



## **International Joint Conference Radio 2019**

### **Blindagem multilaminar aplicada a um PWR hipotético de pequeno porte**

**<sup>1</sup>Neto A. T.; <sup>2</sup>Duarte G.M., <sup>3</sup>Talon J.D., <sup>4</sup>Lopes T.J., <sup>5</sup>Oliveira C.L., <sup>6</sup>Fiel J.C.B.,  
<sup>7</sup>Fontes G.S., <sup>8</sup>Cabral R.G., <sup>9</sup>Vellozo S.O., <sup>10</sup>Barroso D.E.G.,**

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9</sup>Engenharia Nuclear

Instituto Militar de Engenharia

Praça Gen. Tibúrcio, 80, 22290-270, Urca, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

<sup>1</sup>albertoneto@ime.eb.br; <sup>2</sup>gabrimduarte@outlook.com; <sup>3</sup>lutalon@yahoo.com.br;  
<sup>4</sup>thomazjlopes@ime.eb.br; <sup>5</sup>d7luiz@yahoo.com.br; <sup>6</sup>fiel@ime.eb.br; <sup>7</sup>gsfontes@hotmail.com;  
<sup>8</sup>rgcabral@ime.eb.br; <sup>9</sup>vellozo@ime.eb.br; <sup>10</sup>daltongirao@yahoo.com.br;

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo apresenta a modelagem de um reator, de potência 50MWe/150MWt, o qual pode ser utilizado para diversas finalidades: como geração de energia destinada ao uso comercial, dessalinização da água do mar, ou mesmo em propulsão naval. Essa versatilidade se deve ao seu baixo custo de investimento inicial, grande flexibilidade de localização e alta eficiência quando comparado aos reatores nucleares tradicionais (United States Department of Energy - DOE).

O objetivo do trabalho foi verificar a blindagem multilaminar necessária em função do impacto radiológico ocasionado aos Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE), considerando a atuação diária do reator, levando em consideração toda radiação emitida. O núcleo deste reator foi modelado e simulado utilizando, como ferramenta, o *software* SCALE (KENO VI e T6-DEPL)<sup>[6]</sup>. Além disso, foi calculada a atividade média do núcleo, para assim, definir os requisitos mínimos para radioproteção dos IOE.

Os resultados referentes à radiação, devido aos núclídeos gama emissores presentes no núcleo do reator, foram analisados e as doses efetivas calculadas. Os cálculos levaram em consideração pontos de interesse, baseado nos quais se analisou a necessidade de implementação de blindagem multilaminar na instalação nuclear.

## 2. METODOLOGIA

Após a definição das características do núcleo do reator, foi realizada simulação com *software* SCALE/KENO VI. As atividades médias decorrentes dos núclídeos, produtos de fissão provenientes da queima do material físsil ao longo de um dia de operação do reator, foram obtidas com o uso do código T6-DEPL.

Os parâmetros nucleares, considerando a condição crítica de funcionamento do reator no ciclo zero, foram: (i) a temperatura do combustível e da água T=613K; (ii) a concentração de boro diluído no moderador, a uma proporção de 700ppm e; (iii) a composição isotópica do elemento combustível  $UO_2$ , com enriquecimento de 20% em  $^{235}U$ . Além disso, também foi observada a presença de veneno queimável  $U + Gd_2O_3$ .

A partir dos resultados das atividades, considerou-se uma fonte pontual e isotrópica emitindo fótons monoenergéticos. Admitindo o experimento com geometria desfavorável<sup>1</sup>, foi computado o efeito de *build-up*<sup>[7]</sup> no decorrer da trajetória dos fótons.

$$I = I_0 e^{-\mu x} B(\mu x) \quad (2.1)$$

Para isso, utilizaram-se os fatores de *build-up* individuais de Taylor<sup>[1,3]</sup> (para meio infinito) e fórmula de Broder<sup>[1,3]</sup> para os arranjos multilaminados.

$$B(\mu x) = A_1 \cdot e^{-\alpha_1 \mu x} + A_2 \cdot e^{-\alpha_2 \mu x} \quad (2.2)$$

O fator de transmissão (FT) foi determinado por meio da relação  $I/I_0$  e, a partir da atividade total inicial ( $A_0$ ), obtida por meio da simulação, foi calculada a atividade na parede externa do vaso do reator (A). Deste modo, foram obtidas as doses absorvidas<sup>[1,2]</sup>, equivalentes<sup>[7]</sup> e efetivas<sup>[7]</sup>, conforme as equações a seguir.

$$D = \frac{A}{4\pi r^2} \left[ \sum_i^\infty E_i \left( \frac{\mu}{\rho} \right)_i \right] \quad (2.3)$$

$$H = D \cdot Q \quad (2.4)$$

$$E = \sum_T W_T H_T \quad (2.5)$$

## 3. RESULTADOS

Realizadas as simulações nas condições críticas, considerando todos os emissores de fótons após a queima, foram obtidos os radionúclídeos e suas respectivas atividades (resultado da queima no núcleo do reator ao longo de um dia) cujo somatório foi definido como atividade total ( $A_0$ )<sup>[4]</sup>.

Obteve-se as doses efetivas de corpo inteiro, para um homem padrão de 70kg, cujos resultados estão apresentados no Quadro 1.

Distância (cm)	25	150	300	400	427,8
Taxa de Dose (mSv/s)	27534,27	764,84	191,21	107,56	94,03
Dose (mSv/ano)	1,98E+11	5,51E+9	1,38E+9	7,74E+8	6,77E+8

Quadro 1 - Doses efetivas nos pontos de interesse para o reator na condição crítico.

<sup>1</sup> Geometria desfavorável: em função do feixe de radiação incidente não ser colimado ao longo de sua trajetória.

Notou-se a necessidade da blindagem, entre a fonte e o IOE, quando se obteve uma dose efetiva anual de  $1,38E+9\text{mSv}$ . Para tal cálculo foi considerado o limite máximo normativo da dose efetiva anual para o IOE, em condições de rotina, tomando como referência a distância de 300cm entre o indivíduo e a parede do vaso do reator. Foram calculadas as espessuras da blindagem de cada material para o reator na condição crítica, utilizando concreto, alumínio, ferro e chumbo. Estes materiais são comumente utilizados em blindagem, uma vez que atendem à norma em vigor para instalações nucleares. Os resultados são expostos no Quadro 2.

Materiais de Blindagem	Concreto	Alumínio	Ferro	Chumbo
Espessura (cm)	40	10	10	1

Quadro 2 - Blindagem e espessuras.

Para a blindagem multilaminar proposta, a taxa de dose calculada foi da ordem de  $15\text{mSv/s}$ , que está abaixo dos limites normativos.

#### 4. CONCLUSÕES

Na condição crítica, a partir do resultado da dose efetiva, constatou-se a eficiência da blindagem multilaminar, a fim de atender a todos os limites estabelecidos na norma CNEN - NN 3.01 (Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica)<sup>[5]</sup>.

Conforme o Quadro 2, o projeto do arranjo multilaminar estabelecido considerou 300cm de distância entre parede externa do vaso do reator e o IOE. Para isso, obteve-se as espessuras da blindagem de 40cm, 10cm, 10cm e 1cm para o concreto, alumínio, ferro e chumbo, respectivamente. A blindagem proposta permitiu o cálculo da dose ocupacional, da ordem de  $15\text{mSv/s}$ , inferior aos limites normativos estabelecidos.

Conclui-se que a metodologia aplicada no projeto de blindagem multilaminar atende às normas em vigor - no que tange à dose efetiva - e garante a segurança do IOE na instalação nuclear abordada.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1].F.H. Attix. **Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry**. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2004.
- [2].A. B. Chilton, J. K. Shultis, R. E. Faw. **Principles of Radiation Shielding**. Prentice-Hall, INC. Englewood Cliffs, NJ, EUA, 1984.
- [3].A. Foderaro. **The Photon Shielding Manual**. University Park Pennsylvania, PA, EUA, 1976.
- [4].LARAWEB - Disponível em: <<http://www.nucleide.org/Laraweb/index.php>> Acesso em: 20 de maio de 2019.
- [5].Norma **Cnen 3.0.1: Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**, Rio de Janeiro, RJ, aprovada pela resolução 164/14, março de 2014.
- [6].PRIMER SCALE - B. T. Rearden, M. A. Jessee, **Code Systems ORNL/TM-2005/39 Version 6.2**, Oak Ridge, TN, abril de 2016.
- [7].L. Tauhata, I. Salati, R. Di Prinzio, A. R. Di Prinzio. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. Comissão Nacional de Energia Nuclear, Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro, RJ, 10ª rev-2014.