MEDIDAS DE RUIDO NO REATOR PWR ANGRA I

Aucyone Augusto da Silva
Paulo Sergio Brasko Ferreira

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

RESUMO

Com o rápido desenvolvimento das aplicações da técnica de ruído na área de reatores de potência e com o potencial que esta apresenta, tanto no que diz respeito a operação do reator quanto a sua segurança, foi iniciado um programa de medidas de ruído neutrônico, usando os detetores ex–core e alguns sensores de pressão, nível, fluxo de refrigerante e temperatura, de modo a se formar um banco de dados experimentais que permitam o desenvolvimento e aplicação da metodologia de diagnóstico em reatores de potência. Neste trabalho serão apresentados os resultados das análises iniciais das medidas experimentais realizadas em Angra I.

INTRODUÇÃO

A análise de ruído é uma técnica poderosa que permite extrair, de pequenas flutuações do sinal de um certo processo, informações a respeito das propriedades e do comportamento deste processo.

Ao longo das duas últimas décadas tem–se observado um crescimento rápido nas aplicações da técnica de análise de ruído em reatores de potência, conforme já vinha ocorrendo na indústria.

Diversos fatores têm contribuído para o sucesso da aplicação da técnica de análise de ruído na área de reatores de potência, tais como:

a) Poder inerente em fornecer diversas informações de um mesmo sensor sem instrumentação adicional;
b) O potencial de fornecer, de forma indireta, informações sobre parâmetros físicos mensuráveis;
c) A alta sensibilidade do método, isto é, sua habilidade de alcançar uma boa razão sinal/ruído para sinais com amplitudes extremamente baixas;
d) A não interferência na operação do reator quando se aplica esta técnica na área de dignóstico.

Somando–se a estes fatores, a abrangência na aplicação da análise de ruído em diversos setores da área de reatores de potência tem colaborado de forma relevante na consolidação do uso desta técnica em diversos países.

Podemos citar alguns dos setores mais importantes de aplicação tais como:

a) Monitoração de perdas de materiais estruturais, preferencialmente no circuito primário de refrigeração e no gerador de vapor;
b) Monitoração de vibração do vaso de pressão do reator com sua estrutura interna;
c) Monitoração de fenômenos termohidráulicos (ressonâncias e velocidade de fluidos, fenômenos tipo "boiling", etc...) entre os circuitos de refrigeração e o núcleo;
d) Inspeção periódica na instrumentação do reator ("surveillance") através das medidas dos espectros de freqüência característicos (em freqüência) dos sinais provenientes dos sensores de medidas em uso na operação da usina nuclear;
e) Determinação das constantes de tempo dos sensores de medidas (RTD, termopares, medidores de pressão, etc...) em uso na instrumentação do reator;
f) Medidas de parâmetros neutrônicos do reator durante a operação do mesmo (Coeficiente de reatividade de temperatura e pressão);
g) Monitoração da vibração dos elementos combustíveis e das barras de contrôle;

etc...

ESCOPO DAS MEDIDAS EM ANGRA I

A investigação das flutuações em torno do valor médio nos sinais dos detetores instalados dentro ou fora do núcleo do reator de uma central nuclear, nos proporciona a oportunidade de se obter informações dinâmicas do sistema, sem a necessidade de pertubá–lo por vias externas.

A análise das flutuações (análise de ruído) se efetua mediante a obtenção de uma série de parâmetros estatísticos, os quais permitem caracterizar o estado do reator da central nuclear.

Destacamos, entre os parâmetros mais relevantes, a Densidade Espectral de Potência (DEP),definida como /4/:

$$DEP(w)=\int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-jw\tau)\, A(\tau)\, d\tau$$

onde:

$A(\tau)=\langle x(t)-\bar{x})(x(t+\tau)-\bar{x})\rangle$ (covariância)

$\langle\ \rangle$ – valor médio
$x(t)$ – sinal de um detetor dado durante um tempo t
τ – tempo de retardo

Este parâmetro estatístico,DEP, apresenta vales e picos que estão intimamente relacionados com processos tais como: vibração do barril do núcleo, vibração dos elementos combustíveis, processos termohidráulicos e efeitos de realimentação de reatividade.

O conjunto de vales e picos dos espectros, em determinado instante, configura o que se chama de assinatura do reator.

A vigilância e deteção de possíveis anomalias na central nuclear se alcança mediante o controle contínuo ou periódico do parâmetro estatístico citado anteriormente. Este procedimento permite a observação de quaisquer alterações na assinatura da usina nuclear, uma vez que se realize a comparação entre as diversas medidas realizadas ao longo de um ou mais ciclos combustíveis.

Detetada uma possível alteração na assinatura do reator, podemos averiguar qual a variável ou variáveis de estado que estão introduzindo tais mudanças, significando que podemos diagnosticar as possíveis causas.

Tendo em conta as considerações citadas anteriormente, foi iniciado um programa experimental de medidas de ruído no Reator PWR Angra I, consistindo este dos principais aspectos:

– Medidas das assinaturas dos detetores de nêutrons fora do núcleo (câmaras de ionização inferiores e superiores) sensores de pressão dos loops 1 e 2, sensores de temperaturas (termopares dentro do núcleo), sensores de níveis do pressurizador e sensores de fluxo do refrigerante do reator (loops 1 e 2);

– Acompanhamento das assinaturas dos detetores e sensores citados anteriormente desde a fase inicial do terceiro ciclo de recarga de combustível até o seu final.

Este acompanhamento vem sendo realizado da seguinte forma:

a) Medidas de ruído com o reator na condição de "shutdown" (reator desligado, aquecido e pressurizado);
b) Medidas de ruído no período de elevação de potência do reator (desde 0% a 100% da potência total);
c) Medidas de ruído, em intervalos de três meses, na potência de 50% da potência total (300 MWe) até o final do ciclo atual.

Estas medidas nos tem permitido formar um banco de dados com o qual desenvolveremos os trabalhos relativos a diagnóstico de reatores e inspeção por análise de ruído.

DESCRIÇÃO DO REATOR ANGRA I /1/

Angra I é uma usina nuclear do tipo água pressurizada (PWR). Sua potência nominal é da ordem de 1870 MWt, fornecendo uma potência elétrica de 600 MW.

O núcleo do reator consiste de um arranjo de 16x16 elementos combustíveis os quais são idênticos no projeto mecânico, mas com diferentes enriquecimentos. Na fase inicial do núcleo foram empregados três enrequecimentos diferentes.

O núcleo é refrigerado e moderado a água leve a uma pressão de 2250 psi no Sistema de Refrigeração do Reator. O moderador contém boro que atua como veneno (absorvedor) de nêutrons. A concentração de boro no refrigerante é variada de modo que se controle lentamente as mudanças de reatividade, devido principalmente a queima de combustível.

INSTRUMENTAÇÃO DO REATOR

A instrumentação do circuito primário do reator é mostrada nas figura 1 e 2. Vinte posições no núcleo são equipadas com tubos guias reservados para a instrumentação interna do mesmo ("in–core"). Esta instrumentação é constituída de minicâmaras de fissão e sensores de temperatura (termopares) (figura 1).

A instrumentação fora do núcleo ("ex–core") consiste em detetores de nêutrons (câmaras de ionização) distribuídas em duas partes (4 inferiores e 4 superiores), conforme mostra a figura 2.

A tabela 1 apresenta todos os detetores de nêutrons e sensores utilizados nas medidas de ruído na fase inicial do trabalho.

A figura 3 nos mostra a instrumentação eletrônica convencional para a análise de ruído.

Os diversos canais da instrumentação do reator fornecem sinais padrões para o controle da operação do reator (componentes DC). Estes sinais são superpostos por ruídos (componentes AC) os quais em sua maior parte são oriundos das flutuações das grandezas físicas em medição (potência do reator, temperatura, pressão, etc...).

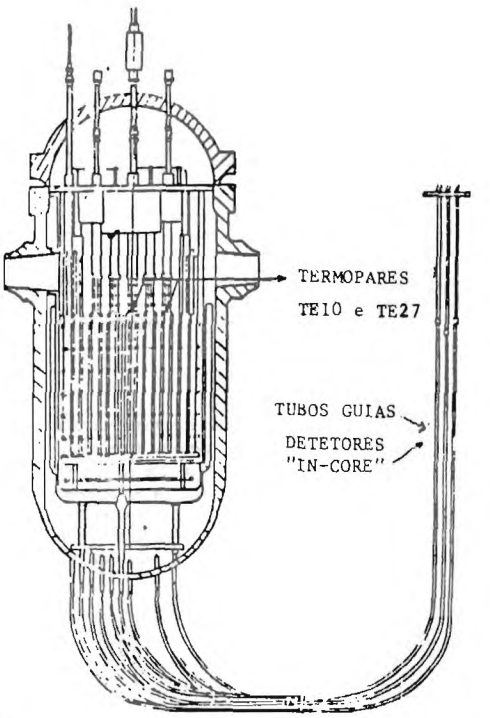

Figura 1 . Instrumentação in-core do Reator

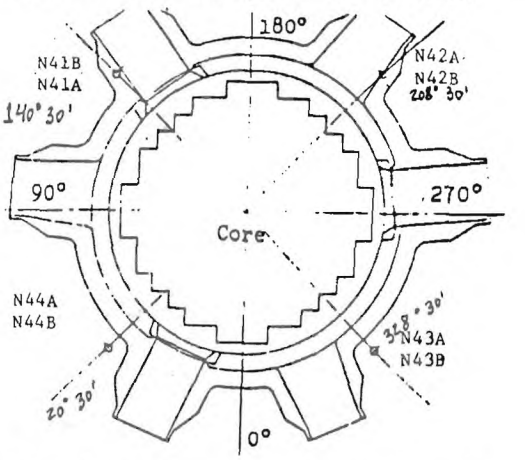

Figura 2 . Instrumentação ex-core do Reator

TABELA 1. Instrumentação do reator.

Sensor	Descrição
N41A	Detetor ex–core superior
N42A	"
N43A	"
N44A	"
N41B	Detector ex–core inferior
N42B	"
N43B	"
N44B	"
TE10	Termopar "in–core"
TE27	Termopar "in–core"
TE401A	Temp. perna quente Loop2
TE402A	Temp. perna fria Loop2
LM426A	Nível do Pressurizador
FM412	Fluxo Refrigerante Loop1
FM414	Fluxo Refrigerante Loop2
PQ429	Pressão do Pressurizador

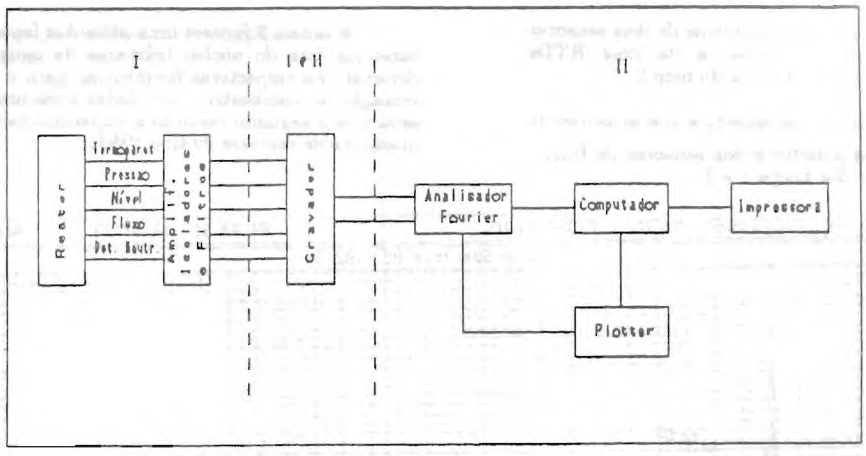

Figura 3 - Instrumentação eletronica de medida de ruído

Com o uso dos amplificadores isoladores e filtros passa-alta (figura 3) as componentes DC são eliminadas separando assim as componentes AC. Estas são introduzidas diretamente ou indiretamente no analisador Fourier obtendo-se assim os parâmetros estatísticos desejados.

MEDIDAS E RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Todas as medidas realizadas desde o início do Terceiro Ciclo Combustível (Janeiro de 1990) até a presente data foram registradas em fita magnética. Os sinais processados pelo analisador Fourier foram guardados em arquivos na memória de um microcomputador tipo IBM-PC.

Em cada fase das medidas foram obtidas as Densidades Espectrais de Potência de cada sensor, registrando-se assim a assinatura deste em cada fase do experimento.

Na figura 4 apresentamos, como resultado, os Espectros de Densidade de Potência (Auto Spectrum) de quatro detetores fora do núcleo (dois inferiores e dois superiores).

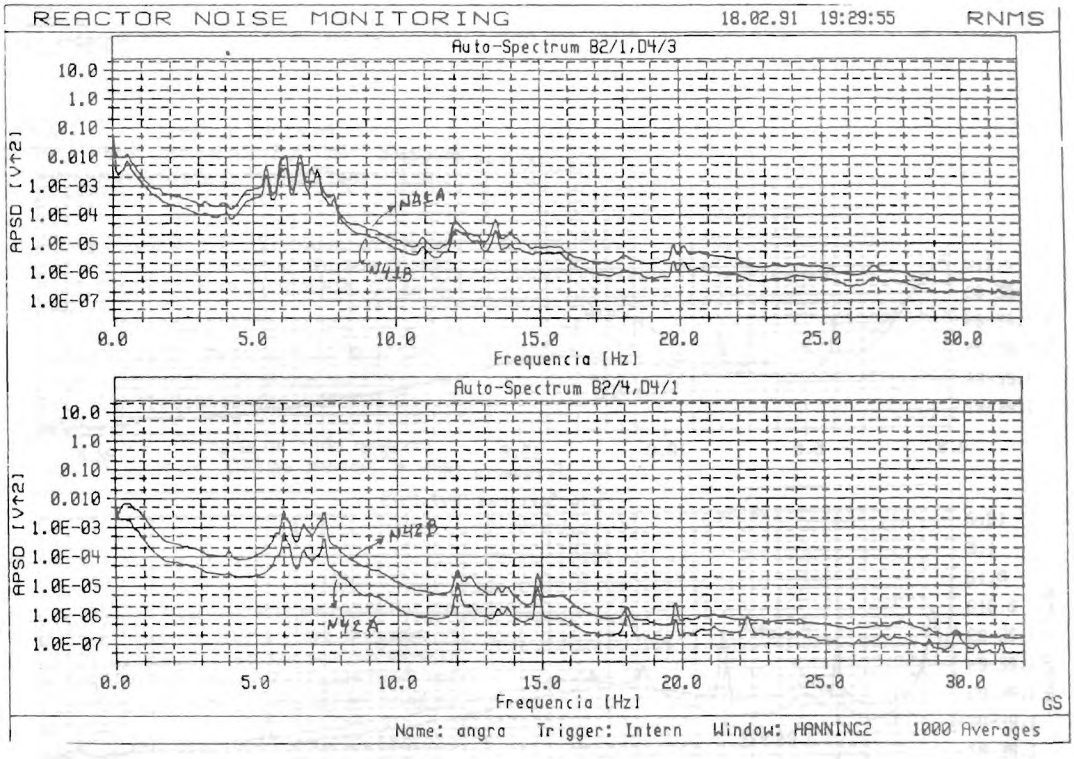

Figura 4 - Densidades Espectrais de potência dos detetores fora do núcleo

A figura 5 nos mostra os espectros de dois sensores de temperatura dentro do núcleo e de dois RTDs posicionados nas pernas quente e fria do loop 2.

A figura 6 apresenta os espectros dos sensores de pressão e nível do Pressurizador e dos sensores de fluxo do refrigerante do reator dos Loops 1 e 2.

A tabela 2 fornece uma idéia dos fenômenos que os detetores fora do núcleo (câmaras de ionização) podem detectar. As respectivas freqüências para o fenômeno de vibração do combustível são dadas após uma análise dos espectros e segundo resultados experimentais contidos na literatura de reatores do tipo PWR.

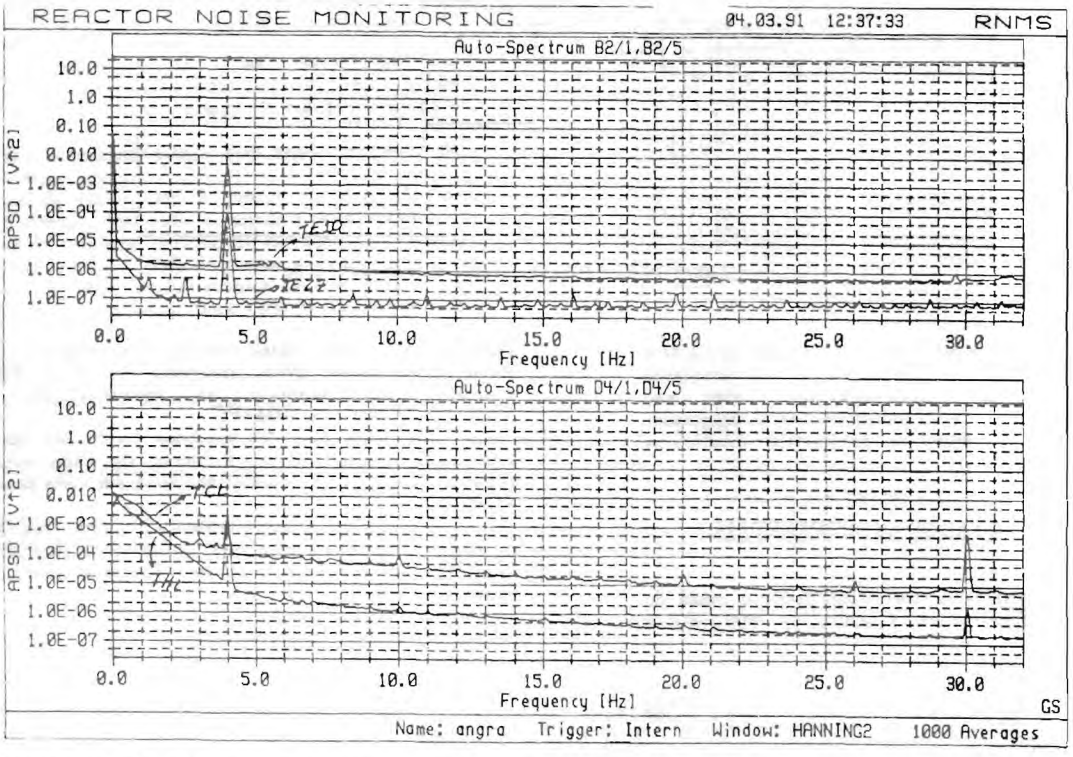

Figura 5 - Densidades Espectrais de Potência dos sensores de temperatura in-core e das pernas quente e fria do Loop 2

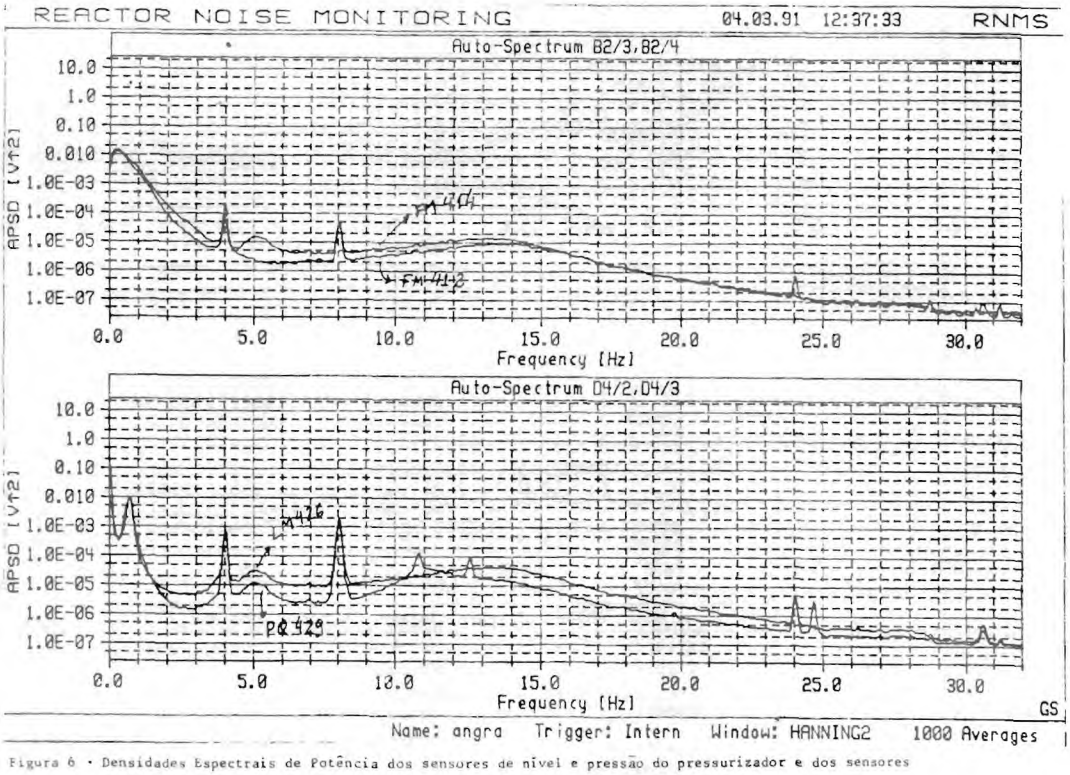

Figura 6 - Densidades Espectrais de Potência dos sensores de nível e pressão do pressurizador e dos sensores de Fluxo do Refrigerante do Reator (loops 1 e 2)

TABELA 2. Fenômenos de vibração no reator vistos pelos detectores ex–core /2,3/

Estrutura em vibração	Freqüências (Hz)
Vaso de Pressão	–
Barril do núcleo	–
Blindagem Térmica	–
Elemento Combustível	0.5,6.3–6.6 12.7,19.1–19.8,25.4
Barras de Controle	–
Bomba de Refrigeração	–

CONCLUSÕES

A análise dos Espectros de Densidades de Potência dos sinais da instrumentação do Reator em cada período de medida nos possibilitará ter uma idéia clara do comportamento da assinatura do Reator PWR Angra I ao longo de todo o ciclo combustível atual.

A descrição mais precisa e detalhada das ressonâncias existentes nos espectros de ruídos dos detectores e sensores do reator está em curso e nos permitirá identificar e descrever os fenômenos envolvidos (citados na tabela 2).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à COPESP, à Diretoria da Usina Nuclear Angra I e ao Grupo de Instrumentação de Angra I o apoio e colaboração para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

/1/ Demas,N.G. and Somerville,J.J.,The Nuclear Design of the Angra Nuclear Power Plant – Cycle 1, WCAP–8809

/2/ Runkel J. and Stegemann D., Vibration and Noise Analysis at the Primary Loop of Nuclear Power Plants. VGB KRAFTWERKSTECHNIK 69 nº 8, August 1989.

/3/ Fujita, Y. and Ozaki, H., Neutron Noise Monitoring of Reactor Core Internal Vibrations at PWRs in Japan. Progress in Nuclear Energy, 1982 Vol. 9.

/4/ March Leuba et alli., Tecnicas de ruido neutronico en reactores de potencia. Energia Nuclear españa 29(153)1985

SUMMARY

The noise analysis measurements performed at the Nuclear Power Plant Reactor Angra I are described in this paper. Several AC signals from the neutron ex–core detectors and in–core thermocouples,pressure,level and flux sensors, from loops 1 and 2 , are analyzed using an Noise Analysis System.

The Auto–Spectra from these signals are obtained to perform the Power Plant signature. The experimental measurements take part of a noise data bank,to develop a noise dignostic and surveillance program at Angra I Nucler Power Plant Reactor.