

MEDIDAS DE FLUXO DE NEUTRONS TÉRMICOS, EPITÉRMICOS E RÁPIDOS NO
REATOR IEA-R1, PELA TÉCNICA DE ATIVAÇÃO DE FOLHAS

Professores Responsáveis:

Mauro S. Dias e Marina F. Koskinas
Laboratório de Metrologia Nuclear - NPI
IPEN-CNEN/SP

Participantes:

Herminio Hinostroza - IPEN/Peru
José Roberto Berretta - IPEN-CNEN/SP
Luciano Fratin - IFUSP
Odair Lelis Gonzalez - IEAv/CTA
Suzana Botelho - IFUSP

RESUMO

Os fluxos^(*) de nêutrons térmicos, epitérmicos e rápidos foram determinados experimentalmente pelo método de ativação de folhas na posição G1, próxima ao núcleo do reator IEA-R1. As reações utilizadas foram: $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$, para a medida dos fluxos térmico e epitérmico e $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$, para a medida do fluxo rápido. As atividades foram determinadas pelo método de coincidências $4\pi(\text{PC})\beta - \tau$.

ABSTRACT

The thermal, epithermal and fast neutron fluxes have been determined experimentally by the activation foil method at position G1, located near the IEA-R1 reactor core. The reactions used were $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$, for thermal and epithermal neutrons and $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$, for fast neutrons. The activities were measured by the $4\pi(\text{PC})\beta - \tau$ coincidence method.

(*) Nota: Por simplicidade, adotou-se neste trabalho a nomenclatura *fluxo*, em lugar das designações mais rigorosas *densidade de fluxo* ou *taxa de fluência*.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento do fluxo de nêutrons é de importância fundamental em qualquer experimento que venha a ser efetuado em um reator de pesquisa, especialmente na produção de radioisótopos, no estudo de danos de radiação ou em cálculos de blindagens.

Para o caso do reator IEA-R1 do IPEN, os nêutrons apresentam um espectro amplo de energias, desde milésimos de eV até vários milhões de eV. Os nêutrons com energias abaixo de 0,6 eV são chamados *térmicos*, aqueles entre 0,6 eV e 0,5 MeV, *epitérmicos*, e os nêutrons com energias acima de 0,5 MeV, *rápidos*.

Um dos métodos mais importantes na determinação do fluxo de nêutrons é o método de ativação de folhas. Neste método, uma reação nuclear induzida pelos nêutrons produz um núcleo final que é radioativo. A atividade obtida está diretamente relacionada com o fluxo de nêutrons no qual a amostra foi irradiada.

No presente trabalho, os fluxos de nêutrons térmico e epitérmico foram determinados pelo método da diferença de cádmio [7], por meio da reação $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$. O fluxo de nêutrons rápidos foi determinado pela reação de limiar $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$.

As atividades dos radionuclídeos ^{198}Au e ^{24}Na foram determinadas pelo método de coincidências 4π (PC) β - γ [9], que é um dos mais exatos, podendo atingir erros inferiores a 0,1%.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Irradiação das amostras

Para a medida dos fluxos térmico e epitérmico foram utilizadas folhas de liga ouro-alumínio, contendo 0,13% de ouro. As folhas possuíam massa da ordem de 1 mg e área em torno de 3 mm². A espessura efetiva de ouro resultante é de aproximadamente 40 µg/cm². A fim de separar a contribuição na ativação ocasionada pelos nêutrons epitérmicos, as folhas foram irradiadas formando um par, ficando uma delas no interior de uma cápsula de cádmio com 1 mm de espessura de parede. A depressão no

fluxo térmico devida à presença do cádmio foi evitada, mantendo-se as folhas de ouro a uma distância de 4 cm entre si.

Para a medida do fluxo de nêutrons rápidos, utilizou-se uma folha de alumínio com 8 mm de diâmetro e massa da ordem de 40 mg. Para evitar a contribuição ocasionada pela ativação por nêutrons térmicos das impurezas presentes ($\leq 0,004\%$ de Mn, Fe e Cu), esta amostra também foi encapsulada em cádmio.

As amostras foram irradiadas durante 20 min na posição G1, localizada próxima ao núcleo do reator IEA-R1, conforme indica a figura 1.

2.2 Determinação das atividades

As atividades dos radionuclídeos ^{198}Au e ^{24}Na foram determinadas de modo absoluto no sistema de coincidências $4\pi(\text{PC})\beta-\gamma$, instalado no Laboratório de Metrologia Nuclear do IPEN-CNEN/SP. Este sistema utiliza um detector proporcional a gás fluente em geometria 4π , acoplado a dois cintiladores de $\text{NaI}(\text{Tl})$ de $3'' \times 3''$ [9]. O diagrama da parte eletrônica é apresentado na figura 2.

Este tipo de sistema de medidas permite a determinação da atividade da amostra, sem necessidade do conhecimento das eficiências dos detectores. O valor da atividade específica é dado pela seguinte relação:

$$A_0 = \frac{N_\beta N_\gamma}{N_c} \cdot \frac{1}{m (1 + K_g)} \quad (1)$$

onde:

A_0 é a atividade específica da amostra (Bq/g).

N_β , N_γ e N_c são as taxas de contagens observadas nas vias beta, gama e coincidência, corrigidas para contagem de fundo, tempo morto, tempo de resolução [3] e decaimento da amostra;

K_g é a correção para o esquema de desintegração e

m é a massa da amostra (g).

A meia-vida adotada para o ^{197}Au foi de $(2,695 \pm 0,002)$ d [2] e para o ^{24}Na foi de $(14,960 \pm 0,006)$ h [2].

3. CALCULO DOS FLUXOS DE NÊUTRONS

3.1 Térmico

Para a determinação do fluxo de nêutrons térmicos, foi suposta uma distribuição de energias do tipo Maxwelliana a uma temperatura de nêutron de 32°C .

Para o tipo de folha de ativação utilizada no presente experimento, as equações para o fluxo de nêutrons térmicos descritas na referência [8] simplificam-se na seguinte equação:

$$\phi_T = \frac{(A_+ - A_-)}{F N_T \sigma_0 \sqrt{\frac{\pi T_0}{4 T}} (1 - e^{-\lambda t})} \quad (2)$$

onde:

A_+ e A_- correspondem às atividades das folhas sem e com revestimento de cádmio (em Bq/g), no instante do final da irradiação.

$F = G.H$ é o fator que inclui as correcções para auto-blindagem (G) [6] e depressão de fluxo (H) [4].

σ_0 é a secção de choque de absorção para a velocidade de nêutron de 2200 m/s, $(98,8 \pm 0,3)$ b [11].

T é a temperatura efetiva do nêutron no meio moderador.

N_T é o número de átomos/grama da folha de ativação.

3.2 Epitérmico

Na região epitérmica, a distribuição de energia dos nêutrons adotada foi $1/E$. O fluxo de nêutrons epitérmico é dado pela expressão [8]:

$$\phi_{epi} = \frac{A_+ \ln(E_2/E_1)}{N_T G_{epi} I (1 - e^{-\lambda t})} \quad (3)$$

onde:

- A_0 é a atividade da folha de ouro recoberta com cádmio (em Bq/g), no instante do final da irradiação.
- E_1 e E_2 são respectivamente, a energia no corte de cádmio (0,6 eV) e na região rápida (1 MeV).
- Q_{epi} é o fator de auto-blindagem para a região epitérmica [1].
- I é a integral de ressonância, igual a (1558 ± 60) b, para a reação $^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$ [5].

3.3 Rápido

Na região de nêutrons rápidos foi suposta uma distribuição de Watt, correspondendo ao espectro de energia dos nêutrons prontos emitidos no processo de fissão. A expressão para o fluxo de nêutrons rápidos é dada por:

$$\phi_n = \frac{A_0}{N_T \langle \sigma \rangle (1 - e^{-\lambda t_1})} \quad (4)$$

onde:

- A_0 é a atividade da folha de alumínio recoberta com cádmio (em Bq/g), no instante do final da irradiação.
- $\langle \sigma \rangle$ é a secção de choque média no espectro de Watt igual a (0.681 ± 0.012) b [10] para a reação $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$.

4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

A tabela 1 mostra os resultados obtidos para as atividades específicas do ^{197}Au e ^{24}Na no instante do final da irradiação, juntamente com os fluxos de nêutrons térmico, epitérmico e rápido.

Tabela 1 Resultados obtidos para as atividades específicas e para os fluxos de nêutrons térmicos, epitérmicos e rápidos.

Faixa de Energia de Nêutron	Radionuclídeo	Atividade Específica (MBq/g)	Fluxo $\times 10^{12}$ ($n \cdot cm^{-2} s^{-1}$)
Térmico	^{198}Au	(17,76 \pm 0,42)	(10,73 \pm 0,37)
Epitérmico	^{198}Au (Cd)	(4,659 \pm 0,086)	(3,09 \pm 0,14)
Rápido	^{24}Na	(0,1628 \pm 0,0013)	(2,07 \pm 0,05)

A incerteza nas atividades específicas do ^{198}Au é causada predominantemente pelo erro na determinação das massas das folhas (15 ug), enquanto que para o ^{24}Na , esta incerteza é dada predominantemente pelo erro estatístico nas contagens.

A incerteza nos fluxos de nêutrons térmico e epitérmico é dada predominantemente pelo erro nas atividades específicas (1,8 a 2,3%) e pelo erro no tempo de irradiação (1,5%). Para o caso dos nêutrons rápidos, a incerteza no fluxo é dada predominantemente pelo erro no tempo de irradiação.

Os erros totais obtidos nestas medidas são satisfatórios para a maioria dos usuários do reator, interessados nos valores de fluxo térmico, epitérmico e rápido. Entretanto, novas medidas podem ter seus erros reduzidos, aumentando-se as massas das folhas de ativação, para o caso da liga ouro-alumínio, e aumentando-se o tempo de irradiação, tanto no caso da liga como para a amostra de alumínio puro.

REFERÊNCIAS

- 1 BAUMANN, N.P. Resonance integrals and self-shielding factors for detector foils. Aiken, South Carolina, Du Pont de Nemours, 1963. (DP-817).
- 2 COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIC. Radionucléides. Gif-sur-Yvette, France, 1980.
- 3 COX, D.R. & ISHAM, V. A bivariate point process connected with electronic counters. Proc. Roy. Soc. A, 356:149-160, 1977.
- 4 DALTON, G.R. & OSBORN, R.K. Flux perturbations by thermal neutron detectors. Nucl. Sci. Eng., 9:198-210, 1961.
- 5 FASTRUP, B. & OLSEN, J. Measurement of the thermal and epithermal-neutron flux in the reactor DR-1. Proceedings of the symposium on the neutron detection, dosimetry and standardization, held in Harwell, 10-14 December 1962. Vol. I, B., Thermal and Epithermal Neutrons. Vienna, 1963:227.
- 6 FLEMING, R.F. Neutron Self-shielding Factors for Simple Geometries. Int. J. Appl. Radiat. Isot., 33:1263-1268, 1982.
- 7 INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Neutron fluence measurements. Vienna, 1970. (Technical report series, 107).
- 8 KOSKINAS, M.F. Medida do fluxo térmico, epitérmico e rápido no Reator IEA-R1 pelo método de ativação de folhas. São Paulo, 1978. (Dissertação de mestrado, Instituto de Energia Atômica).
- 9 MOURA, L.P. Método de coincidência generalizado para a medida absoluta da atividade de radionucléidos - aplicação na determinação do coeficiente de conversão interna da transição de 279 keV do ²³²Pb. São Paulo, 1969. (Tese de doutoramento, Univ. de Campinas).

- 10 ZIJP, W.L. Comparison of integral cross section values of several cross section libraries in the SAND II Format. Netherlands Energy Research Foundation, 1976. (ECN-2).
- 11 ZIJP, W.L. & BAARD, J.H. Nuclear data guide for reactor neutron metrology. Brussels, Commission of the European Communities, 1981. (EUR-7164).

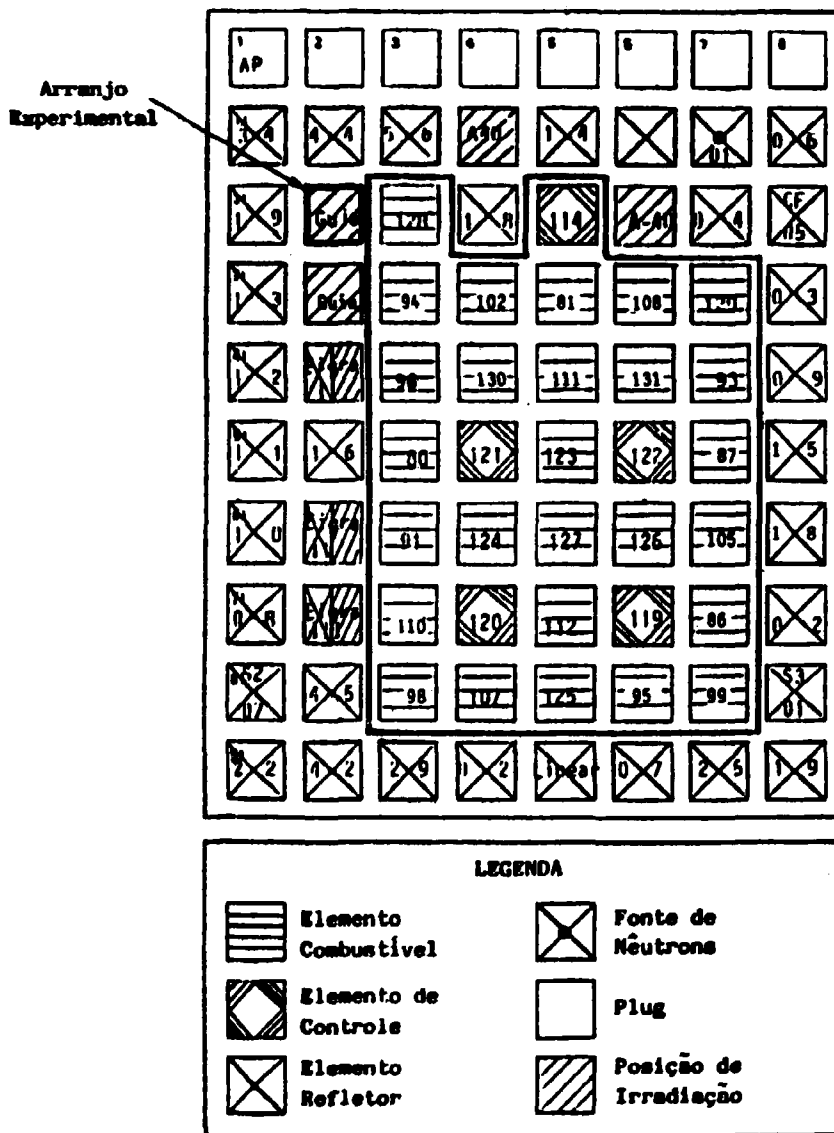


Figura 1 - Esquema da configuração do núcleo do reator IEAR-1 no dia da irradiação. Na parte superior da figura está indicada a localização do arranjo experimental.

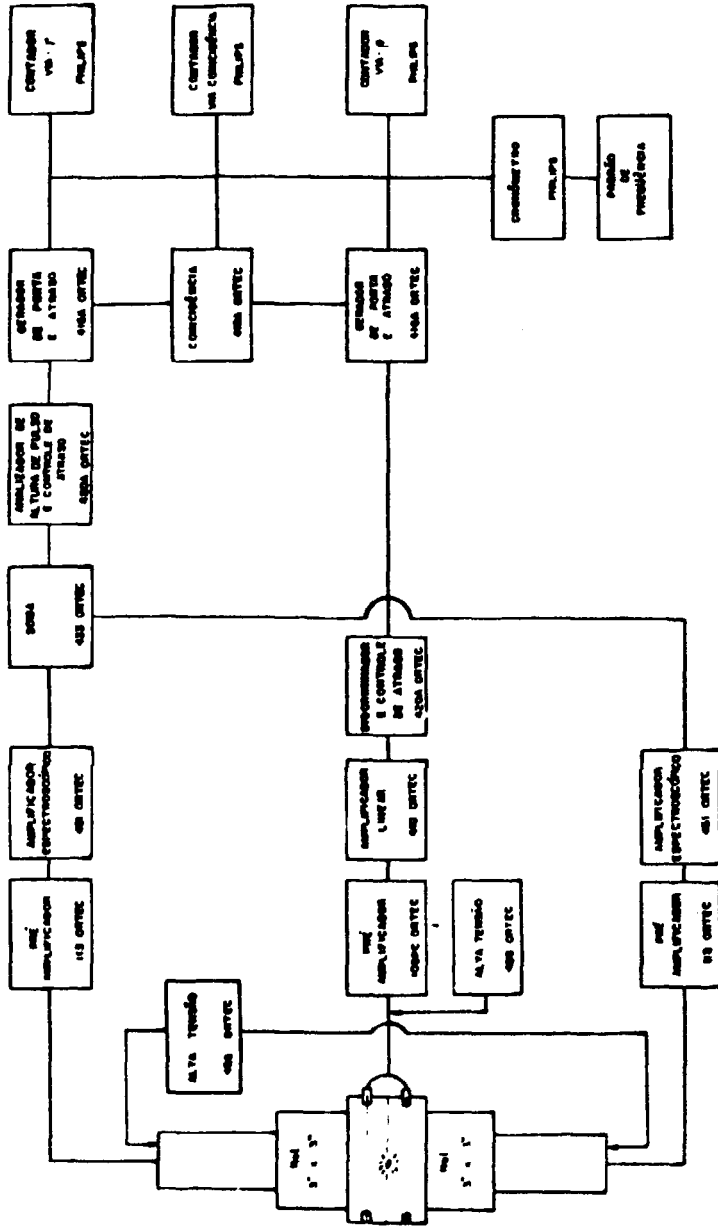


DIAGRAMA DE BLOCO DO SISTEMA DE COINCIDÊNCIA $4\pi(\beta-\gamma)$
 INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
 LABORATÓRIO DE METROLOGIA NUCLEARES

Figura 2