

# *Radiações: Riscos e Benefícios*

*Fábio Merçon*

Este documento tem nível de compartilhamento de acordo com a licença 3.0 do [Creative Commons](http://creativecommons.org).



<http://creativecommons.org.br>  
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/br/legalcode>

### *Radiações: Riscos e Benefícios*

#### A descoberta da radioatividade

A descoberta da radioatividade está diretamente ligada à descoberta dos raios X. A diferença fundamental entre raios X e as emissões radioativas é que os raios X são radiações eletromagnéticas geradas na camada eletrônica. Os raios X representam transições eletrônicas envolvendo os primeiros níveis da camada eletrônica, em geral os níveis K e L, sendo, portanto, transições mais energéticas do que as transições eletrônicas mais comuns. Eles podem ser gerados quando elétrons são acelerados e direcionados a um alvo metálico, arrancando elétrons das camadas eletrônicas dos elementos constituintes desse alvo ou quando raios gama são absorvidos por elétrons da eletrosfera de um elemento qualquer. Ambos os processos tem como consequência elétrons sendo expelidos e gerando uma lacuna na sua camada eletrônica. O processo de preenchimento dessa lacuna envolve a passagem de elétrons de um nível energético menor para um nível energético maior com a emissão de raios X enquanto que as emissões radioativas são originárias de processos nucleares, isto é, processos que ocorrem no interior do núcleo do átomo. Logo, apenas as emissões nucleares são classificadas como energia nuclear (Cardoso, 2009).

Em 1895, o cientista Wilhelm Roentgen, na Universidade de Wurzburg (Alemanha), ao estudar descargas elétricas em gases sob baixa pressão, descobriu um tipo de raio capaz de tornar fluorescente ou fosforescente certas substâncias. Devido a sua natureza desconhecida, esses foram batizados de raios X.

Em um artigo publicado em janeiro de 1896, Roentgen apresenta sua descoberta e expõe a radiografia da mão de sua esposa. Em poucos dias, os principais jornais do mundo publicaram sua história. A utilidade dessa tecnologia ficou patente e no mundo foram instalados aparelhos de raios X para uso médico. No final de 1896, mais de 1.000 artigos científicos sobre os raios X já haviam sido publicados. Além dos inúmeros benefícios para a área médica, os raios X foram incorporados ao cotidiano popular em aplicações das mais diversas, como o uso em sapatarias, para se ver a acomodação dos ossos dos pés em sapatos novos. Todavia, em pouco tempo foram descobertos os riscos de uma exposição excessiva aos raios X e, por exemplo, muitos dentistas perderam dedos pela simples prática de segurar os filmes dentro das bocas dos pacientes (Sacks, 2002).

Roentgen não patenteou as aplicações dos raios X, pois segundo ele, esses deveriam ser usados pela humanidade. Pela contribuição de sua descoberta, Roentgen recebeu o primeiro Prêmio Nobel de Física (1901). Todavia, por ser alemão, esse cientista teve seu mérito criticado por franceses e ingleses, que atribuíram sua descoberta a um golpe de sorte.

Em consequência do frenesi causado pelos raios X, outros cientistas passaram a investigar esse fenômeno, o que acabou por trazer outras importantes contribuições. Uma delas foi a descoberta da

radioatividade, em 1896, por Henri Becquerel, ao estudar a relação entre substâncias fosforescentes e os raios X (Chassot, 1995). A observação de que certos sais de urânio geravam emissões que impressionavam filmes fotográficos, mesmo não tendo sido expostos previamente à luz, levou Becquerel a descobrir um novo tipo de raios penetrantes, os quais foram denominados emissões radioativas ou radioatividade.

A descoberta de Becquerel foi amplamente investigada pelo casal Pierre e Marie Curie, que verificaram que a radioatividade era uma propriedade do elemento urânio, independente desse ser aquecido, estar em solução ou em pó, e acabaram por descobrir dois novos elementos radioativos: o polônio e o rádio. Por seus trabalhos sobre a radioatividade, em 1902, o casal Curie recebeu, juntamente com Henri Becquerel, o Prêmio Nobel de Física.

Marie Curie desenvolveu um processo de extração dos elementos radioativos a partir da pechblenda, um mineral de urânio. Uma tonelada de refugo de pechblenda levou à produção de 0,1 g de rádio, para que esse fosse caracterizado como elemento químico. Tal qual Roentgen, Marie não patenteou seu processo de obtenção do rádio, pois seus benefícios deveriam estar disponíveis para a humanidade (Sacks, 2002).

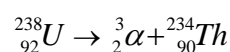
Com base nesses estudos, verificou-se que a radioatividade é um fenômeno natural, no qual certos átomos, denominados instáveis ou radioativos, decompõem-se espontaneamente. Essa decomposição decorre da relação entre o número de nêutrons e prótons presentes no núcleo do átomo e acaba levando à formação de átomos menores ou partículas subatômicas, além de liberar grande quantidade de energia.

Outro cientista que se destacou nas pesquisas sobre radioatividade foi Ernest Rutherford, que elucidou as principais características das emissões radioativas (partículas alfa e beta e raios gama) e realizou a primeira transmutação de elementos químicos.

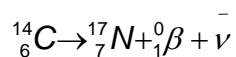
Em parceria com Frederick Soddy, Rutherford faz uma abordagem teórica sobre a radioatividade, o que acabou sendo fundamental na evolução dos modelos atômicos (Strathern, 2000). Rutherford entendia que a única maneira de pesquisar algo tão minúsculo como um átomo era bombardeando-o com alguma coisa ainda menor, ou seja, uma partícula subatômica, a partícula alfa (Strathern, 1999).

Desses estudos, foram identificados os três tipos fundamentais de emissão nuclear: as partículas alfa ( $\alpha$ ) e beta ( $\beta$ ) e a radiação gama ( $\gamma$ ).

Uma partícula alfa é constituída por 2 prótons e 2 nêutrons, ou seja, um núcleo de  ${}^4\text{He}$ , sendo que a equação a seguir representa a emissão de uma partícula alfa por um átomo de urânio:

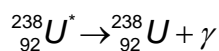


Existem dois tipos de partículas beta, a beta menos ( $\beta^-$ ) e a beta mais ( $\beta^+$ ). No caso da emissão de uma partícula  $\beta^-$ , um nêutron se decompõe em um próton e um elétron, que é emitido. A equação a seguir representa a emissão de uma partícula beta menos por um átomo de carbono. Repare que associado à emissão das partículas beta temos a emissão de um neutrino ( $\nu$ ). O neutrino é uma partícula nuclear de carga e massa zero, ou seja, apenas energia.

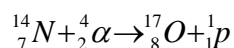


Por outro lado, a emissão de uma partícula beta mais envolve a emissão de um pósitron, ou seja, uma partícula com mesma massa que um elétron, mas com carga positiva. O pósitron representa a antipartícula do elétron.

Quando da emissão de partículas alfa ou beta, pode acontecer do núcleo resultante se encontrar num estado excitado. Ao retornar ao estado fundamental, há a emissão de raios gama. Repare que se trata de um processo muito semelhante ao que ocorre com elétrons da camada eletrônica dos átomos. Essa analogia levou à postulação de uma organização das partículas nucleares em níveis energéticos, como ocorrem com os elétrons na eletrosfera. Como se trata da emissão apenas de radiação eletromagnética, não existe variação em termos de carga e de massa do núcleo resultante, como esquematizado na equação a seguir.



A primeira transmutação de elementos químicos foi realizada por Rutherford, em 1919, ao produzir átomos de oxigênio pelo bombardeamento de átomos de nitrogênio com partículas alfa, como representado pela equação:



Esse processo possibilitou a criação de elementos artificiais e, em 1941, um grupo de cientistas obteve ouro a partir de mercúrio, alcançando uma das metas dos antigos alquimistas (Partington, 1989).

Após a divulgação das descobertas feitas pelo casal Curie, substâncias com propriedades radioativas (principalmente rádio, tório, urânio e polônio) passaram a ser comercializadas livremente. Para muitos, a radioatividade apresentava propriedades terapêuticas, de forma que surgiram inaladores de radônio, pastas dentais contendo tório, bastões de rádio para preservar dentaduras e dispositivos que continham rádio e tório e eram usados em volta do pescoço para estimular a tireoide, ou ao redor do

escroto, para estimular a libido. A ingestão de soluções radioativas era prescrita por médicos para o rejuvenescimento, a cura do câncer de estômago e até o tratamento de doenças mentais (Sacks, 2002).

Em pouco tempo, os efeitos nocivos à saúde foram esclarecidos e as substâncias radioativas passaram a ser tratadas com os devidos cuidados. Os primeiros efeitos fisiológicos constatados foram queimaduras na pele e um dos primeiros a relatar essas queimaduras foi justamente Becquerel. Lamentavelmente, em 1908, aquele que descobriu a radioatividade acabou por ser a primeira vítima relatada de óbito por câncer de pulmão contraído pela radioatividade. Em pouco tempo, outros cientistas que desenvolviam estudos com materiais radioativos acabaram adoecendo e falecendo.

### A produção de armamentos nucleares

Na década de 30, Otto Hahn, Fritz Strassmann e Lise Meitner, estudando a produção de elementos mais pesados que o urânio, realizaram experimentos de bombardeio com nêutrons. Esses cientistas não obtiveram êxito na obtenção de elementos com massa atômica superior ao urânio mas, por outro lado, conseguiram obter elementos de massa menor em um processo denominado fissão nuclear. Apesar da obtenção de elementos mais leves não ser o intuito, foi constatada a enorme quantidade de energia liberada no processo de fissão. Em uma simples comparação, a energia liberada na fissão de uma amostra de urânio-235 é um milhão de vezes superior à energia produzida pela mesma quantidade de petróleo.

Esse fenômeno foi descoberto em uma época de extrema crise, a máquina de guerra da Alemanha nazista devastando a Europa e a perseguição aos judeus provocando um êxodo de cientistas da Alemanha, dentre eles Lise Meitner, Albert Einstein e muitos que iriam posteriormente colaborar para a fabricação da primeira bomba atômica. Quando o cientista dinamarquês Niels Bohr tomou ciência da descoberta da fissão do urânio pelos alemães, surgiu o temor entre os cientistas aliados do uso da energia obtida na fissão pelos nazistas. Assim, nos Estados Unidos, uma rede de cientistas começou a trabalhar naquela que seria a maior concentração de cientistas para trabalhar em um único só tema: o Projeto Manhattan.

Em dois de dezembro de 1942 iniciou-se a "Era Atômica", com a operação do primeiro reator nuclear na Universidade de Chicago. Em seguida, em 16 de julho de 1945, foi realizado o primeiro teste com uma bomba atômica no deserto de Alamogordo (EUA). Em consequência do potencial destrutivo da bomba atômica, diversos cientistas desaconselharam seu uso. Indiferente a esse clamor pacifista, ainda em 1945, as explosões de duas bombas atômicas no Japão decretaram o término da Segunda Guerra Mundial. Em seis de agosto, 80.000 pessoas morreram em decorrência da explosão na cidade de Hiroxima e, em nove de agosto, outras 40.000 foram vítimas fatais em Nagasaki. Esses números se

referem apenas às vítimas diretas das explosões, não incluindo aqueles que vieram a falecer dos males decorrentes da radiação (Merçon e Quadrat, 2004).

Em um período posterior à Segunda Guerra Mundial, denominado Guerra Fria, Estados Unidos e União Soviética, que se tornaram as duas maiores potências da época, passaram a buscar a supremacia, travando embates em diferentes áreas, que foram desde competições esportivas até conquistas espaciais. Nessa disputa, o poderio militar era um item considerável e, obviamente, o aumento do arsenal nuclear era um ponto fundamental.

Em consequência, no início dos anos 50, americanos (1952) e soviéticos (1953) já testavam suas bombas de hidrogênio. Baseada na reação de fusão do hidrogênio com a formação de átomos de hélio, esse armamento demonstrou uma potência destruidora superior à bomba atômica. Com o final da Guerra Fria, as grandes potências passaram a negociar o desarmamento e o fim dos testes nucleares. Entretanto, no início do século XXI, a ameaça nuclear ainda existe nas concepções bélicas de um outro grupo de países, como Israel, Índia e Paquistão.

### As usinas nucleares

Em paralelo aos desenvolvimentos bélicos, o controle da velocidade da fissão nuclear possibilitou o aproveitamento racional da energia liberada. Surgiam as usinas nucleares, principalmente em países europeus e nos Estados Unidos. Segundo Goldemberg (1998), *"o uso da potência nuclear para a produção de eletricidade foi um subproduto do desenvolvimento dos reatores nucleares com fins militares durante e após a Segunda Guerra Mundial"*.

No início, as usinas nucleares representavam uma fonte poderosa de energia, com as vantagens de não necessitarem de características geográficas específicas ou áreas extensas, como as usinas hidrelétricas; não liberarem gases causadores do efeito estufa, como as termelétricas; e não gerarem efluentes gasosos ou líquidos. Apesar das usinas nucleares despontarem como a solução para a crescente demanda de energia, nem tudo era perfeito, pois havia os riscos de acidentes e não se sabia o que fazer com o lixo nuclear gerado.

O primeiro acidente noticiado ocorreu na usina de Three-Mile Island (EUA). Em 28 de março de 1979, uma falha no sistema de refrigeração acarretou a liberação de uma quantidade desconhecida de radioatividade. A rápida evacuação da população em uma área de 70 km ao redor da usina evitou a ocorrência de vítimas fatais. O controle da situação também evitou o derretimento do núcleo do reator, mesmo com a temperatura tendo alcançado 2760°C. Coincidentemente, semanas antes estreara nos cinemas americanos o filme "Síndrome da China" (dirigido por James Bridges). No filme, após um acidente em uma usina, o núcleo superaquecido ameaçou romper as paredes do reator, atravessar a crosta e atingir a China, do outro lado do planeta.

Em 26 de abril de 1986, em Chernobyl (Ucrânia - URSS), o descontrole da reação provocou um incêndio no prédio do reator e a consequente liberação de material radioativo na atmosfera. Os países ocidentais só tomaram ciência do acidente quando a radiação liberada acionou os alarmes de uma usina nuclear sueca, situada a 2.000 quilômetros de distância. O governo russo só admitiu o acidente 48 horas após o ocorrido. O bloqueio das informações pelo governo soviético, com o intuito de poupar o prestígio tecnológico soviético, retardou a ajuda internacional e o incêndio só foi controlado uma semana depois. A nuvem radioativa espalhou-se pela Europa e contaminou plantações, animais e seres humanos. Nos dez anos seguintes, essa radiação foi responsável pela morte de pelo menos 10.000 pessoas. Com o tempo, estima-se que o câncer e deformações genéticas façam mais de 100.000 vítimas (Merçon e Quadrat, 2004).

No Brasil, a energia nuclear também foi alvo de investimentos que culminaram com a implantação de um complexo nuclear em Angra dos Reis (RJ). O primeiro reator (Angra I) foi posto em operação em 1985. Em julho de 2000, iniciou-se a operação do segundo reator (Angra II). Após 23 anos de obras e com um custo cinco vezes superior ao orçamento inicial essa usina passou a produzir 2% da energia no Brasil. A previsão é que com o início de operação do último reator (Angra III), esse conjunto contribua com 4 % da energia gerada no Brasil.

Em setembro de 1987 ocorreu o acidente radiológico de Goiânia (GO). Dois catadores de lixo encontraram uma cápsula contendo o isótopo cério-137 abandonada em um hospital desativado. O rompimento da blindagem protetora de chumbo acarretou a liberação do material radioativo, contaminando centenas de pessoas e já no primeiro mês após o acidente registravam-se quatro mortes. Nos anos seguintes, outras vítimas vieram a falecer em decorrência da exposição à radiação.

Decorrente dos altos custos de operação e segurança e da pressão da opinião pública, liderada por ecologistas, na década de 90, muitos países começaram a desativar seus programas nucleares. Na Europa, após o acidente de Chernobyl, apenas três reatores foram inaugurados. Nos EUA, depois do acidente em Three-Mile Island, 21 dos 125 reatores foram desligados.

Mesmo com todos esses esforços, chegou-se ao final do século XX com 130.000 toneladas de lixo nuclear. Devido à contínua emissão de radiação, esse material deve ser isolado até que a radiação atinja níveis toleráveis, o que poderá durar alguns milênios. Dessa forma, os atuais locais de armazenagem do lixo (minas, montanhas e subterrâneos) demonstram-se inseguros devido às incertezas quanto às condições geológicas nesses locais, a longo prazo (Helene, 1996).

Apesar dos acontecimentos ocorridos no final do século XX terem acarretado uma redução no uso da energia nuclear, no início do século XXI essa situação se inverteu. No momento tem-se um contínuo crescimento na demanda e no interesse pelo uso da energia nuclear. As projeções da Agência Internacional de Energia Nuclear apontam um aumento de 66% na capacidade de geração de energia nuclear até 2030. As principais causas para a retomada dos projetos nucleares baseiam-se no aumento

da demanda global por energia, na instabilidade política de parte dos maiores produtores mundiais de petróleo e, principalmente, no fato de que as usinas nucleares não produzem gases que contribuem para o efeito estufa. Em termos de produção, a experiência adquirida, principalmente desde a década de 80, tem proporcionado maior segurança e, em termos econômicos, maiores viabilidade e produtividade (El Baradei, 2009).

### Outras aplicações da radioatividade

Apesar de todos os riscos associados, nos dias de hoje, a energia nuclear encontra-se presente em nosso cotidiano, em inúmeras aplicações pacíficas.

O maior exemplo é o aumento na quantidade de energia elétrica gerada a partir de reatores nucleares. Segundo dados da Agência Internacional de Energia, a contribuição percentual da energia nuclear na composição da matriz de energia primária mundial, passou de 0,9%, em 1973, para 6,5%, em 2004, sendo que nesse mesmo período a produção de energia nuclear passou de 203 para 2.738 TWh (International Energy Agency, 2009).

Além do uso como fonte de energia, também merecem destaque a aplicação de radioisótopos em outras áreas (Cardoso, 2009).

Na área de medicina nuclear, radioisótopos são empregados em diagnósticos e terapias. Como exemplo de uso em diagnóstico, tem-se o uso de iodo-131 no radiodiagnóstico de tireoide e tecnécio-99 em exames de cintilografia de diversos órgãos, como rins e fígado. Já na radioterapia, utiliza-se o cobalto-60 como fonte de radiação na destruição de tumores cancerosos.

Na agricultura, traçadores radioativos permitem estudar o crescimento de plantas e o comportamento de insetos. Além disso, a irradiação é uma técnica de conservação de produtos agrícolas, como batata, cebola, alho e feijão.

Na indústria, a aplicação mais comum de radioisótopos é a radiografia de peças metálicas ou gamagrafia industrial. Essa técnica é usada no controle de qualidade de peças produzidas e em inspeções periódicas em aviões. Outra aplicação industrial consiste na esterilização de material hospitalar, como seringas, luvas cirúrgicas, gaze e material farmacêutico descartável.

Na arqueologia, uma aplicação importante de radioisótopos é a técnica de datação por carbono-14 de fósseis e artefatos históricos.

Existem outros radionuclídeos naturais com aplicações importantes em estudos ambientais como a datação de sedimentos com  $^{210}\text{Pb}$ , erosão de solos, estudos de mistura de água com  $^3\text{H}$  ou com isótopos de rádio, além da aplicação da análise por ativação neutrônica, etc. (International Atomic Energy Agency, 2009).



### Referências Bibliográficas

CARDOSO, E.M. *Aplicações da Energia Nuclear*. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.cnem.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>. Acesso: julho de 2009.

CHASSOT, A.I. Raios X e Radioatividade. *Química Nova na Escola*, n. 2, p. 19-22, 1995.

EL BARADEI, M. *Statement at Beijing International Ministerial Conference on Nuclear Energy in the 21st Century*. Disponível em: <http://www.iaea.org/NewsCenter/Statements/2009/ebsp2009n003.html>. Acesso: agosto de 2009.

GOLDEMBERG, J. *Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1998.

HELENE, M.E.M. *A Radioatividade e o Lixo Nuclear*. São Paulo: Editora Scipione, 1996.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *In Focus*. Disponível em: <http://www.iaea.org/NewsCenter/Focus/index>. Acesso: agosto de 2009.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Key World Energy Statistics 2006*. Disponível em: <http://www.iea.org/Textbase/stats/index.asp>. Acesso: julho de 2009.

MERÇON, F.; QUADRAT, S.V. A Radioatividade e a História do Tempo Presente. *Química Nova na Escola*, n. 19, p. 27-30, 2004.

PARTINGTON, J. R. *A Short History of Chemistry*. New York: Dover Publications, 1989.

SACKS, O. W. *Tio Tungstênio: memórias de uma infância química*; tradução Laura Teixeira Motta. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.

STRATHERN, P. *Borh e a Teoria Quântica em 90 minutos*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1999.

STRATHERN, P. *Curie e a Radioatividade em 90 minutos*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2000.