

# I Congresso Geral de Energia Nuclear

Rio de Janeiro, 17 a 20 de Março de 1966

ANAIS - PROCEEDINGS

MEDIDA DO ESPECTRO DE NÊUTRONS DO REATOR IEA-R1

MAURO S. DIAS

MARINA F. KOSKINAS

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP

## RESUMO

O espectro de nêutrons em uma das posições disponíveis para irradiação do reator IEA-R1 foi determinado pelo método de ativação de folhas. Diversas folhas foram irradiadas simultaneamente, cobrindo as regiões de energia de nêutrons térmicos, epitérmicos e rápidos. As atividades das folhas foram determinadas utilizando um espectrômetro de Ge(Li). Foram feitas correções para os efeitos de sombra e depressão no fluxo de nêutrons, de modo a obter as atividades saturadas infinitamente diluídas. As atividades finais serviram como dados de entrada para o cálculo do espectro de nêutrons, o qual foi efetuado pelo código SANDII.

## ABSTRACT

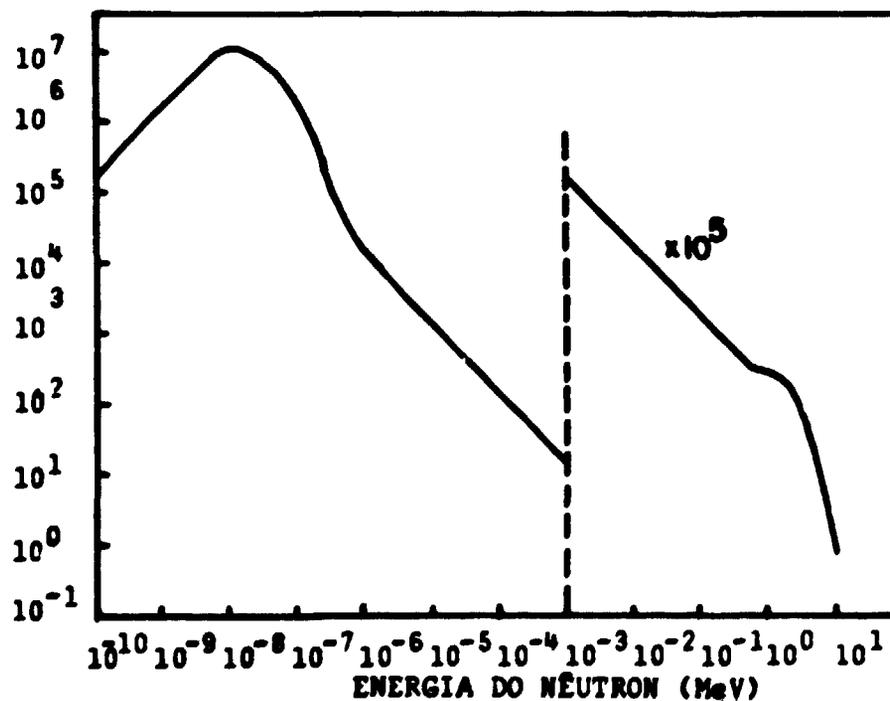
The neutron spectrum at one of the locations available for sample irradiation in the IEA-R1 reactor has been determined by the activation foil method. Several foils have been simultaneously irradiated, covering the thermal, epithermal and fast neutron energy regions. The foil activities were measured by means of a Ge(Li) spectrometer. Corrections for self shielding and flux depression were applied in order to obtain the infinitely dilute saturated activities. The final activities were used as input data for the neutron spectrum calculation performed by the SANDII computer code.

No presente trabalho, o espectro de nêutrons do reator de pesquisas IEA-R1 foi determinado na posição Guia de Irradiação (GI). As folhas de ativação foram colocadas em um suporte de polietileno e irradiadas simultaneamente durante um tempo de irradiação de aproximadamente duas horas e com o reator operando a uma potência de 2 MW. As reações utilizadas e os radionuclídeos produzidos estão apresentados na tabela 1. As folhas destinadas à determinação dos fluxos epitérmico e rápido foram encapsuladas em 0,50 mm de Cád-mio. O suporte de polietileno ficou sustentado dentro da Guia de Irradiação por meio de um tubo de alumínio vazado. O conjunto foi colocado em rotação com relação à direção vertical durante toda a irradiação, a fim de evitar possíveis efeitos de anisotropia no fluxo de nêutrons. O perfil do fluxo foi monitorado por meio das reações (n,gama) no Au e (n,p) no Ti.

As atividades induzidas nas folhas foram medidas em um espectrômetro de Ge(Li), previamente calibrado para o intervalo de energias gama entre 121 e 1408 keV. A área sob o fotopico foi calculada por meio de um código de computador implantado no IPEN e ANALYSIS, o qual ajusta uma função Gaussiana com caudas exponenciais. No código, a contagem de fundo é ajustada por uma função polinomial, que pode assumir os graus zero, um ou dois. Os valores de meia-vida e intensidade gama absoluta dos radionuclídeos produzidos foram obtidos da literatura<sup>(1)</sup>. Por fim, aplicou-se as correções para os efeitos de sombra e depressão no fluxo de nêutrons, a partir de dados da literatura<sup>(2,3)</sup>. As atividades finais serviram como dado de entrada para o cálculo do espectro de nêutrons, o qual foi feito através do código de computador SAND II, também implantado no IPEN. Juntamente com o espectro, são apresentadas as atividades calculadas para cada radionuclídeo, baseadas no espectro de nêutrons, as quais são comparadas com as atividades experimentais. No cálculo, foi utilizada a biblioteca de seções de choque contida no arquivo do ENDF/B-IV. A verificação da consistência no espectro de saída foi efetuada, variando-se o espectro de entrada do programa. Para isso, utilizou-se a biblioteca de espectros do SAND II ou outros espectros alternativos. Estes espectros alternativos foram obtidos determinando-se as energias de corte entre as faixas de energia de nêutron, térmica, epi

**Tabela 1** Resultados obtidos para as atividades induzidas nas folhas de ativação.

REAÇÃO	ENV.	$A_{exp}$	$\sigma_{exp}(Z)$	$A_{calc}$	DIF(Z)
Ni58(n,p)Co58	Cd	$1,804 \times 10^{-13}$	7,1	$1,945 \times 10^{-13}$	-7,24
Th232(n,g)Th233		$1,001 \times 10^{-10}$	4,9	$1,076 \times 10^{-10}$	-6,93
U238(n,g)U239	Cd	$5,564 \times 10^{-11}$	6,0	$5,356 \times 10^{-11}$	3,88
U238(n,g)U239		$8,422 \times 10^{-11}$	8,4	$8,940 \times 10^{-11}$	-5,80
Au197(n,g)Au198		$1,817 \times 10^{-9}$	6,3	$1,670 \times 10^{-9}$	8,83
Au197(n,g)Au198	Cd	$4,660 \times 10^{-10}$	5,1	$4,783 \times 10^{-10}$	-2,58
Co59(n,g)Co60		$4,720 \times 10^{-10}$	1,8	$4,613 \times 10^{-10}$	2,32
Co59(n,g)Co60	Cd	$2,105 \times 10^{-11}$	1,9	$2,106 \times 10^{-11}$	-0,05
Mn55(n,g)Mn56	Cd	$4,554 \times 10^{-12}$	7,2	$4,550 \times 10^{-12}$	0,09
Cu63(n,g)Cu64	Cd	$1,599 \times 10^{-12}$	8,7	$1,599 \times 10^{-12}$	0,01
Mg24(n,p)Na24	Cd	$2,283 \times 10^{-15}$	3,6	$2,457 \times 10^{-15}$	-7,06
Ti46(n,p)Sc46	Cd	$2,639 \times 10^{-14}$	2,6	$2,511 \times 10^{-14}$	5,09
Ti47(n,p)Sc47	Cd	$2,996 \times 10^{-14}$	2,6	$2,912 \times 10^{-14}$	2,90
Ti48(n,p)Sc48	Cd	$5,173 \times 10^{-16}$	1,7	$4,802 \times 10^{-16}$	7,73
Al27(n,a)Na24	Cd	$1,195 \times 10^{-15}$	3,8	$1,209 \times 10^{-15}$	-1,19



**Figura 1** Espectro de nêutrons na posição GI, normalizado em  $1,0 \times 10^{-10}$  MeV.

térmica e rápida com as atividades de folhas isoladas.

Os valores das atividades saturadas, infinitamente diluídas (isto é, corrigidas para os efeitos de sombra e depressão no fluxo de nêutrons), em unidades de Bq/núcleo, estão apresentadas na tabela 1. Nesta tabela,  $\sigma_{exp}$  (X) representa a incerteza percentual total na atividade obtida experimentalmente. A última coluna representa a diferença percentual entre as atividades experimental e calculada pelo programa SAND II. O desvio padrão destas diferenças foi de 5,24 X. Observa-se que o desvio padrão é da mesma ordem de grandeza que a incerteza na atividade experimental, para as folhas irradiadas sem o envólucro de cádmio. Isto é de se esperar porque nestes casos a atividade é induzida predominantemente pelo fluxo de nêutrons térmicos, para o qual as secções de choque são conhecidas com boa exatidão. Assim, a incerteza no fluxo calculado é dominada pela incerteza na atividade medida. Nas reações induzidas por nêutrons rápidos (por exemplo, tipo (n,p) ), o desvio padrão é, em geral, superior à incerteza na atividade medida. Este fato pode ser explicado pela incerteza maior na secção de choque, que contribui significativamente no cálculo do fluxo e portanto no desvio entre as atividades experimental e calculada.

O espectro de Nêutrons obtido pelo programa SAND II está apresentado na figura 1. Este espectro está normalizado para 1,0 na energia de  $1,0 \times 10^{-10}$  MeV. O fluxo integrado entre  $1,0 \times 10^{-10}$  MeV e 18 MeV resultou  $1,820 \times 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>.seg. O espectro de entrada mais adequado consistiu de uma Maxwelliana até  $2,4 \times 10^{-7}$  MeV, seguida de 1/E até 0,5 MeV e de uma distribuição de Watt até 18 MeV. Testes preliminares revelaram irregularidades no espectro próximo à região de corte, quando a energia de corte diferia de  $2,4 \times 10^{-7}$  MeV. Os resultados obtidos com as quinze reações apresentadas pode ser considerado bastante satisfatório e encoraja novos estudos posteriores.

#### REFERÊNCIAS

1. ZIJP, W.L., BAARD, J.H., Nuclear Data Guide, Report EUR7164EN, 1981.
2. IAEA, Neutron Fluence Measurements, Vienna, 1970 (STI/DOC/10/107)
3. BAUMANN, W.P., Resonance Integrals and Self-shielding Factors for detector foils. Report DP-817(1963).