

Radioatividade – Aplicações e Riscos (texto de Marcelo Okuma)

1. Introdução

Os primeiros estudos sobre a radioatividade começaram com Antoine Henri Becquerel (1852-1908), cientista francês, que analisou a emissão de radiações de sais de urânio, capazes de impressionar placas fotográficas. O casal Pierre Curie (1859-1906) e Marie Curie (1867-1934) também estudou o fenômeno da radioatividade e o elemento rádio. Marie Curie identificou o elemento químico Polônio, nome dado em homenagem à sua terra natal. Descobriu o processo de obtenção do elemento rádio. Os três cientistas foram laureados com o Prêmio Nobel de Física em 1903, por seus estudos sobre a radioatividade.



Pierre Curie
Wikimedia Commons
Imagem de uso livre



Marie Curie
Wikimedia Commons
Imagem de uso livre



Antoine Henri Becquerel
Wikimedia Commons
Imagem de uso livre

Wikimedia Commons
Imagem de uso livre

2. A Radioatividade

A radioatividade refere-se à emissão de radiações do núcleo instável de alguns elementos químicos como, por exemplo, o urânio, tório, rádio, protactínio, entre outros. A instabilidade nuclear associa-se às forças de repulsão existentes entre os prótons presentes no núcleo atômico. Ao emitir partículas alfa (α), partículas beta (β) e raios gama (γ); o núcleo tende a se tornar mais estável.



Alerta produto radioativo

Wikimedia Commons

Imagem de uso livre

As partículas alfa (α) apresentam dois prótons e dois nêutrons (núcleos de hélio), por terem massa maior sua velocidade é menor, cerca de 30.000 km/segundo; e seu poder de penetração também é menor, sendo bloqueadas por folhas de papel e pela pele. Sofrem desvio por campos elétricos e magnéticos. Nos campos elétricos sofrem desvio para o pólo negativo.

As partículas beta (β) correspondem à emissão de um elétron de um núcleo de um radioisótopo betaemissor, por apresentar menor massa, possui maior velocidade, cerca de 270.000 km/segundo e maior poder de penetração, portanto, são mais danosas à saúde humana. As

partículas são bloqueadas por lâminas de alumínio de mais de 1 mm de espessura. As partículas beta (β) sofrem desvio por campos magnéticos e elétricos, nesses últimos são desviadas para o polo positivo. O desvio é mais intenso que o descrito pelas partículas alfa (α).

Os raios gama (γ) são ondas eletromagnéticas curtas – apenas alguns picômetros de comprimento ($10^{-15}/10^{-18}\text{m}$), de alta frequência e com muita energia, apresentam velocidade de 300.000 km/segundo. Trata-se de uma radiação ionizante, com grande capacidade de penetração, serão barradas por espessas placas de chumbo e muralhas de concreto. Os raios gama (γ), por serem ondas eletromagnéticas, não sofrem desvio pela ação de campos elétricos ou magnéticos. De todas as radiações é a que causa maior dano celular, em particular por afetar drasticamente a estrutura do DNA, portanto, trata-se de um agente mutagênico.

Resumindo:

RADIAÇÃO	SÍMBOLO	COMPOSIÇÃO	MASSA	CARGA	VELOCIDADE
ALFA (α)	${}^4_{+2}\alpha$	Núcleo de Hélio	4	+2	30.000 km/s
BETA (β)	${}^0_{-1}\beta$	Elétron	0	-1	270.000 km/s
GAMA (γ)	${}^0_0\gamma$	Onda eletromagnética	0	0	300.000 km/s

3. Primeira e Segunda Lei da Radioatividade

Primeira Lei da Radioatividade (Soddy, 1911)

Quando um radioisótopo emite uma partícula alfa (α) originará um novo elemento que apresenta redução de duas unidades em seu número atômico ($Z - 2$ prótons) e redução de 4 unidades em seu número de massa ($A - 4$).

Por exemplo, o plutônio apresenta número de massa igual a 242 e número atômico de 94, ao emitir uma partícula alfa (α), será transmutado a urânio com número de massa igual a 238 e número atômico, 92.

Segunda Lei da Radioatividade (Soddy, Fajans e Russel – 1913)

Quando um radioisótopo emite uma partícula beta (β) o seu número atômico aumenta em uma unidade e o seu número de massa praticamente não sofre alteração.

A desintegração de um nêutron no núcleo de um radioisótopo instável gera: um próton, uma partícula beta (β), um antineutrino, radiação gama. Por isso, o número atômico aumenta em uma unidade, já que nesse núcleo houve a formação de um novo próton.

Por exemplo, o tório apresenta massa atômica igual a 234 e número atômico, 90; ao emitir uma partícula beta (β), será transmutado a protactíneo, que apresenta massa atômica igual a 234 e número atômico, 91.

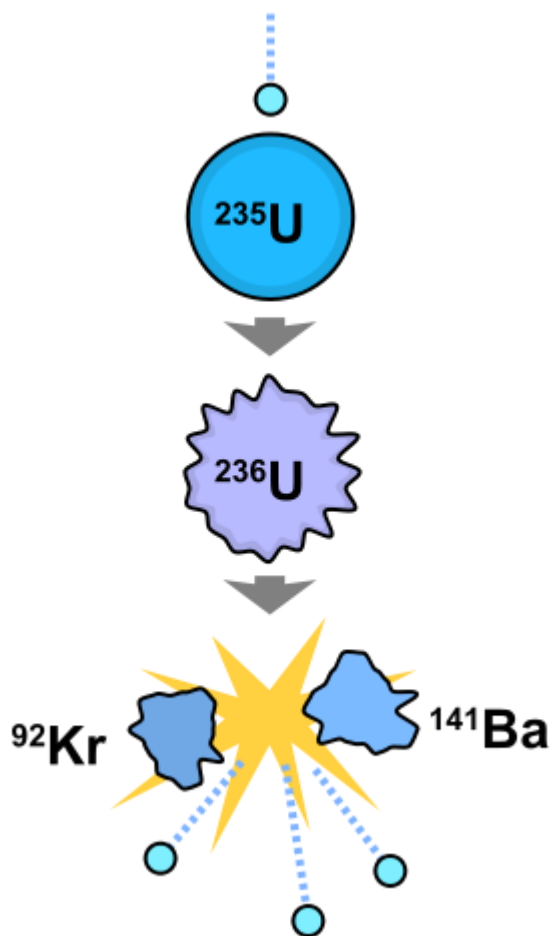
4. Fissão Nuclear

A fissão nuclear ocorre quando um átomo instável, por exemplo, o de urânio (^{235}U) é bombardeado por um nêutron, levando à formação de bário (^{142}Ba) e criptônio (^{91}Kr) dois ou três novos nêutrons e energia.

Os nêutrons gerados na fissão podem se chocar com outros núcleos instáveis de urânio (^{235}U) repetindo o processo em cadeia, que se intensifica de modo exponencial, levando à grande liberação de energia.

Caso haja uma quantidade mínima de material radioativo, denominada massa crítica, a reação seguirá até a fissão do último átomo de urânio de forma muito rápida, com liberação de uma imensa quantidade de energia. Esse é o princípio da bomba nuclear.

Quando a reação de fissão nuclear envolve menores quantidades de urânio (^{235}U) e o bombardeamento do núcleo atômico por nêutrons ocorre de modo controlado; por exemplo, limitando a velocidade dos nêutrons com o uso de água pesada, ou pela remoção de parte dos nêutrons gerados durante a fissão com o uso de grafite, que absorve o excesso de nêutrons. Haverá liberação regulada de energia, que, pode, por exemplo, gerar energia elétrica nas usinas nucleares.



Esquema de fissão nuclear

Wikimedia Commons

Imagem de uso livre

5. Usinas Nucleares

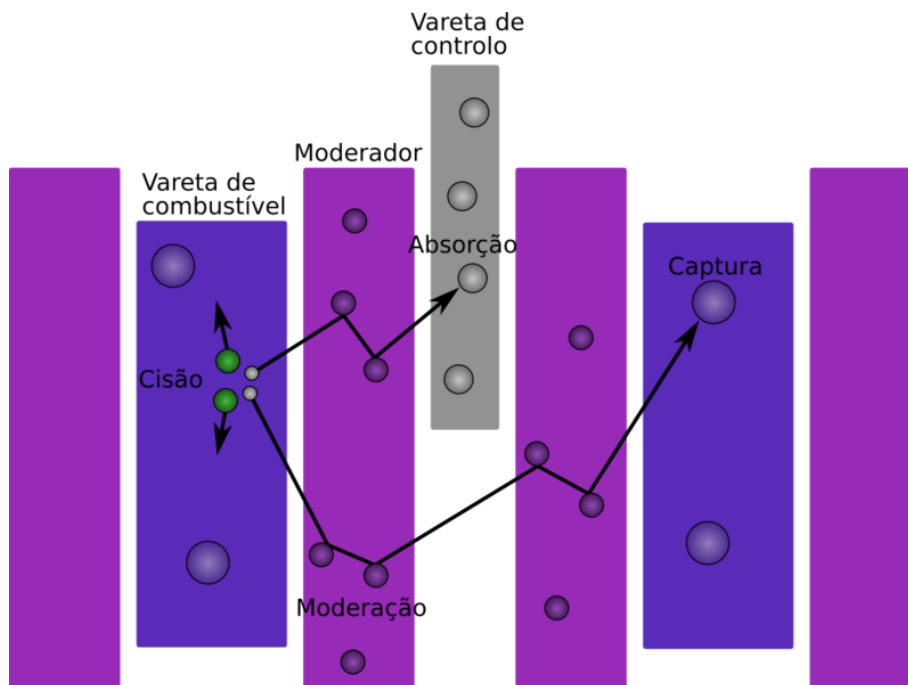
Uma usina nuclear apresentará um ou mais reatores nucleares, esses possuem blindagem (aço e concreto) para formar um circuito fechado e, assim, impedir a saída de nêutrons e raios gama (γ) nocivos à saúde dos seres vivos.

O reator gera energia através da fissão de combustíveis radioativos (urânio-235, plutônio-239, tório-232). Atualmente, tem-se

utilizado uma mistura de óxidos de plutônio e urânio (MOX) como combustível radioativo. Essa energia produz calor que é utilizado para geração de vapor de água, que move turbinas de um gerador elétrico levando à produção de energia elétrica.

Um reator nuclear apresentará as seguintes partes:

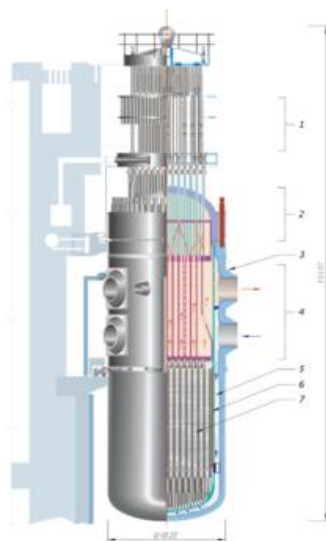
1. Blindagem: para isolar o sistema, evita a saída de nêutrons e radiação gama (γ) para o meio externo.
2. Cápsulas de combustível: abrigam o material fissionável, por exemplo, urânio-235.
3. Moderador: estão espalhados pelo reator, tem por função reduzir a velocidade dos nêutrons e desse modo controlar o processo de fissão. Geralmente, utiliza-se água pesada como eficiente moderador.
4. Material de controle: são barras que ficam entre as cápsulas de combustível, a fim de absorver nêutrons de modo a finalizar a reação de fissão nuclear, ou moderar sua intensidade. As barras de controle são feitas de cádmio ou boro, materiais com grande capacidade de absorver nêutrons.
5. Refrigerador: circula, por exemplo, água leve que absorve calor, essa energia pode ser levada até um trocador de calor, que produzirá vapor de água para acionar as turbinas de um gerador elétrico.



Esquema do núcleo de um reator.

Wikimedia Commons

Imagem de uso livre.



Reator russo de usina nuclear

Wikimedia Commons

Imagem de uso livre

6. Usinas Nucleares pelo Mundo

No mundo há 441 reatores nucleares distribuídos em 29 países [outubro de 2010], com a capacidade de produção de 374.692 GW de energia elétrica. Veja na tabela abaixo a distribuição dos reatores nucleares:

441 Reatores em Operação		
AIEA Outubro 2010		
País	unidades	Total MW(e)
ALEMANHA	17	20.490
AFRICA DO SUL	2	1.800
ARGENTINA	2	935
ARMENIA	1	375
BELGICA	7	5.934
BRASIL	2	1.884
BULGARIA	2	1.906
CANADA	18	12.569
CHINA+TAIWAN	19	15.048
COREIA DO SUL	21	17.705
ESLOVAQUIA	4	1.762
ESLOVENIA	1	666
ESPANHA	8	7.516
FINLANDIA	4	2.696
FRANÇA	59	63.130
GRÃ BRETANHA	19	10.137
HOLANDA	1	487
HUNGRIA	4	1.889
INDIA	19	4.189
JAPÃO	54	46.823
MEXICO	2	1.300
PAQUISTÃO	2	425
REPUBLICA CHECA	6	3.678
ROMÊNIA	2	1.300
RUSSIA	32	22.693
SUÉCIA	10	9.303
SUIÇA	5	3.238
UCRÂNIA	15	13.107
USA	104	100.683

[http://www.eletronuclear.gov.br/imagens/uploads/File/051110-Panorama\(1\).pdf](http://www.eletronuclear.gov.br/imagens/uploads/File/051110-Panorama(1).pdf)

A tabela a seguir mostrará a porcentagem de energia elétrica gerada por reatores nucleares em relação ao mundo.

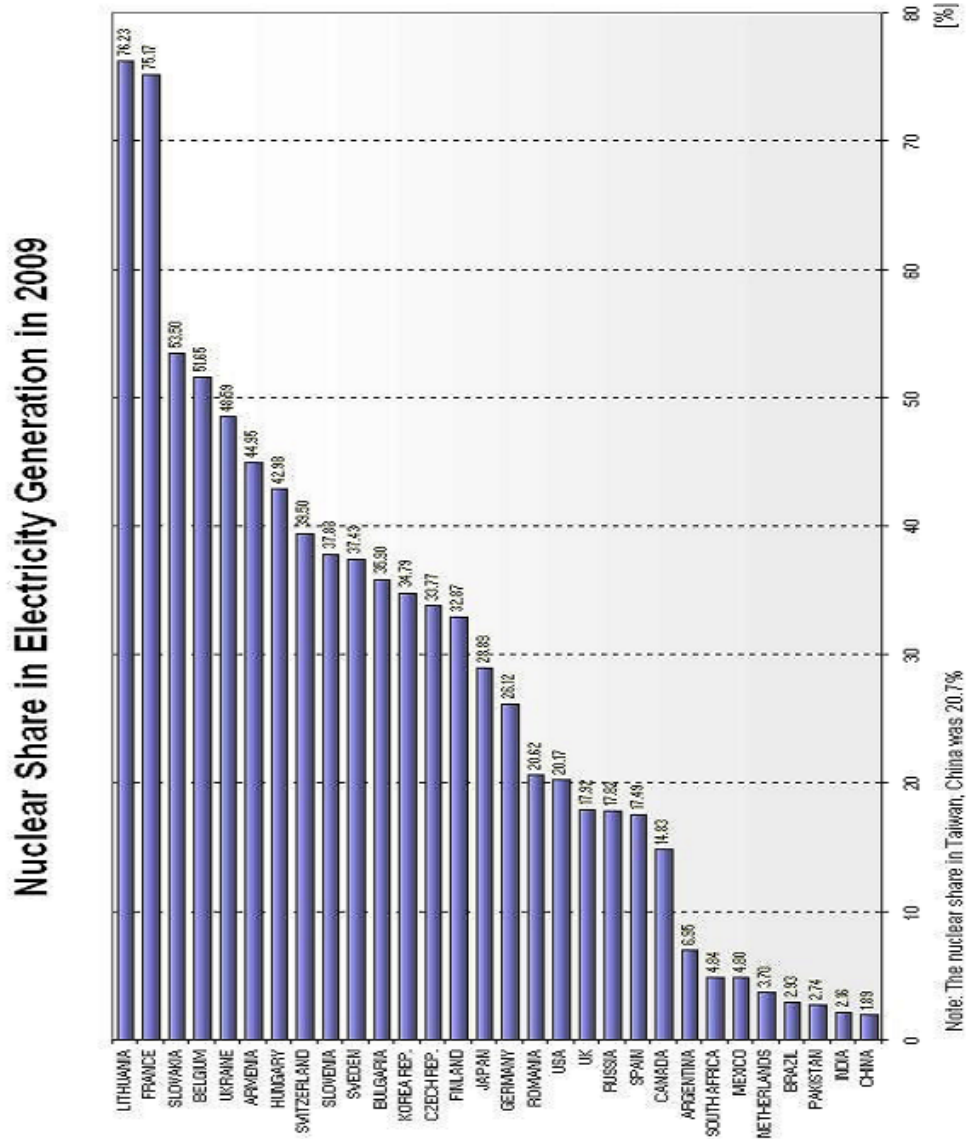
PAIS	PORCENTAGEM
Estados Unidos	32%
França	17%
Japão	9%
Alemanha	6%
Rússia	6%
Coreia do Sul	6%
Ucrânia	3,34%
Canadá	3%
China	1,85%
Brasil	0,52%

Dados referentes a 2009.

Com base em: [http://www.eletronuclear.gov.br/imagens/uploads/File/051110-Panorama\(1\).pdf](http://www.eletronuclear.gov.br/imagens/uploads/File/051110-Panorama(1).pdf)

No gráfico a seguir temos a representação da importância da energia nuclear na matriz energética dos países relacionados:

Participação da Energia Nuclear no total por país (AIEA 2009)



Extraído de: [http://www.eletronuclear.gov.br/imagens/uploads/File/051110-Panorama\(1\).pdf](http://www.eletronuclear.gov.br/imagens/uploads/File/051110-Panorama(1).pdf)

O mapa a seguir, mostra a distribuição das centrais nucleares pelo mundo:



Distribuição das usinas nucleares pelo mundo

Wikimédia Commons

Imagem de uso livre

No Brasil, as usinas nucleares Angra 1 e Angra 2, respondem por cerca de 3% da energia elétrica gerada no país. A usina de Angra 1 entrou em atividade no ano de 1985, pode gerar energia elétrica suficiente para manter em atividade uma metrópole com um milhão de habitantes.

A usina de Angra 2, passou a operar de forma efetiva em 2001, sendo capaz de suprir a demanda energética de uma grande metrópole como Curitiba ou Belo Horizonte.



Usina nuclear de Angra 1

Wikimedia Commons

Imagem de uso livre

7. Acidentes Nucleares

Chernobyl

O acidente nuclear de Chernobyl é considerado o pior de toda história. Uma série de fatores: mal estado do equipamento, falha dos sistemas de segurança e erro humano, estão associados à explosão do reator 4 da usina de Chernobyl, em 26 de abril de 1986. Nessa ocasião foi liberada energia equivalente a explosão 450 bombas atômicas como a que foi detonada em Hiroxima.

Essa tragédia desabrigou 350.000 pessoas que viviam em áreas de risco. Contaminou 600.000 pessoas; sendo que 6.000 desenvolveram grave câncer de tireóide; e, acredita-se que a exposição à radiação provocou 4.000 mortes prematuras.

Atualmente, 3000 funcionários trabalham na desativação dos reatores 1, 2 e 3 da usina de Chernobyl. Também realizam avaliações ambientais da região.

Fukushima

O acidente nuclear de Fukushima foi desencadeado por um forte terremoto de escala 8,9 ocorrido em 12 de março de 2011.

Houve explosão no sistema de refrigeração do reator 1 dessa usina. Detectou-se a liberação de material particulado contendo césio e iodo radioativo. O governo japonês notificou que os níveis de radiação eram baixos e não representariam riscos à população.

Como medida de prevenção, foi evacuada uma área de 20 km de raio ao redor da usina. A população do redor recebeu máscaras de proteção para não inalar, por ventura material particulado radioativo.

Foram distribuídas 100.000 cápsulas de iodeto de potássio à população potencialmente mais exposta ao contato com o iodo radioativo.

Essa medida governamental teve por finalidade saturar a tireóide das pessoas com iodo, impedindo a absorção de iodo radioativo, que poderia desencadear câncer nessa glândula.

8. Bombas Nucleares de Hiroxima e Nagasaki

As bombas nucleares foram utilizadas duas vezes em guerra pelos Estados Unidos contra o Japão.

Em 6 de agosto de 1945, o bombardeiro B-29, Elona Gay, lançou sobre a cidade de Hiroxima a bomba nuclear *Little Boy*, provocando a morte de cerca de 100.000 pessoas.

Em 9 de agosto de 1945, outro bombardeiro B-29, lançaria sobre a cidade de Nagasaki a bomba nuclear *Fat Man*, que gerou um “cogumelo nuclear” de 18 km de altura a partir do hipocentro, causando a morte de 80.000 civis.

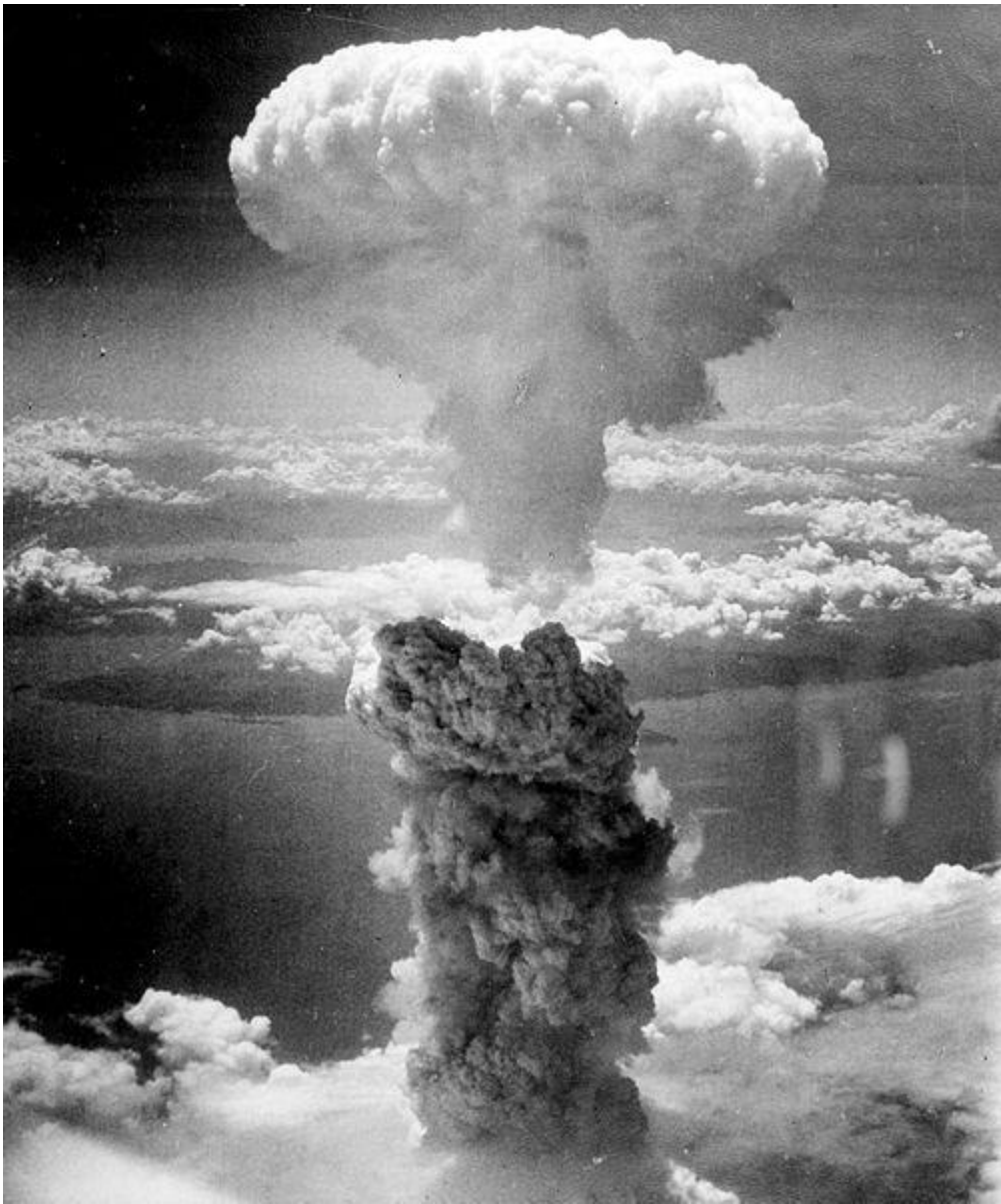
Na data de 15 de agosto de 1945, o Japão declararia a sua rendição.



Bomba nuclear- *Fat Man*

Wikimedia Commons

Imagem de uso livre



Explosão da bomba *Fat Man* sobre a cidade de Nagasaki

Wikimedia Commons

Imagem de uso livre

9. Radioterapia

A radioterapia envolve a aplicação de radiações ionizantes capazes de criar íons e radicais livres nas células situadas no campo de irradiação. Como a capacidade de reparo das células tumorais é menor,

os íons formados e os radicais livres danificam o DNA da célula neoplásica levando-a a morte.

As radiações ionizantes empregadas na radioterapia podem ser raios X, ou raios gama emitidos, por exemplo, por uma cápsula de cobalto.

A radioterapia pode apresentar como efeitos colaterais distúrbios nos tecidos com maior potencial de divisão celular: epiderme, mucosas, células germinativas, tecido hematopoiético; assim, se tais tecidos estiverem no campo de irradiação podem ocorrer, respectivamente, lesões epidérmicas, mucosites, parada da produção de gametas e redução da formação de glóbulos brancos e plaquetas. Todos os casos devem ser tratados, pois, em geral, o quadro é reversível.

10. Cintilografia com contraste radioativo

Certos radioisótopos podem ser empregados em exames por imagens de órgãos. Como no caso da cintilografia que detecta a radiação emitida pelo contraste absorvido por um determinado órgão; forma-se a imagem da estrutura anatômica e, é possível inferir também o seu grau de atividade fisiológica.

O radioisótopo deve ser empregado em baixas dosagens para não comprometer a saúde do paciente. Uma característica importante do contraste é apresentar meia vida curta, ou seja, precisa se desintegrar rapidamente para não causar danos fisiológicos no organismo.

A tabela a seguir reúne informações importantes sobre radioisótopos empregados em exames clínicos:

RADIOISÓTOPO	ÓRGÃO (S) ANALISADO (S)	MEIA-VIDA
Tecnécio-99	Cérebro, fígado, rins e pulmão	6 horas
Iodo-131	Tireóide	8 dias
Iodo-123	Tireóide e rins	13 horas
Tálio-201	Coração	3 dias

Fontes consultadas:

Disponível em: < www.cnen.gov.br/ensino/radioatividade.asp >. Acesso em 17/07/2011.

Disponível em: <http://efisica.if.usp.br/moderna/radioatividade/tipos/> >. Acesso em 17/07/2011.

Disponível em: [http://www.fis.unb.br/pet-fisica/artigos/Energia nuclear e seus usos na sociedade.htm](http://www.fis.unb.br/pet-fisica/artigos/Energia_nuclear_e_seus_usos_na_sociedade.htm) Acesso em 17/07/2011.

Disponível em: <[http://www.eletronuclear.gov.br/imagens/uploads/File/051110-Panorama\(1\).pdf](http://www.eletronuclear.gov.br/imagens/uploads/File/051110-Panorama(1).pdf)>. Acesso em 17/07/2011.