

RADIOBIOLOGIA, EMERGÊNCIA, TRANSPORTE E REJEITO

Prof. Luciano Santa Rita

E-mail: tecnólogo@lucianosantarita.pro.br

Site: www.lucianosantarita.pro.br

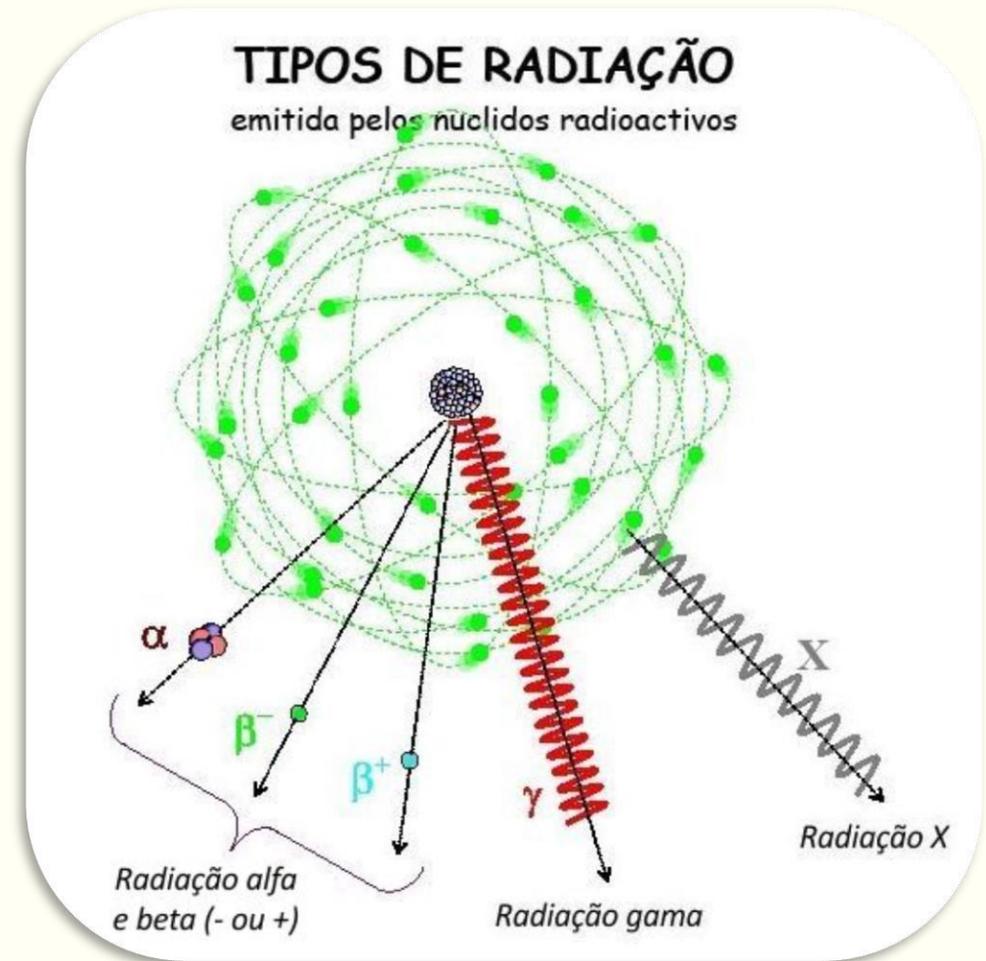


Sumário

- Radiações direta e indiretamente ionizantes
- Interação das radiações eletromagnéticas ionizante com a matéria
- Interação das radiações diretamente ionizantes com a matéria
- Interação da radiação com o tecido biológico, LET e RBE
- Etapas de produção do efeito biológico com a radiação
- Classificação dos efeitos biológicos radioinduzidos
- Síndrome da irradiação aguda
- Fontes de radiação ionizante e suas características
- Categorização de fontes de radiação segundo a AIEA
- Detecção das radiações em situações de emergência
- Segurança radiológica e nuclear
- Ações de resposta a emergência radiológica e nuclear (incluindo transporte e rejeito)

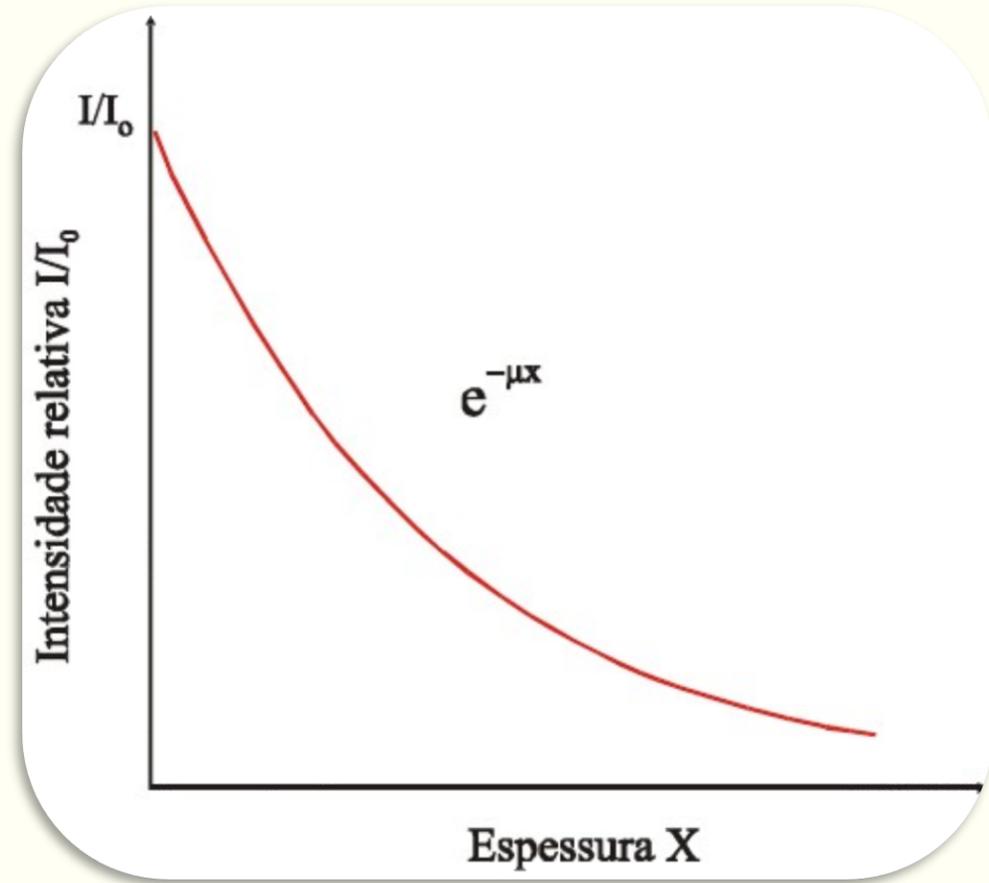
Radiações direta e indiretamente ionizante

- ❑ **Radiações diretamente ionizante:** possuem carga elétrica, ionizam diretamente a matéria. Exemplos: partículas alfa e beta.
- ❑ **Radiações indiretamente ionizante:** não possuem carga elétrica, transferem sua energia para uma partícula com carga elétrica e esta ioniza a matéria. Exemplos: raios X, raios gama e nêutrons.



Interação das radiações eletromagnéticas ionizantes com a matéria

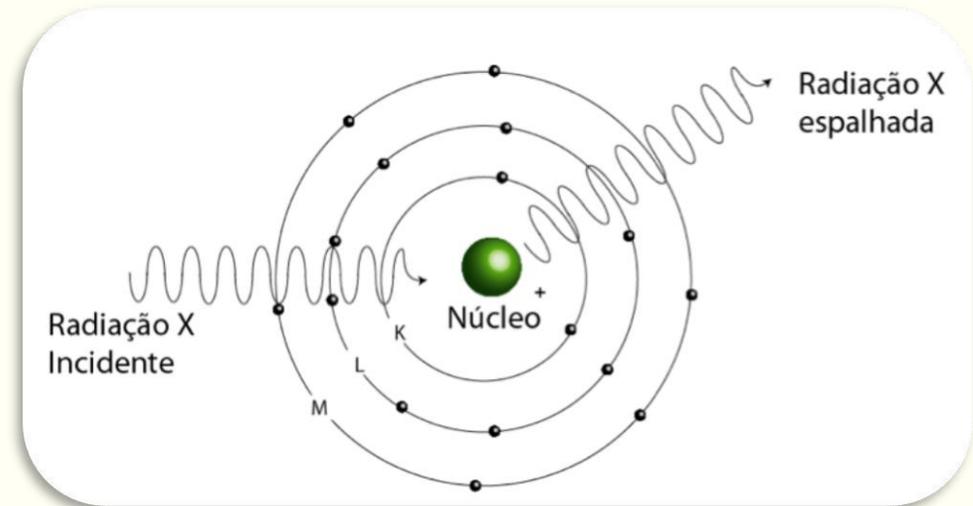
- Espalhamento Coerente
- Efeito fotoelétrico
- Efeito Compton
- Produção de par
- Fotodesintegração



Interação das radiações eletromagnéticas ionizantes com a matéria

□ Espalhamento Coerente

- ❖ Também conhecido por espalhamento Thompson ou clássico.
- ❖ Maior probabilidade de ocorrência com fótons com energia inferior a 10keV.
- ❖ Não há transferência de energia e conseqüentemente não há ionização.
- ❖ Gera uma radiação espalhada com mesmo comprimento de onda do fóton incidente, mas com mudança de direção.



Fonte:
<http://rle.dainf.ct.utfpr.edu.br/hipermidia/index.php>

Interação das radiações eletromagnéticas ionizantes com a matéria

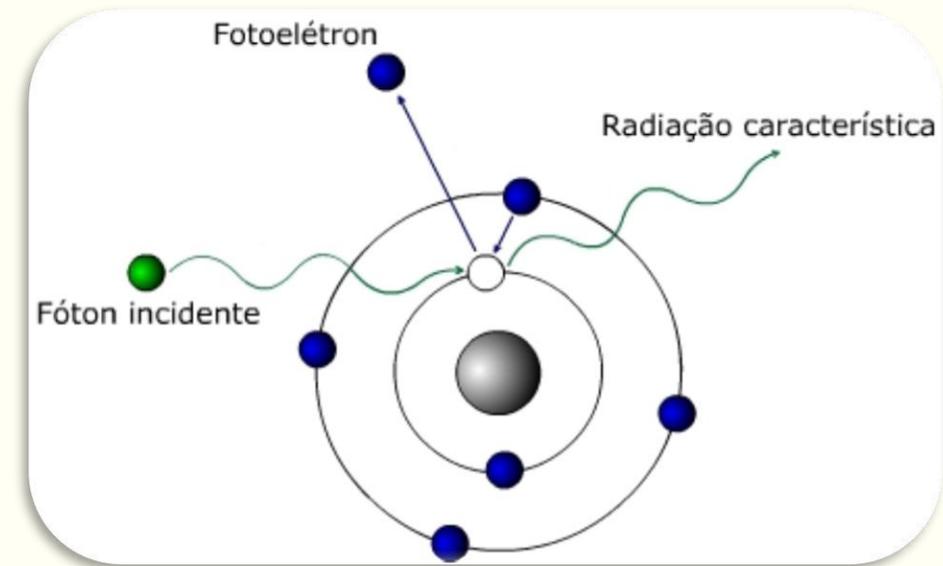
□ Efeito fotoelétrico

- ❖ O efeito fotoelétrico é caracterizado pela transferência total da energia da radiação X ou gama (que desaparece) a um único elétron orbital, que é expelido com uma energia cinética E_c bem definida,

➤ $E_\gamma = E_L + E_C$

- ❖ O efeito fotoelétrico é predominante para baixas energias e para elementos químicos de elevado número atômico Z .

Fonte: Tauhata, 2015



Fonte:
<http://efeitofotoeletricoecompton.webnode.com.br/>

Interação das radiações eletromagnéticas ionizantes com a matéria

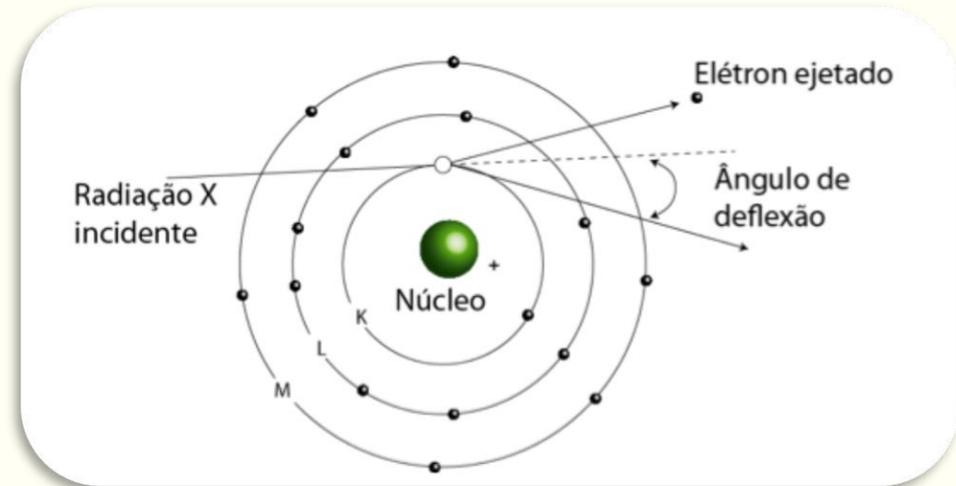
□ Efeito Compton

- ❖ O fóton é espalhado por um elétron de baixa energia de ligação, que recebe somente parte de sua energia, continuando sua sobrevivência dentro do material em outra direção e com menor energia.

➤ $E_{\gamma} = E_L + E_C + E'_{\gamma}$

- ❖ O efeito Compton se torna mais provável quando a energia da radiação gama incidente aumenta de valor, ou quando a energia de ligação do elétron que sofre a incidência possui um valor comparativamente menor.

Fonte: Tauhata, 2015

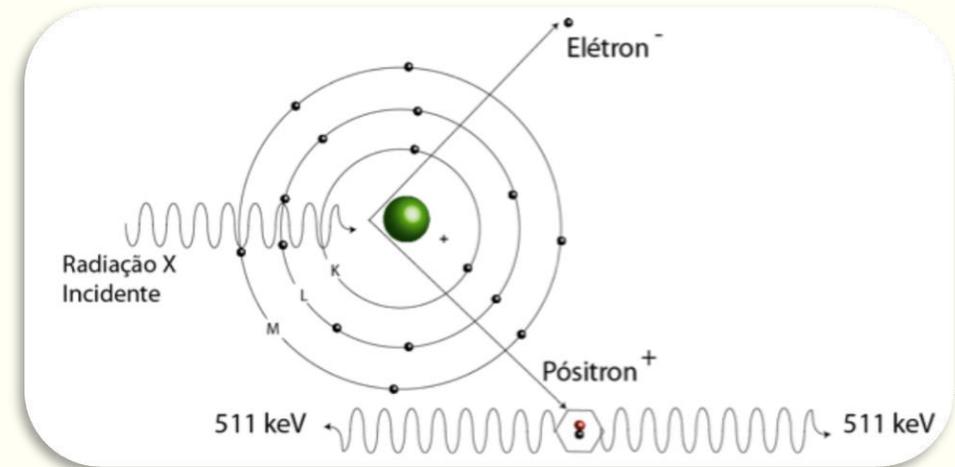


Fonte:
<http://rle.dainf.ct.utfpr.edu.br/hipermidia/index.php>

Interação das Radiações diretamente ionizante com a matéria

□ Produção de Par

- ❖ Uma das formas predominantes de absorção da radiação eletromagnética de alta energia é a produção de par elétron-pósitron.
- ❖ Este efeito ocorre quando fótons de energia superior a 1,022 MeV passam perto de núcleos de número atômico elevado, interagindo com o forte campo elétrico nuclear.
 - $\gamma = e^- + e^+ + \text{energia cinética}$
- ❖ As duas partículas transferem a sua energia cinética para o meio material, sendo que o pósitron volta a se combinar com um elétron do meio e dá origem a 2 fótons, cada um com energia de 511 keV.

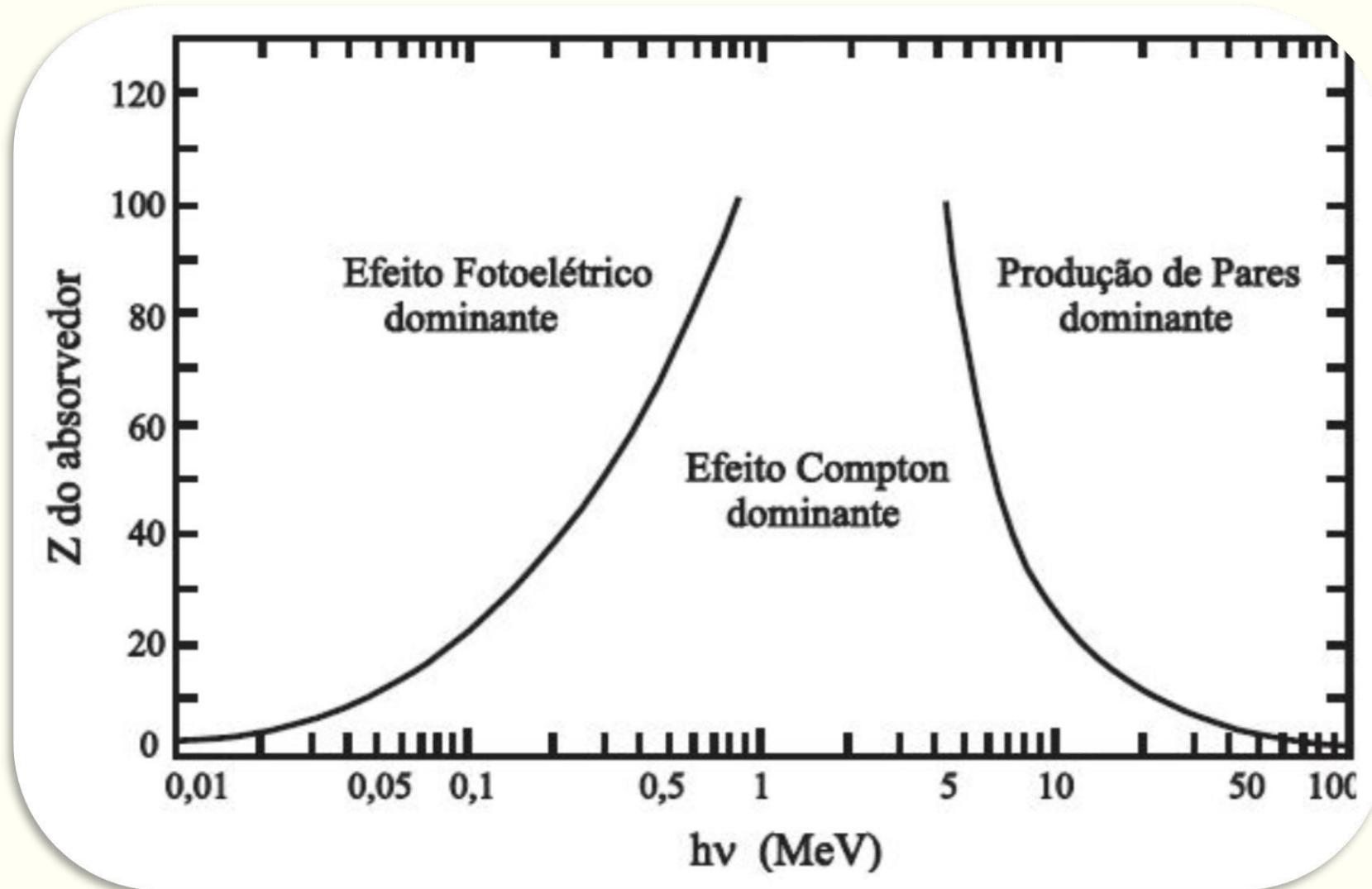


Fonte:
<http://rle.dainf.ct.utfpr.edu.br/hipermidia/index.php>

Interação das radiações eletromagnéticas ionizantes com a matéria

- ❑ As interações fotoelétricas predominam para todos os materiais em energias de fótons suficientemente baixas, mas à medida que a energia cresce, o efeito fotoelétrico diminui mais rapidamente que o efeito Compton e este acaba se tornando o efeito predominante.
- ❑ Continuando a aumentar a energia do fóton, ainda que o efeito Compton decresça em termos absolutos, continua aumentando em relação ao efeito fotoelétrico.
- ❑ Acima da energia de alguns MeV para o fóton, a produção de pares passa a ser a principal contribuição para as interações de fótons.
- ❑ A Figura a seguir mostra a variação da participação de cada um desses processos para a variação de Z e da energia dos fótons.

Interação das radiações eletromagnéticas ionizantes com a matéria



Interação das radiações diretamente ionizante com a matéria

- ❑ As radiações denominadas de diretamente ionizantes incluem todas as partículas carregadas, leves ou pesadas, emitidas durante as transformações nucleares.
- ❑ Ao atravessar um material, a partícula carregada transfere sua energia por meio dos processos de colisão e freamento.
- ❑ Com as constantes colisões e eventual emissão de radiação de freamento, as partículas carregadas penetram num meio material até que sua energia cinética entre em equilíbrio térmico com as partículas do meio, estabelecendo um alcance R no meio absorvedor, após um percurso direto ou em zig-zag.
- ❑ As partículas pesadas, como alfa e fragmentos de fissão, têm uma trajetória praticamente em linha reta dentro do material, ao contrário da dos elétrons que é quase aleatória.
- ❑ Para cada tipo de partícula pode-se definir um **alcance**, utilizando variações da definição provenientes de dificuldades experimentais em sua determinação.

Interação das radiações diretamente ionizante com a matéria

□ Alcance médio

- ❖ Definido como a espessura R_m de qualquer material que é capaz de reduzir a intensidade de radiação inicial pela metade ($I/I_0 = I_0/2$).

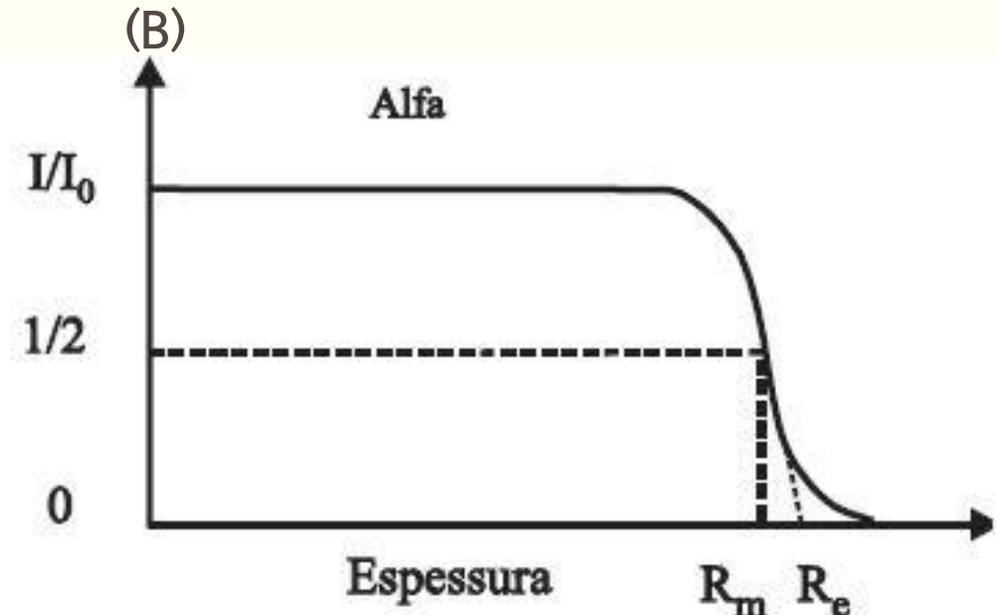
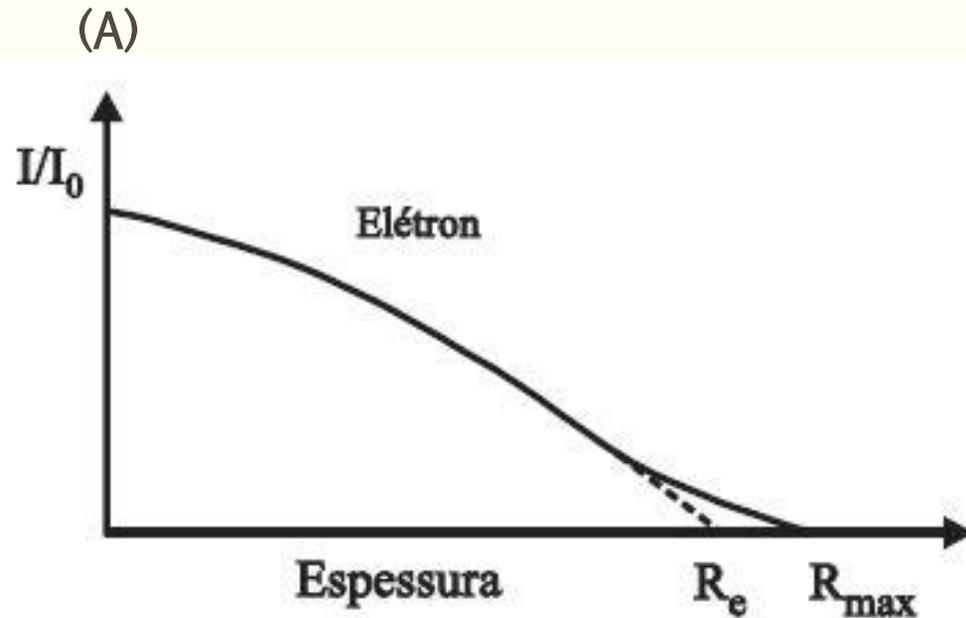
□ Alcance extrapolado

- ❖ Chamado R_e , é o valor do alcance R da partícula uma vez que a posição final da mesma não é bem definida. Veja gráfico do slide a seguir.

□ Alcance máximo

- ❖ Corresponde ao maior valor penetrado dentro de um material, por uma partícula, com uma determinada energia, chamado R_{max} .

Interação das radiações diretamente ionizante com a matéria

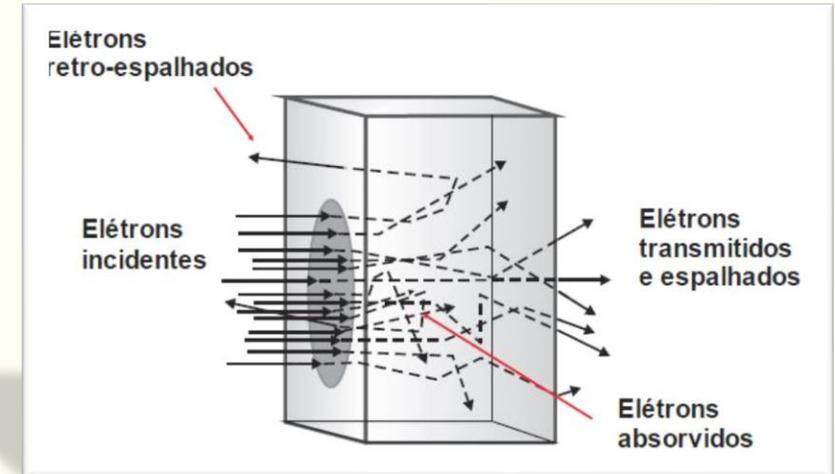


Alcance R_m , R_e e R_{max} para partículas alfa e elétrons

Interação das radiações diretamente ionizante com a matéria

□ Interação de elétrons com a matéria

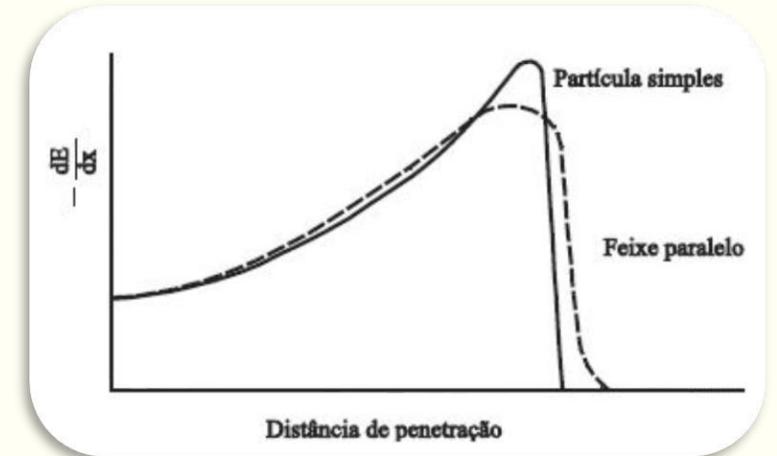
- ❖ Elétrons perdem energia principalmente pelas ionizações que causam no meio material e, em segunda instância, pela produção de radiação de freamento (bremsstrahlung). Como são relativamente leves, sua trajetória é irregular, podendo ser defletidos para a direção de origem, conforme mostra a figura.
- ❖ Os elétrons que mais penetram no absorvedor são aqueles cuja trajetória foi menos alterada com as interações.
- ❖ O gráfico (A) do slide anterior representa o alcance para elétrons monoenergéticos.



Espalhamento de elétrons em um material.

Interação das radiações diretamente ionizante com a matéria

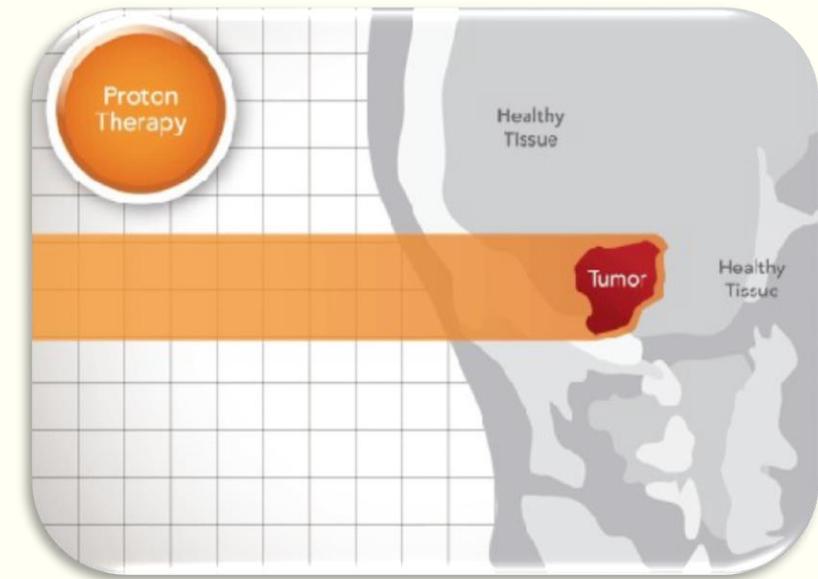
- As partículas α perdem energia basicamente por ionização, e 3 regiões podem ser destacadas:
- A partícula α , inicialmente com grande velocidade, interage por pouco tempo com os elétrons, assim, a ionização é pequena e quase constante;
 - À medida que a partícula α vai perdendo velocidade, interage mais fortemente com os elétrons do meio e o poder de ionização vai aumentando até chegar a um máximo, quando captura um elétron do meio, e passa do íon $+2$ para um íon $+1$;
 - A carga da partícula α caindo de $+2$ para $+1$, faz o seu poder de ionização cair rapidamente até chegar a zero, quando o íon $+1$ captura um outro elétron e se torna um átomo de hélio, neutro.



Perda de energia (poder de freamento (partícula alfa)

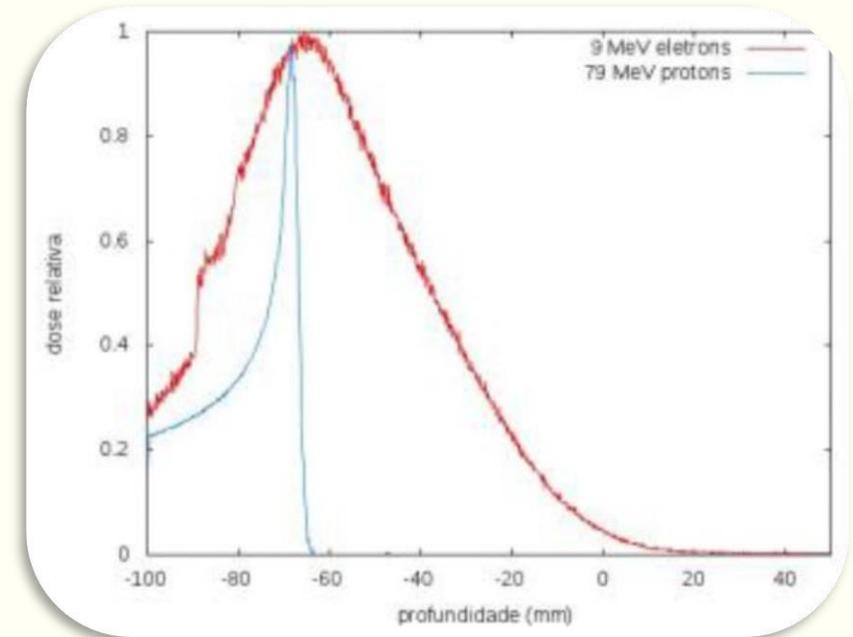
Interação das radiações diretamente ionizante com a matéria

- O próton é 2000 vezes mais pesado que o elétron, permitindo que o feixe não tenha muitos desvios, depositando sua energia de forma mais localizada.
- A maior parte da sua energia é depositada nos últimos milímetros da sua trajetória antes de parar. Este fenômeno é conhecido como o “pico de Bragg” e demonstra que um tratamento radioterápico utilizando feixes de prótons, pode ser muito mais preciso no que diz respeito aos efeitos colaterais no tecido saudável.
- Entretanto, o tratamento com prótons gera nêutrons secundários, e os mesmos tem uma deposição de energia no paciente, ainda que pequena. Essa é uma desvantagem da terapia com prótons.



Interação das radiações diretamente ionizante com a matéria

- A figura apresenta as distribuições de dose para o feixe de prótons e de elétrons.
- O feixe de prótons apresenta uma dose relativa de entrada menor do que os elétrons, demonstrando que a maior concentração de dose será depositada no tumor, ao contrário dos elétrons.
- Percebe-se também que após o tumor, que se encontra na profundidade de -70 mm na figura, a dose relativa do feixe de prótons cai rapidamente, enquanto que o feixe de elétrons mantém uma dose relativa alta após a profundidade de interesse.



Transferência linear de energia - LET

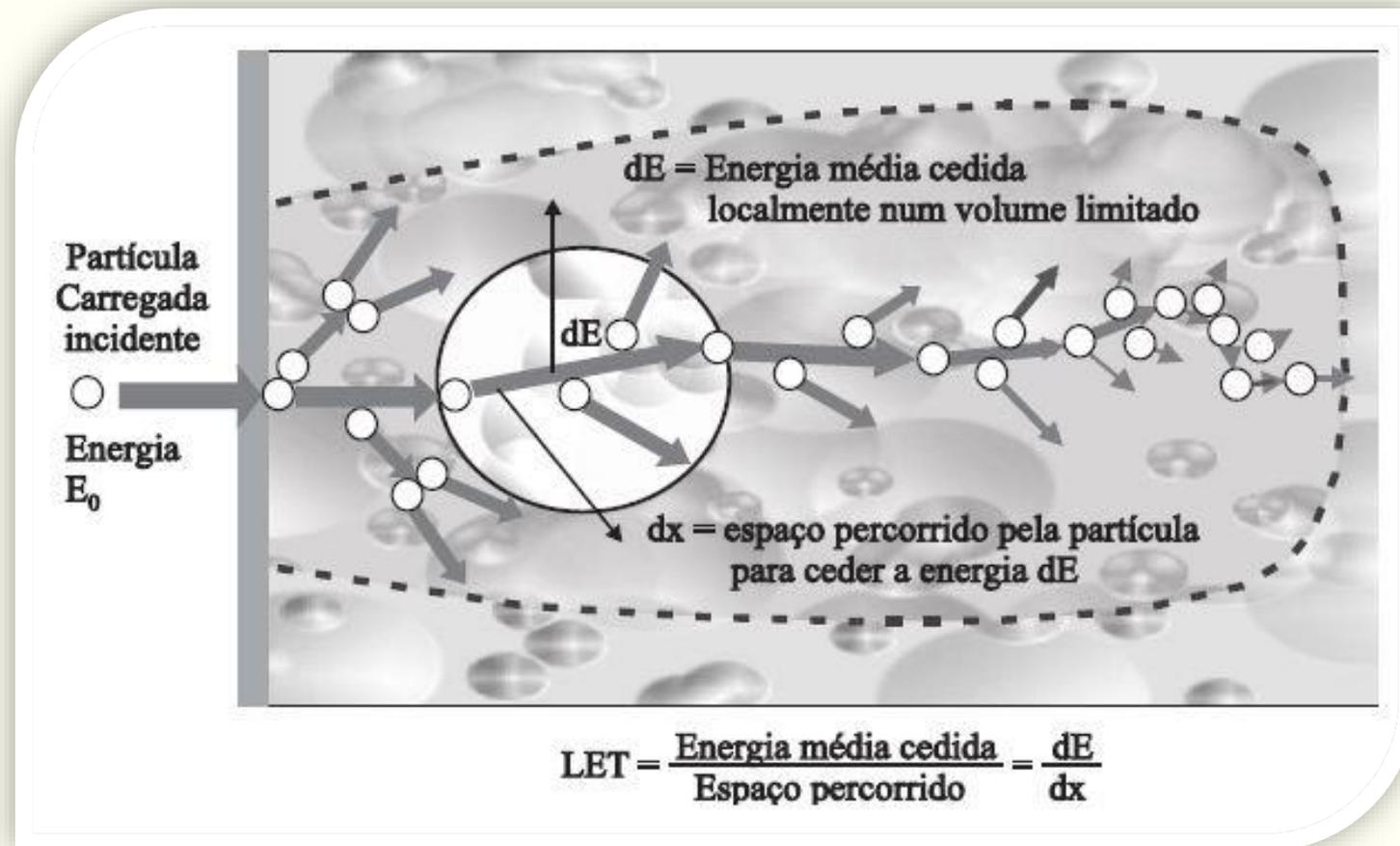
- ❑ Para entender o significado do LET é preciso observar como as partículas carregadas interagem com o meio material. Por exemplo, um elétron, quer gerado após interação de um fóton X ou gama com a matéria, uma radiação beta ou uma partícula proveniente de um acelerador linear, interage basicamente com o campo elétrico de sua carga, influenciado pela sua massa.
- ❑ Sob o ponto de vista físico, o elétron interage com vários elétrons atômicos ao mesmo tempo e, na interação com o elétron mais próximo, eles se afastam sem se tocar, devido ao aumento da repulsão de seus campos elétricos quando a distância entre eles é muito pequena. Neste evento, pode haver transferência ou conversão de energia, resultando em excitação ou ionização do átomo, emissão de radiação de freamento (bremsstrahlung) e mudança de direção da partícula.

Transferência linear de energia - LET

- ❑ Como num material existem muitos elétrons, quando um elétron nele incide, haverá uma série de colisões sequenciais, com correspondentes transferências de energia e mudanças de direção. A energia inicial do elétron incidente vai sendo gradativamente transferida para o material, numa trajetória com a forma de linha quebrada.
- ❑ Além disso, acompanhando o percurso de uma partícula carregada num meio material e o processo de transferência de sua energia, percebe-se que ela não possui um valor fixo de LET. Após cada interação, o valor da energia da partícula é diferente e o valor de dE/dx depende deste valor. O que é chamado de LET constitui um valor médio obtido de um espectro largo de valores.

Transferência linear de energia - LET

- Visualização do processo de transferência de energia (dE) por uma partícula carregada (elétron) em função da distância percorrida (dx) num meio material.



Transferência linear de energia - LET

□ Radiações de baixo LET

- ❖ As radiações consideradas de baixo LET são: raios X, raios γ , β^+ e β^- . Como se sabe, o LET só é definido para radiações constituídas por partículas carregadas. A inclusão dos raios X e da radiação γ se deve ao fato de que, após a primeira interação com a matéria, aparecem elétrons por efeito fotoelétrico, por espalhamento Compton ou por formação de pares. Por isso, tais radiações são também denominadas de indiretamente ionizantes.
- ❖ O comportamento dos efeitos biológicos que resultam em tumores cancerosos é descrito, matematicamente, da seguinte forma para as radiações de baixo LET:
 - Para valores de dose muito baixos, supõe-se que a probabilidade de incidência de câncer seja proporcional à dose absorvida;
 - Na região de doses elevadas, com dados obtidos das vítimas de Hiroshima e Nagasaki, acidentes radiológicos e experiências em laboratório, a probabilidade de incidência de câncer varia, na maioria dos casos, com o quadrado da dose; e
 - Para doses muito elevadas, a probabilidade de indução de câncer decresce devido a alta frequência de morte celular, que impede a evolução para um câncer.

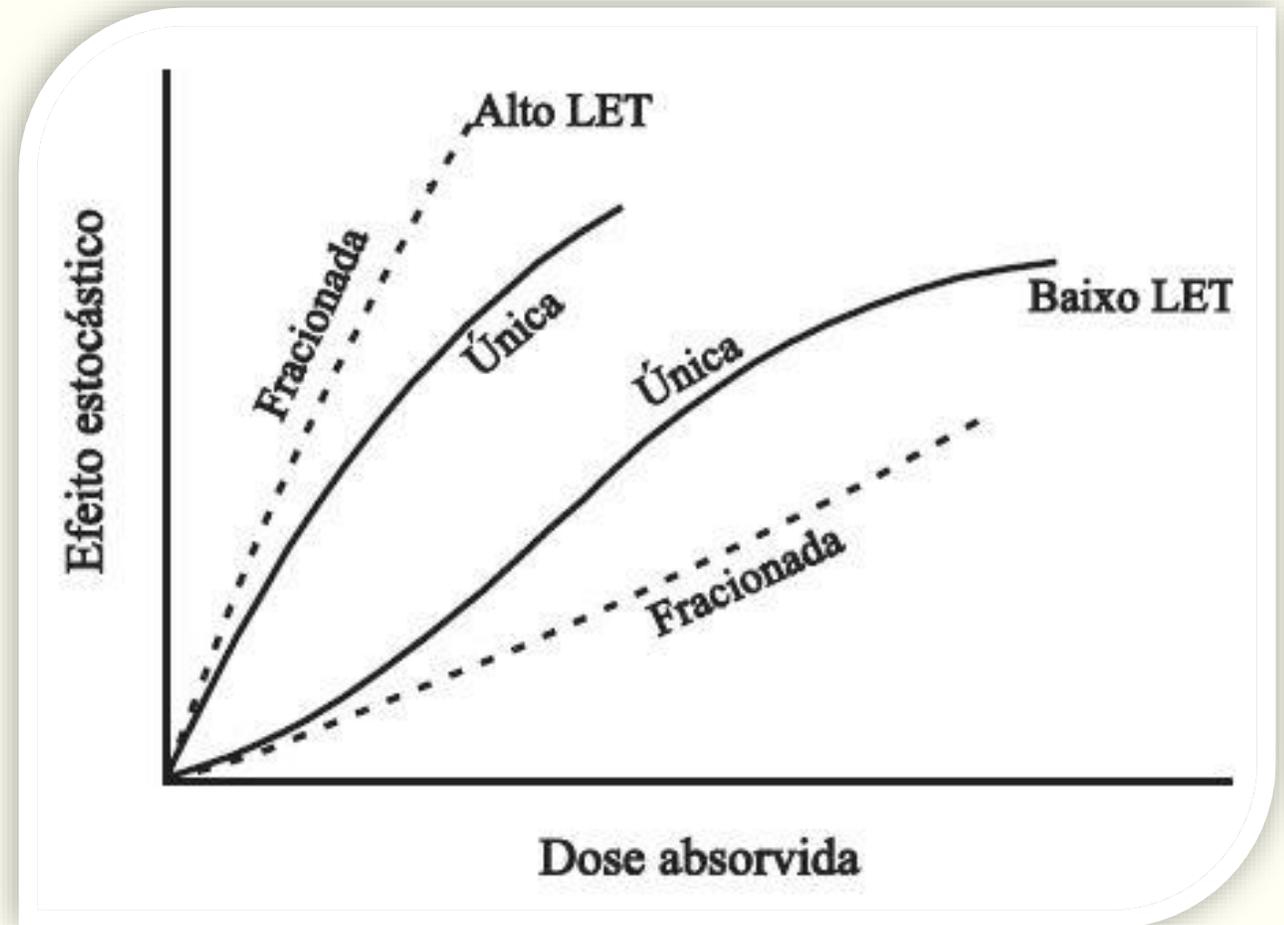
Transferência linear de energia - LET

□ Radiações de alto LET

- ❖ As radiações consideradas de alto LET são aquelas que possuem um alto poder de ionização e uma alta taxa de transferência de energia num meio material. Para o mesmo valor da dose absorvida, são as que induzem maiores danos biológicos. Partículas alfa, íons pesados, fragmentos de fissão e nêutrons são classificados como radiações de alto LET.
- ❖ Para as radiações de alto LET, o fracionamento da dose produz o mesmo efeito ou até o aumenta. As radiações de alto LET causam mais danos por unidade de dose que as de baixo LET.

Transferência linear de energia - LET

- Formas de curvas dose x resposta, para radiações de baixo e alto LET, para indução de efeitos estocásticos.



Radiossensibilidade dos tecidos

□ Efetividade biológica relativa - RBE

- ❖ A influência da qualidade de radiação nos sistemas biológicos pode ser quantificada utilizando a Efetividade Biológica Relativa, Relative Biological Effectiveness (RBE). Para um dado tipo de radiação A e supondo constantes todas as variáveis físicas e biológicas, exceto o tipo de radiação, a RBE é definida pela relação adimensional:

$$RBE(A) = \frac{Dose_{referência}}{Dose_{radiação A}}$$

- ❖ onde, $Dose_{referência}$ é a dose da radiação de referência necessária para produzir um específico nível de resposta e $Dose_{radiaçãoA}$ é a dose da radiação A necessária para produzir igual resposta. Nesta definição, a radiação usada como referência, nem sempre é bem estabelecida. Em muitos experimentos, utilizou-se a radiação X, filtrada, de 250 kVp.

Radiossensibilidade dos tecidos

☐ Efetividade biológica relativa - RBE

- ❖ A rigor, a RBE para uma determinada radiação não é somente dependente do LET, mas também da dose, da taxa de dose, do fracionamento da dose e até da idade da pessoa exposta. Seu valor só é reprodutível para um determinado sistema biológico, tipo de radiação e o conjunto de circunstâncias experimentais. Seus valores dependem então da natureza e condição do material biológico, do estado fisiológico, temperatura, concentração de oxigênio, condições de nutrição e estágio do ciclo celular.
- ❖ A magnitude do efeito e tipo de resposta com a dose também influenciam, pois as curvas de resposta nem sempre são semelhantes e regulares; assim, depende do intervalo de dose em que são comparadas.

Radiossensibilidade dos tecidos

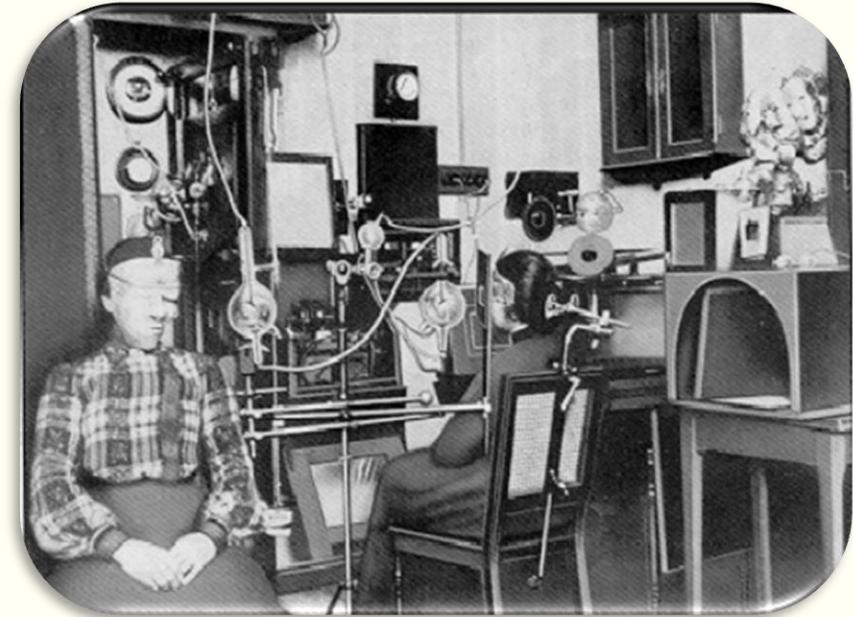
☐ Efetividade biológica relativa - RBE

❖ Tabela - Valores médios do LET e RBE para a água (ICRP-ICRU,1963)

LET médio na Água keV μm^{-1}	RBE
$\leq 3,5$	1
3,5 a 7,0	1 a 2
7,0 a 23	2 a 5
23 a 53	5 a 10
53 a 175	10 a 20

Interação da radiação com o tecido biológico

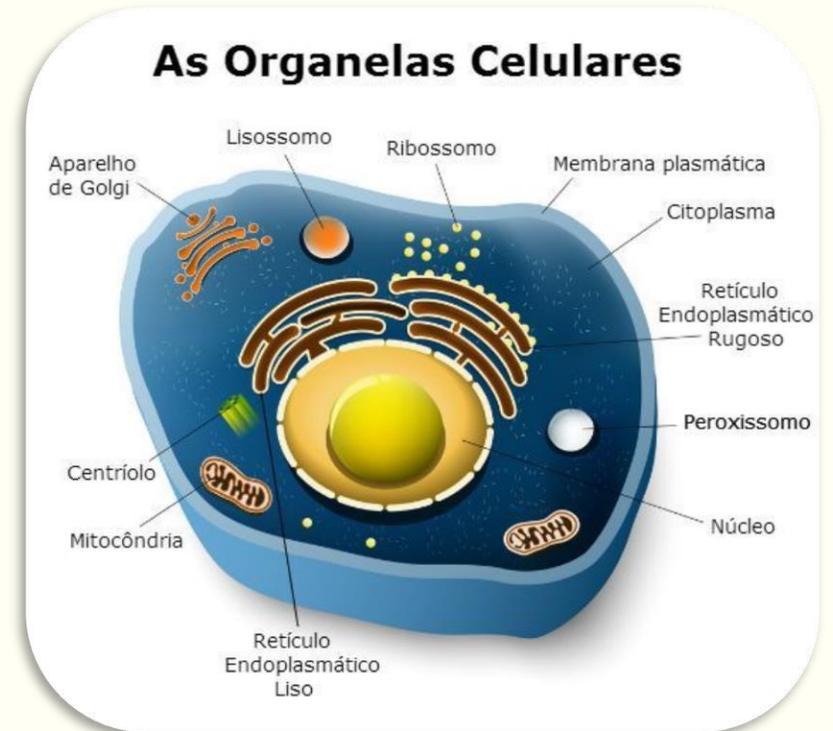
- ❑ Resumo sobre célula
- ❑ Etapas de produção de efeitos radioinduzidos
- ❑ Formas e tipo de irradiação
- ❑ Danos celulares
- ❑ Morte celular
- ❑ Conceito de Detrimento
- ❑ Curva de sobrevivência
- ❑ Detectabilidade epidemiológica



Interação da radiação com o tecido biológico

□ Estrutura de uma célula

- ❖ As células animais apresentam uma estrutura organizada. Elas possuem *três partes básicas: a membrana plasmática, o citoplasma e o núcleo*.
- ❖ A célula animal é envolvida pela *membrana plasmática que delimita o seu conteúdo e controla a entrada e saída de substâncias*. Envolta da membrana plasmática existe o glicocálix, que confere proteção às células animais.
- ❖ No citoplasma encontramos diversas organelas, como os ribossomos, lisossomos, centríolos, mitocôndrias, etc.
- ❖ O *núcleo celular contém o material genético*, na forma de cromossomos. Como a célula animal é eucarionte, o núcleo é delimitado por membrana.
- ❖ As *células animais têm a função de originar tecidos e órgãos* que apresentam funcionalidades complementares. Cada organela presente na célula desempenha uma função específica.



Fonte: <https://www.todamateria.com.br/celula-animal/>

Interação da radiação com o tecido biológico

- **Núcleo Celular:** estrutura esférica onde se encontra o DNA.
- **Nucléolo:** estrutura presente no núcleo das células. Coordena os processos de reprodução celular através da síntese de proteínas.
- **Membrana Plasmática:** estrutura celular fina que delimita a célula sendo responsável pela saída e entrada de substâncias. Assim, ela tem a função de proteger as estruturas celulares internas.
- **Citoplasma:** região mais volumosa, onde se encontram o núcleo e as organelas celulares.
- **Ribossomos:** estrutura responsável pela produção e síntese de proteínas.
- **Retículo Endoplasmático Liso e Rugoso:** responsáveis pelo transporte de proteínas e a síntese de moléculas orgânicas.
- **Complexo de Golgi:** armazena, modifica e libera substâncias. Exporta proteínas sintetizadas no retículo endoplasmático rugoso e, além disso, origina os lisossomos.
- **Lisossomos:** estruturas responsáveis pela digestão celular.
- **Mitocôndrias:** estrutura responsável pela respiração celular e a produção de energia.
- **Centríolos:** estrutura celular que auxilia na divisão celular (mitose e meiose).
- **Peroxisomos:** estrutura arredondada responsável pelo armazenamento de enzimas.
- **Vacúolos:** responsáveis pela reserva energética e o armazenamento de substâncias.

Etapas da produção do Efeito radioinduzidos

☐Efeito Físico

- ❖ Quando uma pessoa é exposta à radiação ionizante, nos locais atingidos aparecem muitos elétrons e íons livres, radicais produzidos na quebra das ligações químicas e energia cinética adicional decorrentes da transferência de energia da radiação ao material do tecido, por colisão. Para radiações, do tipo raios X e gama, estes efeitos ocorrem de uma maneira mais distribuída devido ao seu grande poder de penetração e modo de interação.

☐Efeito Químico

- ❖ Nesta fase ocorre a radiólise da água e os radicais livres (H^+ e OH^- produzidos), íons e os agentes oxidantes podem atacar moléculas importantes da célula, inclusive as substâncias que compõem o cromossomo.

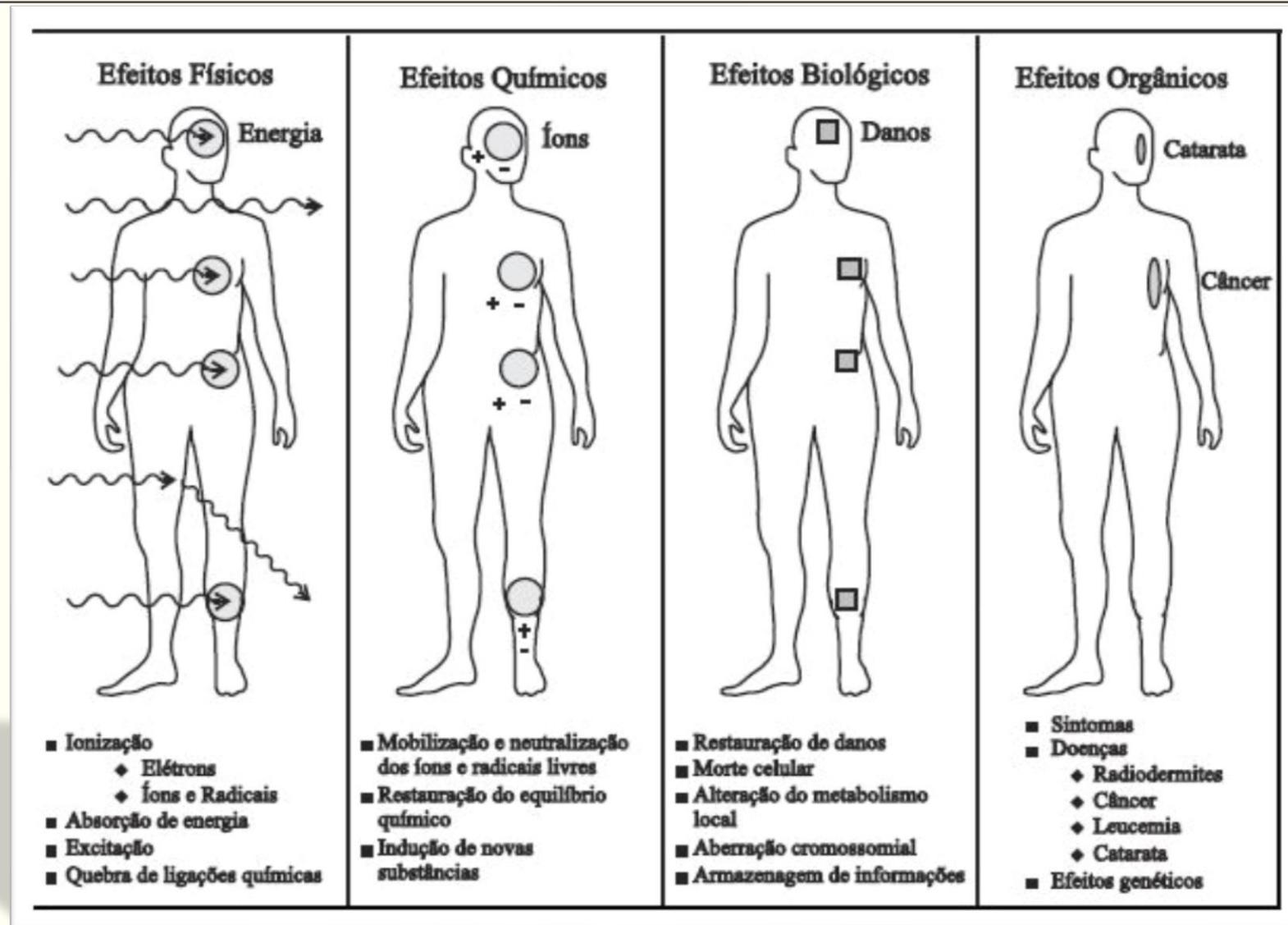
☐Efeito Biológico

- ❖ Esta fase varia de dezenas de minutos até dezenas de anos, dependendo dos sintomas. As alterações químicas provocadas pela radiação podem afetar uma célula de várias maneiras, resultando em: morte prematura, impedimento ou retardo de divisão celular ou modificação permanente que é passada para as células de gerações posteriores.

☐Efeito Orgânico

- ❖ Quando a quantidade ou a frequência de efeitos biológicos produzidos pela radiação começa a desequilibrar o organismo humano ou o funcionamento de um órgão, surgem sintomas clínicos das patologias.

Etapas da produção do Efeito radioinduzidos



Interação da radiação com o tecido biológico

□ Formas e tipo de irradiação

❖ Exposição única, fracionada e periódica

- A exposição do homem ou parte de seus tecidos à radiação, pode ter resultados bastante diferenciados, se ela ocorreu de uma única vez, de maneira fracionada ou se periodicamente.
 - As exposições **únicas** podem ocorrer em exames radiológicos, como por exemplo, uma tomografia;
 - de maneira **fracionada**, como no tratamento radioterápico; ou
 - **periodicamente**, como em certas rotinas de trabalho com material radioativo em instalações nucleares.
- Para uma mesma quantidade de radiação, os efeitos biológicos resultantes podem ser muito diferentes. Ex. Fracionando a dose aumento a percentual de células sobreviventes.

Interação da radiação com o tecido biológico

□ Formas e tipo de irradiação

❖ Exposição de corpo inteiro, parcial e colimada

- Um trabalhador que opera com material ou gerador de radiação ionizante pode expor o corpo todo ou parte dele, durante sua rotina ou num acidente.
- Um operador de gamagrafia sofre irradiação de corpo inteiro, na sua rotina de expor, irradiar a peça, recolher e transportar a fonte.
- Em alguns acidentes, como a perda e posterior resgate da fonte de irradiadores, pode expor mais as extremidades que outras partes do corpo.
- Uma pessoa que manipula radionuclídeos, expõe bastante suas mãos.

Interação da radiação com o tecido biológico

□ Formas e tipo de irradiação

❖ Exposição a feixes intensos, médios e fracos

- Na esterilização e conservação de frutas, especiarias, peixes e carnes, com radiação gama, as doses aplicadas atingem a 10 kilograys (kGy); em radioterapia, a 2 Gy por aplicação. São feixes intensos e capazes de induzir à morte uma pessoa, se aplicados de uma única vez e no corpo todo.
- Os feixes utilizados em radiologia são de intensidade média, comparativamente, pois atingem a alguns miligrays (mGy), e não devem ser recebidos por uma pessoa com muita frequência, sob pena de sofrer algum dano biológico.
- A radioatividade natural induz ao homem doses de radiação da ordem de 1 mGy por ano. Poucos são os efeitos identificáveis e atribuídos exclusivamente à este tipo de radiação.

Interação da radiação com o tecido biológico

□ Formas e tipo de irradiação

❖ Exposição a fótons partículas carregadas e a nêutrons

- A grande maioria das práticas com radiação ionizante envolve fótons provenientes de fontes de radiação gama ou geradores de raios X como as de radiodiagnóstico, radioterapia, radiografia industrial e medição de nível e densidade. Nas instalações nucleares, nos reatores, além dos fótons, existem fluxos de nêutrons gerados na fissão dentro dos elementos combustíveis e alguns medidores de nível, de densidade e instrumentos para prospecção de petróleo, utilizam fontes e geradores de nêutrons.
- Os fótons e nêutrons constituem as radiações mais penetrantes e causam danos biológicos diferentes conforme a taxa de dose, energia e tipo de irradiação se comparada com a interação de partículas carregadas.

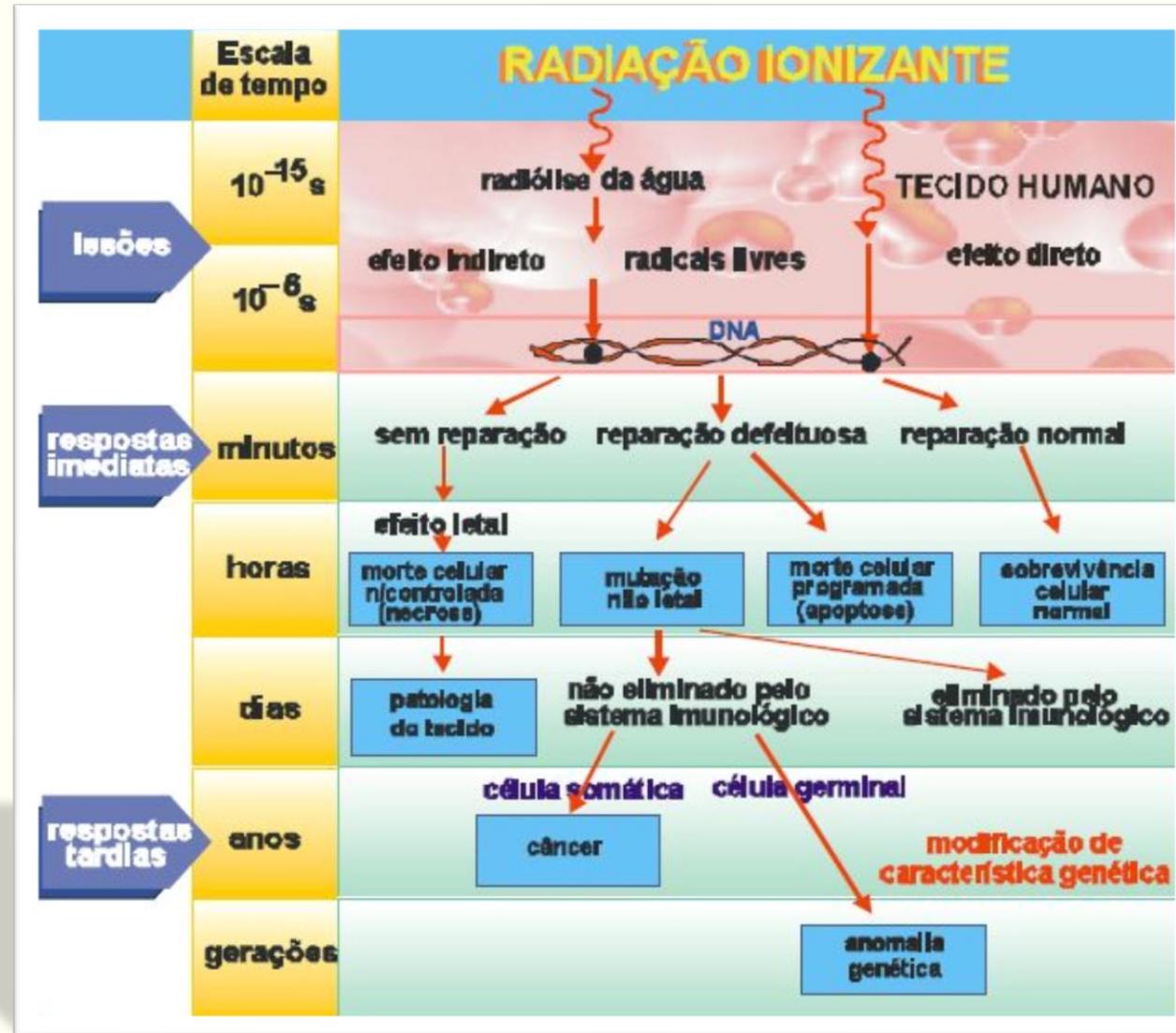
Interação da radiação com o tecido biológico

☐ Danos celulares

- ❖ O processo de ionização ao alterar os átomos, pode alterar a estrutura das moléculas que os contêm.
- ❖ Se as moléculas alteradas compõem uma célula, esta pode sofrer as consequências de suas alterações, direta ou indiretamente, com a produção de radicais livres, íons e elétrons.
- ❖ Os efeitos da radiação dependem da dose, taxa de dose, do fracionamento, do tipo de radiação, do tipo de célula ou tecido e do indicador considerado. Tais alterações nem sempre são nocivas ao organismo humano.
- ❖ Se a substância alterada possui um papel crítico para o funcionamento da célula, pode resultar na alteração ou na morte da célula. Em muitos órgãos e tecidos o processo de perda e reposição celular, faz parte de sua operação normal. Quando a mudança tem caráter deletério, ela significa um dano.
- ❖ Dos danos celulares, os mais importantes são os relacionados à molécula do DNA.

Interação da radiação com o tecido biológico

☐ Danos celulares



Interação da radiação com o tecido biológico

☐ Morte celular

- ❖ Quando a dose de radiação é elevada (vários Gy), muitas células de tecido atingidas podem não suportar as transformações e morrem, após tentativas de se dividir.
- ❖ A perda de células em quantidade considerável, pode causar prejuízos detectáveis no funcionamento do tecido ou órgão.
- ❖ A severidade do dano caracteriza o denominado efeito determinístico, uma vez que o limiar de dose que as células do tecido suportam, foi ultrapassado.

☐ Conceito de Detrimento

- ❖ Ele é a estimativa do prejuízo total que eventualmente seria experimentado por um grupo ou pessoa expostos à radiação, inclusive seus descendentes. Em proteção radiológica envolve a combinação da probabilidade de ocorrência, severidade (gravidade) e tempo de manifestação de um determinado dano.

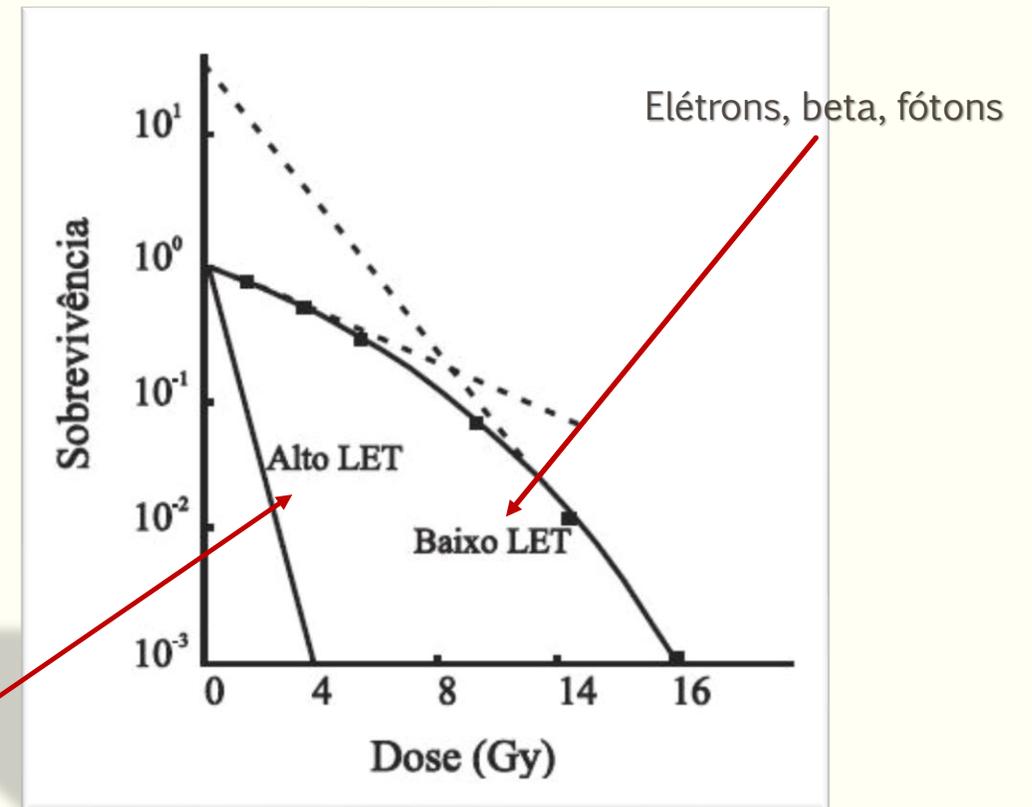
Interação da radiação com o tecido biológico

☐ Curva de sobrevivência

❖ Utilizando radiações de alto e baixo LET, com altas e baixas taxas de dose, pode-se obter o percentual de sobrevivência de células de um tecido ou órgão. E assim obter curvas de sobrevivência para as células.

➤ LET – Transferência linear de energia

Alfa, nêutron, íons pesados



Curva de sobrevivência de células de mamíferos

Interação da radiação com o tecido biológico

□ Detectabilidade epidemiológica

- ❖ É comum as pessoas atribuírem certos tipos de efeitos em uma pessoa ou grupo de pessoas à radiação ionizante devido ao temor difundido que delas possuem ou muitas vezes incrementado ambigualmente pelos meios de comunicação.
- ❖ Entretanto, para se fazer uma atribuição com certo grau de confiabilidade, é preciso que o número de pessoas atingidas com certos valores de dose de radiação, ultrapasse valores mínimos para cada tipo de ocorrência, para se poder afirmar, em termos epidemiológicos, a possibilidade de ocorrência.
- ❖ Estes valores de dose absorvida ou dose efetiva recebida e o número requerido para a garantia de ocorrência de determinado tipo de efeito é denominado de Detectabilidade Epidemiológica.

Interação da radiação com o tecido biológico

☐ Detectabilidade epidemiológica

Detectabilidade epidemiológica			
Câncer na tireoide em crianças		Efeito hereditário	
Dose Absorvida (mGy)	Número de crianças (N)	Dose efetiva (mSv)	Número de pessoas (N)
1	10.000	1	>1.000.000.000.000
10	1.000	10	>10.000.000.000
100	100	100	>100.000.000
		1.000	>1.000.000

Classificação dos efeitos biológicos radioinduzidos

□ Os efeitos radioinduzidos podem receber denominações em função do *valor da dose e forma de resposta*, em função do *tempo de manifestação* e do *nível orgânico* atingido. Assim, em função da dose e forma de resposta, são classificados em estocásticos e determinísticos; em termos do tempo de manifestação, em imediatos e tardios; em função do nível de dano, em somáticos e genéticos (hereditários).

Classificação dos efeitos biológicos radioinduzidos

□ Efeito estocástico

- ❖ São efeitos em que a probabilidade de ocorrência é proporcional à dose de radiação recebida, sem a existência de limiar. Isto significa, que doses pequenas, abaixo dos limites estabelecidos por normas e recomendações de proteção radiológica, podem induzir tais efeitos. Entre estes efeitos, destaca-se o câncer.

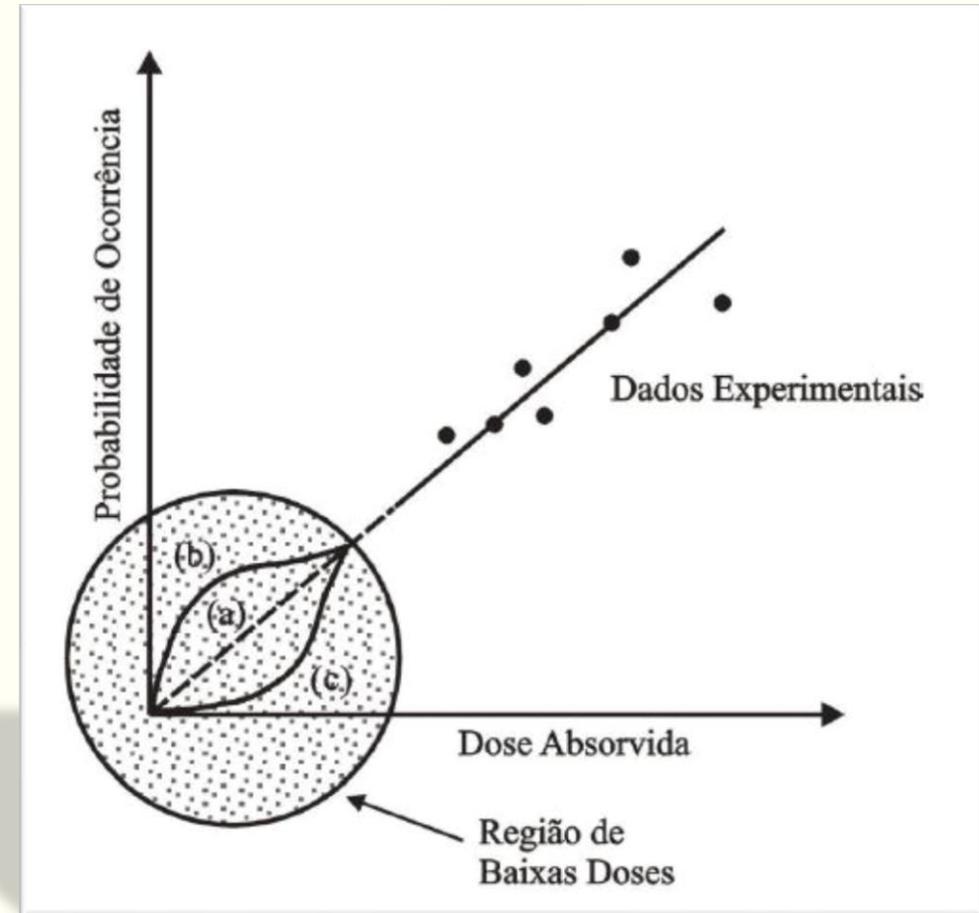
□ Efeito determinístico

- ❖ São efeitos causados por irradiação total ou localizada de um tecido, causando um grau de morte celular não compensado pela reposição ou reparo, com prejuízos detectáveis no funcionamento do tecido ou órgão. *Existe um limiar de dose*, abaixo do qual a perda de células é insuficiente para prejudicar o tecido ou órgão de um modo detectável. Isto significa que, os efeitos determinísticos, são produzidos por doses elevadas, acima do limiar, onde a severidade ou gravidade do dano aumenta com a dose aplicada. *A probabilidade de efeito determinístico, assim definido, é considerada nula para valores de dose abaixo do limiar, e 100%, acima.*

Classificação dos efeitos biológicos radioinduzidos

□ Formas e tipo de irradiação

- ❖ Modelo de extrapolação linear (curva a) para a correlação entre dose-efeito biológico, onde não são contabilizados possíveis efeitos de aumento da probabilidade de ocorrência na região de doses baixas (curva b) ou da existência de limiares ou de fatores de redução da incidência dos efeitos até então desconhecidos (curva c)



Classificação dos efeitos biológicos radioinduzidos

□ Limiares de dose para efeitos determinísticos nas gônadas, cristalino e medula óssea.

TECIDO E EFEITO	LIMIAR DE DOSE		
	Dose Equivalente Total recebida em uma única exposição (Sv)	Dose Equivalente Total recebida numa exposição fracionada ou prolongada (Sv)	Taxa de Dose Anual recebida em exposições fracionadas ou prolongadas por muitos anos (Sv)
<i>Gônadas</i> - esterilidade temporária - esterilidade	0,15 3,5 - 6,0	ND ND	0,40 2,00
<i>Ovários</i> - esterilidade	2,5 - 6,0	6	> 0,2
<i>Cristalino</i> - opacidade detectável - catarata	0,5 - 2,0 5,0	5 > 8	> 0,1 > 0,15
<i>Medula óssea</i> - depressão de hematopoiese	0,5	ND	> 0,4

Classificação dos efeitos biológicos radioinduzidos

☐ Efeito somático

- ❖ Surgem do dano nas células do corpo e o efeito aparece na própria pessoa irradiada. Dependem da dose absorvida, da taxa de absorção da energia da radiação, da região e da área do corpo irradiada.

☐ Efeito genético ou hereditário

- ❖ São efeitos que surgem no descendente da pessoa irradiada, como resultado do dano produzido pela radiação em células dos órgãos reprodutores, as gônadas. Têm caráter cumulativo e independe da taxa de absorção da dose.

☐ Efeito imediato e tardio

- ❖ Os primeiros efeitos biológicos causados pela radiação, que ocorrem num período de poucas horas até algumas semanas após a exposição, são denominados de efeitos imediatos, como por exemplo, a radiodermite. Os que aparecem depois de anos ou mesmo décadas, são chamados de efeitos retardados ou tardios, como por exemplo, o câncer.

Síndrome da irradiação aguda

- ❑ A exposição com feixes externos de radiação e, em alguns casos, com contaminação interna por radionuclídeos, pode resultar em valores elevados de dose absorvida, envolvendo partes do corpo ou todo o corpo. Estas exposições ocorrem em situações de acidente, envolvendo fontes radioativas de alta atividade ou feixes de radiação intensos produzidos por geradores de radiação ionizante, como aceleradores de partícula, reatores e máquinas de raios X.
- ❑ Como resultado destas exposições o organismo humano desenvolve reações biológicas que podem se manifestar sob a forma de sintomas indicativos de alterações profundas provocadas pela radiação, conhecidos como Síndrome de Irradiação Aguda ou, como denominam algumas pessoas, Síndrome de Radiação Aguda. Os sistemas envolvidos são o circulatório, particularmente o tecido hematopoiético; o gastrointestinal e o sistema nervoso central.

Síndrome da irradiação aguda

FORMA	DOSE ABSORVIDA (Gray)	SINTOMAS
Infra-clínica	< 1	Ausência de sintomas, na maioria dos indivíduos
Reações leves generalizadas	1 a 2	Astenia, náuseas e vômitos de 3 a 6 horas após a exposição. Efeitos desaparecendo em 24 horas
Síndrome Hematopoiética Leve	2 a 4	Depressão da função medular (linfopenia, leucopenia, trombopenia, anemia). Máximo em 3 semanas após a exposição e voltando ao normal em 4 a 6 meses.
Síndrome Hematopoiética Grave	4 a 6	Depressão severa da função medular
Síndrome do Sistema Gastrointestinal	6 a 7	Diarreia, vômitos, hemorragias
Síndrome Pulmonar	7 a 10	Insuficiência respiratória aguda
Síndrome do Sistema Nervoso Central	>10	Coma e morte. Horas após a exposição.

A dose letal média fica entre 4 e 4,5 Gy. Isto significa que, de 100 pessoas irradiadas com esta dose, metade morre.

Síndrome da irradiação aguda

TEMPO DE MANIFESTAÇÃO (semanas)	SOBREVIVÊNCIA		
	PROVÁVEL 1 - 3 Gy	POSSÍVEL 4 - 7 Gy	IMPROVÁVEL > 8 Gy
1	Fase latente, nenhum sintoma definido	Náusea, vômito	Náusea, vômito, diarreia, garganta inflamada, úlcera, febre, emagrecimento rápido, morte
2		Depilação, perda de apetite, indisposição, garganta dolorida, diarreia, emagrecimento, morte.	
3	Depilação, perda de apetite, indisposição		
4	Garganta dolorida, diarreia, emagrecimento moderado		

Sintomas de doença resultantes da exposição aguda à radiação ionizante, em função do tempo.

Síndrome da irradiação aguda

Sintomas e sinais no estágio prodrômico e síndrome de irradiação aguda em ordem aproximada de crescente gravidade.

Anorexia (perda de apetite)
Náusea
Vômito
Debilidade e fadiga
Prostração
Diarreia
Conjuntivite
Eritema (vermelhidão cutânea)
Choque (falência aguda da circulação periférica)
Oliguria (redução da excreção urinária)
Ataxia (perda da coordenação dos movimentos)
Desorientação
Coma (alteração grave da vigília - encéfalo)
Morte

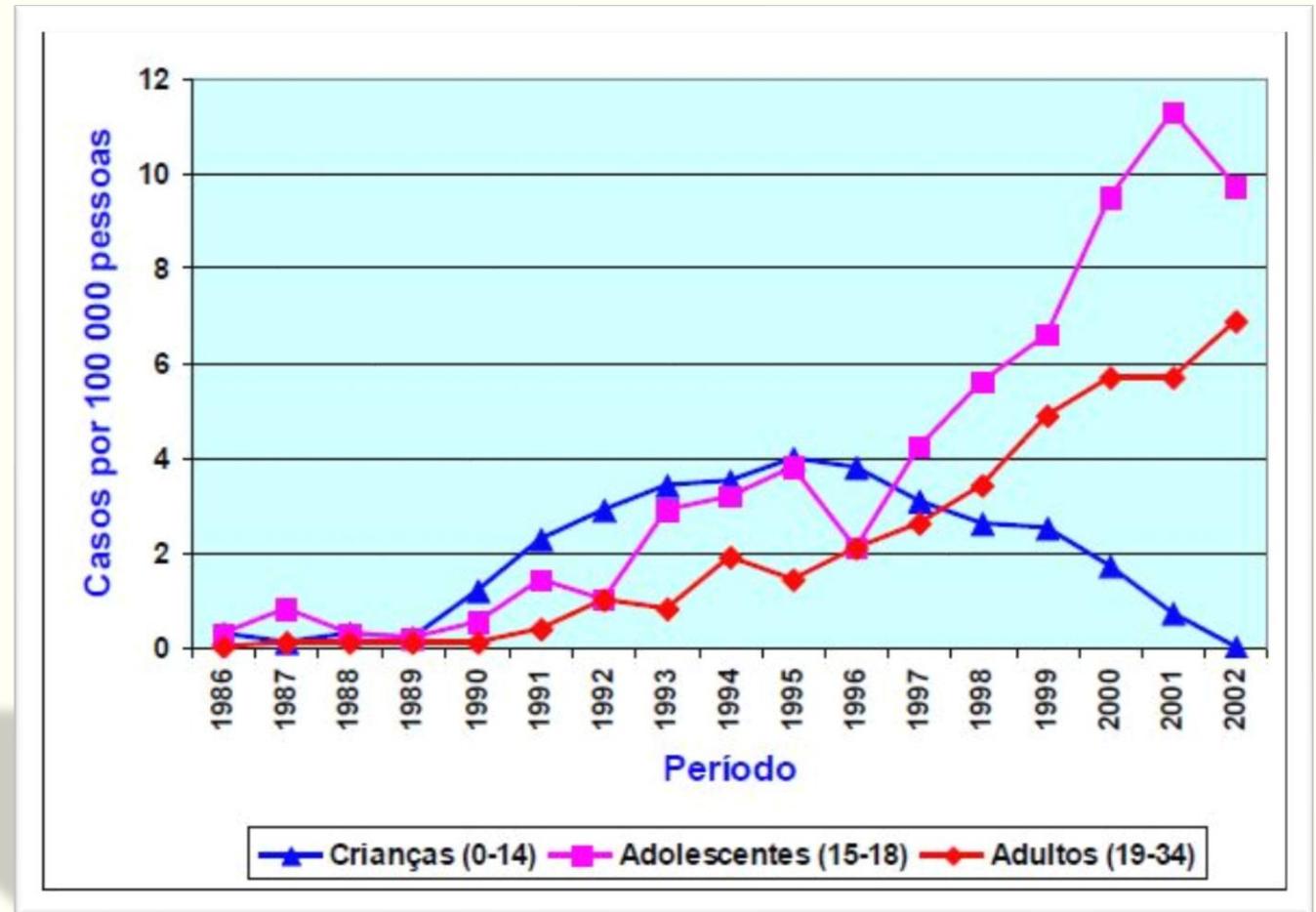
Síndrome da irradiação aguda

	Dose (Gy)	Pacientes tratados em		Falecimentos	Sobreviventes
		Moscou	Kiev		
Média	0,8 – 2,1	23	18	0 (0%)	41
Moderada	2,2 – 4,1	44	6	1 (2%)	49
Severa	4,2 – 6,4	21	1	7 (32%)	15
Muito severa	6,5 - 16	20	1	20 (95%)	1
Total	0,8 - 16	108	26	28	106

Pessoas com Síndrome de Irradiação Aguda irradiadas durante o acidente nuclear de Chernobyl.

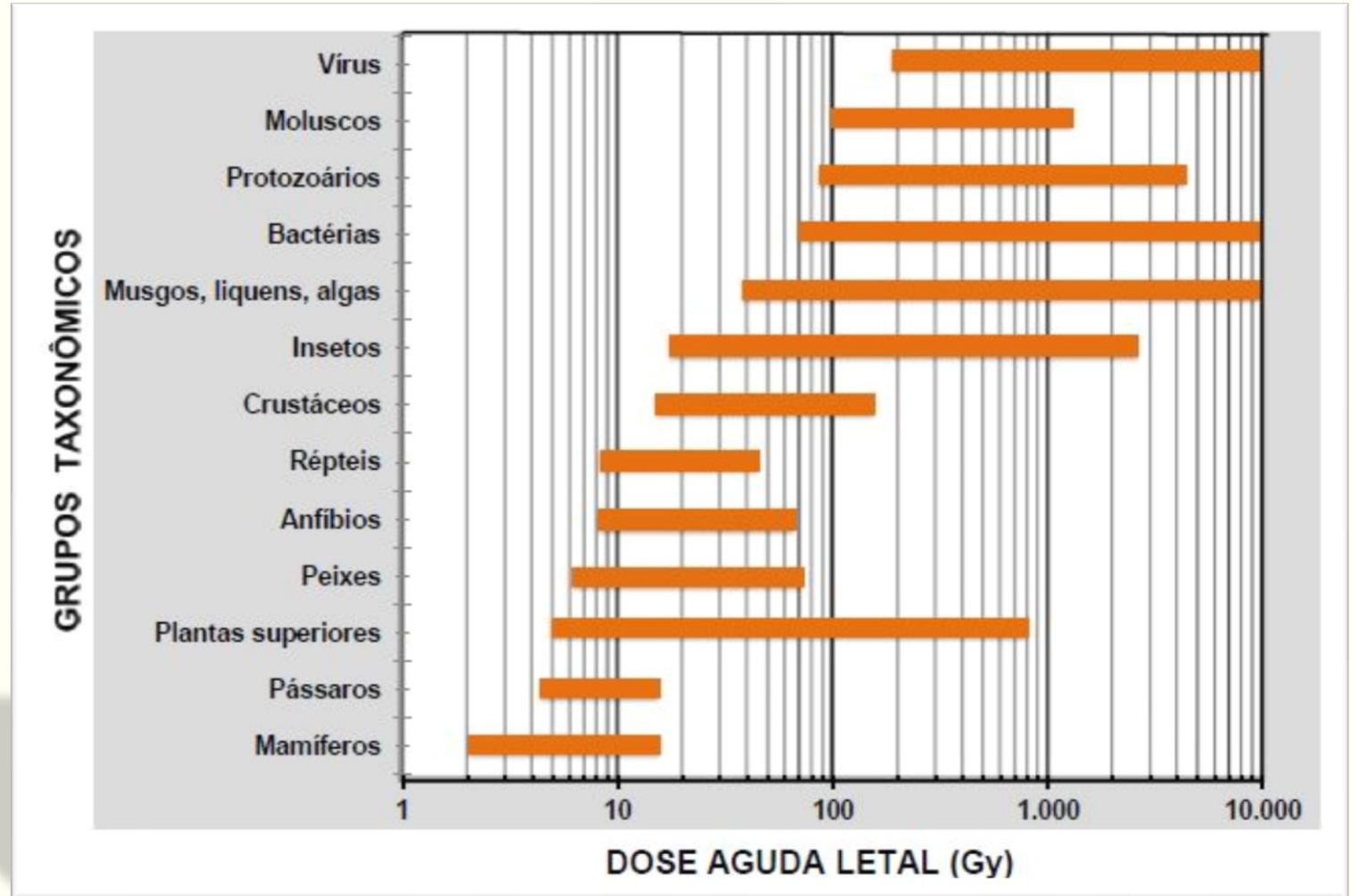
Síndrome da irradiação aguda

Indução de câncer na tireoide na Bielorrússia devido ao acidente nuclear em Chernobyl, em 1986.

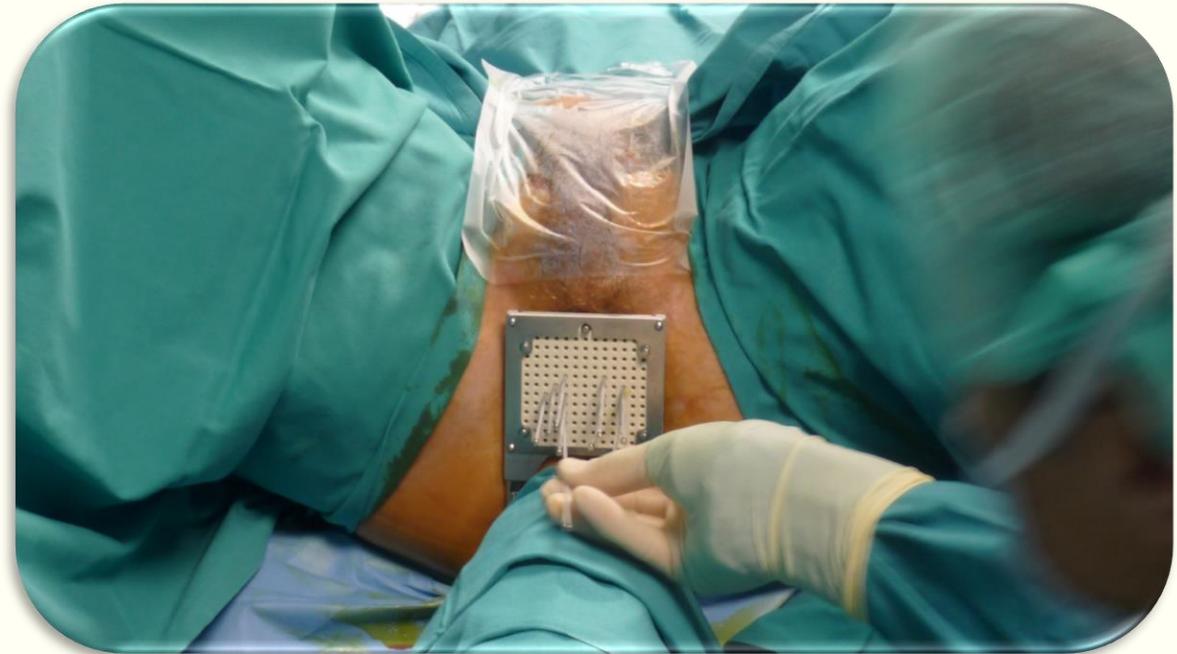
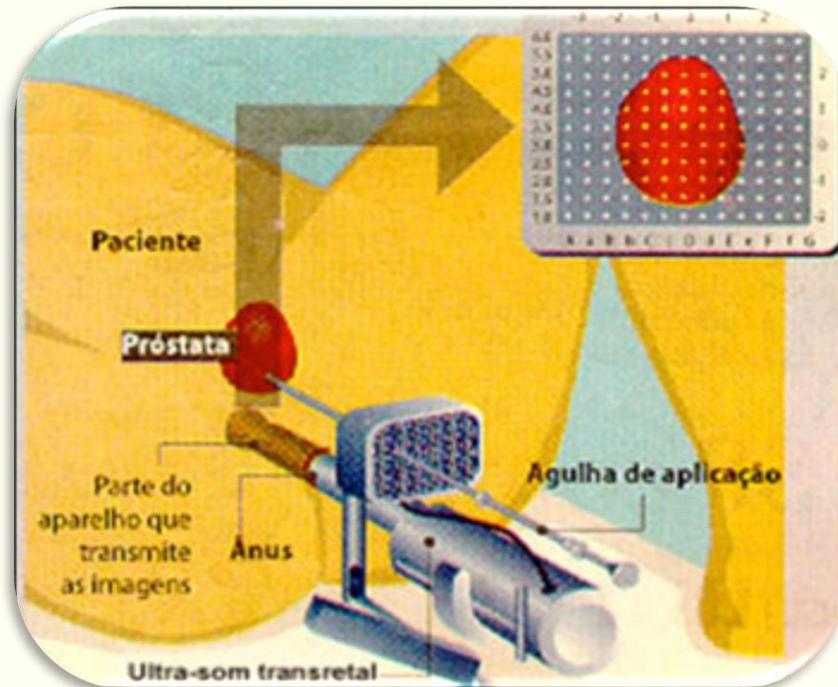


Síndrome da irradiação aguda

Faixas aproximadas de Dose Aguda Letal para vários grupos taxonômicos (UNSCEAR 2008).



Fontes de radiação ionizantes e suas características



□ Braquiterapia LDR – ^{125}I

- ❖ $T_{1/2} = 59,4$ dias
- ❖ implantadas através de agulhas, ou de um aplicador
- ❖ Categoria 4 (AIEA)

Fontes de radiação ionizantes e suas características

Moisture Density Gauge

Direct Transmission

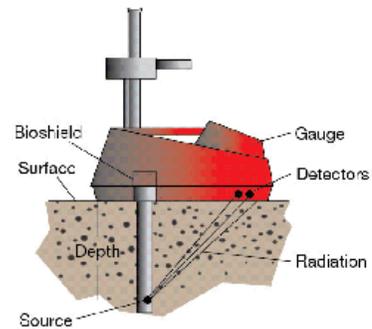
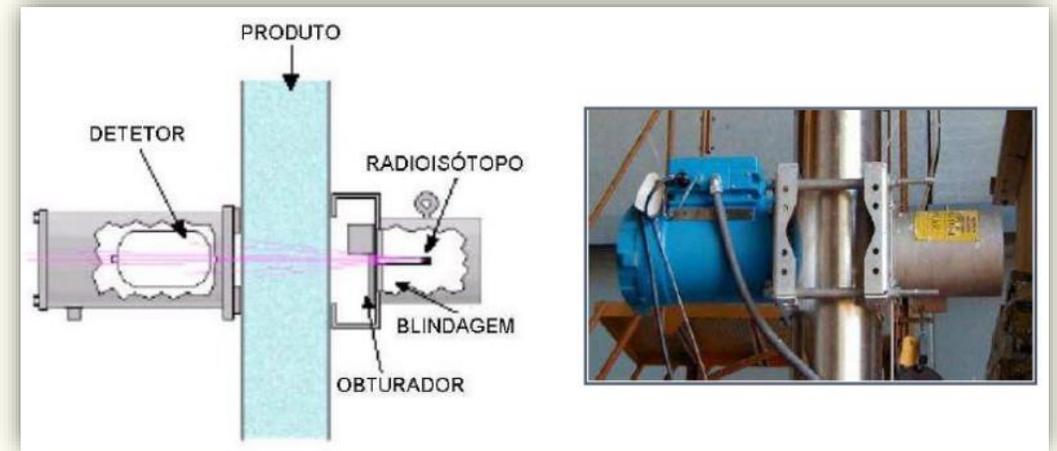
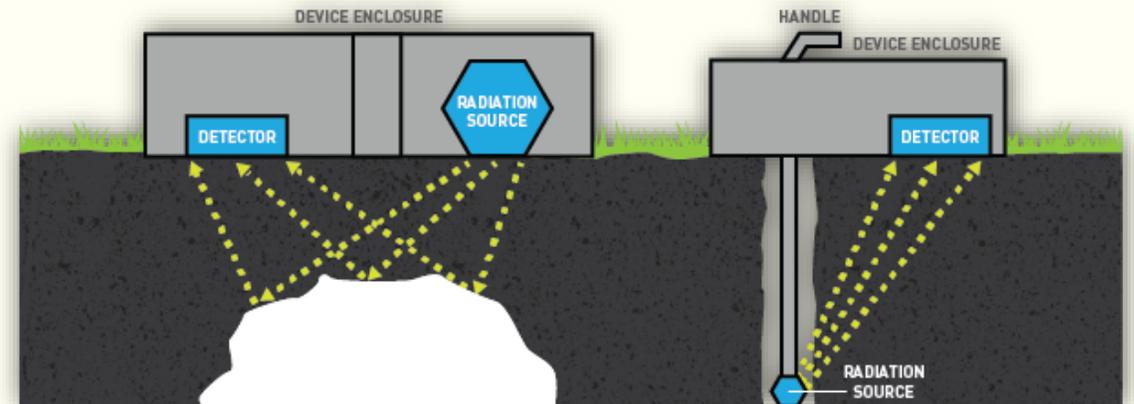


Photo courtesy: APNCA

A moisture density gauge indicates whether a foundation is suitable for constructing a building or roadway.



GROUND INTEGRITY AND DEEP SOIL GAUGES



☐ Medidores Nucleares

- ❖ Transmissão
- ❖ Retroespalhamento
- ❖ Reativo
- ❖ Categoria 3 e 4 (AIEA)

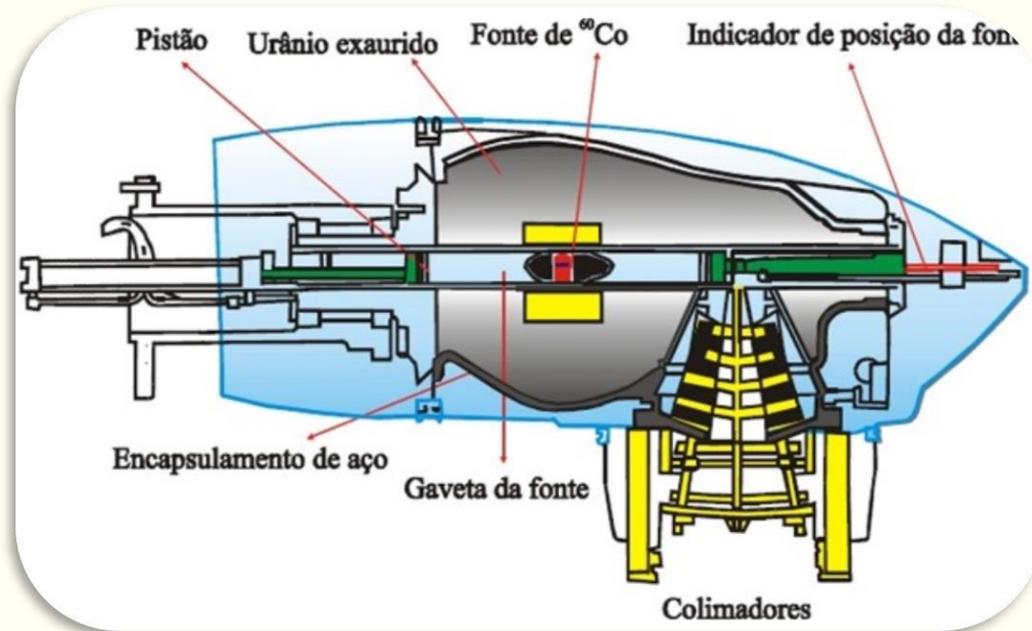
Fontes de radiação ionizantes e suas características



□ Gamagrafia

- ❖ Fonte de ^{192}Ir
- ❖ Atividade: 3,0 - 5,0 TBq
- ❖ Blindagem de urânio exaurido: 11 - 13 kg
- ❖ Peso total: 19 - 22 kg
- ❖ Faixa de operação: -40 a +50 °C
- ❖ Categoria 2 (AIEA)

Fontes de radiação ionizantes e suas características



□ Radioterapia – ^{60}Co

❖ $T_{1/2} = 5,24$ anos

❖ Categoria 1 (AIEA)



Categorização de fontes segundo a AIEA

- ❑ **Objetivo:** Apresentar um sistema simples e lógico de classificação de fontes de radiação ionizante, baseado no seu potencial de provocar danos à saúde humana (periculosidade); (TECDOC-1344_2003 e RS-G-1.9 - IAEA)
- ❑ **Definições:** Uma fonte perigosa é aquela que, uma vez fora de controle, possa levar a exposições suficientes para provocar severos efeitos determinísticos à saúde humana;
- ❑ **Categorização:** As categorias são baseadas na razão A/D. Para informação ao público as fontes são divididas em 5 categorias. Onde A é a atividade da fonte e D representa atividade de fonte que pode causar severos efeitos determinísticos.

Categorização de fontes pela AIEA (IAEA -TECDOC-1344)

- ❖ Categoria 1: $(A/D) > 1000$
- ❖ Categoria 2: $(A/D) 10,0 - 1000$
- ❖ Categoria 3: $(A/D) 1,0 - 10,0$
- ❖ Categoria 4: $(A/D) 0,01 - 1,0$
- ❖ Categoria 5: $(A/D) < 0,01$

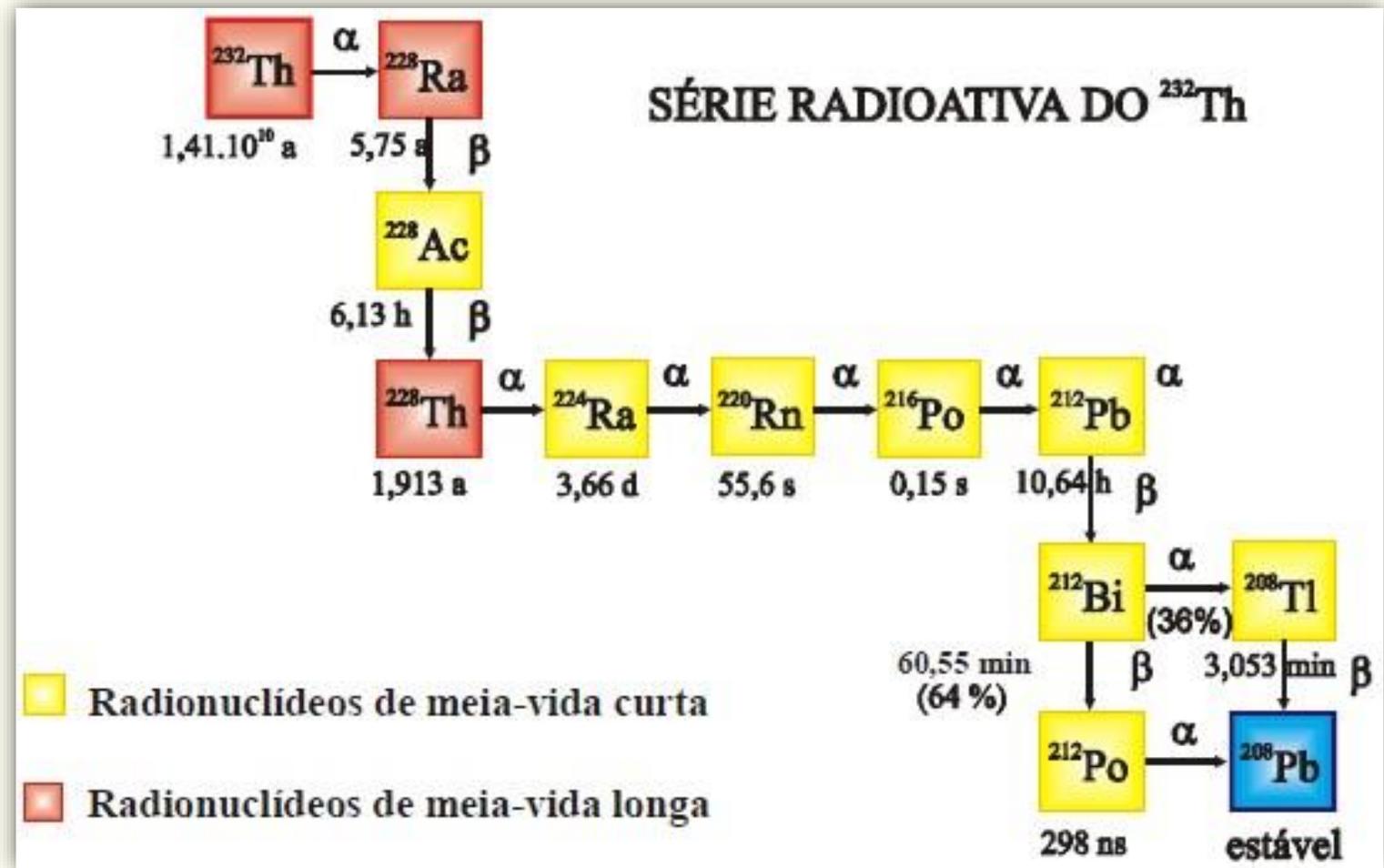
Detecção das radiações em situação de emergência

- ❑ Introdução
- ❑ Detectores e monitores de radiação
- ❑ Identificadores radiológicos
- ❑ Dosímetros pessoais
- ❑ Detecção das radiações em atividades externas



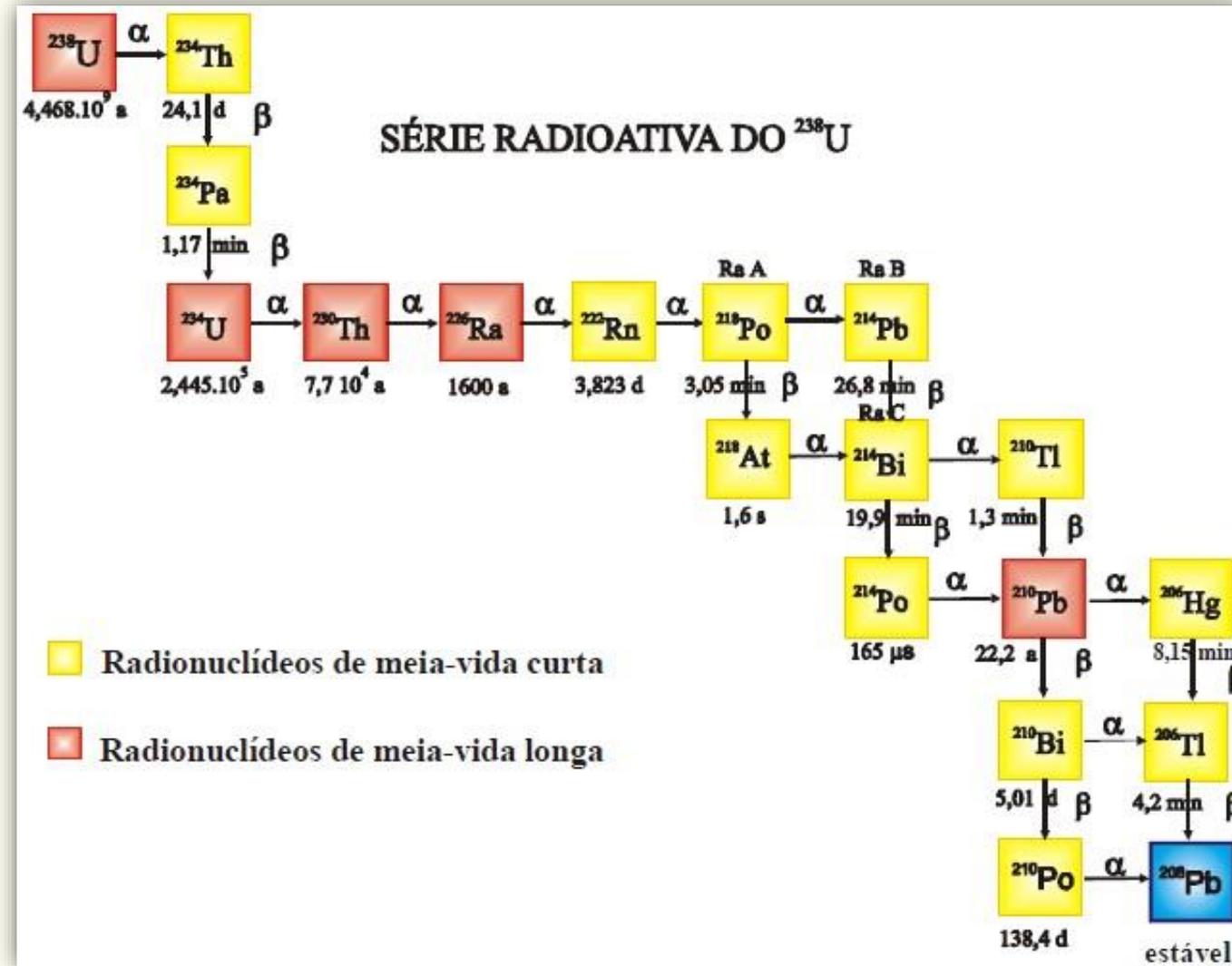
Detecção das radiações em situação de emergência

☐ Introdução



Detecção das radiações em situação de emergência

☐ Introdução



Detecção das radiações em situação de emergência

☐ Detectores e monitores de radiação

- ❖ Normalmente a detecção da radiação é obtida através do elemento ou material sensível à radiação (detector) e um sistema eletrônico que transforma esses efeitos em um valor relacionado a uma grandeza de medição dessa radiação.
- ❖ **Detector:** Materiais que registram a presença das radiações ionizantes por meio de alterações físicas ou químicas, que posteriormente serão medidas através de um determinado processo. Funcionam como sensores da radiação ionizante.
- ❖ **Monitor:** Associação dos detectores com circuitos eletrônicos originam estes instrumentos para medição imediata da radiação. Este instrumento fornece o resultado da medição em uma grandeza radiológica conhecida. Eles podem ser identificadores ou não.

Detecção das radiações em situação de emergência

□ Propriedades de um sistema de detecção

- ❖ **Repetitividade** – grau de concordância dos resultados obtidos sob as mesmas condições de medição;
- ❖ **Reprodutibilidade** - grau de concordância dos resultados obtidos em diferentes condições de medição
- ❖ **Estabilidade** – aptidão em conservar constantes suas características de medição ao longo do tempo;
- ❖ **Precisão** - grau de concordância dos resultados entre si, normalmente expresso pelo desvio padrão em relação a média;
- ❖ **Eficiência** – capacidade de converter em sinais de medição os estímulos recebidos.

Detecção das radiações em situação de emergência

□ Tipos de detectores

❖ À gás

Câmara de ionização
Contador Proporcional
Geiger-Müller



❖ Cintiladores

Iodeto de sódio – NaI (Tl)
Brometo de Lantânio – LaBr₃ (Ce)
Iodeto de céσιο – CsI (Tl)



❖ Semicondutores

Germânio hiper puro – HPGe
Telureto de cádmio e zinco - CZT



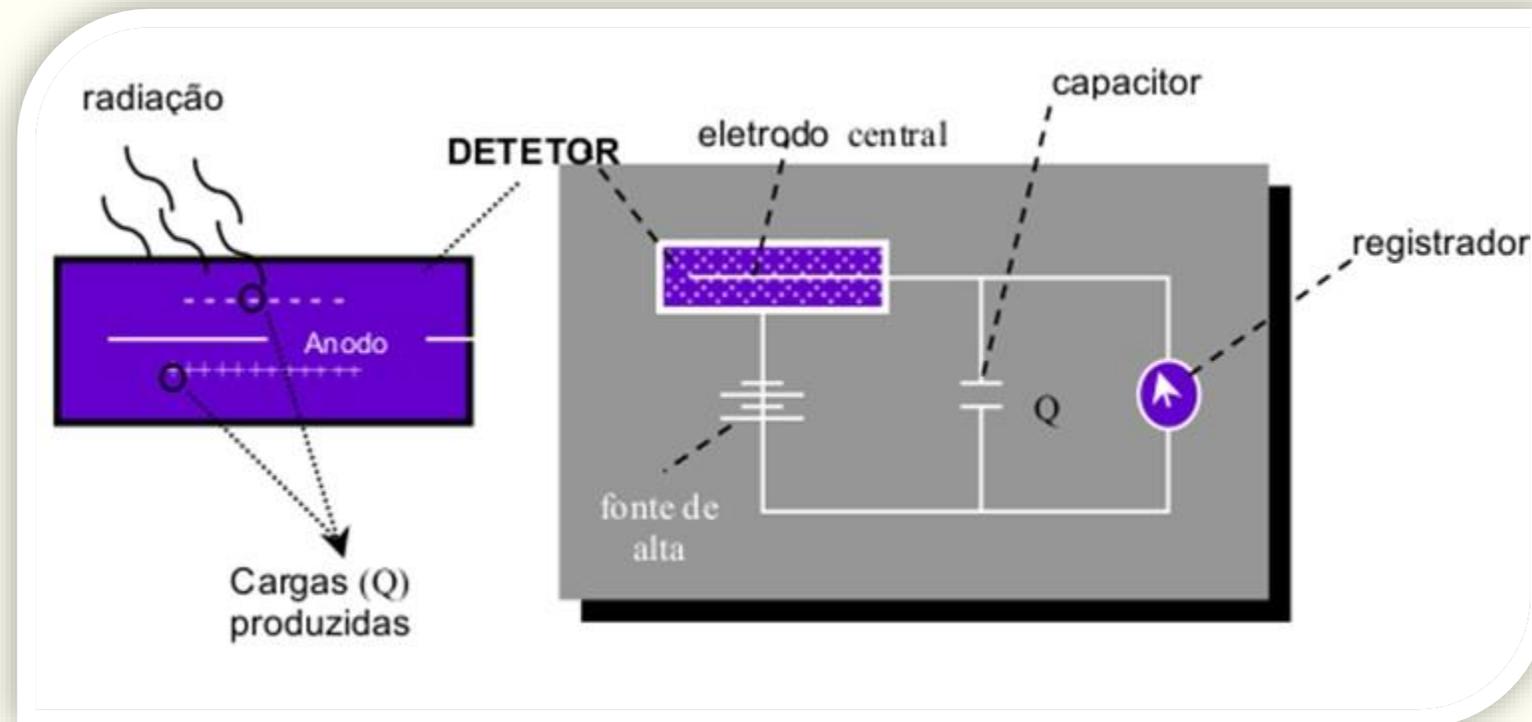
Detecção das radiações em situação de emergência

☐ Detectores à gás

- ❖ **Câmara de ionização:** A corrente gerada é função do no de interações com os fótons incidentes e a altura do sinal proporcional a energia.
- ❖ **Contadores proporcionais:** O sinal gerado é função do no de interações multiplicado por um fator constante e a altura do sinal é proporcional a energia.
- ❖ **Geiger-Müller:** O sinal gerado é função de uma avalanche de elétrons gerados, não podendo saber pela altura do sinal a energia da radiação incidente.

Detecção das radiações em situação de emergência

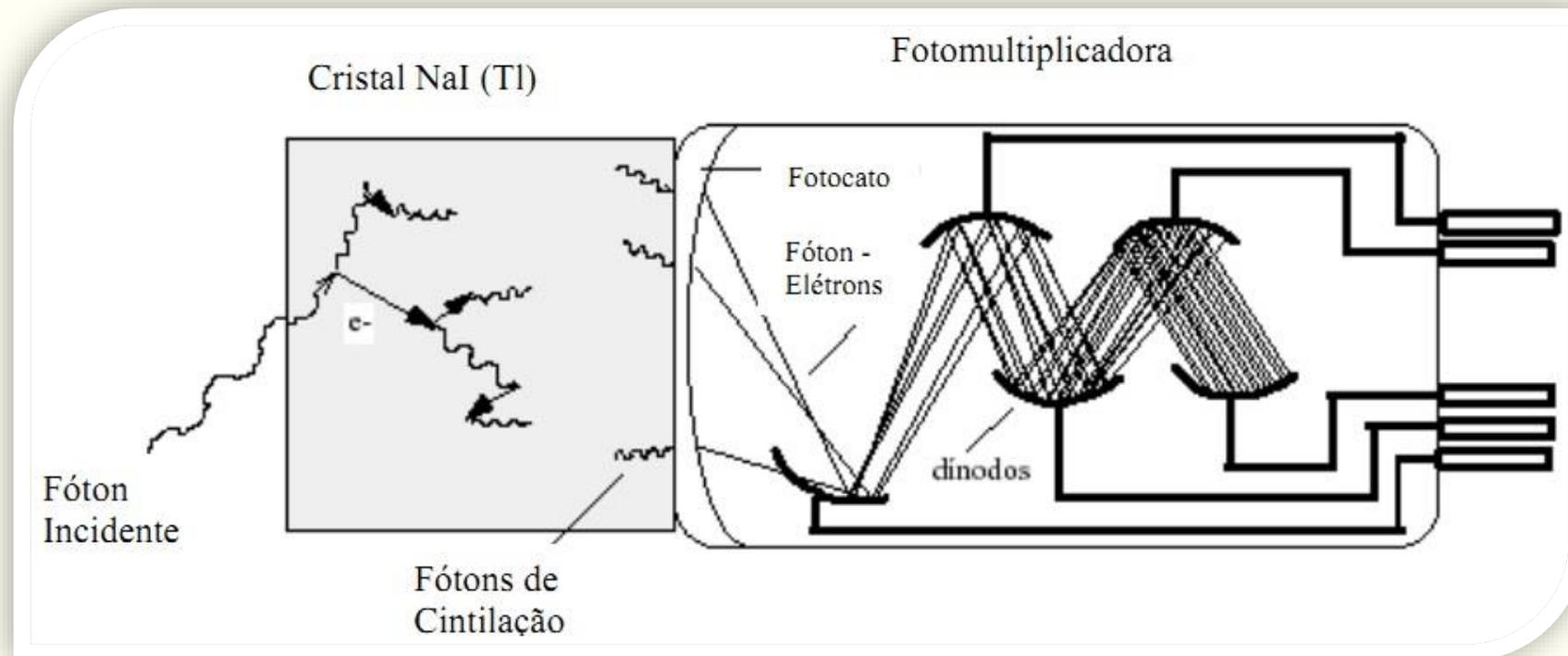
□ Detectores à gás



Detecção das radiações em situação de emergência

❑ Detectores cintiladores

- ❖ Utilizam materiais que podem absorver a energia cedida pelas radiações ionizantes e convertê-las em luz (NaI, CsI, LaBr₃, etc.). Esses monitores utilizam materiais cintiladores acoplados opticamente a uma fotomultiplicadora e circuitos eletrônicos.



Detecção das radiações em situação de emergência

□ Detectores semicondutores

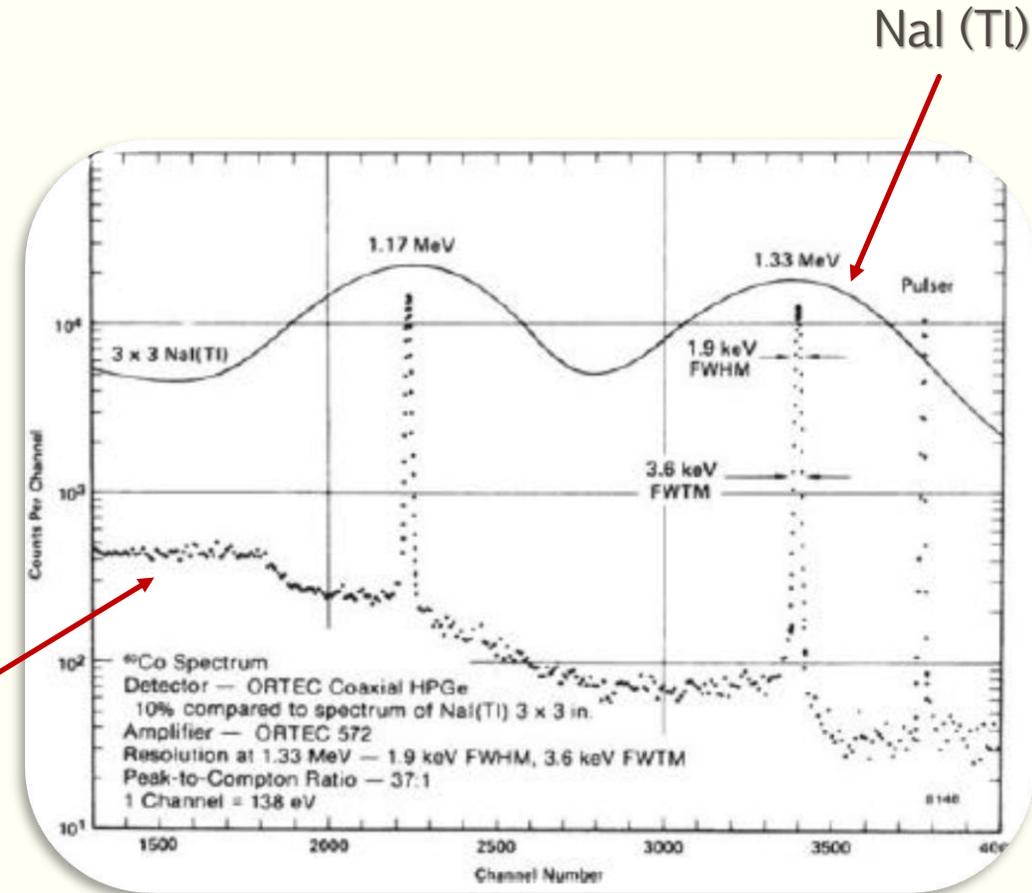
- ❖ O uso de detectores de germânio, principalmente os hiper puros, revolucionou completamente a espectroscopia gama. A figura no slide seguinte mostra o contraste impressionante nos resultados obtidos com esses dois tipos de detectores para a discriminação em energia. Há um fator de melhoria muito grande nos dados nos níveis de largura máxima metade do máximo (FWHM) que caracteriza a resolução que o detector é capaz de reproduzir.
- ❖ Como resultado dessa resolução aprimorada, muitos níveis de energia de materiais radioativos e nucleares que não podiam ser vistos com detectores NaI (Tl) são facilmente identificados com detectores HPGe.

Detecção das radiações em situação de emergência

☐ Detectores semicondutores



HPGe



Detecção das radiações em situação de emergência

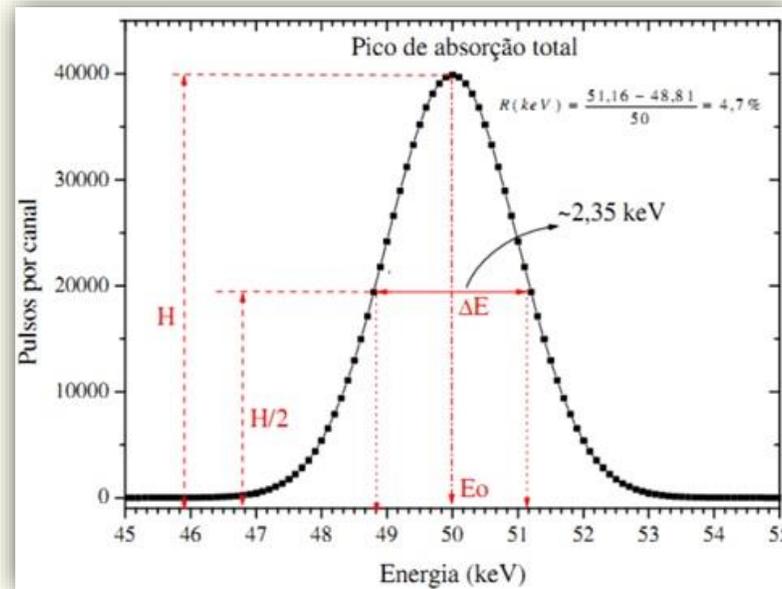
□ Identificadores radiológicos

- ❖ **Definição:** São medidores de radiação gama, utilizando detectores em estado sólido, capazes de identificar o agente radiológico ou nuclear.
- ❖ A identificação baseia-se no método de medição chamado de **Espectrometria Gama**. Para que a técnica de espectrometria gama seja eficiente é necessário que o identificador radiológico tenha uma boa **resolução e eficiência** de detecção.
- ❖ Espectrometria gama é a análise do espectro de energia emitida pelo material radioativo. Cada agente radiológico ou nuclear possui uma ou mais energias que os qualificam possibilitando sua identificação.
- ❖ **Tipos:** Cintiladores (NaI e LaBr₃) e semicondutores (HPGe)

Detecção das radiações em situação de emergência

❑ Identificadores radiológicos – Conceito de Resolução e Eficiência

- ❖ **Resolução:** Relaciona-se com a capacidade de um detector em discriminar 2 picos de energias diferentes e próximas em seu volume útil.
- ❖ **Eficiência intrínseca:** Dada pela razão entre o número de partículas ou fótons detectados e o número de partículas ou fótons incidentes no detector.



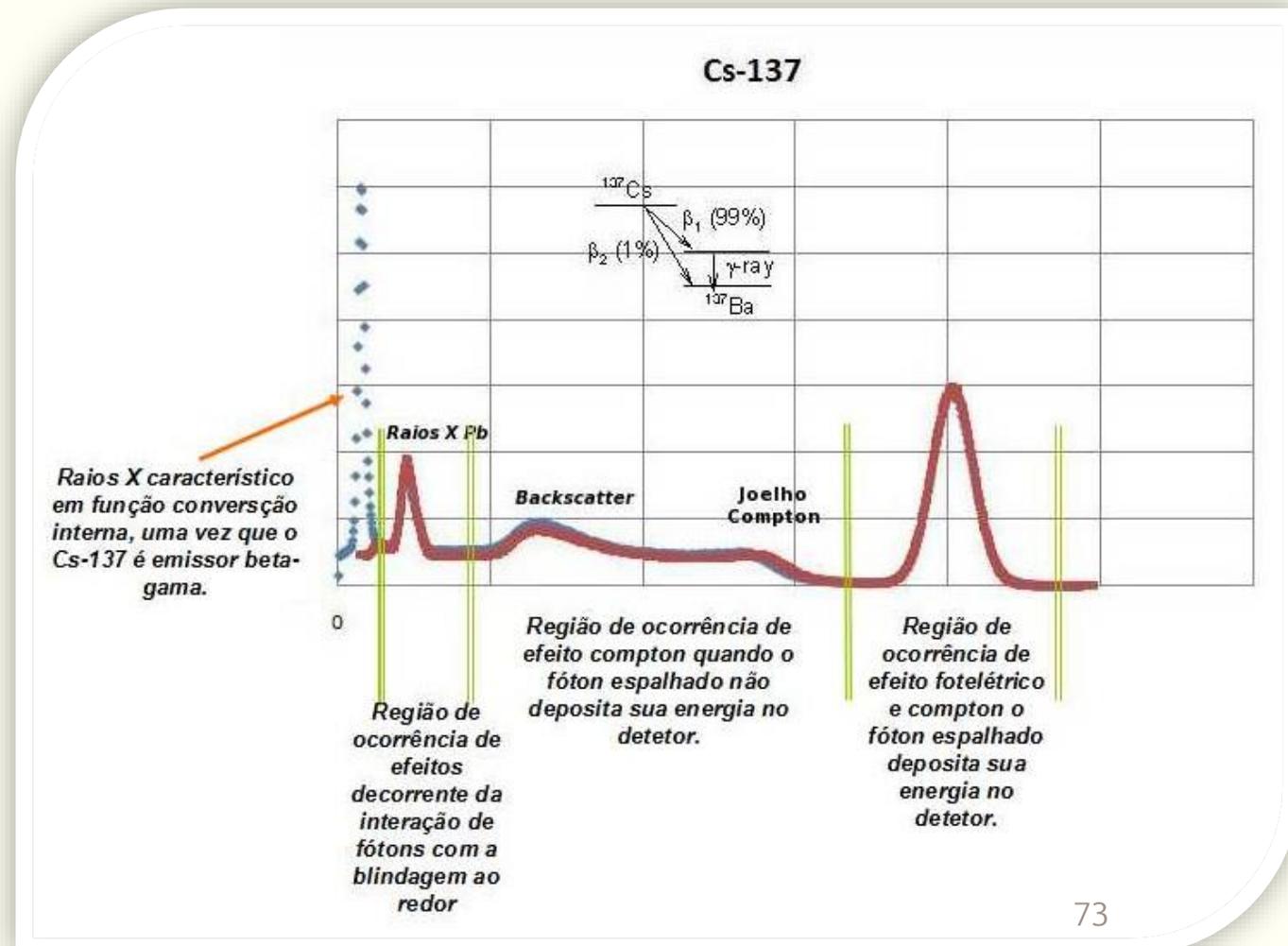
Representação gráfica (fotopico) da medição de energia de um fóton gama. Quanto mais largo o fotopico pior a resolução.

Detecção das radiações em situação de emergência

Identificadores radiológicos

Espectrometria gama:

Efeito fotoelétrico
Efeito Compton
Raios X característico
Conversão interna
Captura eletrônica



Detecção das radiações em situação de emergência - Ações

❑ Levantamento radiométrico

- ❖ Método eficaz para encontrar fontes perdidas ou pontos de contaminação no campo ou instalações, esse método consiste em varrer toda a área que se supõe estar contaminada ou exposta a uma fonte radioativa.

❑ Monitoração de superfície

- ❖ Consiste em monitorar a superfície em que provavelmente há material radioativo, para determinação precisa dos pontos de contaminação.

❑ Monitoração de pessoas

- ❖ Monitorar toda a superfície do IOE e deve ser feita sem esboçar qualquer tipo de reação e alarme sonoro desligado.

❑ Identificação de materiais radioativos

- ❖ Após as atividades acima citadas, qualquer indicativo de presença de material radioativo acima de valores de BG devem ser identificados.

Detecção das radiações em situação de emergência - Dosímetros

- ❑ São monitores de radiação ionizante que medem grandezas operacionais como equivalente de dose pessoal $H_p(d)$ ou dose individual (Photon Dose Equivalente) H_x .
- ❑ A grandeza H_x é atualmente usada no Brasil para monitoração individual externa de corpo inteiro, pois não necessita de simuladores para a calibração dos dosímetros (monitores) individuais, que são calibrados livres no ar.
- ❑ A partir de 2018 a grandeza Equivalente dose para fótons $H_p(10)$ passou a ser usada para dosimetria pessoal.

Detecção das radiações em situação de emergência - Dosímetros

☐ Tipos:

❖ Filme dosimétrico



❖ Dosímetro TLD;



❖ Dosímetro OSL;



❖ Caneta dosimétrica;



❖ Dosímetro eletrônico.



Segurança Radiológica e Nuclear

□ Tem como objetivo prevenir o uso ilícito de materiais nucleares e radioativos, detectar a presença desses materiais fora do seu emprego normal e responder a eventos acidentais ou malevolentes envolvendo esses materiais.

□ Cenários

- ❖ Detecção de níveis elevados radiação;
- ❖ Perda, roubo, dano, incêndio de fonte perigosa;
- ❖ Recuperação de uma fonte perigosa;
- ❖ Eventos de transporte de materiais radioativos;
- ❖ Desastres ambientais;
- ❖ Atentado terrorista (RDD ou RED),;
- ❖ Avaliação de NORM e TENORM

Segurança Radiológica e Nuclear

- ❑ **Acidente:** Qualquer evento não intencional, incluindo erros de operação e falhas de equipamento, cujas consequências reais ou potenciais são relevantes sob o ponto de vista de proteção radiológica.
- ❑ **Emergência:** Situação anormal que, a partir de um determinado momento, foge ao controle planejado e pretendido pelo operador, demandando medidas especiais para retomada da normalidade.
- ❑ **Emergência radiológica:** Emergência na qual existe, ou é observado que existirá, perigo devido à exposição à radiação ionizante.
- ❑ **Emergência nuclear:** Emergência na qual existe, ou é observado que existirá, perigo devido à liberação de energia resultante de uma reação em cadeia nuclear ou do decaimento dos produtos de uma reação em cadeia.

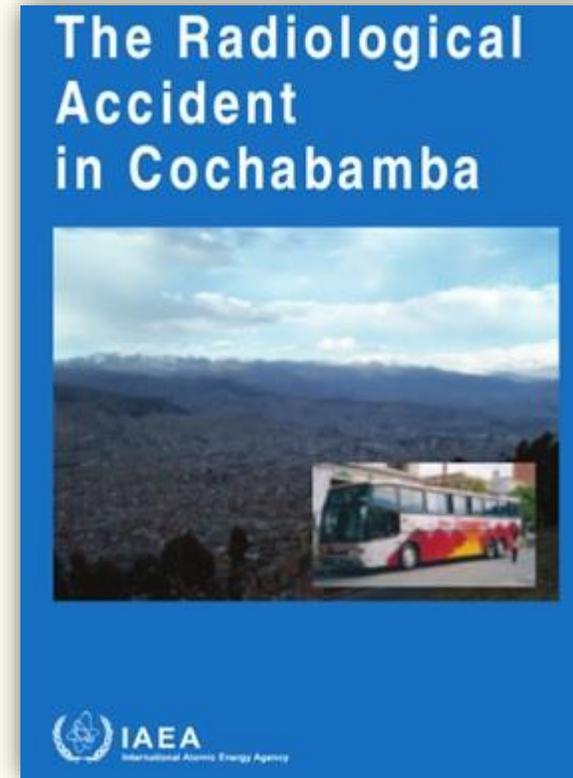
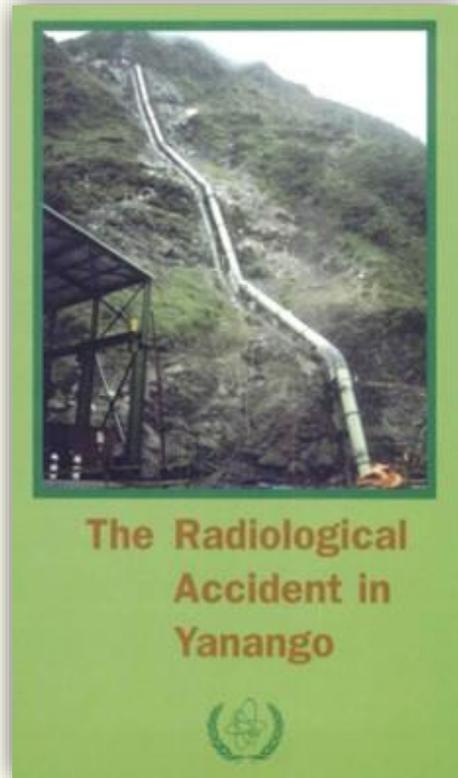
Segurança Radiológica e Nuclear – NORM e TENORM

- ❑ As siglas NORM e TENORM são abreviações de Naturally Occurring Radioactive Materials e Technologically Enhanced Naturally Occurring Materials, que constituem campos da Proteção Radiológica que tratam dos materiais utilizados ou processados pelo homem, que possuem concentrações de radionuclídeos naturais, que podem induzir doses de radiação significativas e que são responsáveis pela sua exposição à radioatividade natural.
- ❑ A maioria dos radionuclídeos é constituída de elementos das séries do ^{238}U , ^{232}Th , além do ^{40}K .
- ❑ Tais materiais são processados nos serviços de tratamento de água potável, exploração de carvão mineral, minérios, petróleo, gás, fosfatos, além dos provenientes dos rejeitos industriais e médicos.

Segurança Radiológica e Nuclear

❑ Acidente radiológico: Yanamango (Peru): Fev/1999 e Cochabamba (Bolívia): Jun/2002

PUB 1101 - IAEA



PUB 1119 - IAEA

Ações de resposta a uma emergência radiológica

- ❑ Por que se preparar para a ocorrência de uma emergência, se todo o planejamento foi corretamente idealizado?
 - ❖ Qualquer operação pode ser feita de forma errada, não interessa o quanto essa possibilidade seja remota (10^{-7}), ela algum dia será feita assim. (Chernobyl)
 - ❖ Não importa o quanto seja difícil danificar um equipamento: “Alguém sempre vai achar um jeito!” (Goiânia e Tailândia)
 - ❖ Se algo pode falhar, essa falha deve ser esperada no momento mais inoportuno e produzindo o dano máximo. (Three Mile Island e Chernobyl)
 - ❖ Mesmo na execução da mais perigosa e complicada das operações, as instruções e os procedimentos operacionais poderão ser ignorados. (Camaçari e Tokaimura)

Ações de resposta a uma emergência radiológica - Objetivos

- Retomar o controle da situação;
- Prevenir ou mitigar as consequências do acidente na sua origem;
- Prevenir a ocorrência de efeitos determinísticos;
- Providenciar tratamento médico a acidentados;
- Prevenir a ocorrência de efeitos estocásticos;
- Prevenir a ocorrência de efeitos não radiológicos;
- Proteger o meio ambiente e as propriedades; e
- Preparar o retorno às atividades sociais e econômicas.



Ações de resposta a uma emergência radiológica

- ❑ Isolar a área;
- ❑ Verificar se o isolamento estabelece segurança para indivíduos do público e IOE's;
- ❑ Estabelecer ponto de controle para as áreas supervisionadas e controlada;
- ❑ Realizar **ações de monitoração** para verificar a possível presença de material radioativo em local indevido ou taxas de dose além do estabelecido;
- ❑ Por fim garantir as condições de retorno as atividades normais.



Transporte de Material Radioativo

- ❑ O uso de material radioativo muitas vezes requer o seu transporte entre instalações. Para isso ele deve ser acondicionado em uma embalagem apropriada que é projetada e construída para ser uma barreira efetiva entre ele e o meio ambiente. O conjunto formado pelo material radioativo e sua embalagem é chamado de embalado.
- ❑ Para que o transporte seja realizado de forma segura para pessoas, objetos e meio ambiente foram criadas normas internacionais que servem como base para normas e regulamentos nacionais. Na classificação internacional de produtos perigosos, da Organização das Nações Unidas (ONU), os materiais radioativos são incluídos na Classe 7.
- ❑ No Brasil a regulamentação sobre o transporte de materiais radioativos é feita pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, através da Norma CNEN-NE-5.01 e por outros organismos que regulam o transporte modal no país.

Transporte de Material Radioativo

- ❑ Conjunto de normas CNEN para transporte de materiais radioativos no país:
 - ❖ NE-5.01 - Transporte de material radioativo
 - ❖ PR-5.01/001 - Sobre o transporte de material radioativo por motocicletas (não é permitido)
 - ❖ NE-5.02 - Transporte de elementos combustíveis para usinas
 - ❖ NE-5.03 - Transporte de itens de segurança para usinas
 - ❖ NN-5.04 - Rastreamento de transporte de materiais radioativos (obrigatório)

Transporte de Material Radioativo

□ Modelo para estrutura de um plano de transporte

1. Introdução (apresenta a instalação que comprou, a que vendeu e o produto)
2. Objetivo e campo de aplicação
3. Definições e siglas
4. Especificação e classificação do material a ser transportado
5. Veículo de transporte (itinerário planejado e o opcional)
6. Radioproteção e segurança no transporte (equipe)
7. Embalagens para acondicionamento da fonte (levantamento radiométrico e sinalização do veículo)
8. Situações de emergência (descrição e as ações a serem adotadas)
9. Requisitos administrativos e responsabilidades (de quem compra, vende e documentos)
10. Referências.

Transporte de Material Radioativo - Sinalização



Rótulo de transporte que deve ser fixada no embalado (container ou irradiador) que identifica o material radioativo, a atividade e o índice de transporte, nas dimensões 10 x 10 cm. O índice de transporte "IT" é a máxima taxa de dose a 1 metro da superfície do container ou blindagem medida em $\mu\text{Sv/h}$ e dividido pelo fator 10. O índice máximo aceitável é de 10.

Categorias de Embalados

Índice de Transporte (IT)	Nível de Radiação Máximo em qualquer ponto da Superfície do Embalado (mSv/h)	Rotulação
0	$\text{NRM} \leq 0,005$	I - Branca
$0 < \text{IT} \leq 1$	$0,005 < \text{NRM} \leq 0,5$	II - Amarela
$1 < \text{IT} \leq 10$	$0,5 < \text{NRM} \leq 2$	III - Amarela

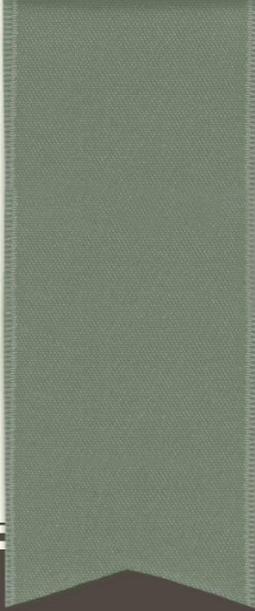
Rejeitos Radioativos

- ❑ Segundo definição da CNEN, é considerado rejeito radioativo "qualquer material resultante das atividades humanas, que contenha radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de isenção especificados na norma CNEN-NE-6.02, e para o qual a utilização é imprópria ou imprevista".
- ❑ Por essa razão, todo material radioativo que é considerado rejeito deve ser recolhido, tratado e armazenado adequadamente em instalações específicas para essa finalidade. O IEN, é no estado do Rio de Janeiro, a única unidade da CNEN autorizada a possuir um depósito intermediário para rejeitos de baixa e média atividade, prestando serviços de tratamento e armazenamento de rejeitos radioativos que possuam essas características.
- ❑ Este depósito atende preferencialmente os estados do Rio e Espírito Santo, atuando, eventualmente, em outros estados da federação. Os rejeitos de alta atividade, provenientes das usinas Angra 1 e Angra 2, são armazenados na própria Central Nuclear de Angra dos Reis (RJ).

Rejeitos Radioativos

□ Os rejeitos mais comuns recebidos pelo IEN e que podem ser armazenados neste instituto são:

- ❖ **Fontes radioativas fora de uso** - Toda fonte radioativa possui um tempo de vida útil, que está relacionada com a meia-vida do radionuclídeo que ela contém. Após esse tempo, a fonte é considerada rejeito radioativo e deve ser recolhida e armazenada em um depósito de rejeitos.
- ❖ **Rejeitos radioativos sólidos compactáveis com baixo nível de radiação** - Esse tipo de rejeito (por exemplo: papel, tecido, luvas, plástico, etc., contaminados por material radioativo) é tratado pela técnica de redução de volume. No IEN esses rejeitos, provenientes dos seus laboratórios e instituições externas, são tratados através da compactação feita diretamente dentro de tambores metálicos de 200 litros, obtendo-se um fator de redução de 5:1 a 7:1.
- ❖ **Para-raios e detectores de fumaça** - A fabricação de para-raios no Brasil foi autorizada no período de 1970 a 1989. Posteriormente, testes mais detalhados indicaram que o desempenho destes para-raios não era superior aos dos para-raios convencionais, não se justificando, portanto, a sua utilização. Por essa razão, a CNEN suspendeu a autorização para a fabricação e instalação de para-raios radioativos. Mas a decisão sobre a substituição dos para-raios radioativos já instalados depende das autoridades municipais competentes.
- ❖ **Fontes seladas** - Para entregar uma fonte selada no IEN, é necessário entrar em contato com o Serviço Comercial do IEN (SECOM), através do e-mail secom@ien.gov.br, pelos telefones (21) 2173-3714 / 3715 / 3719, ou enviar um fax para (21) 2173-3716 ou (21) 2590-2692.
- ❖ **Importante:** Toda entrega de material radioativo deve observar os requisitos contidos na Norma de Transporte da CNEN NE 5.01 , e que serão verificados no momento da entrega."



RADIOBIOLOGIA, EMERGÊNCIA, TRANSPORTE E REJEITO

[Prof. Luciano Santa Rita](#)