



22 a 27 de abril de 1990

ANAIS - PROCEEDINGS

DESENVOLVIMENTO DE DETECTOR PROPORCIONAL COM DEPÓSITO DE BORO-10 PARA CANAL DE PARTIDA DE REATORES NUCLEARES

Homero E. Bañados Pérez
 Maria Helena de Oliveira Sampa
 Maria da Conceição Costa Pereira

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

SUMÁRIO

Desenvolveu-se, no IPEN-CNEN/SP, um detector proporcional com depósito de boro-10, para ser utilizado em canal de partida de reatores nucleares tipo PWR. Pela interação com a camada de boro que recobre o cátodo, um nêutron térmico produz uma partícula alfa e um núcleo de Li-7 que ionizam o gás. O campo elétrico multiplica os elétrons na proximidade do ânodo, e a carga elétrica recolhida é proporcional ao número total de elétrons coletados no ânodo, e conseqüentemente à energia da partícula ionizante. O presente trabalho descreve as diversas etapas do projeto, partindo da escolha do tipo de detector, matérias primas e técnicas de montagem, misturas de gases e pressão de enchimento, e finalmente os testes funcionais realizados com o primeiro protótipo.

ABSTRACT

It was developed, at IPEN-CNEN/SP, a boron-lined proportional detector to be used at the startup range of PWR type nuclear reactors. Alpha-particles and Li-7 nucleus are produced in the interaction between an incident thermal neutron and boron that line the cathode and both charged particles ionized the gas. The strong electric field between the electrodes multiply the number of electrons closed to the anode and the electric charge collected is proportional to the total number of electrons and also to the energy of the charged particles. In this paper, we present the different stages of the project, starting with the selection of the detector type, materials, assembling techniques, mixture of gases, filling-pressure and also the functional test performed with the first prototype.

INTRODUÇÃO

Os detectores proporcionais de nêutrons térmicos utilizados para a instrumentação do canal de partida de reatores nucleares ou operações de recarregamento de combustível onde o fluxo de nêutrons é pequeno em relação ao campo gama, devem apresentar elevada sensibilidade a nêutrons térmicos em presença de um campo gama elevado.

Os materiais sensíveis utilizados, de elevada seção de choque tais como o boro-10 e o hélio-3, geram partículas secundárias que produzem no gás uma carga elétrica inicial que será amplificada por multiplicação eletrônica no gás, sendo a carga final, recolhida no ânodo, proporcional a carga inicial.

A sensibilidade aos nêutrons não pode ser separada da influência da radiação gama para as aplicações nas quais tem-se sempre a presença de um campo de radiação misto. Esta influência não está ligada apenas ao material estrutural, mas igualmente ao tempo de resposta do detector e da eletrônica utilizada.

A escolha de um tipo de detector resulta de um compromisso entre sensibilidade a nêutrons e gamas associada a estabilidade no tempo e sob radiação.

Os detectores proporcionais de nêutrons pertencem geralmente a três famílias: BF₃, boro depositado e hélio-3. Os detectores BF₃ são pouco utilizados em canal de partida devido a pouca estabilidade no tempo e sob radiação (entre outras causas a dissociação do BF₃). Podem ser utilizados num campo gama de até $1,0E+2R/h$ e o limite de utilização é de $1,0E+16nvt$ ou $2,0E+10$ contagens.

Os detectores de boro depositado apresentam elevada estabilidade no tempo e sob radiação. A volume igual sua sensibilidade é menor que das outras famílias, porém os efeitos indesejáveis da radiação gama são muito menores. Podem ser utilizados num campo gama de até $3,0E+3R/h$ e o limite de utilização é de $1,0E+18nvt$.

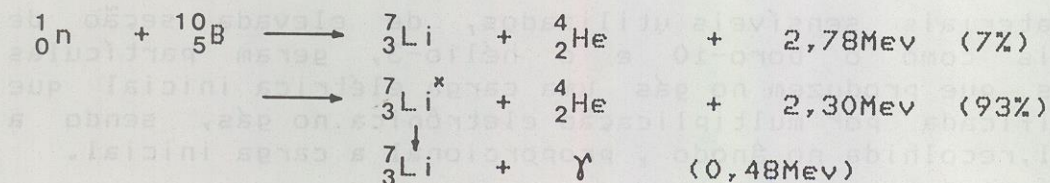
Os detectores de hélio-3 possuem também uma boa estabilidade no tempo e sob radiação, e apresentam a maior sensibilidade a nêutrons térmicos. Contudo, a influência da radiação gama no sinal é também elevada, de forma que sua utilização está limitada a um campo gama de até $10R/h$.

Considerando as características das três famílias de detectores anteriormente descritas, foi escolhido o detector proporcional com depósito de boro-10 para ser desenvolvido no IPEN-CNEN-SP e a ser utilizado no canal de partida de reatores.

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O detector está formado por uma parede cilíndrica que constitui o cátodo, um fio central como ânodo, e um gás de enchimento. Na parede interna do cátodo é depositada uma camada fina de boro-10. A tensão aplicada entre o ânodo e o cátodo determina o funcionamento em regime proporcional.

Um nêutron incidente interage com o núcleo de um átomo de boro-10 segundo a reação nuclear:



A captura de um nêutron térmico ($\approx 0,025\text{eV}$) por um núcleo de boro-10 produz a transmutação deste núcleo. Há a formação de um novo núcleo em estado excitado, que passa rapidamente a um estado estável (7_3Li) emitindo uma partícula alfa (4_2He). As duas partículas são emitidas em coincidência e em direções opostas, acompanhadas de liberação de energia na forma de energia cinética compartilhada pelos dois núcleos. A passagem ao estado estável pode ser direta e neste caso a energia liberada é de 2,78Mev. Poderá ser também indireta e passar por um estado intermediário, no caso um núcleo de 7_3Li excitado que passará ao estado estável fundamental emitindo um fóton gama de 0,48Mev. Esta segunda reação é de maior ocorrência (93%) e será a única considerada. Neste caso a energia total liberada a ser compartilhada pelo núcleo de 7_3Li e a partícula alfa será:

$$2,78 - 0,48 = 2,30\text{Mev}$$

Tendo o nêutron térmico incidente energia próxima de zero ($\approx 0,025\text{eV}$) teremos que a energia cinética dos núcleos resultantes será:

$$E_{{}^7_3Li} = \frac{2,30 \times 4}{4 + 7} = 0,84\text{Mev}$$

$$E_{{}^4_2He} = \frac{2,30 \times 7}{4 + 7} = 1,47\text{Mev}$$

Uma das partículas emitidas é absorvida por recuo no depósito. A partícula que emerge possui uma energia variando de 0 à 0,84MeV para o 7Li ou de 0 à 1,47MeV para a partícula alfa, dependendo da profundidade do depósito de boro onde ocorreu a reação nuclear. O espectro de amplitude dos pulsos do detector apresenta dois picos não muito bem definidos correspondentes aos núcleos de 7Li e as partículas alfa, como mostra a figura 1.

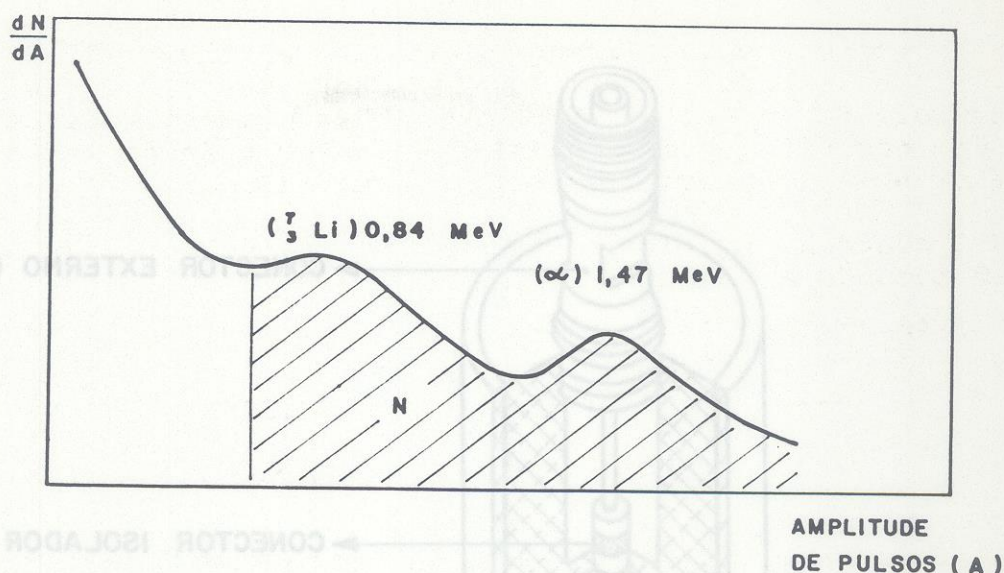


FIGURA 1. ESPECTRO DE UM DETECTOR PROPORCIONAL
COM DEPÓSITO DE BORO-10.

A qualidade do depósito de boro-10, em particular sua espessura e homogeneidade, são parâmetros muito importantes que determinam a definição do espectro do detector. Um depósito muito fino e regular produzirá um espectro bem definido, em compensação a sensibilidade de detecção será baixa. Na prática se adota um valor de compromisso para a espessura do depósito de boro-10 próximo a $0,4\text{mg/cm}^2$.

PROJETO, CONSTRUÇÃO E MATERIAIS

A figura 2 mostra um desenho esquemático do detector proporcional com depósito de boro-10.

O detector foi construído em alumínio de alta pureza (1050-ABNT), com diâmetro externo de 32mm, comprimento total de 410mm e comprimento sensível de 260mm, sendo o fio central, o ânodo, em tungstênio revestido com ouro, com um diâmetro de $50\mu\text{m}$.

Os isoladores foram fabricados em alumina de alta pureza (99,7% Al_2O_3), e os conectores internos em Alumina/Kovar. O gás de enchimento é uma mistura de Argônio e CO_2 (5%).

O depósito de boro enriquecido a 90,1% em boro-10, foi efetuado nas paredes internas dos cilindros de alumínio, por deposição eletroforética, utilizando-se o arranjo experimental mostrado na figura 3.

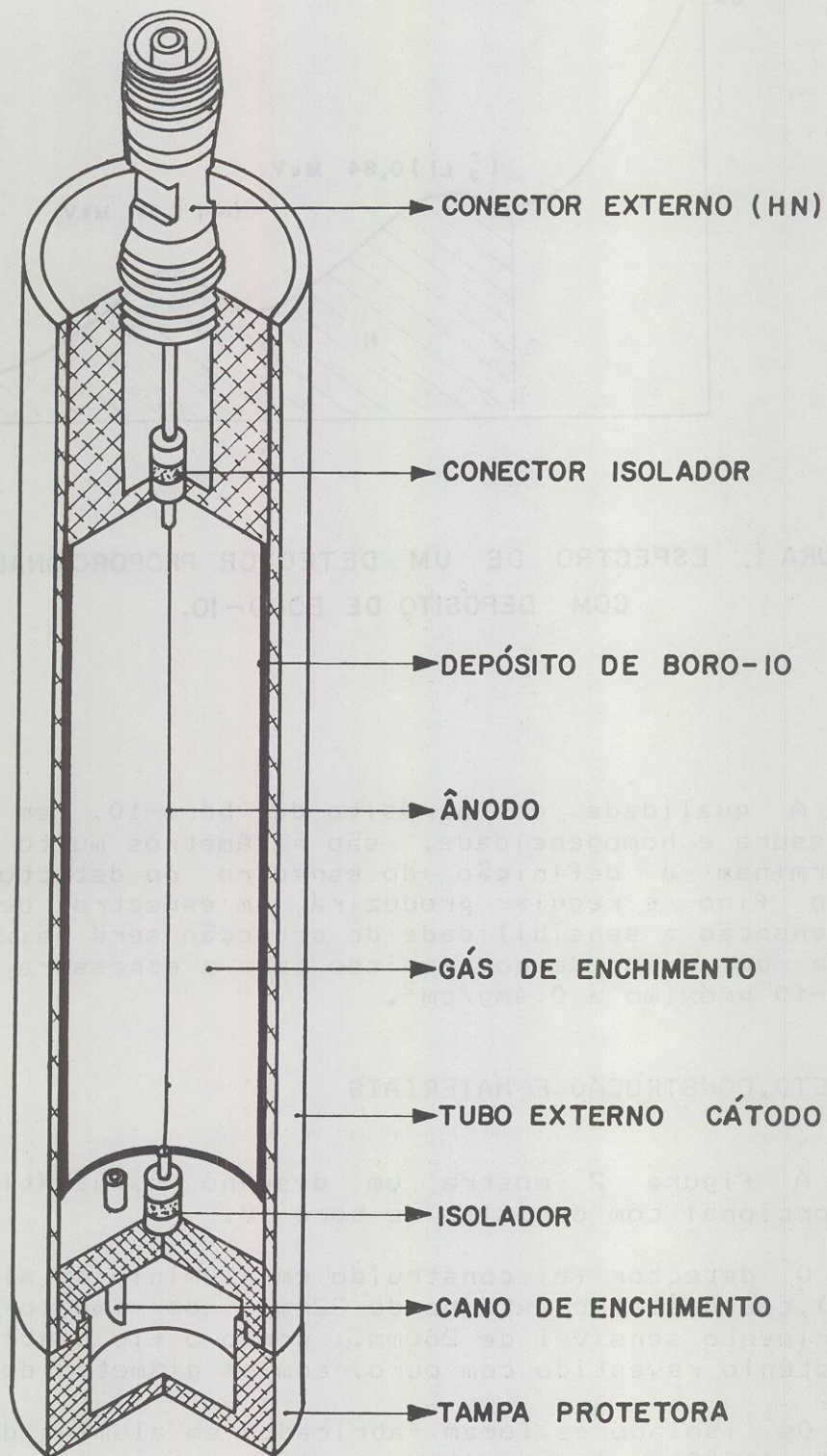


FIGURA 2. DESENHO ESQUEMÁTICO DE UM DETECTOR PROPORCIONAL COM DEPÓSITO DE BORO-10

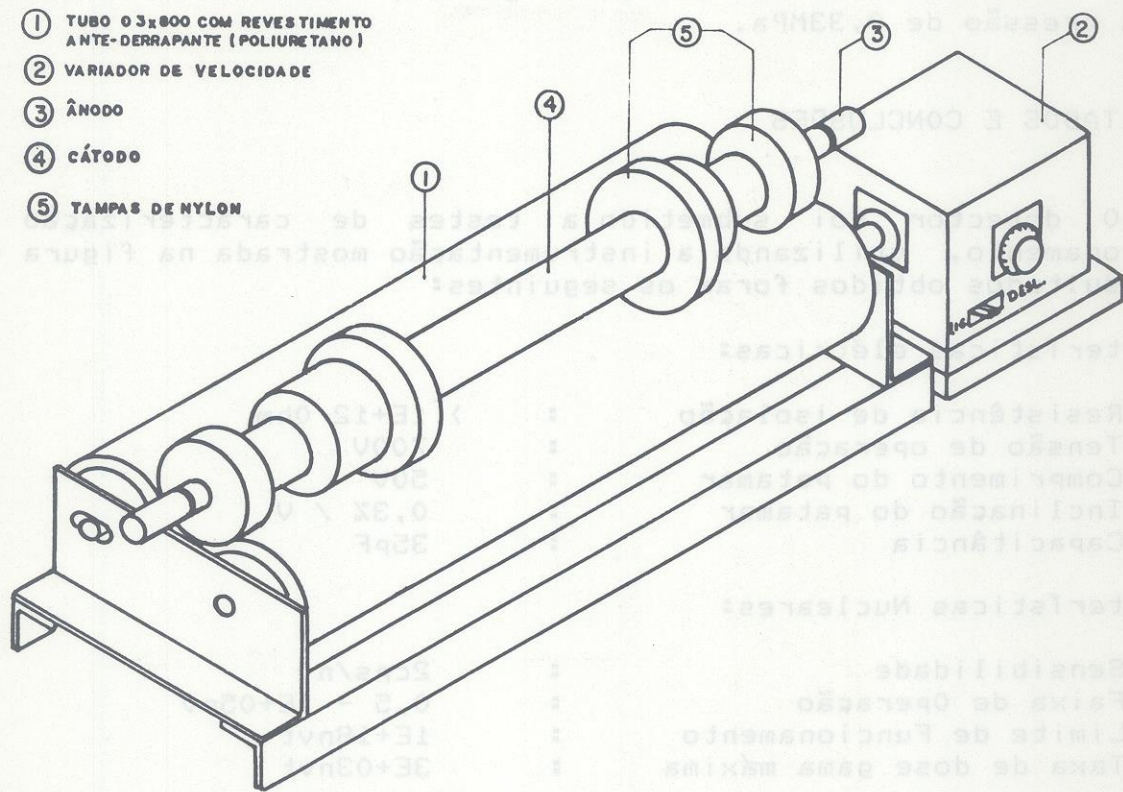


FIGURA 3. ARRANJO EXPERIMENTAL PARA A DEPOSIÇÃO DE BORO NAS PAREDES INTERNAS DE CILINDROS DE ALUMÍNIO

A suspensão de boro é introduzida dentro do cilindro de alumínio a ser recoberto, sendo este vedado por tampas de nylon que também funcionam como isoladores entre o ânodo e o cátodo do sistema de deposição. Em seguida, este cilindro é colocado sobre dois tubos rotatórios de alumínio, perfeitamente paralelos, e acionados por um motor. Com este sistema, o cilindro de alumínio contendo a suspensão de boro, é girado em torno do seu eixo de rotação com uma velocidade controlada durante a deposição.

Previamente a montagem, todas as peças foram submetidas a um processo de desengraxamento e limpeza por ultra-som, e a montagem final foi realizada em sala limpa classe 100.

As soldas foram executadas e testadas de modo a se obter uma elevada estanqueidade (o vazamento é menor que $1E-10$ torr/litros.segundo).

Em seguida, o detector foi desgaseificado a uma pressão de $1E-06$ mbar e 120 graus centígrados de temperatura. Finalmente a câmara foi preenchida com a mistura gasosa, citada anteriormente, a uma pressão de 0,33MPa.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

O detector foi submetido a testes de caracterização e funcionamento, utilizando a instrumentação mostrada na figura 4. Os resultados obtidos foram os seguintes:

Características elétricas:

Resistência de isolamento	:	> $1E+12$ Ohm
Tensão de operação	:	700V
Comprimento do patamar	:	50V
Inclinação do patamar	:	0,3% / V
Capacitância	:	35pF

Características Nucleares:

Sensibilidade	:	2cps/nv
Faixa de Operação	:	0,5 - $1E+05$ nv
Limite de Funcionamento	:	$1E+18$ nvt
Taxa de dose gama máxima	:	$3E+03$ nvt

A figura 5 mostra a curva característica do patamar e as figuras 6 e 7 mostram o espectro de amplitude dos pulsos e a curva de discriminação, respectivamente.

Pela análise dos resultados obtidos, conclue-se que o detector desenvolvido possui características funcionais semelhantes a detectores similares fabricados no exterior, sendo dessa forma possível sua utilização no campo de aplicação proposto.

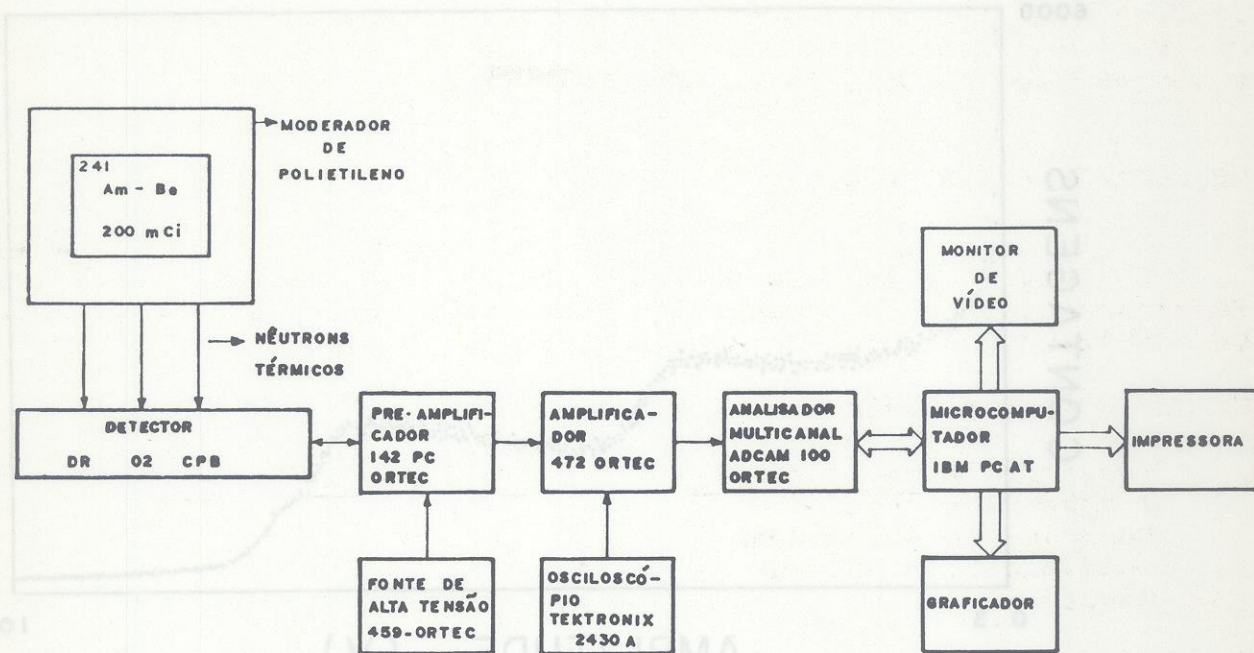


FIGURA 4. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA NA CARACTERIZAÇÃO DO DETECTOR PROPORCIONAL

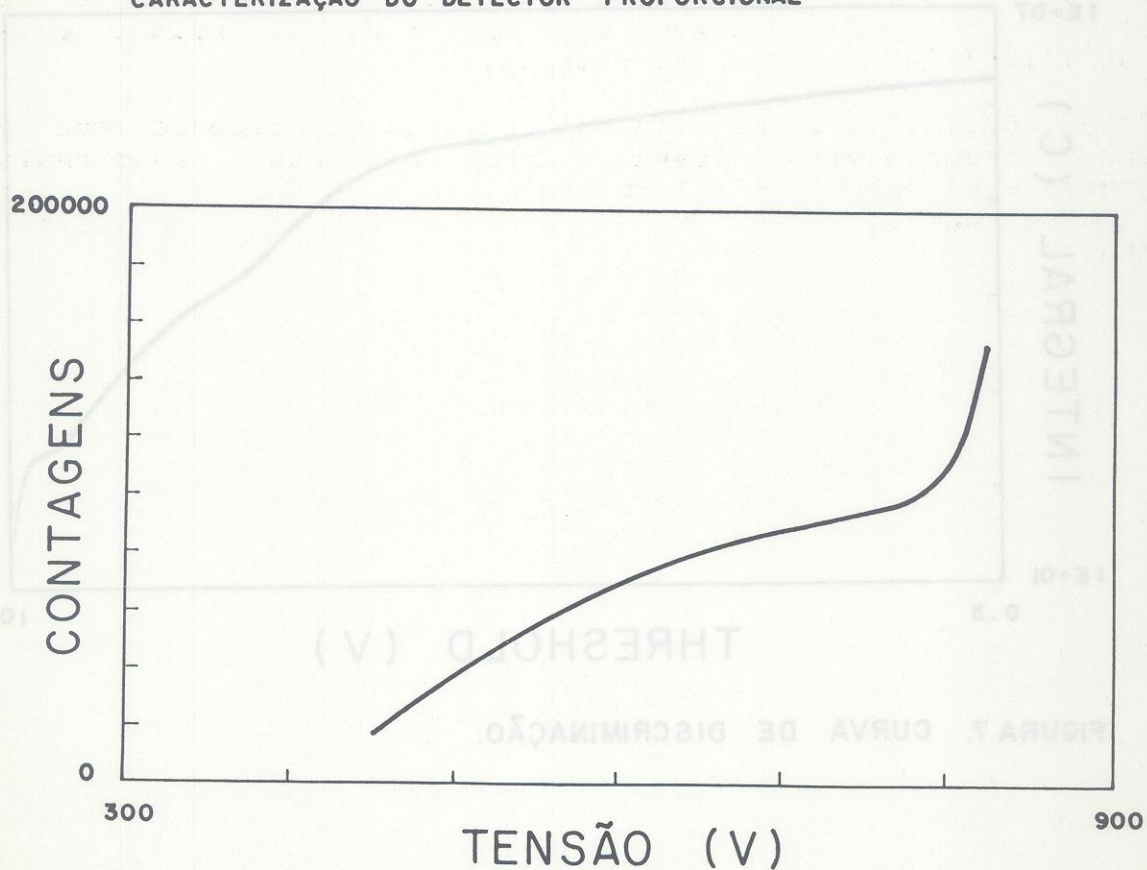


FIGURA 5. CURVA CARACTERÍSTICA DO PATAMAR.

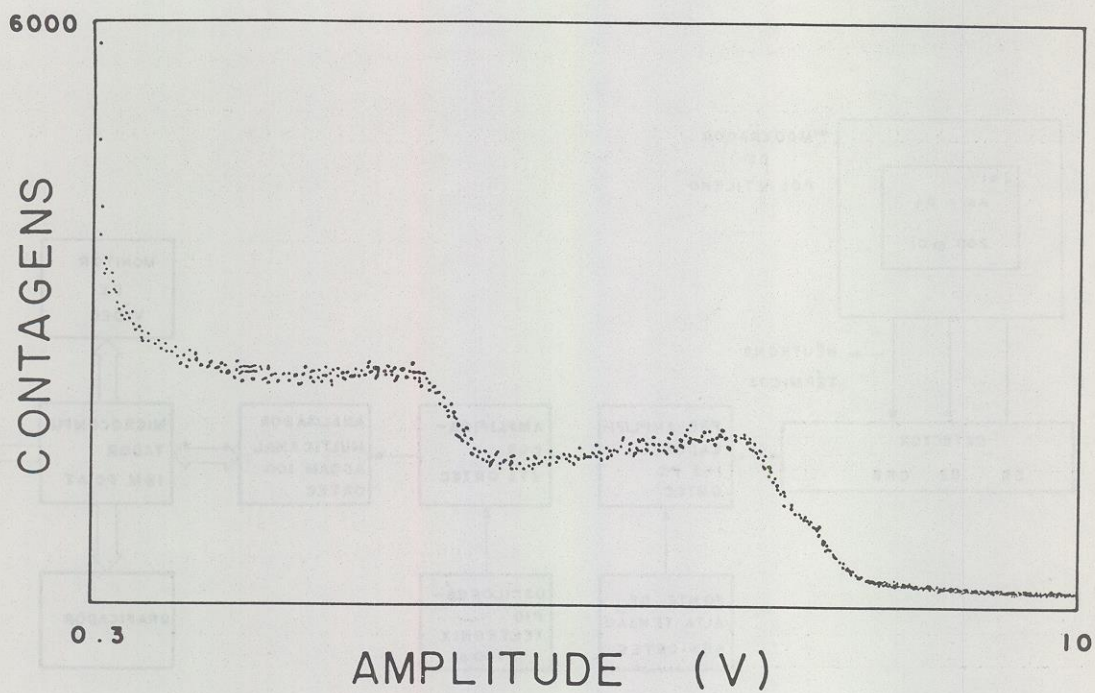


FIGURA 6. ESPECTRO DE AMPLITUDE DOS PULSOS.

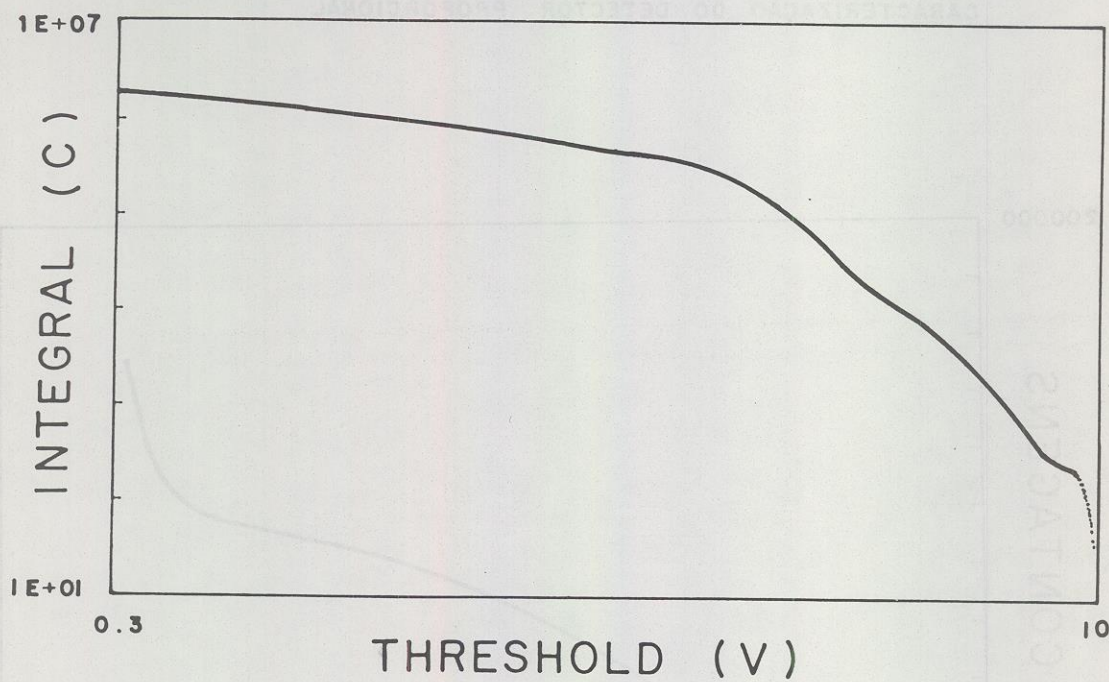


FIGURA 7. CURVA DE DISCRIMINAÇÃO.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MAI, V.Q. Étude des détecteurs à gaz pour neutrons thermiques fonctionnant en collection de courant. CEA Centre d'études Nucleaires de Saclay, 1966 (CEA-R 2962).
2. 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'Études Nucléaires de Saclay, 1965 (CEA-R 2373).
3. PÉREZ, HOMERO.E.B. Especificação técnica de detector. Detector: Contador proporcional de neutrons térmicos com depósito de boro, modelo DR 02 CPB. Relatório IPEN - TE - fev, 1988.
4. CONSTANS, H. ; COVILLE, P., GUERRE, J. Développement industriel des détecteurs neutroniques, chambres à fission, collectrons, chambres d'ionisation. In: ELETRONIC instrumentation for nuclear reactor control: one-day meeting on..., held in Paris, Dec.18, 1974. Onde Electr., 55 (8): 449-56, 1975.
5. KNOLL, G.F. Radiation detection and measurement. New York, Wiley, 1979. C.14.

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 spatial 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-CHEN/SP.