

# AQUISIÇÃO DE DADOS, MONITORAMENTO E DIAGNÓSTICO PARA CONTROLE PREDITIVO E PROTEÇÃO DE COMPONENTES ROTATIVOS DE ALTA RESPONSABILIDADE DO REATOR IEA-R1 POR ANÁLISE DE VIBRAÇÃO

Reynaldo Cavalcanti Serra e Dorival Gonçalves Tecco

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN-SP  
Departamento de Análise de Reatores  
Caixa Postal 11049, 05422-970, Cidade Universitária, SP, Brasil  
e-mail: rcserra@net.ipen.br

## RESUMO

O presente trabalho descreve o sistema de aquisição de dados, monitoramento e diagnóstico de vibração e temperatura, implantado recentemente nos circuitos primário, secundário e gerador de emergência do reator IEA-R1 do IPEN por ocasião dos primeiros testes de elevação de potência para 5MW. Incorporando uma série de rotinas para configuração do equipamento de medição, monitoramento interativo e/ou automático, processamento dos dados e documentação/arquivo, este sistema permite uma avaliação precisa do processo sem a exposição de operadores nas áreas de controle radiológico.

## INTRODUÇÃO

O Reator IEA-R1 é a primeira instalação nuclear construída no Brasil, encontrando-se em operação desde 1957 sob a salvaguarda da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA). Historicamente, nestas quatro décadas de operação, a instalação tem operado à potência máxima de 2MW. Desde 1995, modificações estão sendo introduzidas para elevar a potência máxima para 5MW, tendo a primeira prova de funcionamento sido realizada em Junho/96.

Dentre as várias medidas notáveis para garantir a operação segura da instalação nuclear está a introdução de métodos de monitoração e diagnóstico de vibração dos equipamentos dos circuitos primário, secundário e o gerador elétrico de emergência. Esforços para desenvolvimento de técnicas para reduzir a exposição dos operadores têm sido conduzidos desde 1991 [Serra e Tecco, 1993], que culminaram por exemplo com o método de análise descrito em Serra e Tecco, 1995.

O curso dos desenvolvimentos levou à implantação de um sistema remoto diretamente na sala de controle da instalação, dispensando por completo a presença de inspetores nas áreas sujeitas ao controle radiológico. Ainda em fase de validação, este sistema apresenta consideráveis avanços em relação aos procedimentos preconizados nas normas internacionais para medição e controle de níveis de vibração, [ISO 2372, ISO 2954 e ISO 3945], que são considerados insatisfatórios [Serra, 1995].

Este trabalho apresenta inicialmente os componentes que estão sendo monitorados, os pontos para aquisição dos sinais de vibração e temperatura, os transdutores e os condicionadores correspondentes. Em seguida é descrito o sistema de aquisição de dados e

análise, e as perspectivas para trabalhos futuros e comissionamento.

## INSTRUMENTAÇÃO E CONDICIONAMENTO DE SINAIS

A instrumentação consistiu de um total de seis termopares e dezoito acelerômetros que foram instalados no conjunto de bombas do circuito primário, no conjunto de bombas do circuito secundário e no conjunto do gerador elétrico de emergência.

No caso do circuito primário, foram instrumentados dois conjuntos idênticos de bombas, com vazão de 690 m<sup>3</sup>, que funcionam alternadamente. Estas bombas são acionadas por motores elétricos de 100 H.P., com velocidade de 1760 rpm. As bombas são equipadas com volantes de inércia, com 650 mm de diâmetro e 210 mm de largura, pesando aproximadamente 550 Kg. Os acoplamentos entre as bombas-volantes-acionadores são do tipo flexível. Os instrumentos foram instalados nos mancais, nas posições/direções apresentadas na Tabela 1 e Figura 1.

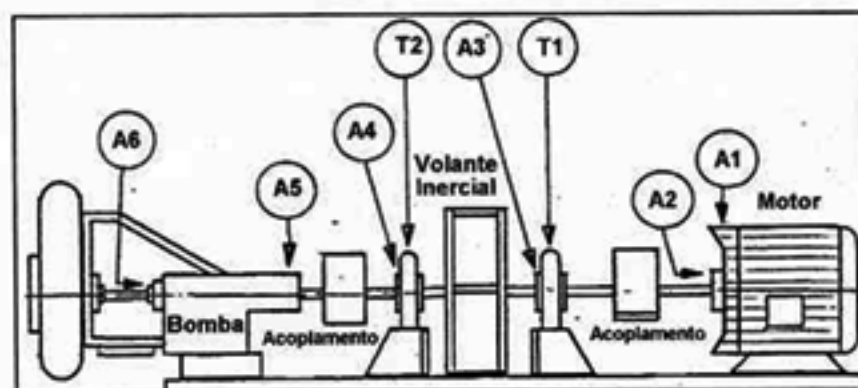


Figura 1: Posições dos instrumentos no conjunto de bombas do circuito primário

Instrumento (por conj. de bombas)	Posição	Direção
Aceler.1	motor elétrico mancal dianteiro	horizontal
Aceler.2	motor elétrico mancal dianteiro	axial
Aceler.3	mancal do volante	horizontal
Aceler.4	mancal do volante	horizontal
Aceler.5	bomba mancal traseiro	horizontal
Aceler.6	bomba mancal dianteiro	axial
Term.1	bomba mancal do volante	-
Term.2	bomba mancal do volante	-

Tabela 1 - Posições dos acelerômetros e termopares por conjunto de bomba do circuito primário

No caso do circuito secundário, foram instrumentados dois conjuntos idênticos de bombas, com funcionamento alternado, sendo acionadas por motores elétricos de 60 HP e 1800 rpm. Os acoplamentos entre as bombas e os acionadores são do tipo flexível. Um acelerômetro foi instalado no mancal dianteiro de cada motor elétrico, na posição axial, conforme mostrado na Figura 2. Nenhum termopar foi instalado nestes conjuntos.

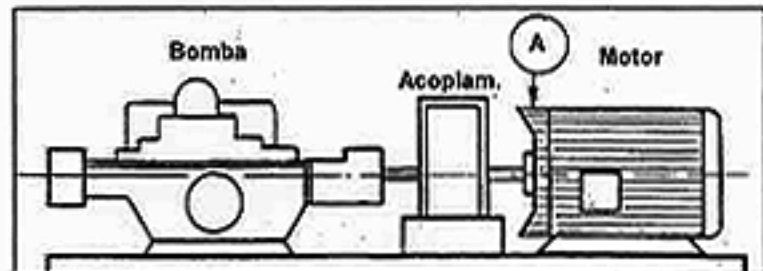


Figura 2: Posição do acelerômetro por conjunto de bomba do circuito secundário

No caso do gerador elétrico de emergência, foi instrumentado o motor assíncrono com potência de 187 KW e 1780 rpm (que aciona continuamente um alternador trifásico) e um volante de inércia, com 1000 mm de diâmetro e 250 mm de largura. Todos os acoplamentos são do tipo flexível. As posições/direções dos instrumentos são mostradas na Figura 3, e na Tabela 2.

Instrumento	Posição	Direção
Aceler.1	motor elétrico mancal traseiro	axial
Aceler.2	motor elétrico mancal dianteiro	axial
Aceler.3	mancal do volante	horizontal
Aceler.4	mancal do volante	horizontal
Term.1	mancal do volante	-
Term.2	mancal do volante	-

Tabela 2 - Posições dos acelerômetros e termopares no conjunto do gerador de emergência

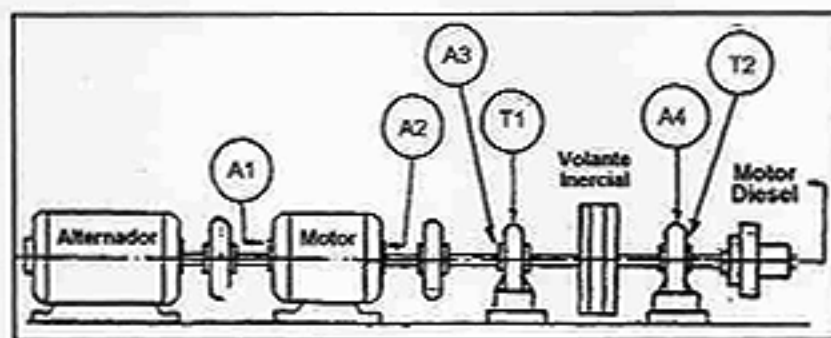


Figura 3: Posições dos instrumentos no conjunto do gerador elétrico de emergência

O condicionamento dos sinais dos termopares é feito através de módulos conversores temperatura/corrente, energizados localmente no próprio compartimento das bombas/gerador. Neste caso, 20mA correspondem a uma temperatura de 150°C, com um erro especificado inferior a  $\pm 0.1\%$  e um erro medido inferior a  $\pm 0.05\%$ .

Todos os acelerômetros empregados exceto os acelerômetros A1 e A3 do conjunto do gerador de emergência são do mesmo tipo, e incorporam um amplificador na própria carcaça selada de aço inoxidável, fornecendo uma saída direta de corrente e dispensando unidades condicionadoras locais. Sendo alimentados pelos próprios módulos multiplexadores na sala de controle (conforme descrito a seguir), eles apresentam uma resposta linear de 1Hz até 10kHz ( $\pm 10\%$ ) e uma sensibilidade axial de  $10\text{mV/ms}^{-2}$  ( $\pm 5\%$ ).

Os acelerômetros A1 e A3 do conjunto do gerador de emergência são distintos e têm dimensões reduzidas em decorrência de uma limitação de espaço físico. Com uma resposta linear de 0.1Hz até 8kHz ( $\pm 10\%$ ) e uma sensibilidade axial de  $1\text{mV/ms}^{-2}$  ( $\pm 2\%$ ), eles são conectados a amplificadores de carga mono-canais instalados no mesmo compartimento das máquinas.

## SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS E ANÁLISE

A aquisição de dados de acelerometria é efetuada na sala de controle com o auxílio de três módulos multiplexadores de oito canais. Dois dos três multiplexadores são específicos para o tipo de acelerômetro com amplificador integrado, pois incorporam a fonte de corrente constante para excitação. O terceiro multiplexador possui entradas analógicas e recebe as conexões dos termopares e dos dois acelerômetros não amplificados.

Os multiplexadores são conectados a um módulo analisador de sinais, que processa cada canal em seqüência e realiza as conversões para permitir uma gama de análises espectrais, temporais, de transientes, etc. A faixa útil de trabalho do analisador de sinais é de DC até 40kHz.

O conjunto de multiplexadores e módulo analisador de sinais é montado numa única unidade, juntamente com um computador central e um módulo de interface de rede VME/Ethernet. Todo este conjunto de módulos é alimentado por uma fonte regulada.

Uma conexão a um micro-computador remoto é feita através da interface Ethernet, de forma a permitir o controle de todo o conjunto através de programas



específicos. O computador neste caso é um tipo 486DX4 (IBM-PC), que opera em ambiente UNIX/X-Windows. Desta forma, todo o acesso pode ser efetuado à distância via rede, inclusive sem a necessidade de ingresso no prédio do reator, mediante protocolos e outros critérios de segurança.

Um conjunto de programas permite a configuração do sistema, o monitoramento interativo e/ou automático dos componentes instrumentados, o processamento dos dados e a documentação/arquivo dos resultados.

As funções de configuração do sistema permitem definir a estrutura e as características dos componentes sendo avaliados de forma hierárquica, até o nível de cada instrumento, bem como as configurações dos canais, gatilhos, etc.

As funções de monitoramento dos componentes instrumentados são realizadas com base em avaliações no domínio de frequência e de tempo. As transformadas de Fourier podem ser realizadas com bandas em escala linear ou logarítmica e incorporam rotinas para definição de filtros, rotinas de medição, *zoom* e cursores, entre outras. Rotinas de alarme são incorporadas para designar situações de Alerta, de Perigo e de Falha de Sistema.

As funções de processamento de dados permitem a redução do volume de dados adquiridos e a compactação dos dados registrados.

As funções de documentação/arquivo dos resultados permitem o gerenciamento dos dados armazenados (em disco rígido ou em fita *streamer*), análises comparativas de assinaturas obtidas ao longo da vida útil/operação do equipamento e também geração de uma variedade de gráficos e histogramas.

## COMISSIONAMENTO E PLANEJAMENTO FUTURO

As atividades de instalação foram concluídas recentemente e no momento o sistema está sendo inspecionado com o intuito de comissioná-lo para operação definitiva. Particular atenção tem sido devotada à aquisição de dados nos testes iniciais de funcionamento da planta a 5MW de potência.

O comissionamento envolverá, entre outras etapas, a verificação dos registros contra registros históricos, como aquele mostrado na Figura 4, especialmente contra as assinaturas disponíveis e registradas no passado.

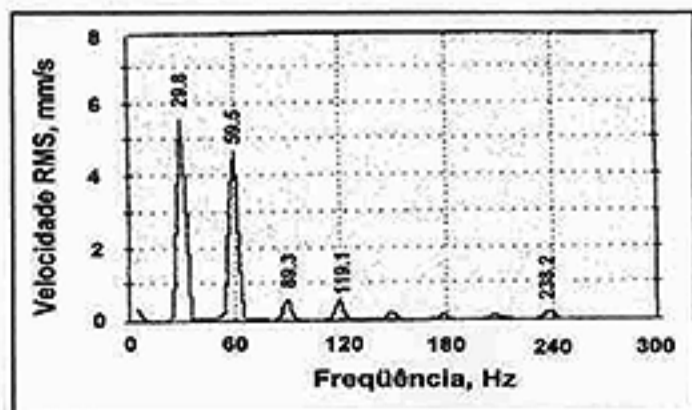


Figura 4: Espectro de frequência de um registro histórico de uma falha de desalinhamento do conjunto da bomba do circuito primário

## AGRADECIMENTO

Os autores agradecem o apoio do CNPq pela concessão da bolsa de Pesquisador Associado a D.G.Tecco.

## REFERÊNCIAS

ISO 2372, 1974, "Mechanical Vibration of Machines with Operating Speeds from 10 to 200 revs/s - Basis for Specifying for Evaluation"

ISO 2954, 1975, "Mechanical Vibration of Rotating and Reciprocating Machinery - Requirements for Instruments for Measuring Vibration Severity"

ISO 3945, 1985, "Mechanical Vibration of Large Rotating Machines with Speed Range from 10 to 200 rev/s - Measurement and Evaluation of Vibration Severity in situ"

Serra, R.C., 1995, "Detecção de Trincas em Eixos de Bombas Centrifugas em Operação, Através da Técnica de Análise de Vibrações", Tese Msc, IPEN/USP.

Serra, R.C., Tecco, D.G., 1993, "Perspectives to Introduction of Noise Analysis Techniques for Systematical Predictive Control of High Responsibility Rotative Equipment", IEV93, Conf. Int. sobre Avaliação de Integrid. e Extensão de Vida de Equip. Ind.", Pouso Alto-MG, Brasil, pp.75-77, ABCM.

Serra, R.C., Tecco, D.G., 1995, "Shaft Crack Detection on Centrifugal Pumps by Vibration Analysis", SMiRT 13, Porto Alegre, RS, Brasil, pp.315-317.

## ABSTRACT

This work presents the vibration and temperature data acquisition, monitoring and diagnostic systems, recently installed in the primary circuit, secondary circuit and emergency generator of the IEA-R1 reactor at IPEN during the course of the first power elevation tests to 5MW. It incorporates a series of routines for equipment configuration, interactive and/or automatic monitoring, data processing and documentation/storage without the exposure of operators in the radiological protection areas.