

## **PROJETO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO (P&D) PARA A AUTOMAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO DAS OBRAS CIVIS DA UHE TUCURUÍ**

Luís Augusto Conte Mendes VELOSO

Professor – Dep. de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará.

Remo Magalhães DE SOUZA

Professor – Dep. de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará.

José Walton de Brito BICHARA

Técnico – Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A, ELETRONORTE.

Gilson MACHADO da Luz

Engenheiro Civil – Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A, ELETRONORTE.

### **RESUMO**

Apresenta-se o projeto de pesquisa intitulado “Sistema de Segurança de UHE Tucuruí: Automação da Instrumentação das Estruturas Civas da Usina” aprovado no ciclo 2005-2006 do programa de P&D ANEEL. O projeto visa buscar alternativas para automação da instrumentação das obras civis da usina. A idéia básica consiste em adaptar sensores na instrumentação existente de modo que o sinal gerado possa ser automaticamente lido por um sistema de aquisição de dados, desenvolvido especialmente para grandes UHE’s. Para isso, serão realizadas alterações no software de controle de dados da instrumentação utilizado pela ELETRONORTE para compatibilização com o sistema proposto. Com a realização deste trabalho espera-se contribuir para o desenvolvimento de tecnologias totalmente nacionais para automação da instrumentação de barragens.

### **ABSTRACT**

This paper presents the research and development project entitled “Safety System of Tucuruí Hydroelectric Power Plant: Automation of the Instrumentation of Civil Structures of the Plant” approved in the 2005-2006 research period of ANEEL P&D program. The project intends to study alternatives for automation of the instrumentation of civil structures of Tucuruí hydroelectric power plant. The basic idea of the research project consists in adapting sensors in the existent instrumentation, such that the signal generated by these sensors can be automatically read by an acquisition system, developed specially for large hydroelectric power plants. For this purpose, modifications in the data control software used by ELETRONORTE will be performed, to make it compatible with the new proposed automatic system. After this work is finished, it is hoped that it can contribute to the development of entirely national technologies for automation of dam instrumentation.

## 1. INTRODUÇÃO

As barragens necessitam de um programa de avaliação permanente de suas condições de segurança, por se tratarem de obras de grande vulto, com custos elevados de implantação, e também devido à magnitude dos prejuízos financeiros, ambientais e da perda de vidas humanas que podem vir a ocorrer, no caso de sua ruptura.

Além disso, ao longo da vida útil das barragens, existem alterações dos fatores ambientais e degradações dos materiais que podem vir a mudar as suas condições de segurança.

Tradicionalmente no Brasil, a auscultação dessas obras vem sendo realizada empregando-se centenas e, em alguns casos, milhares de instrumentos instalados, lidos manualmente pela equipe técnica de leituristas. No caso da UHE Tucuruí, a mínima periodicidade para a leitura dos instrumentos instalados nas barragens de concreto é de um dia e a máxima é de seis meses.

Piasentin [1] considera uma freqüência ótima quando no mínimo 80% da instrumentação é lida de acordo com as recomendações do ICOLD (International Commission on Large Dams) ou de órgãos oficiais, ou conforme recomendados por estudos de engenheiros especialistas certificados.

Assim, devido ao grande número de instrumentos instalados nas grandes barragens, os quais requerem grande esforço para a leitura desses instrumentos, bem como das inúmeras vantagens obtidas com um sistema de monitoração *on-line*, a automação da instrumentação de barragens tem sido uma nova tendência buscada pelo meio técnico nacional.

Dentre as principais vantagens obtidas com o processo de automação da instrumentação, pode-se citar:

- a) leituras instantâneas e, portanto, maior rapidez na detecção de situações anômalas;
- b) melhora na documentação dos dados, pois os dados serão diretamente armazenados em arquivos eletrônicos, evitando anotações em papel seguido de digitação, pois este processo é bastante suscetível a falhas;
- c) disponibilização dos dados para todos os membros da equipe responsável pela auscultação, pois os resultados podem ficar disponíveis por meio de uma rede de computadores, de tal forma que vários membros da equipe tenham acesso a estes dados simultaneamente;
- d) maior capacidade de análise dos dados, pois será possível traçar gráficos em tempo real, fazer comparações e correlações entre as medidas.

Diante deste contexto, apresentou-se o projeto de pesquisa e desenvolvimento tecnológico (P&D) intitulado “Sistema de Segurança de UHE Tucuruí: Automação da Instrumentação das Estruturas Civas da Usina” aprovado para execução no ciclo 2005-2006 do programa de P&D da ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica.

O projeto foi iniciado em agosto do ano passado e terá duração de 29 meses, visando, principalmente, buscar alternativas para a automação da instrumentação das obras civis da usina.

Com a realização desse trabalho espera-se contribuir para o desenvolvimento de tecnologias inteiramente nacionais para a automação da instrumentação das estruturas civis de grandes barragens, resultando na melhora nos procedimentos de auscultação e contribuindo para maior segurança estrutural de grandes barragens.

## 2. METODOLOGIA

Como se trata de uma usina já em operação com instrumentação convencional, é necessária a instalação de sensores na instrumentação existente de modo que o sinal gerado pelo sensor possa ser automaticamente lido por um sistema de aquisição de dados sem a interferência humana.

Um dos objetivos do projeto é desenvolver adaptações para os principais tipos de instrumentos instalados na UHE Tucuruí, tais como: pêndulo direto, piezômetros, medidor tri-ortogonal de junta, extensômetro múltiplo de haste, medidor de vazão, termômetros, rosetas de extensômetros, medidores de níveis de montante e jusante.

Como plataforma de teste do sistema de monitoração proposto foi escolhido o bloco de concreto gravidade BGII, por se tratar de um dos blocos mais instrumentados da usina. Está prevista a automação de pelo menos dois instrumentos de cada tipo desse bloco e do único pêndulo direto do bloco.

O sistema de aquisição de dados para grandes barragens dotadas de vários instrumentos deve possuir duas características comumente não encontradas nos sistemas de aquisição de dados convencionais: grande quantidade de canais de leitura e o uso de uma tecnologia adequada para evitar erros de medição provocados pelos grandes comprimentos de cabos, uma vez que os instrumentos podem situar-se bem distantes uns dos outros.

Devido à ausência de sistemas de aquisição de dados com essas primordiais características no mercado brasileiro, se buscará, neste projeto, o desenvolvimento de um sistema de aquisição que possa ser utilizado na UHE Tucuruí e também em grandes barragens do país.

O software GESTIN®, atualmente empregado pela equipe de auscultação e análise de segurança estrutural da UHE de Tucuruí sofrerá modificações de modo a ficar compatível com o novo sistema de aquisição que será desenvolvido.

Por fim, será feita uma análise do comportamento mecânico do bloco BGII por meio do Método dos Elementos Finitos, no intuito de se especificar valores de alerta e valores limites. Para isso, serão utilizadas técnicas de re-análise, baseando-se nas leituras da instrumentação ao longo dos anos de operação da UHE Tucuruí, desde a sua construção. Esses valores de alerta e valores limites serão introduzidos no software GESTIN®.

A seguir, encontra-se uma descrição mais detalhada dessas etapas.

## 2.1 ADAPTAÇÃO DE SENSORES NA INSTRUMENTAÇÃO

Na adaptação dos sensores se utilizará a idéia empregada na UHE Itaipu, onde nos instrumentos automatizados, as leituras podem também ser realizadas pelos meios tradicionais, conforme apresentado em [2]. Assim, no caso de obtenção de leituras duvidosas, as leituras podem ser aferidas da maneira convencional.

Algumas adaptações são mais imediatas como no caso do medidor tri-ortogonal de juntas, figura 1, onde basta adaptar três transdutores de deslocamentos do tipo LVDT (Linear Variable Displacement Transducer), figura 2, os quais possuem excelente precisão, em orifícios feitos próximos ao local de fixação do micrômetro utilizado nas leituras convencionais.



FIGURA 1: Medidor tri-ortogonal de juntas



FIGURA 2: Transdutor de deslocamento tipo LVDT

Além da grande precisão desse tipo de sensor, o LVDT praticamente não apresenta problemas com sua durabilidade, pois seu mecanismo de funcionamento é baseado na indução eletromagnética e seus componentes básicos são bobinas, e a haste é móvel, conforme pode ser visto em [3].

No caso do extensômetro múltiplo de haste, a automação também será realizada com transdutores de deslocamento tipo LVDT. Entretanto, a adaptação deverá permitir as leituras por meio tradicional com micrômetro. Para isso, a solução adotada deverá ser semelhante à apresentada em [4], onde a cabeça de fixação das hastes foi prolongada para a adaptação dos sensores (figura 4).



FIGURA 3: Extensômetro múltiplo de haste com leituras convencionais feitas por micrômetro



FIGURA 4: Extensômetro múltiplo de haste com leituras automatizadas, apresentado em [4]

Para o caso dos piezômetros se utilizará transdutores de pressão para a automação das leituras (figura 5), envolvendo soluções de três tipos. No caso em que o NA estiver abaixo da cota superior do tubo, o transdutor de pressão será instalado na cota inferior do tubo. No segundo caso, o transdutor será instalado diretamente no manômetro (figura 6). Finalmente, quando o NA oscilar entre níveis abaixo e acima da cota superior do tubo, o transdutor será instalado dentro do tubo, porém haverá uma válvula junto ao manômetro para permitir a saída do ar e impedir a saída da água pela cota superior do tubo.



FIGURA 5: Transdutores de pressão comerciais

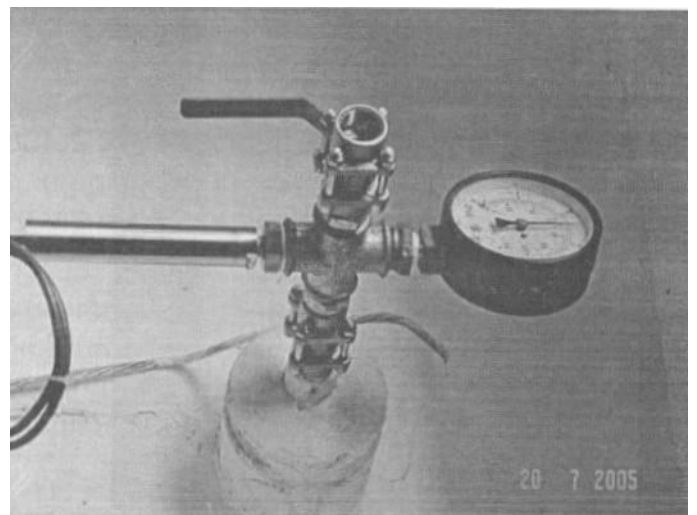


FIGURA 6: Automação de piezômetro com NA superior a cota superior do tubo, apresentado em [4]

A solução dos medidores de vazão e medidores de níveis de montante e jusante deverá ser semelhante à adotada para o caso dos piezômetros com NA abaixo da cota superior do tubo, onde os transdutores de pressão serão instalados submersos e a variação da pressão medida corresponde à variação do NA.

Os termômetros e as rosetas de extensômetros elétricos não necessitarão da instalação de transdutores para ter suas medidas automatizadas uma vez que já se tratam de sensores elétricos (figura 7). Para a automação desses instrumentos, basta fazer a leitura direta com o sistema de aquisição, e no caso das rosetas de extensômetros, aplicar um condicionamento no sinal (filtragem e amplificação) e eliminação do multiplexador (figura 8), o qual é atualmente utilizado para leituras manuais com mostrador digital.



FIGURA 7: Fotografia de um termômetro usado na UHE Tucuruí



FIGURA 8: Multiplexador utilizado para leituras de extensômetros elétricos na UHE Tucuruí

Certamente o pêndulo direto é o instrumento que requer um dispositivo de adaptação mais bem elaborado, pelas características desse instrumento (figura 9). A solução adotada utilizará dispositivo a laser para a leitura dos deslocamentos sofridos pelo fio metálico do pêndulo.



FIGURA 9: Fotografia do pêndulo do bloco BGII da UHE Tucuruí

## 2.2 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO

As grandes distâncias que podem ocorrer entre os instrumentos das barragens dificultam a utilização de sistemas de aquisição de dados comumente encontrados no mercado. Isto porque, neste caso, implicar-se-ia na utilização de grandes comprimentos de cabos ligando os transdutores ao sistema de aquisição, conforme pode ser observado no esquema da figura 10.

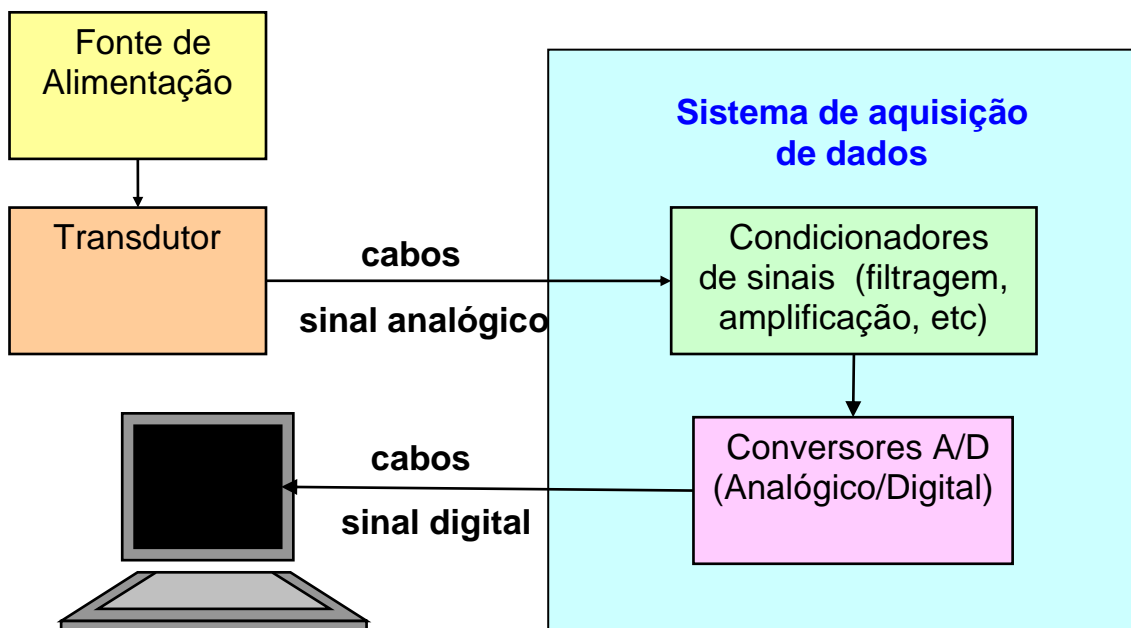


FIGURA 10: Desenho esquemático de um dispositivo convencional de aquisição de dados

Sabe-se que para grande maioria dos transdutores o comprimento pode influenciar no valor medido, implicando em erros de medição. Para se ter uma idéia, no caso de um extensômetro elétrico ligado por meio de um cabo de 100 metros de 0,14 mm<sup>2</sup>, o erro cometido é de -17,5% se não for usado um mecanismo de compensação de erros adequado, conforme pode ser encontrado em [5].

Esse fato é justificado devido o sinal emitido pelos transdutores ser analógico e, portanto, sujeito a atenuação e interferência. Após a conversão de sinais de analógico para digital, realizado pelo conversor A/D na unidade de aquisição, os dados podem ser transmitidos a grandes distâncias sem sofrer esses fenômenos.

O sistema desenvolvido no projeto consistirá de várias unidades de aquisição próximas a um transdutor ou grupo de transdutores de modo que o sinal analógico percorra pequena distância até a unidade de aquisição, figura 11. Após a conversão do sinal analógico em digital haverá a transmissão dos dados a longas distâncias até a rede da empresa, onde por sua vez, os dados serão gerenciados pelo software GESTIN<sup>®</sup> que será modificado de forma a se compatibilizar com o novo sistema proposto.

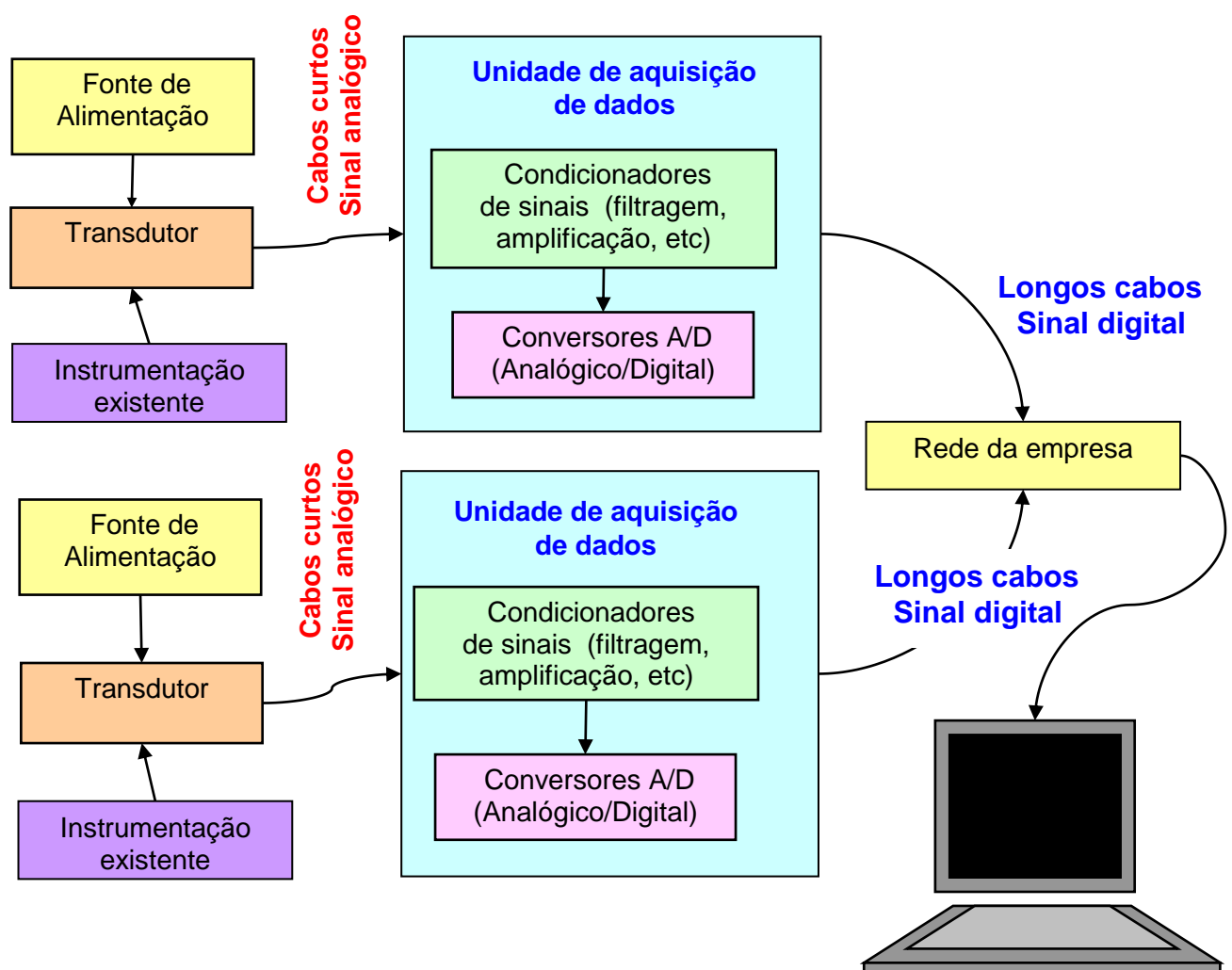


FIGURA 11: Desenho esquemático do sistema de aquisição a ser desenvolvido



### 2.3 ADAPTAÇÃO DO SOFTWARE

Atualmente o gerenciamento dos dados da instrumentação da UHE Tucuruí, bem como das demais usinas da ELETRONORTE, é realizada por meio do software GESTIN®.

Este software possui um banco de dados no formato MICROSOFT-ACCESS® onde os dados da instrumentação são introduzidos no banco de dados por meio da digitação em máquinas-clientes.

Com o novo sistema proposto, as alterações deverão possibilitar que o GESTIN® busque os dados na rede de computadores da empresa. Além disso, o software terá de converter as grandezas medidas em Volts para unidades convencionalmente usada em engenharia (figura 12). Essa transformação é conseguida a partir da curva de calibração de cada transdutor.

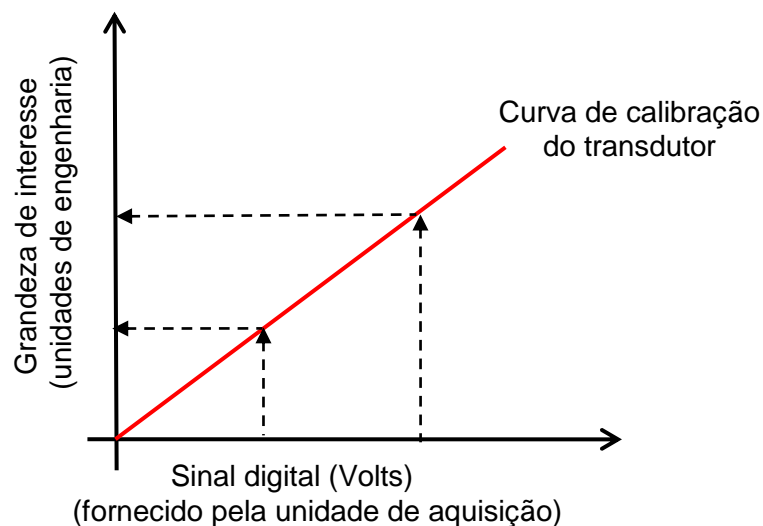


FIGURA 12: Transformação da grandeza medida em Volts em unidades de engenharia

### 2.4 ATUALIZAÇÃO DOS VALORES LIMITES E DE ALERTA

Nesta fase do trabalho serão reavaliados os valores limites e de alerta propostos ainda na fase de projeto e construção da usina. Para isso, serão utilizados modelos numéricos baseados no Método dos Elementos Finitos, bem como análises estatísticas dos dados da instrumentação da usina.

A calibração do modelo será realizada empregando-se técnicas de re-análise utilizando como parâmetros os resultados da instrumentação na fase de enchimento do reservatório, e resultados de análises por Elementos Finitos (figura 13).

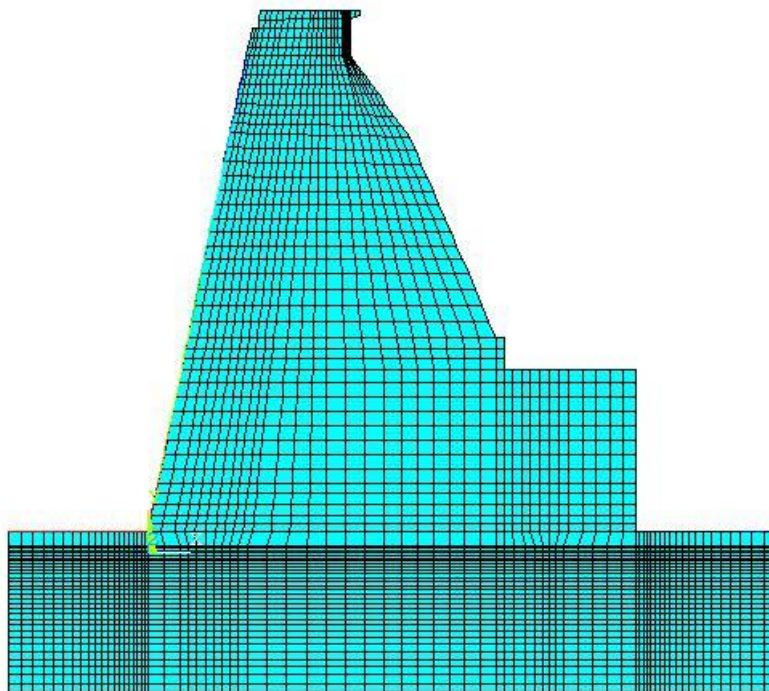


FIGURA 13: Modelo numérico do bloco BGII

Nos estudos estatísticos serão realizadas análises fatoriais para se determinar quais medidas, tais como: níveis d'água de montante e jusante, subpressão, temperatura do lago, por exemplo, influenciam numa dada medida de interesse. Definindo-se quais são os fatores relevantes, se buscará a correlação entre esses fatores e a medida do instrumento de interesse. Assim, com a utilização de critérios de segurança será possível a obtenção de valores limites e de alerta mais realistas, considerando as leituras realizadas desde o início da operação da usina.

### 3. CONCLUSÕES

Sabe-se que a automação da instrumentação de barragens não é uma tarefa fácil, pois engloba conhecimentos de várias especialidades da Engenharia Civil, bem como da Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações. Entretanto, a automação da instrumentação de barragens tem sido uma nova tendência devido aos grandes avanços da Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações nos últimos anos, fazendo com que novas tecnologias estejam disponíveis na área de instrumentação e automação a custos cada vez menores, bem como das inúmeras vantagens que um sistema de monitoração on-line pode proporcionar para melhora dos procedimentos de auscultação de barragens.

Por isso, acredita-se que a realização deste trabalho, juntamente com outros que vêm sendo desenvolvidos em outras regiões do Brasil, contribuirá para aumentar a barreira do conhecimento na área de instrumentação de barragens brasileiras, mantendo nosso país como referência mundial na área de barragens.

#### 4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a ELETRONORTE pelo apoio financeiro à pesquisa, de acordo com o programa de P&D ANEEL, aprovada no ciclo 2005-2006.

#### 5. PALAVRAS-CHAVE

Instrumentação de barragens, automação, segurança, valores limites, simulação computacional.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PIASENTIN, C. (2005) – “Um Índice para Avaliação do Nível de Auscultação de Barragens”. Anais do XXVI Seminário Nacional de Barragens. Goiânia.
- [2] FIORINI, A; PORTO, E; LOPEZ, M; SILVEIRA, J. (2006) – “ADAS – O Sistema de Aquisição Automática de Dados da Instrumentação Civil da Barragem de Itaipu”. Anais do III Simpósio sobre Instrumentação de Barragens. São Paulo.
- [3] ALMEIDA, P. A. de O. (2004) – “Transdutores para a Medida de Deslocamentos Lineares”. Notas de aula de PEF-7594 – Análise Experimental de Estruturas da EPUSP. São Paulo.
- [4] PORTO, E; OSAKO, C; MESCOLIN, H; MATOS, S. (2006) – “Lições Aprendidas Durante o Fornecimento e a Instalação do Sistema de Automação Parcial da Instrumentação da Barragem de Itaipu”. Anais do III Simpósio sobre Instrumentação de Barragens. São Paulo.
- [5] HOFFMANN, K. (1989) – “An Introduction to Measurements Using Strain Gages.” Livro editado por Hottinger Messtechnik GmbH. Darmstadt.