

# Estudo da eficiência de detecção de um monitor portátil de contaminação de superfícies em função da distância e do débito de emissão da fonte

Diana D. Duarte<sup>1</sup>, João Cardoso<sup>2</sup>, Luís Santos<sup>2</sup>, Carlos Oliveira<sup>2</sup>, Lina Vieira<sup>1</sup>

1. Área Científica de Medicina Nuclear, Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, dianadduarte@gmail.com

2. Laboratório de Metrologia das Radiações Ionizantes, Instituto Tecnológico e Nuclear

**RESUMO: Introdução** – No caso de uma eventual contaminação radioativa esta deve ser quantificada, pelo que é necessário garantir que as condições de funcionamento de um monitor de contaminação de superfícies se encontrem adequadamente caracterizadas, através da determinação da sua eficiência de detecção. Este estudo tem como objetivo determinar a eficiência de detecção de um monitor de contaminação e analisar a influência da distância e da atividade. **Metodologia** – O monitor de contaminação *Thermo Mini 900E* e as fontes radioativas planas de referência de Carbono – 14 (C-14), Césio – 137 (Cs-137), Estrôncio – 90 (Sr-90), Cloro – 36 (Cl-36) e Amerício – 241 (Am-241) com débito de emissão superficial rastreável ao *Physikalish Technischen Bundesanstalt* (PTB) foram utilizadas. Fontes de Sr-90 e C-14 com dois débitos de emissão distintos para cada e distâncias de 1 a 20mm foram usados para estudar a sua influência na eficiência de detecção. **Resultados** – Verificou-se que as fontes radioativas emissoras de partículas de maior energia apresentam uma maior eficiência de detecção e que esta diminui com o aumento da distância do detetor à fonte, sendo que os radioisótopos de maior energia apresentam um decréscimo na eficiência de 15% ao longo de 20mm, enquanto os radioisótopos de menor energia apresentam um decréscimo de 10%. Não se verificou uma influência expressiva do débito de emissão na eficiência de detecção deste monitor de contaminação. **Conclusão** – A eficiência de detecção de um monitor de contaminação portátil é dependente da distância deste à contaminação bem como do tipo de radiação emitida e energia dos radioisótopos presentes na contaminação.

*Palavras-chave: distância, eficiência de detecção, emissão superficial, fontes radioativas de referência, monitor de contaminação.*

## Study of the detection efficiency of a surface contamination monitor according to the distance and the surface emission rate

**ABSTRACT: Introduction** – A radioactive contamination needs to be quantified in case it eventually occurs. Therefore it is necessary to ensure that the operating conditions of a surface contamination monitor are characterized by determining its detection efficiency. This experimental study aims to determine the detection efficiency of a contamination monitor and evaluate the distance and surface emission rate influence on the detection efficiency. **Methodology** – A contamination monitor *Thermo Mini 900E* was tested with reference radiation sources of Carbon – 14 (C-14), Cesium – 137 (Cs-137), Strontium – 90 (Sr-90), Chlorine – 36 (Cl-36) and Americium – 241 (Am-241) with its emission rate traced to the *Physikalish Technischen Bundesanstalt* (PTB). Sources of Sr-90 and C-14 with two different emission rates for each one and distances of 1 to 20mm were used to study its influence in the detection efficiency. **Results** – With the increasing of distance, the detection efficiency decreases. The most energetic radiation sources have higher detection

efficiency, boasting a 15% decrease over 20mm whereas the sources bearing a smaller efficiency decrease 10%. No influence of the surface emission rate in the detection efficiency was verified. **Conclusion** – Thus, it is concluded that the detection efficiency of a contamination monitor is dependent of the distance between it and the contamination as well as the type and energy of the radioisotopes present in the contamination.

*Keywords: contamination monitor, detection efficiency, distance, reference radiation sources, surface emission rate.*

## Introdução

A medicina nuclear utiliza isótopos radioativos emissores de radiação gama, como o Tc-99m, e de partículas  $\beta$ , como o Sr-90 e o I-131<sup>1</sup>. Dado que muitas destas substâncias são manuseadas na sua forma líquida, podem incidentalmente ocorrer derrames radioativos, podendo-se estar perante diferentes tipos de radiação e de isótopos radioativos com diferentes energias e atividades. Nestes casos, é necessário proceder à monitorização destas possíveis contaminações<sup>2</sup> com um monitor de proteção radiológica que seja eficaz na deteção de vários tipos de radiação.

Os monitores de contaminação usualmente são constituídos por detetores *Geiger-Müller*, dado que estes são estáveis na sua operação, versáteis no tipo de radiação que detetam e são adquiridos a baixo custo<sup>3</sup>.

No entanto, para uma monitorização adequada de contaminações radioativas é importante que estejam asseguradas as condições de funcionamento dos monitores de contaminação de superfícies, nomeadamente a sua submissão a verificações metrológicas regulares<sup>4</sup>, realizadas pelo estudo da eficiência de deteção do monitor de contaminação.

A eficiência de deteção de um instrumento é definida como o número de partículas detetadas pelo número de partículas do mesmo tipo emitidas pela fonte radioativa no mesmo intervalo de tempo<sup>5</sup>. A norma internacional 60325, da Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC, do acrónimo inglês *International Electrotechnical Commission*), refere que a eficiência do detetor deve encontrar-se dentro de 25% do valor especificado pelo fabricante<sup>5</sup>.

A eficiência de deteção de um detetor do tipo *Geiger-Müller*, sobretudo para isótopos emissores de partículas, é influenciada pela distância deste à fonte radioativa devido à interação das partículas radioativas com o meio

envolvente<sup>4</sup>. É também ineficiente na deteção de elevadas taxas de contagens devido ao seu elevado tempo morto<sup>3,6</sup>. Torna-se necessário, portanto, quantificar as influências da distância e do débito da emissão da fonte, de modo a proceder a uma monitorização apropriada de possíveis contaminações radioativas.

O presente estudo teve como objetivo determinar a eficiência de deteção do monitor portátil de contaminação de superfícies *Thermo Mini 900E* e avaliar a sua dependência em função da distância e da emissão superficial de diferentes fontes radioativas.

## Metodologia

Foi utilizado o monitor portátil de contaminação de superfícies da *Thermo Scientific*, do tipo *Mini 900E*, que incorpora um detetor *Geiger-Müller*, possuindo uma área sensível de deteção de 6cm<sup>2</sup>, uma janela de 1,5 a 2,2mg/cm<sup>2</sup> de espessura e apresenta uma escala logarítmica de 0 a 2 quilo contagens por segundo (kcps)<sup>7</sup>. Não existem indicações disponibilizadas pelo fabricante relativas ao valor de eficiência de deteção deste instrumento nem à gama de energias a que este está indicado.

Como fontes radioativas de referência, com rastreabilidade ao padrão primário do *Physikalisch-Technische Bundesanstalt* (PTB), foram utilizadas fontes radioativas planas emissoras de partículas  $\beta$  e uma fonte radioativa emissora de partículas  $\alpha$  (Am-241) de superfície de emissão de 15cm<sup>2</sup>, fornecidas pela *Amersham*, cujas características são apresentadas na Tabela 1. Os períodos de semi-desintegração, as energias médias e máximas descritas são os valores recomendados pelo *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM)<sup>8</sup> e pelo *Laboratoire National Henri Becquerel* (LNHB)<sup>9</sup>. O débito de emissão refere-se ao valor calculado para o dia em que a experiência se realizou.

**Tabela 1:** Características das fontes radioativas de referência emissoras de partículas  $\beta$  e  $\alpha$  utilizadas no estudo

	C-14	C-14	Cs-137	Cl-36	Sr-90	Sr-90	Am-241
Número da fonte	FU 420	GC 607	FU 418	FU 416	GC 605	GC 606	FU 417
$E_{med} \beta$ (MeV)	0,049	0,049	0,171	0,251	0,196	0,196	-
$E_{Max} \beta$ (MeV)	0,157	0,157	0,514	0,709	0,546	0,546	5,578 ( $\alpha$ )
$T_{1/2}$ (ano)	3700	3700	30,05	301000	28,8	28,8	432,6
Débito Emissão Superficial (s <sup>-1</sup> )	407,35	950,56	497,49	660,98	1090,57	2871,09	487,72
Incerteza (%) (K=1)	1,50	1,50	1,67	1,67	1,50	1,50	1,67

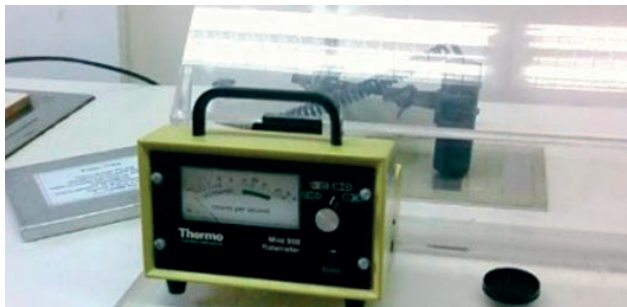
Para estabelecer a distância entre a fonte radioativa e a janela do detector, por uma questão de operacionalidade, foram utilizadas placas de alumínio com diferentes espessuras.

Por motivos de proteção radiológica, foi também utilizado um dispositivo de polimetilmetacrilato (PMMA) para proteção do operador durante a execução experimental do presente estudo.

### Determinação da eficiência de detecção

A verificação metrológica do equipamento é efetuada com recurso à determinação da eficiência de detecção deste. Foi realizada uma inspeção visual ao instrumento de medição de contaminação de superfícies para certificação de ausência de danos visíveis no detector e na janela do detector, sendo também verificado o potencial elétrico das baterias de alimentação do monitor de contaminação.

O monitor foi colocado numa posição em que o topo (janela do detector) do seu detector ficasse virado para a fonte radioativa, atrás do dispositivo de PMMA, estando o visor visível ao operador de modo a permitir uma fácil leitura, como ilustra a Figura 1.



**Figura 1:** Posicionamento do monitor de contaminação de superfícies adotado para todo o estudo.

Para a monitorização de contaminação em superfícies é recomendado, pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), que o detector seja colocado o mais próximo possível da fonte radioativa<sup>4</sup>. Como tal, a distância entre a superfície da fonte radioativa e a janela do detector do monitor de contaminação foi de 1mm.

Na verificação metrológica deste instrumento, realizada através da determinação da sua eficiência de detecção de partículas  $\beta$ , foram utilizadas as fontes radioativas com maior débito de emissão: C-14 (com o número interno de fonte de GC 607), Cs-137, Sr-90 (GC 606) e Cl-36.

Foram realizadas 20 medições de fundo radioativo (sem fonte radioativa) e 20 medições com a fonte radioativa.

A eficiência de detecção do monitor de contaminação de superfícies para uma dada fonte  $i$  é fornecida pela AIEA<sup>4</sup> e é expressa por:

$$\varepsilon_i = \frac{n - n_b}{E_{sc} \times W} \quad (1.1)$$

sendo  $n$  as contagens na presença da fonte radioativa,  $n_b$  as contagens do fundo radioativo,  $E_{sc}$  a emissão superficial por unidade de área da fonte radioativa de referência e  $W$  a área da janela sensível do instrumento de medida.

A cada eficiência de detecção é associada uma incerteza de medida calculada de acordo com o método da propagação de incertezas descrito no Guia para a Incerteza de Medida (GUM – do acrónimo inglês *Guide to uncertainty of measurement*)<sup>10</sup>. As incertezas relativas à emissão radioativa e ao diâmetro do detector, ambos fornecidos pelo respetivo fabricante, são incertezas do tipo B, sendo que a incerteza associada ao diâmetro do detector tem uma distribuição retangular. As incertezas das contagens, avaliadas mediante tratamento estatístico, são do tipo A.

### Determinação da eficiência da detecção em função da distância e do débito de emissão

O estudo da eficiência de detecção em função da distância foi realizado em simultâneo com o estudo do débito de emissão.

Além das fontes radioativas utilizadas para a verificação metrológica, foram adicionadas as fontes de C-14 (FU 420) e de Sr-90 (GC 605) de modo a ser possível uma comparação entre diferentes débitos de emissão para uma mesma fonte radioativa.

Foi utilizada a mesma metodologia descrita para a determinação da eficiência de detecção, sendo esta realizada para todas as fontes radioativas emissoras de partículas  $\beta$  e para a fonte emissora de partículas  $\alpha$ . No entanto, este procedimento foi agora realizado para as distâncias à fonte radioativa – janela do detector de 1mm a 11mm, em intervalos de 1mm, 15mm e 20mm.

A eficiência de detecção foi calculada de acordo com a equação 1.1 e a incerteza de medida foi calculada de acordo com o GUM<sup>10</sup>.

### Comparação com o historial do equipamento

Dada a indisponibilidade do valor de eficiência do monitor *Thermo Mini 900E* pelo fabricante foi realizada uma comparação entre os valores obtidos neste estudo e os valores já obtidos em estudos anteriores, de modo a observar o comportamento do equipamento ao longo do tempo e avaliar, a partir daí, a variação da sua eficiência de detecção.

Os valores dos estudos efetuados anteriormente foram obtidos seguindo a metodologia de calibração de monitores de contaminação de superfícies adoptada pelo Laboratório de Metrologia das Radiações Ionizantes, sendo esta a mesma metodologia efetuada para o estudo da determinação da eficiência de detecção realizada neste estudo.

## Resultados

### Determinação da eficiência de detecção

A eficiência de detecção para radiação  $\beta$ , para os vários radioisótopos considerados, é ilustrada na Figura 2.

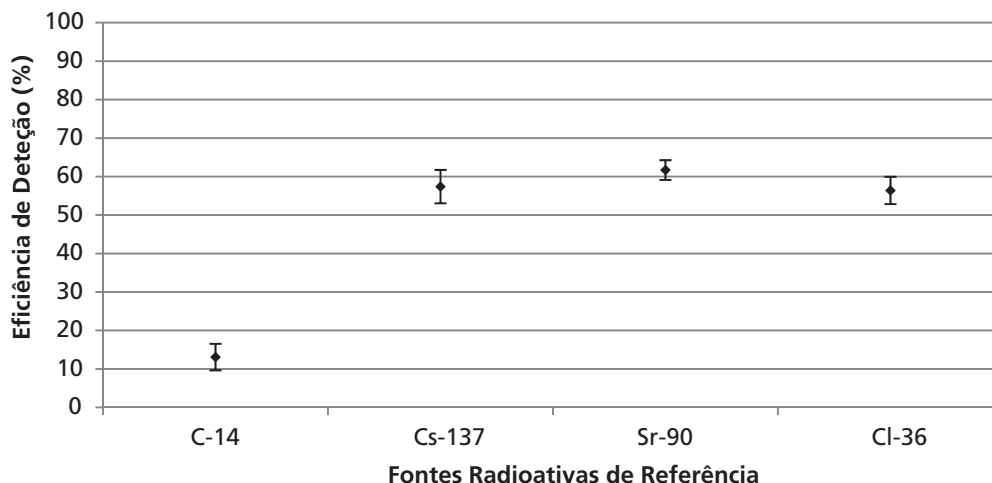


Figura 2: Eficiência de detecção do monitor de contaminação para as fontes de referência com maior débito de emissão.

A incerteza de medição apresentada nesta figura, sob a forma de barras de erro, expressa-se em valor absoluto (%) e encontra-se entre os 2,6% e os 4,3%.

#### Determinação da eficiência da detecção em função da distância e do débito de emissão

Foi determinada a eficiência de detecção em função da distância da fonte radioativa ao detetor e do débito de emissão de cada fonte, obtendo-se os resultados ilustrados pela Figura 3.

A incerteza de medição associada a cada eficiência de detecção aumenta à medida que a distância entre a fonte radioativa e a janela do detetor também aumenta.

A incerteza de medição para a fonte de C-14 (FU 420) varia entre os 5,4% e os 9,9%, enquanto na fonte de C-14 (GC 607) se encontra entre os 3,4% e os 6,6%. Para a fonte radioativa de Cs-137, a incerteza de medição encontra-se entre os 3,9% e os 5,3%, para a fonte de Cl-36 varia entre os 3,5% e os 4,3%, para o Sr-90 (GC 605) oscila entre os 2,7% e os 4,3%, para o Sr-90 (GC 606) encontra-se os 2,1% e os 3,6% e, finalmente, para a fonte emissora de partículas  $\alpha$ , Am-241, varia entre os 2,9% e os 42,0%.

#### Comparação com o historial do equipamento

A Figura 4 ilustra os estudos metrológicos para o monitor de contaminação portátil de superfícies *Thermo Mini*

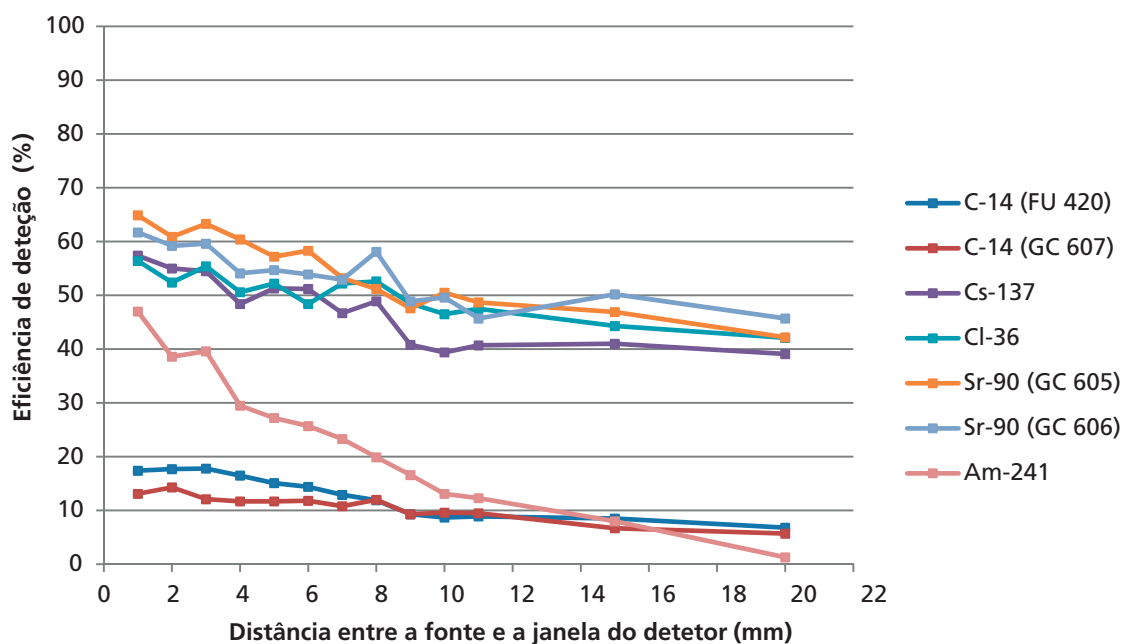


Figura 3: Variação da eficiência de detecção (%) em função das distâncias de 1mm a 20mm para fontes emissoras de partículas  $\beta$  e uma fonte emissora de partículas  $\alpha$ .

900E, realizados aproximadamente de 3 em 3 anos: outubro de 2003, janeiro de 2007, junho de 2010. Apresenta-se ainda, na Figura 4, os resultados relativos ao presente estudo, realizado em novembro de 2010.

Não foi possível a obtenção dos valores da incerteza de medição para os estudos anteriormente realizados.

## Discussão

### Determinação da eficiência de detecção

A determinação da eficiência de detecção no decurso da verificação metrológica periódica dos monitores de proteção radiológica permite verificar as condições de funcionamento do monitor de contaminação de superfícies<sup>6,10-12</sup> garantindo, assim, o seu bom desempenho.

Observando a Figura 2, verifica-se que o monitor de contaminação *Thermo Mini 900E* tem uma maior eficiência de detecção para as fontes radioativas  $\beta$  mais energéticas,  $\text{Cl-36}$ ,  $\text{Sr-90}$  e  $\text{Cs-137}$  (eficiência de, aproximadamente, 60%) do que para as fontes menos energéticas, como a fonte de  $\text{C-14}$  (eficiência de, aproximadamente, 15%). Esta baixa eficiência do  $\text{C-14}$  deve-se à menor energia de emissão das suas partículas  $\beta$ .

### Determinação da eficiência da detecção em função da distância

Constata-se que a eficiência de detecção diminui à medida que a distância aumenta. Esta diminuição está diretamente relacionada com o alcance das partículas  $\beta$ <sup>1,4,6</sup> que é tanto maior quanto maior for a energia do radionuclídeo<sup>4,6</sup>.

Dos resultados obtidos é de salientar que se formam três grupos com comportamentos distintos:

Um primeiro grupo constituído pelas fontes de maior energia, representado pelas fontes de  $\text{Sr-90}$ ,  $\text{Cl-36}$  e  $\text{Cs-137}$  e, por isso, emissores das partículas com maior alcance, onde a eficiência diminui com o aumento da distância, variando entre os 60% e os 45%, aproximadamente.

Um segundo grupo das fontes com menor energia, representado pelas fontes de  $\text{C-14}$  com diferentes atividades. Para este radionuclídeo verifica-se uma diminuição menos acentuada da eficiência com o aumento da distância, variando de 15% para 5%. A baixa eficiência de deteção desta fonte radioativa deve-se fundamentalmente ao facto de uma fração das suas partículas ser detida no ar não alcançando o detetor. Esta fração é tanto maior quanto menos energéticas forem as partículas<sup>6</sup>.

O terceiro comportamento observado refere-se à fonte  $\text{Am-241}$  que apresenta um comportamento particular. Esta, por ser um emissor  $\alpha$ , apresenta uma eficiência de detecção que diminui com a distância da fonte ao detetor com um gradiente muito mais elevado. O alcance das partículas  $\alpha$  é de apenas de alguns centímetros, comparado com o alcance das partículas  $\beta$  de dezenas ou mesmo centenas de centímetros, o que justifica esta variação de eficiência observada.

Determina-se, assim, que a distância é, de facto, um parâmetro muito influenciador na eficiência de detecção de um monitor de contaminação constituído por um *Geiger-Müller*. Para uma monitorização adequada de uma contaminação radioativa, o monitor deve ser colocado o mais próximo possível desta, confirmando as recomendações internacionais da AIEA<sup>4</sup>. Deve também considerar-se não aproximar demasiado a janela do detetor ao local contaminado, de modo a não contaminar o próprio detetor, influenciando, deste modo, a quantificação desta e de posteriores contaminações.

### Determinação da eficiência da detecção em função do débito de emissão

Para a fonte de  $\text{Sr-90}$  (GC 605) verifica-se uma variação na eficiência de detecção de aproximadamente 23% entre a distância de 1mm e 20mm enquanto, para a mesma distância, uma variação na eficiência de 16% é constatada para a fonte de  $\text{Sr-90}$  (GC 606). Apesar desta última apresentar

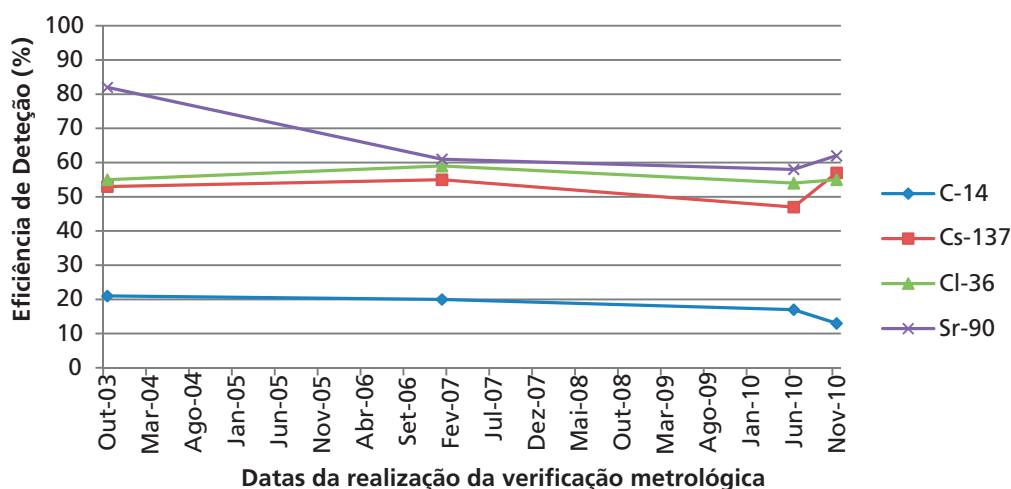


Figura 4: Eficiência de detecção (%) obtida nos estudos metrológicos presentemente e anteriormente realizados.



um débito de emissão 2,6 vezes superior à fonte radioativa Sr-90 (GC 605), não se apura uma diferença expressiva nas suas eficiências de detecção, considerando as incertezas de medição associadas a cada fonte radioativa.

Analisando as fontes de C-15, verifica-se que o C-14 (FU 420) apresenta uma eficiência de detecção de 17%, enquanto o C-14 (GC 607) ostenta um valor de 13%. Mais uma vez, apesar desta última fonte radioativa apresentar um débito de emissão 2,3 vezes superior à fonte C-14 (FU 420), as diferenças de eficiência de detecção entre as duas fontes de C-14 não são relevantes e nenhuma conclusão pode ser retirada visto que as diferenças apresentadas são menores que as incertezas das eficiências, não sendo, portanto, expressivas.

Apesar de ser esperada uma variação na eficiência de detecção do monitor de contaminação, dada a sua ineficiência para elevadas taxas de contagem<sup>3,6</sup>, tal não se constatou neste estudo. Esta constatação advém provavelmente do facto de os débitos de emissão utilizados não serem suficientemente elevados para o tempo morto, associado aos detetores *Geiger-Müller*, influenciar a sua eficiência de detecção.

Deste modo, nenhuma conclusão se pode retirar, a partir deste estudo, para a influência do débito de emissão das fontes radioativas na eficiência de detecção do monitor de contaminação.

### Comparação com o historial do equipamento

Analisando ainda o historial do equipamento ilustrado pela Figura 4, verifica-se que a eficiência de detecção referente ao Sr-90 diminuiu gradualmente ao longo dos anos. A eficiência referente ao C-14 manteve-se constante no início, mas seguidamente ocorreram duas séries de medições onde apresenta um ligeiro decréscimo na eficiência. A eficiência de detecção referente ao Cs-137 e ao Cl-36 aumentou ligeiramente em 2007 e no último teste realizado em 2010. Por outro lado, a eficiência relativa ao Cs-137 diminuiu ligeiramente nos últimos testes. No entanto, estes resultados devem ser vistos com algum cuidado porque pode ter ocorrido um aumento da incerteza das medidas, originado por fatores como a incerteza na distância entre a fonte de radiação e a janela do detetor e mesmo diferenças resultantes de diferentes técnicos a realizar a verificação. Contudo, dado que não se dispõe dos valores de incerteza dos testes anteriores, não é possível comprovar esta hipótese, sendo impossível testar a eficiência de detecção deste monitor de contaminação portátil com os valores obtidos previamente.

### Conclusão

A verificação metrológica representa uma componente importante na garantia das boas condições de funcionamento dos equipamentos de proteção e segurança radiológica, pelo que esta deve ser realizada regularmente em laboratórios de metrologia devidamente certificados.

Este trabalho confirmou experimentalmente uma elevada dependência da eficiência de detecção com a distância,

sendo que esta diminui à medida que a distância aumenta. Além desta dependência, constatou-se que a eficiência de detecção é também dependente da energia das partículas emitidas e do tipo de partículas (alfa ou beta).

Deste modo, ao monitorizar uma contaminação radioativa com um monitor de contaminação de superfícies portátil, este deve ser mantido o mais perto possível do local contaminado, sem nunca o tocar, de modo a evitar uma perda na eficiência de detecção.

### Referências Bibliográficas

1. Cherry SR, Sorenson J, Phelps M. Physics in nuclear medicine. 3<sup>rd</sup> ed. Pennsylvania: Saunders; 2003. ISBN 9780721683416.
2. Streffer C, Dietze G, Eckerman K, Menzel H, Stather J. Basis for dosimetric quantities used in radiological protection [Internet]. Ontario: International Commission on Radiological Protection; 2005 [updated 2006; cited 2010 Oct 5]. Available from: [http://www.icrp.org/docs/Physics\\_ICRP\\_Found\\_Doc\\_for\\_web\\_consult.pdf](http://www.icrp.org/docs/Physics_ICRP_Found_Doc_for_web_consult.pdf).
3. Gardner RP, Liu L. On extending the accurate and useful counting rate range of GM counter detector system. *Appl Radiat Isot.* 1997;48(10-12):1605-15.
4. International Atomic Energy Agency. Calibration of radiation protection monitoring instruments [Internet]. Vienna: IAEA; 2000. Available from: [http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P074\\_scr.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P074_scr.pdf)
5. International Electrotechnical Commission. International Standard 60325 – Radiation protection instrumentation: alpha, beta and alpha/beta contamination meters and monitors. IEC; 2004.
6. Knoll GF. Radiation detection and measurement. 4<sup>th</sup> ed. Washington: John Wiley & Sons; 2010. ISBN 9780470131480.
7. Thermo Scientific. User's guide: mini 900 contamination and radiation monitors. Thermo Scientific; 2007.
8. Bé MM, Chisté V, Dulieu C, Browne E, Baglin C, Chechev V, et al. Table of radionuclides [Internet]. Sèvres: Bureau International des Poids et Mesures; 2006. Available from: <http://www.bipm.org/en/publications/monographie-ri-5.html>
9. Laboratoire National Henri Becquerel. Recommended atomic and nuclear data [Internet]. LNHb; 2010 [updated May 2010; cited 2011 Jan 2]. Available from: [http://www.nucleide.org/DDEP\\_WG/DDEPdata.html](http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.html).
10. Kessel W. ISO/BIPM guide: uncertainty of measurement [Internet]. ISO; BIPM; 1999. Available from: [http://www.metrodata.de/papers/resistor\\_en.pdf](http://www.metrodata.de/papers/resistor_en.pdf)
11. Saha GB. Physics and radiobiology of nuclear medicine. New York: Springer; 2006. ISBN 9780387307541.
12. Ranger NT. Radiation detectors in nuclear medicine. *Radiographics.* 1999;19(2):481-502.

Artigo recebido em 10.08.2011 e aprovado em 26.01.2012.