



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GGH 22
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO I

GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH

MONITORAMENTO DA USINA HIDRELÉTRICA DE SERRA DA MESA

**Cristiane Collet Battiston* Alexandre Mahler Igor Afonso Fragoso
Alba Valéria Brandão Canellas Marcelo Giulian Marques**

**INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS – IPH/UFRGS
FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.**

RESUMO

Dados hidráulico-operacionais de protótipos de usinas hidrelétricas são raros e de suma importância à pesquisa e ao desenvolvimento de estruturas hidráulicas aprimoradas.

Tendo em vista esta realidade, o projeto de Pesquisa & Desenvolvimento intitulado “Transientes Hidráulicos em Circuitos de Usinas Hidrelétricas”, desenvolvido dentro da parceria entre o Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH e FURNAS Centrais Elétricas S.A., viabilizou a instalação de um sistema de aquisição de dados no circuito hidráulico da Usina Hidrelétrica Serra da Mesa.

Neste artigo apresenta-se o sistema de aquisição implantado, alguns dados importantes registrados e produtos gerados a partir da análise destes dados.

PALAVRAS-CHAVE

Aquisição de dados, Equipamento, Sistema

1.0 - INTRODUÇÃO

A *Instrumentação* é a arte e a ciência de medição e controle.

Instrumentar uma estrutura torna possível o registro de dados que caracterizam sua operação, o que tem grande importância no caso de usinas hidrelétricas, pois, além da utilização no controle operacional da usinas, a análise dos dados contribui para o melhor conhecimento dos fenômenos que nela ocorrem, incorrendo em avanços tecnológicos que permitirão o projeto de estruturas cada vez mais eficientes.

Com relação às questões hidráulicas de operação de uma usina hidrelétrica, muitos fenômenos ainda precisam de atenção e estudos aprofundados. As pesquisas em modelos reduzidos são de grande valia na compreensão destes fenômenos, pois nestas estruturas se têm grande controle sobre as condições operacionais, grande flexibilidade para o ensaio de diferentes condições de operação e melhores condições para instrumentação do que no protótipo. Por outro lado, os dados de protótipo são livres de efeitos laboratoriais e de escala, além disso, determinados fenômenos são de difícil reprodução em modelos reduzidos, como é o caso dos transientes hidráulicos.

O projeto de Pesquisa & Desenvolvimento intitulado “Transientes Hidráulicos em Circuitos de Usinas Hidrelétricas”, desenvolvido dentro da parceria entre o Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH e FURNAS Centrais Elétricas S.A., viabilizou a instalação de um sistema de aquisição de dados no circuito hidráulico da Usina Hidrelétrica Serra da Mesa.

Na seqüência, apresenta-se o sistema de aquisição implantado na UHE Serra da Mesa, alguns dados importantes registrados e os produtos gerados a partir da análise destes dados.

2.0 - UHE SERRA DA MESA

A Usina Hidrelétrica Serra da Mesa está localizada no Estado de Goiás, no rio Tocantins, a 1790km da sua foz e a, aproximadamente, 230km ao norte de Brasília. A mesma faz parte do sistema interligado de transmissão elétrica do Brasil, contando com uma potência instalada de 1275MW.

Serra da Mesa é uma usina totalmente subterrânea, escavada na rocha e tem como principais componentes de seu circuito hidráulico as seguintes unidades (ver FIGURA 1):

- 1 canal de adução;
- 3 tomadas d'água;
- 3 condutos forçados;
- 3 turbinas tipo Francis;
- 3 tubos de sucção curtos;
- 1 chaminé de equilíbrio;
- 1 túnel de fuga;
- 1 canal de fuga que desemboca na calha original do rio Tocantins.

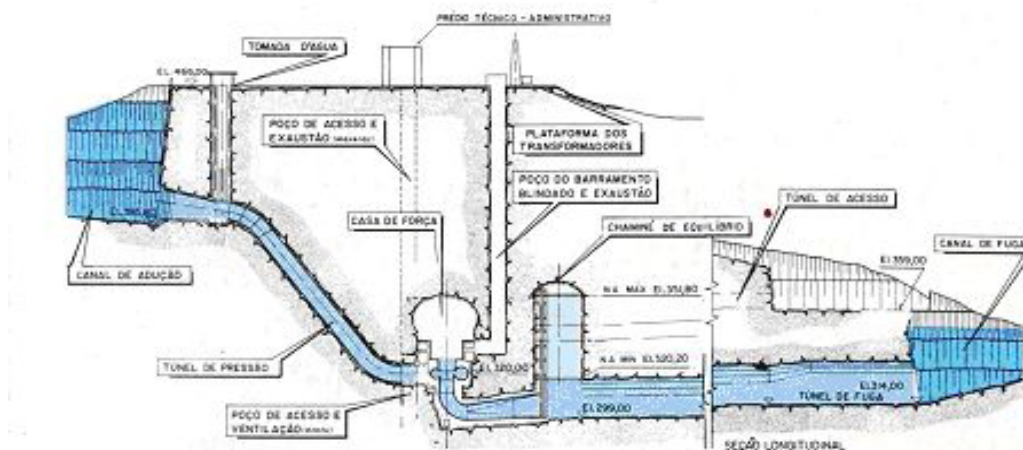


FIGURA 1 – Perfil da UHE Serra da Mesa.

3.0 - AQUISIÇÃO DE DADOS NA UHE SERRA DA MESA

3.1 Generalidades

Antes de projetar um novo sistema de aquisição de dados considerou-se a utilização do sistema de informações existente na Usina de Serra da Mesa, onde ficam disponibilizados os dados horários da usina (nível de reservatório, chaminé e canal de fuga e também potência, abertura dos distribuidores e velocidade de rotação das turbinas).

Os medidores de nível d'água de Serra da Mesa são sensores de pressão hidrostática e a transmissão dos dados é feita através de uma rede digital padrão RS485, que vai diretamente para o sistema de supervisão e controle da usina junto com todas as outras informações necessárias ao operador (rotação e abertura do regulador de vazões das turbinas, entre outros). As informações ficam disponíveis no sistema por um intervalo de tempo e depois são sobrepostas pelas mais recentes, não havendo possibilidade de gravar em meio magnético ou imprimir. O fornecedor deste sistema informou que seria possível adquirir os dados dos sensores passando-os para um micro computador fora do sistema de supervisão e controle. No entanto, constatou-se que o sistema não forneceria informações confiáveis e devido a problemas de operação e equipamentos não haveria condições de utilizá-lo ou mesmo adaptá-lo para os interesses do projeto de pesquisa.

A opção de comprar um sistema fechado para aquisição de dados na usina teria um custo muito elevado, além de ser um processo bastante demorado. Uma forma de baixar o custo e agilizar o processo seria especificar e comprar os componentes de fornecedores tradicionais na área de instrumentação, com experiência comprovada no fornecimento deste tipo de sistema.

Realizaram-se testes na usina, antes de se fazer a especificação definitiva do sistema, contando com a participação do corpo técnico da UHE Serra da Mesa, para garantir a compatibilidade do sistema de aquisição a ser implantado com o sistema de aquisição e controle existente na usina que é vital para a operação da mesma.

Após a compra dos equipamentos e componentes foi realizada a instalação do sistema de aquisição de dados na usina. Para a aquisição de dados de potência das três turbinas e da posição dos reguladores de vazão foi possível

a utilização dos sinais provenientes do sistema existente na usina após efetuar-se algumas alterações que possibilitaram coletar os dados sem interferir na mesa de controle. Foi necessária a utilização de repetidores/isoladores de corrente para gerar sinais de corrente independentes e isolados do sistema existente.

Na etapa de testes e calibração do sistema novo, alguns sinais apresentaram instabilidades e interferências, obrigando a modificações na instalação e nos equipamentos utilizados. O problema na leitura do nível no canal de fuga foi resolvido com a instalação de sensor ultra-sônico.

O sistema instalado para este projeto de pesquisa permite a coleta de dados fora do sistema de supervisão e controle da usina através de um software que faz a aquisição dos dados com frequência de até 10 Hz de 9 variáveis, sendo estas: 3 níveis d'água (no reservatório, na chaminé e no canal de fuga), 3 potências e 3 aberturas das turbinas de forma contínua, armazenando os dados por um tempo entre 10 e 30 minutos. O registro permanente dos transientes ocorridos durante a operação da usina pode ser feito toda vez que ocorrerem variações das potências geradas que fujam dos padrões normais de operação da usina.

3.2 Descrição do sistema

Instalou-se um sistema de aquisição de dados com capacidade de fazer o registro de 16 canais analógicos simultaneamente. Utilizou-se uma placa de aquisição com conversor AD de 12 bits (resolução de 1/4096 da faixa selecionada), instalada em um microcomputador localizado na sala da Unidade Geradora 2 - UG2.

Isolou-se galvanicamente todos os sinais do sistema de aquisição através de isoladores de corrente instalados na origem do sinal. No caso dos sinais de potência e abertura do distribuidor de cada turbina, utilizou-se de isoladores junto ao quadro de comando onde estes sinais são gerados pelo sistema da usina (FIGURA 2).

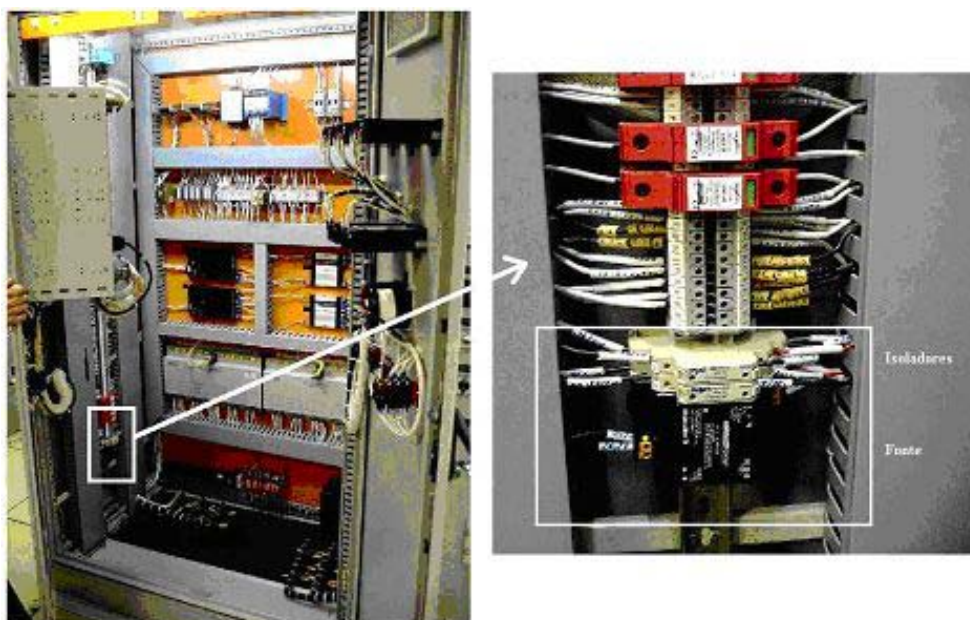


FIGURA 2 - Isoladores de corrente instalados nos armários, para aquisição dos sinais de potência e abertura dos distribuidores.

No caso dos sensores de nível, além dos isoladores instalados junto à caixa de conexão dos mesmos, instalou-se, também, isoladores junto à placa de aquisição, para garantir a integridade dos equipamentos e dos sinais que possuem registro simultâneo na sala de controle da usina. A TABELA 1 apresenta a configuração da instalação física e o número do canal correspondente no programa de aquisição.

TABELA 1 – Configuração da instalação física e o número do canal correspondente no programa de aquisição.

Canal		Descrição	Observação
Programa	Placa aquis.		
0	1	NA Tomada d'água	Sensor de nível instalado na tomada d'água
1	2	NA chaminé	Sensor de nível instalado na chaminé de equilíbrio
2	3	NA Canal Fuga 1	Sensor de nível ultra-sônico instalado no canal de fuga
3	4	NA Canal Fuga 2	Sensor de nível a ser instalado no canal de fuga
4	5	Potência Turbina 1	Potência medida na turbina 1 pelo sistema da usina

Canal		Descrição	Observação
Programa	Placa aquis.		
5	6	Abertura Distribuidor 1	Abertura do distribuidor da turbina 1 medida pelo sistema da usina
6	7	Potência Turbina 2	Potência medida na turbina 2 pelo sistema da usina
7	8	Abertura Distribuidor 2	Abertura do distribuidor da turbina 2 medida pelo sistema da usina
8	9	Potência Turbina 3	Potência medida na turbina 3 pelo sistema da usina
9	10	Abertura Distribuidor 3	Abertura do distribuidor da turbina 3 medida pelo sistema da usina
10	11	Vazão	Entrada para medidor de vazão. (Não instalado)

A instalação física dos conectores, isoladores, bornes e fonte junto ao computador pode ser vista na FIGURA 3. O diagrama da FIGURA 4 apresenta as conexões de cada ponto.

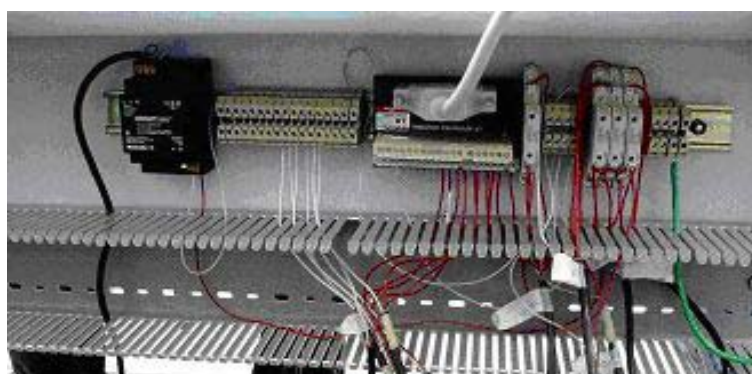


FIGURA 3 - Instalação física dos conectores, isoladores, bornes e fonte.

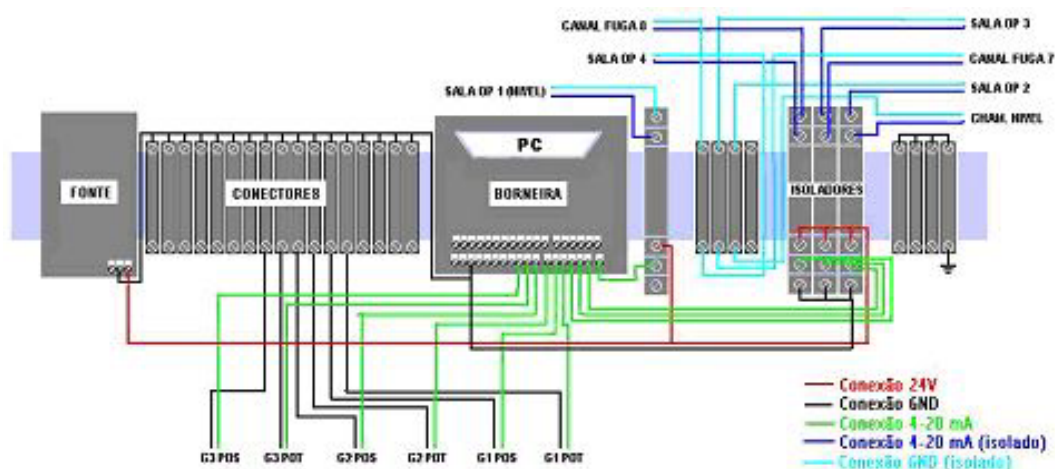


FIGURA 4 - Diagrama de ligações do sistema de aquisição.

3.2 Descrição do programa de aquisição de dados

O sistema instalado permite a coleta de dados, fora do sistema de supervisão e controle da usina, através de um software que faz a aquisição e o armazenamento dos mesmos.

Este programa de aquisição de dados é composto de duas telas, uma de calibração (FIGURA 5a) e outra de visualização dos registros (FIGURA 5b).

Podem ser configurados os dados dos canais, definidos os dados de calibração, nome do canal e os gatilhos para a geração dos arquivos. Também é possível armazenar arquivos com a calibração e ajustes necessários ao perfeito funcionamento do sistema. Os registros são visualizados em forma de gráficos. Pode-se escolher os canais que se deseja observar e a resolução dos gráficos, através do ajuste dos valores máximos e mínimos.

Os arquivos são armazenados em três pastas diferentes:

- Diárias: onde são gravados todo o dia os dados de um dia de observações;
- Programadas: onde são gravados os arquivos com os dados de gravações programadas do sistema; e
- Rejeições: onde são armazenados os dados referentes às rejeições definidas através dos gatilhos.

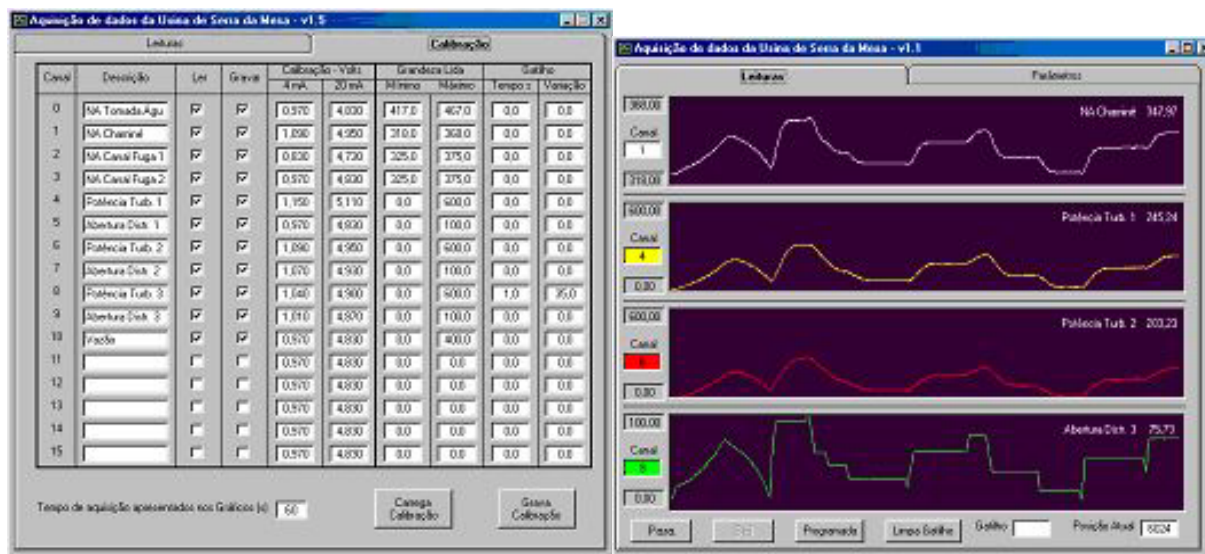


FIGURA 5 – Telas do programa de aquisição de dados.

4.0 - RESULTADOS DAS ANÁLISES E APLICAÇÕES DOS DADOS REGISTRADO NA UHE SERRA DA MESA

O sistema de aquisição de dados implantado monitorou os níveis no reservatório, canal de fuga e chaminé, além das potências e aberturas das três turbinas. A FIGURA 6 apresenta um exemplo de partes dos sinais registrados ao longo de um dia.

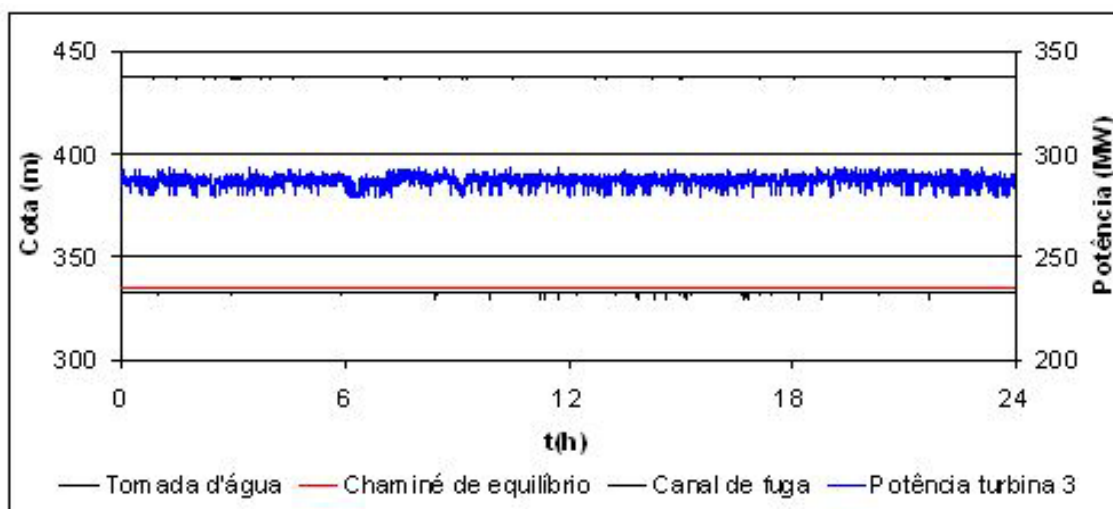


FIGURA 6 – Exemplo de sinais registrados ao longo de um dia.

Pode-se perceber que existem ruídos elétricos incorporados às medições, no entanto, os sinais registrados são bastante característicos, o que facilitou a identificação e filtragem destes ruídos.

Os registros diários foram divididos entre dados de regime permanente, utilizados no estudo sobre a perda de carga no túnel da Usina de Serra da Mesa, e dados de regime transitório, aplicados na verificação dos resultados dos modelos numéricos. Os resultados da análise e aplicação destes dados são apresentados a seguir.

4.1 Resultados obtidos com o registro de dados em regime permanente

Através dos níveis d'água registrados durante escoamentos simétricos de entrada no túnel (ver FIGURA 7), foi possível o cálculo da perda de carga total entre a chaminé de equilíbrio e o canal de fuga. Calcularam-se as perdas de carga localizadas considerando as características do túnel de fuga entre os pontos de medição e os

coeficientes indicados na bibliografia. Subtraindo da perda total a perda localizada, obteve-se a perda de carga linear no túnel e, utilizando a fórmula universal de perda de carga, calculou-se o coeficiente de atrito f do túnel escavado em rocha da UHE Serra da Mesa. A FIGURA 8 apresenta o comportamento do coeficiente de atrito (f) do túnel de fuga segundo o número de Reynolds.

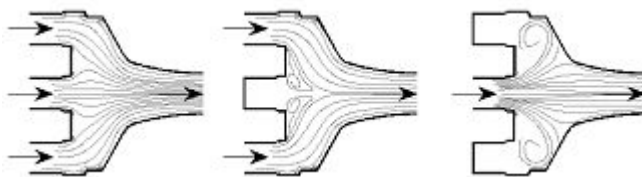


FIGURA 7 – Escoamento considerados simétricos.

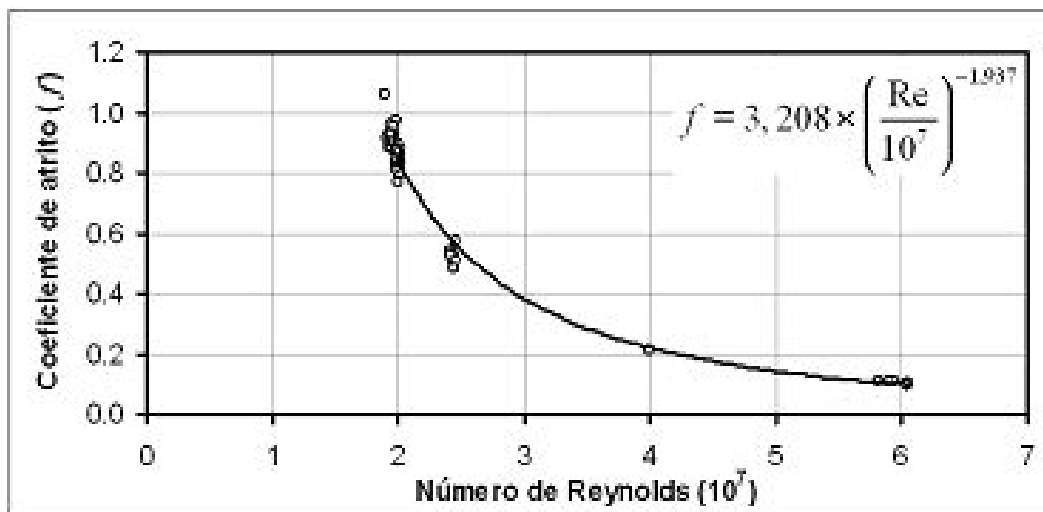


FIGURA 8 – Comportamento do coeficiente de atrito (f) do túnel de fuga segundo o número de Reynolds.

Conhecendo-se o comportamento da perda de carga linear, foi possível determinas o comportamento do coeficiente de perda de carga na entrada do túnel de fuga (k_e) para escoamentos assimétricos segundo o número de Reynolds, como mostra a FIGURA 9.

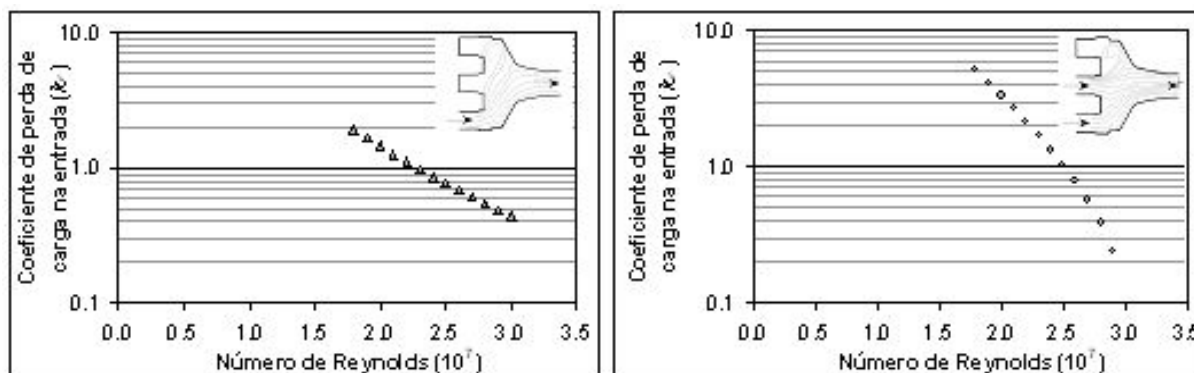


FIGURA 9 – Comportamento do coeficiente de perda de carga na entrada do túnel de fuga (k_e) para escoamentos assimétricos segundo o número de Reynolds.

4.2 Resultados obtidos com o registro de dados em regime transiente

A FIGURA 10 apresenta os dados registrados de nível na chaminé de equilíbrio e canal de fuga, e a vazão calculada para a rejeição de carga de 350MW ocorrida no dia 1º de outubro de 2004 na UHE Serra da Mesa.

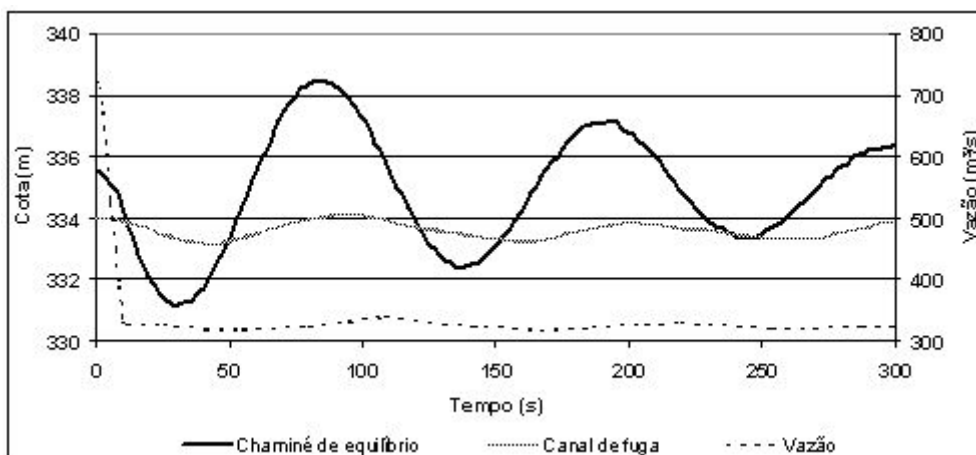


FIGURA 10 – Dados da rejeição de carga de 350MW ocorrida no dia 1º de outubro de 2004 na UHE Serra da Mesa.

A utilização dos valores experimentais, provenientes dos registros, como dados de entrada no programa CHAMINE-IPH e a comparação entre as oscilações de nível d'água na chaminé de equilíbrio, numéricas e experimentais (ver FIGURA 11), permitiram a validação do modelo CHAMINE-IPH, revelando-o apto a aplicações na previsão de transitórios para a UHE Serra da Mesa e similares.

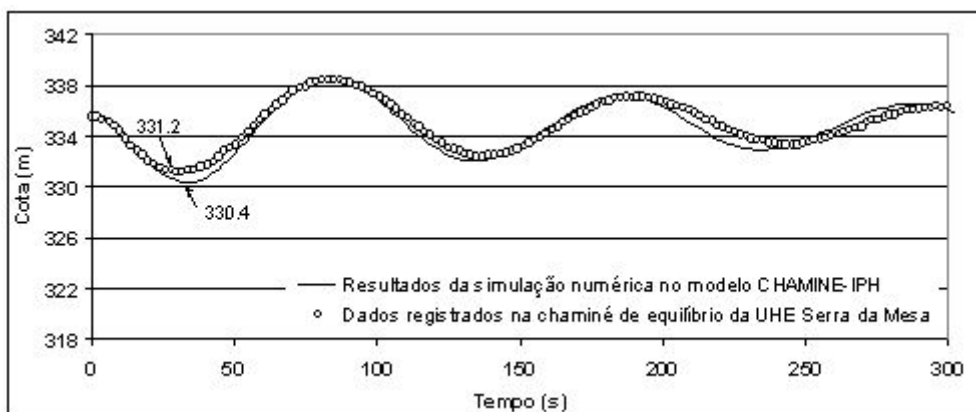


FIGURA 11 – Comparação entre as oscilações de nível d'água na chaminé de equilíbrio, numéricas e experimentais.

5.0 - CONCLUSÃO

Apesar das grandes distâncias entre os sensores e a placa de aquisição (chegando em alguns casos a mais de 1Km), a utilização de isoladores de corrente garante a segurança do sistema, protegendo a placa de aquisição e os sensores e garantindo a aquisição de dados confiáveis.

Os testes realizados no local, utilizando um calibrador de corrente e multímetro, mostraram que o sistema é bastante confiável e preciso. A análise dos dados adquiridos também levou a conclusão de que o sistema funciona de acordo com o esperado.

Os dados apresentaram comportamentos bastante coerentes com os esperados, tanto nos arquivos diários quanto no arquivo de rejeição programada. Alguns ruídos afetam os sinais, porém, não são significativos e podem ser facilmente excluídos.

A qualidade dos dados registrados foi bastante satisfatória e os resultados obtidos a partir da análise e aplicação destes são de grande valia para a engenharia de obras hidráulicas.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) BATTISTON, C. C.; EIFLER, R.; SIMMARI, N. B.; CANELLAS, A. V. B. "Avaliação do Programa Chamine-IPH". In: XXVI SNGB Seminário Nacional De Grandes Barragens, 2005, Goiânia-GO. 2005.

(2) BATTISTON, C. C.; SIMMARI, N. B.; CANELLAS, A. V. B.; MARQUES, M. G. "Estudo Da Perda De Carga Linear No Túnel Escavado Em Rocha Da Usina Hidrelétrica De Serra Da Mesa". In: 7º SILUSBA Simpósio De Hidráulica E Recursos Hídricos Dos Países De Língua Oficial Portuguesa, 2005, Évora - Portugal. 2005.

(3) BATTISTON, C. C.; CANELLAS, A. V. B.; MARQUES, M. G. "Valuation Of The Intake Head Loss Coefficient's Behavior With Asymmetric Flows". Submetido ao 32nd Congress of IAHR. Venice. 2007.

(4) BATTISTON, C. C. – "Influência de Parâmetros Físicos no Dimensionamento de Chaminés de Equilíbrio Simples de Usinas Hidrelétricas." 136 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). IPH/UFRGS, Rio Grande do Sul. 2005.

(5) IPH. "Relatório de produto de pesquisa". Projeto de Pesquisa & Desenvolvimento: "Transientes Hidráulicos em Circuitos de Usinas Hidrelétricas" Etapa 2 – Especificação, aquisição e instalação dos equipamentos para a UHE Serra da Mesa e ETAPA 5 – Aquisição e tratamento dos dados na UHE Serra da Mesa. Porto Alegre, 2005.

7.0 - AGRADECIMENTOS

O presente trabalho não teria sido realizado sem o suporte de FURNAS Centrais Elétricas S.A. e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, e sem a colaboração do Eng^o Ricardo Eifler e dos profissionais da UHE Serra da Mesa Sérgio Augusto Siqueira, Antônio Carlos Bernades Júnior, Venâncio Rodrigues de Abreu, Marcos Damont Terra, Flávio Cesar Oliveira de Lima, Warlen Dias Soares, Cláudio Núncio Junqueira, Vitor Barbosa Pereira, Wagner Sirlley de Oliveira Domingues e João Bonon Netto (in memoriam).

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Cristiane Collet Battiston

Nascida em Erechim, RS em 08 de dezembro de 1980.

Mestrado (2005): IPH/UFRGS e Graduação (2003) em Engenharia Civil: Unioeste-PR

Instituição: Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS

Doutoranda do curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Bolsista do CNPq

Alexandre Mahler

Nascido em São Paulo, SP, em 21 de agosto de 1969.

Mestrado (1994) : UFRGS-RS e Graduação (1991) em Engenharia Elétrica: UFRGS-RS

Empresas: Mentor Tecnologia Ind. Com. Equip. Eletro-Eletrônicos– (1993-2000)

Hardwork Sistemas Eletrônicos (1999-2005)

Engenheiro da PETROBRAS desde 2005

Igor Afonso Fragoso

Nascido no Rio de Janeiro, RJ, em 30 de abril de 1960.

Especialização (Lato-Sensu) Eng. Mecatrônica – UERJ (2005) e Graduação (1994) em Engenharia Eletrônica:

Fac. Eng. Prof. Nuno Lisboa-Rio de Janeiro

Empresas: FURNAS Centrais Elétricas S/A desde 1989

Engenheiro Eletrônico do Laboratório de Hidráulica Experimental e Recursos Hídricos

Alba Valéria Brandão Canellas

Nascida em Vitória - Espírito Santo em 15 de agosto de 1961

Mestrado (1989) COPPE – UFRJ e Graduação (1984) em Engenharia Civil na UFES

Empresa: FURNAS Centrais Elétricas S/A desde 1989

Engenheira do Laboratório de Hidráulica Experimental e Recursos Hídricos

Alba Valéria Brandão Canellas

Marcelo Giulian Marques

Nascido em Porto Alegre, RS, em 18 de novembro de 1957.

Doutorado (1995) : Université Laval - Quebec - Canadá Engenharia Civil - Hidráulica:

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS desde 1989

Prof Associado do Departamento de Obras Hidráulicas do Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS