Desenvolvimento de um Medidor Triortogonal Instrumento para Monitoração de Fissuras e de Juntas em Barragens de Concreto

E. L. Morais, E. A. G. Orlowski, M. M. Futai e P. R. Chamecki

RESUMO

Este trabalho trata do desenvolvimento de um novo instrumento para medição de fissuras e juntas em barragens de concreto. A principal diretriz deste projeto foi desenvolver um instrumento com menor custo e permitir a aquisição automática dos dados.

PALAVRAS-CHAVE

Instrumentação, novo instrumento, medidor de fissuras, medidor triortogonal, barragem, monitoração.

I. INTRODUÇÃO

Barragens de concreto são estruturas de grande responsabilidade e que necessitam de monitoração do seu desempenho. Utilizam-se diversos equipamentos na instrumentação de barragens para medir tensões, temperatura, deformação, fissuração, subpressão, percolação e deslocamento [1].

Este projeto tem como principal objetivo desenvolver um novo instrumento com baixo custo para monitoração de deslocamentos que ocorrem em juntas ou fissuras. Existem vários instrumentos no mercado capazes de desempenhar a mesma função, porém existem dois pontos fundamentais: os sistemas podem ser baratos, porém, manuais, necessitando do operador para realizar as leituras ou automatizados, porém, de custo elevado. O projeto apresenta uma solução alternativa de modo a atender as exigências para medição e manter um baixo custo de fabricação.

O prazo para o desenvolvimento completo do instrumento é de dois anos. Este trabalho apresenta os resultados do primeiro ano da pesquisa. Foram desenvolvidas as concepções, o projeto, o software para aquisição dos dados, a construção e os testes de um instrumento protótipo.

Prevê-se para o segundo ano a instalação do instrumento em uma barragem, visando acompanhar seu comportamento. Para verificar o desempenho do instrumento, será instalado na barragem um sistema de monitoramento composto por instrumentos complementares. Medidores de fissuras tipo corda vibrante serão instalados próximos ao novo instrumento para comparação dos resultados. Uma das possíveis causas da movimentação da barragem é a subpressão, por isso, também serão instalados piezômetros na fundação da barragem (contato concreto-rocha).

II. NOVO INSTRUMENTO

O novo instrumento é baseado no princípio de deformação total. A medição da deformação é feita a partir do monitoramento dos deslocamentos da estrutura frente a uma medida conhecida.

Em uma primeira versão, ainda totalmente manual e unidirecional, o instrumento consiste de duas chapas de aço com uma distância controlada entre elas, para que os furos cônicos que estas apresentam, fiquem a uma distância conhecida e com erro também conhecido. Como transdutor, utiliza-se um extensômetro de deformação total manual, o qual possui uma ponta fixa e outra móvel. Na ponta móvel, acopla-se um relógio comparador de precisão conhecida. A distância entre a ponta fixa e a móvel na posição de zero do relógio comparador é de 100 mm, assim como a distância entre a furação existente nas chapas de apoio e fixação. (Figura 1)

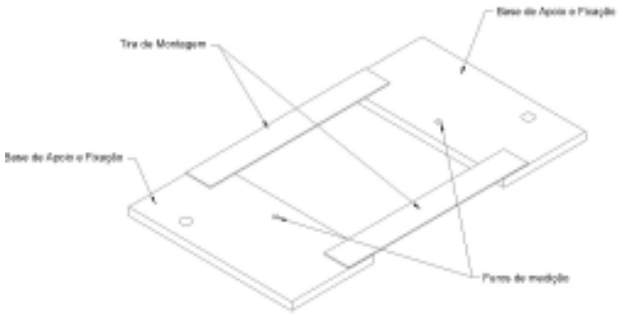

FIGURA 1. Versão inicial do novo instrumento - Desenho esquemático

Apesar de sua fabricação ser simples e barata, este instrumento apresenta algumas dificuldades como a leitura manual, a impossibilidade de se instalar em locais de difícil acesso, a montagem exige gabaritos com grande precisão, os extensômetros utilizados já deixaram de ser fabricados, entre outros.

Por estes motivos, passou-se a estudar uma nova versão do novo instrumento que não apresentasse estes problemas.

Utilizou-se a abordagem convencional de projeto de novos produtos para se chegar a uma solução otimizada para este produto, isto é:

- Especificaram-se as qualidades necessárias ao produto;
- Estas qualidades foram traduzidas em especificações técnicas
- Fez-se um "benchmark" com todas as possíveis soluções de transdutores
- Foram especificados todos os componentes necessários para as duas melhores opções apontadas pelo "benchmark";
- Compararam-se os custos das duas opções;
- Desenvolveu-se um protótipo; e
- Os primeiros testes foram executados.

Nas subseções que se seguem, trataremos brevemente de cada uma das fases.

A. Qualidades Necessárias ao Produto

Para selecionar do tipo de sensor mais adequado à utilização no protótipo do novo instrumento foram avaliadas algumas características. São elas: faixa de medição, incerteza, operação à distância, resistência, custo, dificuldade de desenvolvimento, manutenabilidade e tamanho [1]. Estas foram definidas visando verificar a tecnologia mais viável ao desenvolvimento do novo instrumento para a medição de deformações em barragens.

Estas características surgiram em contatos com o pessoal de operação, comparação com outros instrumentos equivalentes e com o apoio de um consultor especializado em instrumentos de medição.

Resumem-se na tabela 1, as características e os valores aceitos dentro do projeto.

TABELA 1

Características e especificações básicas do novo instrumento.

Característica	Critério de avaliação
Faixa de Medição	Amplitude de medição mínima de 10 mm
Incerteza	Precisão mínima de 0,02 mm
Operação a distância	Possibilidade de leitura remota via sinais elétricos ou ópticos
Resistência: descargas atmosféricas	Aterramento e outros mecanismos
Resistência: chuva/umidade	Vedação
Resistência: temperatura	Sensores operantes a temperaturas (de -10 ºC a 50 ºC)
Resistência: insetos	Proteção contra insetos
Resistência: Vandalismo	Blindagem do sensor
Custo	Menor preço de mercado do sensor
Dificuldade para desenvolver	Dificuldades ao desenvolvimento do instrumento
Manutenibilidade	Facilidade e simplicidade de manutenção do sensor

B. O Estudo de Benchmark

Foram cinco as tecnologias submetidas à seleção: a Indutivo (LVDT), a Eletroótica, a de Corda Vibrante, a de Fibra ótica e a de Relógio comparador digital. Para cada tecnologia, diversos são os modelos existentes no Mercado. Por isso, de 8 empresas existentes no Mercado foram verificados os modelos de instrumentos elétricos que poderiam se adequar à plataforma do medidor triortogonal desenvolvido pelo Lactec.

Os fabricantes pesquisados são os seguintes: Slope Indicator, Geokon, Heidenhain, Singer Instruments, Roctest, Telemac, Payab Zamzam e Starrett [3, 4, 5, 6, 7].

Além da comparação entre as marcas e os modelos existentes no mercado, foram feitos estudos relativos às qualidades gerais dos sensores e seus sistemas completos para a medição, ou seja, sensor, transdutor, transmissores de dados, coletores, tratamento de dados e visualização final dos dados pelo usuário.

Para efeito de comparação e avaliação das tecnologias, sugeriu-se o projeto e a fabricação de um protótipo unidirecional e o desenvolvimento de uma base que possa suportar qualquer um dos tipo de sensores (LVDT ou relógio comparador digital) que será utilizado nos ensaios de laboratório.

C. A Especificação dos Equipamentos para Aquisição, Transmissão e Guarda dos Dados.

O desenvolvimento do sistema de medição necessita de uma definição clara dos sistemas que o compõem e todos os componentes como transdutores, pontes amplificadoras, sistemas de transmissão de dados, portas de comunicação de dados, formas de armazenamento dos dados colhidos dentre outros [2]. A partir deste estudo, pôde-se realizar uma verificação dos níveis de custos das duas opções que se mostraram mais viáveis no estudo de "benchmark", ou sejam, o relógio comparador digital e o sensor indutivo.

Em um primeiro momento, o sensor indutivo se mostrou mais complexo para a sua montagem, pois ele exige, dentre outros, pontes amplificadoras específicas, as quais não possuem comunicação em um padrão reconhecido por computadores, como o RS-232 ou RS-485. No entanto, os relógios comparadores de mercado possuem portas seriais que devem ser "convertidas" para padrões como os anteriormente citados.

Basicamente, ambos os sistemas são compostos de um transdutor de deslocamento (indutivo para o LVDT e eletroótico para o relógio comparador) uma ponte amplificadora (a qual já se encontra no próprio relógio comparador e que deve ser especificada para o LVDT), um sistema de conversão do sinal de saída para o padrão RS-485, o qual se mostrou mais apropriado para as grandes distâncias a serem percorridas pelo sinal entre o transdutor e as caixas de comando, estejam elas na casa de máquinas ou na própria barragem. Uma porta para acoplagem do handheld e/ou um sistema para a entrada dos dados colhidos no computador completam o conjunto.

A partir das especificações, buscaram-se os custos de ambas as opções. O custo do sistema LVDT foi avaliado em R$ 14.000,00 e o novo equipamento com relógio comparador, em R$ 2.700,00. Justifica-se deste modo plenamente a escolha realizada.

D. O Projeto Mecânico da Nova Base do Sensor.

O sistema de medição de deslocamentos escolhido, o relógio comparador digital, possui uma haste pela qual pode ser fixada. O projeto deve então se constituir de um sistema de fixação do relógio comparador, de tal forma que permitisse regulagem de altura para se compensarem desníveis da parede na região da fissura. O projeto do dispositivo para medição em uma direção deveria então atender a estas necessidades e permitir também que fosse usado posteriormente no dispositivo para medição de deslocamentos nas três direções. Sabendo-se também que o sistema não será sujeito a nenhum tipo de carregamento, o projeto foi realizado sem a necessidade de cálculos de resistências de componentes, tensões ou deslocamentos. Apenas com a possibilidade de uma regulagem de altura de 20 mm. O material selecionado para todos os componentes (exceto o parafuso de regulagem) foi o alumínio, por ser mais leve e por ter maior resistência à oxidação.

O protótipo construído possui duas peças de fixação do relógio comparador. Uma pela sua haste, que é inserida num furo com um corte transversal formando duas abas, e com um outro furo para parafuso de aperto, sendo que uma das abas é roscada. Com o aperto do parafuso, forçam-se ambas as abas contra a haste do relógio, fixando o relógio. A outra fixação é com uma braçadeira apenas para dar uma rigidez maior ao corpo do relógio comparador. As duas peças de fixação estão sobre uma chapa com dois furos roscados. Por estes furos, passam dois parafusos, que são fixos a duas colunas laterais, os quais permitem, através do seu giro manual, a regulagem da altura do relógio comparador (ver figura 2). Para que as folgas não comprometam a precisão da medição, os ajustes foram projetados com tolerâncias dimensionais bastante pequenas. Um protótipo seguindo estas especificações já foi fabricado e montado, e se encontra atualmente em fase de testes.

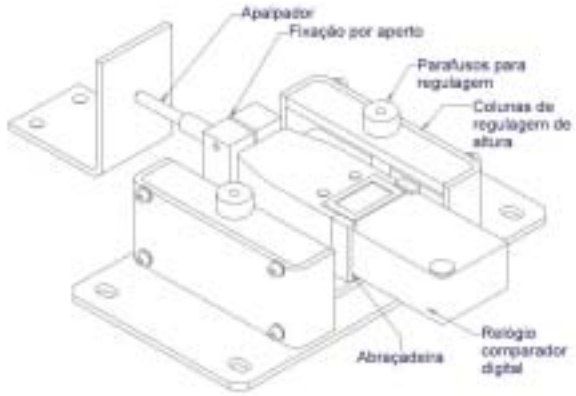

FIGURA 2 - Desenho da nova plataforma com o relógio comparador acoplado a ela.

E. Os Testes Realizados

Para os testes, o protótipo #1 foi montado em uma mesa XY, ou seja, que permite movimentos de precisão e com acompanhamento do posicionamento em dois eixos. Em seguida, fizeram-se uma série de medidas.

A precisão da mesa é de ± 0,1 mm, com erro sistemático de 0,05mm quando se movimentava no lado positivo das medições, devido à folga entre o parafuso sem-fim e a porca de acionamento da mesa no eixo X. Além destes erros, deve-se somar o erro total do relógio comparador, em torno de 0,02 mm. Assim, o erro máximo admissível da medição é de 0,17mm.

As medidas foram tomadas em posição única e sempre no canal 1 do conversor DIGIMATIC - RS-485. É importante salientar também, que as medições foram tomadas a partir do relógio comparador "zerado" na metade do curso do apalpador, ou seja, a 12,5 mm do final de seu curso. Com isto, foi possível tomar tanto as medidas positivas quanto as negativas em uma única posição.

A fim de se obterem algumas estatísticas nas medições, foram realizadas três medidas por posição de forma seqüencial. Estão mostrados nas Tabelas 2 e 3 os valores médios das medições. Compararam-se, também, os valores lidos tanto no visor do relógio comparador quanto na tela do programa de computador. O programa utilizado nestes testes tinha apenas a possibilidade de ler a porta serial e mostrar o resultado desta leitura no monitor. Isto é suficiente, pois está se testando o sistema de medição e de transmissão dos dados obtidos e não propriamente o software.

Tanto os resultados lidos no visor quanto os mostrados no monitor do computador foram iguais. Isto já era esperado, pois o relógio comparador coloca em sua porta de saída um "string" da medição já em milímetros, o que impossibilita qualquer diferença entre o valor lido no visor e no monitor do computador.

TABELA 2
média e desvio padrão das medições realizadas para a validação do novo instrumento medições de 0 a +10 mm. todas as medições estão em mm.

Ref.	Média		Desvio Padrão
	Visor	Monitor	
0,10	0,06	0,06	0,017
0,20	0,14	0,14	0,006
0,30	0,25	0,25	0,012
0,40	0,35	0,35	0,010
0,50	0,45	0,45	0,012
0,60	0,55	0,55	0,010
0,80	0,75	0,75	0,012
1,00	0,94	0,94	0,015
1,20	1,15	1,15	0,010
1,40	1,35	1,35	0,015
1,60	1,55	1,55	0,015
2,00	1,94	1,94	0,015
2,50	2,45	2,45	0,010
3,00	2,94	2,94	0,010
3,50	3,44	3,44	0,006
4,00	3,95	3,95	0,010
4,50	4,46	4,46	0,006
5,00	4,95	4,95	0,015
6,00	5,95	5,95	0,012
7,00	6,95	6,95	0,006
8,00	7,96	7,96	0,015
9,00	8,97	8,97	0,012
10,00	9,96	9,96	0,006

TABELA 3

Média e Desvio Padrão das medições realizadas para a validação do novo instrumento. Medições de 0 a -10 mm. Todas as medições estão em mm.

Ref.	Média		Desvio Padrão
	Visor	Monitor	
-0,10	-0,10	-0,10	0,006
-0,20	-0,20	-0,20	0,006
-0,30	-0,30	-0,30	0,010
-0,40	-0,40	-0,40	0,012
-0,50	-0,50	-0,50	0,012
-0,60	-0,60	-0,60	0,012
-0,80	-0,80	-0,80	0,012
-1,00	-1,01	-1,01	0,010
-1,20	-1,21	-1,21	0,015
-1,40	-1,41	-1,41	0,010
-1,60	-1,61	-1,61	0,010
-2,00	-2,00	-2,00	0,012
-2,50	-2,49	-2,49	0,010
-3,00	-2,99	-2,99	0,006
-3,50	-3,49	-3,49	0,010
-4,00	-3,99	-3,99	0,012
-4,50	-4,50	-4,50	0,012
-5,00	-5,00	-5,00	0,012
-6,00	-6,01	-6,01	0,015
-7,00	-6,99	-6,99	0,012
-8,00	-8,00	-8,00	0,012
-9,00	-9,01	-9,01	0,010
-10,00	-10,01	-10,01	0,010

III. CONCLUSÕES

O projeto apresenta uma alternativa para instrumentar barragens com tecnologia moderna e nacional. A viabilização deste protótipo garantirá o uso maior dos sistemas automatizados que muitas vezes não são viáveis pelo alto custo dos instrumentos.

O sistema mostrou-se adequado e confiável para as medições realizadas, com erro médio abaixo de 0,1 mm, mesmo considerando-se o erro sistemático de 0,05mm, conforme explicou-se anteriormente;

A repetibilidade do instrumento é boa, demonstrado pelo baixo desvio padrão das medidas (todos menores que 0,02 mm).

O sistema de transmissão de dados está aprovado, pois não houve sequer uma medida onde a leitura do mostrador fosse diferente da leitura do computador. Isto já era esperado, pois sistemas de comunicação por portas seriais são bastante conhecidos e utilizados, o que minimizava o risco do projeto.

O sistema está aprovado para testes laboratoriais mais precisos que simulem de forma mais real as situações vivenciadas em campo.

IV. AGRADECIMENTOS

O LACTEC agradece aos co-autores Antônio César e Antônio Carlos, aos consultores, Armando Albertazzi Jr e Selmo Chapira Kuperman, pela orientação técnica e científica dos estudos, ao bolsista de mestrado Vander Yamauchi e ao bolsista de graduação Mardon Borges Mendes pela dedicação e esforço.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] II SIMPÓSIO SOBRE INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS. “Auscultação e Instrumentação de Barragens no Brasil. Volume 1. Belo Horizonte, 1996.

[2] M. O. Guerra, A. C. Fanton e A. C. F. Rainho, “Computação Gráfica Aplicada à Auscultação de Barragens”. Apresentado no II SIMPÓSIO SOBRE INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS, CBGB. Belo Horizonte, 1996.

[3] Catálogo de Produtos: HEINDEHAIN, Divisão de Precisão, Sistemas Lineares de Medição, Apalpadores de medição, Sistemas Angulares de Medição, Geradores de Impulsos Rotativos, Comandos Numéricos, Apalpadores 3D, Visualisadores de Cotas. Dr. Johannes Heidenhain Strasse 5, 83301 Traunreut, Germany: Dr. Johannes Heidenhain GmbH.

[4] Catálogo de Produtos. Laboratório CESP de Engenharia Civil. Av. Perimetral Norte s/n, Caixa Postal 145 (CEP 15385-000) – Ilha Solteira – SP.

[5] Catálogo de Produtos. 3D Electrical Displacement Meter Model TRI-SYS. Rocktest e Telemac, ROCTEST LTD - 665, Pine Avenue, St-Lambert, QC J4P 2P4, Canada.

[6] Catálogo de Produto: “About LVDT Linear Position Sensors”, 350 Jordan Rd. Troy, NY (USA 12180): GlobalSpec Inc.

[7] Catálogo de Produto: “Economical LVDT’s with In-Line Signal Conditioner”, Omega Engineering, Inc. Set.2002.