



## Estudo de viabilidade da implantação do *CompactRIO* em sistemas de Segurança de Barragens

**Ernesto W. Molina Antelo Jr**

**CEASB**

**Elvis Albarello**

**CEASB**

**Brasil**

**Maurício Menon**

**ITAIPU**

### RESUMO

A usina hidrelétrica de Itaipu é a líder mundial em produção de energia elétrica, tendo produzido mais de 2,3 bilhões de *MWh* desde o princípio de sua operação. Devido ao seu porte e a necessidade de que a usina opere de forma segura e confiável, observa-se a necessidade de monitoramento remoto em diversos setores de sua instalação. O SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) aliado ao sistema de aquisição automático, são os sistemas responsáveis por este monitoramento. Juntos eles conseguem fornecer em tempo real uma inspeção completa da hidrelétrica, monitorando as condições elétricas e mecânicas das unidades geradoras e também os dados provenientes do sistema de auscultação, contando com um banco de dados e histórico de eventos. A auscultação é o conjunto de atividades executadas para examinar o comportamento da estrutura da barragem e suas fundações, controlar as condições de segurança do local, verificar a validade das hipóteses e métodos de cálculo utilizados no projeto da estrutura e analisar as necessidades de medidas corretivas. O objetivo do sistema de aquisição atual, portanto, é fornecer dados para que tal atividade seja feita. Este sistema coleta e transmite dados estruturais em uma rede supervisória, de forma automatizada, por meio de um sistema de instrumentos e sensores.

A estrutura, os equipamentos e os *softwares* utilizados para as medições do sistema de aquisição automática de dados, apesar de estarem em estado razoável de funcionamento, encontram-se demasiadamente defasados. Através da pesquisa feita para o presente trabalho, verificou-se a necessidade da ampliação do número de sensores e transdutores automatizados além da atualização de diferentes partes do sistema. Os *softwares* comerciais utilizados nos sistemas anteriormente mencionados, estão defasados pois já não possuem atualizações ou correções. O *hardware* utilizado pelo sistema apresenta uma diminuição considerável do tempo médio entre falhas, provavelmente devido à sua contínua utilização ao longo dos anos. O armazenamento de dados, é feito por discos rígidos da época em que o sistema foi instalado, possuindo velocidade e capacidade de armazenamento totalmente defasadas e o *datalogger* aplicado já está fora de linha, sem contar que os requisitos de projeto para uma rede de sensores, como tolerância a falha, escalabilidade, custos, ambiente de operação, topologia, restrições de *hardware*, meio de transmissão e consumo de energia, mudaram consideravelmente nos últimos anos.



XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

O CEASB (Centro de Estudos Avançados em Segurança de Barragens) em convênio com a Unioeste, tem como objetivo pesquisar e desenvolver soluções para a melhoria do processo de monitoramento de barragens. Na pesquisa realizada, que será explanada ao decorrer do artigo, foi estudada a implantação de *Dataloggers* mais recentes, como os da família *CompactRIO* da *National Instruments*, que permitem a utilização de ferramentas como o *Labview* e um elevado grau de customização. Tais sistemas facilitariam o estudo da aplicação de esquemas de conservação de energia que podem ser aplicados na comunicação, como diminuir o intervalo entre as transmissões e enviar somente as informações diferenciais.

O *CompactRio* é um equipamento modular, ou seja, permite a escolha específica dos módulos de interesse para a aplicação. Os novos protocolos de comunicação e automação que surjam no mercado podem ser facilmente adicionados e utilizados pelo equipamento através da compra de novos módulos, dando um grande poder de customização para o usuário.

O equipamento permite o desenvolvimento em linguagens de programação tradicionais, como C, C++ e Java, além do *Labview*. Ou seja, permite que este atue em situações de moderada complexidade tendo um desenvolvimento funcional rápido com o *Labview* ou também, podendo ser utilizado aplicações mais complexas, que necessitem de otimização ou uma programação mais detalhada em outras linguagens.

Devido à flexibilidade de utilização do *CompactRio*, foram estudados os módulos e acessórios necessários para a continuidade da pesquisa, que tem como foco a implantação de um sistema que visa aumentar a eficiência, confiabilidade e segurança dos dados recebidos, além de garantir que o investimento para esta expansão tenha utilidade em outras linhas de pesquisa do CEASB e Laboratório de Automação. Vê-se então a extrema importância da ampliação e atualização do sistema de aquisição automática de dados, através do projeto de um sistema de aquisição e compressão que melhor atenda às necessidades do monitoramento da barragem, utilizando o avanço tecnológico da área de redes de sensores.

## **PALABRAS CLAVES**

Itaipu; SCADA; SISTEMA DE AQUISIÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS; CompactRIO; Datalogger; Redes; Sensor; Auscultação.



## 1 INTRODUÇÃO

A geotécnica teve seu início nos anos em 1930 com o intuito de utilizar instrumentos hidráulicos e mecânicos para sua análise. Auscultação é um processo de instrumentação para observar, detectar e caracterizar o comportamento da barragem junto das suas estruturas auxiliares, ela é realizada por intermédio de inspeções visuais e uma análise qualitativa através de diversas pericias periódicas em campo. [1]

A usina hidrelétrica de ITAIPU é uma das maiores usinas do mundo. Sua barragem segue um critério rigoroso no quesito de investigação e pericia da rocha da fundação em relação aos materiais utilizados em sua construção, com uma gestão de qualidade periódica de suas instalações [2]. O controle de qualidade é feito através de aproximadamente 2400 instrumentos com leituras feitas desde sua construção com uma periodicidade. A usina vem se atualizando conforme os anos e em 2005 foi implantado o atual sistema de medição em parte dos equipamentos. Este realiza a coleta de dados automaticamente. A modificação do sistema foi realizada em 10% dos instrumentos com maior relevância para que as leituras sejam feitas em cada 30 minutos [3].

Conforme as pesquisas realizadas e avanços tecnológicos a ITAPU em parceria com a Fundação PTI deu início ao CEASB (Centro de Estudos Avançados em Segurança de Barragens) onde são realizadas pesquisas em diversas áreas de processamento integrado de dados com realidade aumentada, modelagem 3D, geotécnica, instrumentação e realidade virtual.

Após estudos realizados pelo CEASB, foi proposto a utilização de novos equipamentos acoplados junto ao SISTEMA DE AQUISIÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS para o aumento e melhoria do sistema de captação de dados. Um dos estudos que está sendo realizado se dá na incorporação do sistema CompactRIO.

## 2 SISTEMA DE AQUISIÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS

O sistema de aquisição automática de dados visa monitorar o comportamento estrutural da barragem de Itaipu, em tempo real, por meio de um sistema de medição automatizado, com instrumentos e sensores, de modo que haja a aquisição periódica de dados com frequência definida pelo usuário.

Suas instalações se dão da seguinte forma: conjuntos de sensores são conectados às Unidades de Aquisição Remotas (UAR), para que então informações sejam automaticamente transmitidas à Estação Central (CDA) onde ocorre seu tratamento, armazenamento e processamento, podendo ser visualizadas através de uma Estação do Usuário (ECA). Em [3] pode-se verificar as propriedades e características do sistema de aquisição automática de dados, que serão expostas a seguir.

Ele é composto por mais de 300 pontos de medição, através de diferentes tipos de sensores conectados aos instrumentos pré-existentes e a outros novos; coleta de dados rápida e segura, com frequência definida pelo usuário e pelas UAR, com transferência de informações entre elas ou para a Central de Controle e Processamento do sistema, chamada de CDA; para a análise e interpretação das magnitudes medidas, é utilizado um software customizado que está instalado nas ECA, sendo

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

que este possui ferramentas para a avaliação dos dados do estado e desempenho das estruturas civis e das fundações da usina.

O sistema de aquisição automática de dados é dividido em subsistemas, sendo eles: Subsistema de Unidades de Aquisição Remota (UAR); o subsistema de sensores e instrumentos; subsistema de comunicação, controle e processamento central; subsistema de alimentação. O subsistema de instrumentação é responsável por gerenciar a interface de conexão das UAR com o campo, onde estão localizados os sensores. Os dados adquiridos nas UAR são processados e enviados para as CDA, onde se encontram as ECA para que o usuário possa ter acesso direto às informações.

Os principais subsistemas são os de instrumentação e controle/comunicação. As UAR são responsáveis por funções como: supervisão do estado dos instrumentos e sensores; supervisão das leituras realizadas, armazenamento e processamento de dados; transporte de dados para as CDA; diagnóstico de falhas e geração de alarmes. Nesta, estão presentes seguintes componentes do sistema de aquisição atual: multiplexador; datalogger modelo CR10X da Campbell Scientific (fora de linha); interface para sensores de corda vibrante Campbell Scientific; modem de baixo alcance; conversor RS232 para RS485; controlador de carga; fonte de alimentação.

O subsistema de comunicação, controle e processamento, é considerado o núcleo do sistema de aquisição automática de dados. Neste, os dados adquiridos provenientes das unidades remotas são armazenados e processados para então, serem convertidos em unidades de engenharia, havendo a possibilidade de back-up de restauração de dados. Neste subsistema, também é realizada a configuração e parametrização de equipamentos na UAR, a exibição de dados para o usuário através das ECA e a comunicação com outros sistemas. Para as configurações necessárias, são necessários os seguintes softwares: Sistema operacional: Microsoft Windows Server 2000; Gestor de base de dados: Microsoft SQL Server 2000; Software de aplicação: INDACO (da empresa italiana Enel.NewHydro); Base de dados: Própria; Base de dados de intercâmbio: MS SQL Server 2000.

### 3 SISTEMA COMPACTRIO

No âmbito de equipamentos modulares de última geração, com grande poder de processamento e inúmeras funcionalidades, além ferramentas de desenvolvimento e pesquisa, encontra-se a família de *Hardware CompactRIO*, fornecida e desenvolvida pela fabricante National Instruments (NI). Embora esteja disponível no mercado uma grande gama de equipamentos tradicionais (*dataloggers*), somente a National comercializa um equipamento robusto capaz de obter dados, processar e envia-los através dos protocolos wireless ou via cabo mais modernos do mercado.

O CompactRIO é um sistema de controle incorporado e de aquisição reconfigurável que pode ser usado em uma variedade de aplicações de monitoramento e controle. A arquitetura robusta de hardware desse sistema inclui módulos de E/S um chassi FPGA (field-programable gate array) reconfigurável e um controlador incorporado. O equipamento possibilita o desenvolvimento em diversas linguagens de programação, como C, C++ e Java, além do Labview. Isso permite que o

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

usuário rapidamente desenvolva uma rotina de comunicação e implemente com o LabVIEW, além de possibilitar uma implementação mais detalhista e otimizada com outras linguagens.

Como mencionado anteriormente, o chassi adquirido modelo cRIO-9118 possui o FPGA Virtex-5 LX110. FPGAs são circuitos integrados e facilmente configurados pelo usuário ou projetista. Diferentemente de chips convencionais, que já vêm pré-programados de fábrica, os FPGAs podem ser configurados de diversas formas para exercer diferentes funções lógicas. Dentro das FPGAs existem células lógicas que, através da gravação de um código gerado pelo usuário, implementam funções lógicas desejadas de forma paralela. Isto faz com que novamente, esses chips sejam superiores a processadores normais. Enquanto um processador convencional lê as linhas de um programa gravado na memória do computador, de forma gradativa, as FPGAs implementam o código em sua estrutura de células lógicas e realizam as funções de forma paralela, sendo ideais para aplicações com grande fluxo de dados.

Para a programação das FPGAs presentes nos chassis, é necessária a utilização do módulo de programação FPGA LabVIEW (*NI LabVIEW FPGA Module*). Um exemplo simples de implementação da FPGA presente no equipamento CompactRIO, que ilustra de forma clara a natureza de funcionamento paralela destas, seria a configuração de uma E/S analógica para que esta envie um sinal analógico e simultaneamente, leia este sinal.

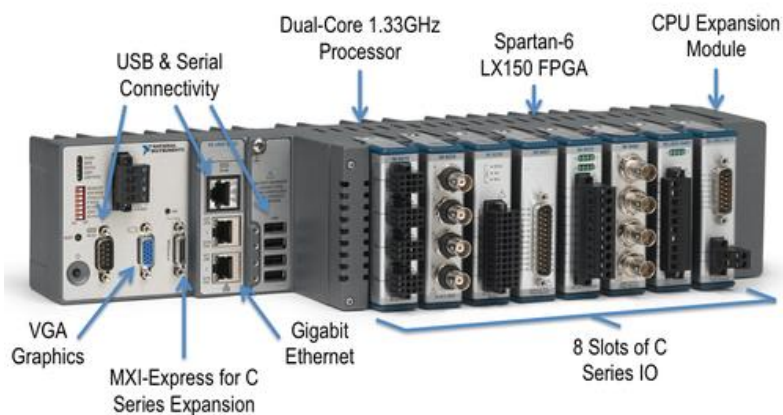
Dentre os equipamentos adquiridos tem-se:

- Bloco de terminais de parafusos de montagem frontal para módulos D-Sub de 37 pinos - NI 9923
- Bloco frontal de terminal spring para 6 modulos ligados - NI 9973
- cabo D-Sub 37 pinos blindado - NI SH37F-37M
- Capa para proteção dos sinais WSN - NI WSN 3291
- Controlador (*real time controller*) compactRIO-9025
- Chassi compactRIO-9118
- Modulo de entradas analógicas 24 bits - NI 9219
- Modulo de entradas analógicas -NI 9207
- Modulo de entradas e saída analógicas 0 a 5V -NI 9381
- Modulo de saidas analógicas 4ch - NI 9265
- Modulo RS482 e 422 com 4ch - NI 9871
- Modulo WSN - NI 9795
- Modulo WSN - NI WSN 3231
- Modulo WSN para entradas analógicas - NI WSN 3226
- Modulo WSN para RS232 - NI WSN 3230
- Slot de Módulo C Series Filler - NI 9977

O chassi cRIO-9118 pode ser considerado o coração do sistema CompactRIO pois ele contém o núcleo E/S reconfigurável. Neste, é programado o núcleo RIO FPGA, que tem uma conexão

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

individual para cada módulo de E/S, com funções elementares simples de usar, habilitando a leitura ou escrita de informação do sinal em cada módulo. Não há qualquer barramento de comunicação compartilhado entre o núcleo RIO FPGA e os módulos de E/S, possibilitando a sincronização precisa de operações em cada módulo com resolução de 25 ns. Este, é ligado com o Controlador (*real time* controller) compactRIO-9025 através de uma interface de barramento PCI local. Tipicamente, o controlador em tempo real, é utilizado para converter os dados de E/S com base em número inteiro para números em escala de ponto flutuante. Além disso, este equipamento pode realizar o controle de um único ponto, análise de forma de onda, *data logging* e comunicação Ethernet/serial. O chassi reconfigurável, controladora de tempo real, e módulos I/O se combinam para criar sistema embarcado autônomo e com muito potencial.



**Figura 1 - Equipamento da família CompactRIO montado. (Imagem retirada do site da National Instruments)**

#### 4 IMPLANTAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS ADQUIRIDOS

Como dito anteriormente A plataforma CompactRIO pode ser utilizada em diversas aplicações que requerem E/S de alta velocidade, processamento em tempo real ou controles demasiadamente complexos. Com a incorporação do módulo WSN NI 9795, e através do LabVIEW, pode-se criar um ambiente de monitoramento e controle completo, com fio e sem fio. Para a comunicação do CompactRIO com o módulo WSN são necessários os seguintes softwares: NI LabVIEW; NI LabVIEW Real-Time Module; NI-RIO Driver Softwares; NI LabVIEW FPGA Module; NI LabVIEW Wireless Sensor Network Module.

O módulo WSN da NI simplifica o monitoramento remoto e cria soluções completas e customizáveis, além de reduzir custos de instalação e manutenção, tendo também, um baixo consumo de energia. Os módulos consistem em três componentes principais: nós, gateways e software. Os nós de medição, são espacialmente distribuídos e alimentados através de baterias. Estes fazem a interface do módulo com os sensores. Os dados são transmitidos pelo gateway, que podem funcionar de forma independente ou conectados com um sistema de host onde estes dados podem ser coletados e processados pelo software. Utiliza-se o módulo WSN do LabVIEW para a configuração deste módulo. Este, pode ser plugado em qualquer slot no chassi CompactRIO para promover a conexão wireless com até 36 nós WSN e através da interface de escaneamento NI RSI

(RIO Scan Interface), pode-se ter leituras em tempo real com o LabVIEW, onde pode-se integrar as E/S WSN com o sistema de controle e medições do CompactRIO.

## 5 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Apesar da eficácia e do grande passo tecnológico que foi a instalação do sistema de aquisição automática de dados, pode-se observar que certos aspectos deste sistema estão defasados e perdendo a funcionalidade. O *software* para a configuração das UARs e dos equipamentos utilizados no sistema, são fechados e necessitam de treinamento para a utilização, além disso ele está defasado e por isso, não possui suporte. O *hardware* possui mais de 10 anos, sendo relativamente velho para um equipamento eletrônico, tanto por vida útil quando por defasamento tecnológico. Além disso, um dos principais equipamentos do sistema atual, o *datalogger* CR10X, foi descontinuado, sendo então, impossível a sua reposição em caso de falhas.

Existe um grande contraste com equipamentos nos quais o desenvolvimento é feito exclusivamente pelo fabricante. A possibilidade de configuração do equipamento através de programas *user-friendly* como o LabVIEW e seus módulos *Real-Time*, pode ser usado para aplicações incorporadas que rodam com controlador do CompactRIO, oferecendo assim, o processamento e análise de dados em tempo real. Outro exemplo é o módulo FPGA do LabVIEW, que é utilizado para a comunicação com o chassi FPGA, possibilitando a performance de controle em malha fechada com sincronismo no hardware com alta velocidade.

Devido ao CompactRio ser o membro exclusivo do grupo de equipamentos que rompe o antigo paradigma de obtenção de dados de equipamentos com baixo volume de dados, o grupo de automação estudou os módulos e acessórios necessários, em parceria com o CEASB, para a continuidade da pesquisa de um sistema para aumentar a eficiência, confiabilidade e segurança dos dados de barragens, além de garantir o investimento em um equipamento que tenha utilidade em outras linhas de pesquisa do CEASB e Laboratório de Automação. Devido a estes motivos recomenda-se fortemente à compra do kit CompactRio.

O problema em relação à implementação deste equipamento no sistema de aquisição automática de dados se dá no seguinte âmbito: o módulo WSN adquirido se comunica apenas com seus nós e sensores específicos da NI. Isso significa que não seria possível comunicar o *hardware* do sistema CompactRIO com os sensores presentes no equipamento atual. Para a implementação do novo equipamento então, existem dois cenários. Adquirir sensores da NI e trocar o equipamento atual, assim já eliminando um dos aspectos negativos do sistema de aquisição automática de dados empregado, que é a questão do defasamento e vida útil dos sensores, trocando-os por sensores de última geração. O outro cenário seria a aquisição de módulos customizáveis da NI, o módulo NI cRIO-9951 (*CompactRIO Module Development kit*), possibilitando a integração do sistema CompactRIO com o sistema de aquisição dados através do desenvolvimento de uma solução específica para a Itaipu. Neste segundo cenário a mudança no sistema de aquisição atual seria menos drástica, mas todavia, deve ser feita uma análise financeira e logística para determinar qual das opções é mais viável no momento.



---

## BIBLIOGRAFIA

- [1] C. K. Wha, Aplicabilidade dos eletrônicos na instrumentação geotécnica. Dissertação - Departamento de Engenharia Civil, Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.
- [2] INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS – ICOLD. Título do texto/diretriz que foi consultada. Disponível em:  
[http://www.cbdb.org.br/publicacoes/icold\\_80\\_years\\_traducao.pdf](http://www.cbdb.org.br/publicacoes/icold_80_years_traducao.pdf). Acesso em: dia 01 mês 06 de 2016.
- [3] M. S. dos Santos, Sistema Integrado para la Optimización de los Datos “On line” – Mistral y “Off Line” – Midas del Sistema Adas y de la Central de Informaciones – CI, que hacen a la Seguridad Estructural de la Represa de Itaipu. IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO – CIGRE, 2010.
- [4] A. S. Fiorini, E. C. Porto, M. S. dos Santos, A. Zattoni, *Automation of the Monitoring System at the Itaipu Hydroelectric Power Plant*. FMGM 2007: Field Measurements in Geomechanics, 2007.
- [5] NATIONAL INSTRUMENTS (NI) Título do texto/diretriz que foi consultada. Disponível em: <http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-227>. Acesso em: dia 01 mês 05 de 2016.
- [6] NATIONAL INSTRUMENTS (NI) Título do texto/diretriz que foi consultada. Disponível em: <http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-213>. Acesso em: dia 01 mês 05 de 2016.
- [7] NATIONAL INSTRUMENTS (NI) Título do texto/diretriz que foi consultada. Disponível em: <http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-361>. Acesso em: dia 01 mês 05 de 2016.