



P

ROTEÇÃO CONTRA RADIAÇÕES
NA COMUNIDADE DOS PAÍSES
DE LÍNGUA PORTUGUESA

Luis Neves (coord.)

IMPRESA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA
2018

**MEDIDAS DE RADIAÇÃO GAMA IN SITU PARA ESTIMAR
A EXPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO BRASILEIRA À RADIAÇÃO**

**GAMMA IN-SITU MEASUREMENTS TO ESTIMATE THE
EXPOSURE OF BRAZILIAN POPULATION TO NATURAL
RADIOACTIVITY**

**E. M. SOUZA – elder@ird.gov.br (Instituto de Radioproteção e Dosimetria –
IRD-CNEN)**

**E. R. R. ROCHEDO – elaine@ird.gov.br (Instituto de Radioproteção e Dosime-
tria – IRD-CNEN)**

**C. C. CONTI – ccconti@ird.gov.br (Instituto de Radioproteção e Dosimetria –
IRD-CNEN)**

PALAVRAS-CHAVE: radiação natural, medidas gama in situ, taxa de dose externa.

RESUMO: A radiação natural é a principal fonte de exposição para a média da população mundial. A maioria das publicações encontrada na literatura refere-se a áreas de elevada radioatividade natural. Recentemente, começaram a aparecer publicações mais gerais, incluindo avaliações de taxas de dose externas de grandes áreas e levantamentos de radionuclídeos naturais no solo, na água e em alimentos. Os resultados obtidos neste estudo indicam que a quantidade de dados disponíveis na literatura científica ainda é muito pequena para caracterizar a contribuição da radiação terrestre para a taxa de dose externa da população brasileira.

O objetivo final deste trabalho é obter dados suficientes para começar a compor um mapa da radiação natural do território brasileiro. A determinação da taxa de dose devido à exposição à radioatividade no ambiente é condição sine qua non para todo e qualquer programa de monitoração radiológica. Neste trabalho, as medidas foram realizadas utilizando o ATAS Scanner AT6101C da ATOMTEX® e dois conjuntos SPARCS (Spectral Advanced Radiological Computer System) do Departamento de Energia dos EUA (US DoE). As médias das taxas de dose [$H^*(10)$] para áreas terrestres naturais - sem anomalias radioativas estão na faixa de 80 ± 23 nSv h^{-1} (Fortaleza-CE) a 147 ± 16 nSv h^{-1} (Angra dos Reis-RJ), mas em medidas realizadas em ambientes aquáticos foram encontrados valores variando 10 nSv h^{-1} (Rio Amazonas) a 25 nSv h^{-1} (Baía de Guanabara).

KEYWORDS: natural radioactivity, gamma in situ measurements, external dose rate.

ABSTRACT: The natural radiation is the main source of exposure for the average of the world population. The majority of the publications historically found in the literature refer to areas of high natural radioactivity. Recently began to appear more general publications, including assessments of external dose rates of large areas, as well surveys of natural radionuclides in soil and food and water. The findings of this study indicate that the amount of data available in the scientific literature is still too small to characterize the terrestrial contribution for the external dose rate for the Brazilian population.

The final objective of this work is start acquire enough data to compose a radiation background map of the Brazilian territory. The determination of the Dose Rate due to exposure to radioactivity in the environment is sine qua non condition for

all and any radiological monitoring program. In this work the measurements were performed using an ATAS Scanner AT6101C, from ATOMTEX® and two sets of SPARCS (Spectral Advanced Radiological Computer System) from US Department of Energy (US-DoE). Average dose rates [$H^*(10)$] for natural areas – with no radioactive anomalies fall in the range of 80 ± 23 nSvh-1 (Fortaleza-CE) to 147 ± 16 nSvh-1 (Angra dos Reis-RJ) but during over water measurements were found values ranging from 10 – 25 nSvh-1 (Amazon River to Guanabara Bay).

1. INTRODUÇÃO

A radiação natural é a principal fonte de exposição para a média da população mundial. A determinação da taxa de dose (ou dose absorvida ou Kerma ou equivalente de dose) devida à exposição à radioatividade ambiental, de origem natural ou não, é uma condição sine qua non para qualquer programa de proteção e monitoração radiológica. Entretanto, é preciso identificar qual grandeza está sendo medida e quais grandezas podem ser calculadas a partir destas medidas. $H^*(10)$ – Equivalente de Dose Ambiente à distância de 10 mm (quantidade operacional para monitoração de área), para proteção contra radiação externa, conforme definida pela International Commission on Radiation Units and Measurement (ICRU) é grandeza adotada pela Norma CNEN-NN-3.01 (Tahuata et alli 2013) e que também tem sido mundialmente aceita (ICRU Report 51, ICRU (1993a)).

As fontes de radiação que contribuem para esta taxa de dose são de origem natural (radiação cósmica, radionuclídeos das series do Urânio e Tório, Radônio e Torônio e ^{40}K) e também de origem artificial (explosões nucleares, acidentes de Chernobyl e Fukushima, fontes radioativas usadas na indústria e medicina).

Os dois métodos mais comuns usados para a determinação dos níveis de deposição de radionuclídeos no solo são a espectrometria gama *in situ*, com o uso de detectores de NaI(Tl) ou HPGe e a coleta e análise por espectrometria de amostras de solo.

A radiação ambiental é muito complexa para ser recriada em laboratório. O campo de radiação de referência é dado pelo próprio campo ambiental, que é composto principalmente por radiação gama. Geralmente os detectores usados para medidas de taxa de dose são calibrados usando as técnicas de Monte Carlo (MC) e usando feixes de ^{137}Cs (667keV) ou ^{60}Co (1.17 MeV e 1.33MeV) dentre outros radionuclídeos, mas as energias encontradas na radiação natural de isótopos de U e Th chegam a valores de até 2615keV (^{208}Tl). Portanto a calibração deve levar em conta toda esta faixa de energia. Para a correta calibração e caracterização destes detectores é necessário usar campos de radiação de referência os mais próximos possíveis do campo real. Então a radiação de referência acaba sendo o próprio campo de radiação ambiental alvo da análise (Ambrosi, 2009). Uma vantagem disponível nas instalações do Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD são os discos cilíndricos de concreto (chamados “pads” ou “pods”) contendo concentrações conhecidas de ^{40}K , Urânio e Tório natural e misturas destes dois radionuclídeos. Os discos têm diâmetro de 3 metros, altura de 50 cm e são formados por minérios de urânio, tório, misturas destes minérios, ^{40}K , e material natural representando a radiação de fundo ou o “background”.

Neste trabalho utilizamos dois tipos de detectores de Iodeto de Sódio, NaI(Tl), um portátil chamado ATAS Scanner AT6101C e outro de grande porte chamado SPARCS. O detector AT6101C pode trabalhar em duas faixas de energia: de 30 keV a 1.5 MeV ou de 50 keV a 3 MeV.



Figura 1. “pads” com concentração conhecida de radionuclídeos naturais, indicados pelas setas vermelhas. As setas amarelas indicam as etiquetas com a identificação de cada “pad”. Ao centro o AT6101C , vulgarmente conhecido como mochila e, na extrema direita, a imagem de Raios X da mochila, evidenciando o cristal de NaI(Tl) e os dois tubos de BF₃ do detetor de nêutrons.

2. MÉTODOS

Os detetores AT6101C e SPARCS foram estabilizados e as fontes de teste usadas foram os “pads” disponíveis no IRD e fontes de ¹³⁷Cs, e fontes de Urânio e Tório natural e para o AT6101C ainda foi utilizada a fonte de ⁴⁰K. As medidas terrestres foram realizadas a pé com o AT6101C e o SPARCS foi utilizado embarcado numa viatura (carborne), na altura de 1 metro do solo. Nas medidas em rios e baías foram utilizadas pequenas traineiras, botes de alumínio e botes de borracha da Marinha do Brasil e nesta condição os detetores ficavam no piso dos botes e traineiras.

Aquisição de dados: um espectro a cada 10 segundos para o AT6101C (faixa de energia de 40 keV a 3 MeV no modo espectrométrico) e um espectro por segundo para o sistema SPARCS.



Figura 2. Em primeiro plano dois sistemas SPARCS sendo testados, em contato, nos “pads” e ao fundo e no detalhe o detector de NaI(Tl) do AT6101C sendo testado a 10 cm de altura do “pad”. Todos os sistemas foram testados em contato, a 10 cm e a 1 metro de altura do solo.

Os resultados das taxas de dose [$H^*(10)$] são armazenados nos próprios sistemas e além dos dados de dose, contagens por segundo nas regiões de interesse (ROI), também são armazenados os dados geográficos (latitude, longitude e altitude) e data e hora da medida. Quando ocorre a identificação de um radio-nuclídeo, natural ou artificial, os sistemas emitem um alerta e o registro da identificação do elemento encontrado é armazenado associado ao espectro desta identificação. Após o término das medidas, os dados são descarregados e analisados para verificar a consistência dos resultados, analisando espectros e energia dos picos e, finalmente os resultados são disponibilizados no sistema Google EARTH Pro ® permitindo a visualização dos dados de taxa de dose em mapa.

3. RESULTADOS

Os resultados de $H^*(10)$ em nSv/h das áreas já mapeadas estão dispostos na tabela 1, a seguir. Como os resultados desta tabela foram obtidos em áreas de grandes extensões, envolvendo não raro percursos da ordem de dezenas e não raro centenas de quilômetros, são indicados os valores máximos e mínimos para contemplar as diferenças na composição do solo e de diferentes unidades geográficas. Anomalias pontuais podem aparecer e são registradas na visualização gráfica dos resultados.

Tabela1. Resultados de Equivalente de Dose Ambiente, $H^*(10)$, em nSv/h.

Local	$H^*(10)_{\text{médio}}$	$H^*(10)_{\text{Mínimo}}$	$H^*(10)_{\text{Máximo}}$	Referência
Fortaleza-CE	80	19	190	Souza [1], 2015
Costa do Saúípe-BA	47	19	154	Souza [1], 2015
Salvador-BA	43	39	52	Souza et alli:[2], 2009
Vitória-ES	96	54	257	Souza [1], 2015
Niterói-RJ	105	75	151	Souza et alli [2], 2009
Rio de Janeiro-RJ	96	75	126	Souza et alli [2], 2009
Angra dos Reis-RJ	147	121	172	Souza [1], 2015
Sorocaba-SP	75	30	100	Souza [4], 2015
Iperó-SP	43	31	63	Souza [4], 2015
Ilha do Martins-RJ	40	19	364	Souza [3], 2015
Rio Amazonas	10	10	20	Souza [3], 2015



Figura 3. Resultados do rastreamento radiométrico na região da Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, em unidades de $\mu\text{Sv/h}$. Nesta parte os valores mais altos são encontrados sobre o solo e na parte sobre e sob a Ponte Rio-Niterói, devido à presença de materiais radiativos naturais no solo e no concreto da estrutura.



Figura 4. Os valores mais altos, do rastreamento radiométrico, em unidades de $\mu\text{Sv/h}$, indicados em vermelho, devido à presença de monazita podem ser notados no lado mais a esquerda da praia da Vila Residencial Praia Brava, da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, em Angra dos Reis-RJ. No extremo direito da figura, junto às pedras observa-se uma pequena ocorrência de valores mais elevados, indicados em vermelho.

A origem destes valores mais elevados de $H^*(10)$ para esta praia em particular é atribuída à presença de areias monazíticas, bem como o material que continuamente é arrastado das rochas, na parte mais elevada do continente, pelo pequeno riacho que deságua na margem esquerda da praia. Este riacho é oriundo da montanha situada na margem superior da Rodovia Rio-Santos, BR-101, conforme mostra a figura 4.

4. DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Os valores de $H^*(10)$ encontrados nas medidas mostradas acima não devem ser analisados isoladamente dos elementos geográficos característicos das áreas medidas. Ainda que oriundas de

elementos naturais, das cadeias do ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K , a radiação e a taxa de dose originária dos elementos naturais em condições naturais de ocorrência ou originada a partir dos mesmos elementos naturais, mas artificialmente dispostos em áreas urbanas, a partir de estruturas tais como prédios, viadutos, pontes e grandes obras de engenharia civil, não é diferente.

A técnica de Espectrometria Gama In Situ é mais efetiva no mapeamento de anomalias radioativas do que a coleta e posterior análise de amostras em laboratórios. A justificativa para tal é que a capacidade de análise in situ é maior do que a capacidade de coleta e análise de amostras. Na figura 4 acima, para uma área de 50.000 m^2 ($1000\text{m} \times 50\text{ m}$) a densidade de espectros coletados foi superior a 1000, o que seria equivalente a 1000 amostras coletadas, o que daria uma taxa de uma amostra/coleta para 50 m^2 .

Isto não significa que a amostragem não é importante, mas sim que as técnicas devem ser consideradas complementares, com a amostragem direcionada para mapear as anomalias existentes em pontos conhecidos e previamente mapeados pela espectrometria gama in situ.

Os resultados de amostras medidas em laboratório guardam diferenças com os resultados in situ, sejam por características intrínsecas dos tipos e modelos de detector usados em ambas as técnicas, sejam por condições da “amostra”, que não é alterada na técnica in situ, mas que pode ser modificada para a amostragem e contagem em detectores de laboratório (secagem, calcinação, extração dentre outros tipos de processamento).

A média aritmética ou geométrica de resultados deve ser analisada com cuidado e anomalias reportadas, para que não haja uma diluição dos resultados mais altos nos mais baixos. Na Ilha do Martins-RJ os valores de $\text{H}^*(10)$ chegam a quase 400nSv/h , mas são oriundos de pedras utilizadas na construção e decoração de um muro. Ao utilizar a média aritmética ou geométrica para estes casos, os poucos

valores mais altos de $H^*(10)$ serão diluídos na quantidade muito maior de valores de $H^*(10)$ de menor intensidade.

5. CONCLUSÕES:

Não é possível usar uma média geral para $H^*(10)$, sem considerar os diferentes tipos de pavimentos, solos e coberturas e os diferentes tipos de uso da terra.

Os detectores devem ser calibrados e verificados com fontes de teste adequadas.

A radiação cósmica deve ser considerada em locais com radiação de fundo baixa.

Em áreas urbanas existem valores de $H^*(10)$ muito diferentes, por conta do tipo e uso do solo. Uma camada de asfalto pode blindar uma camada inferior diminuindo a radiação de fundo ou o mesmo asfalto pode aumentar a radiação de fundo se for colocado sobre a terra ou areia com baixos teores de materiais radioativos.

A união das medidas de gama in situ com os resultados da análise espectrométrica de amostras coletadas nos mesmos locais permitirá uma avaliação mais precisa e permitirá fazer os ajustes necessários dos modelos usados na monitorização ambiental de áreas específicas.

A análise conjunta das medidas in situ e dos resultados obtidos por análise de amostras coletadas no mesmo local de medida produzirá resultados mais consistentes que somente uma das técnicas isoladamente.

Referências

Tauhata, L., et alli (2013) - Radioproteção e Dosimetria : Fundamentos. Instituto de Radioproteção e Dosimetria, 345p.

- ICRU (1993a). International Commission on Radiation Units and Measurements. Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry, ICRU Report 51 (International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD).
- Ambrosi, P. (2009) - Radiation protection and environmental standards. *Metrologia* 46, pp. 99–111.
- Souza^[1], E.M., Rochedo, E.R.R., Conti, C.C., (2015) Proc. X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica, Buenos Aires, Argentina.
- Souza^[2], E.M. et alli, (2009), Proceedings International Nuclear Atlantic Conference 2009, Santos, Brazil.
- Souza^[3], E.M., (2015), Proc. X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica, Buenos Aires, Argentina.
- Souza^[4], E.M., Ferreira A.C.M., Roldão L.A., Jacomino, V.M.F. (2015), Proc. X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica, Buenos Aires, Argentina.