



22 a 27 de abril de 1990

ANAIS - PROCEEDINGS

MEDIDA E CÁLCULO DO FLUXO DE NÊUTRONS NO CANAL 9 DE IRRADIAÇÃO DO REATOR IEA-R1.

Paulo Rogério Pinto Coelho
 Ulysses d'Utra Bitelli
 Graciete Simões de Andrade e Silva

Comissão Nacional de Energia Nuclear - SP
 Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
 Departamento de Tecnologia de Reatores
 Divisão de Física de Reatores
 Caixa Postal 11049 - Pinheiros
 05499 - São Paulo - Brasil

Marcia Aparecida Picchi Alves

Coordenadoria para Projetos Especiais - COPESP
 Ministério da Marinha
 Departamento de Sistemas Nucleares
 Divisão de Física de Reatores
 Av. Prof. Lineu Prestes, 2242
 05508 - São Paulo - Brasil

SUMÁRIO

Neste trabalho são apresentados os resultados de medidas do fluxo de nêutrons térmicos e das taxas de exposição à radiação gama na saída do canal de irradiação número 9 ("Beam-Hole" - BH9) do reator IEA-R1. O fluxo de nêutrons térmicos na saída do BH9, obtido experimentalmente com o reator operando a 2Mw, foi de $(1,00 + 0,3)E+09n/cm^2.s$ e a taxa de exposição à radiação gama foi de $(7,90 \pm 1,20)E+02$ R/h para o reator operando a 100Kw de potência. Estes valores são compatíveis com os obtidos utilizando-se o código DOT 3.5 respectivamente, $8,33E + 08$ n/cm².s e $3,7E + 3$ R/h.

ABSTRACT

This work presents thermal neutron flux measurements at the exit of the beam hole number 9 (BH9) of the IEA-R1 reactor. The values of thermal neutron flux obtained for the reactor operating at 2Mw power were $(1.00 \pm 0.03)E + 09$ n/cm².s at the exit of the BH9. The gamma exposition rate was $(7.90 \pm 1.20)E + 02$ R/h at the exit of the BH9 when the reactor operating power was 100 KW. The experimental and the theoretical results, showed good agreement.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da distribuição espacial e energética de nêutrons num canal de irradiação do reator ("Beam Hole" - BH) é importante para estudos em Física de Reatores na área de blindagem, medidas de secção de choque [1], bem como para utilização do BH como fonte intensa de nêutrons e raios gama para experimentos em Física Nuclear e Física Médica.

As medidas apresentadas neste trabalho foram realizadas a fim de verificar a viabilidade de implantação da técnica BNCT [2] ("Boron Neutron Capture Therapy"), utilizando o reator IEA-R1 como fonte de nêutrons térmicos na irradiação de tumores cerebrais. Para tal, a Divisão de Física de Reatores (RTF) do IPEN-CNEN/SP iniciou um programa experimental que prevê medidas da distribuição espacial de fluxo de nêutrons térmicos, espectro de energia dos nêutrons e taxa de exposição gama nos canais de irradiação do citado reator.

Os fluxos devido a nêutrons e gamas foram calculados com o código DOT 3.5 [3] que resolve a equação de transporte de irradiação por meio de uma estrutura de multigrupos de energia. A distribuição das taxas de exposição foram obtidas com o programa ISODOSE do grupo de blindagem da Divisão de Física de Reatores (RTF).

Essas medidas são importantes para validar métodos de cálculo de transporte de radiação em BH, métodos estes empregados no projeto de arranjos experimentais utilizados em física nuclear, neutrografia, pesquisas biológicas, física médica, etc. Este tipo de experimento nunca foi realizado no reator devido aos inúmeros cuidados que são necessários, com relação à proteção radiológica, tendo em vista os altos níveis de dose atingidos no salão experimental do reator.

2. DESCRIÇÃO DO MÉTODO EXPERIMENTAL

O objetivo dessas medidas foi obter o valor do fluxo de nêutrons térmicos na saída do BH número 9 (BH9), com o interior do canal 9 totalmente desobstruído.

A fim de se avaliar o fluxo de nêutrons térmicos na posição citada, foi aplicada a técnica de análise por ativação [4,5] que consiste na irradiação de folhas de ouro nuas e cobertas com cádmio, dispostas na saída do BH9, conforme mostra o arranjo da figura 1, em um plano perpendicular ao eixo de simetria desse BH (vide figura 2). Foram utilizadas folhas de ouro de 0,013mm de espessura com um diâmetro de 8mm, bem como caixas de cádmio de espessura 0,5mm; os detetores de ativação foram fixados na placa de lucite indicada na figura 1.

As folhas de ouro nuas e cobertas com cádmio, posicionadas na saída do BH9, foram irradiadas durante duas horas com o reator operando a uma potência de 2Mw. O arranjo ao redor dos

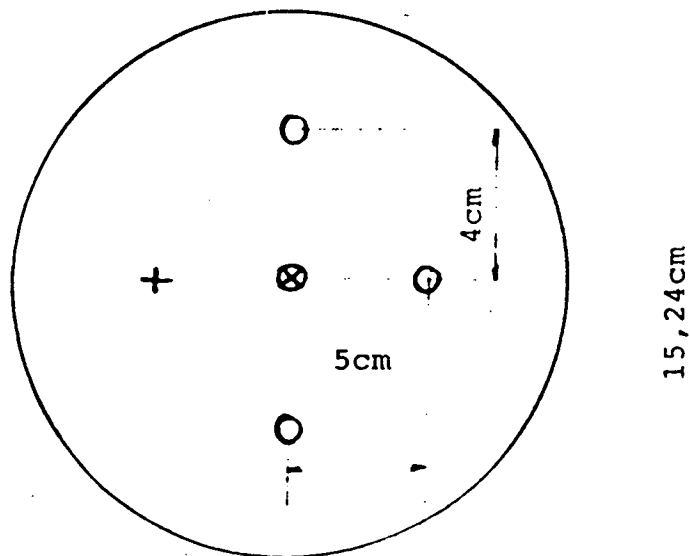


Figura 1. Disposição das folhas de ouro no BH9
 + - Folhas de ouro cobertas com cádmio
 o - Folhas de ouro nuas
 ⊗ - Centro do BH9 (eixo de simetria)

canais de irradiação, durante a realização das medidas, pode ser visualizado na figura 3.

Após a irradiação das folhas de ouro, o fotopico do Au-198, centrado na energia de 411,8044Kev (produto da reação Au-197 (n, γ) Au-198), foi contado de forma diferencial utilizando-se um detector de NaI(Tl), calibrado a partir de um sistema de anti-coincidência $4\pi\beta\gamma$.

Mediu-se também a taxa de exposição gama na saída do BH9. Prevendo-se que o nível de radiação neste local seria muito alto, com o BH totalmente aberto e o reator operando a 2Mw, procurou-se um detector cujo limite de fundo de escala fosse o maior possível e que possibilitasse leituras à distância; além disso, operou-se o reator à potências menores, compatíveis com a limitação do detector. O detector utilizado foi o Teletector (tipo Geiger-Müller) apresentando escala de leitura de 0 a 1KR/h e possibilitando a aproximação do local a ser monitorado, através de uma vara telescópica de 3 metros de comprimento.

3. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE CÁLCULO

A configuração geométrica utilizada para os cálculos, que consiste de 6 regiões em geometria R-Z, está ilustrada na

figura 2. O núcleo foi modelado por inteiro uma vez que se utilizou a condição de reflexão à esquerda. A discretização dos intervalos espaciais contém um total de 55 intervalos ("meshes") radiais e 159 intervalos axiais.

Utilizou-se uma estrutura de 40 grupos de energia, sendo 22 grupos de nêutrons e 18 grupos de gamas, e um conjunto de 100 ângulos de quadratura. A potência do reator considerada foi de 2Mw.

Na figura 4 tem-se a distribuição de potência do núcleo [6]. Cada quadrante apresenta o valor da densidade de potência para os intervalos espaciais assinalados.

A fonte para cada grupo de energia é dada pela densidade ponderada com o espectro de energia.

4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

O valor médio do fluxo de nêutrons térmicos obtido na saída do BH9 foi de $(1,00 \pm 0,03) E + 09$ n/cm².s. A taxa de exposição γ medida na saída do BH (linha de eixo do mesmo ponto central, vide figura 1) foi de $(7,90 \pm 1,2) E + 02$ R/h para o reator operando a 100Kw; acima desta potência não foi possível a realização da medida por ser o valor da taxa de exposição superior ao fundo de escala do detetor.

O valor calculado para o fluxo de nêutrons térmicos foi da ordem de $8,33E + 09$ n/cm².s e para a taxa de exposição gama com o reator operando a 2Mw, e 100Kw, respectivamente foi de cerca de $3,7E + 03$ R/h.

Os resultados de cálculo estão razoavelmente próximos dos valores medidos, sendo que a taxa de exposição gama calculada está superestimada pois, nestes cálculos, consideramos que a atividade gama dos produtos de fissão no núcleo do reator era estável (condição obtida após longo período de operação do mesmo), enquanto que a medida foi realizada após 2 dias de parada do reator. Estes dados indicam que o método de cálculo empregado é apropriado e nos encorajam a prosseguir o trabalho, melhorando a precisão das medidas e mapeando o fluxo de nêutrons no interior do BH9 a fim de realizarmos novas comparações com cálculos.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Proteção Radiológica, nas pessoas dos Srs. David Tadashi Fukumori e Sergio Munt Vaz, pela grande cooperação na realização das monitorações de doses, e ao Grupo de Operação do Reator Nuclear IEA-R1 (REN) pelo grande apoio prestado à realização do experimento.

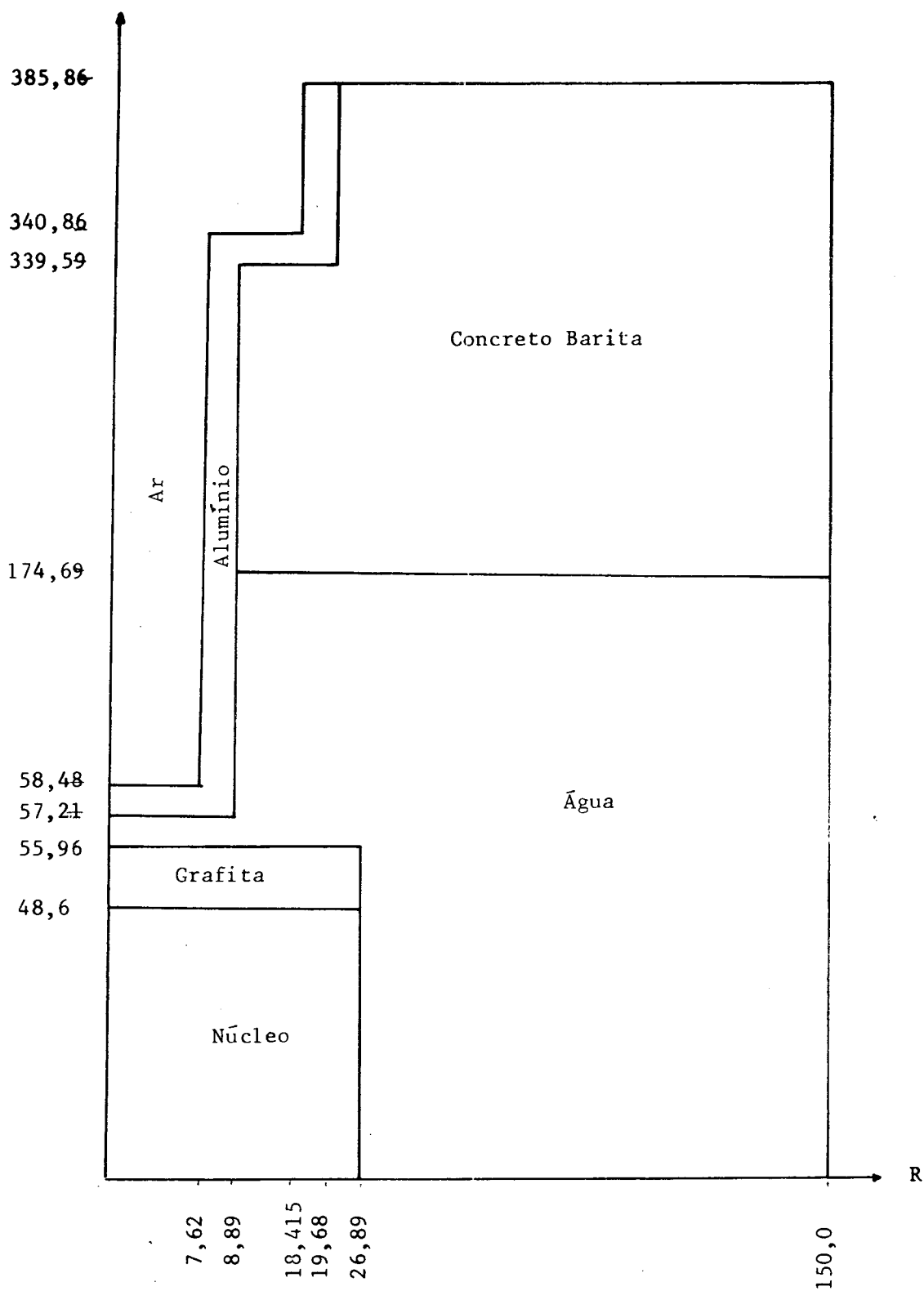
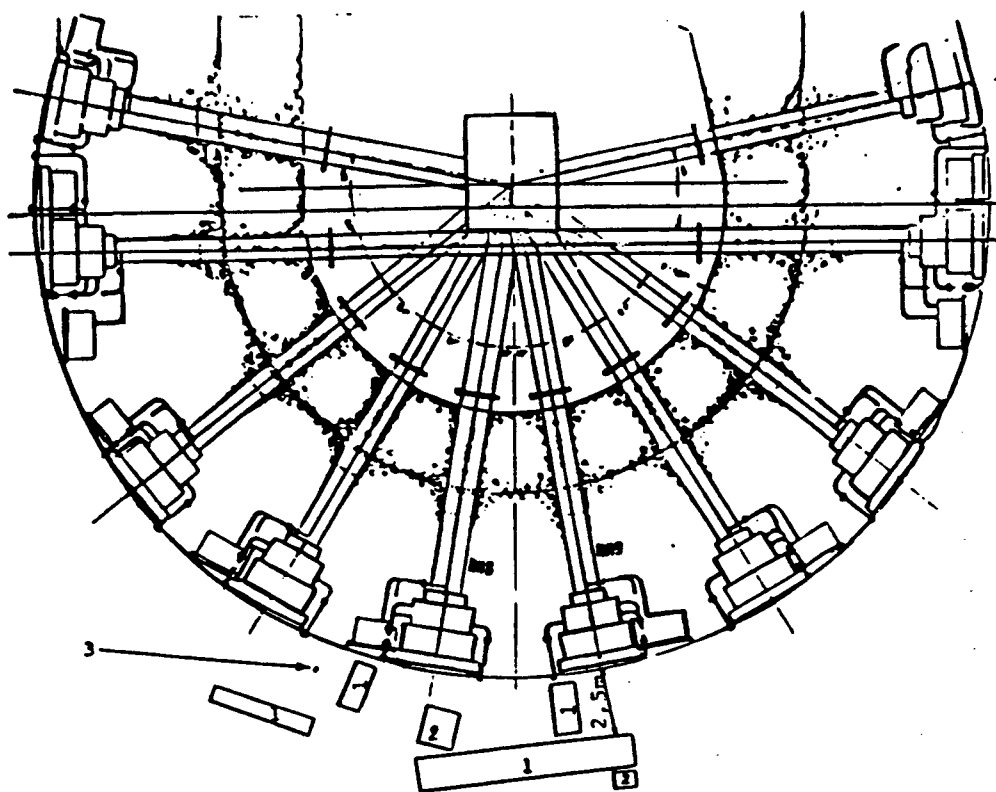


Figura 2. Modelo de cálculo para o BH 9 (Dimensões em cm).



POSIÇÃO	DENOMINAÇÃO
1	Caixa D'Água
2	Parafina
3	Posição do Operador do Teletector

Figura 3. Arranjo ao redor dos tubos de irradiação quando da realização do experimento.

Número de MESHES em R

D E N S I D A D E D E P O T. A X I A L	Z										N Ú M E R O D E M E S H E S E M Z
	2	3	2	2	5	5	5	3	3		
17,123	21,39	21,10	20,50	19,64	18,51	17,12	15,55	13,82	12,19		4
22,645	22,68	27,90	27,11	25,97	24,48	22,65	20,56	18,28	16,12		5
25,336	31,65	31,21	30,33	29,06	27,39	25,34	23,01	20,45	18,04		4
25,044	31,28	30,85	29,98	28,73	27,07	25,04	22,74	20,21	17,83		5
19,703	24,61	24,87	23,58	22,60	21,30	19,70	17,89	15,90	14,03		4
19,767	24,69	24,35	23,66	22,67	21,37	19,77	17,95	15,95	14,07		5
	1,249	1,232	1,197	1,147	1,081	1,000	0,908	0,807	0,712		R

Fator de Pico Radial

Figura 4. Densidade de Potência Local (w/cm^3) para o núcleo do reator IEA-R1 (vista em corte da região central, na vertical, envolvendo somente a parte com combustível).

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Profio, A.E. - Experimental Reactor Physics, Wiley , interscience publication, 1976.
- [2] Saver, I.L.; Souza, J.A.; Montagno, E.A.; Hatanaka, H. - Research Reactor Adaptation Project for Neutron Capture Therapy. Third International Symposium on Neutron Therapy. Bremem, 1988.
- [3] Two Dimensional Discrete Ordinates Radiation Transport Code - Dot 3.5. (ORNL-CCC-276).
- [4] Bitelli, U.U. - Medida e Cálculo da Distribuição Espacial e Energética de Nêutron no Núcleo do Reator IEA-R1. Dissertação de Mestrado - IPEN - SP - 1988.
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Neutron Fluence Measurements. Viena, 1970. (Technical Report Series,107).
- [6] Damy, M.A. - Fluxos de Gamas e Neutrons na Saída e Entrada do Beam Hole nº 8 do IEA-R1. São Paulo, Inst. Pesquisas Energéticas e Nucleares. (Relatório interno).