



**CAPTAR**  
ciência e ambiente para todos

volume 2 • número 1 • p 1-8

## Segurança das fontes radioactivas

Fernando Carvalho\*

No nosso país estão em uso algumas centenas de fontes radioactivas. São partes úteis de equipamentos de controlo de nível em depósitos de carvão e silos, controlo de espessura de materiais, controlo de qualidade de soldaduras, medição da humidade dos solos. São também usadas para rádio-esterilização de materiais, no tratamento oncológico, em detectores de fumos e em pára-raios, entre outros usos. No mundo serão centenas de milhares as fontes radioactivas em uso. Muitas delas estão sob adequado controlo, outras nem tanto. E por vezes aparecem algumas que ficaram «órfãs», isto é, que foram perdidas ou abandonadas, ou que são ilicitamente transaccionadas. Nos últimos anos avolumaram-se os receios do que pode suceder quando se perde uma fonte radioactiva, seja por acidente, seja porque foi desviada para uso malévolo e intencional da substância radioactiva. Passamos aqui em revista alguns dos aspectos relacionados com as fontes radioactivas em uso e com a necessidade e a importância de assegurar a segurança dessas fontes.

Instituto Tecnológico e Nuclear.

### Palavras-chave

fontes radioactivas  
segurança  
acidentes  
exposição humana

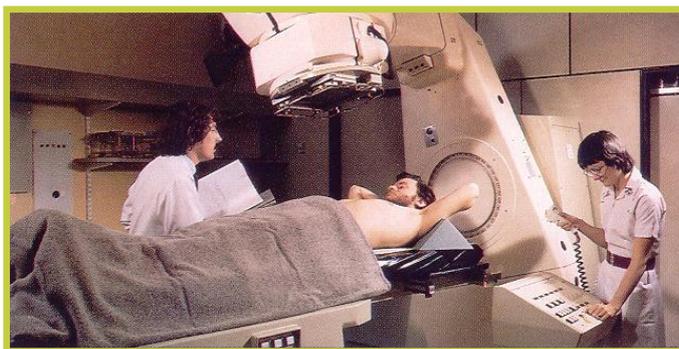
\* carvalho@itn.pt

## AS FONTES RADIOACTIVAS EM USO

Uma fonte radioactiva é uma quantidade de material radioactivo encerrado de forma permanente numa cápsula ou intimamente ligado a uma substância inerte, de tal forma que, em uso normal, nenhum material radioactivo possa escapar para o ambiente. As fontes radioactivas são usadas para uma grande variedade de aplicações na indústria, medicina, agricultura, ambiente, prospecção mineira, investigação e ensino (Carvalho 2004).

As fontes radioactivas têm formas e tamanhos diferentes dependendo do uso a que se destinam. Cada fonte caracteriza-se pelo tipo de substância radioactiva que contem (ou radionuclido como, por exemplo, Cobalto-60) e pela quantidade de substância radioactiva que se designa por *actividade* da fonte). A actividade das fontes radioactivas é expressa pela unidade de medida chamada Becquerel (símbolo Bq), e 1 Bq corresponde a uma desintegração nuclear por segundo. O Becquerel substituiu a antiga unidade designada por Curie (Ci). As fontes radioactivas mais perigosas tipicamente têm actividades acima de algumas dezenas de GigaBecquerel (1 GigaBecquerel =  $1\text{GBq} = 10^9\text{ Bq}$ ), isto é, acima de alguns Ci (1 Ci = 37GBq).

Quando as fontes radioactivas são geridas com segurança e se encontram protegidas, os riscos para a saúde dos trabalhadores e elementos do público em geral são minimizados e os benefícios largamente excedem os potenciais riscos associados ao seu uso (Figura 1). Contudo, se houver perda do controlo de uma fonte radioactiva por alguma razão (por exemplo, em consequência de um acidente ou de um acto intencional e malévolo) e se a fonte sair do



**FIGURA 1:** Tratamento com radiações ionizantes numa instalação hospitalar (teleterapia). Crédito: AIEA

contentor ou o seu conteúdo se dispersar, então as pessoas poderão ser expostas a níveis perigosos de radiações. A este respeito são muito preocupantes as fontes designadas por fontes «órfãs» (fontes radioactivas perdidas, abandonadas ou roubadas e que escaparam ao controlo institucional) e as fontes vulneráveis (fontes radioactivas sob controlo frouxo e que se podem tornar fontes “órfãs”).

Uma fonte radioactiva é considerada perigosa se representar um risco para a vida ou puder causar dano ou incapacidade permanente que reduza a qualidade de vida da pessoa exposta. Os danos permanentes incluem queimaduras que necessitem de intervenção cirúrgica e lesões permanentes nas mãos. Lesões temporárias, tais como vermelhidão e irritação da pele, não são consideradas perigosas. A extensão de tais lesões causadas pelas radiações ionizantes depende de muitos factores, incluindo:

- o tipo de substância radioactiva contida na fonte;
- a actividade da fonte;
- a proximidade à fonte da pessoa exposta e a duração da exposição;
- o nível de protecção da fonte;
- se a substância radioactiva se dispersou ou não, causou a irritação da pele ou foi inalada ou ingerida.

A Agencia Internacional de Energia Atómica (AIEA) elaborou uma categorização das fontes radioactivas que fornece uma hierarquia das mesmas em termos de risco radiológico, isto é, do seu potencial de causar lesões imediatas na saúde, caso a fonte se torne vulnerável ou órfã (AIEA, 2003).

As fontes radioactivas são classificadas em 5 categorias, sendo a Categoria 1 a das fontes potencialmente mais perigosas e a Categoria 5 a das fontes menos perigosas (ver Tabela I). As fontes radioactivas da Categoria 1 são consideradas extremamente perigosas se não forem usadas e armazenadas correctamente. Normalmente estão protegidas no interior de pesados contentores - de urânio empobrecido ou chumbo - para absorver as radiações. Se a fonte for removida do contentor causará a morte ou lesões permanentes numa pessoa que esteja na sua proximidade durante alguns minutos. Se a substancia radioactiva de uma fonte de Categoria 1 for dispersada no ambiente poderá causar lesões permanentes ou ameaçar a vida de centenas de pessoas nas proximidades.

**TABELA I:** Categorização das fontes radioactivas [Adaptado de AIEA (2003)]

CATEGORIA	EXEMPLOS	UTILIZAÇÃO	RADIONUCLIDOS	ACTIVIDADE TÍPICA (TBq <sup>1</sup> )
1	Irradiadores	Esterilização de materiais cirúrgicos Terapia do cancro	Cobalto-60	15 000
	Teleterapia		Césio-137	20
2	Radiografia industrial	Controlo de soldaduras	Cobalto-60 Selénio-75	2,2
	Braquiterapia (taxa de dose elevada)	Terapia do cancro	Írídio-192	3 3,7
3	Medidores de nível industriais	Controlo de processos (fluxo, volume, densidade)	Cobalto-60	0,19
	Medidores de poços (Well-logging)	Prospecção de carvão, gás, petróleo	Americio 241-Berílio	0,74
4	Braquiterapia (taxa de dose baixa)	Terapia do cancro	Estrôncio-90	0.0009
	Controlo de espessura	Indústrias do papel, plástico, metais	Estrôncio-90	0.037
5	Controlo de enchimento	Linhas industriais	Césio-137	0.002
	Ionizadores	Detectores de incêndio	Americio-241	0,00005

<sup>1</sup> TeraBecquerel (1 TBq) = 10<sup>12</sup> Bq = 1000 GBq.

As fontes de Categoria 2 são muito comuns, pois são as fontes usadas em radiografia industrial e nos hospitais, em braquiterapia<sup>1</sup> de alta taxa de dose (Figura 2). As actividades destas fontes podem causar lesões permanentes, ou até a morte se a exposição for prolongada.

As fontes da Categoria 3 são ainda consideradas perigosas, pois se não forem usadas ou manuseadas com segurança e se o tempo de exposição for de várias horas podem causar lesões graves (Figura 3).

As fontes das Categorias 4 e 5 são de perigo reduzido ou baixo e é considerado pouco provável que estas fontes possam causar danos permanentes ou pôr em risco a vida de pessoas (Figura 4).



FIGURA 2: Equipamento de radiografia industrial com uma fonte radioactiva de emissão de radiação gama (gamagrafia). Crédito: AIEA.



FIGURA 3: Controlo de enchimento de um silo com uma fonte radioactiva.



FIGURA 4: O controlo da espessura do papel é feito *on line*, durante o processo de fabrico, com uma fonte radioactiva.

## RISCOS EFECTIVOS DE ACIDENTE OU EMERGÊNCIA RADIOLÓGICA

A exposição de trabalhadores a doses elevadas de radiação pode ocorrer acidentalmente. Embora a diversidade de situações seja elevada, vejamos como exemplo, um caso típico registado na base de acidentes radiológicos (IRID, caso 0002/88) do Reino Unido (Croft et al., 2001).

Uma equipa de dois homens realizava radiografia industrial num estaleiro de construção, usando um aparelho de gamagrafia<sup>2</sup> contendo uma fonte de irídio-192, com a actividade de 1,85 TBq. Após terem

<sup>1</sup> Braquiterapia – tratamento aplicado em alguns tipos de cancro (ex. Cancro da próstata) que consiste no implante de “sementes” radioactivas no organismo do paciente, as quais emitem radiações que destroem as células cancerígenas.

<sup>2</sup> Gamagrafia – radiografia obtida com raios gama utilizada na indústria e construção. Técnica igualmente usada em diagnóstico que consiste na injeção de radioisótopos que ao chegarem ao tecido ósseo através da corrente sanguínea emitem radiações gama que permitem construir uma imagem da peça de esqueleto.

realizado três radiografias, a monitorização de radiação efectuada por um deles com um detector portátil de radiação gama, indicou que a fonte radioactiva permanecia na extremidade do tubo guia e não fora recolhida no contentor de protecção. Normalmente, no final de cada radiografia, após a exposição da película, a fonte deveria ser recolhida no contentor. Inadvertidamente, o chefe da equipa de radiografia estivera várias vezes perto da fonte para mudar as películas e reposicionar o tubo guia para a radiografia seguinte. Ambos usavam dosímetros individuais para registo de dose, mas não dispunham de um detector de radiações com alarme.

A reconstituição do acidente e as doses registadas nos dosímetros indicaram que o chefe da equipa de radiografia recebeu uma dose de 43 mSv e o ajudante uma dose de 2,9 mSv (em corpo inteiro) no decurso deste incidente. A dose máxima permitida é de 100mSv em cinco anos (Directiva 96/29 Euratom). Este incidente foi causado pelo estado defeituoso do equipamento de gamagrafia, mas a exposição dos trabalhadores a doses de radiação elevadas ocorreu devido à falta de um detector ou de um dosímetro individual com alarme e à falta de cuidado dos operadores na verificação do estado do aparelho de gamagrafia.

Da análise do incidente, efectuada *a posteriori*, as lições a reter foram as seguintes:

- a monitorização da radiação tem de ser feita após cada radiografia (se isso tivesse sido feito a exposição accidental teria sido muito menor);
- extremo cuidado deve ser usado ao efectuar a ligação dos tubos de condução da fonte radioactiva ao contentor;
- dosímetros pessoais com alarme de dose devem ser usados durante a radiografia no terreno;
- a manutenção de rotina do equipamento deve ser efectuada para, atempadamente, se detectarem os defeitos mecânicos.

Muitos outros acidentes têm ocorrido, por vezes mais graves que este exemplo, e causando a morte das pessoas irradiadas.

A indústria de reciclagem de metais tem sido particularmente atingida pelo problema das fontes “órfãs”. O caso de uma fonte radioactiva fundida juntamente com sucata, ocorrido em Algeciras em 1998, ilustra os riscos de um acidente radiológico típico que pode ocorrer. Uma fonte de cézio-137 não identificada foi inadvertidamente fundida juntamente com sucata metálica nos fornos de produção de aço da Acerinox. As partículas radioactivas do cézio-137 foram libertadas para a atmosfera e detectadas na Europa, além fronteiras. A ocorrência deste tipo de contaminação radioactiva, para além da irradiação de pessoas, tem consequências sérias para a economia. Após o incidente, a Acerinox levou 5 meses para descontaminar as instalações da siderurgia e esta operação custou vários milhões de Euros e gerou 2000 toneladas de resíduos radioactivos de baixa actividade (Ruiz e Campayo, 2000).

Este não é um caso único no género. Outros casos de fontes radioactivas “órfãs”, misturadas com a sucata, têm sido detectados e as fontes removidas a tempo. Só nos EUA, a National Regulatory Commission (NRC) recebe anualmente cerca de 200 relatórios de empresas sobre fontes radioactivas perdidas e roubadas e recenseou mais de 2300 relatórios de fontes radioactivas encontradas em sucatas metálicas nos Estados Unidos. Em Portugal têm também sido registados, e relatados na imprensa, vários casos de fontes

radioactivas detectadas à entrada das instalações da Siderurgia Nacional, misturadas com a sucata destinada à fundição.

Muitos casos de fontes radioactivas “órfãs” só terão sido notados com a detecção de radioactividade nos produtos saídos das siderurgias. Por exemplo, durante as últimas duas décadas do século XX, os Estados Unidos detectaram 10 casos de importação de ferro e aço em que os metais importados estavam contaminados com cobalto-60, cézio-137 ou outros radionuclidos que tinham sido fundidos juntamente com a sucata.

Claro que as tecnologias que fazem uso das radiações ionizantes têm o potencial para acidentes e incidentes, tal como todas as outras tecnologias. Neste aspecto as técnicas nucleares não são originais. Mas registre-se que tem havido a preocupação de aprender com os incidentes ocorridos com fontes radioactivas e de os reduzir substancialmente. Uma das maneiras de o fazer é através do registo e análise de cada incidente para dele se retirarem as lições que se impõem (Croft et al., 2001).

A Agência Internacional de Energia Atómica (AIEA) encorajou os Estados Membros a relatar os incidentes ocorridos. Da base de dados (muito incompleta) reunida durante a década de 90, constam 179 incidentes radiológicos, 24 dos quais envolveram fontes órfãs. O impacto radiológico destes incidentes envolveu 205 pessoas expostas a doses de radiação abaixo dos limites legais e 44 outras expostas a doses de radiação acima dos limites legais. Entre as pessoas deste último grupo, há a registar que os efeitos biológicos da exposição incluem 14 casos de «queimaduras pelas radiações», 8 amputações e 5 fatalidades. Do total de incidentes radiológicos registados, 50% ocorreu no sector industrial, sendo a maioria destes incidentes relacionados com a radiografia industrial, seguindo-se os incidentes com aparelhos de controlo de nível e com irradiadores industriais. As principais causas dos incidentes foram procedimentos incorrectos, protecção ineficaz da fonte radioactiva, formação profissional insuficiente e outros factores humanos.



## RECEIOS RELATIVOS AO USO MALÉVOLO DAS FONTES RADIOACTIVAS

Embora não tenham ocorrido casos de uso de fontes radioactivas em actos de terrorismo, a ameaça tem sido feita em várias circunstâncias. Designadamente a ameaça de explosão de fonte radioactiva e de contaminação de reservatórios de água com substâncias radioactivas.

O uso de materiais nucleares ou de materiais radioactivos (fontes radioactivas) numa bomba suja («dirty bomb»), isto é, um engenho explosivo convencional associado a uma fonte radioactiva, sendo a função do explosivo dispersar a substância radioactiva, passou a ser encarado como uma possibilidade credível de atentado (Kouzes, 2005). Os danos que um tal atentado poderá criar não terão, nem de perto nem de longe, a extensão de uma explosão nuclear, mas a dispersão de substâncias radioactivas num raio de centenas de metros numa grande cidade terá um efeito de terror e paralisia com elevado alcance. O número de pessoas contaminadas, potencialmente sofrendo lesões causadas pela substância radioactiva, poderá talvez ser comparado com o acidente de Goiânia, no Brasil (AIEA, 1988).

Em teoria, um tal atentado não tem a mesma probabilidade de ocorrer em todos os países, mas um cenário semelhante pode acontecer devido a um incidente e, portanto, sem requerer a intervenção de agentes de terrorismo (Carvalho, 2009).



## CONTROLO DE TRÁFICO ILÍCITO DE SUBSTÂNCIAS RADIOACTIVAS

O número de casos de tráfico ilícito de materiais nucleares e substâncias radioactivas aumentou, sobretudo, durante os anos 90. A ilusão de realizar lucros fabulosos com a transacção destes materiais tem sido o motor deste tráfico ilícito.

A Organização Mundial de Alfândegas relatou 234 casos confirmados de apreensão de fontes radioactivas entre 1993 e 1998, na maioria envolvendo urânio, céσιο, plutónio e outros materiais radioactivos. A AIEA divulgou em Agosto de 2006 que, no período de 1993 a Dezembro de 2005, registou na sua base de dados 827 casos de tráfico ilícito de materiais nucleares (227 casos) e substâncias radioactivas (516 casos). Estes casos, resultantes da perda de controlo, roubo, extravio, ou de tráfico ilícito de substâncias radioactivas e matérias nucleares, resultam de controlo institucional e administrativo frouxo sobre as fontes radioactivas (AIEA, 2006).

Desde 1998, altura em que a AIEA organizou a 1ª conferência internacional sobre a Segurança das Fontes Radioactivas, em Dijon, França, que os Países e autoridades nesse domínio se começaram a preocupar com o assunto. Uma segunda Conferência «Safety and Security of Radioactive Sources» organizada em Viena, 2003, e na qual o autor participou, introduziu um novo aspecto decorrente dos acontecimentos de 11 Setembro 2001, em Nova Iorque. Ou seja, a ameaça do terrorismo transfronteiriço levou os governos de vários países a reexaminar o uso de materiais radioactivos e nucleares em atentados.

Essa possibilidade existe, há que reconhecê-lo. Receosos deste tipo de terrorismo, os Estados Unidos da América constituíram uma comissão para organizar o rastreio de radiações em mercadorias, colocando para isso pórticos com detectores de radiações nos postos fronteiriços terrestres, aeroportos e portos marítimos. Este programa tem sido conduzido mesmo até à instalação de pórticos nos portos de embarque das mercadorias com destino aos Estados Unidos, como sejam Roterdão, Antuérpia, Hamburgo, Pireu, Algeciras, Singapura, etc (Kouzes, 2005).

Vários incidentes radiológicos com fontes radioactivas de qualquer das categorias acima enumeradas têm acontecido também nos locais de trabalho e sem ligação com o terrorismo. Assim sendo, e tal como todos os outros Estados Membros da União Europeia, temos todo o interesse em dispor de mecanismos de controlo e segurança das fontes radioactivas, e em preparar a resposta a emergências para o caso de um acidente radiológico.

Mesmo sem a intervenção do terrorismo, em Portugal já têm ocorrido incidentes de trabalho com fontes radioactivas originando a exposição de trabalhadores, o abandono de fontes radioactivas na beira da estrada ou a perda de controlo de fontes que são mais tarde detectadas pelos pórticos da Siderurgia, misturadas com a sucata metálica (Carvalho, 2005). Importa pois reforçar os mecanismos que podem permitir a redução das probabilidades de suceder de novo.



## REFORÇAR A SEGURANÇA DA FONTES RADIOACTIVAS

As conferências internacionais e a análise das falhas de controlo das fontes radioactivas, levaram as instituições nacionais e organismos internacionais a interessarem-se pelo assunto.

A União Europeia reflecte, pelo seu lado, as preocupações internacionais actuais de reforço da segurança e da protecção radiológica com iniciativas como a da criação da rede europeia ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) de protecção radiológica (*European ALARA network*; <http://www.eu-alara.net/index.php>), para além da aprovação de Directivas e Recomendações que limitam a exposição às radiações ionizantes.

A AIEA, organismo das Nações Unidas, por seu turno, lançou um programa internacional, abrangendo 52 Países, para reforçar as infra estruturas nacionais de protecção radiológica que exercem o controlo das fontes radioactivas. Identificou-se que esse controlo passa pela existência de legislação específica mas que, sobretudo, necessita que exista em cada Estado um instituto ou organismo com a experiência, os técnicos, e os meios para o exercer. Ou seja, não basta que exista uma estrutura jurídica. Esta, sozinha, poderá dar a ilusão que os mecanismos de controlo existem, mas estes serão virtuais. É necessário que as infra-estruturas, administrativas, técnica, reguladora e fiscalizadora existam e efectivamente funcionem. Os «standards» internacionais e as recomendações para tal estão disponíveis (Directiva 96/29/Euratom, 1996; AIEA, 1999).

A prevenção dos incidentes e controlo das fontes vulneráveis e órfãs começa com o registo e licenciamento exaustivo das fontes radioactivas, bem como com o seu controlo periódico e a fiscalização das condições em que são utilizadas.

O controlo só é completo quando há, também, mecanismos de recuperação das fontes radioactivas em fim de vida útil, e que funcione sem falhas.

Apesar desses mecanismos, haverá sempre necessidade, como com qualquer outra tecnologia e como em todos os domínios, de analisar os acidentes e incidentes que ocorrem e retirar deles as lições que sirvam para fazer sempre melhor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- AIEA (1988). The Radiological Accident in Goiânia. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- AIEA(1999). International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. *Safety Series No. 115*. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- AIEA (2003). Categorization of Radioactive Sources. *IAEA TECDOC Series No. 1344*. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- AIEA (2006). Illicit trafficking and Other Unauthorized Activities involving nuclear and radioactive materials. Fact Sheet August 2006. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Carvalho FP (2004). Exposição Ocupacional às Radiações Ionizantes. *Actas do IV Colóquio Internacional sobre Segurança e Higiene do Trabalho*. Publ. Ordem dos Engenheiros, Porto, pp 25-33.
- Carvalho FP (2005). Uso de pórticos de detecção de materiais radioactivos em sucatas e lixos. *Indústria & Ambiente* 39: 36-39.
- Carvalho FP (2009). The Threats and Challenges of a Radiological Emergency. *In: KA Duncan, CA Brebbia (eds.), Disaster Management 2009*. WIT Press, United Kingdom, pp. 45-53
- Croft JR, Crouail P, Wheatley JS (2001). Review of the Developments of Incidents Databases and Feedback Mechanism: Irid, Relir, Euraide and Radev. 5th European ALARA Network Workshop on 'Industrial Radiography Improvements in Radiation Protection', Rome.
- Directiva 96/29/Euratom do Conselho, de 13 de Maio de 1996, que fixa as normas de segurança de base relativas à protecção sanitária da população e dos trabalhadores contra os perigos resultantes das radiações ionizantes.
- Kouzes RT (2005). Detecting Illicit Nuclear Materials: *American Scientist* Set.-Oct 93: 422-427.
- Ruiz JT, Campayo JM (2000). The radioactive accident of Acerinox in Spain, European *ALARA Newsletter*, Nº8 (May).