



.....  
**Ary de Araújo Rodrigues Júnior**  
 Laboratório de Física Nuclear Aplicada,  
 Departamento de Física, Universidade  
 Estadual de Londrina  
 E-mail: aryarj@ig.com.br  
 .....

**Q**uando há um acidente com material radioativo ouvimos do apresentador do noticiário expressões do seguinte tipo: “a área está extremamente radioativa” ou “a região está com altos níveis de radiação” e outras expressões que nem o público nem o locutor e, provavelmente, nem o redator do texto têm a mínima noção do que significam, pois elas, de fato, são desprovidas de significado; são expressões totalmente vagas.

O que realmente ocorre quando há um acidente com material radioativo? Apenas dois eventos: o material radioativo irradiará ou contaminará o meio ambiente. O que acontece para ocorrer tais eventos e o que vem a ser uma irradiação ou uma contaminação radioativa?

Em geral, o material radioativo possui duas embalagens: o recipiente interno que o contém e o recipiente externo, que é uma blindagem. A função da blindagem é atenuar a radiação emitida por esse material. Portanto, se o recipiente externo romper em decorrência de um acidente, a radiação não será mais atenuada e os objetos e os seres vivos que estiverem nas proximidades estarão expostos à radiação emitida pelo material.

Então, irradiação é a energia característica emitida por uma fonte radioativa. O objeto ou ser vivo que recebe esta energia está sendo irradiado. No caso em questão, a fonte emissora de energia é um material radioativo e a energia emitida é a radiação. Mas no nosso cotidiano há vários exemplos de outras situações de emissão de radiação, como por exemplo o calor de uma fogueira, a luz de um poste ou uma fonte sonora, como a buzina de um carro. E todas elas diminuem de intensi-

dade com o quadrado da distância, ou seja, se estivermos a uma certa distância destas fontes, por exemplo a um metro, e nos afastarmos o dobro desta distância, dois metros, a intensidade da energia que chega até nós diminuirá quatro vezes, e não pela metade, como poderíamos esperar intuitivamente. Se nos afastarmos o triplo da distância, a intensidade diminuirá nove vezes; se nos afastarmos o quádruplo da distância, a intensidade diminuirá 16 vezes e assim por diante. Ou seja, a intensidade da energia diminuirá

com o quadrado da distância, obedecendo a expressão

$$I = \frac{I_{1m}}{d^2}$$

onde  $I$  é a intensidade da energia a uma distância qualquer,  $I_{1m}$  é a intensidade da energia emitida a uma distância de 1 m e  $d$  a distância entre a fonte emissora e o receptor. Visualizando esta expressão em um gráfico, obtemos a curva mostrada pela Fig. 1.

Claro que o contrário também é verdadeiro, ou seja, se caminharmos em direção a fonte, a intensidade crescerá com o

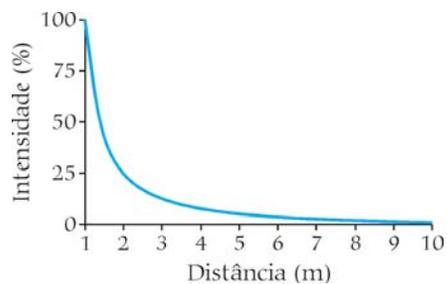


Figura 1. Intensidade da energia emitida por uma fonte em função da distância.

Em todas as áreas da atividade humana ocorrem acidentes; batidas de veículos, descarrilamentos de trens, vazamentos de produtos químicos, queda de aviões, incêndios, etc., aos quais dispensamos maior ou menor atenção dependendo da gravidade. Mas os que ocorrem com materiais radioativos, independente do grau (desde o vazamento de uma usina nuclear até o extravio de um radiofármaco de vida curta) tem o poder de provocar um alto nível de preocupação na população. Isto ocorre por causa dos mitos sobre a radiação que permeiam o imaginário popular e são amplificados pela mídia, e que neste artigo tentaremos elucidar.

quadrado da distância. Isto significa que no caso de um acidente com material radioativo, onde há apenas irradiação, a forma adotada de proteção da população local pelas autoridades competentes é isolar uma área em torno do material radioativo a uma distância cujo raio seja grande o suficiente para garantir que fora dessa área o nível de irradiação seja insignificante.

Este comportamento aplica-se a fontes que emitem radiação eletromagnética, como a radiação gama, representada pela letra grega  $\gamma$ , emitida por vários tipos de materiais radioativos. A radiação  $\gamma$  é uma onda eletromagnética como o som, por exemplo, as ondas de rádio, TV, microondas e a luz visível; a diferença está no fato de sua energia ( $e$ , conseqüentemente, a sua frequência) ser muito maior, como pode ser visto na Fig. 2. Além da radiação eletromagnética  $\gamma$ , os materiais radioativos também emitem radiação em forma de partículas, como a radiação  $\alpha$  (alfa) e a radiação  $\beta$  (beta), mas estas radiações têm um alcance muito menor do que a radiação  $\gamma$ . A radiação  $\alpha$  não consegue penetrar na pele humana, portanto materiais que emitem somente este tipo de radiação não oferecem perigo em caso de uma exposição, mas podem oferecer se forem ingeridos ou inalados. A radiação  $\beta$  tem um poder de penetração maior do que o da radiação  $\alpha$ , entrando alguns milímetros na pele, o que pode acarretar o aparecimento de câncer de pele e sérios problemas aos olhos, mas esta radiação não consegue atravessar alguns milímetros de alumínio ou o tecido das roupas que vestimos normalmente.

Mas será que um objeto ou um ser vivo que esteve próximo ao material radioativo e foi irradiado fica com um pouco de radiação dentro dele e vai liberando essa radiação aos poucos? A resposta é não, pois não há como estocar qualquer tipo de radiação, seja ela proveniente de materiais radioativos ou não. Por exemplo, quando você desliga a luz da sala, quanto tempo ela leva para ficar escura? Ela vai ficando escura aos poucos ou imediatamente? A resposta é imediatamente. Você consegue guardar luz dentro de um saco de papel? Ou ondas de rádio e TV (para ouvir ou ver um programa mais tarde)? A resposta é não. Analogamente, ao se afastar da luz emitida por um poste você estará sendo cada vez menos iluminado e o fato de ter sido iluminado não fará você emitir luz.

A radiação  $\gamma$  emitida por materiais radioativos difere das outras formas de radiação eletromagnética citadas devido a esta apresentar maior energia, mas, como

os outros tipos de radiação, não é possível armazená-la. Esta alta energia (acima da frequência da luz ultravioleta, inclusive) emitida pelos materiais radioativos é suficiente para quebrar as ligações químicas entre os átomos que formam as moléculas. Estas ligações são estabelecidas pelo compartilhamento dos elétrons presentes nas coroas eletrosféricas dos átomos que compõem a molécula. O que a radiação com alta energia faz é expurgar os elétrons das coroas eletrosféricas e deste modo inviabilizar a ligação entre os átomos. Este fenômeno recebe o nome de ionização, e as radiações

com energia suficiente para produzi-la são chamadas de ionizantes. A luz visível, as ondas de rádio e TV e as microondas, por exemplo, também são tipos de radiação, mas não são ionizantes.

Esta quebra das ligações químicas pode acarretar a desativação da molécula afetada, ou seja, ela não consegue desempenhar mais a sua função, ou pode acarretar a formação de novas moléculas. Se estes fenômenos ocorrerem dentro de uma célula, que é a unidade básica da vida, ela tem mecanismos internos de reparo destes danos provocados pela radiação ionizante. Se os danos

**A radiação  $\alpha$  não consegue penetrar na pele humana, portanto só oferece perigo se um material contaminado for ingerido ou inalado. Já a radiação  $\beta$  tem um poder de penetração maior, entrando alguns milímetros na pele, o que pode acarretar o aparecimento de câncer de pele e sérios problemas aos olhos**

receberem dentro de uma célula, que é a unidade básica da vida, ela tem mecanismos internos de reparo destes danos provocados pela radiação ionizante. Se os danos

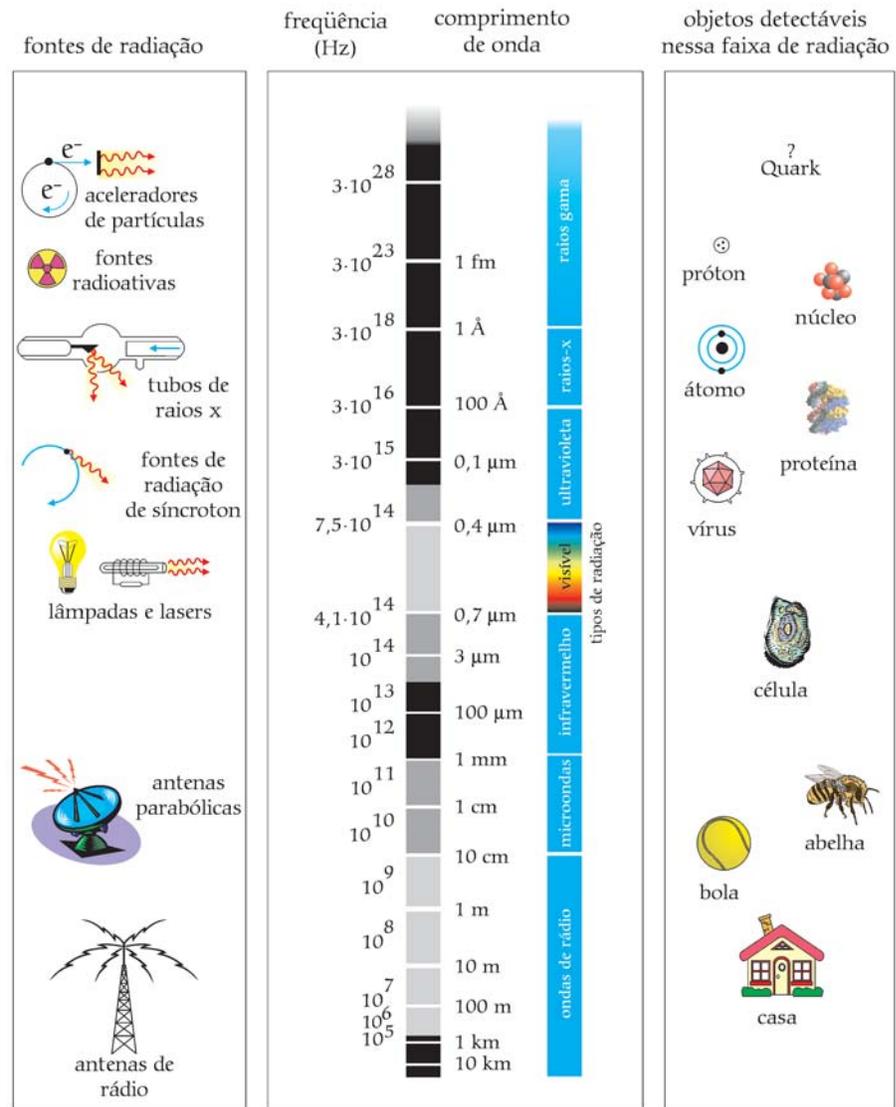


Figura 2. Espectro das radiações eletromagnéticas (FnE, v. 1, n. 1).

forem muito extensos, a célula pode não ser capaz de se reparar adequadamente, o que pode levá-la à morte ou a mudar as suas funções e ser o início de uma doença degenerativa como o câncer, caso o organismo como um todo não consiga eliminá-la.

Portanto, um corpo está sendo irradiado e sofrendo os efeitos causados pela radiação enquanto ele estiver exposto a uma fonte. Ao se afastar dessa fonte ele estará recebendo cada vez menos radiação e diminuindo os seus efeitos, até chegar a uma distância segura, onde o nível de radiação recebido pode ser considerado desprezível.

Concluindo: a irradiação não torna objetos ou seres vivos radioativos ou portadores de radiação; portanto, depois da exposição, podemos tocá-los ou manuseá-los sem receio.

Não se está considerando nesta conclusão a ativação por processos de irradiação, o que somente é possível em condições de laboratório. Neste processo, elementos químicos tornam-se significativamente radiativos após serem submetidos a altas intensidades de radiação ionizante com altas energias por longos períodos de tempo.

Se além do recipiente externo, que é a blindagem, o recipiente interno também se romper, o material radioativo poderá vaziar para o meio ambiente e ocasionar uma contaminação radioativa. Então dizemos que ocorre a contaminação radioativa quando um objeto ou um ser vivo se impregna com o material radioativo que vazou para o meio ambiente devido à ocorrência de um acidente. Deste modo, ele contém material radioativo em sua estrutura e carregará este material para onde quer que vá. Ou seja, ele conterà uma fonte radioativa, que o estará irradiando assim como tudo e todos por onde quer que ele passe. Claro que esta irradiação também decresce com o quadrado da distância.

Outra dúvida muito comum: no caso da contaminação radioativa, um objeto ou ser vivo impregnado com material radioativo, não fica todo ele radioativo depois de algum tempo? A palavra 'contaminação' significa que um objeto ou um ser contém algo; assim ela é usada em medicina para indicar que uma pessoa contém algo indesejável em seu organismo (por exemplo metais pesados como o chumbo ou microorganismos que provocam

doenças, como hepatite, AIDS ou doença de Chagas). A contaminação por microorganismos é o conceito mais conhecido pela população e a partir dele ela deduz que a contaminação radioativa também poderia proliferar no organismo, passar para outros seres vivos e provocar uma epidemia. Não é isto o que acontece.

Os materiais radioativos não são seres vivos e, portanto, não têm como se reproduzir e causar uma epidemia. Pessoas que se contaminam com material radioativo ou com metais pesados (como mercúrio ou chumbo) devem procurar ajuda médica especializada para se livrarem da mesma. Se for uma contaminação externa, as roupas que estavam sendo usadas no momento da contaminação serão retiradas e separadas, e a pessoa deverá tomar um banho de água corrente para retirar o restante da contaminação.

Se houver contaminação interna, o caso é um pouco mais complicado. Dependendo do nível de contaminação, além do acompanhamento médico, a pessoa deverá ficar internada para receber tratamento adequado, que vise estimular a saída mais rápida da contaminação pelas fezes e pela urina, e assim reduzi-la a níveis desprezíveis. Deve-se então coletar e guardar os excrementos (e deste modo não contaminar o meio ambiente), administrar medicação adequada, que reduza os efeitos da radiação ionizante no organismo e não irradiar outras pessoas. O importante a notar é que a contaminação tende a diminuir, tanto que não se volte a ter contato direto com o material radioativo.

Uma pessoa contaminada externamente pode contaminar outras pessoas direta ou indiretamente. Diretamente, por exemplo, se suas mãos estiverem impregnadas; a cada aperto de mão ela passará um pouco de material radioativo para a mão da outra pessoa. Indiretamente, por exemplo, se suas roupas estiverem contaminadas; ao sentar em um banco ela deixará um pouco de material

radioativo, que impregnará a roupa de uma ou mais pessoas que se sentarão naquele local. O importante a notar é que o mecanismo de transmissão da contaminação radioativa é o mesmo da que costumamos chamar, genericamente, de sujeira! E que conforme a contaminação

vai se espalhando ela também e vai se diluindo no ambiente, e não aumentando como no caso de uma epidemia causada por microorganismos.

Concluindo: a contaminação radioativa não se multiplica com o tempo, aumentando a sua quantidade em um objeto ou ser vivo contaminados.

Qual é o nível de redução que pode ser considerado desprezível para uma irradiação ou para uma contaminação radio-

ativa proveniente de um acidente? Primeiro, qual é a resposta a esta questão: Cristovão Colombo descobriu ou inventou a América? Pode parecer estranho uma pergunta de história em um texto de física nuclear, mas ela tem relevância. A resposta é: ele descobriu a América, portanto ela já existia independente de Colombo ou de qualquer outro navegador a encontrar ou não (se ele tivesse inventado a América, ele teria chegado em algum ponto do Atlântico, pego uma pá, retirado a terra do fundo do oceano e construído todo o continente americano!). E a radiação? Ela foi descoberta ou foi inventada? A radiação também foi descoberta, ou seja, ela já existia (e continua existindo) na natureza.

Essa radiação natural tem várias componentes e origens; ela vem do espaço (raios cósmicos), está presente na forma de átomos radioativos (os radionuclídeos), no ar que respiramos (por exemplo o carbono-14), na nossa comida (do potássio presente nos alimentos, como o leite, o feijão, a batata e a banana; 0,0118% é de potássio-40, que é radioativo), na água (gás radônio), na crosta terrestre e nos materiais que usamos para construir nossas moradias (urânio, tório e gás radônio). Portanto, independente da profissão ou da localização onde vive, todo ser humano recebe uma certa quantidade de radiação, tanto interna quanto externamente, que é chamada "radiação de fundo" e esta varia de acordo com a localização geográfica e com a altitude. Existem lugares na crosta terrestre onde há maiores concentrações de materiais radioativos do que em outras, e quanto maior a altitude, maior a contribuição da radiação cósmica.

No caso de um acidente onde ocorra apenas irradiação, as autoridades responsáveis pela segurança radiológica devem isolar o local do acidente até um raio de distância em que a contribuição do nível de irradiação proveniente deste acidente acrescente apenas uma pequena fração à radiação de fundo já existente na região. No caso de um acidente em que também

**A irradiação não torna objetos ou seres vivos radioativos ou portadores de radiação; portanto, depois da exposição, podemos tocá-los ou manuseá-los sem receio**

**A contaminação por microorganismos, conceito mais conhecido pela população, nos induz à falsa conclusão de que a contaminação radioativa também poderia proliferar em nosso organismo e passar para outros seres vivos, provocando uma epidemia**

haja contaminação, o mesmo raciocínio é aplicado à descontaminação da região ou das pessoas contaminadas.

Com relação aos noticiários, seria interessante que os chefes de redação adotassem a utilização de sentenças dentro do contexto de irradiação e de contaminação radioativa para informar com maior precisão o seu público. Tomemos esta notícia fictícia: “Hoje de manhã houve um acidente durante o transporte de material radioativo. As autoridades informaram que não houve vazamento e que a área ficará isolada em um raio de tantos metros, até que os técnicos procedam ao resgate do material”, ou “...que houve vazamento e que a área ficará isolada em um raio de tantos metros por tantos dias, até a completa descontaminação do local pelos técnicos e que as pessoas que tiveram

**Uma companhia aérea negou-se a transportar material médico cuja esterelização fora feita através da irradiação, alegando que o material tornara-se radioativo. O cliente trocou de fornecedor. Resultado: negócio perdido pela falta de conhecimento básico sobre o tema...**

ou possam ter tido contato direto ou indireto com o material radioativo estão passando por detectores de radiação, com o objetivo de verificar se elas se impregnaram com material radioativo e, se for o caso, encaminhá-las aos agentes de saúde, para serem descontaminadas”. Se for interessante fornecer uma ordem de grandeza da intensidade da radiação, pode-se utilizar uma sentença como: “Segundo as autoridades, a tantos metros do local do acidente, o nível de radiação decresce para um nível igual ao da radiação natural”. Concordo que estas expressões são um tanto longas, mas passam um retrato mais próximo da realidade do que “a área está altamente radioativa” ou a “a região está com altos níveis de radiação”.

Durante muitos anos eu trabalhei em uma empresa que, entre outras linhas de trabalho, esterilizava materiais por irradiação. Estes materiais eram da linha médica e farmacêutica (luvas cirúrgicas, drenos, próteses, frascos de colírio, fios cirúrgicos, etc.). Um cliente era do Rio de Janeiro e enviava para São Paulo, por via aérea, a matéria-prima de um dos seus medicamentos para ser esterilizada por irradiação. Uma vez ele mudou de companhia aérea, que tinha (ou ainda tem) por política não transportar material radioativo. Na vinda deste material não houve

qualquer problema, mas quando foi feita a remessa de volta, esta companhia não queria embarcar o material, devido a este portar um certificado de irradiação. Por telefone explicamos a diferença entre irradiação e contaminação radioativa, mas não houve como

convencê-los. Tivemos que enviar via fax uma declaração de que o material não havia se tornado radioativo por ter sido irradiado. Para ser coerente com a sua política, esta companhia aérea, que também faz o transporte de pessoas, deveria entregar um questionário a cada passageiro perguntando se alguma vez ele foi submetido a radioterapia. Em caso afirmativo, o passageiro deveria anexar uma declaração do hospital onde o tratamento foi feito, informando que ele não está radioativo por ter sido irradiado. Este é um pequeno exemplo do que pode ocorrer quando as pessoas não estão informadas da diferença e do significado entre irradiação e contaminação radioativa. O nosso cliente resolveu rápido este empe-

ciho: voltou a transportar o seu material pela companhia aérea anterior.

## **Agradecimentos**

Agradeço aos seguintes colegas pela leitura crítica deste artigo e pelas sugestões apresentadas: prof. Carlos R. Apolloni (DF-UEL), profa. Linda V.E. Caldas (IPEN/CNEN-SP) e prof. Gian M.A.A. Sordi (IPEN/CNEN-SP).

## **Para saber mais**

- E. Okuno, *Radiação: Efeitos, Riscos e Benefícios* (Harbra, São Paulo, 1998), 82 p.
- A.R. Biral, *Radiações Ionizantes para Médicos, Físicos e Leigos* (Insular, Florianópolis, 2002), 230 p.
- L.A.M. Scaff, *Mitos e Verdades, Perguntas e Respostas - Radiações* (Barcarola, São Paulo, 2002), 118 p.
- E.M. Cardoso, *Apostila Educativa: Aplicações da Energia Nuclear* (Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro), 18 p. Disponível em [www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp](http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp). Acesso em 23/2/2006.
- E.M. Cardoso, *Apostila Educativa: Energia Nuclear* (Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro), 29 p. Disponível em [www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp](http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp). Acesso em 23/2/2006.
- E.M. Cardoso, *Apostila Educativa: Radioatividade* (Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro), 19 p. Disponível em [www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp](http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp). Acesso em 23/2/2006.
- Y. Nouailhetas, *Apostila Educativa: Radiações Ionizantes e a Vida* (Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro), 42 p. Disponível em [www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp](http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp). Acesso em 23/2/2006.