



22 a 27 de abril de 1990

ANAIS - PROCEEDINGS

DESENVOLVIMENTO DE DETECTORES "IN-CORE"

Homero E. Bañados Pérez
Teresinha Ferreira Lima Daltro
José Mauro Vieira
Wilson A. Parejo Calvo

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - SP
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Caixa Postal 11049 - Pinheiros
05508 - São Paulo - Brasil

SUMÁRIO

Os detectores "in-core" são utilizados principalmente na medição de fluxo de nêutrons no núcleo do reator. Nos reatores de potência, onde o núcleo é de grandes dimensões, é importante medir não apenas o valor médio do fluxo de nêutrons, mas também a sua distribuição espacial. Também podem ser utilizados para a confecção de mapas de fluxo e para fornecer uma informação geral do reator ou sobre o desempenho dos elementos combustíveis e/ou controle. Os detectores "in-core" são utilizados em um ambiente severo, onde a exposição a altos fluxos de nêutrons e gamas, e à altas temperaturas provocam mudanças na estrutura dos materiais constituintes do detector, afetando as propriedades elétricas e mecânicas. O presente trabalho mostra o desenvolvimento de detectores "in-core" no IPEN-CNEN/SP.

ABSTRACT

In-core detectors are mainly used in the neutron flux measurements in the reactor core. In power reactor, whose cores have a big size, it is important to measure the average value of the neutron flux as well as its spacial distribution. They can also be utilized in order to measure the flux distribution and provide a general information on the reactor behaviour or in the performance of the fuel elements. These detectors are utilized under a severe environment, where its exposure to high neutron and gamma fluxes and high temperatures, which can give rise to changes in the structure of the materials used in their construction affecting both its mechanical and electrical properties. This paper describes the development of in-core detectors at IPEN-CNEN/SP.

INTRODUÇÃO

Os detectores "in-core" são utilizados para a medição do fluxo de nêutrons e do campo da radiação gama no núcleo do reator. Nos reatores de potência, onde o núcleo é de grandes dimensões, além da medição do fluxo médio de nêutrons, é importante conhecer a distribuição espacial do fluxo de nêutrons e da potência no núcleo. Desta forma os detectores "in-core" são utilizados para o levantamento de mapas de fluxo, os quais fornecem uma informação geral sobre o funcionamento do reator, ou para permitir a verificação dos cálculos neutrônicos. Em certos casos, por razões de segurança, servem para proteger o combustível de danos causados por problemas locais de escoamento do fluido refrigerante ou por transientes da densidade de potência.

As medições "in-core" são universalmente feitas por meio de detectores de nêutrons. Porém a transformação da distribuição do fluxo de nêutrons para a distribuição de potência local no núcleo não é simples, precisa de fórmulas de transferência adequadas onde os parâmetros não são sempre conhecidos com precisão. De fato, a variação do enriquecimento do combustível ao longo do tempo de funcionamento do reator, a evolução do espectro de nêutrons em função da queima do combustível, a variação da sensibilidade do detector em função do consumo do material sensível e a perturbação gerada pela presença do detector na distribuição do fluxo de nêutrons, são parâmetros que dificultam a interpretação do sinal fornecido pelo detector. Por este motivo, a medição da radiação gama parece ser mais diretamente representativa da potência local, só que neste caso, esta medição não deve ser muito perturbada pela radiação gama proveniente dos elementos combustíveis vizinhos àquele onde está localizado o detector, ou ainda pela radiação gama emitida pela absorção de nêutrons nas barras de controle.

O programa de desenvolvimento de detectores "in-core" no IPEN-CNEN/SP tem por finalidade desenvolver detectores de nêutrons e detectores gama.

CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO

Os detectores "in-core" encontram-se localizados em um ambiente extremamente severo. A elevada exposição gama, fluxo de nêutrons, temperatura e pressão, provocam transformações nas características do detector e mudanças estruturais nos materiais utilizados, afetando as propriedades elétricas, mecânicas e funcionais.

A degradação das características elétricas e mecânicas nos isolantes provocam uma diminuição da resistividade, gerando a aparição de correntes de fuga ou microdescargas.

A mudança das características mecânicas dos metais e revestimentos metálicos produzem a uma fragilização das soldas provocando microvazamentos.

A liberação de gases adsorvidos pelos materiais e a produção intensa de produtos de fissão gasosos podem provocar mudanças nas características do gás de enchimento.

A queima do material sensível é considerável, provocando diminuição da sensibilidade.

CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

As características principais do projeto dos detectores "in-core" são:

a) natureza dos materiais e técnicas de montagem, permitindo limitar os efeitos da forte produção de calor devido à absorção da radiação gama na estrutura do detector;

b) dimensões reduzidas, possibilitando a sua instalação nos elementos combustíveis causando um mínimo de perturbação na distribuição do fluxo de nêutrons e no escoamento do refrigerante;

c) funcionamento prolongado sob fluxo de nêutrons superior a $1E+14$ nv e exposição gama da ordem de $1E+9$ R/h. Para um detector fixo durante um ciclo anual, o fluxo integrado pode ser da ordem de $1E+21$ nvt e a dose gama de $1E+12$ R, valores para os quais importantes mudanças de estrutura podem ser produzidas nos componentes do detector;

d) funcionamento prolongado sob condições de temperatura e pressão elevadas e contato direto com fluidos corrosivos.

PRINCÍPIOS DE DETECÇÃO

Nos detectores "in-core" desenvolvidos, a resposta do detector está baseada em dois princípios diferentes: a ionização gasosa na câmara de fissão e na câmara de ionização gama, e a coleção direta dos elétrons emitidos pelo elemento conversor ou emissor nos detectores SPND sensíveis a nêutrons e à radiação gama.

CÂMARA DE FISSÃO

A câmara de fissão é um detector de nêutrons que funciona no regime de câmara de ionização, ou seja, sem multiplicação eletrônica, onde apenas os elétrons e os íons positivos criados

inicialmente pela partícula incidente são coletados.

Como o nêutron não é ionizante, a câmara de fissão possui um depósito de material físsil que na interação com os nêutrons produz fragmentos de fissão que são fortemente ionizantes devido a causa de sua elevada energia e carga elétrica.

A câmara de fissão "in-core" desenvolvida no IPEN-CNEN/SP, funciona em pulsos e possui cabo de isolamento mineral integrado. A figura 1 mostra um desenho esquemático do detector.

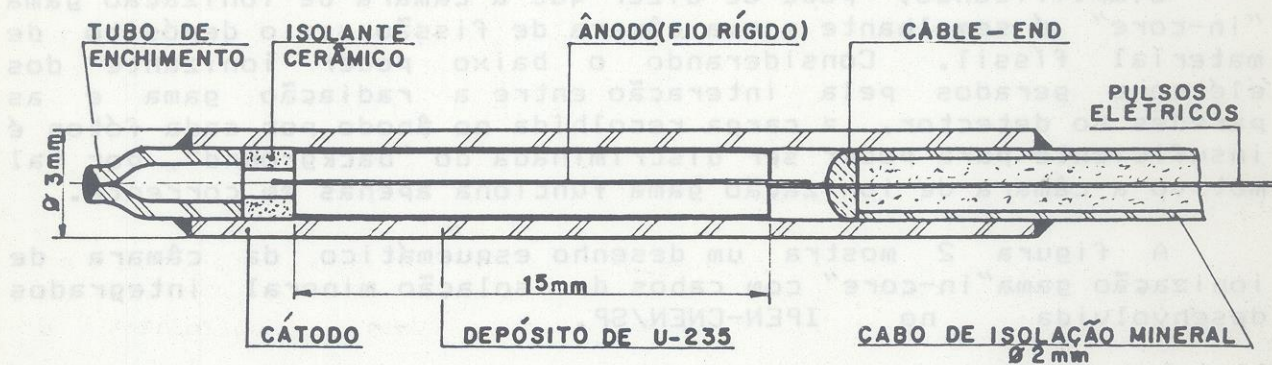


Figura 1 : Câmara de Fissão "in-core".

As características físicas e funcionais, determinadas a partir de testes realizados no núcleo do reator IEA-R1, são:

Mecânicas

Diâmetro externo	: 3mm
Comprimento sensível	: 15mm
Diâmetro do cabo de isolamento mineral	: 2mm

Materiais

Carcasa (cátodo)	: aço inox AISI 304
Eletrodo central (ânodo)	: aço inox AISI 304
Isolante	: alumina

Gás de enchimento

Natureza	: argônio + 4% nitrogênio
Pressão	: 0,5MPa

Depósito sensível

Natureza	: U308 enriquecido a 93% em U-235
Massa superficial	: 0,1mg/cm ²

Elétricas

Resistência de isolamento	: $>1E+12$ Ohm
Tensão de polarização	: 150V

Nucleares

Sensibilidade a nêutrons térmicos	: $1E-05$ cps/nv
Faixa de operação	: $1E+06$ nv - $1E+11$ nv

CÂMARA DE IONIZAÇÃO GAMA

Simplificando, pode-se dizer que a câmara de ionização gama "in-core" é semelhante a uma câmara de fissão sem o depósito de material físsil. Considerando o baixo poder ionizante dos elétrons gerados pela interação entre a radiação gama e as paredes do detector, a carga recolhida no ânodo por cada fóton é insuficiente para poder ser discriminada do "background", por tal motivo a câmara de ionização gama funciona apenas em corrente.

A figura 2 mostra um desenho esquemático da câmara de ionização gama "in-core" com cabos de isolamento mineral integrados desenvolvida no IPEN-CNEN/SP.

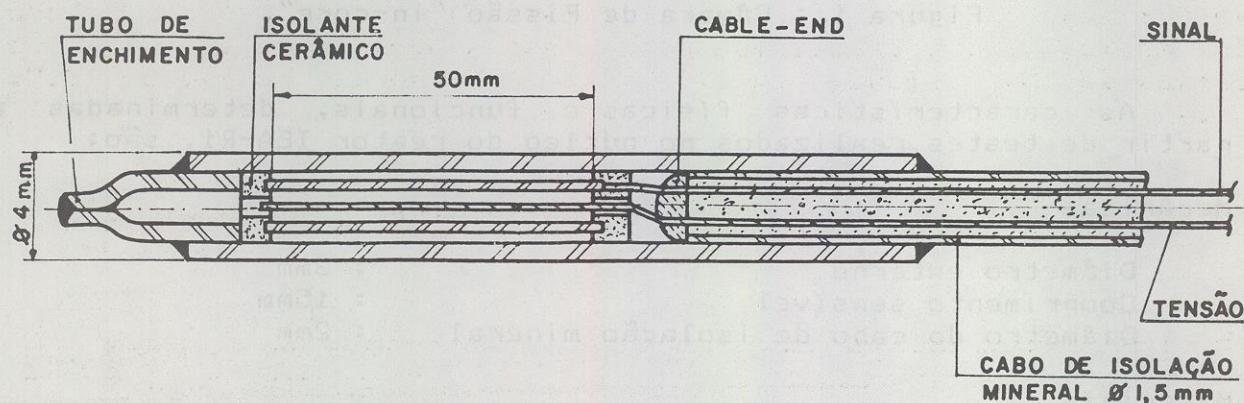


Figura 2 : Câmara de ionização gama "in-core".

Suas características físicas e funcionais, obtidas a partir de testes realizados com irradiador de cobalto-60 ($150TBq$), são:

Mecânicas

Diâmetro externo	: 4mm
Comprimento sensível	: 50mm
Diâmetro do cabo de isolamento mineral	: 1,5mm

Materiais

Carcaca	: aço inox AISI 304
Eletrodos	: aço inox AISI 304
Isolante	: alumina

Gás de enchimento

Natureza	: nitrogênio
Pressão	: 100kPa

Elétricas

Resistência de isolamento	: $>1E+12$ Ohm
Tensão de polarização	: 100V

Nucleares

Sensibilidade a radiação gama	: $1E-14$ A/R/h
-------------------------------	-----------------

DETECTORES "SELF-POWERED NEUTRON DETECTORS" (SPND)

Os detectores SPND representam um novo e diferente conceito de detector. Sua originalidade consiste no funcionamento sem polarização elétrica. A idéia inicial e a descrição do método de medição foi estabelecida pelo russo M.G.MITELMAN em 1961, e tornou-se operacional em 1964 pelo trabalho do canadense J.W. HILBORN.

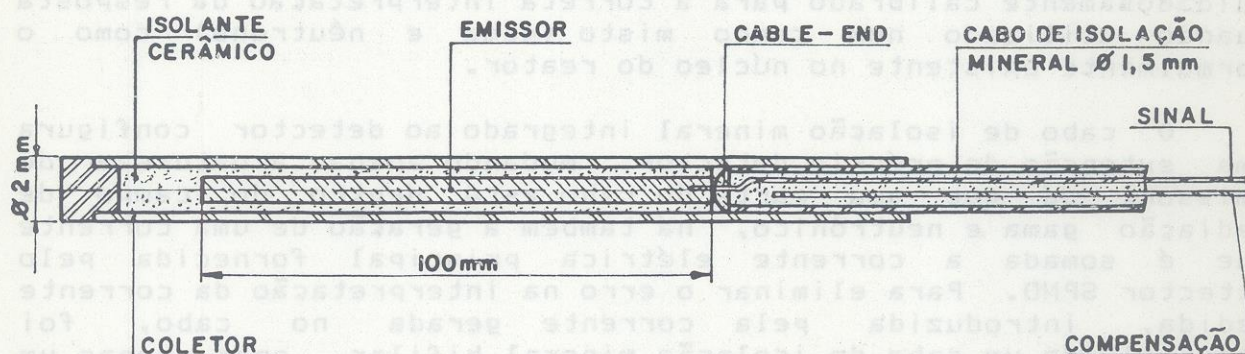


Figura 3 : Detector SPND.

Como mostra a figura 3, o detector SPND é formado por dois eletrodos em geometria coaxial separados por um isolante. O eletrodo central ou emissor é formado por elemento com elevada seção de choque para captura de nêutrons térmicos ou para absorção de radiação gama. O eletrodo externo ou coletor configura o envelope externo ou carcaça do detector. O isolante é formado por Al₂O₃ ou MgO.

Quando um detector SPND está exposto a um campo de nêutrons térmicos, haverá a emissão de elétrons no emissor causada pela captura de nêutrons. Em função do tipo de emissor e consequentemente sua secção de choque de captura, a emissão de elétrons poderá ser instantânea ou atrasada.

No primeiro caso é devido à emissão de radiação gama de captura pelo emissor, que será total (Fotoelétrico) ou parcial (Compton) absorvido no próprio emissor, emitindo em consequência elétrons. Os detectores SPND que possuem um emissor com estas características são classificados como de resposta rápida ou pronta.

No segundo caso os elétrons são emitidos pelo emissor devido ao decaimento beta do núcleo radioativo nele formado, segundo sua constante de decaimento característica. Estes detectores são chamados de resposta lenta ou atrasada.

Em ambos os tipos de detectores, uma parte dos elétrons emitidos pelo emissor possui energia suficiente para atravessar o isolante e ser recolhida no coletor. Dessa forma a intensidade da corrente elétrica medida entre o coletor e o emissor será proporcional a intensidade do fluxo de nêutrons no detector.

No SPND sensível a radiação gama o funcionamento está baseado na emissão de elétrons pelo emissor, como resultado da interação direta da radiação gama externa. Neste caso prefere-se utilizar como emissor um elemento de número atômico elevado.

Na prática todos os emissores são sensíveis em menor ou maior grau à radiação gama e aos nêutrons térmicos. Da mesma forma, no coletor são também gerados elétrons pelos mesmos tipos de interações. Por isso cada tipo de detector SPND deverá ser cuidadosamente calibrado para a correta interpretação da resposta quando utilizado num campo misto (gama e nêutrons) como o normalmente existente no núcleo do reator.

O cabo de isolamento mineral integrado ao detector configura uma extensão do próprio detector, mudando apenas a natureza do emissor. Já que uma parte do cabo está dentro do campo de radiação gama e neutrônico, há também a geração de uma corrente que é somada a corrente elétrica principal fornecida pelo detector SPND. Para eliminar o erro na interpretação da corrente medida, introduzida pela corrente gerada no cabo, foi desenvolvido um cabo de isolamento mineral bifilar, onde apenas um dos condutores está ligado ao emissor. Dessa forma o fio de sinal conduz a corrente gerada pelo emissor e a gerada pelo próprio fio, e o fio de compensação, idêntico ao de sinal, conduz apenas a corrente gerada no fio. Mediante a subtração da corrente medida no fio de compensação a corrente medida no fio de sinal, obter-se-á a corrente líquida gerada apenas no emissor do SPND.

As características gerais a todos os detectores SPND desenvolvidos são as seguintes:

Mecânicas

Diâmetro externo	: 2mm
Comprimento sensível	: 100mm
Diâmetro do emissor	: 1mm
Diâmetro do cabo de isolamento mineral	: 1,5mm
Comprimento do cabo	: 12m

Materiais

Carcaça	: aço inox AISI 304 ou Inconel 600
Isolador	: alumina sinterizada
Bainha e condutores do cabo	: aço inox AISI 304 ou Inconel 600
Isolante do cabo	: alumina compactada

As características funcionais dos detectores SPND desenvolvidos, foram determinadas a partir de testes realizados no núcleo do reator IEA-R1. A figura 4 mostra a correlação entre a resposta do SPND com emissor de platina e de cobalto, em função da potência do reator IEA-R1. As características funcionais específicas para cada tipo de emissor são:

Emissor de Prata

Sensibilidade a nêutrons térmicos	: 3E-20A/nv
Tempo de resposta a 63%	: 51s
Queima anual sob fluxo 1E+13nv	: 2,4%

Emissor de Ródio

Sensibilidade a nêutrons térmicos	: 7E-20A/nv
Tempo de resposta a 63%	: 68s
Queima anual sob fluxo de 1E+13nv	: 3,9%

Emissor de Cobalto

Sensibilidade a nêutrons térmicos	: 0,7E-21A/nv
Tempo de resposta	: pronta
Queima anual sob fluxo de 1E+13nv	: 1,1%

Emissor de Háfênio

Sensibilidade a nêutrons térmicos	: 0,2E-20A/nv
Tempo de resposta	: pronta
Queima anual sob fluxo de 1E+13nv	: 3,1%

Emissor de Platina

Sensibilidade a radiação gama (80% da resposta total)	: 2E-16A/R/h
Sensibilidade a nêutrons térmicos	: 1,3E-21A/nv
Tempo de resposta	: pronta
Queima anual sob fluxo de 1E+13nv	: 0,2%

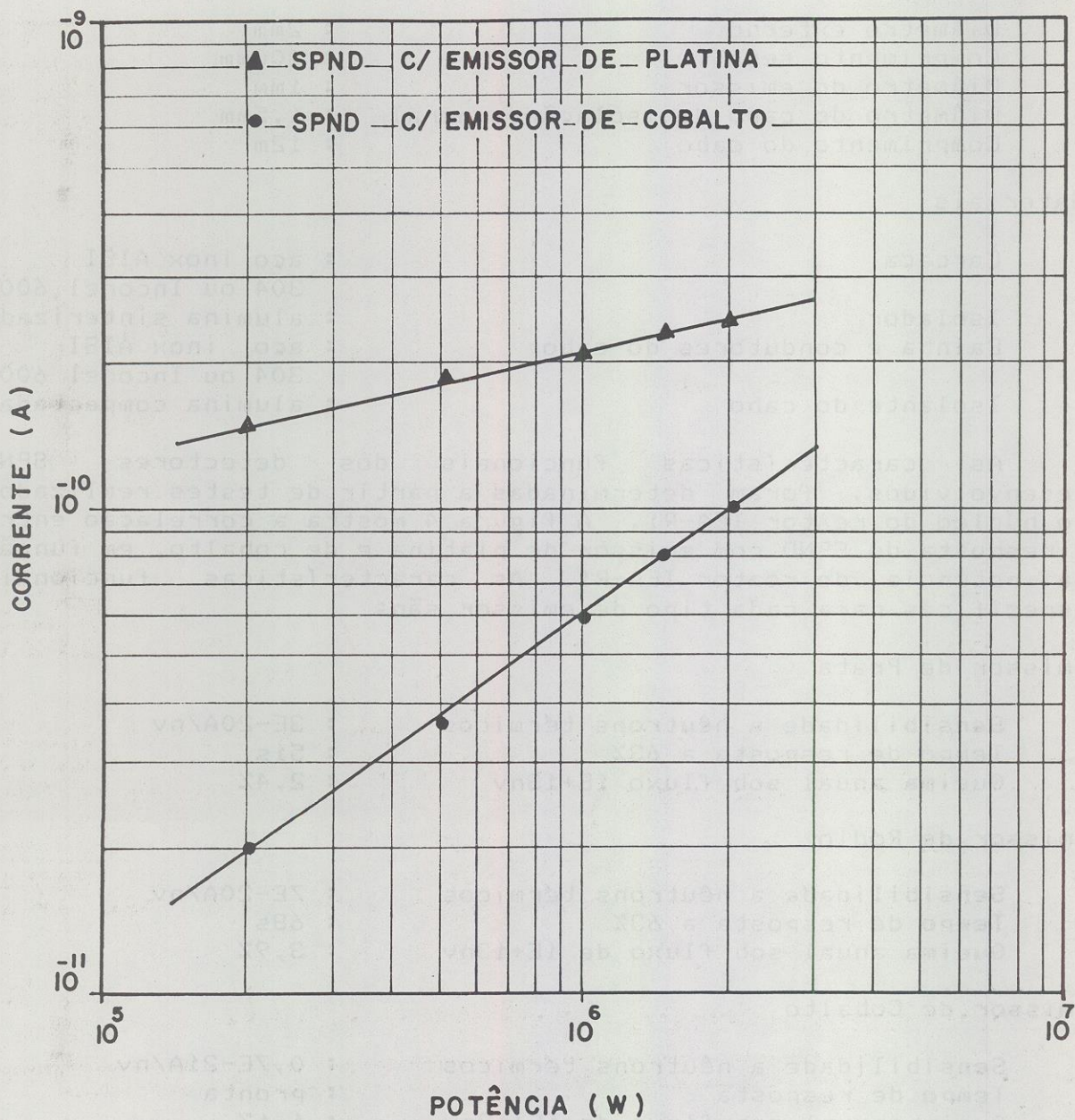


FIGURA 4. CORRELAÇÃO ENTRE A RESPOSTA DOS DETECTORES SPND E A POTÊNCIA DO REATOR IEA-RI

CONCLUSÃO

Pela análise das características funcionais obtidas nos testes com os detectores "in-core" desenvolvidos, pode-se concluir que os materiais escolhidos, o projeto e a tecnologia de construção utilizada, garantem a adequada utilização destes detectores no campo de aplicação proposto.

Para uma avaliação dos detectores, que leve em conta a degradação de suas características funcionais pela ação dos altos níveis de radiação, estão sendo iniciados testes de longa duração no núcleo do reator IEA-R1, onde será registrada a resposta dos detectores durante todo o teste, permitindo avaliar dessa forma a qualidade dos componentes e a variação de suas características em função do fluxo integrado até $1E+21$ nvt.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CONSTANS, H.; COVILLE, P.; GUERRE, J. Développement Industriel des Detecteurs Neutroniques, Chambres à Fission, Collectrons, Chambres d'ionisation. In: ELECTRONIC instrumentation for nuclear reactor control: one-day meeting on..., held in Paris, Dec. 18, 1974. Onde Electr., 55 (8): 449-456, 1975.
2. DUCHENE, J. & VERDANT, R. Détecteurs de neutrons pour le contrôle - commande des réacteurs nucléaires. Gif-sur-Yvette, CEA Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay, dec. 1974. (CEA-CONF-2930).
3. DUCHENE, J. Contribution à l'étude et à l'utilisation des chambres d'ionisation pour le contrôle des réacteurs nucléaires. Gif-Sur-Yvette, CEA Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay, 1965. (CEA-R2373).
4. HILBORN, J.W. Self-Powered Neutron Detectors for reactor flux monitoring. Nucleonics, 22 (2): 69 - 74, 1964.
5. KNOLL, G.F. Radiation detection and measurement. New York, Wiley, 1979. C.14.
6. PÉREZ, HOMERO.E.B. Especificação técnica de detector. Detector: SPND rígido de resposta rápida com emissor de platina, modelo DR 01 SPD. Relatório IPEN-TE-nov, 1987.