

Claudio Antônio Federico*
Institute for Advanced Studies
São José dos Campos – Brazil
claudiofederico@ieav.cta.br

Wagner Aguiar de Oliveira
Institute for Advanced Studies
São José dos Campos – Brazil
wagner@ieav.cta.br

Marlon Antônio Pereira
Institute for Advanced Studies
São José dos Campos – Brazil
marlon@ieav.cta.br

Odair Lélis Gonçalves
Institute for Advanced Studies
São José dos Campos – Brazil
odairl@ieav.cta.br

*author for correspondence

Avaliação da resposta de um contador do tipo “Long-Counter” para nêutrons do $^{241}\text{Am/Be}$

Resumo: Um detector de nêutrons do tipo “Long-Counter” está sendo utilizado dentro do contexto do projeto DREAB (Dosimetria da Radiação no Espaço Aéreo Brasileiro) para monitorar o fluxo integral de nêutrons oriundos de interação atmosférica da radiação cósmica, o qual tem importância na dose de radiação recebida por seres humanos ao nível do solo e é o principal responsável pela dose recebida por tripulações e instrumentação sensível de aeronaves. Neste trabalho são apresentados os testes preliminares efetuados com o detector de nêutrons do tipo “Long-Counter”, utilizando uma fonte de nêutrons de $^{241}\text{Am/Be}$ onde foi avaliada a dependência direcional da resposta do equipamento nos sentidos radial e transversal e também foi verificada a resposta após um acréscimo de retro-blindagem no equipamento, de forma a minimizar o nódulo traseiro de resposta em relação ao nódulo frontal, condição esta de interesse para o trabalho em andamento.

Palavras-chave: Nêutron, Radiação cósmica, Fluência.

Evaluation of the response of a “Long-Counter” for $^{241}\text{Am/Be}$ neutrons

Abstract: A “Long-Counter” neutron detector is being used in the context of the DREAB (Dosimetry of the Radiation in the Brazilian Airspace) project to monitor the integral flow of neutrons deriving from the interaction of cosmic radiation with the atmosphere, which is important for measuring radiation doses received by humans at ground level and is mainly responsible for doses received by aircraft crews and sensitive instrumentation. In this work the preliminary tests performed with the Long-Counter neutron detector are presented using a $^{241}\text{Am/Be}$ neutron source where the radial and transversal directional dependence of the equipment was evaluated and also an additional backward-shield in the equipment was verified, as a way of minimizing the back nodule response in relation to the frontal nodule, which is a condition of interest for the current work in progress.

Keywords: Neutron, Cosmic radiation, Fluency.

INTRODUÇÃO

O homem ao longo de sua vida está continuamente exposto aos efeitos da radiação ionizante proveniente do espaço, a qual é chamada de radiação cósmica (RC). A RC é atenuada pela atmosfera terrestre, porém, parte dela ainda atinge a superfície da terra, irradiando todos os seres vivos continuamente. A intensidade da radiação cósmica bem como sua composição e a de seus subprodutos depende da altitude, sendo que em maiores altitudes o nível de dose recebido, devido à radiação cósmica é maior do que em altitudes mais baixas, conforme pode ser observado na Fig. 1.

Received: 30/09/09

Accepted: 26/10/09

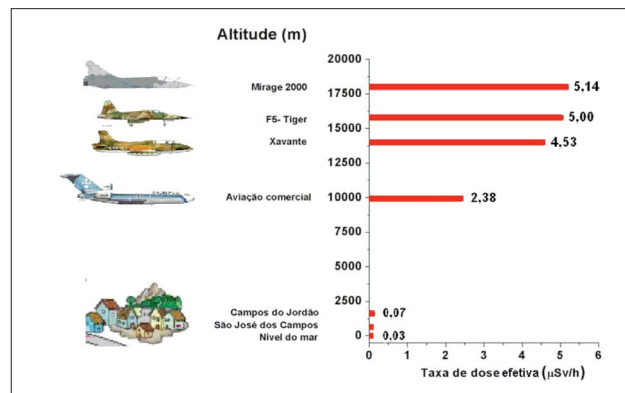


Figura 1: Taxas de dose efetiva devidas à radiação cósmica, em função da altitude (calculadas pelo programa CARI-6, para a região de São José dos Campos, SP, no período de janeiro de 2008)

Esse efeito faz com que a dose devida à radiação cósmica incidente em tripulações de aeronaves seja muito maior do que em outros grupos de trabalhadores, justificando estudos e medidas preventivas que têm se multiplicado ao redor do mundo (Hajek, 2004).

Para o caso específico de aeronaves, o principal componente da radiação cósmica responsável pela dose recebida pelas tripulações e instrumentação sensível são os nêutrons, gerados como produtos secundários de interações de prótons nos constituintes atmosféricos. Tais nêutrons são produzidos com um espectro de energia bastante amplo, variando desde nêutrons térmicos, com energia em torno de 0,025 e V, até nêutrons de centenas de MeV, o que torna a sua detecção um processo bastante complicado.

O detector do tipo “Long Counter” (LC) é utilizado para medidas de nêutrons oriundos de interação atmosférica da RC por possuir uma elevada eficiência de detecção em comparação com outros tipos de equipamento. Sua utilização se dá com a parte frontal direcionada para o zênite, de forma a maximizar a detecção de nêutrons de origem atmosférica. Neste trabalho, foram feitas medidas adicionais onde foi acrescentada uma blindagem na parte traseira do LC de forma a minimizar ainda mais a captação de nêutrons espalhados pelo solo ou estruturas adjacentes.

O LONG-COUNTER

O LC utilizado neste trabalho foi fabricado no Instituto de Estudos Avançados (IEAv) e baseia-se no modelo proposto por Slaughter (1974), com pequenas modificações. Na Figura 2, é apresentado o desenho do LC onde podem ser vistas suas estruturas principais, como as blindagens laterais de parafina borada, que possuem a função de blindar nêutrons incidentes lateralmente e as estruturas de polietileno, que possuem a função de termalizar os nêutrons incidentes, de forma que possam ser capturados no detector central (usualmente um detector proporcional do tipo ^3He ou BF_3). Para as medidas descritas neste trabalho foi adicionada uma capa de cádmio à face superior do detector (representada em azul na Fig. 2), que possui a função de minimizar a detecção de nêutrons térmicos oriundos do ambiente.

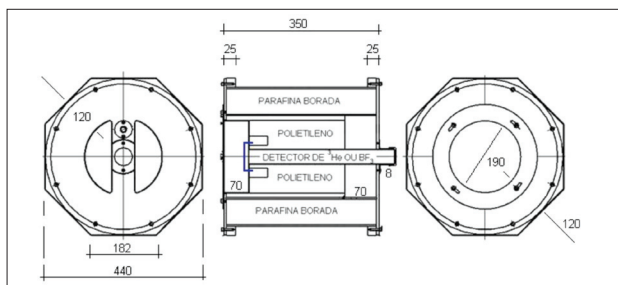


Figura 2: Monitor de fluxo de nêutrons construído no IEAv (dimensões dadas em mm)

Detectores de nêutrons do tipo “Long-Counter” (LC) são empregados com sucesso em situações onde o espectro de energia a ser medido é bastante amplo e deseja-se uma resposta direcional.

ARRANJO EXPERIMENTAL

Para a finalidade em questão, que é a detecção de nêutrons oriundos de interação atmosférica da RC, é desejável a utilização de um monitor que tenha uma resposta bastante direcional, de forma a poder minimizar as contribuições de nêutrons espalhados ou emitidos por materiais do solo. Assim, foi montado um arranjo experimental, ilustrado na Fig. 3, onde o LC foi submetido ao fluxo de nêutrons rápidos emitidos por uma fonte, em diferentes angulações, a uma distância de 1,66m, com a finalidade de avaliar a dependência angular do LC.

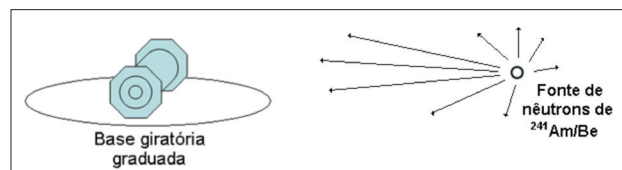


Figura 3: Arranjo experimental

Nas medidas efetuadas a contribuição de nêutrons espalhados nos materiais presentes no ambiente (parede, piso, estruturas, etc) é grande. Para eliminar tais contribuições espúrias, é utilizada a técnica do “cone de sombra”, que consiste em efetuar medidas com a interposição de um cone absorvedor de nêutrons, construído com ferro e parafina borada (IAEA, 2000) entre a fonte e o equipamento de medida, de forma a se eliminar o feixe direto e medir unicamente os nêutrons espalhados no meio ambiente, cuja contribuição é subtraída nas medidas. Um esquema ilustrativo da utilização do cone de sombra é apresentado na Fig. 4.

A fonte de $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ emite nêutrons com uma distribuição em energia apresentada na Fig. 5. A atividade atual do ^{241}Am presente na fonte utilizada é de 3472 MBq (maio/2009). A produção de nêutrons se dá por meio da reação $^9\text{Be}(\alpha, n)^{12}\text{C}$ produzida pela interação das partículas alfa originárias do decaimento do amerício, com os núcleos dos átomos de berílio.

O cálculo da produção de nêutrons é efetuado por meio do rendimento da reação, que é de 66 n/s.MBq, resultando em uma taxa de emissão de nêutrons (t) de $2,292 \times 10^5$ n/s. A taxa de fluência de nêutrons (Φ) à uma distância d da fonte pode ser calculada por:

$$\phi = \frac{t}{4\pi \cdot d^2} \quad (1)$$

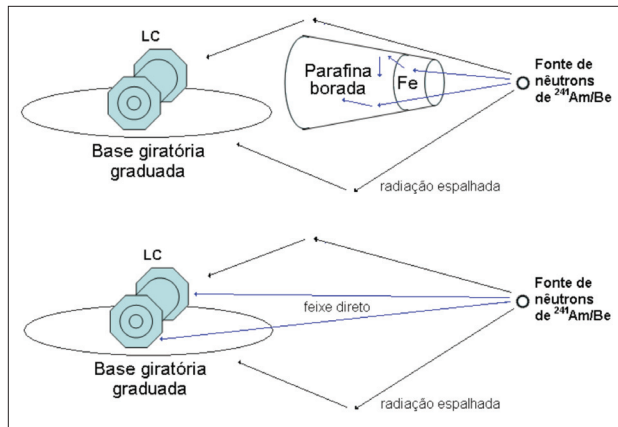


Figura 4: Esquema de uso do cone de sombra para medir a contribuição da radiação espalhada. Na imagem superior, o cone de sombra absorve o feixe direto da fonte que atingiria o detector. Na figura inferior, o detector mede ambas as radiações (direta e espalhada)

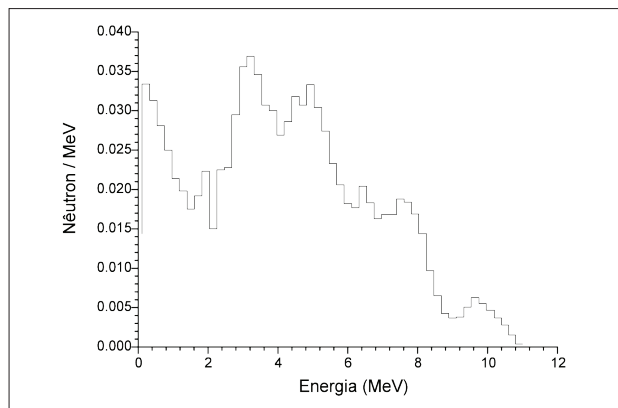


Figura 5: Espectro de energia dos nêutrons produzidos por uma fonte de $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ (ISO 8529-1)

de forma que, para uma distância de 1m, teremos uma taxa de fluência de $1,82 \text{ n/cm}^2.\text{s}$.

RESULTADOS

Foram efetuadas medidas com o LC variando sua angulação desde 0° até 360° em um corte transversal ao eixo principal do LC. Os resultados são apresentados na Fig. 6, onde se pode verificar que a resposta do detector é praticamente isotrópica. As variações de resposta observadas não excedem 1,5% da resposta média e são compatíveis com a incerteza experimental das medidas efetuadas.

As medidas referentes ao corte longitudinal em relação ao eixo principal do LC são apresentadas na Fig. 7, onde podem ser observados dois nódulos de eficiência bem pronunciados na direção frontal e traseira do equipamento.

Com o objetivo de reduzir a eficiência de medida na direção traseira, a qual é indesejável para o tipo de utilização a ser

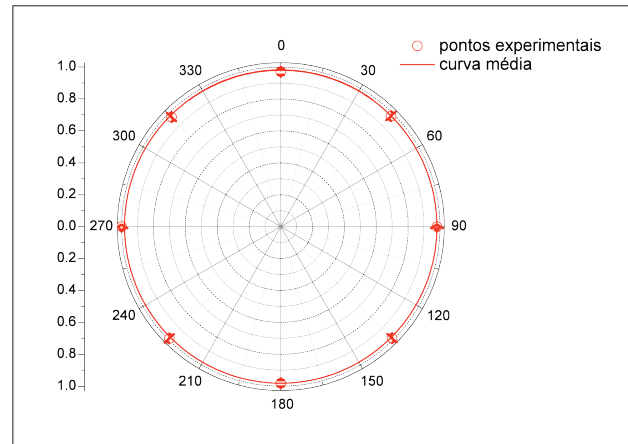


Figura 6: Corte transversal ao eixo principal. Os resultados são normalizados para o ponto de máxima leitura

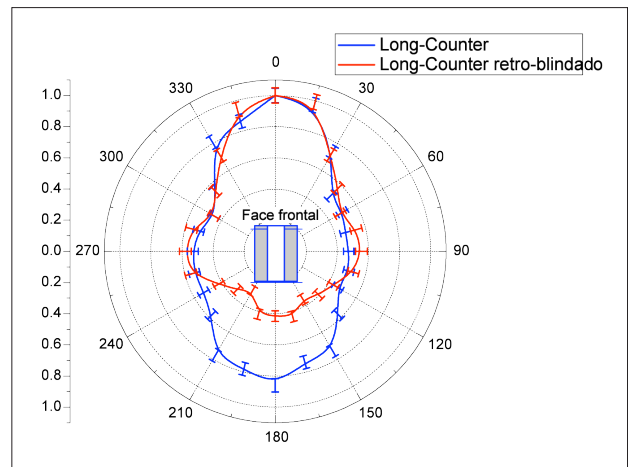


Figura 7: Corte longitudinal ao eixo principal. Os resultados são normalizados para o ponto de máxima leitura

dado ao LC, foi acrescentada uma blindagem adicional na parte traseira, composta de aproximadamente 10 cm de parafina borada. A parafina possui a função de reduzir a energia média dos nêutrons incidentes até próximo da energia de equilíbrio térmico (cerca de $0,025 \text{ eV}$) e o boro é utilizado por possuir uma alta seção de choque para absorção de nêutrons térmicos. As medidas efetuadas com a retro-blindagem citada são apresentadas na Fig. 7.

A fluência de nêutrons medida no detector (Φ_m) pode ser obtida pela relação,

$$\Phi_m = c \cdot f_c \quad (2)$$

onde c é o número de contagens (nêutrons) em um período determinado e f_c é o fator de calibração de contagens para fluência.

Com os dados obtidos no experimento é possível obter o fator de calibração (dado em termos de fluência de nêutrons

por contagem no detector) para o referido equipamento, para uma incidência frontal (0°), que é de (0.0564 ± 0.0026) n/cm².ct para o detector sem retro-blindagem e $(0,0584 \pm 0.0028)$ n/cm².ct para o detector retro-blindado. As medidas tomaram como ponto de referência o centro geométrico do detector.

CONCLUSÕES

A metodologia de medida utilizando uma fonte de nêutrons rápidos de ²⁴¹Am/Be e a técnica do cone de sombra mostrou-se adequada para a determinação da resposta espacial do LC. Os resultados indicam que o LC apresenta uma resposta bastante direcional e a adição de retro-blindagem propicia sua utilização para fins de medida de radiação cósmica, com incidência de cima para baixo e com alta rejeição de nêutrons espalhados em outras direções.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP pelo apoio financeiro parcial e ao Dr. Artur Flávio Dias, pela cessão dos desenhos e dados relativos ao Long-Counter utilizado.

REFERÊNCIAS

Hajek, M., Berger, T., Vana, N., 2004, "A TLD-Based Personal Dosimeter System for Aircrew Monitoring", Radiation Protection Dosimetry, Vol. 110, N°. 1-4, pp. 337-341.

IAEA, 2000, "Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments", Safety Report Series 16, International Atomic Energy Agency, Vienna.

ISO, 2001, "Reference Neutrons Radiations. Characteristics and methods of production", ISO 8529-1, International Organization for Standardization.

Slaughter, D., 1978, "An Operating Manual for the De Pangher Precision Long Counter", Lawrence Livermore Laboratory, University of California.