



## **Estudo do perfil de fluxo térmico no núcleo do reator TRIGA IPR-R1 para produção de fontes de cobalto.**

Samuel A. Caldeira, Daniel de A.M. Campolina, André A. C. Santos, Graiciany de P. Barros, José Augusto R. Silva, Marlucio A. Silva, Luiz O. I. S. Câmara, Luiz C. A. Souza, Aimore D. Neto, Marcio A. Pessoa  
*samuel.acaldeira@gmail.com, campolina@cdtn.br, aacs@cdtn.br, graiciany.barros@cdtn.br, jars@cdtn.br, mas@cdtn.br, lois@cdtn.br, lcas@cdtn.br, dutraa@cdtn.br, marcioap@cdtn.br*  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN / CNEN - MG)  
Av. Presidente Antônio Carlos 6627. 31270-901 Belo Horizonte, MG, Brasil.

### **1. Introdução**

Na produção de fontes radiométricas de cobalto de, para aplicação de medição de nível na indústria siderúrgica, é necessário calcular as taxas de reações nucleares em cadeia para o cobalto-60 no reator nuclear que a fonte é produzida. A taxa de reação por sua vez, depende da distribuição espacial do fluxo neutrônico no reator nuclear. O perfil do fluxo neutrônico específico é dependente da posição das barras de controle pois estas influenciam a redistribuição de nêutrons e as taxas de fissão. A realização dos cálculos de fluxo neutrônico é bastante desafiadora visto que o reator nuclear de pesquisa utilizado no presente trabalho não conta com um sistema de aquisição de dados com informações muito precisas sobre o histórico de queima e posição das barras sua operação.

Os nêutrons utilizados para a produção da fonte de cobalto são nêutrons de fissão ( $f, n$ ). No presente trabalho, o objetivo é calcular a potência no núcleo do reator (quantidade de nêutrons fornecidos) de forma otimizada para determinação eficiente do processo de ativação neutrônica do cobalto-59 para cobalto-60, nuclídeo de interesse, no tubo central do reator.

No reator nuclear, o espectro de energia dos nêutrons obtidos a partir da fissão do urânio-235 varia de alguns keV a valores próximos de 12 MeV. Devido a grande amplitude de nível energético dessas partículas, os nêutrons são convenientemente subdivididos em três categorias: térmicos, epitérmicos e rápidos. Os nêutrons térmicos, de interesse especial para a produção de fontes de cobalto-60, apresentam nível energético de até 0,025 eV. Essas partículas possuem distribuição energética igual das moléculas e dos átomos do meio do qual interagem. A interação desses nêutrons com a matéria por meio da dispersão elástica, permitem essas partículas permanecerem com o nível energético praticamente inalterado. A manutenção desse nível energético, possibilita maior tempo de permanência dos nêutrons em equilíbrio térmico ao redor dos núcleos atômicos, o que favorece a probabilidade do nêutron ser absorvido por um núcleo atômico.

Com o intuito de relacionar de forma eficiente os perfis de fluxo neutrônico em função das posições das barras de controle no núcleo do reator, uma simulação do perfil do fluxo de nêutrons variando-se os níveis de elevação da barra é necessária. Os cálculos referentes a neutrônica do reator a partir dos diferentes níveis de elevação das barras de controle foram avaliados do ponto de vista de simulação computacional com o perfil obtido de forma experimental. A simulação computacional foi realizada com a utilização dos códigos de transporte de nêutrons MCNP, que utiliza a técnica de Monte Carlo.

O perfil esperado para a ativação da fonte de cobalto no reator é fornecido pelo cliente como um dos requisitos para aquisição de fontes radiométricas produzidas no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN).

### **2. Metodologia**

O perfil esperado, foi obtido a partir de requisitos para aquisição de fontes radiométricas solicitadas ao Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN). A ativação neutrônica foi realizada experimentalmente para a fonte radiométrica como um todo no reator TRIGA IPR-1. A ativação foi realizada no tubo central com o reator a potência de 100 kW por um período de 5 horas, em uma posição estimada como sendo 30 cm abaixo do ponto central do tubo. Dessa forma foram irradiados no núcleo do reator simultaneamente os materiais constituintes da fonte de cobalto como uma peça inteira: o fio de cobalto-59,. O esquema de posicionamento

para irradiação da fonte de cobalto pode ser observado na Figura 1. Após a irradiação da fonte e a montagem da mesma, realizou-se uma varredura de radiação gama sobre a mesma, com a utilização de um equipamento denominado gamma scanner. Os parâmetros para a varredura foram: 70 segundos de contagem em cada posição, varredura com espaçamento de 1 mm em cada posição analisada. Como detector, foi utilizado Monitor Geiger portátil PSN 7013 – Prólogo.

A montagem do equipamento gamma scanner pode ser visualizada na Figura 2.



Figura 1. Esquema de montagem da fonte de cobalto - visão superior da peça.



Figura 2. Esquema de montagem do equipamento de varredura gamma scanner.

### 3. Resultados e Discussão

Após o processo de varredura, os dados registrados foram plotados e o perfil de radiação gama foi obtido. Tanto o perfil obtido de forma experimental por meio do uso da fonte radiométrica como os perfis obtidos por simulação computacional foram dispostos graficamente na Figura 3.

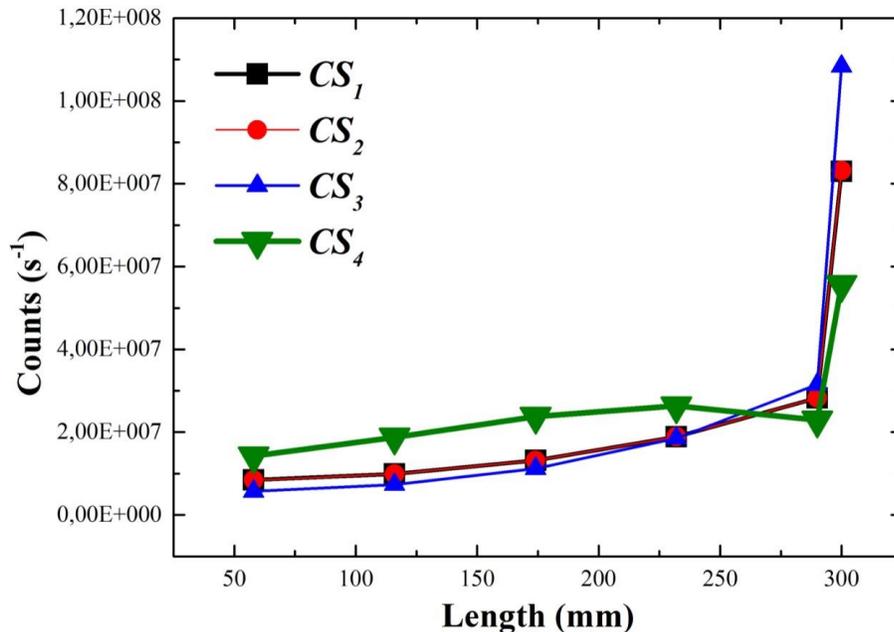


Figura 3. Comparação entre os perfis de contagens das fontes de cobalto solicitadas ao CDTN (CS<sub>1</sub>, CS<sub>2</sub> e CS<sub>3</sub>) e a fonte de cobalto em desenvolvimento (CS<sub>4</sub>).

A partir da Figura 3, na qual são comparados os perfis de contagens das fontes radiométricas solicitadas ao CDTN e para a fonte em desenvolvimento, é possível perceber que o perfil obtido não foi o esperado.

As principais possibilidades para esta diferença são:

-o posicionamento da amostra não ficou no local planejado devido a turbulência da água.

-A nova peça de alumínio utilizada para posicionar o material ativável reduziu a moderação de nêutrons na faixa de 225 mm a 300 mm do comprimento da fonte.

-Mudanças no perfil ocasionadas pela mudança no núcleo do reator.

-Efeito de envelhecimento, seja devido à queima dos combustíveis, das barras ou devido aos instrumentos de medição que medem a potência do reator.

Tais mudanças podem ter influenciado no fluxo neutrônico do reator nuclear do CDTN. O último estudo referente ao fluxo neutrônico no tubo central do reator foi realizado em 2004. Os dados desse estudo foram registrados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Distribuição axial do fluxo neutrônico no tubo central – 100 kW<sup>1</sup>.

Posição (cm)	Fluxo térmico (nêutron/cm <sup>2</sup> .s)	Fluxo total (nêutron/cm <sup>2</sup> .s)	Posição (cm)	Fluxo térmico (nêutron/cm <sup>2</sup> .s)	Fluxo total (nêutron/cm <sup>2</sup> .s)
-25	1,68E+12	2,28E+12	25	1,60E+12	2,24E+12
-23	2,00E+12	2,76E+12	23	1,84E+12	2,92E+12
-21	2,20E+12	3,60E+12	21	2,00E+12	3,32E+12
-19	2,40E+12	4,40E+12	19	2,56E+12	4,40E+12
-17	3,04E+12	5,60E+12	17	2,64E+12	5,20E+12
-15	3,40E+12	6,80E+12	15	3,04E+12	6,40E+12
-13	3,52E+12	7,20E+12	13	3,40E+12	7,20E+12
-11	3,96E+12	8,40E+12	11	4,00E+12	8,00E+12
-9	4,40E+12	9,60E+12	9	4,40E+12	8,80E+12
-7	5,20E+12	1,00E+13	7	4,80E+12	9,60E+12
-5	4,80E+12	1,04E+13	5	4,80E+12	1,00E+13
-3	5,20E+12	1,08E+13	3	5,20E+12	1,04E+13

-1	5,20E+12	1,08E+13	1	5,20E+12	1,08E+13
0	5,20E+12	1,08E+13			

---

Na sequência desse trabalho será realizada simulação computacional no MCNP para determinar o fluxo neutrônico do reator. Também serão realizados experimentos para o levantamento do perfil de nêutrons no todo central com o objetivo de validar o processo de simulação. A realização dos experimentos previstos está descrito na metodologia<sup>2</sup>. Após mapeamento do perfil de fluxo, a posição de irradiação do Cobalto-59 será revisada em função da curva de ativação requisitada para a produção de fontes de Cobalto-60

#### 4. Conclusões

De forma resumida, pode-se concluir que o perfil neutrônico do núcleo do reator é diretamente influenciado pelas posições das barras de controle. A determinação de como ocorrem essas mudanças de perfis ao longo do tempo de uso do reator, de acordo com a posição das barras será o objetivo da sequência desse trabalho. A partir da determinação do perfil atual do reator, espera-se realizar a produção da fonte radiométrica de cobalto com o perfil desejável, ou seja, com o perfil idêntico aos das fontes solicitadas ao CDTN.

#### Agradecimentos

Os agradecimentos são para o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), para as agências de fomento e para a equipe do SEURT.

#### References

- [1] DALLE, H.M., 2005. *Simulação do reator TRIGA IPR-R1 utilizando métodos de transporte por Monte Carlo*. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP.
- [2] GUIMARÃES, R.R.R., 1984. Levantamento das distribuições dos fluxos de nêutrons térmicos e rápidos no núcleo do reator IPR-R1.