

MEDIDAS NO NÚCLEO DO REATOR IEA-R1 COM DETECTORES DE
NEUTRONS DO TIPO "SELF-POWERED"

Aucyone Augusto da Silva, Ulysses d' Utra Bitelli
Marcia Aparecida P.Alves, Homero Enrique Banados Perez*

Divisão de Física de Reatores
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
IPEN/CNEN-SP

Resumo

Com a crescente importância que se vem dando ao uso de detectores de nêutrons auto-alimentados (Self-Powered) na instrumentação do núcleo de reatores de potência, tanto para medidas de distribuição de fluxo de nêutrons no núcleo, de modo que eficiência da geração de potência possa ser otimizada, quanto como um sistema de resposta rápida que meça o fluxo de nêutrons local, servindo como monitor de segurança para detecção de queima excessiva de combustível, foi iniciado no IPEN-CNEN/SP o projeto de construção, testes e utilização de detectores "Self-Powered" com emissores de Cobalto e Platina que farão parte da cadeia de um sistema de medidas "in-core" no Reator IEA-R1. Para se avaliar a performance dos detectores fabricados, foram realizadas várias medidas no núcleo do reator obtendo-se os valores das sensibilidades, linearidade, respostas as variações de potência e, a contribuição do sinal de corrente devido ao cabo de compensação na corrente total medida. Os resultados obtidos foram comparados aos existentes na literatura.

Abstract

The use of self-powered neutron detectors (SPNDs) for in-core instrumentation is steadily gaining importance for nuclear reactor operation and control. At IPEN-CNEN/SP an experimental program to design, built and test several spnd prototypes with cobalt and platinum emitters has been initiated. These detectors will be take part of a in-core detector system of the IEA-R1 Reactor.

To investigate the performance of these spnd detectors an experiment was developed to irradiated the detector in the IEA-R1 core. The thermal sensitivities, linearity, response and contribution of the current signal due to the compensation cable to the total current were obtained.

* Departamento de Aplicação na Engenharia e na Indústria/Projeto de Detectores Nucleares (IPEN-CNEN/SP).

1. Introdução

Os detectores auto-alimentados (Self-Powered) são correntemente utilizados como instrumentação do núcleo em reatores nucleares de potência tanto para mapeamento de fluxo quanto para monitoração de segurança contra o excesso de queima no combustível.

Em ambos os casos, anteriormente citados, é conveniente que estes detectores sejam colocados e deixados permanentemente no reator ou retirados e trocados na recarga de combustível. Isto implica de imediato que se escolha detectores que tenham uma vida longa (baixo valor de queima) dentro do núcleo, que sejam de tamanho pequeno para não perturbarem o fluxo no local de posicionamento, isto é, que a perturbação causada seja a menor possível, e que possam operar a altas temperaturas e altas doses de radiação.

Os detectores usados como monitor de distribuição de fluxo neutrônico não necessitam ter uma resposta rápida uma vez que eles trabalham em regime de equilíbrio de fluxo. Entretanto, um tempo de respostas razoavelmente rápido se torna necessário quando se quer detectar uma alteração no estado de equilíbrio. Neste caso estes detectores são utilizados como sistema de segurança de modo que as mudanças súbitas nas condições de operação do reator possam ser observadas.

Dois tipos de detectores são utilizados para atender as necessidades anteriormente citadas: os detectores prontos e os atrasados. Entre os primeiros incluem-se os de emissor de cobalto, gadolínio, platina, érbio, háfnio e cádmio e, entre os segundos, vanádio, ródio e prata [1].

De um modo geral, as principais vantagens dos detectores auto-alimentados são: o baixo custo, a simplicidade de operação e instrumentação de leitura, a baixa queima e longa vida, podem ser utilizados em operação contínua em ambiente de alto fluxo e temperatura, e reprodutibilidade das características de saída do detector.

Neste trabalho serão descritas as medidas realizadas no Reator IEA-R1 com vários protótipos de "SPNDs" (self-powered neutron detectors) fabricados no IPEN/CNEN-SP.

2. Princípio de Funcionamento dos Detectores

Se dois condutores separados por um isolador são expostos a um campo de nêutrons térmicos, então elétrons poderão ser emitidos pois a captura de um nêutron por um átomo do material emissor pode resultar na formação de um núcleo radioativo que decai para um estado estável, emitindo partículas beta que constituirão uma corrente elétrica fluindo de um condutor para outro através do isolador [1]. A grande vantagem dos SPNDs é que não necessitam de tensão de alimentação e a corrente produzida pode ser detectada facilmente por um picoamperímetro.

Os detectores aqui utilizados possuem emissores de Cobalto e de Platina. No caso do condutor de Cobalto, a corrente é devido essencialmente aos elétrons originados por Efeito Compton e Fotoelétrico a partir da autoabsorção de raios gama de captura de nêutrons do ^{59}Co . Visto que estas interações são instantâneas o

tempo de resposta do detector é somente limitado pelo sistema de medida. Tais detectores são chamados de "resposta pronta". Os detectores que usam a Platina como emissor são também considerados de "resposta pronta" pois as reações devido aos raios gamas e nêutrons com o emissor produzem elétron diretamente [1].

A magnitude da corrente elétrica, em equilíbrio, é proporcional a intensidade do fluxo de nêutrons. A corrente total do detector contém vários componentes tais como:

- sinal pronto devido a nêutrons (i_p);
- sinal atrasado devido a nêutrons (i_a);
- sinal gama (i_g);
- sinal devido aos diversos efeitos das interações dos nêutrons e gamas no condutor de sinal do cabo (i_c);
- sinal devido aos diversos efeitos das interações dos nêutrons e gamas no condutor de sinal do cabo de compensação (i_{cc}).

A corrente total é dada por:

$$i_{tot} = i_p + i_a + i_g + i_c + i_{cc} \quad (1)$$

3. Descrição dos Detectores

Os detectores de nêutrons auto-energizados (SPNDs) fabricados no IPEN-CNEN/SP são do tipo rígidos, de respostas rápidas, sensíveis a nêutrons térmicos e a radiação gama. Estes detectores foram especialmente projetados para utilização "in-core" em reatores nucleares tipo piscina [2].

Na construção destes detectores são utilizados materiais de qualidade nuclear, garantindo uma resposta estável sob fluxo de nêutrons e campo gama elevados, permitindo também sua utilização em alta fluência. A tabela 1 apresenta as características mecânicas destes detectores.

TABELA 1
Características mecânicas [2]

Detector	\varnothing_{ext} (mm)	\varnothing_{emis} (mm)	L_{tot} (mm)	L_{sens} (mm)	Emissor	Coletor	Isolante
Platina	2	0,98	177	127	platina	aço inox AISI304	alumina
Cobalto	2	0,98	177	120	cobalto	"	sint.
Cabo	1,5	-	12000	-	-	-	sint

A figura 1 apresenta o esquema do protótipo aqui utilizado . Ainda nesta fase do projeto, os detectores possuem apenas um cabo de sinal (unifilar) o que requer um outro cabo adicional, durante as medidas, para se avaliar a corrente produzida no cabo (corrente de compensação).

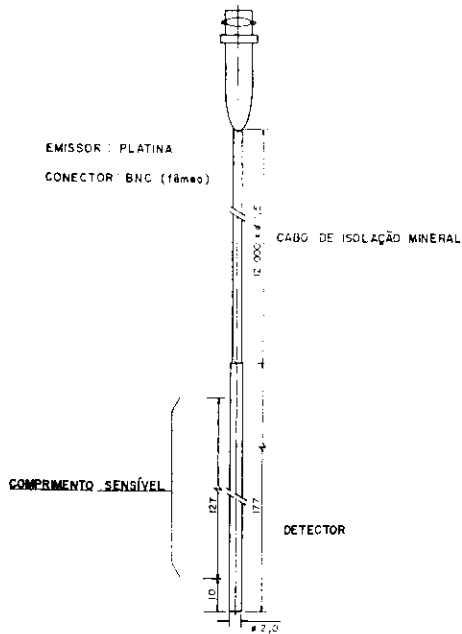


Figura 1 - Detector SPND

4. Arranjos Experimentais

A irradiação dos detectores SPNDs foi realizada com um arranjo especialmente construído (fig.2) de modo que cada detetor fosse fixado juntamente com o cabo de compensação. Este arranjo foi introduzido no canal 13 do elemento combustível do Reator IEA-R1 (fig.3) de modo que se situa na meia altura do citado elemento combustível.

Para se avaliar a distribuição do fluxo de nêutrons térmicos na região de irradiação dos SPNDs, foi utilizado uma régua de lucite de 2mm de espessura para fixação das folhas de ouro nuas (sem cobertura) e cobertas com cádmio, posicionadas na mesma localização de operação dos detectores SPNDs [3], para posteriormente serem irradiadas.

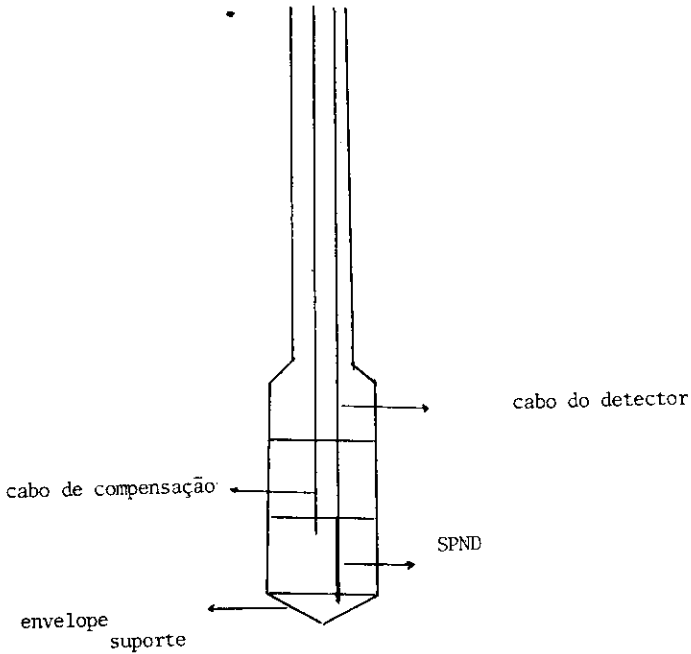
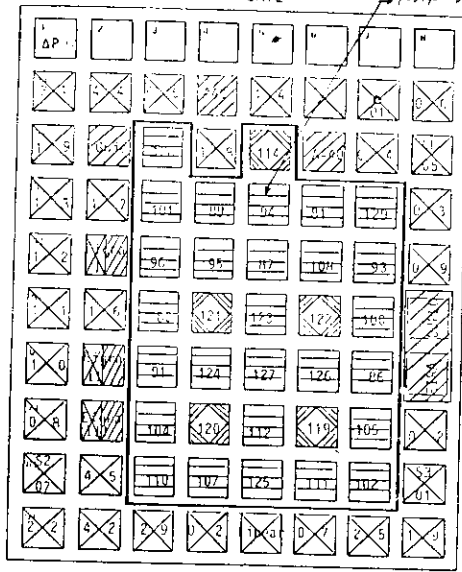


Figura 2 - Arranjo experimental para fixação dos SPNDs

GRID PLATE

Posição 35



Elemento combustível padrão



Fonte de nêutrons



Elemento refletor



Plug



Elemento de controle



Posição de irradiação

Figura 3 - Configuração do núcleo do reator IEA-RI
Posição de irradiação dos SPNDs.

5. Resultados Experimentais

5.1 - Medida Absoluta do Fluxo de Nêutrons Térmicos ao Longo do Comprimento Ativo do SPND.

A fim de se medir a sensibilidade dos detectores SPNDs há a necessidade de se conhecer o fluxo de nêutrons térmicos no local de operação dos detectores desta forma, utilizando a técnica de análise por ativação se obteve a distribuição espacial do fluxo de nêutrons térmicos no canal 13 do EC94. Para tal, foram irradiadas folhas de ouro nuas e cobertas com cádmio por 15 minutos em duas operações distintas de 50kW, reproduzindo o mesmo posicionamento de barras e potência (através da monitoração contínua do valor de corrente da câmara de ionização compensada do canal linear do reator) utilizada pelos detectores SPNDs.

Nas figuras 4 e 5 são apresentadas as medidas da distribuição espacial do fluxo de nêutrons térmicos. A tabela 2 apresenta os valores dos fluxos médios ao longo do comprimento ativo dos detectores SPNDs.

TABELA 2
Resultados Experimentais

Det.	Pot. (kW)	Fluxo (n/cm ² .s) (x1E + 11)	I _{tot} (pA)	I _{cabo} (pA)	I _{spnd} (pA)	Sensib. A/n.v.cm (x1E-22)	Erro (%)
Co1	50	2,675	-973,1	-104,3	-868,8	2,70	3,1
Co2	50	2,675	-1050,6	-129,4	-921,2	2,86	2,9
Pt2	50	2,515	491,0	-118,4	372,6	1,17	2,4
Pt3	50	2,515	504,8	-118,4	386,4	1,21	2,6

5.2 - Medidas Com os Detetores SPNDs.

5.2.1 - Sensibilidade a nêutrons térmicos

A sensibilidade de um detetor spnd é dada por:

$$S = I / (\emptyset . L)$$

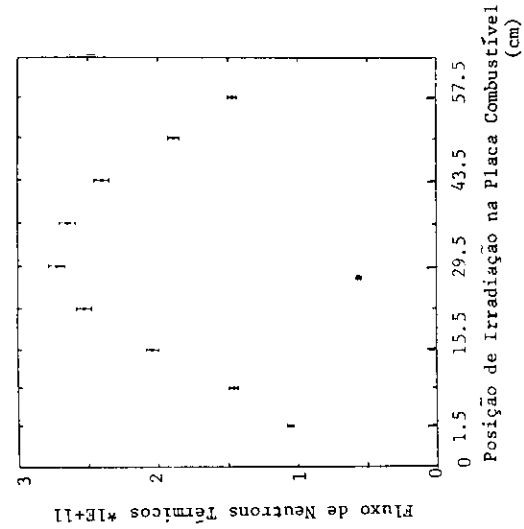


Figura 4 - Fluxo de Neutrons Térmicos na Posição dos Detectores SPND Co-1 e PT-2 E. 3.

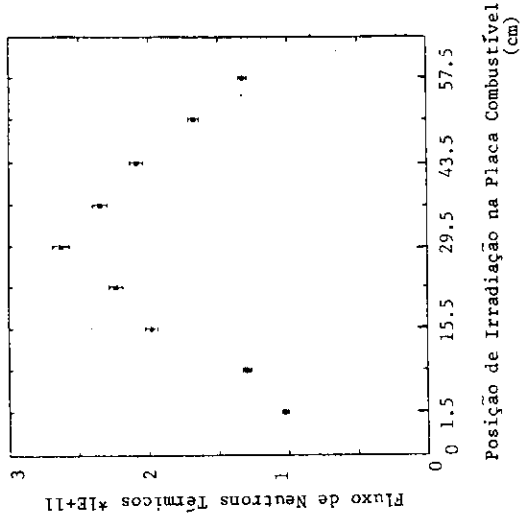


Figura 5 - Fluxo de Neutrons Térmicos na Posição dos Detectores SPND Co-2 e PT-2 E. 3.

onde:

- I - corrente elétrica (Ampère)
- ϕ - fluxo de nêutrons térmicos ($n/cm^2.s$)
- L - comprimento do emissor (cm)

As sensibilidades dos detectores disponíveis (quatro), sendo dois de cobalto e dois de platina, foram medidas levando-se em consideração a corrente do cabo de compensação. A tabela 2 apresenta estes resultados. Os valores de correntes apresentados são valores médios obtidos na potência de 50kW do Reator IEA-R1. Os valores dos desvios médios quadráticos apresentados foram calculados a partir das correntes medidas.

5.2.2 - Linearidade

A linearidade dos detectores SPNDs de Cobalto e Platina foi medida em três níveis de potência: 20kW, 50kW e 100kW. As curvas para os dois tipos de detectores são apresentadas nas figuras 6 e 7.

5.2.3 - Resposta dos detectores

Vários testes foram realizados para se avaliar as respostas dos detectores as variações de potência do Reator IEA-R1. As correntes dos detectores, do cabo de compensação eram registradas num registrador gráfico x-t e comparados com o sinal da câmara de ionização compensada (CIC) do canal linear do reator. O comportamento das respostas dos detectores (variação da corrente total com o tempo) foi obtido durante o desligamento do reator (Scram). Os resultados são mostrados nas figuras 8 e 9. O valor de 100% corresponde a corrente total medida com o SPND a 100kW.

5.2.4 - Estabilidade

Os testes de estabilidade dos detectores foram realizados durante curtos intervalos de tempo (30 minutos) onde os sinais da CIC do canal linear e do cabo de compensação também eram registrados.

6. Conclusões

De acordo com os objetivos propostos para este experimento, que era o de realizar testes dos protótipos disponíveis observando o comportamento dos mesmos quando submetidos a um campo neutrônico conhecido, consideramos, com base nos dados de resultados experimentais que:

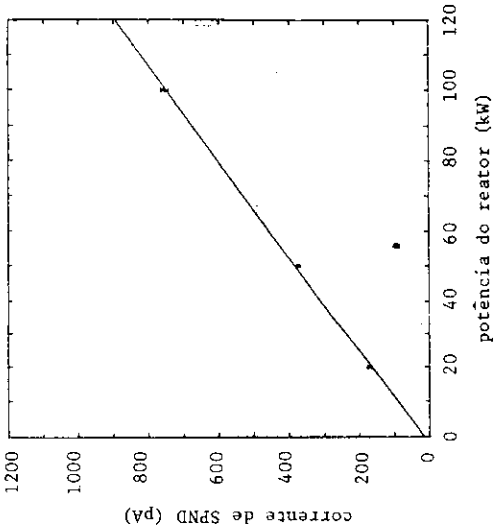


Figura 6 - Linearidade do Detetor SPND PT-2

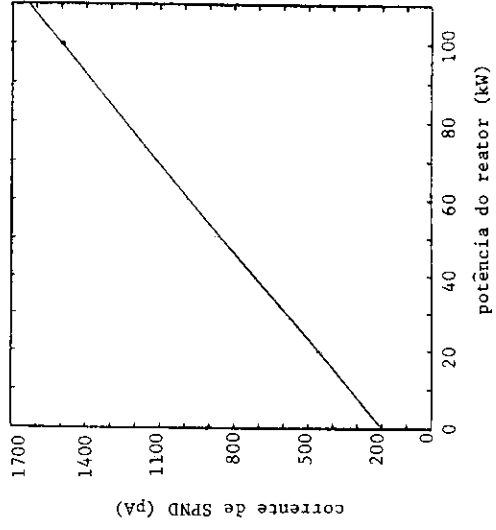


Figura 7 - Linearidade do Detetor SPND CO-1

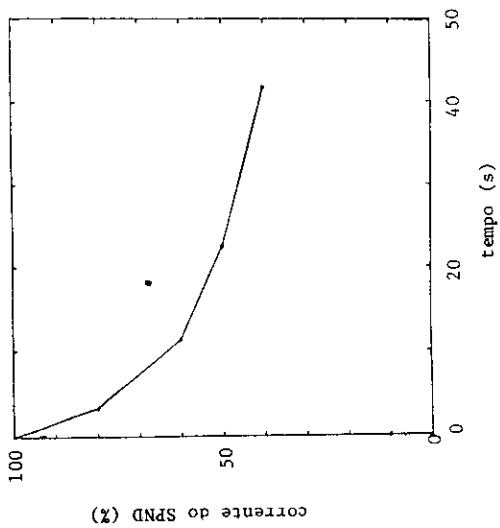


Figura 9 - Resposta do SPND CO-1

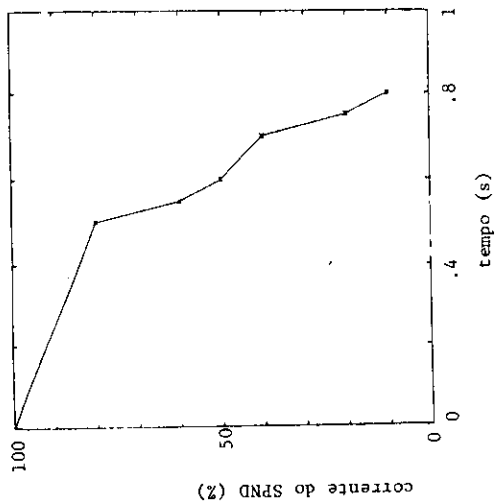


Figura 8 - Resposta do SPND Pt-2

- a) As sensibilidades medidas são comparáveis, a ordem de grandeza aos valores existentes na literatura, [4,5].
- b) Verifica-se uma boa linearidade com as medidas de potência e as correntes registradas nos detetores SPNDs.
- c) Os detetores apresentam boa estabilidade nos sinais ao longo das irradiações realizadas.
- d) Os detetores SPNDs apresentam respostas apropriadas às variações de potência.
- e) Os resultados das respostas apresentados pelos detetores , quando do "scram" (desligamento) do reator demonstram que os detetores de platina respondem mais rapidamente do que os de cobalto.

Com base nestes resultados preliminares diversas sugestões foram levantadas com o objetivo de se melhorar os resultados aqui apresentados e com isso investigar melhor a contribuição do campo gama na corrente total do detetor durante a realização das medidas

Referências

- [1] R.F.Corrêa, Projeto, Construção e Testes de um Detetor de nêutrons tipo "Self-Powered", Dissertação de Mestrado, Nuclebrás, CDTN, 1987.
- [2] H.E.B.Perez, Especialização Técnica de Detetores, Comunicação Pessoal (1988).
- [3] U.D.Bitelli, Medida da Distribuição Espacial e Energética de Nêutrons no Núcleo do Reator IEA-R1, Dissertação de Mestrado, IPEN-CNEN/SP, 1.
- [4] A.A.Kendoush, S.M.Aljobori, H.H.Ahmed, H.Z.Mohamed, Atomkernergie-Kerntechnik 42,174 (1983).
- [5] H.Bock, P.Geburek e D.Stegemann, Nuclear Instruments and Methods 123,117 (1975).