

# Medida de fluxo de nêutrons em instalação para estudos em BNCT

Rafael Oliveira Rondon Muniz e Paulo Rogério Pinto Coelho  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN

## INTRODUÇÃO

A técnica de Terapia por Captura de Nêutrons em Boro (BNCT, sigla em inglês) consiste, resumidamente, em injetar no paciente, via artéria, um composto especial contendo boro-10 que é preferencialmente absorvido pelas células cancerígenas; em seguida irradia-se com nêutrons térmicos o local do tumor induzindo-se reações dos nêutrons com o boro, produzindo partículas alfa e íons de  $\text{Li}^7$  ( $\text{Bo}^{10}(n,\alpha)\text{Li}^7$ ), liberando 2,33 MeV (energia cinética das partículas e íons), que são de curto alcance (dimensões das células degeneradas) as quais destroem seletivamente as células cancerígenas.

A pesquisa na área de BNCT para tumores cancerígenos de difícil tratamento por técnicas convencionais (cirurgia, quimioterapia ou radioterapia) tem apresentado grande ímpeto nos últimos anos devido aos resultados promissores obtidos. Já somam mais de 300 pacientes submetidos a essa terapia no Japão [1] e os primeiros experimentos com seres humanos foram realizados nos Estados Unidos [2] e na Europa [3].

Este panorama internacional tem motivado os pesquisadores do IPEN a envidar esforços neste campo de pesquisa. Para tal, foi projetada e construída uma instalação [4] junto ao reator IEA-R1 (Fig. 1) do IPEN-CNEN/SP.

A construção desta instalação visa realizar pesquisas na área de Física das Radiações e Radiobiologia, permitindo a caracterização de campos de radiação (nêutrons e gamas) adequados para a aplicação da técnica de BNCT e o desenvolvimento de estudos de filtros para aumentar a eficiência da técnica, de níveis de dose utilizando "phantoms" e estudos biológicos "in vitro" e "in vivo".

Para caracterizar o campo de radiação devido a nêutrons estão sendo utilizados detectores de ativação tipo folha [5,6].

## OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo a obtenção do fluxo de nêutrons térmico, eptérmico e rápido, bem como a distribuição energética de nêutrons, na instalação para pesquisa em BNCT em questão.

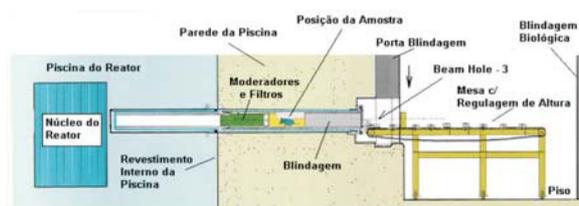


Figura 1. Instalação para pesquisa em BNCT no reator IEA-R1

## METODOLOGIA

Os detectores de ativação tipo folha foram irradiados na posição de irradiação de amostra (figura 1). Após a irradiação estes detectores foram levados para o laboratório do reator IPEN- MB01 onde efetuou-se a espectrometria gama em um sistema composto de um detector tipo Germânio Hiper-puro (HPGE), com eletrônica associada [7], e o software Maestro 32 – ORTEC, para análise das contagens.

Com as contagens determina-se a atividade de saturação (taxa de reações), fazendo a razão entre a atividade de saturação e o número de átomos da folha de ativação obtêm-se a atividade de saturação por núcleo alvo, que será utilizada para obtenção dos fluxos de nêutrons [6].

Os fluxos de nêutrons térmicos e eptérmicos são obtidos por intermédio da técnica de razão de cádmio utilizando-se folhas de ouro com e sem cobertura de cádmio. Para o fluxo de nêutrons rápidos utiliza-se detectores de energia limiar, ou seja, materiais em que a

reação nuclear só ocorre a partir de uma determinada energia (reação endotérmica).

## RESULTADOS

A tabela 1 contém os valores de fluxo térmico na posição de irradiação de amostra, medidos em dias diferentes. Na tabela 2 estão os valores para o fluxo epitérmico.

TABELA 1 - Fluxo de Nêutrons Térmicos

Dia	$\Phi_{\text{térmico}}$ (n/cm <sup>2</sup> s)	* $\sigma\Phi_{\text{térmico}}$ (%)
20/12/05	1,39E+08	11
07/03/06	1,39E+08	12

\* incerteza percentual

TABELA 2 - Fluxo de Nêutrons Epitérmicos

Dia	$\Phi_{\text{epitérmico}}$ (n/cm <sup>2</sup> s)	$\sigma\Phi_{\text{epitérmico}}$ (%)
20/12/05	2,8E+06	15
07/03/06	4,0E+06	20

As tabelas 3 e 4 são referentes às irradiações dos dias 19/12/05 e 20/03/06, respectivamente, para determinação do fluxo rápido.

TABELA 3 - Fluxo Rápido 19/12/05

Folha	* $E_{\text{eff}}$ (MeV)	** $\Phi_{(E>E_{\text{eff}})}$ (n/cm <sup>2</sup> s)	$\sigma\Phi_{(E>E_{\text{eff}})}$ (%)
Ni	2,8	1,32E+08	12
Al	7,2	7,9E+06	10
Ni	13,5	1,0E+05	20

\* energia limiar efetiva

\*\* fluxo acima da energia limiar efetiva

TABELA 4 - Fluxo Rápido 20/03/06

Folha	$E_{\text{eff}}$ (MeV)	$\Phi_{(E>E_{\text{eff}})}$ (n/cm <sup>2</sup> s)	$\sigma\Phi_{(E>E_{\text{eff}})}$ (%)
Ni	2.8	1.15E+08	13
Al	7.2	6.6E+06	11
Ni	13.5	6.6E+04	19

Cabe acrescentar que as irradiações foram efetuadas, com o reator operando a uma potência de 3,5 MW.

## CONCLUSÕES

As repetições das medidas em dias diferentes comprovam na posição de irradiação de amostras a consistência dos resultados experimentais obtidos.

Estes resultados experimentais permitiram ao grupo de BNCT a avaliação das simulações computacionais realizadas pelo grupo, no que se refere ao projeto da instalação, bem como no desenvolvimento

dos estudos de filtros para adequação do campo de radiação na posição de irradiação de amostras para a pesquisa da técnica em BNCT.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]Kanda, K. Experience Of Boron Neutron Capture Therapy In Japan. Advances In Neutron Capture Therapy, Volume I, Medicine And Physics, 71-76, 1997.
- [2]Rolf F. Barth, M. D, Albert H. Soloway And Robert M. Brugger, Boron Neutron Capture Therapy Of Brain Tumors: Past History, Current Status, And Future Potential (Clinical Science Reviews), Cancer Investigation, 14(6), 534-550(1996).
- [3]Wolfgang Sauerwein, Katalin Hideghéty, Detlef Gabel And Raymond L. Moss, European Clinical Trials Of Boron Neutron Capture Therapy For Glioblastoma, Nuclear News, 54-56, February 1998.
- [4]Coelho, P. R. P.;Hernandes, A. C.; Siqueira, P. T. D. Neutron Flux Calculation In A Bnct Research Facility Implemented In Iea-R1 Reactor; 10th International Congress On Neutron Capture Terapy, 8-13 September 2002, Essen, Germany.
- [5]Beckurtz, K. H.; Wirtz, K. Neutron Physics. New York: 1964.
- [6]Bitelli, U. D´U. Medida E Cálculo Da Distribuição Espacial E Energéticas De Nêutrons No Núcleo Do Reator Iea - R1. São Paulo:1988. Dissertação (Mestrado) - Instituto De Pesquisas Energéticas E Nucleares.
- [7]Knoll, Glenn F. Radiation Detection And Measurement . 2 Ed, 1989 Editora Wiley.

## APOIO FINANCEIRO

CNPq/PIBIC, FAPESP e Petrobrás