

**"DESENVOLVIMENTO DE CÂMARA DE IONIZAÇÃO PARA MEDIÇÃO DE  
POTÊNCIA DE REATORES NUCLEARES, BASEADO NA MEDIÇÃO  
DA ATIVIDADE DO N<sup>16</sup> NO CIRCUITO PRIMÁRIO"**

**Homero Enrique Bañados Perez, José Mauro Vieira,  
Artur Rodrigues Vieira e Clayton Ferreira de Figueiredo.**

**Comissão Nacional de Energia Nuclear - SP  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
Caixa Postal 11049 - CEP 05508 - São Paulo - S.P.**

**RESUMO**

No IPEN foi desenvolvido um instrumento para indicar a potência do reator IEA-R1, cujo projeto está baseado na medição da atividade do nitrogênio-16 na água de refrigeração que provém do núcleo. Este instrumento consiste principalmente de uma câmara de ionização especialmente projetada e construída para medir no circuito primário de refrigeração, a radiação gama de alta energia emitida pelo N-16.

Os primeiros resultados mostram que o instrumento desenvolvido fornece uma indicação de potência com um desvio de  $\pm 2\%$  do valor da potência determinada por balanço térmico, e também é independente da configuração do núcleo e da temperatura da refrigeração primária.

**ABSTRACT**

At IPEN, a reactor power indicating instrument has been developed for the nuclear reactor IEA-R1, whose design is based upon the measurement of the nitrogen-16 gamma activity in the light water coolant from the core. This instrument is mainly an ionization chamber specially designed and constructed to measure the high energy gamma radiation from nitrogen-16 in the primary coolant circuit.

The first results with this measuring instrument shows that it gives an indication within  $\pm 2\%$  of the power as determined from thermal measurements, and also is independent of core configuration and temperature of primary coolant.

## 1. INTRODUÇÃO

A monitoração de potência utilizando a medida da atividade do  $N^{16}$  na água é utilizada com frequência em reatores nucleares de pesquisa e de potência. A principal característica da monitoração de potência global do reator, pela medida da atividade do  $N^{16}$ , é que esta medida não é afetada pelas deformações locais do fluxo de nêutrons, provenientes da variação das posições das barras absorvedoras, introdução de dispositivos experimentais de irradiação, queima de combustível, variações de temperatura, etc.

O  $N^{16}$  é formado a partir de uma reação  $(n,p)$  com o  $O^{16}$  da água que atravessa o núcleo do reator. O limiar de energia desta reação é excepcionalmente elevado ( $\approx 11$  MeV) o que faz com que a formação do  $N^{16}$  dependa unicamente do fluxo de nêutrons de fissão, e se processa em todo o volume do núcleo, sendo portanto, dependente da potência global.

O  $N^{16}$  tem meia-vida de 7,13 s, sendo sua desintegração feita através de emissão de partículas  $\beta$  e radiação  $\gamma$  de 0,13 MeV (68%) e 7,12 MeV. Esta energia é consideravelmente mais elevada que a de outros radiossótopos encontrados na água.

A atividade do  $N^{16}$  representa 99% da atividade total da água que sai do núcleo, sendo a atividade restante resultante da ativação de impurezas, de produtos de corrosão, produtos de fissão e de reações menos importantes, que dão origem a  $N^{17}$ ,  $O^{19}$ ,  $Ar^{41}$ ,  $Mg^{27}$ ,  $Al^{28}$  e  $Na^{24}$ .

A meia-vida do  $N^{16}$  é tão pequena que sua atividade praticamente desaparece quando a água retorna ao núcleo, após a passagem pelo circuito primário.

## 2. MEDIÇÃO DA ATIVIDADE DO NITROGÊNIO-16

A medição de atividade do  $N^{16}$  é realizada, medindo a radiação gama emitida pelo  $N^{16}$  contido água, quando passa pelo local de medição no circuito primário. Esse local deve ser

escolhido de maneira que o tempo decorrido entre a saída da água do núcleo e sua passagem pelo local de medição, seja suficientemente curto. A figura 1 mostra o esquema geral da instalação.

O sistema de medida é formado pela câmara de ionização gama desenvolvida, um eletrômetro, uma fonte de alta tensão e um registrador.

A intensidade da radiação gama proveniente do  $N^{16}$  em um certo volume de água é dependente dos seguintes fatores:

- a) - O nível de ativação que este volume de água sofreu ao ser submetido ao fluxo de nêutrons do núcleo.
- b) - O decaimento durante a irradiação.
- c) - O decaimento após a saída do núcleo até o detector.
- d) - A constante de desintegração do  $N^{16}$ .
- e) - A forma e o volume do segmento de água medido.

O fator mencionado em a) é diretamente proporcional à potência; nos itens b) e c) os fatores estão relacionados com a vazão do circuito primário de refrigeração; e nos itens d) e e) os fatores são constantes.

Sendo o detector uma câmara de ionização, a leitura no eletrômetro é expressa por:

$$I = KP \left( 1 - e^{-\lambda t_A} \right) e^{-\lambda t_B} \quad (1)$$

onde:

- I = corrente da câmara de ionização.
- K = constante de proporcionalidade, que combina a secção de choque de ativação com a sensibilidade e geometria do detector.
- P = potência do reator (MW).
- $\lambda$  = constante de desintegração do  $N^{16}$  ( $s^{-1}$ ).
- $t_A$  = tempo para um segmento de água atravessar o núcleo (s)
- $t_B$  = tempo para um segmento de água deslocar-se do núcleo ao detector (s).

Os últimos fatores da equação  $\left(1 - e^{-\lambda t_A}\right)$  e  $e^{-\lambda t_B}$ , dependem da vazão do refrigerante. Se a vazão for constante, estes termos serão constantes, e poderão ser combinados com K para dar uma proporcionalidade direta entre a leitura do  $N^{16}$  e a potência do reator. Assim, com a vazão constante, o monitor do  $N^{16}$  tem resposta linear, similar aos controles do nível de potência, com as seguintes excessões:

- a) - Os níveis de potência diferenciais através do núcleo foram integrados e incluídos na indicação do  $N^{16}$ .
- b) - O detector está localizado numa área livre de fluxo de nêutrons.
- c) - A leitura do  $N^{16}$  indica um nível de potência que ocorreu alguns segundos antes, quando o segmento de água medido se achava no núcleo.

É importante estudar o efeito das variações da vazão sobre I, porque, mesmo que o reator opere com a vazão nominal constante, as flutuações nesse valor podem alterar a medida.

$$t_A = \frac{V_A}{Q} \quad \text{e} \quad t_B = \frac{V_B}{Q} \quad (2)$$

onde:

$V_A$  = volume de ativação do núcleo.

$V_B$  = volume da tubulação compreendido entre a saída do núcleo e o detector.

Q = vazão de água no circuito primário de refrigeração.

Então:

$$I = KP \left[ 1 - e^{-\lambda V_A/Q} \right] e^{-\lambda V_B/Q} \quad (3)$$

Assim o detector deve ser colocado em um dos segmentos do circuito, de modo a operar em um patamar, para evitar que variações na vazão afetem a medida. Como o reator IEA-R1 opera com uma vazão de  $1,74 \times 10^4 \text{ cm}^3/\text{s}$ , o ponto escolhido foi numa posição onde  $t_B = 14,8 \text{ s}$ .

Outros fatores podem influir na monitoração da potência pela atividade do  $N^{16}$ . Os mais importantes são as atividades do  $Al^{28}$ ,  $Mg^{27}$ ,  $Na^{24}$ , e  $Ar^{41}$ .

Todos estes isótopos têm meia-vida grande em relação a do  $N^{16}$  e podem ser acumulados em diversos ciclos de operação. Por exemplo, o equilíbrio do  $Na^{24}$  é atingido depois de 60 horas de operação em potência constante.

Uma variação na densidade do refrigerante pode também afetar a monitoração. A atividade instantânea é também alterada pela turbulência, que provoca variações no volume real do refrigerante. Essa influência é desprezível porque as variações em média se anulam.

A rigor a resposta da câmara de ionização seria dada pela expressão:

$$I = I(N^{16}) + I(O^{19}) + I(Al^{28}) + I(Mg^{27}) + I(Na^{24}) + \dots \quad (4)$$

Para que a medida não represente a atividade de outros núcleos, que não o  $N^{16}$ , a câmara de ionização foi otimizada para a energia da radiação gama emitida pelo  $N^{16}$ .

### 3. DESENVOLVIMENTO DO DETECTOR.

O detector foi projetado levando-se em consideração os seguintes requisitos: alta sensibilidade à radiação gama emitida pelo  $N^{16}$ , linearidade de resposta em toda a faixa de medição de potência e estabilidade de calibração por longo período de uso sob condições normais de operação. Teve-se também a preocupação em se obter um modelo compacto e com tensão de operação baixa. A figura 2 mostra um desenho esquemático da câmara de ionização desenvolvida.

As dimensões da câmara, os materiais utilizados, a natureza e pressão do gás de enchimento são as seguintes:

**Dimensional:**

Dímetro Externo:	70 mm
Comprimento Total:	360 mm
Comprimento Sensível:	235 mm
Volume Sensível:	730 ml

**Materiais:**

Corpo Externo:	Aço Inox AISI 304
Eletrodo de Sinal:	Alumínio 1050
Eletrodo de Alta Tensão:	Alumínio 1050
Isoladores:	Alumina (99.7% em $Al_2O_3$ )
Conectores Internos:	Alumina/Kovar
Conectores Externos:	Sinal , UHF Tensão, MHV

**Gás de Enchimento:**

Natureza:	Xe + Ar
Pressão:	30 bar

Durante a construção teve-se o cuidado especial com a limpeza, portanto cada peça foi cuidadosamente submetida a um desengraxamento por ultra-som. A montagem foi executada em ambiente com contaminação atmosférica controlada (sala limpa classe 100) sendo em seguida acoplada a um sistema conjugado de vácuo-pressão para desgaseificação, a uma temperatura de 120 graus Célsius , vácuo de  $10^{-5}$  mbar por 4 dias, e posterior enchimento com a mistura gasosa.

**4. TESTES EXPERIMENTAIS.**

AS características elétricas e físicas foram determinadas utilizando o laboratório de caracterização funcional do IPEN/TE e o ponto de medição escolhido no circuito primário do reator IEA-R1.

A curva de saturação da câmara foi determinada no local de medição do circuito primário, com o reator a uma potência de 2 MW.

A *figura 3* [2] mostra a curva de saturação obtida.

Finalmente a *figura 4* [3] mostra a correlação entre a potência do reator e a corrente fornecida pela câmara de ionização testada.

## 5. CONCLUSÕES.

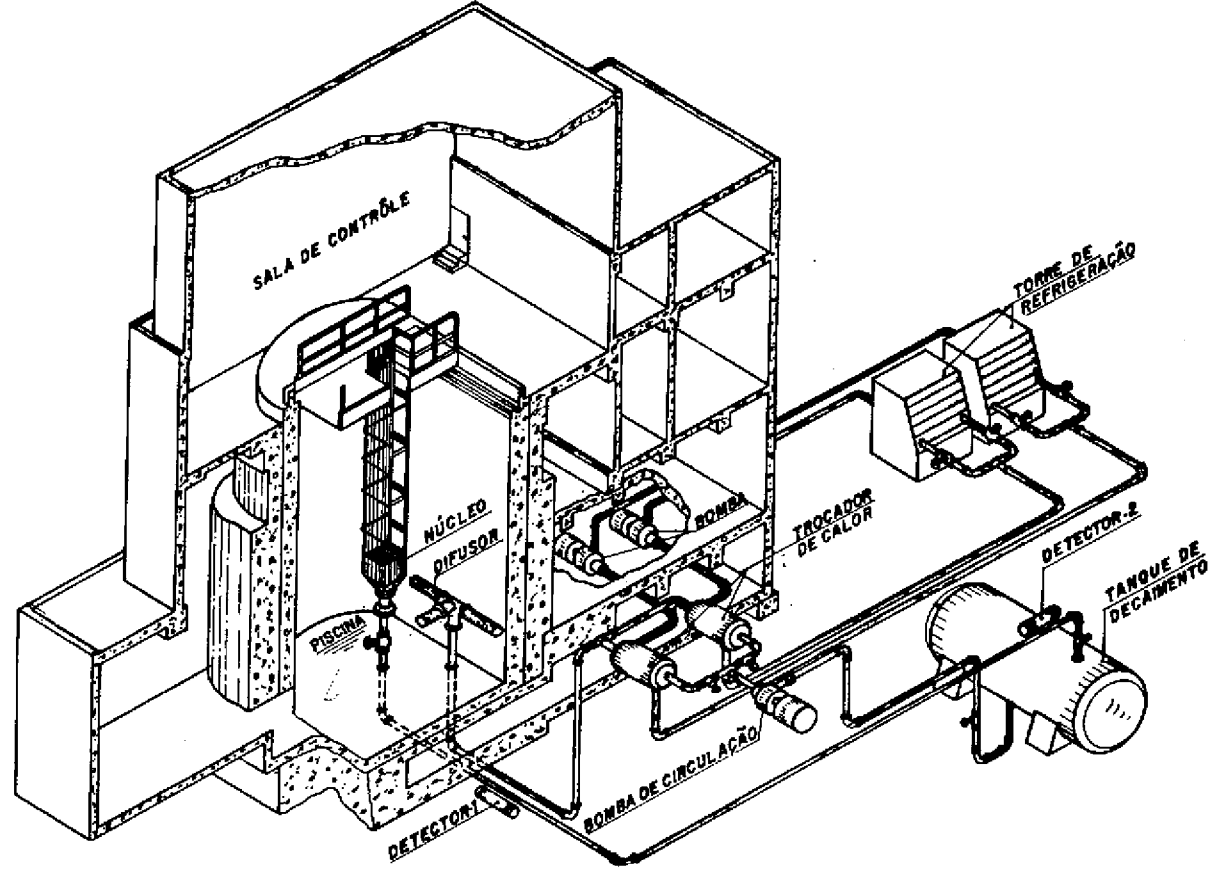
Da análise dos testes realizados, conclue-se que o projeto do detector e sua localização no circuito primário, possibilita a monitoração da potência térmica do reator na faixa de 10 kW até 2 MW, com um desvio máxmo de  $\pm 2\%$  em toda a faixa de medição. Deve ser notado, por último, que em virtude do detector estar medindo uma atividade no local da medição proporcional a atividade de  $N^{16}$  que foi gerada no núcleo aproximadamente 15 s antes, não é possível utilizar este detector no canal de segurança e/ou controle do reator, entretanto por causa de ser uma medição de potência integral é de grande utilidade para análise operacional do reator.

## REFERÊNCIAS

- [1] Knoll, G. F. Radiation Detection and Measurements. New York, Wiley, 1979. G. 14.
- [2] Bañados Pérez, H. E.; Vieira, J. M.; Vieira, A. R.; Figueiredo, G. F.; Testes com Câmara de Ionização para Radiação Gama de Alta Energia N-16 (I). Relatório IPEN-TED. São Paulo. Fev. 1990.
- [3] Figueiredo, G. F.; Vieira, J. M.; Testes com Câmara de Ionização para Radiação Gama de Alta Energia N-16 (II). Relatório IPEN-TED. São Paulo. Maio 1990.

334

Figura 1. Esquema Geral da Instalação





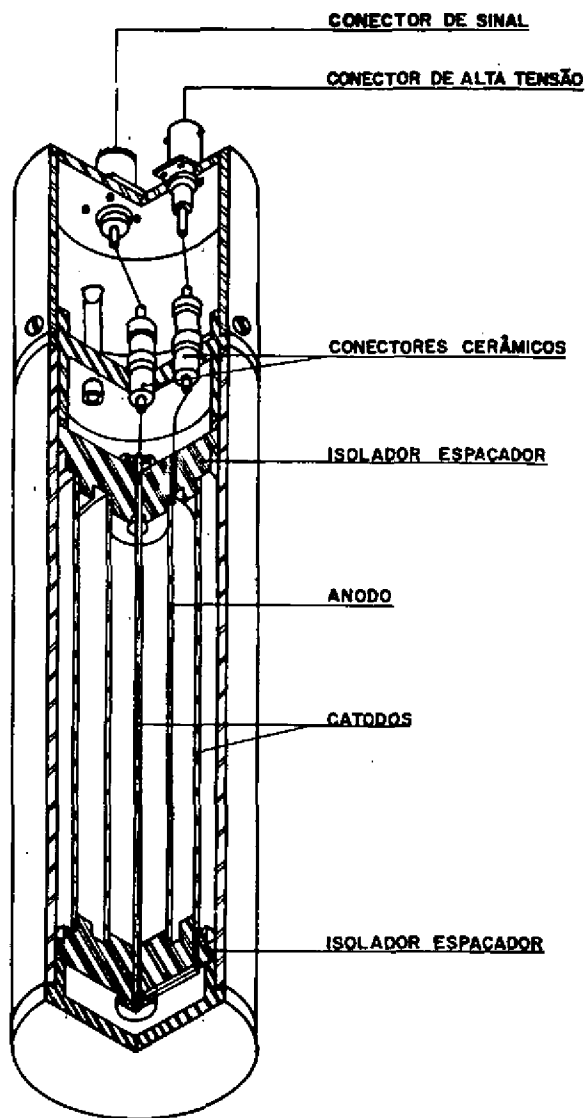


Figura 2. Desenho Esquemático  
 Câmara de Ionização para Fótons de Alta Energia (N<sup>16</sup>)

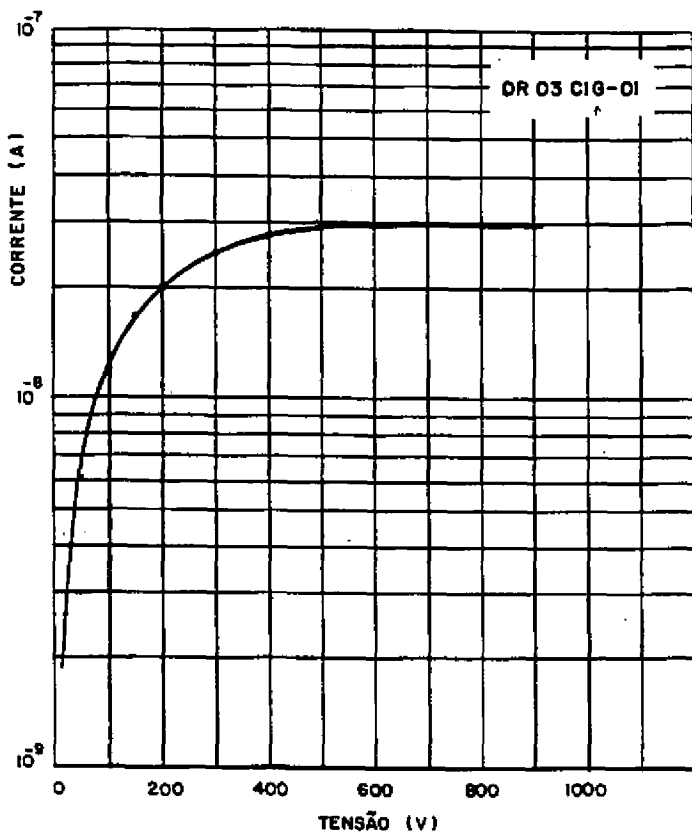


Figura 3. Curva de Saturação da Câmara de Ionização para Gama de Alta Energia, N<sup>16</sup>

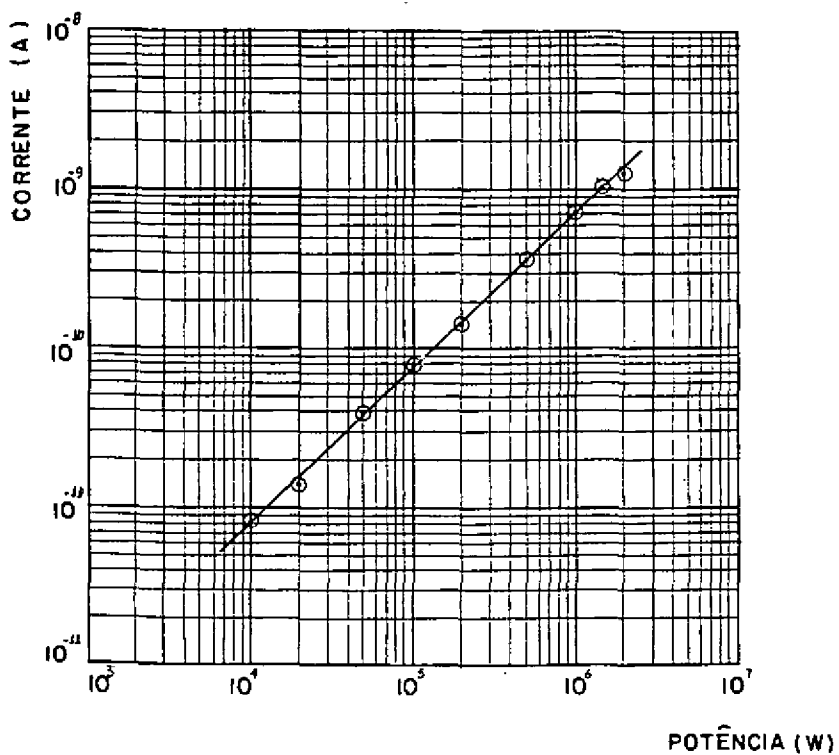


Figura 4. Correlação entre Potência do Reator e a Corrente fornecida pela Câmara de Ionização N<sup>16</sup>