

# Caracterização do fluxo de nêutrons epitérmicos do reator IEA-R1 utilizando o método *bare triple monitor* para o uso em análise por ativação

João Pedro de Oliveira Flores e Renato Semmler  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN

## INTRODUÇÃO

O método  $k_0$ <sup>[1]</sup> de ativação neutrônica, desenvolvido pelo Institute for Nuclear Sciences, em Gent, Bélgica, é uma técnica de análise por ativação com nêutrons considerada “quase absoluta”, que, em razão da sua excelente exatidão e praticidade, surgiu como técnica alternativa e complementar ao método comparativo, que tem sido utilizado com sucesso em inúmeros experimentos realizados pelo Laboratório de análise por Ativação Neutrônica (LAN) do IPEN.

Nesse método do  $k_0$  há a necessidade da caracterização precisa da instalação de irradiação e torna-se necessária a determinação da razão entre os fluxos de nêutrons térmico e epitérmico ( $f$ ) e do parâmetro ( $\alpha$ ) relacionado com a distribuição de fluxo de nêutrons epitérmicos, aproximadamente dada por  $1/E^{1+\alpha}$ . Estes parâmetros são característicos da posição de irradiação no reator nuclear. A determinação destes parâmetros depende de dois fatores de correção:  $G_{th}$  (fator de correção para autoblindagem para os nêutrons térmicos) e  $G_e$  (fator de correção para autoblindagem para os nêutrons epitérmicos).

O objetivo principal do presente trabalho consistiu na determinação dos parâmetros  $\alpha$  e  $f$  do espectro de nêutrons epitérmicos  $E^{-(1+\alpha)}$  para a estação pneumática do reator IEA-R1, utilizando o método *bare triple monitor*<sup>[2]</sup> e o método dos bi-monitores<sup>[2]</sup> considerando agora as correções para os fatores de autoblindagem<sup>[3,4,5]</sup>. Uma caracterização precisa desta posição de irradiação possibilitará a implantação e utilização do método  $k_0$  de ativação

neutrônica no Laboratório de Ativação para irradiações de curta duração.

## METODOLOGIA

O detector utilizado para a medida dos espectros gama foi um detector semicondutor do tipo germânio hiperpuro (HPGe), marca Canberra modelo GX2020, de geometria cilíndrica e eficiência relativa de 30% para a energia de 1332,5 keV do <sup>60</sup>Co. Para esta energia, a resolução foi de 2,0 keV.

A eletrônica associada é a convencional para espectroscopia simples. O detector está ligado a um analisador multicanal Canberra DSA-LX integrado em um microcomputador disponível no laboratório de ativação neutrônica do Ipen. Os espectros de raios gama foram coletados e processados utilizando-se o software Genie 2000 S502C.

Os monitores utilizados (Au e Zr) foram colocados em saquinhos de polietileno, selados e as suas massas foram obtidas utilizando-se uma balança analítica Shimadzu modelo AEL-40Sm. Em seguida os monitores foram colocados em “coelhos” de polietileno e enviados para irradiação ( $t_{irr}=60s$ ) na estação pneumática do reator IEA-R1.

O valor do parâmetro alfa foi determinado pelo método *bare triple monitor*.

A razão ( $f$ ) entre os fluxos de nêutrons térmico e epitérmico foi determinada pelo método dos “bi monitores” utilizando-se os dois isótopos do zircônio (<sup>97</sup>Zr, <sup>95</sup>Zr).

## RESULTADOS

O parâmetro  $\alpha$  foi obtido através do método “Bare triple monitor” utilizando o software wolframalpha e o método da bissecção. Os valores obtidos foram, respectivamente,  $0,0382 \pm 0,0023$  e  $0,0380 \pm 0,0005$ , levando-se em conta o fator de correção para auto-blindagem e aplicando o método de monte Carlo para determinação da incerteza de alfa.

O parâmetro f foi determinado pelo método dos bi-monitores. O valor obtido foi  $35,32 \pm 0,19$ . A contribuição do espectro de nêutrons epitérmicos à reação  $(n, \gamma)$  é bastante significativa.

Podemos então comparar os resultados obtidos em períodos anteriores (Canberra 1 e 8) com o estudo feito no Canberra 3, como mostra na tabela abaixo.

TABELA 1 – Valores médios de alfa e analisados ao longo do tempo, onde os detectores utilizados são do tipo Canberra.

Detector	alfa	f	Período
1	0,0396(6)	35,43(23)	2013
8	0,0384(14)	35,67(26)	2015
3	0,0381(9)	35,32(19)	2016

## CONCLUSÕES

Os valores de  $\alpha$  e f foram determinados e comparados ao longo do tempo e observou-se uma reprodutibilidade nos resultados. Os valores obtidos neste trabalho estão de acordo com os obtidos por Semmler<sup>[6]</sup>, mas ainda é preciso verificar os parâmetros experimentais obtidos neste trabalho através da determinação das concentrações de elementos utilizando algum material de referência padrão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SIMONITS A, DE CORTE F, HOSTE J. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 24, 31–46, 1975.
- [2] DE CORTE F, MOENS L, SIMONITS A, DE WISPERLAERE A, HOSTE J. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 52, 295, 1979.
- [3] MARTINHO E, SALGADO J, GONÇALVES I.F. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 261, No. 3 637–643. (2004)
- [4] MARTINHO E., GONÇALVES I.F., SALGADO J. Applied Radiation and Isotopes 58 371–375. (2003)
- [5] GONÇALVES I.F., MARTINHO E, SALGADO J. Applied Radiation and Isotopes 56 945–951. (2002)
- [6] SEMMLER R, FIGUEIREDO A. M. G., FLORES J. P. O., GONÇALEZ O. L., FEDERICO C. A.. XXXV Reunião de Trabalho sobre Física Nuclear no Brasil, Maresias, SP, 2012

**APOIO FINANCEIRO AO PROJETO**  
CNPq