



*Apostila educativa*

# *Radioatividade*

*Por*

***ELIEZER DE MOURA CARDOSO***

*Colaboradores:*

***Ismar Pinto Alves***

***José Mendonça de Lima***

***Luiz Tahuata***

***Paulo Fernando Heilbron Filho***

***Claudio Braz***

***Sonia Pestana***

Comissão Nacional de Energia Nuclear  
Rua General Severiano, 90 - Botafogo - Rio de Janeiro - RJ - CEP 22290-901  
[www.cnen.gov.br](http://www.cnen.gov.br)

---

**ÍNDICE**

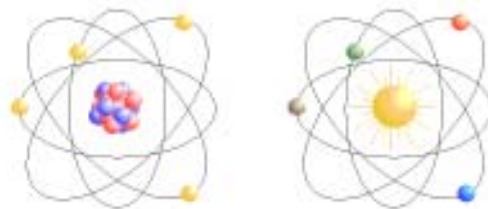
---

**A ESTRUTURA DA MATÉRIA E O ÁTOMO, 3**  
**ESTRUTURA DO NÚCLEO, 3**  
**OS ISÓTOPOS, 4**  
**RADIOATIVIDADE, 5**  
**RADIAÇÃO ALFA OU PARTÍCULA ALFA, 6**  
**RADIAÇÃO BETA OU PARTÍCULA BETA, 6**  
**RADIAÇÃO GAMA, 7**  
**PARTÍCULAS E ONDAS, 7**  
**ATIVIDADE DE UMA AMOSTRA, 8**  
**DESINTEGRAÇÃO OU TRAMUTAÇÃO RADIOATIVA, 8**  
**MEIA-VIDA, 9**  
**AS FAMÍLIAS RADIOATIVAS, 12**  
**O LIXO ATÔMICO, 14**  
**TRATAMENTO DE REJEITOS RADIOATIVOS, 15**  
**O ACIDENTE EM GOIÂNIA, 16**  
**CONTAMINAÇÃO E IRRADIAÇÃO, 17**  
**A DESCONTAMINAÇÃO EM GOIÂNIA, 18**

## **A ESTRUTURA DA MATÉRIA E O ÁTOMO**

Todas as coisas existentes na natureza são constituídas de átomos ou suas combinações. Atualmente, sabemos que o átomo é a menor estrutura da matéria que apresenta as propriedades de um elemento químico.

A estrutura de um átomo é semelhante à do Sistema Solar, consistindo em um núcleo, onde fica concentrada a massa, como o Sol, e em partículas girando em seu redor, denominadas elétrons, equivalentes aos planetas.



Como o Sistema Solar, o átomo possui grandes espaços vazios, que podem ser atravessados por partículas menores do que ele.

A comparação com o sistema solar, embora sirva para dar uma idéia visual da estrutura do átomo, destacando os “grandes espaços vazios”, não exprime a realidade.

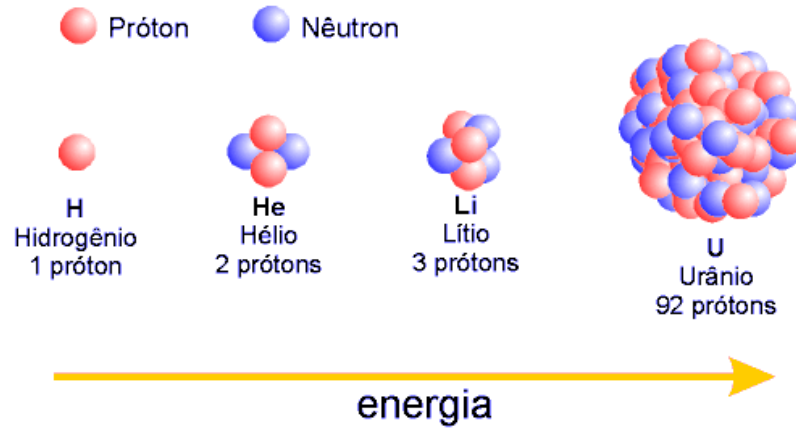
No sistema solar, os planetas se distribuem quase todos num mesmo plano de rotação ao redor do Sol. No átomo, os elétrons se distribuem em vários planos em torno do núcleo. Não é possível determinar simultaneamente a posição de um elétron e sua velocidade num dado instante.

## **ESTRUTURA DO NÚCLEO**

O núcleo do átomo é formado, basicamente, por partículas de carga positiva, chamadas prótons, e de partículas de mesmo tamanho mas sem carga, denominadas nêutrons. O número de prótons (**ou número atômico**) identifica um elemento químico, comandando seu comportamento em relação aos outros elementos.

O elemento natural mais simples, o hidrogênio, possui apenas um próton; o mais complexo, o urânio, tem 92 prótons, sendo o elemento químico natural mais pesado.

### ELEMENTOS QUÍMICOS NATURAIS



### OS ISÓTOPOS

O número de nêutrons no núcleo pode ser variável, pois eles não têm carga elétrica. Com isso, um mesmo elemento químico pode ter massas diferentes. Átomos de um mesmo elemento químico com massas diferentes são denominados **isótopos**.

O hidrogênio tem 3 isótopos: o hidrogênio, o deutério e o trítio.



O urânio, que possui 92 prótons no núcleo, existe na natureza na forma de 3 isótopos:

- **U-234**, com 142 nêutrons (em quantidade desprezível);
- **U-235**, com 143 nêutrons, usado em reatores PWR, após enriquecido (0,7%);
- **U-238**, com 146 nêutrons no núcleo (99,3%).

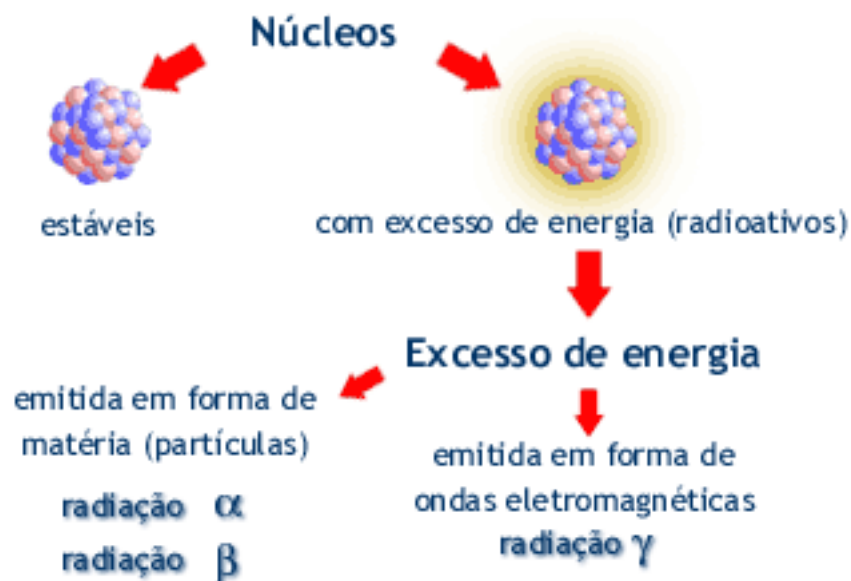
## RADIOATIVIDADE

O esquecimento de uma rocha de urânio sobre um filme fotográfico virgem levou à descoberta de um fenômeno interessante: o filme foi velado (marcado) por “alguma coisa” que saía da rocha, na época denominada raios ou **radiações**.

Outros elementos pesados, com massas próximas à do urânio, como o **rádio** e o **polônio**, também tinham a mesma propriedade.

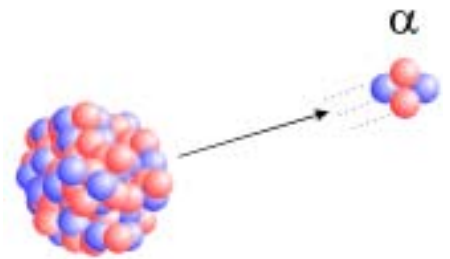
O fenômeno foi denominado **radioatividade** e os elementos que apresentavam essa propriedade foram chamados de **elementos radioativos**.

Comprovou-se que um núcleo muito energético, por ter excesso de partículas ou de carga, tende a estabilizar-se, emitindo algumas partículas.



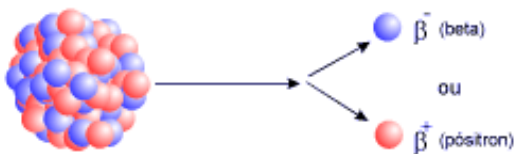
## RADIAÇÃO ALFA OU PARTÍCULA ALFA

Um dos processos de estabilização de um núcleo com excesso de energia é o da emissão de um grupo de partículas positivas, constituídas por dois prótons e dois nêutrons, e da energia a elas associada. São as **radiações alfa** ou **partículas alfa**, núcleos de hélio (He), um gás chamado “nobre” por não reagir quimicamente com os demais elementos.



## RADIAÇÃO BETA OU PARTÍCULA BETA

Outra forma de estabilização, quando existe no núcleo um excesso de nêutrons em relação a prótons, é através da emissão de uma partícula negativa, um elétron, resultante da conversão de um nêutron em um próton. É a **partícula beta negativa** ou, simplesmente, **partícula beta**.

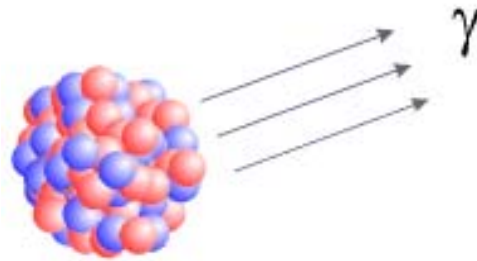


No caso de existir excesso de cargas positivas (prótons), é emitida uma **partícula beta positiva**, chamada **pósitron**, resultante da conversão de um próton em um nêutron.

Portanto, a **radiação beta** é constituída de partículas emitidas por um núcleo, quando da transformação de nêutrons em prótons (**partículas beta**) ou de prótons em nêutrons (**pósitrons**).

## RADIAÇÃO GAMA

Geralmente, após a emissão de uma partícula alfa ( $\alpha$ ) ou beta ( $\beta$ ), o núcleo resultante desse processo, ainda com excesso de energia, procura estabilizar-se, emitindo esse excesso em forma de onda eletromagnética, da mesma natureza da luz, denominada **radiação gama**.

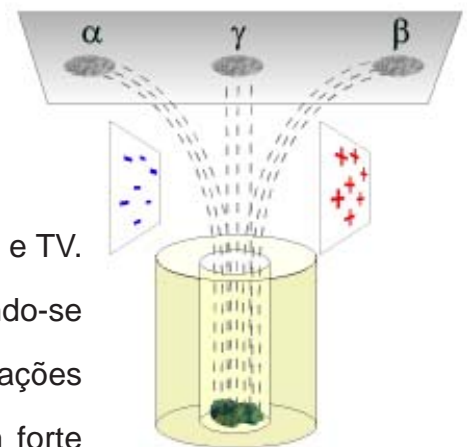


## PARTÍCULAS E ONDAS

Conforme foi descrito, as radiações nucleares podem ser de dois tipos:

- partículas**, possuindo massa, carga elétrica e velocidade, esta dependente do valor de sua energia;
- ondas eletromagnéticas**, que não possuem massa e se propagam com a velocidade de 300.000 km/s, para qualquer valor de sua energia. São da mesma natureza da luz e das ondas de transmissão de rádio e TV.

A identificação desses tipos de radiação foi feita utilizando-se uma porção de material radioativo, com o feixe de radiações passando por entre duas placas polarizadas com um forte campo elétrico.



## **ATIVIDADE DE UMA AMOSTRA**

Os núcleos instáveis de uma mesma espécie (mesmo elemento químico) e de massas diferentes, denominados **radioisótopos**, não realizam todas as mudanças ao mesmo tempo.

As emissões de radiação são feitas de modo imprevisível e não se pode adivinhar o momento em que um determinado núcleo irá emitir radiação.

Entretanto, para a grande quantidade de átomos existente em uma amostra é razoável esperar-se um certo número de emissões ou transformações em cada segundo. Essa “**taxa**” de transformações é denominada **atividade** da amostra.

## **UNIDADE DE ATIVIDADE**

A atividade de uma amostra com átomos radioativos (ou fonte radioativa) é medida em:

**Bq** (Becquerel) = uma desintegração por segundo

**Ci** (Curie) =  $3,7 \times 10^{10}$  Bq

## **DESINTEGRAÇÃO OU TRAMUTAÇÃO RADIOATIVA**

Como foi visto, um núcleo com excesso de energia tende a estabilizar-se, emitindo partículas alfa ou beta.

Em cada emissão de uma dessas partículas, há uma variação do número de prótons no núcleo, isto é, o elemento se **transforma** ou se **transmuta** em outro, de comportamento químico diferente.

Essa transmutação também é conhecida como **desintegração radioativa**, designação não muito adequada, porque dá a idéia de desagregação total do átomo e não apenas da perda de sua integridade. Um termo mais apropriado é **decaimento radioativo**, que sugere a diminuição gradual de massa e atividade.



## **MEIA-VIDA**

Cada elemento radioativo, seja natural ou obtido artificialmente, se transmuta (se desintegra ou decai) a uma velocidade que lhe é característica.

Para se acompanhar a duração (ou a “vida”) de um elemento radioativo foi preciso estabelecer uma forma de comparação.

Por exemplo, quanto tempo leva para um elemento radioativo ter sua atividade reduzida à metade da atividade inicial ? Esse tempo foi denominado **meia-vida** do elemento.

**Meia-vida**, portanto, é o tempo necessário para a atividade de um elemento radioativo ser reduzida à metade da atividade inicial.

Isso significa que, para cada meia-vida que passa, a atividade vai sendo reduzida à metade da anterior, até atingir um valor insignificante, que não permite mais distinguir suas radiações das do meio ambiente. Dependendo do valor inicial, em muitas fontes radioativas utilizadas em laboratórios de análise e pesquisa, após 10 (dez) meias-vidas, atinge-se esse nível. Entretanto, não se pode confiar totalmente nessa “receita” e sim numa medida com um detector apropriado, pois, nas fontes usadas na indústria e na medicina, mesmo após 10 meias-vidas, a atividade da fonte ainda é geralmente muito alta.

## UM EXEMPLO “DOMÉSTICO”

Um exemplo “caseiro” pode apresentar, de forma simples, o conceito de meia-vida: uma família de 4 pessoas tinha 4 kg de açúcar para seu consumo normal. Logicamente, a função do açúcar é adoçar o café, o refresco, bolos e sucos. Adoçar é a atividade do açúcar, assim como a emissão de radiação



é a atividade dos elementos radioativos.

Por haver falta de açúcar no supermercado, foi preciso fazer um racionamento, até a situação ser normalizada, da seguinte forma: na primeira semana, foram consumidos 2 kg, metade da quantidade inicial, e “conseguiu-se” fazer dois bolos, um pudim, refrescos, sucos, além de adoçar o café da manhã. Na segunda semana, foi consumido 1 kg, metade da quantidade anterior e  $\frac{1}{4}$  da inicial. Aí, já não deu para fazer os bolos.

Na terceira semana, só foi possível adoçar os refrescos, sucos e café, com os 500 gramas então existentes. Procedendo da mesma forma, na décima semana restaram cerca de 4 g de açúcar, que não dariam para adoçar um cafezinho. Essa quantidade de açúcar não faria mais o efeito de adoçar e nem seria percebida. No exemplo citado, a meia-vida do açúcar é de uma semana e, decorridas 10 semanas, praticamente não haveria mais açúcar, ou melhor, a atividade adoçante do açúcar não seria notada. No entanto, se, ao invés de 4 kg, a família tivesse feito um estoque de 200 kg, após 10 meias-vidas, ainda restaria uma quantidade considerável de açúcar.

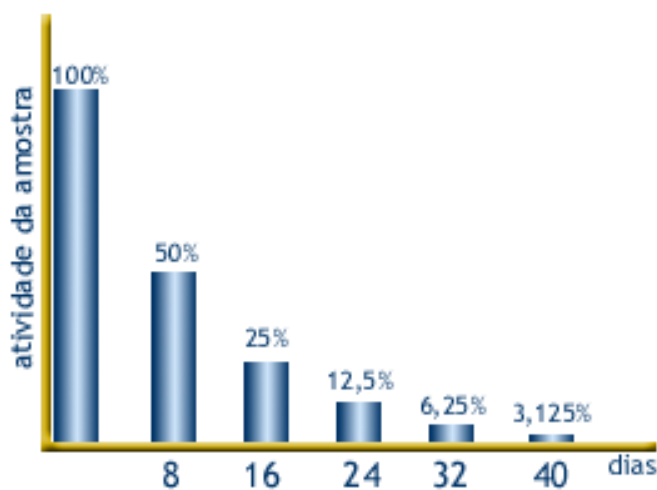


Se o racionamento fosse de sal, a meia-vida do sal seria maior, por que a quantidade de sal que se usa na cozinha é muito menor do que a de açúcar. De fato, leva-se muito mais tempo para gastar 4 kg de sal do que 4kg de açúcar, para uma mesma quantidade de pessoas (consumidores).

### UM EXEMPLO PRÁTICO

Vejamos o caso do iodo-131, utilizado em Medicina Nuclear para exames de tireóide, que possui a meia-vida de oito dias. Isso significa que, decorridos 8 dias, atividade ingerida pelo paciente será reduzida à metade. Passados mais 8 dias, cairá à metade desse valor, ou seja,  $\frac{1}{4}$  da atividade inicial e assim sucessivamente. Após 80 dias (10 meias-vidas), atingirá um valor cerca de 1000 vezes menor.

Entretanto, se for necessário aplicar-se uma quantidade maior de iodo-131 no paciente, não se poderia esperar por 10 meias-vidas (80 dias), para que a atividade na tireóide tivesse um valor desprezível. Isso inviabilizaria os diagnósticos que utilizam material radioativo, já que o paciente seria uma fonte radioativa ambulante e não poderia ficar confinado durante todo esse período.



Para felicidade nossa, o organismo humano elimina rápida e naturalmente, via fezes, urina e suor, muitas das substâncias ingeridas. Dessa forma, após algumas horas, o paciente poderá ir para casa, sem causar problemas para si e para seus familiares. Assim, ele fica liberado mas o iodo-131 continua seu decaimento normal na urina armazenada no depósito de rejeito hospitalar, até que possa ser liberado para o esgoto comum.

## **AS FAMÍLIAS RADIOATIVAS**

Na natureza existem elementos radioativos que realizam transmutações ou “desintegrações” sucessivas, até que o núcleo atinja uma configuração estável. Isso significa que, após um decaimento radioativo, o núcleo não possui, ainda, uma organização interna estável e, assim, ele executa outra transmutação para melhorá-la e, ainda não conseguindo, prossegue, até atingir a configuração de equilíbrio.

Em cada decaimento, os núcleos emitem radiações dos tipos alfa, beta e/ou gama e cada um deles é mais “organizado” que o núcleo anterior. Essas seqüências de núcleos são denominadas

### **SÉRIES RADIOATIVAS OU FAMÍLIAS RADIOATIVAS NATURAIS.**

No estudo da radioatividade, constatou-se que existem apenas 3 séries ou famílias radioativas naturais, conhecidas como

### **Série do Urânio, Série do Actínio e Série do Tório.**

A Série do Actínio, na realidade, inicia-se com o urânio-235 e tem esse nome, porque se pensava que ela começava pelo actínio-227.

As três séries naturais terminam em isótopos estáveis do chumbo, respectivamente,

### **chumbo-206, chumbo-207 e chumbo-208.**

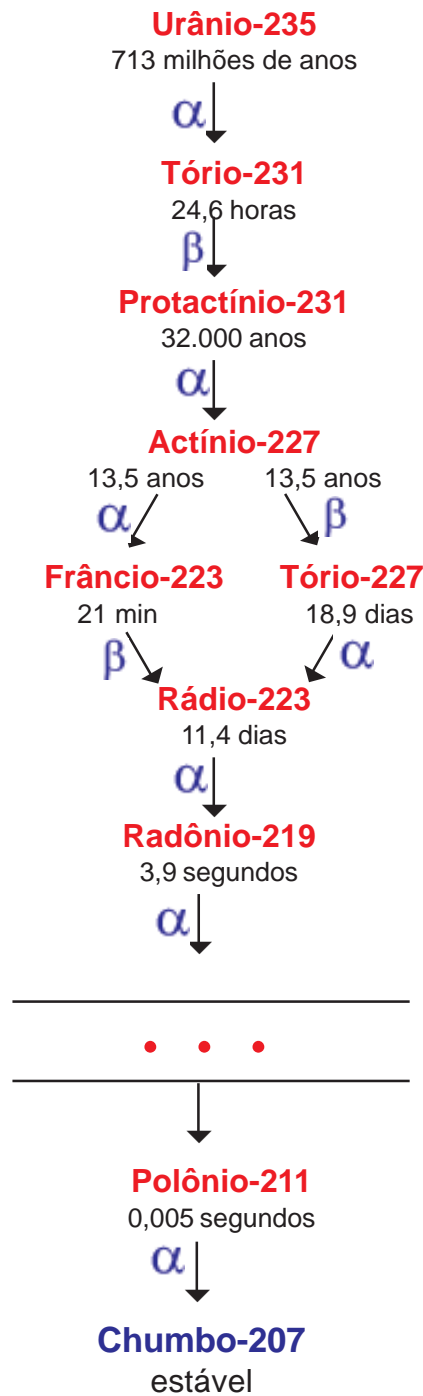
Os principais elementos das séries acima mencionadas são apresentados no quadro a seguir.

## SÉRIES RADIOATIVAS NATURAIS

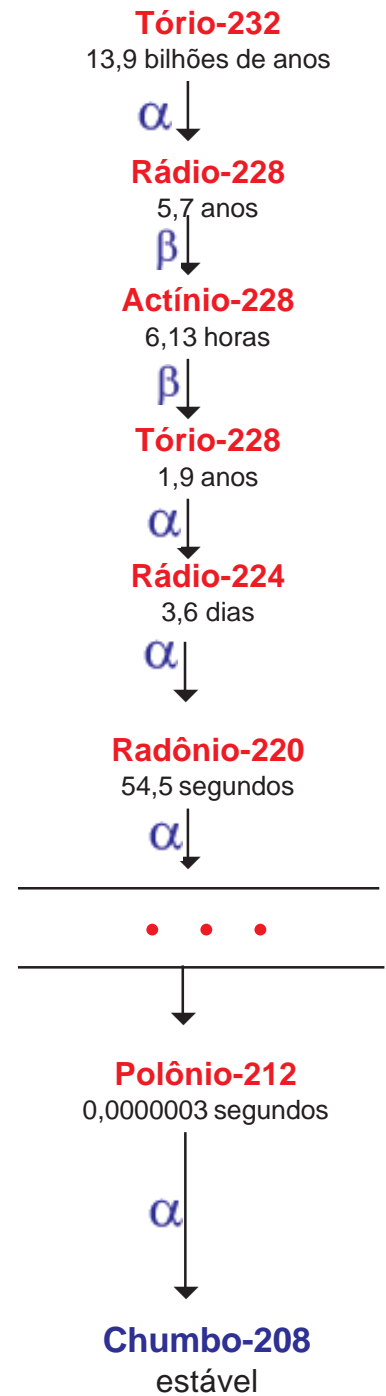
### SÉRIE DO URÂNIO



### SÉRIE DO ACTÍNIO



### SÉRIE DO TÓRIO



Alguns elementos radioativos têm meia-vida muito longa, como, por exemplo, os elementos iniciais de cada série radioativa natural (urânio-235, urânio-238 e tório-232).

Dessa forma, é possível explicar, porque há uma porcentagem tão baixa de urânio-235 em relação à de urânio-238. Como a meia-vida do **urânio-235** é de **713 milhões** de anos e a do **urânio-238** é de **4,5 bilhões de anos**, o urânio-235 decai muito mais rapidamente e, portanto, é muito mais “consumido” que o urânio-238.

Com o desenvolvimento de reatores nucleares e máquinas aceleradoras de partículas, muitos radioisótopos puderam ser “fabricados” (produzidos), utilizando-se isótopos estáveis como matéria prima. Com isso, surgiram as **Séries Radioativas Artificiais**, algumas de curta duração.

## **O LIXO ATÔMICO**

Os materiais radioativos produzidos em Instalações Nucleares (Reatores Nucleares, Usinas de Beneficiamento de Minério de Urânio e Tório, Unidades do Ciclo do Combustível Nuclear), Laboratórios e Hospitais, nas formas sólida, líquida ou gasosa, que não têm utilidade, não podem ser simplesmente “jogados fora” ou “no lixo”, por causa das radiações que emitem. Esses materiais, que não são utilizados em virtude dos riscos que apresentam, são chamados de **Rejeitos Radioativos**.

Na realidade, a expressão “lixo atômico” é um pleonasmo, porque qualquer lixo é formado por átomos e, portanto, é **atômico**. Ele passa a ter essa denominação popular, quando é radioativo.

---

## TRATAMENTO DE REJEITOS RADIOATIVOS

Os rejeitos radioativos precisam ser tratados, antes de serem liberados para o meio ambiente, se for o caso. Eles podem ser liberados quando o nível de radiação é igual ao do meio ambiente e quando não apresentam toxidez química.

Rejeitos sólidos, líquidos ou gasosos podem ser, ainda, classificados, quanto à atividade, em rejeitos de **baixa, média e alta atividade**.

Os rejeitos de meia-vida curta são armazenados em locais apropriados (preparados), até sua atividade atingir um valor semelhante ao do meio ambiente, podendo, então, ser liberados. Esse critério de liberação leva em conta somente atividade do rejeito. É evidente que materiais de atividade ao nível ambiental mas que apresentam toxidez química para o ser humano ou que são prejudiciais ao ecossistema não podem ser liberados sem um tratamento químico adequado.

Rejeitos sólidos de baixa atividade, como partes de maquinaria contaminadas, luvas usadas, sapatilhas e aventais contaminados, são colocados em sacos plásticos e guardados em tambores ou caixas de aço, após classificação e respectiva identificação. Os produtos de fissão, resultantes do combustível nos reatores nucleares, sofrem tratamento especial em **Usinas de Reprocessamento**, onde são separados e comercializados, para uso nas diversas áreas de aplicação de radioisótopos. Os materiais radioativos restantes, que não têm justificativa técnica e/ou econômica para serem utilizados, sofrem tratamento químico especial e são vitrificados, guardados em sistemas de contenção e armazenados em **Depósitos de Rejeitos Radioativos**.

## **O ACIDENTE EM GOIÂNIA**

O acidente de Goiânia envolveu uma **contaminação radioativa**, isto é, **existência** de material radioativo em lugares onde não deveria estar presente.

Uma fonte radioativa de césio-137 era usada em uma clínica da cidade de Goiânia, para tratamento de câncer. Nesse tipo de fonte, o césio-137 fica encapsulado, na forma de um sal, semelhante ao sal de cozinha, e “guardado” em um recipiente de chumbo, usado como uma blindagem contra as radiações. Após vários anos de uso, a fonte foi desativada, isto é, não foi mais utilizada, embora sua atividade radioativa ainda fosse muito elevada, não sendo permissível a abertura do invólucro e o manuseio da fonte sem cuidados especiais.

Qualquer instalação que utilize fontes radioativas, na indústria, centros de pesquisa, medicina nuclear ou radioterapia, deve ter pessoas qualificadas em Radioproteção, para que o manuseio seja realizado de forma adequada. Locais destinados ao armazenamento provisório de fontes ou rejeitos devem conter tais fontes ou rejeitos com segurança, nos aspectos físico e radiológico, até que possam ser removidos para outro local, com aprovação da CNEN.

A Clínica foi transferida para novas instalações mas o material radioativo não foi retirado, contrariando a Norma da CNEN. Toda firma que usa material radioativo, ao encerrar suas atividades em um local, deve solicitar o cancelamento da autorização para funcionamento (operação), informando o destino a ser dado a esse material. A simples comunicação do encerramento das atividades não exime a empresa da responsabilidade e dos cuidados correspondentes, até o recebimento pela CNEN.

Duas pessoas “retiraram sem autorização” o equipamento do local abandonado, que servia de abrigo e dormitório para mendigos.

A blindagem foi destroçada, deixando à mostra um pó azul brilhante, muito bonito, principalmente no escuro. E o “pozinho brilhante” foi distribuído para várias pessoas, inclusive crianças...

O material que servia de blindagem foi vendido a um ferro velho. O material radioativo foi-se espalhando pela vizinhança e várias pessoas foram contaminadas. A CNEN foi chamada a intervir e iniciou um processo de descontaminação de ruas, casas, utensílios e pessoas.

O acidente radioativo de Goiânia resultou na morte de quatro pessoas, dentre 249 contaminadas. As demais vítimas foram descontaminadas e continuaram em observação, não tendo sido registrados, até o momento, efeitos tardios provenientes do acidente.

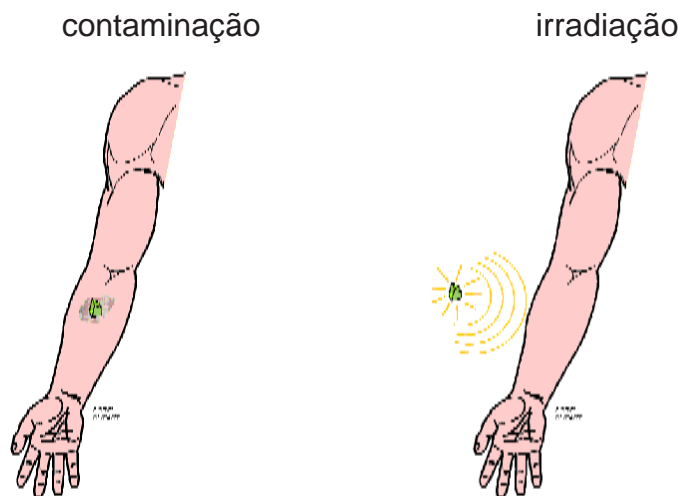
Um dos atingidos, uma senhora, deu à luz uma criança perfeitamente sadia.



## CONTAMINAÇÃO E IRRADIAÇÃO

É importante esclarecer a diferença entre **contaminação radioativa** e **irradiação**.

Uma **contaminação**, **radioativa ou não**, caracteriza-se pela **presença indesejável** de um material em determinado local, onde não deveria estar.



A **irradiação** é a **exposição** de um objeto ou um corpo à radiação, o que pode ocorrer a alguma distância, sem necessidade de um contato íntimo.

**Irradiar, portanto, não significa contaminar.** Contaminar com material radioativo, no entanto, implica em irradiar o local, onde esse material estiver.

Por outro lado, a descontaminação consiste em retirar o contaminante (material indesejável) da região onde se localizou. A partir do momento da remoção do contaminante, não há mais irradiação.

**Irradiação não contamina mas contaminação irradia.**

**Importante:** a irradiação por fontes de césio-137, cobalto-60 e similares **não torna** os objetos ou o corpo humano radioativos.

## **A DESCONTAMINAÇÃO EM GOIÂNIA**

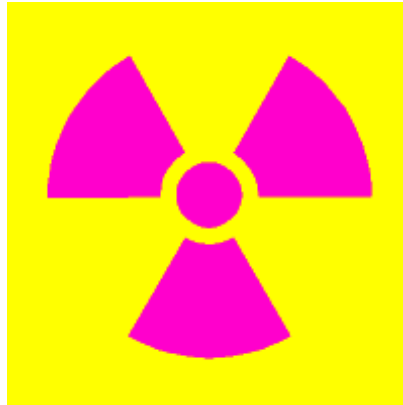
Como foi mencionado, o “pó brilhante” foi distribuído para várias pessoas, inclusive crianças, o que resultou em irradiação dos envolvidos. Móveis, objetos pessoais, casas (pisos e paredes) e até parte da rua foram contaminados com césio-137.

No caso das pessoas, procedeu-se a um processo de descontaminação, interna e externamente, o que foi feito com sucesso, com exceção das 4 vítimas fatais imediatas. Aquele que poderia ser a quinta vítima, por ter sido altamente contaminado (e que foi descontaminado), morreu de cirrose hepática e não em decorrência do acidente.

Quanto aos objetos (móveis, eletrodomésticos etc.), foram tomadas providências drásticas, em razão da expectativa altamente negativa e dos temores da população. Móveis e utensílios domésticos foram considerados rejeitos radioativos e como tal foram tratados. Casas foram demolidas e seus pisos, após removidos, passaram também a ser rejeitos radioativos. Parte da pavimentação das ruas foi retirada. Estes rejeitos radioativos sólidos foram temporariamente armazenados em embalagens apropriadas, enquanto se aguardava a construção de um repositório adequado.

A CNEN estabeleceu, em 1993, uma série de procedimentos para a construção de dois depósitos com a finalidade de abrigar, de forma segura e definitiva, os rejeitos radioativos decorrentes do acidente de Goiânia. O primeiro, denominado Contêiner de Grande Porte (CGP), foi construído em 1995, dentro dos padrões internacionais de segurança, para os rejeitos menos ativos.

O segundo depósito, visando os rejeitos de mais alta atividade, concluído em 1997, deverá ser mantido sob controle institucional da CNEN por 50 anos, coberto por um programa de monitoração ambiental, de forma a assegurar que não haja impacto radiológico no presente e no futuro.



Símbolo da presença de radiação\*.  
Deve ser respeitado, e não temido.

*\* Trata-se da presença de radiação acima dos valores encontrados no meio ambiente, uma vez que a radiação está presente em qualquer lugar do planeta.*