos ao longo de uma seção da laje da face da barragem, obtêm-se a deflexão da laje integrando-se estas leituras ao longo da mesma. A deflexão é o deslocamento linear na direção normal à face da barragem. A integração pode ser feita analiticamente, após ajustar um polinômio às leituras de rotação, ou numericamente interpolando-se entre os pontos de leituras. A constante de integração é obtida a partir de leituras topográficas efetuadas na extremidade superior da laje. Quanto maior o número de pontos monitorados, maior será a precisão da deformada obtida da laje. Usando-se as equações de flexão de viga, pode-se obter ainda os momentos fletores, esforços cortantes, tensão normal de flexão, tensão cizalhante e reação do maciço de enrocamento sob a laje.

APLICAÇÃO EM XINGÓ

O aproveitamento hidrelétrico de Xingó está situado no rio São Francisco, entre os estados de Alagoas e Sergipe. É constituído de uma barragem principal no leito do rio, vertedouros de serviço e auxiliar, localizados na ombreira esquerda, tomada de água e casa de máquinas de geração, na ombreira direita e quatro diques de fechamento no lado direito do reservatório. Durante a construção, o rio foi desviado por quatro túneis escavados na ombreira direita. A potência instalada de geração, na primeira etapa do empreendimento, será de 3000 MW.

A barragem de Xingó é uma barragem de enrocamento com face de concreto, com 150 metros de altura máxima e 810 metros de extensão. A laje da face tem espessura variável, entre 30 cm e 70 cm. O maciço de enrocamento foi construído com rocha granítica, compactada em camadas, totalizando cerca de 13 milhões de metros cúbicos.

O enchimento do reservatório foi iniciado no dia 10 de junho de 1994, com o fechamento dos túneis de desvio. A elevação do nível de água até a cota 124m, se deu em 7 dias, permanecendo estável nesta elevação durante 6 dias. O enchimento foi retomado, alcançando a elevação 134 m, em 20 dias. A conclusão do enchimento, até a elevação 138 m, só foi realizada após a concretagem, na área do reservatório, de obras auxiliares acima da elevação 134 m.

A instrumentação do maciço da barragem foi projetada para a seção de maior altura, no leito do rio, e duas seções nas ombreiras. Cada seção instrumentada é dotada de células de recalque e extensômetros múltiplos horizontais, tipo "KM". A seção do leito do rio tem ainda dois medidores magnéticos de recalque. Os deslocamentos do maciço são acompanhados também, topograficamente, por pontos situados na crista e ao longo do talude de jusante da barragem.

A face da barragem foi instrumentada com medidores elétricos de junta, localizados ao longo da junta perimetral do plinto, e entre painéis da laje, nas ombreiras. Na seção do leito do rio, foram embutidos deformímetros e termômetros, ao longo da espessura da laje.

Na época da elaboração do projeto de instrumentação, foi cogitada a utilização de inclinômetro na laje da barragem, porém esta idéia foi descartada face a baixa precisão obtida, com este instrumento, em casos anteriores. Durante a construção da barragem, foi sugerido o uso de eletrônives, já com uma boa experiência em obras precedentes no exterior.

Uma seção da barragem, localizada na ombreira esquerda, foi instrumentada com 10 eletrônives, conforme mostrado na figura 1. A seção instrumentada, com 98 metros de altura, foi escolhida devido a conformação desfavorável de sua fundação. O declive para jusante da fundação, ocasionou durante a construção o aparecimento de trincas na zona de apoio da laje e posteriormente contribuiu para fissuração da própria laje de concreto. Na elaboração do projeto, a definição do posicionamento dos eletrônives foi influenciada pelos eventos citados anteriormente e pela localização das células de recalque e extensômetros horizontais, já instalados no interior do maciço na seção considerada.

Os instrumentos foram montados, testados e calibrados em laboratório, antes da instalação. A instalação dos eletrônives consiste na fixação à laje, através de parafusos e buchas, dos suportes e das peças de proteção e foi realizada duas semanas antes do início do enchimento do reservatório. Os cabos foram protegidos por tubos de PVC fixados na laje. Estas atividades foram realizadas em dois dias de trabalho. O custo final dos 10 eletrônives instalados, incluindo duas leitoras digitais, foi de US\$ 13000,00.

As leituras são feitas em uma central localizada junto ao muro do coroamento da barragem, com precisão de um segundo de grau, e são interpoladas utilizando as equações de Lagrange para um polinômio de terceira ordem, obtendo-se assim uma curva contínua ao longo da laje, na seção instrumentada. A deformada da laje é obtida integrando numericamente as rotações ao longo da mesma. A constante de integração é determinada a partir das leituras do marco topográfico, situado no topo da laje. A figura 2 mostra os valores de rotação lidos e interpolados, ao longo do plano da laje, bem como a deformada obtida, para o nível d'água 134 m.

A figura 3 apresenta a deflexão da laje, sobreposta à seção da barragem, para o nível d'água do reservatório na elevação 134 m. Observa-se claramente, acima da elevação 95 m, uma variação acentuada na deflexão da laje, refletindo a influência do declive da fundação.

CONCLUSÕES

Após um período de utilização de cerca de 3 meses, durante a operação de enchimento do reservatório de Xingó, podemos relacionar as seguintes vantagens na utilização dos eletrônicos na monitoração da barragem :

- Possibilidade de instalação externa à laje, de maneira rápida e sem nenhuma interferência com a construção.
- Adiamento do investimento na instrumentação da laje, para o final do período construtivo.
- Possibilidade de automação da monitoração, com sistema on-line.
- Possibilidade de utilização da história da construção, no projeto da instrumentação.
- Possibilidade de recuperação dos instrumentos, após o período inicial de operação da barragem.
- Obtenção de grande quantidade de informações.
- Grande precisão das leituras.
- Facilidade de instalação e operação.

Em projetos futuros de barragens de enrocamento com face de concreto, a monitoração do maciço poderá ser minimizada, em favor da utilização de eletrônicos na laje da face, com benefícios técnicos e econômicos

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia Hidro Elétrica do São Francisco e à Fundação Padre Leonel Franca, a permissão para a utilização dos dados contidos neste trabalho e a autorização para sua divulgação.

REFERENCIAS

VASCONCELOS, Aurélio A.; et-all. The Xingó Rockfill Dam - Symposium on CFRD. Detroit/86- ASCE

SILVEIRA, João Francisco A.; et-all. Aplicação da Informática na Transmissão e Análise dos Dados da Instrumentação da UHE de Xingó. XX Seminário Nacional de Grandes Barragens, Curitiba, 1992.

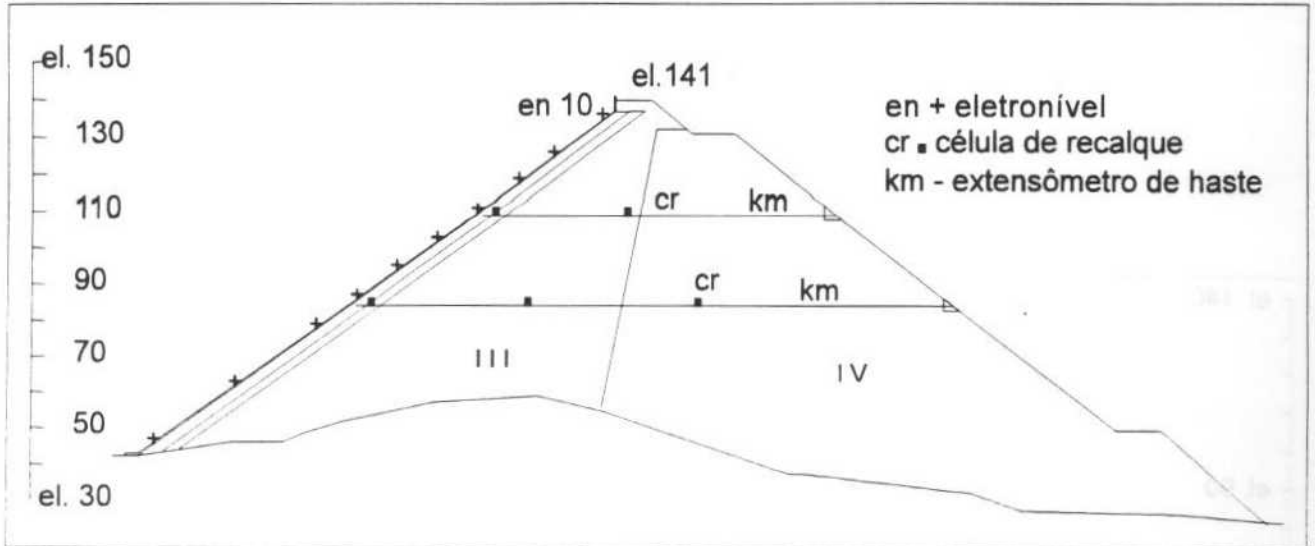


Figura 1- Seção da barragem na est. 62

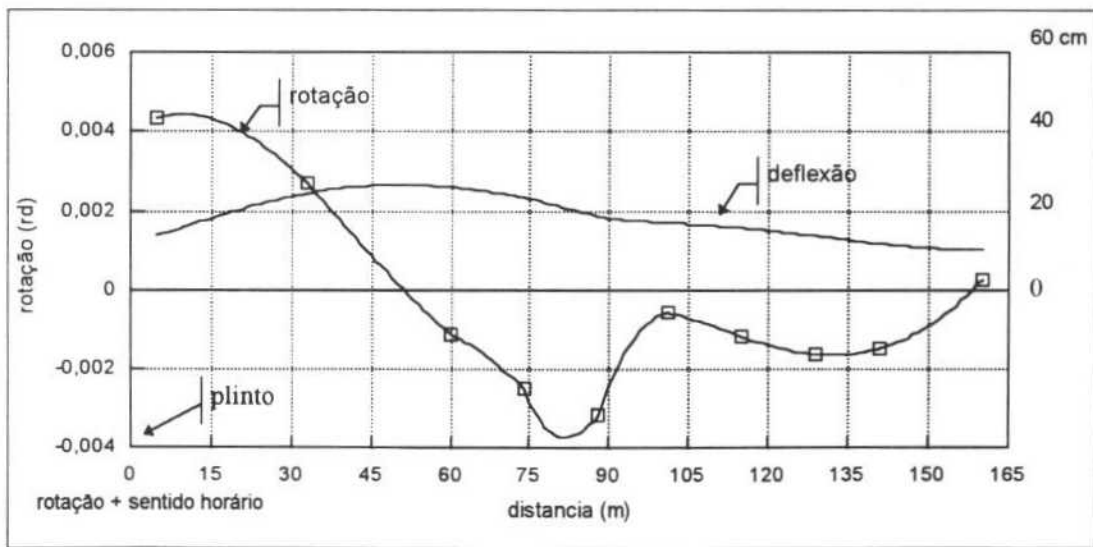


Figura 2- Rotação e deflexão da laje para N.A. 134 m

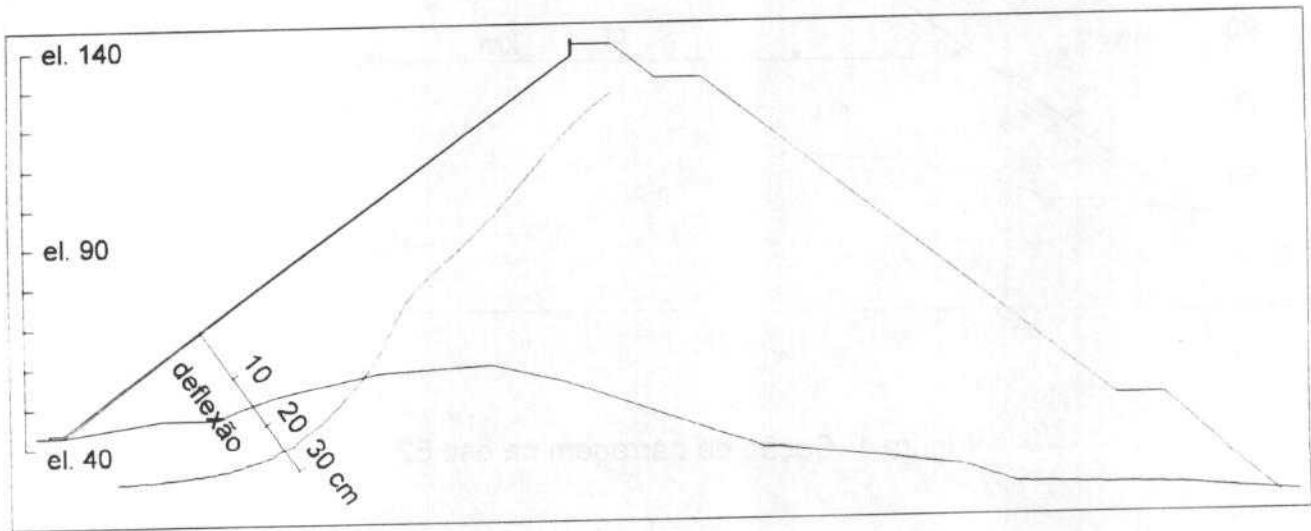


Figura 3- Deflexão da laje para o N.A. 134 m