

## DECAIMENTO RADIOATIVO: O CÉSIO-137 E O ACIDENTE EM GOIÂNIA

ALICE HÖRBE SANTANA<sup>1</sup>; RAFAEL CAVAGNOLI<sup>2</sup>;

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [alicehorbe2001@gmail.com](mailto:alicehorbe2001@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [rafabrazil2@gmail.com](mailto:rafabrazil2@gmail.com)

### 1. INTRODUÇÃO

Em primeira aproximação, o núcleo atômico é composto por partículas de carga positiva e neutra, denominadas prótons e nêutrons, respectivamente, ou de modo geral podemos chamá-las de nucleons. O número atômico ( $Z$ ) corresponde ao número de prótons presente em um núcleo e identifica um elemento químico, enquanto o número de nêutrons é indicado por  $N$ , e o número de massa de um núcleo atômico é dado por  $A = Z + N$ . Um elemento químico  $X$  é representado por  ${}^A_ZX$  (CHUNG, 2001). Sabe-se que cargas iguais se repelem devido a força de repulsão coulombiana, mas existe uma força no interior do núcleo responsável por manter as cargas positivas e neutras unidas, a força nuclear forte (OKUNO, 2010), a priori descrita pela troca de mésons entre os nucleons, em analogia com a interação eletromagnética que ocorre através da troca de fótons.

Os prótons e nêutrons na verdade são compostos por quarks, partículas fundamentais, são três quarks em cada nucleon, e ainda, os mésons são compostos por um par formado por um quark e um anti-quark. Os quarks interagem através da troca de glúons, as partículas fundamentais mediadoras da interação nuclear forte. Dependendo do nível de energia com o qual se trabalha, não se consegue observar a estrutura interna (quarks e glúons) de cada nucleon e de cada méson, deste modo é possível tratar a interação nucleon-nucleon como se os nucleons (prótons e nêutrons) fossem as partículas fundamentais, sem mencionar os quarks e glúons. Neste caso, em primeira aproximação trata-se o núcleo composto por prótons e nêutrons, considerando que estas partículas interagem por meio de mésons (MOREIRA, 2005).

Dependendo do elemento químico, teremos quantidades diferentes de  $Z$  e  $N$ . No entanto, os elementos são definidos pelo seu número atômico, que representa sua identidade, mas podem ter diferentes números de nêutrons para o mesmo número de prótons, assim, utiliza-se o termo isótopo. Por exemplo, o césio (Cs) é um elemento que possui cerca de 41 isótopos, todos contendo 55 prótons, que se diferenciam pelo número de nêutrons, sendo estável apenas o césio-133 ( ${}^{133}_{55}\text{Cs}$ ). A diferença na proporção de partículas no núcleo atômico será responsável pela instabilidade nuclear, levando a emissão de radiação para alcançar a estabilidade, este processo é chamado de decaimento radioativo. O decaimento radioativo consiste na emissão de partículas alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) e radiação gama  $\gamma$ , de modo separado ou com mais de um tipo de emissão simultânea ao longo da cadeia de decaimento de um elemento instável. Com isso, ocorre uma mudança na estrutura do núcleo, alterando o número de nêutrons e prótons, transformando o elemento químico em outro estável ou que ainda seguirá emitindo radiação, finalizando em um elemento estável.

A radioatividade, descoberta por Henri Becquerel em 1896 (XAVIER et. al., 2007), possui aplicações em diversas áreas de pesquisa, diferentes tipos de indústria, assim como na medicina com técnicas e equipamentos para diagnóstico e tratamento. A física nuclear aplicada à medicina também é conhecida por medicina nuclear. Um dos exames muito conhecidos é a ressonância magnética,

cujo nome completo é ressonância magnética nuclear. Também é muito comum para tratamento de câncer a radioterapia, existindo tratamentos com feixes de prótons, nêutrons ou ainda íons - que são átomos ionizados, embora estes últimos sejam menos comuns por se tratarem de equipamentos mais caros. Os aceleradores lineares são máquinas mais acessíveis para radioterapia, além de equipamentos contendo um elemento radioativo como fonte de radiação, por exemplo o cobalto-60 ( $^{60}_{27}\text{Co}$ ), enquanto equipamentos mais antigos usavam o céσιο-137 ( $^{137}_{55}\text{Cs}$ ) como fonte. Outras técnicas, como a braquiterapia, utilizam diferentes radionuclídeos, que são injetados em pequenas quantidades no corpo do paciente e se concentram em determinados órgãos, nestes casos são usados elementos com meia-vida radioativa de horas ou dias.

A meia-vida física ou radioativa indica o tempo necessário para que metade dos átomos presentes em uma amostra decaiam em outro elemento (CHUNG, 2001), isto é, sofram transmutação ou desintegração. Caso o novo elemento seja estável, a meia-vida indica o tempo em que a atividade radioativa cai pela metade, pois o novo elemento que resulta do decaimento não emite radiação por ser estável. Um fármaco é considerado eliminado de um organismo após cerca de 5 meias-vidas biológica, já para um elemento radioativo a resposta depende de uma série de fatores, de modo geral consideram-se 10 meias-vidas para alcançar níveis seguros de radiação, principalmente para emissores beta e gama. A partir deste ponto usaremos o termo meia-vida para indicar o caso radioativo, que é o interesse do presente trabalho. Há elementos radioativos com meia-vida de segundos, minutos, horas e dias, os quais podem ter esta grandeza aferida diretamente ao longo destes intervalos de tempo. Elementos com meia-vida de milhares, milhões e até bilhões de anos, requerem diferentes técnicas para medir parâmetros que são utilizados no cálculo da meia-vida de cada elemento.

O céσιο tornou-se nacionalmente conhecido em função do acidente radiológico de Goiânia ocorrido em 1987. Em 1985, um equipamento de radioterapia contendo cloreto de céσιο (CsCl), com céσιο-137, foi abandonado nas antigas instalações do Instituto Goiano de Radioterapia (IGR). Dois anos depois, dois homens entraram no prédio abandonado, desmontaram o equipamento em busca de materiais para venda, como chumbo, e venderam uma peça para um ferro-velho. No ferro-velho a cápsula que continha cerca de 20 g de CsCl foi aberta, e nela havia um pó que no escuro emitia um brilho azulado e encantou a todos. O que não sabiam era que se tratava de uma substância radioativa, e pelo fato do CsCl ser solúvel em água, este aderiu facilmente à superfícies, à pele, iniciando o maior acidente radioativo ocorrido fora de uma usina nuclear. Quinze dias após a violação da cápsula, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) iniciou a descontaminação da região, e as vítimas foram atendidas pelo Hospital Naval Marcílio Dias (HNMD) (ROCHA, 2008), além de óbitos, esta tragédia ainda causaria diversos conflitos sociais.

Conhecimentos sobre decaimento radioativo, meia-vida, contaminação e irradiação são importantes para compreender as consequências do contato com material radioativo. Deste modo, é importante verificar o tempo necessário para que os rejeitos radioativos depositados em Abadias de Goiás, perto de Goiânia, atinjam níveis compatíveis com valores encontrados em nosso cotidiano.

## 2. METODOLOGIA

Para realizar o cálculo do decaimento radioativo e relacionar a constante de decaimento com a meia-vida, utiliza-se uma equação diferencial ordinária (EDO),

pois as EDOs são úteis para modelar problemas que envolvem a variação de uma quantidade ao longo do tempo com base em certas condições iniciais e taxas de mudança. A EDO que rege o decaimento radioativo é dada por:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad , \quad (1)$$

onde  $N$  é a quantidade de átomos em função do tempo,  $\lambda$  é a constante de decaimento e o sinal negativo indica que  $N$  decresce com o tempo. A resolução da EDO acima é feita pelo método do fator integrante, obtendo-se:

$$e^{\lambda t} \frac{dN}{dt} + \lambda N e^{\lambda t} = 0 \quad . \quad (2)$$

Resolvendo a equação acima obtém-se:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad , \quad (3)$$

onde  $N_0$  é a quantidade de material inicial. Quando  $N(t) = N_0/2$  e sabendo que o tempo necessário para que metade dos núcleos sofram decaimento é chamado de meia-vida, neste caso  $t = t_{1/2}$ . Então, substituindo esses valores na equação inicial temos  $\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}}$ , que resulta em:

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad . \quad (4)$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para obter o tempo de meia-vida do césio-137 diversas técnicas podem ser utilizadas, como pode ser visto em WOODS (1990), e outras informações em CAO et. al (2022). De acordo com o Escritório Internacional de Pesos e Medidas (BÉ et al., 2006) e o NIST (Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia/EUA) (LAVELLE et. al., 2018), adota-se o valor de  $30,05 \pm 0,08$  anos para a meia vida do césio-137, e assim, obtemos a constante de decaimento usando a eq. (4):

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \approx 0,023066 \text{ ano}^{-1} \quad . \quad (5)$$

A partir do resultado acima e da eq. (3), foi confeccionado um programa na linguagem Python para avaliar o decaimento do césio-137 ao longo dos anos. Para o tempo inicial escolheu-se o ano de 1987, em que ocorreu o acidente em Goiânia. O resultado do cálculo pode ser visto na figura 1.

Foram escolhidos períodos de 30 anos para o eixo das abscissas em função da meia-vida do césio-137. Para

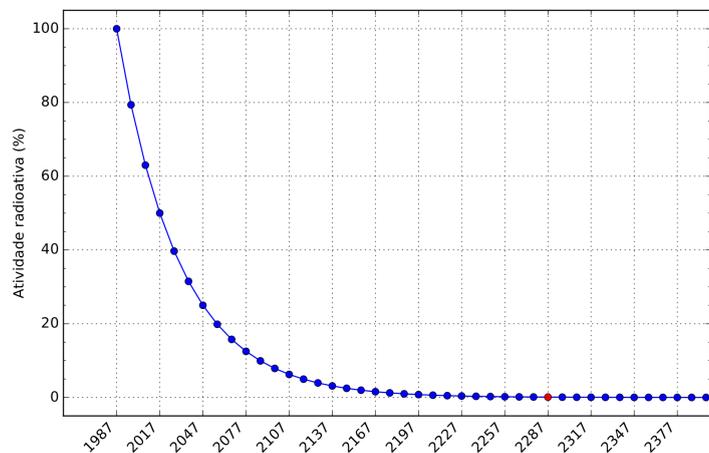


Figura 1 - Atividade radioativa para o césio-137.

que a atividade radioativa seja da ordem de 1% do valor que tinha em 1987 será necessário o intervalo de 200 anos, que será no ano de 2187. Para atingir o patamar de 0,5% são necessários 230 anos (em 2217), e por fim, para chegar ao valor de 0,1% da atividade radioativa que havia em 1987, são necessários 300 anos, ou seja, cerca de 10 meias-vidas do céσιο-137, que será no ano de 2287, indicado com um círculo vermelho na figura 1.

#### 4. CONCLUSÕES

O conhecimento sobre radiação e tempo de meia-vida são importantes para identificarmos o tempo necessário para que a radiação dos rejeitos atinja níveis seguros como os encontrados no nosso dia a dia. Com isso, o Governo de Goiás deverá manter os bancos de descontaminação até o ano de 2287. Os equipamentos de radioterapia foram aos poucos substituídos por equipamentos com fontes de cobalto-60, cuja meia-vida é de 5,27 anos (BÉ et al., 2006), requerendo menor tempo de armazenamento de rejeitos em caso de acidente.

Esta tragédia mostra a importância da educação técnica e científica e seus impactos sociais, pois mesmo após a descontaminação, além de passar pela tragédia, perder familiares e amigos, diversas pessoas foram estigmatizadas e sofreram preconceito em função da falta de informações sobre o assunto.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAO, Y., ZHOU, L., REN, H., ZOU, H. Determination, Separation and Application of <sup>137</sup>Cs: A Review. **International journal of environmental research and public health**, 19 (16), 10183, 2022.

CHUNG, K. C. **Introdução à física nuclear**. Rio de Janeiro: edUERJ, 2001.

BÉ, M-M., et al. Table of Radionuclides, vol. 3: A = 3 to 244. **International Bureau of Weights and Measures (BIPM)**, 2006.

LAVELLE, K. B., et al. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, vol. 318, 2018.

MOREIRA, Marco Antonio. **Partículas e Interações**. 2a ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2004.

ROCHA, Sonia F. Acidente radioativo com o Césio-137: a participação da Marinha no atendimento às vítimas. **Rev. Navigator**, RJ, v. 4, n. 8, p. 1-15, 2008.

OKUNO, E., YOSHIMURA, E. **Física das Radiações**. SP: Ofic. de Textos, 2010.

XAVIER, A. M., et al. . Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. **Química Nova**, 30(1), 83-91, 2007.

WOODS, M. J. **Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. Section A: Accel., Spectr., Detectors and Assoc. Equip.**, vol. 286 (3), 576-583, 1990.