

Radioproteção na Indústria

Por: Luciano Santa Rita Oliveira

<http://www.lucianosantarita.pro.br>

<http://lattes.cnpq.br/8576030547171431>

Revisão de física e Proteção radiológica : Conceitos

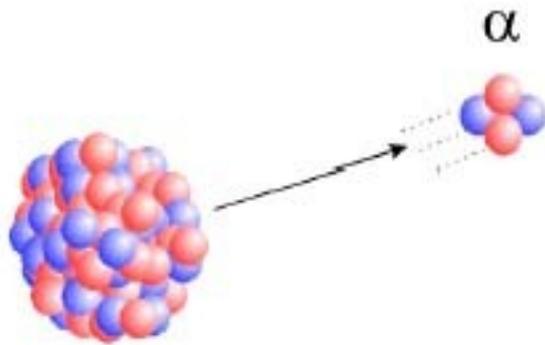
- Revisão de Conceitos Básicos de Física e Proteção Radiológica
 - Radioatividade e tipos de radiação;
 - Radiações Diretamente e indiretamente Ionizantes;
 - Contaminação x Irradiação;
 - Grandezas e Unidades em Radioproteção.

Conceitos sobre Radiação Ionizante para END

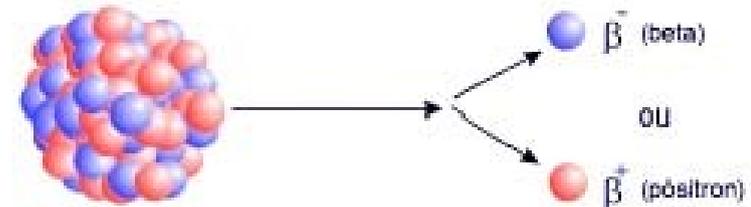
- ***Origem da radiação ionizante***
 - As radiações são constituídas por ondas eletromagnéticas ou partículas que se propagam com alta velocidade e portando energia, e que, ao interagir podem produzir variados efeitos sobre a matéria. *São denominadas ionizantes quando produzem íons.*
- **Radioatividade**
 - É a emissão espontânea de radiação ionizante corpuscular e eletromagnética, por um núcleo atômico que se encontra num estado excitado de energia.

Conceitos sobre Radiação Ionizante para END

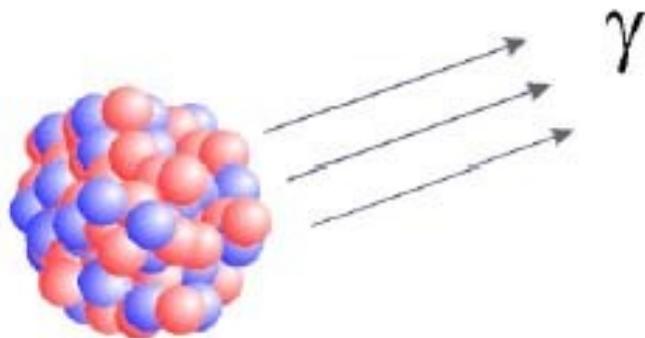
RADIAÇÃO ALFA OU PARTÍCULA ALFA



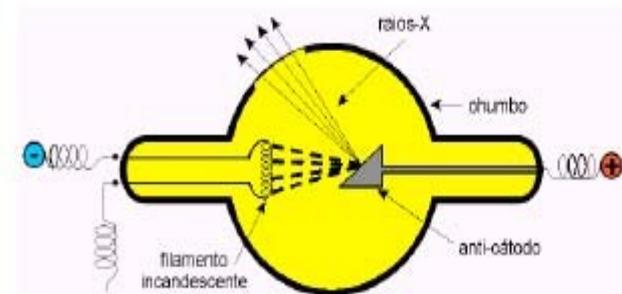
RADIAÇÃO BETA OU PARTÍCULA BETA



RADIAÇÃO GAMA

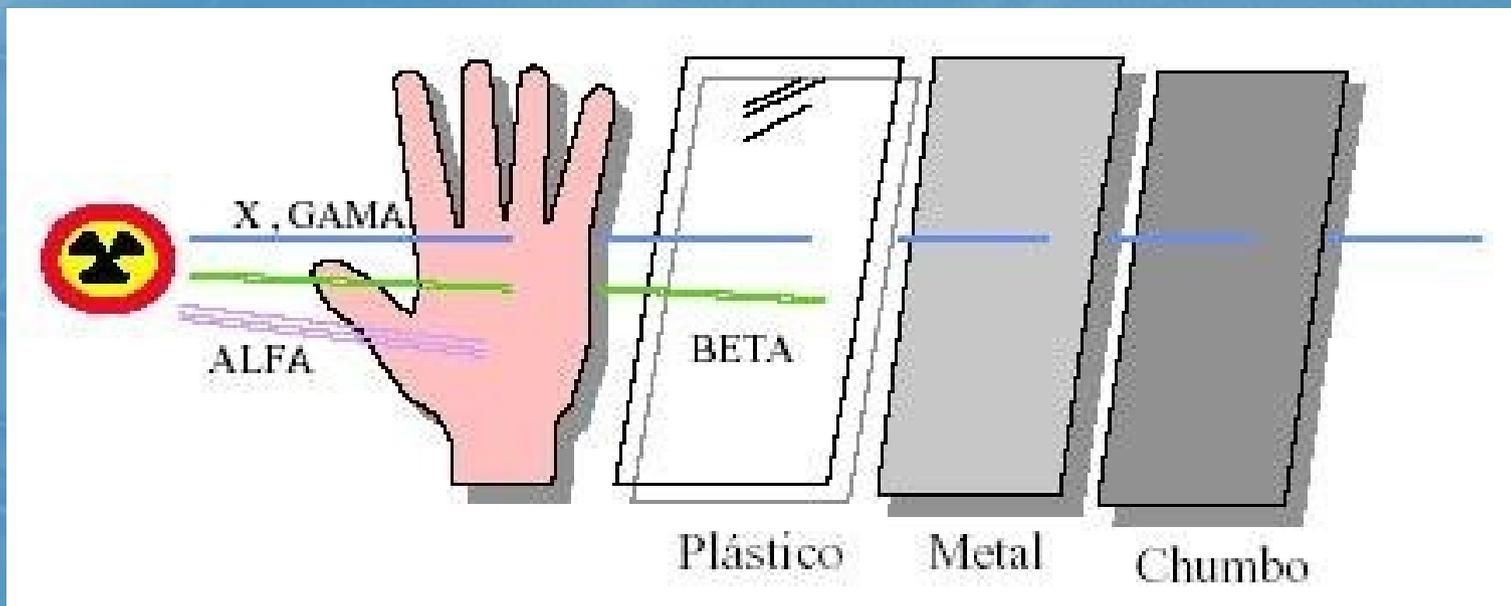


Raios-X não são energia nuclear



Conceitos sobre Radiação Ionizante para END

- *Características de penetração das radiações ionizantes*

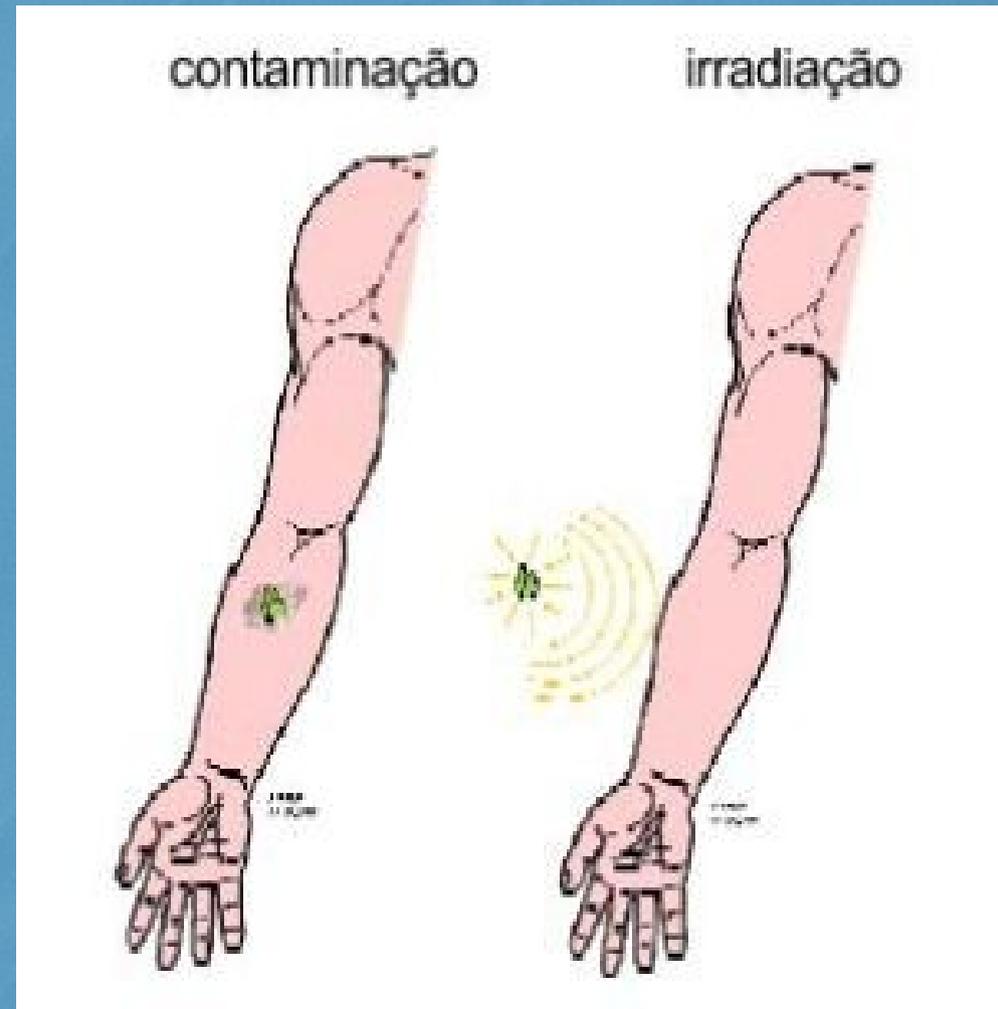


Conceitos sobre Radiação Ionizante para END

- No processo de transferência de energia de uma radiação incidente para a matéria, as **radiações que tem carga**, como elétrons, partículas α , atuam principalmente por meio de seu campo elétrico e transferem sua energia para muitos átomos ao mesmo tempo, e são denominadas **radiações diretamente ionizantes**.
- As **radiações que não possuem carga**, como as radiações eletromagnéticas ionizantes e os nêutrons, são chamadas de **radiações indiretamente ionizantes**, pois interagem individualmente transferindo sua energia para elétrons, que irão provocar novas interações.

Conceitos sobre Radiação Ionizante para END

- A **contaminação** se caracteriza pela **presença** de um material indesejável em determinado local.
- A **irradiação** é a **exposição** de um objeto ou de um corpo à radiação. **Pode haver irradiação sem existir contaminação.**



Grandezas Radiológicas e Unidades

- Além das grandezas que conhecemos e suas unidades no Sistema Internacional (SI), existem outras grandezas, que são aplicadas as radiações ionizantes e radioproteção:
 - Atividade ;
 - Atividade específica;
 - Exposição;
 - Dose absorvida;
 - Dose equivalente;
 - Dose efetiva.

Grandezas Radiológicas: Atividade

- É caracterizada pelo número desintegrações ou transformações nucleares que ocorrem em um certo intervalo de tempo, sendo proporcional ao número de átomos excitados presentes no elemento radioativo.

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad t = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln (A_0/A)$$

- A unidade no SI de atividade é o Becquerel.
 - 1 Bq = 1dps
 - Unidade antiga Curie (Ci) $\rightarrow 1Ci = 37GBq$
 - Alguns múltiplos desta grandeza:
 - 1 kBq (1 kilobecquerel) = 10^3 dps;
 - 1 MBq (1 megabecquerel) = 10^6 dps;
 - 1 GBq (1 gigabecquerel) = 10^9 dps.

Grandezas Radiológicas:

Atividade Específica

- ***Determinamos*** a atividade específica de um certo elemento ***dividindo a sua atividade por sua massa***. Normalmente a atividade específica é medida em Curies / Grama ou Bq / Grama.
- Essa medida é ***importante porque determina as dimensões físicas da fonte de radiação***.
- ***Fontes*** confeccionadas com elementos de ***alta atividade específica possuem dimensões menores que as feitas com elementos de baixa atividade específica***. Esse fato implica num aumento de qualidade radiográfica, melhorando as condições geométricas da exposição.

Grandezas Radiológicas:

Meia-Vida

- Intervalo de tempo, em que teremos no material radioativo exatamente a metade do número inicial de átomos excitados;
- Este tempo é característico de cada fonte radioativa;
- A Meia-Vida é representada pelo símbolo “ $T_{1/2}$ ” e pode ser determinada pela seguinte equação:

$$T_{1/2} = \frac{\text{Ln } 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

Grandezas Radiológicas

- Meia – Vida de fontes usadas em gamagrafia*



Se-75 → 119,78 dias



Ir-192 → 74,4 dias



Co-60 → 5,24 anos

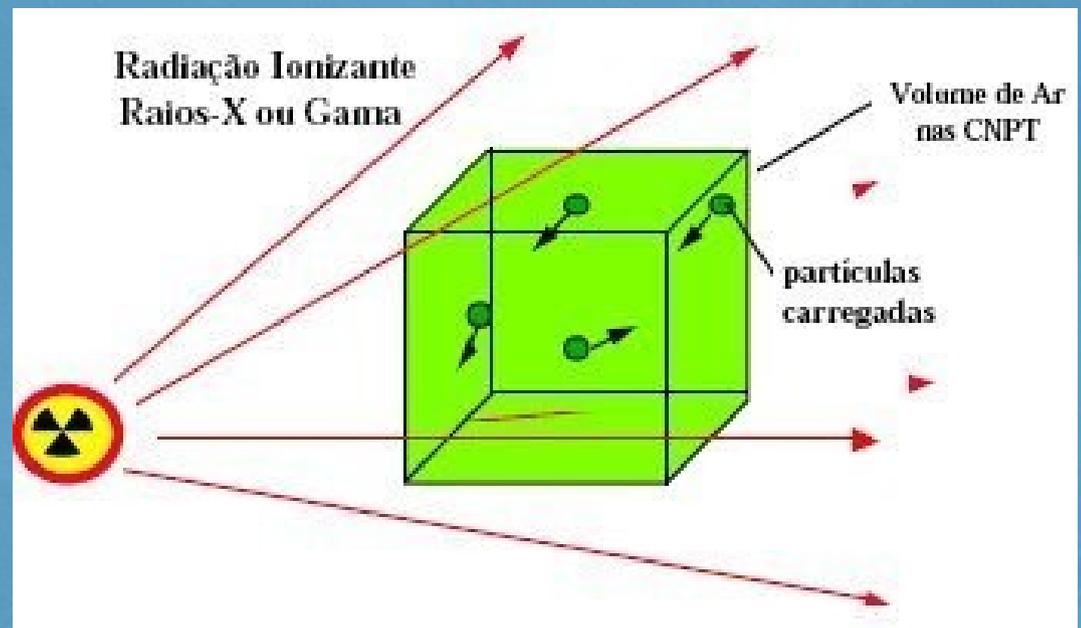
Grandezas Radiológicas: Atividade

Exemplo

- Uma equipe de trabalho operará uma fonte de Ir-192 durante 12 meses. Sabendo que o trabalho exige uma fonte com atividade mínima de 370 GBq (10 Ci) e que a fonte utilizada apresenta uma atividade (no início do trabalho) de 2960 GBq (80 Ci), podemos afirmar que:
 - A equipe concluirá o serviço sem substituir a fonte;
 - A equipe necessitará substituir a fonte após 7,5 meses de trabalho;
 - A equipe necessitará substituir a fonte após 6 meses de trabalho;
 - A equipe necessitará substituir a fonte após 4 meses de trabalho.

Grandezas Radiológicas: Exposição

- É a soma das cargas elétricas de todos os íons de mesmo sinal (positivos ou negativos) produzidos no ar quando todos os elétrons gerados pelos fótons incidentes em uma massa são completamente freados no ar.
- Unidade de Exposição será C/kg ou R;
 - $1R = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$.
- Taxa de exposição;
 - $1R/h = 0,258 \text{ mC/kg.h}$.



Grandezas Radiológicas: Dose Absorvida

- Dose absorvida é a energia média cedida pela radiação ionizante à matéria por unidade de massa dessa matéria;
- A unidade atual a dose absorvida é o gray (Gy) :
 - $1 \text{ J / kg} = 1 \text{ gray (Gy)}$
- Nas unidades antigas a dose era medida em rad :
 - $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$

Grandezas Radiológicas: Dose Equivalente (H_T)

- Grandeza expressa por $H_T = D_T \times w_R$, onde D_T é dose absorvida média no órgão ou tecido e w_R é o fator de ponderação da radiação (fator de peso) que caracteriza o tipo de radiação incidente.
- A unidade atual a dose absorvida é o sievert (Sv) :
 - $1 \text{ J / kg} = 1 \text{ sievert (Sv)}$
- Nas unidades antigas a dose era medida em rem :
 - $1\text{Sv} = 100 \text{ rem}$

Grandezas Radiológicas: Dose Equivalente (H_T)

- Fator de ponderação da radiação w_R .

TIPO DE RADIAÇÃO E ENERGIA	w_R
Fótons de todas as energias	1
Elétrons de todas as energias	1
Nêutrons de energia E :	
$E < 10 \text{ keV}$	5
$10 \text{ keV} \leq E \leq 100 \text{ keV}$	10
$100 \text{ keV} \leq E \leq 2 \text{ MeV}$	20
$E > 20 \text{ MeV}$	10
Prótons (exceto os de retrocesso) $E > 2 \text{ MeV}$	5
Partículas alfa, fragmentos de fissão, núcleos pesados	20

Grandezas Radiológicas: Dose Efetiva

- É o produto da dose equivalente por um fator de peso de cada órgão ou tecido, e os resultados são somados para o corpo todo

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

- onde H_T é a dose equivalente no tecido ou órgão e w_T é o fator de ponderação do órgão ou tecido.
- A unidade atual a dose absorvida é o sievert (Sv) :
 - **$1 \text{ J / kg} = 1 \text{ sievert (Sv)}$**
- Nas unidades antigas a dose era medida em rem :
 - **$1\text{Sv} = 100 \text{ rem}$**

Grandezas Radiológicas: Dose Efetiva

- Fator de ponderação do tecido ou órgão w_T .

TECIDO OU ÓRGÃO	w_T	
	ICRP 26	ICRP 60
Gônadas	0,25	0,20
Medula óssea (vermelha)	0,12	0,12
Cólon	-	0,12
Pulmão	0,12	0,12
Estômago	-	0,12
Bexiga	-	0,05
Mama	0,15	0,05
Fígado	-	0,05
Esôfago	-	0,05
Tireóide	0,03	0,01
Pele	-	0,01
Superfície óssea	0,03	0,01
Restantes*	0,30	0,05

Grandezas Radiológicas e Unidades

- **Observação: Energia (eV)**

- A unidade mais usada para medir a energia das radiações é o elétron-volt (eV) - $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Joules}$;
- Normalmente são empregados múltiplos dessa unidade, da seguinte forma:
 - quiloelétron-volt = $1 \text{ keV} = 1.000 \text{ eV}$;
 - megaelétron-volt = $1 \text{ MeV} = 1.000.000 \text{ eV}$;

Interação da radiação com a matéria

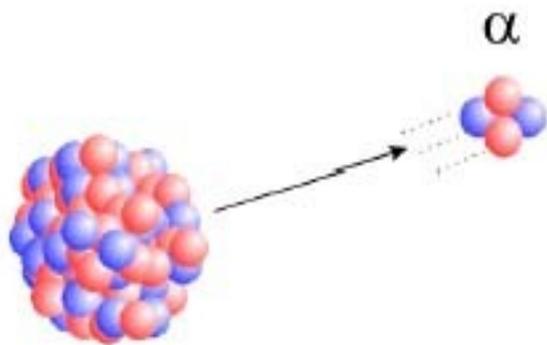
- *Interação de partículas carregadas (10KeV a 10MeV);*
- *Interação da radiação eletromagnética ionizante;*
- *Coefficiente de atenuação linear (μ);*
- *Camada semi-redutora (HVL ou CSR);*
- *Camada décimo-redutora (TVL ou CDR);*
- *Fator de redução ou atenuação.*

Interação de partículas carregadas (10KeV a 10MeV)

- Partículas carregadas, ao passarem através da matéria podem interagir com elétrons (maior probabilidade) e núcleos de átomos ou moléculas carregados positivamente;
- À medida que penetram na matéria, sofrem colisões e interações com perda de energia até que, a uma dada espessura do material, toda energia é dissipada e a partícula, para de se deslocar;
- A distância média percorrida (alcance), em uma dada direção, depende de vários fatores, os mais importantes são:
 - Energia;
 - Massa;
 - Carga;
 - Densidade do meio.

Interação de partículas carregadas (10KeV a 10MeV)

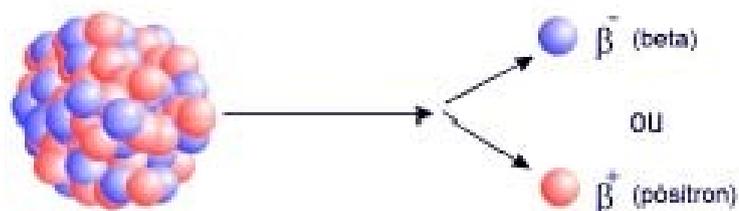
RADIAÇÃO ALFA OU PARTÍCULA ALFA



- Partículas α , mais pesadas com carga +2, interagem muito intensamente com a matéria;
- *Alto poder* de *ionização*, perdendo toda a energia em poucos micrometros de material sólido ou em alguns centímetros de ar.
- Isso significa que o *poder* de *penetração* das partículas alfa é muito pequeno.

Interação de partículas carregadas (10KeV a 10MeV)

RADIAÇÃO BETA OU PARTÍCULA BETA

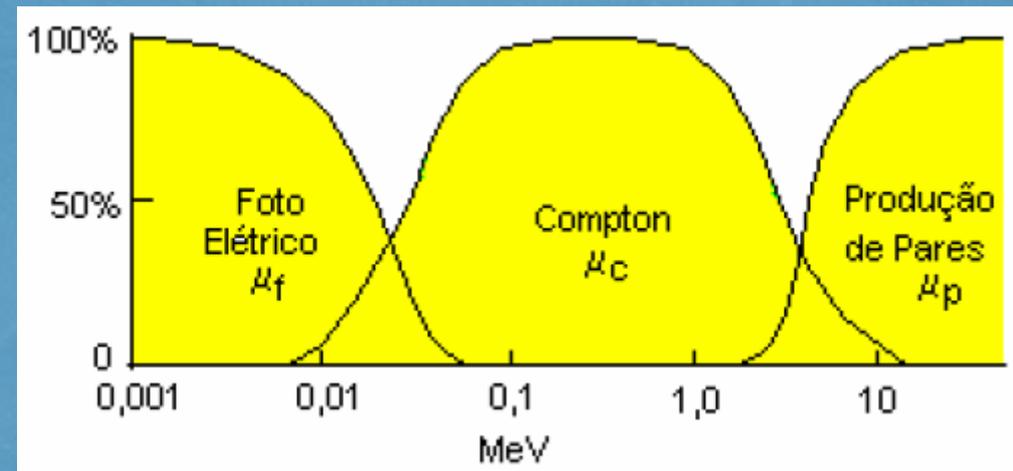
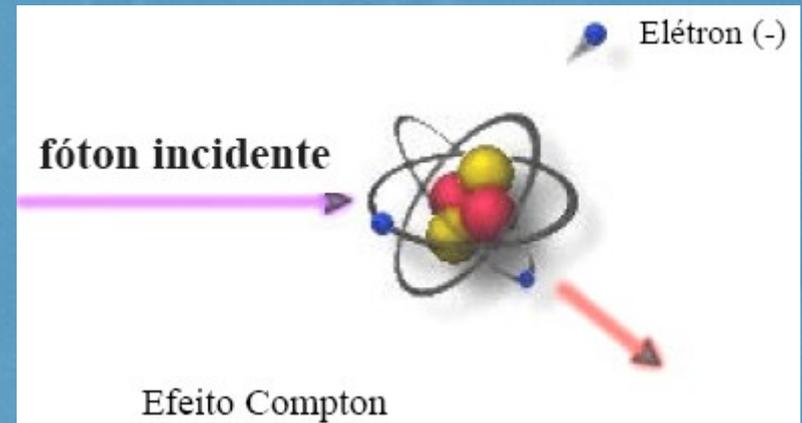


- *Partículas β* , pelo fato de possuírem massa muito menor do que a das partículas α e, ainda, uma carga menor, também apresentam **poder** de **ionização** mais **baixo**.
- Isto significa que seu **poder** de **penetração** é **maior** do que o das partículas α e, portanto, é necessária uma espessura maior de material para que ocorra a perda de toda sua energia.

Interação da radiação eletromagnética ionizante

- Os *fótons* são *absorvidos* ou *desviados* de sua trajetória original por meio de *uma única* interação com um elétron orbital.
- Este elétron liberado, denominado elétron secundário, pode possuir quase tanta energia quanto um fóton inicial e, por sua vez, produzir novas ionizações até consumir toda sua energia.
- Em outras palavras, pode-se considerar que a *ionização* da *matéria*, quando atravessada por *fótons*, é consequência de elétrons secundários.
- Os *principais efeitos* decorrentes da *interação* das radiações γ e X com a matéria são fotoelétrico, compton e formação de pares

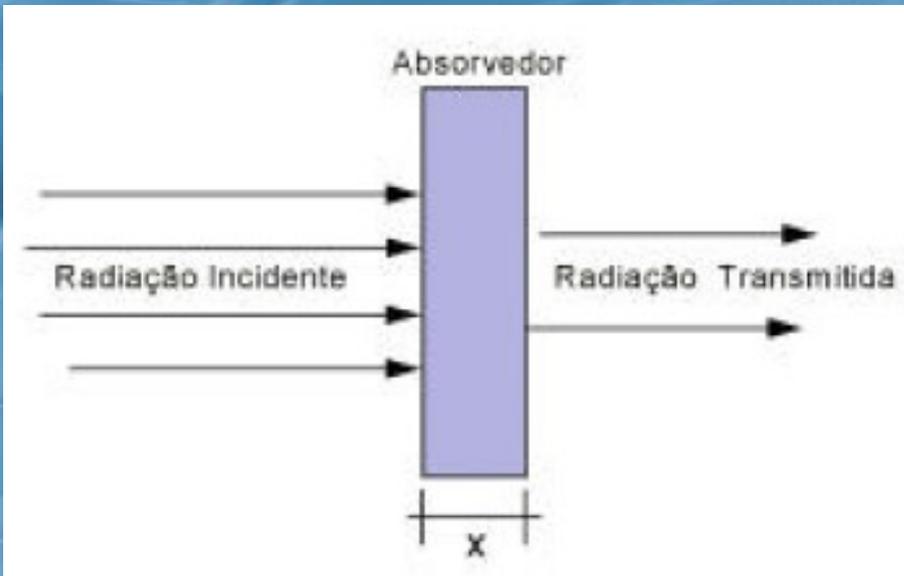
Interação da radiação eletromagnética ionizante



Coeficiente de atenuação linear (μ)

- Quanto *maior a espessura* de um material, *maior a quantidade* de *radiação* que ela absorve, ou seja, *menor* a intensidade do feixe que *atravessa* o material;
- Como a absorção obedece a uma lei exponencial, a intensidade diminui, porém nunca se anula completamente;
- A capacidade de absorção varia de material para material. Isso se explica através de *coeficiente* de *absorção* " μ ", que é uma característica de cada material em particular e *representa* a *probabilidade*, por unidade de comprimento, de que o *fóton* seja *removido* do feixe (por absorção ou espalhamento);
- Esse *coeficiente* depende, principalmente de duas características: do material (densidade "d") e da energia da radiação.

Coeficiente de atenuação linear (μ)



$$I = I_0 e^{-\mu \cdot x}$$

Energia (MeV)	Alumínio (cm ⁻¹)	Chumbo (cm ⁻¹)	Concreto (cm ⁻¹)	Aço (cm ⁻¹)	Urânio (cm ⁻¹)	Tijolo (cm ⁻¹)
0,102	0,444	60,2	0,390	2,700	19,82	0,369
0,150	0,362	20,87	0,327	1,437	45,25	0,245
0,200	0,358	5,00	0,29	1,08	21,88	0,200
0,300	0,278	4,00	0,25	0,833	8,45	0,169
0,409	0,247	2,43	0,224	0,720	4,84	0,149
0,500	0,227	1,64	0,204	0,65	3,29	0,135
0,600	0,210	1,29	0,189	0,600	2,54	0,125
0,800	0,184	0,95	0,166	0,52	1,78	0,109
1,022	0,165	0,772	0,150	0,460	1,42	0,098
1,250	0,148	0,620	0,133	0,410	1,00	0,088
1,500	0,136	0,588	0,121	0,380	0,800	0,080
2,000	0,177	0,504	-	-	-	-

Nota: os valores desta tabela podem variar, em função da literatura consultada.

Ir-192

Co-60

Coeficiente de atenuação linear (μ)

- Exemplo: Alumínio e Chumbo
 - Chumbo ($Z = 82$ e $d = 11,348 \text{ g/cm}^3$)
 - Alumínio ($Z = 13$ e $d = 2,78 \text{ g/cm}^3$),
 - Para uma radiação de energia aproximadamente $0,409 \text{ MeV}$, o coeficiente “ μ ” de atenuação do chumbo é dez vezes mais elevado que a do alumínio, para esta faixa de energia;
- Mesma ***espessura***: alumínio ***absorve menos que*** chumbo.

Camada semi-redutora (HVL ou CSR)

- Um outro conceito importante no cálculo simplificado de blindagem é o de camada semi-redutora (CSR), que **corresponde** à **espessura necessária** para **reduzir** a intensidade do feixe à **metade** do valor inicial, estando relacionada com o coeficiente de atenuação μ .
- A lei de atenuação exponencial pode ser expressa

$$I = I_0 e^{-\mu \cdot x}$$

- Quando $I = I_0 / 2$, pode ser facilmente demonstrado que

$$\text{CSR} = \ln 2 / \mu$$

Camada décimo-redutora (TVL ou CDR)

- A Camada décimo-Redutora (CDR) é a espessura necessária para atenuar em 1/10 o feixe de fótons incidentes, é também muito utilizada no cálculo de espessura de blindagem.

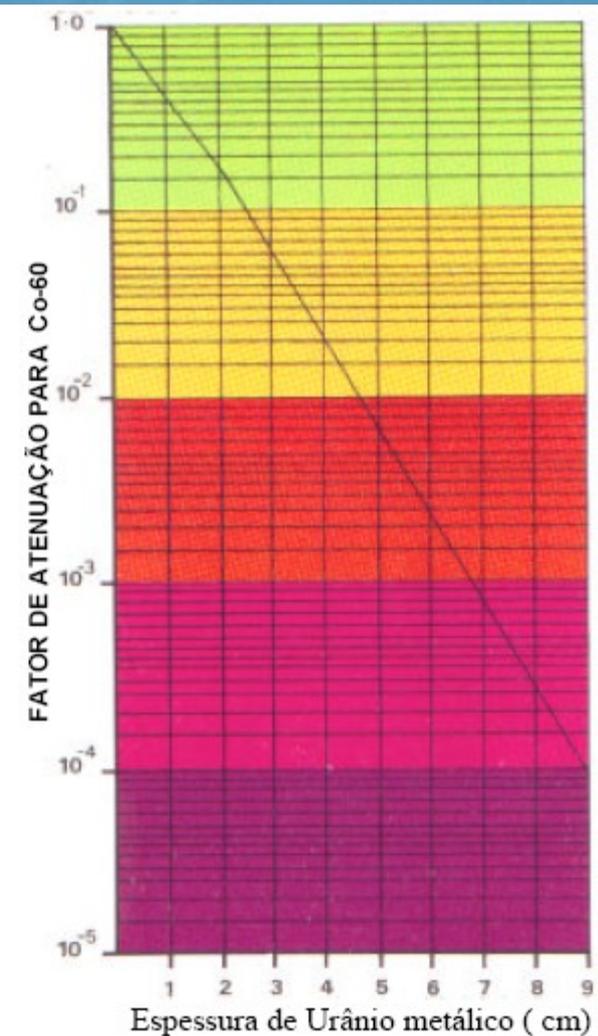
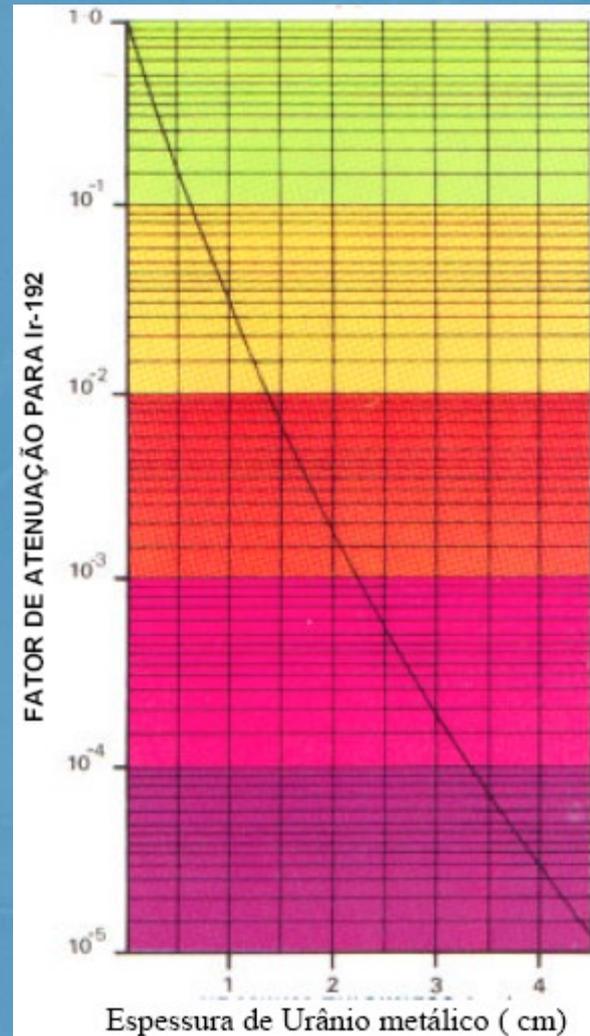
FONTE DE RADIAÇÃO	Alumínio 2,3 g/cm ³ (cm)		Chumbo 12 g/cm ³ (cm)		Concreto 2,3 g/cm ³ (cm)		Aço 7,8 g/cm ³ (cm)	
	HVL	TVL	HVL	TVL	HVL	TVL	HVL	TVL
Raios X 100 kVp	10,24	34,00	0,026	0,087	1,65	5,42	-	-
Raios X 200 kVp	2,20	7,32	0,043	0,142	2,59	8,55	-	-
Raios X 250 kVp *	-	-	0,088	0,29	0,28	0,94	-	-
Raios X 300 kVp *	-	-	0,147	0,48	0,31	1,04	-	-
Raios X 400 kVp *	-	-	0,25	0,83	0,33	1,09	-	-
Iridio 192	3,66	12,16	0,55	1,90	4,30	14,00	1,30	4,30
Cobalto 60	5,36	17,80	1,10	4,00	6,30	20,30	2,00	6,70
Césio 137	4,17	13,85	0,65	2,20	4,90	16,30	1,60	5,40

Fonte: IAEA , Manual on Gamma Radiography , e NCRP

* valores aproximados obtidos para voltagem de pico de um tubo direcional para uso médico

Fator de redução ou atenuação

- Outro parâmetro empregado para estimar a espessura do material de blindagem é o Fator de Redução ou atenuação (FR) definido pela relação: $FR = I_0 / I$.



Interação da radiação com a matéria

- Exemplo 1:
 - Uma instalação radioativa dotada de paredes de concreto com espessura de 20 cm, foi construída para operar com aparelhos de Raios X com até 300 kV. Devido às necessidades da empresa, uma fonte de Ir-192 com 30 Ci de atividade será utilizada em substituição ao aparelho de Raios X. O levantamento radiométrico resultou em uma taxa de dose a 2 m da parede do lado externo em $40 \mu\text{Sv/h}$. Qual deve ser a espessura do revestimento de chumbo do lado interno, necessário para reduzir a taxa de dose para $20 \mu\text{Sv/h}$?
 - *Observar tabela para coeficiente de atenuação linear para Ir-192*

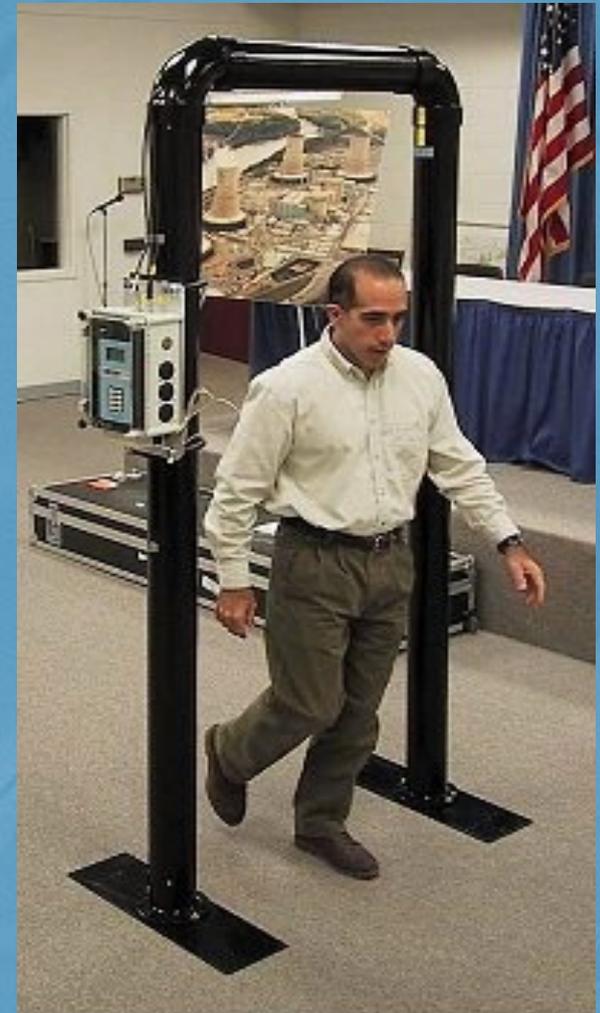
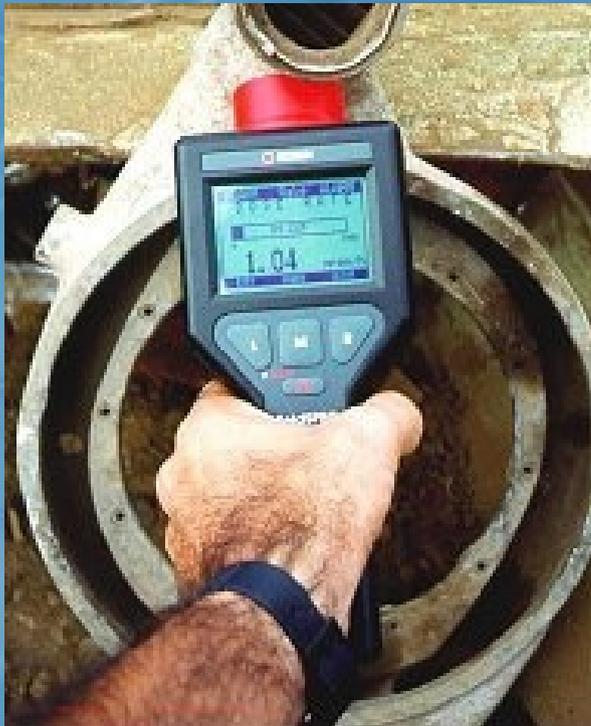
Interação da radiação com a matéria

- Exemplo 2:
 - Uma sala opera com um aparelho de Raios-X ajustado para 250 kV, e nestas condições o valor da dose anual de radiação do lado externo à parede da sala é de 3,5 mSv/ano. Qual a espessura do revestimento de chumbo adicional que deverá ser colocada para reduzir a dose de radiação externa a níveis recomendados pela legislação?
 - *Observar tabela para CSR ou HVL para raios X de 250kV*

Interação da radiação com a matéria

- Exemplo 3:
 - Uma equipe de trabalho operará uma fonte de Se-75 com atividade 3330 GBq durante a realização de ensaios não destrutivos (END) em uma seção de um gasoduto. Os ensaios terão duração de 6 meses. Sabendo que a atividade mínima necessária é de 830 GBq, pergunta-se:
 - a) Qual a atividade da fonte em 6 meses?
 - b) Os ensaios poderão ser concluídos com esta fonte?

Métodos de detecção da radiação



Métodos de detecção da radiação

- *Princípios de operação dos detectores de radiação;*
- *Detecção utilizando detectores à gás;*
- *Detecção utilizando detectores cintiladores;*
- *Detecção utilizando detectores semicondutores;*
- *Detecção utilizando dosímetros de leitura direta e indireta;*
- *Calibração dos instrumentos de medição.*

Métodos de detecção da radiação

- Detector de radiação ionizante
 - É um **dispositivo** que, colocado em um meio onde exista um campo de radiação, é **capaz** de **indicar** a sua **presença**.
 - Existem **diversos processos** pelos quais diferentes radiações podem interagir com o meio material utilizado para medir ou indicar características dessas radiações.
 - Entre esse **processos** os mais utilizados são os que envolvem a **geração** de **cargas elétricas**, a geração de **luz**, a **sensibilidade** de **películas** fotográficas, a **criação** de **traços** (buracos) no material, a geração de **calor** e alterações da dinâmica de certos **processos químicos**.
 - Normalmente a detecção da radiação é **obtida** através do elemento ou **material sensível** à radiação (o detector) e um **sistema** que **transforma** esses **efeitos** em um valor relacionado a uma **grandeza** de **medição** dessa radiação.

Métodos de detecção da radiação

- Propriedades de um detector
 - Para que um dispositivo seja **classificado** como um detector apropriado é **necessário** que além de ser adequado para a medição do mensurando, **apresente** nas suas seqüências de medição algumas características, tais como:
 - *Repetitividade;*
 - *Reprodutibilidade;*
 - *Estabilidade;*
 - *Exatidão;*
 - *Precisão;*
 - *Sensibilidade;*
 - *Eficiência.*

Métodos de detecção da radiação

- Propriedades de um detector
 - **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;
 - **Sensibilidade** – razão entre a variação da resposta de um instrumento e a correspondente variação do estímulo;
 - **Eficiência** – capacidade de converter em sinais de medição os estímulos recebidos.

Métodos de detecção da radiação

- Fatores que definem a escolha de um detector
 - **Tipo de radiação** – as radiações interagem de forma diferente com a matéria. Um detector pode ser eficiente para um e ineficiente para outro;
 - **Intervalo de tempo de interesse** – detectores ativos ou passivos;
 - **Precisão e resolução** – depende da incerteza envolvida, em ambiental incerteza de 20% é aceitável e na produção de padrões para medição de atividade incerteza de 0,5% é muito alta;
 - **Condições de trabalho do detector** – trabalho de campo desejável robustez, portabilidade e autonomia;
 - **Tipo de informação desejada** – taxa de contagens, de exposição ou de dose;
 - **Características operacionais e custo** – facilidade de operação, manutenção e custo.

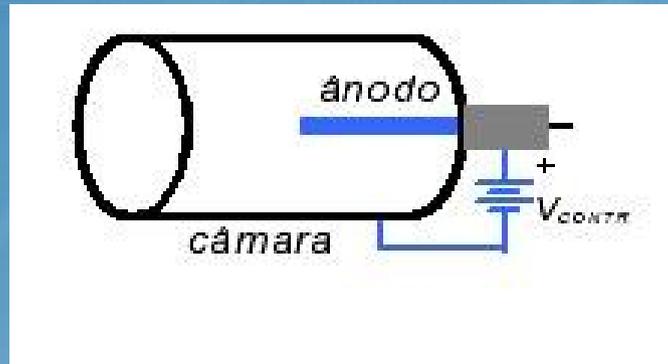
Métodos de detecção da radiação

- Monitores de radiação
 - É um detector *construído* e *adaptado* para radiações e finalidades *específicas associado* a uma *eletrônica* originando instrumentos de medição imediata da radiação, apresentando as seguintes propriedades regidas pela norma ISO 4037-1:
 - *Limite de detecção adequado;*
 - *Precisão;*
 - *Reprodutibilidade*
 - *Repetitividade;*
 - *Baixa dependência energética;*
 - *Baixa dependência direcional;*
 - *Baixa dependência de fatores ambientais.*



Métodos de detecção da radiação

- Detecção utilizando detectores à gás
 - Câmara metálica (cheia de gás), que faz papel do cátodo, e um fio positivamente polarizado, que serve de ânodo.



- A radiação ionizante gera pares de íons que são coletados no filamento central e uma corrente elétrica ou pulso é gerado e medido por um circuito externo.

Métodos de detecção da radiação

- Regiões de trabalho de um detector à gás



Métodos de detecção da radiação

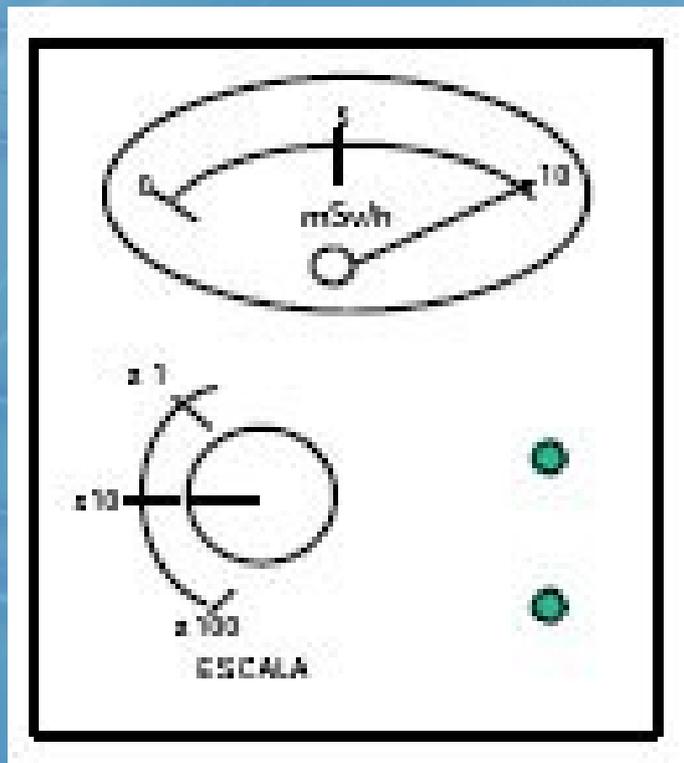
- Tipos de detectores à gás
 - Câmara de ionização
 - A corrente gerada é função do nº de interações com os fótons incidentes sendo influenciada pela energia da radiação incidente.
 - Contador proporcional
 - O sinal gerado é função do nº de interações com os fótons e partículas multiplicado por um fator constante. Existe uma proporcionalidade entre a energia da partícula incidente e o número de íons coletados.
 - Geiger-Müller
 - O sinal de saída é função de uma avalanche de elétrons gerados a partir da interação inicial, sendo independente da mesma, não sendo possível discriminar a radiação incidente.

Métodos de detecção da radiação

- Detector à gás – tipo Geiger-Müller (GM)
 - Os detectores Geiger-Müller (GM) foram introduzidos em **1928** e em função de sua simplicidade, baixo custo, e facilidade de operação e manutenção, são utilizados até hoje;
 - Apesar de versáteis na detecção de diferentes tipos de radiação, **não** permitem a **discriminação** do tipo de radiação e nem de sua energia;
 - São **utilizados** para detecção de radiação **gama** e **raios X** e também de **partículas carregadas** (α e β) com tanto que o detector possua **janelas** com **material fino**, permitindo a passagem destas radiações;
 - Os detectores **GM** podem ser utilizados para **estimar** grandezas como dose e exposição, **utilizando artifícios** de instrumentação e metrologia.

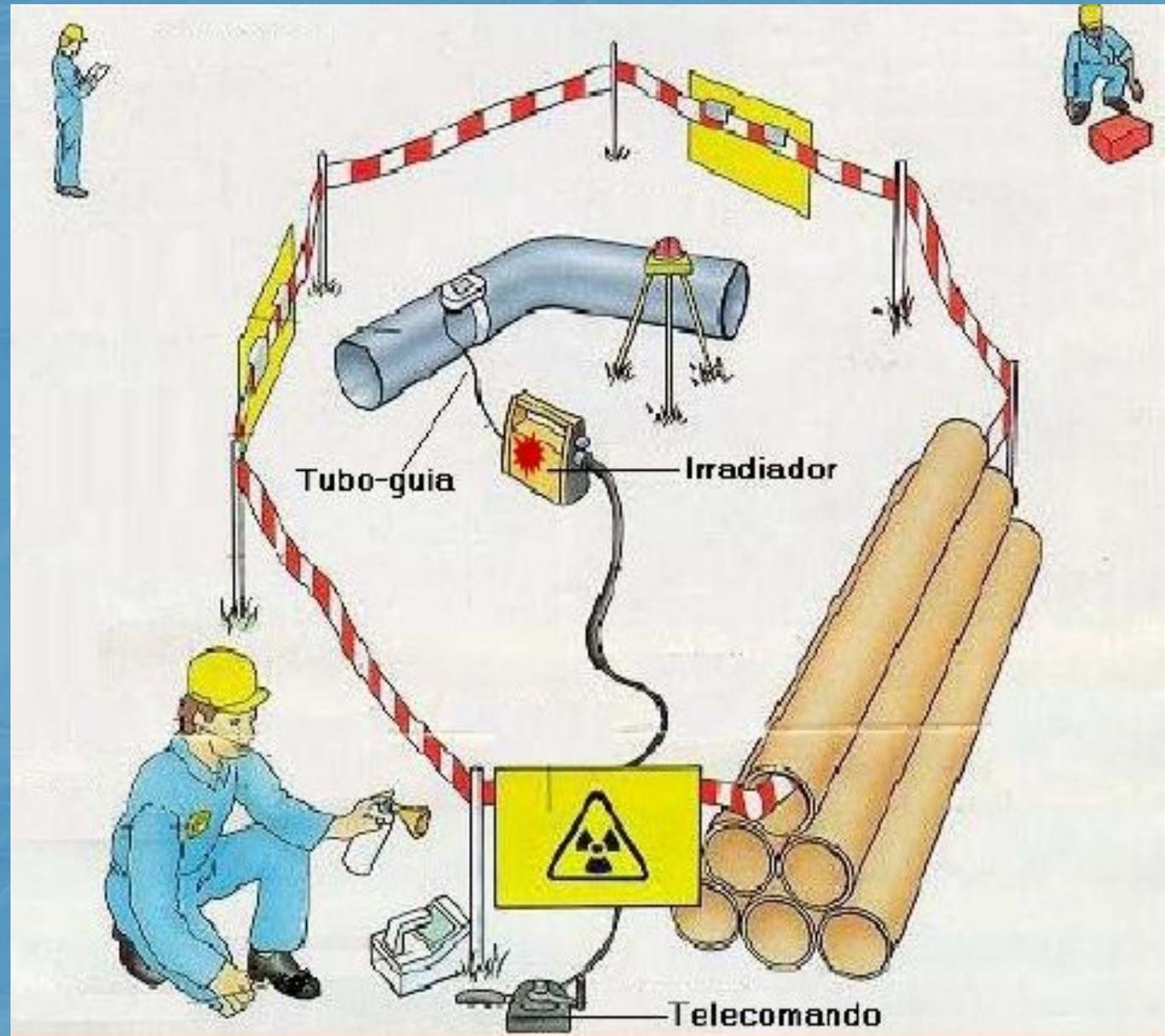
Métodos de detecção da radiação

- Detector à gás – tipo Geiger-Müller (GM)



Métodos de detecção da radiação

- Detector GM
– *Utilização*



Métodos de detecção da radiação

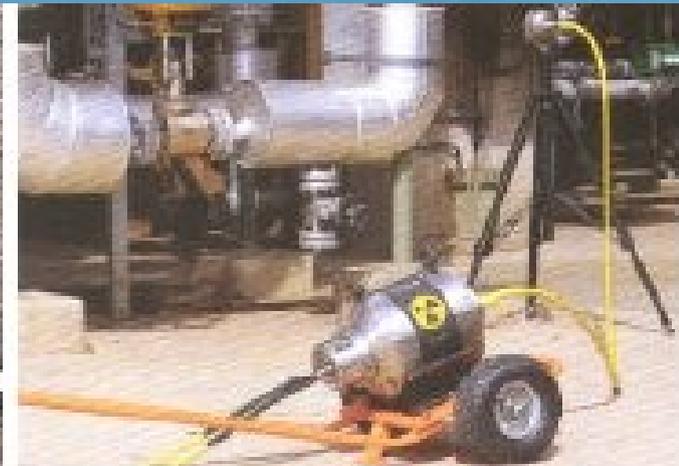
- Detector à gás – tipo Geiger-Müller (GM)
 - Relação entre Taxa de Dose e Atividade da fonte

$$\dot{D} = \Gamma \cdot \frac{A}{d^2}$$

- \dot{D} = taxa de dose em mSv/h;
- A = atividade da fonte em GBq;
- d = distância entre fonte e ponto de medição, em metros;
- Γ = constante para taxa de dose em (mSv . m²) / (h . GBq)

Métodos de detecção da radiação

- Detector à gás – tipo Geiger-Müller (GM)
- *Constante de taxa de dose (Γ) de fontes usadas em gamagrafia*



Se-75 :

0,053 mSv.m²/h.GBq

Ir-192 :

0,13 mSv.m²/h.GBq

Co-60 :

0,351 mSv.m²/h.GBq

Métodos de detecção da radiação

- Detector à gás – tipo Geiger-Müller (GM)
 1. Qual será a taxa de dose efetiva a 5 m de distância de uma fonte de Ir-192 com atividade de 400 GBq que está sendo utilizada na realização de END em um duto?
 2. Uma fonte de Ir-192 com atividade de 1250 GBq será utilizada na realização de END para a aferição de juntas soldadas. A que distância a taxa de dose será reduzida para 4 mSv / h ?

Métodos de detecção da radiação

- Exercícios

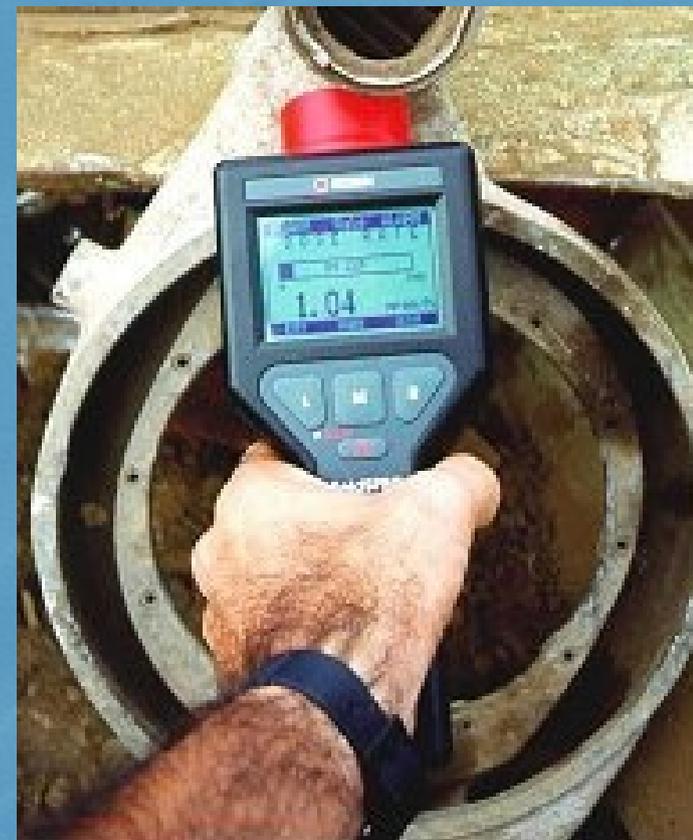
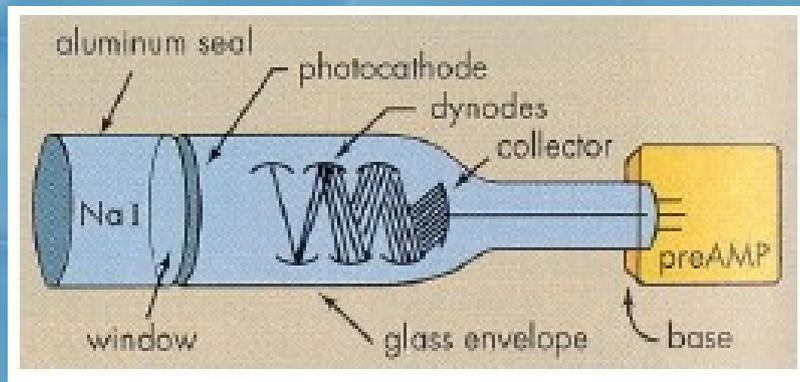
1. Uma empresa deve realizar um serviço de radiografia industrial numa área sem blindagens ou paredes de proteção, onde o nível de radiação medido na posição dos operadores é de 50 $\mu\text{Sv/h}$. Considerando as doses máximas recomendadas, para efeito de planejamento, quantas horas por mês os operadores poderão trabalhar ?
2. Qual a dose efetiva em **mSv**, recebida por um grupo de trabalhadores expostos durante 2 horas às radiações devido a uma fonte de Ir - 192 com 222 GBq de atividade, numa distância de 4 metros ? (Ir – 192: $\Gamma = 0,13 \text{ mSv}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{GBq}$)

Métodos de detecção da radiação

- Detecção utilizando detectores cintiladores
 - Alguns materiais *emitem luz* quando irradiados chamamos esta luz de cintilação.
 - A medida da luz emitida por cintiladores irradiados só foi possível após a descoberta das *válvulas fotomultiplicadoras*, em **1947**.
 - Usados em conjunto, cintilador e fotomultiplicadora, o *detector* é *capaz* de *medir* taxas de contagens de radiação ionizante.
 - Estes detectores podem ser considerados os *mais eficientes* na medida de raios γ e raios X *em função* de sua alta sensibilidade e eficiência.
 - A grande vantagem do cintilador é que a *luz produzida* é *proporcional a energia* do fóton incidente e conseqüentemente o pulso produzido pela fotomultiplicadora, o que permite a discriminação de fótons de energias diferentes.

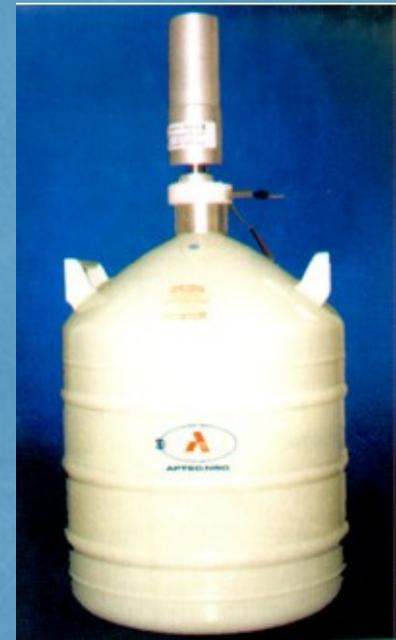
Métodos de detecção da radiação

- Detecção utilizando detectores cintiladores



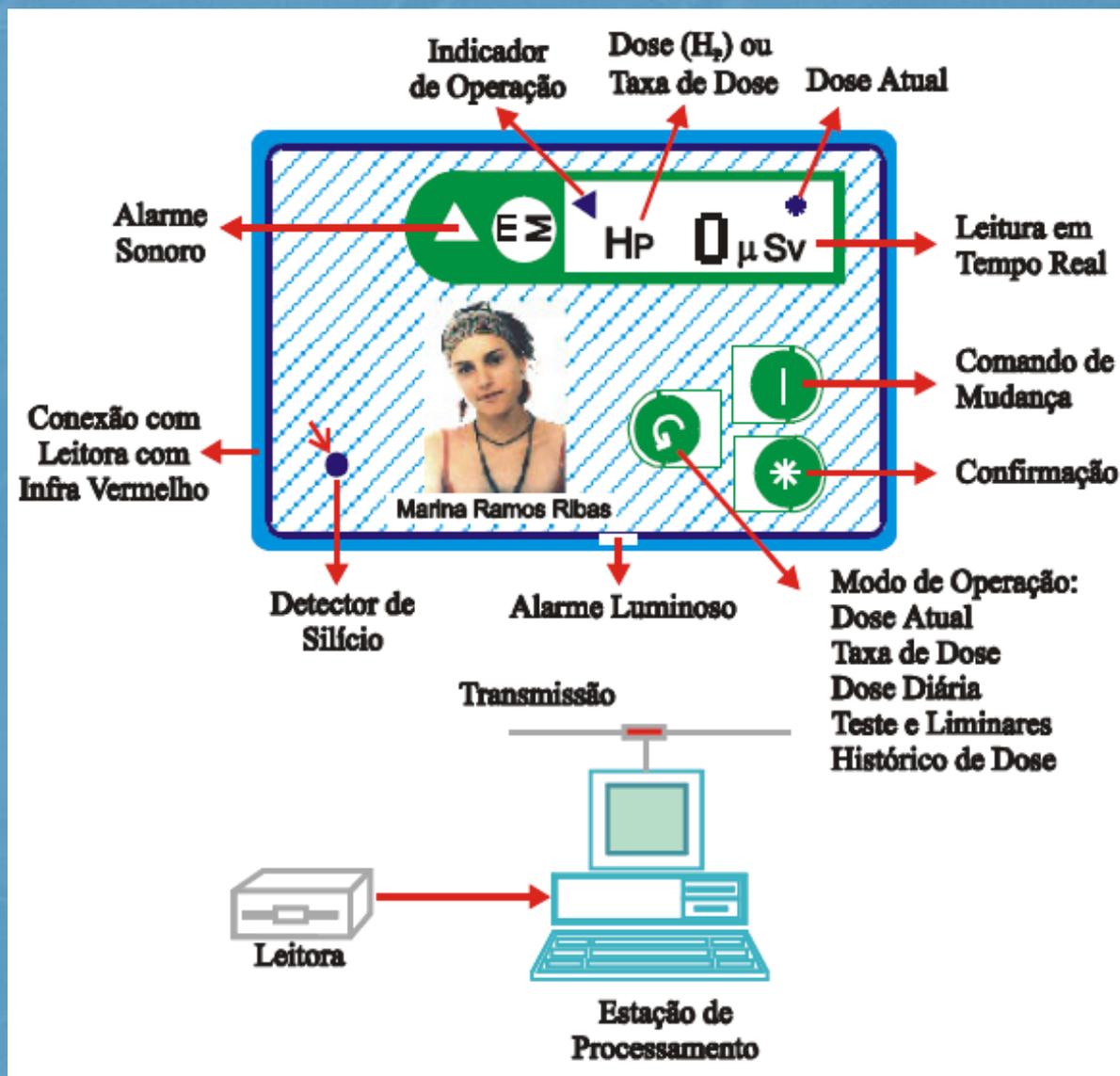
Métodos de detecção da radiação

- Detecção utilizando detectores semicondutores
 - O semicondutor é um material que pode atuar como isolante e sob determinadas condições (temperatura e impurezas) como elemento condutor;
 - Os materiais semicondutores mais utilizados como meio detector de radiação ionizante são o Germânio e Silício.
 - A principal característica, que tornam estes material adequados para utilização em medidores de radiação, baseia-se na sua **alta resolução** possibilitando a **discriminação** da energia da radiação incidente, com pequena flutuação e incerteza na medida.



Métodos de detecção da radiação

- Detector semicondutor
 - Utilização



Métodos de detecção da radiação

- Detecção utilizando dosímetros
 - Dosímetros são monitores de radiação que reproduzem dose efetiva ou equivalente;
 - Baseiam-se em materiais que a radiação induz alterações físicas ou químicas (filme dosimétrico, TLD), que posteriormente serão medidas através de um determinado processo;
 - Podem ser **classificados** como de **leitura indireta**, acumulam os efeitos da interação da radiação para posterior leitura (ex.: TLD, filmes dosimétricos) ou de **leitura direta** que possibilitam a visualização imediata das interações ocorridas (ex.: caneta dosimétrica e dosímetros eletrônicos).

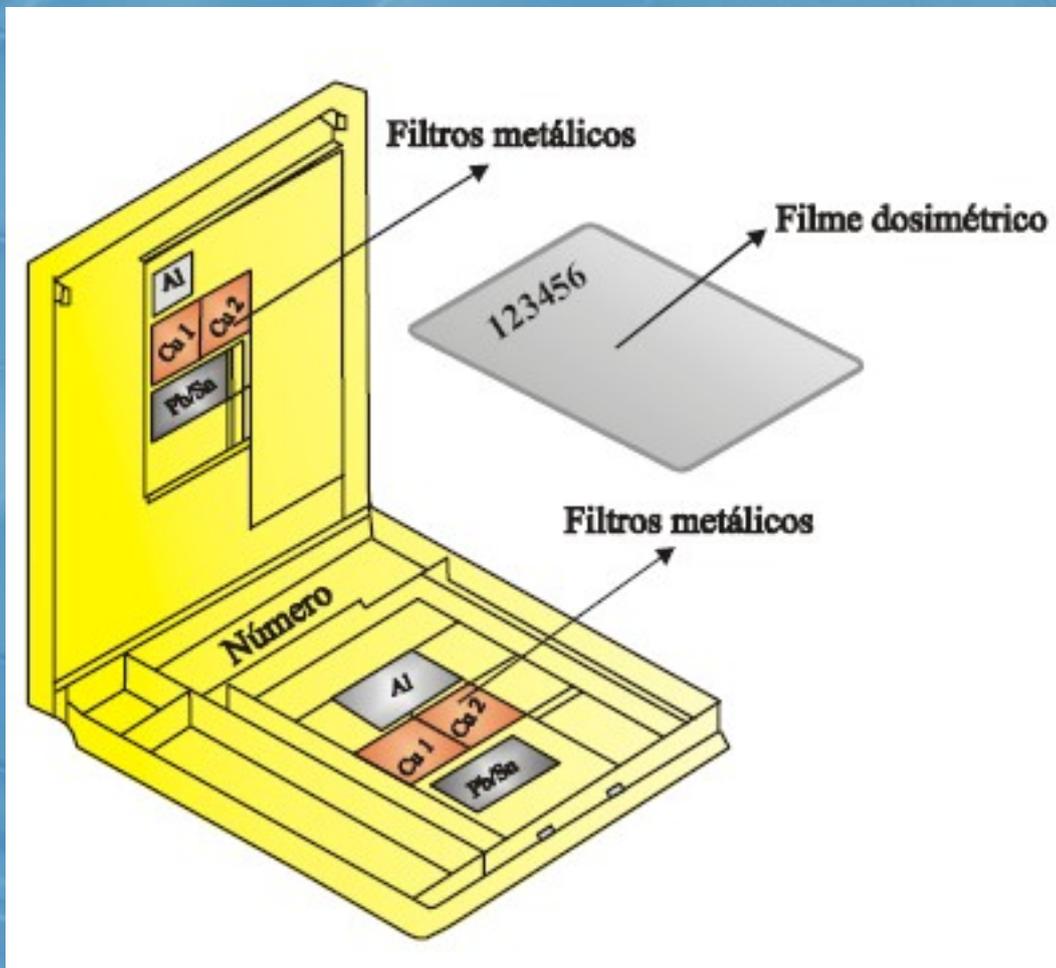
Métodos de detecção da radiação

- Dosímetros de leitura indireta – TLD



Métodos de detecção da radiação

- Dosímetros de leitura indireta – Filme dosimétrico



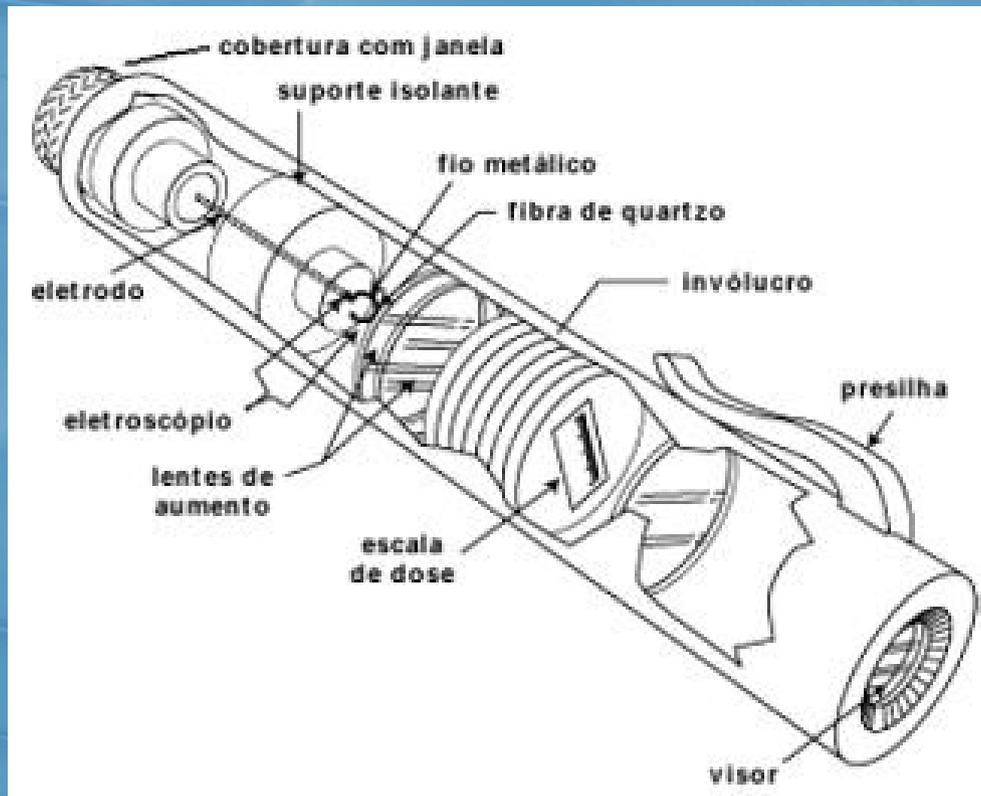
Métodos de detecção da radiação

- Dosímetros de leitura direta – Eletrônico



Métodos de detecção da radiação

- Dosímetros de leitura direta – Caneta dosimétrica



Métodos de detecção da radiação

- Calibração dos instrumentos de medição
 - Por causa das propriedades e efeitos biológicos das radiações ionizantes, os resultados das medições das chamadas grandezas radiológicas devem ser extremamente confiáveis;
 - Os **detectores**, principalmente os utilizados em condições de campo, sofrem alterações em seu funcionamento e **devem ser calibrados** com uma periodicidade, definida em norma dos órgãos reguladores, para garantir a manutenção de suas propriedades de medição;
 - A **calibração** dos detectores **é feita** comparando-se suas características de medição com aparelhos padrões nacionais, sob condições rigorosamente controladas;
 - Essas **condições** são **estabelecidas** nos laboratórios da rede de calibração, os quais são rastreados ao sistema internacional de metrologia.

Métodos de detecção da radiação

- Calibração dos instrumentos de medição das radiações ionizantes (Rio de Janeiro)
 - Instituto de Radioproteção e Dosimetria (**IRD**) - Laboratório de Dosimetria Padrão Secundário (IAEA, WHO 1976)
 - Tipos de detectores: a gás, cintiladores e semicondutor
 - » <http://ird.gov.br>
 - Laboratório de Ciências Radiológicas (**LCR** – UERJ)
 - Tipos de detectores: a gás;
 - » <http://www.lcr.uerj.br>

Equipamentos de radiação para uso industrial

- Equipamentos Emissores de Radiação Gama para Aplicações Industriais
- Equipamentos de Medição de Nível e Controle de Espessuras ou Densidades
- Armazenamento, Transporte e Sinalização dos Equipamentos de Radiação
- Equipamentos Emissores de Raios-X para Aplicações Industriais

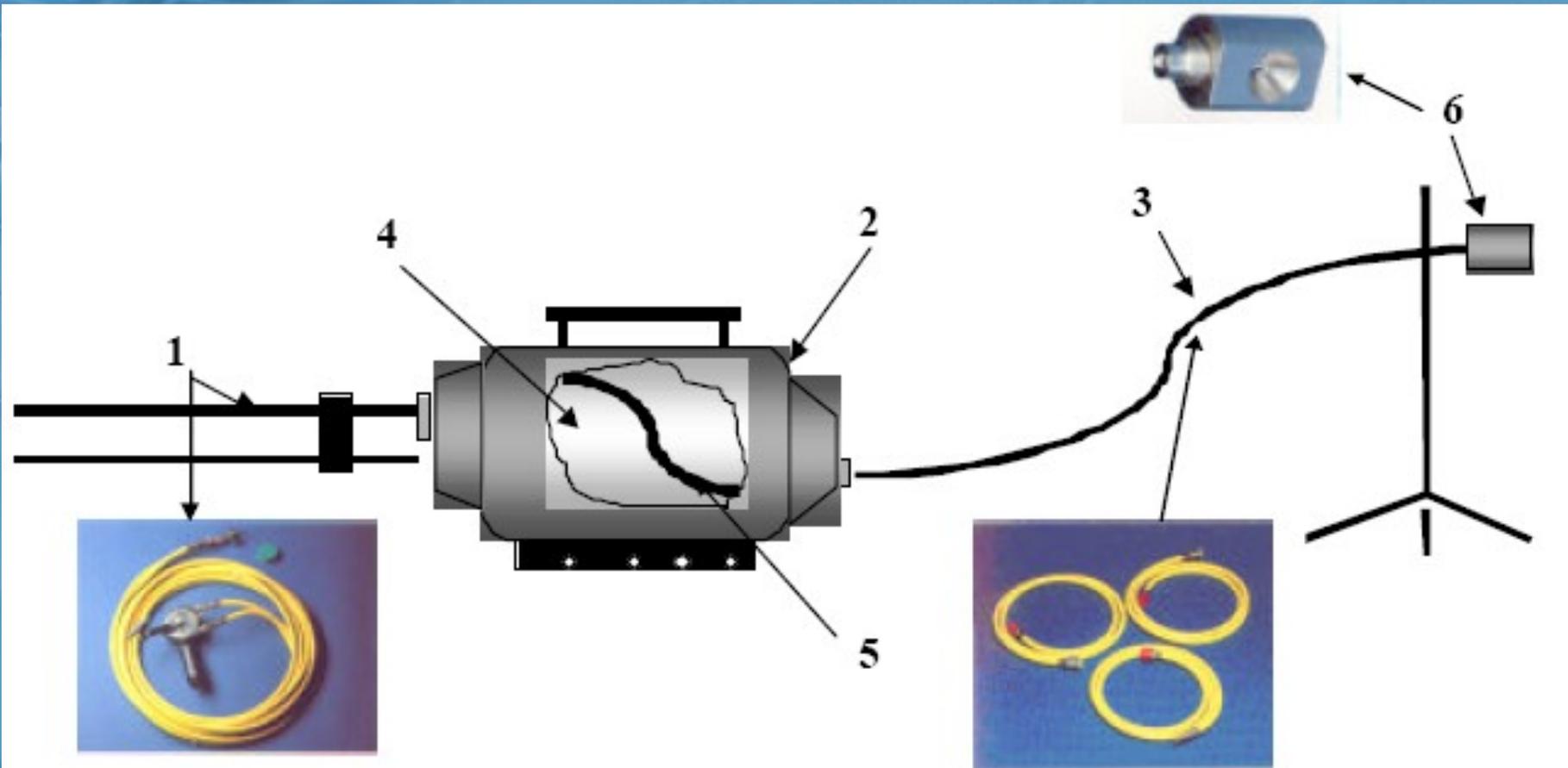
Equipamentos emissores de radiação gama para aplicações industriais

INSTALAÇÕES ABERTAS DE GAMAGRAFIA INDUSTRIAL NO PAÍS



Fontes: RIAFs e RARAE

Equipamentos emissores de radiação gama - Irradiadores

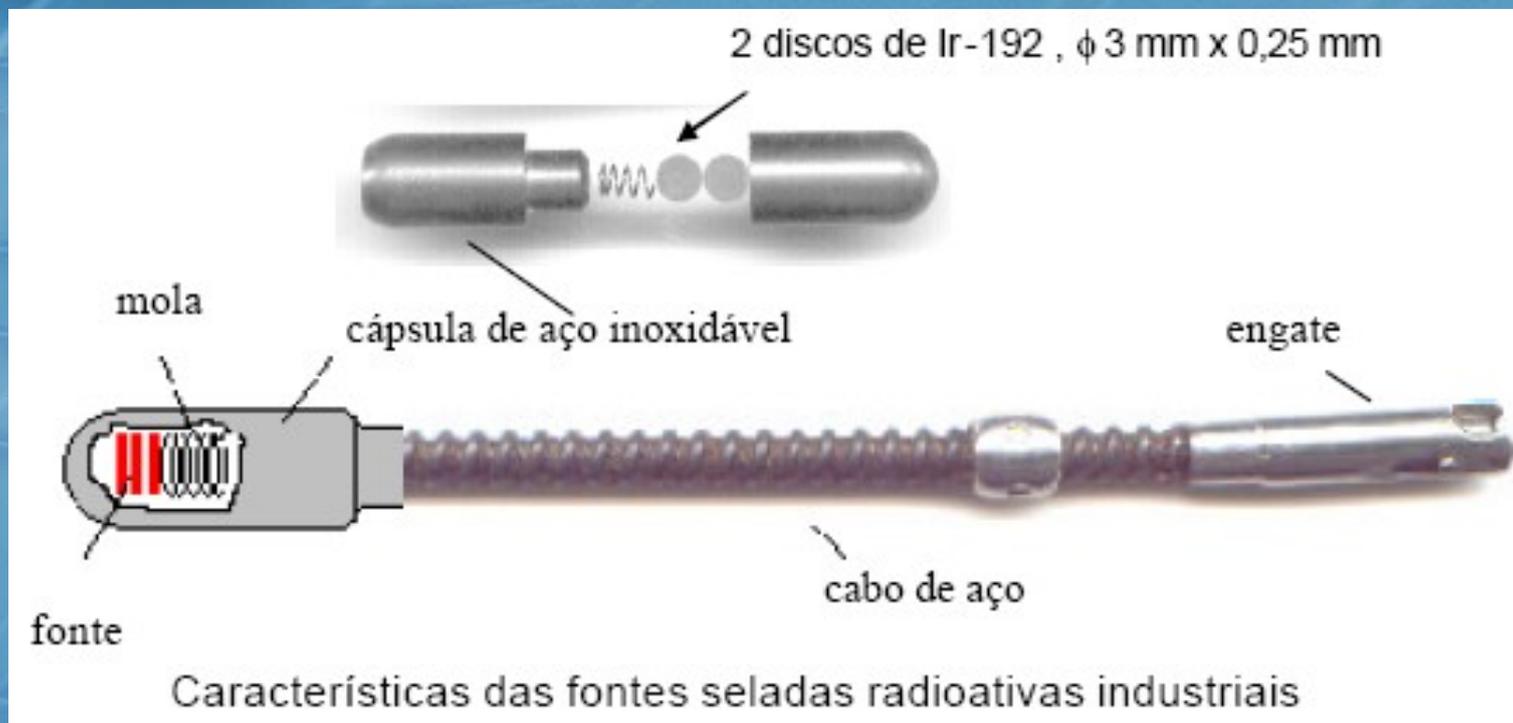


1 = Cabo de Comando ou tele-comando
2 = Irradiador
3 = Tubo Guia (flexível)

4 = Blindagem de Urânio Metálico
5 = Canal de transito da fonte em "S"
6 = Colimador

Esquema do Equipamento para Gamagrafia Industrial

Irradiadores - Fontes e utilização



Se-75 :

- *Faixa de utilização mais efetiva = 4 a 30 mm de aço.*

Ir-192 :

- *Faixa de utilização mais efetiva = 10 a 40 mm de aço.*

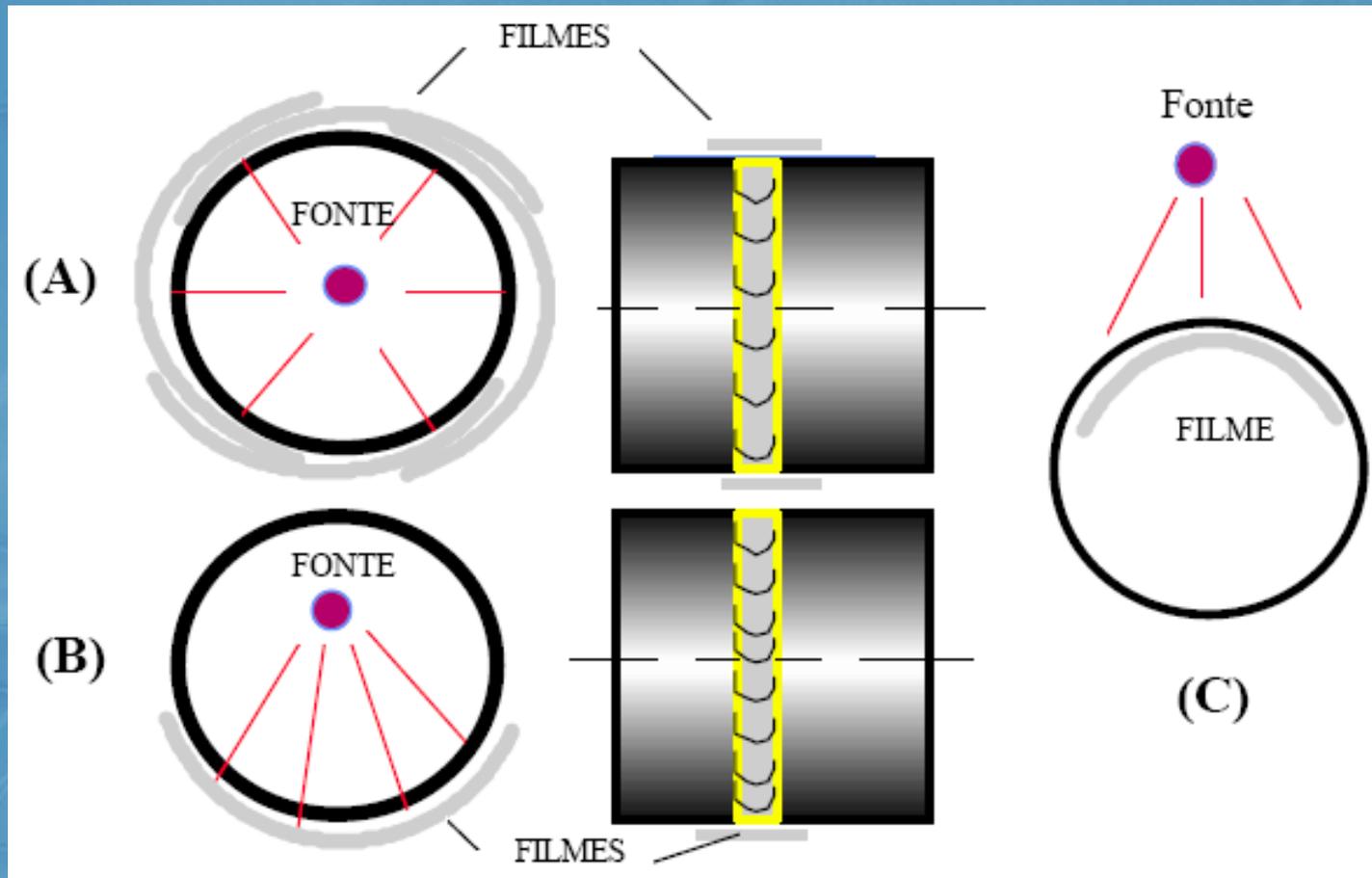
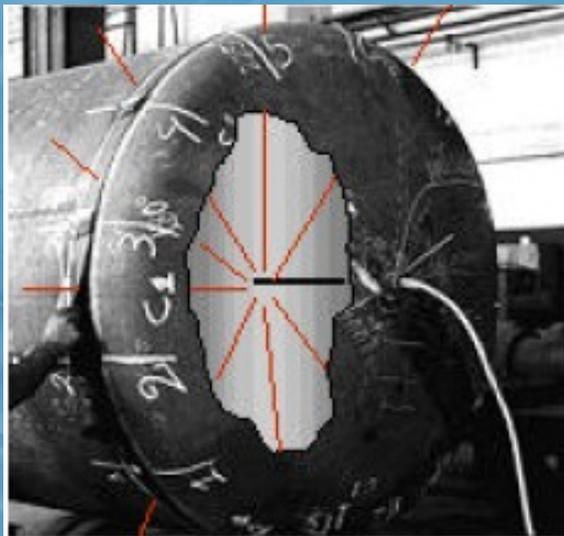
Co-60 :

- *Faixa de utilização mais efetiva = 60 a 200 mm de aço.*

Irradiadores - Técnicas de Exposição Radiográfica

- *Técnica de Parede Simples – PSVS*

- É a principal técnica utilizada na inspeção radiográfica, é assim chamada pois no arranjo entre a fonte de radiação, peça e filme, somente a seção da peça que está próxima ao filme será inspecionada e a projeção será em apenas uma espessura do material.

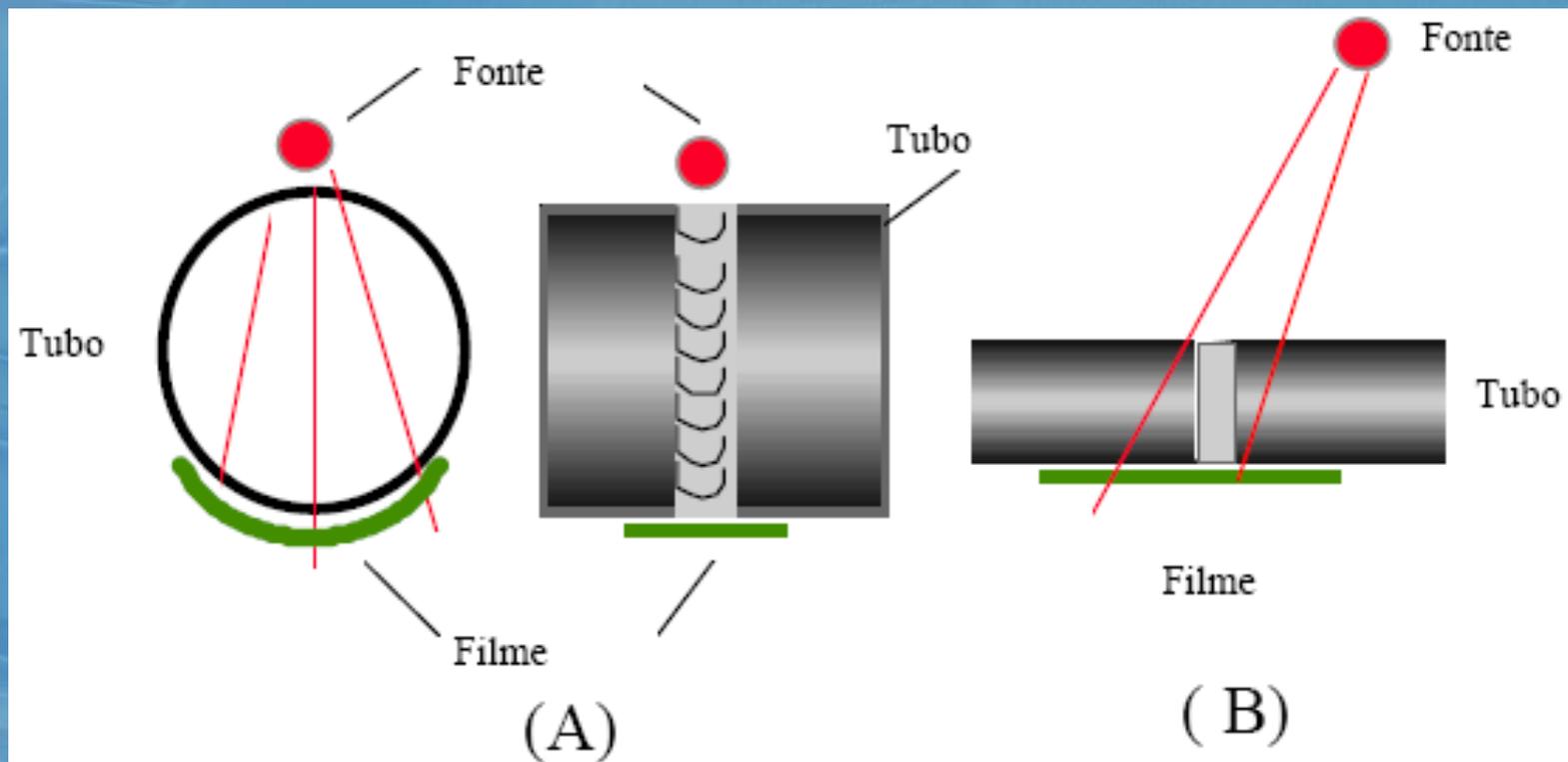


Irradiadores - Técnicas de Exposição Radiográfica

- *Técnica de Parede Dupla*

A) *Vista Simples (PDVS)*: utilizada em inspeções de juntas soldadas, as quais não possuem acesso interno, por exemplo tubulações com diâmetros maiores que 3½ polegadas, vasos fechados, e outros;

B) *Vista Dupla (PDVD)*: usada para inspeção de juntas soldadas em tubulações com diâmetros menores que 3½ polegadas.

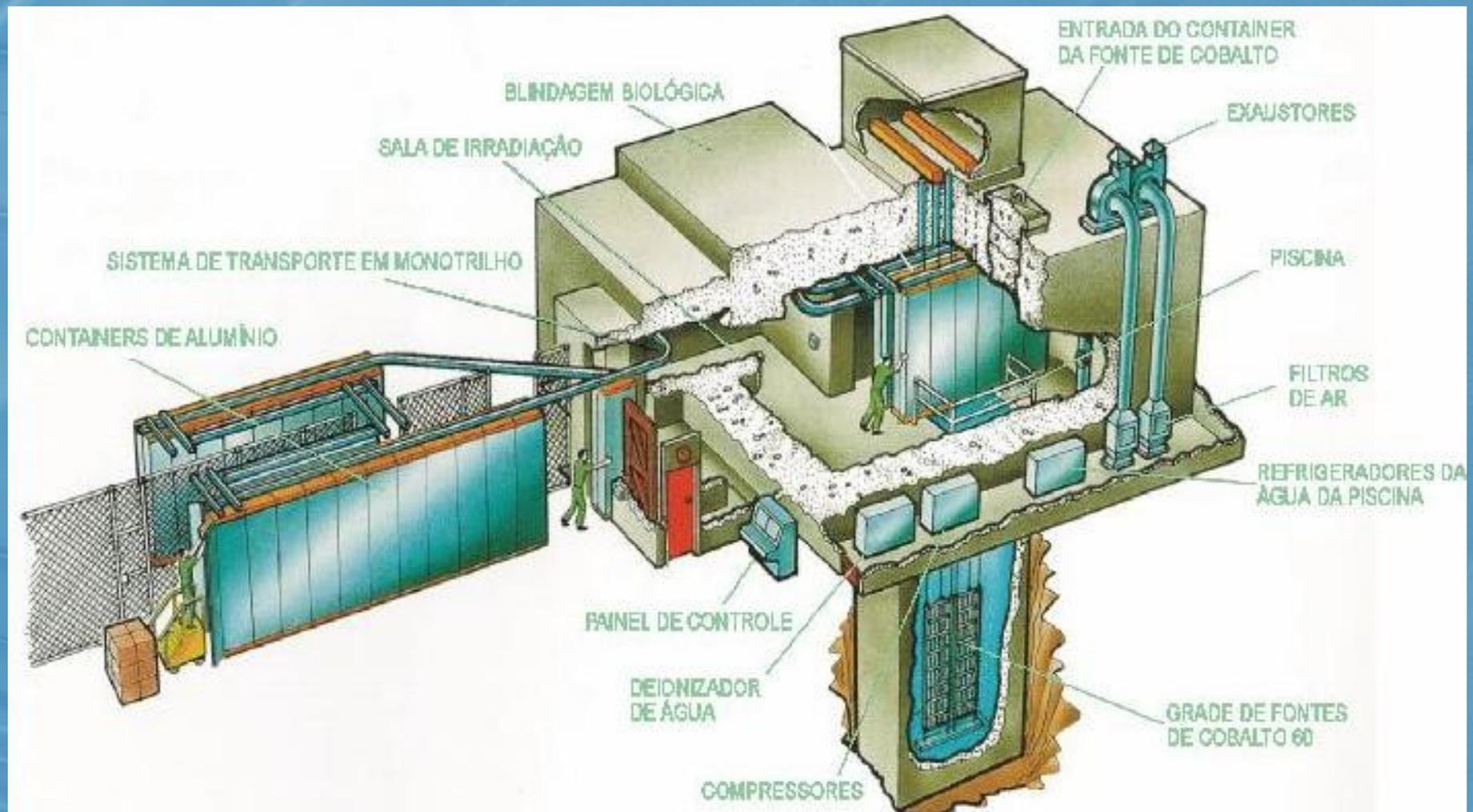


Equipamentos emissores de radiação gama para aplicações industriais



Equipamentos emissores de radiação gama para aplicações industriais

- Irradiadores de grande porte: radiação gama

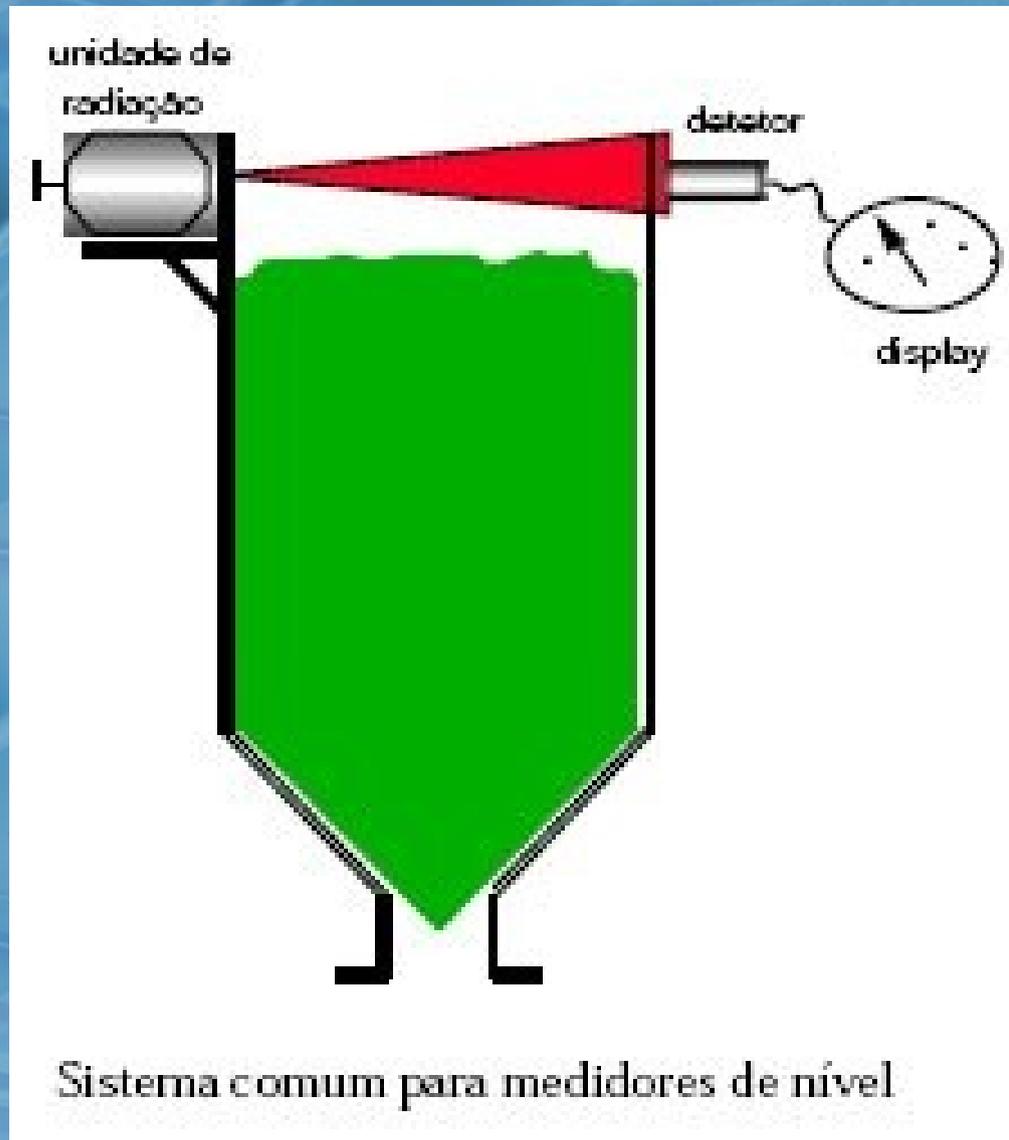


Equipamentos emissores de radiação gama para aplicações industriais

- Irradiadores de grande porte: radiação gama



Equipamentos para medição de Nível e Controle de Espessuras e Densidades

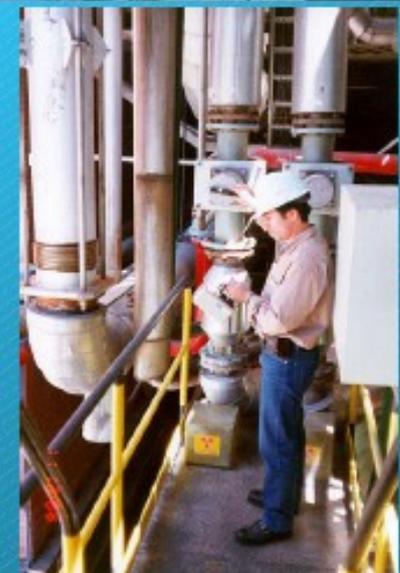


- Os medidores de nível, e de espessuras, são dotados de fontes radioativas com meia-vida muito longa, como Cs-137 ou Co-60, com atividades da ordem de mCi, sendo sua operação bastante segura, uma vez que opera dentro da blindagem.

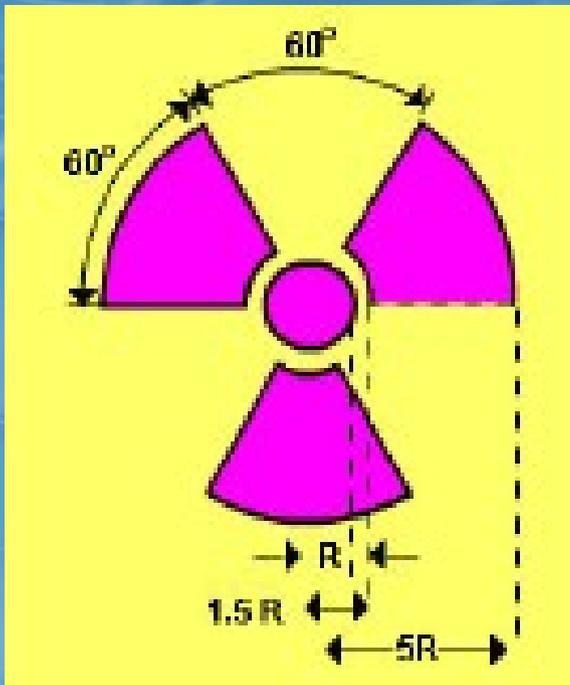
Equipamentos para Medição de Nível e Controle de Espessuras e Densidades



**Monitoração
dos medidores
nucleares**



Armazenamento, transporte e sinalização dos equipamentos de radiação



- Símbolo internacional de presença de radiação com suas cores e dimensões oficiais.



Armazenamento, transporte e sinalização dos equipamentos de radiação



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

- *Norma CNEN NE-5.01: Transporte de materiais radioativos*

Armazenamento, transporte e sinalização dos equipamentos de radiação

- Recomendações para verificação do transporte de materiais radioativos
 1. O veículo que transporta o irradiador contendo a fonte radioativa está em boas condições de conservação e sinalizado com rótulos e painéis de segurança nas laterais e na traseira?



Armazenamento, transporte e sinalização dos equipamentos de radiação

- Recomendações para verificação do transporte de materiais radioativos
 2. O veículo que transporta o irradiador contendo a fonte radioativa dispõe dos seguintes equipamentos de emergência: cordas, blindagens, pinças de no mínimo 1 metro de comprimento, recipientes de chumbo, sinais luminosos e placas de sinalização?
 3. O veículo que transporta o irradiador contendo a fonte radioativa tem a seguinte documentação da carga: ficha e envelope de emergência, ficha de monitoração da carga e do veículo e da declaração do expedidor?

Este envelope contém informações importantes.

Leia-o cuidadosamente antes de iniciar sua viagem.
Em caso de emergência, procure o seu agente de viagem.
Avise a polícia e os bombeiros. Telefone próximo para os pontos de atendimento de emergência: 190, 192, 193, 194, 195.

Documentos que acompanham o transporte

- Declaração de responsabilidade material do expedidor.
- Ficha de emergência.
- Outros.

Telefones de emergência

COMPANHIA BRASILEIRA DE TRANSPORTES
CARGAS PERigosas (CARGAS PERigosas)
RUA BRASILEIRA, 1000 - JARDIM SÃO CARLOS - SÃO PAULO - SP
CEP: 05309-000
FONE: (11) 3061-1000
FAX: (11) 3061-1001
E-MAIL: CARGAS@CBT.COM.BR
WWW.CBT.COM.BR

Transportador:

Otras providências necesarias

- Llevar a una alameda cuboos.
- Señalar el lugar de destino.
- El emisor su agente de viaje debe ser capaz de explicar las características, riesgos, etc.
- Prever a medida de emergéncia el lugar de destino de la carga en caso de emergencia.
- Comunicar inmediatamente al transportador al embarcar la carga en el lugar de destino o salida.

Armazenamento, transporte e sinalização dos equipamentos de radiação

- Recomendações para verificação do transporte de materiais radioativos
 4. O irradiador contendo a fonte radioativa é acondicionado em caixa metálica fixada no veículo, mantida trancada e contendo o símbolo internacional de radiação e sinalizada com os dizeres "***Material radioativo deve ser manipulado somente por pessoas que receberam treinamento adequado***"; Nome da firma; telefone para contato?



Armazenamento, transporte e sinalização dos equipamentos de radiação

- Recomendações para verificação do transporte de materiais radioativos
 5. Os dados das placas de identificação da fonte e do irradiador estão legíveis e há correspondência entre as informações contidas nestas placas com os dados correspondentes contidos no relatório de vistoria?



Armazenamento, transporte e sinalização dos equipamentos de radiação

- Recomendações para verificação do transporte de materiais radioativos

6. O irradiador tem relatório de vistoria dentro do **prazo de validade** (12 meses)?

Serviço Público Federal
Comissão Nacional de Energia Nuclear
São Paulo

RELATÓRIO DE VISTORIA CNEN/SP: 071/00

Os equipamentos de radiografia industrial (irradiador e acessórios), discriminado no presente documento, foram vistoriados conforme abaixo descrito:

1 - ENGATES	(X) ADEQUADO	() INADEQUADO
2 - TELECOMANDO	(X) ADEQUADO	() INADEQUADO
3 - CONDUITE DO CABO GUIA	(X) ADEQUADO	() INADEQUADO
4 - IRRADIADOR		
ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO	(X) BOM	() MAU
SISTEMA DE TRAVAGEM	(X) ADEQUADO	() INADEQUADO
BLINDAGEM	(X) ADEQUADO	() INADEQUADO
SINALIZAÇÃO	(X) ADEQUADO	() INADEQUADO

IDENTIFICAÇÃO DO IRRADIADOR:

EMPRESA :
CONTEÚDO MÁXIMO :
FABRICANTE :
MODELO : TI-PP N. SÉRIE: 321
N. DO CERTIFICADO DE APROVAÇÃO DO PROJETO :
ACESSÓRIOS APRESENTADOS: CABO DE COMANDO E TUBO GUIA
NÚMERO DO ACESSÓRIO : VP-03
FONTE N. : IRS 3402

IRRADIADOR EM CONDIÇÕES DE RECEBER FONTE: (X) SIM () NÃO

OBS.: 1 - ESTES EQUIPAMENTOS DEVERÃO SER VISTORIADOS OBRIGATORIAMENTE NO PRAZO MÁXIMO DE 12 (DOZE) MESES A PARTIR DA PRESENTE DATA OU EM CADA RETIRADA DE FONTE.

OBS.: 2 -

SUPERVISOR DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA _____ DATA: 05/06/2000
RESP. P/ PRODUÇÃO DE FONTES SELADAS _____

ATENÇÃO: CABE AO SUPERVISOR DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA ESTABELECEER OS PROCEDIMENTOS NECESSÁRIOS E IMPLEMENTAR A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DOS EQUIPAMENTOS RADIOGRÁFICOS, DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA E DE MONITORAÇÃO.

Equipamentos de Raios X para Uso Industrial



Raios X Industrial, de até 300 kV



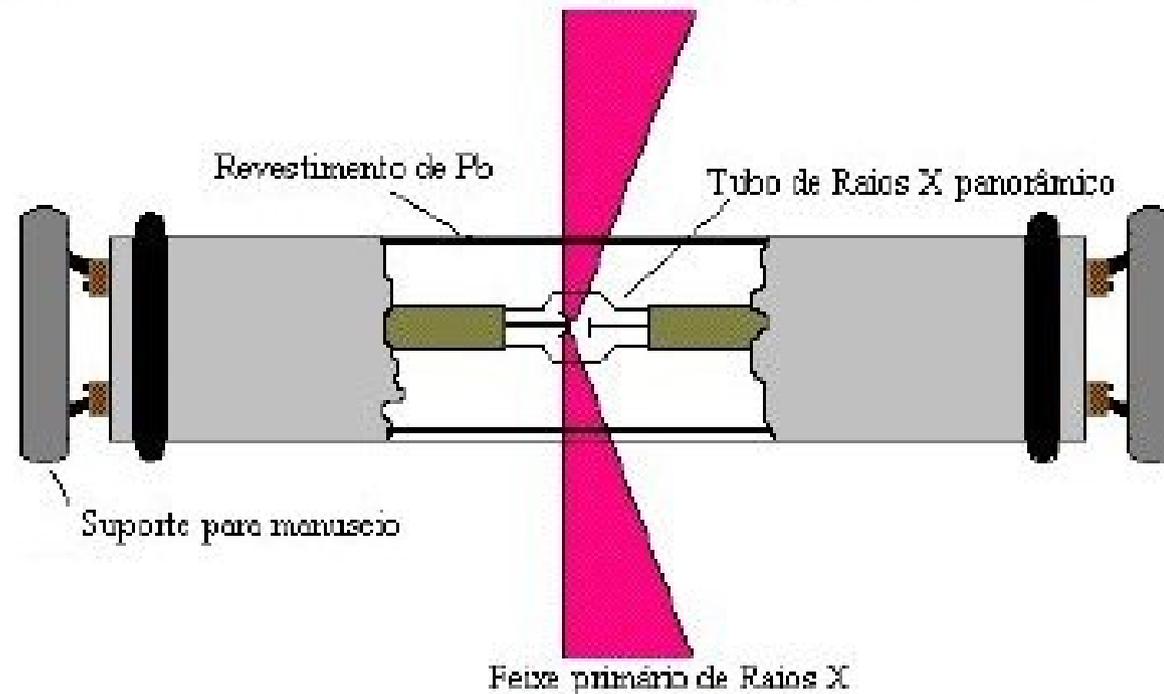
Inspeção radiográfica de soldas em tubos

Tensão

Faixa de Espessura

150 kV
250 kV
400 kV
1 Mev
2 Mev
4 Mev

de 5 até 15 mm
de 5 até 40 mm
de 5 até 65 mm
de 5 até 90 mm
de 5 até 250 mm
de 5 até 300 mm



Equipamentos de Raios X para Uso Industrial



- Equipamento gerador de Raios X industrial, direcional, pesando 24 kg e a mesa de comando 13 kg, tamanho focal 1,5 mm, com tensão de 20 a 200 kV e corrente de 0,5 a 10 mA. (extraído “Proteção Radiológica – Ricardo Andreucci”)

Equipamentos de Raios X para Uso Industrial

- Equipamentos aceleradores lineares
 - São equipamentos dotados de sistemas especiais que aceleram partículas carregadas, como por exemplo elétrons a grandes velocidades, que se chocam contra um alvo com pequeno ponto focal, liberando altas energias de radiação eletromagnética (Raios X) até 4 MeV para os aparelhos industriais, capazes de atravessar com facilidade 100 mm até 300 mm de aço.



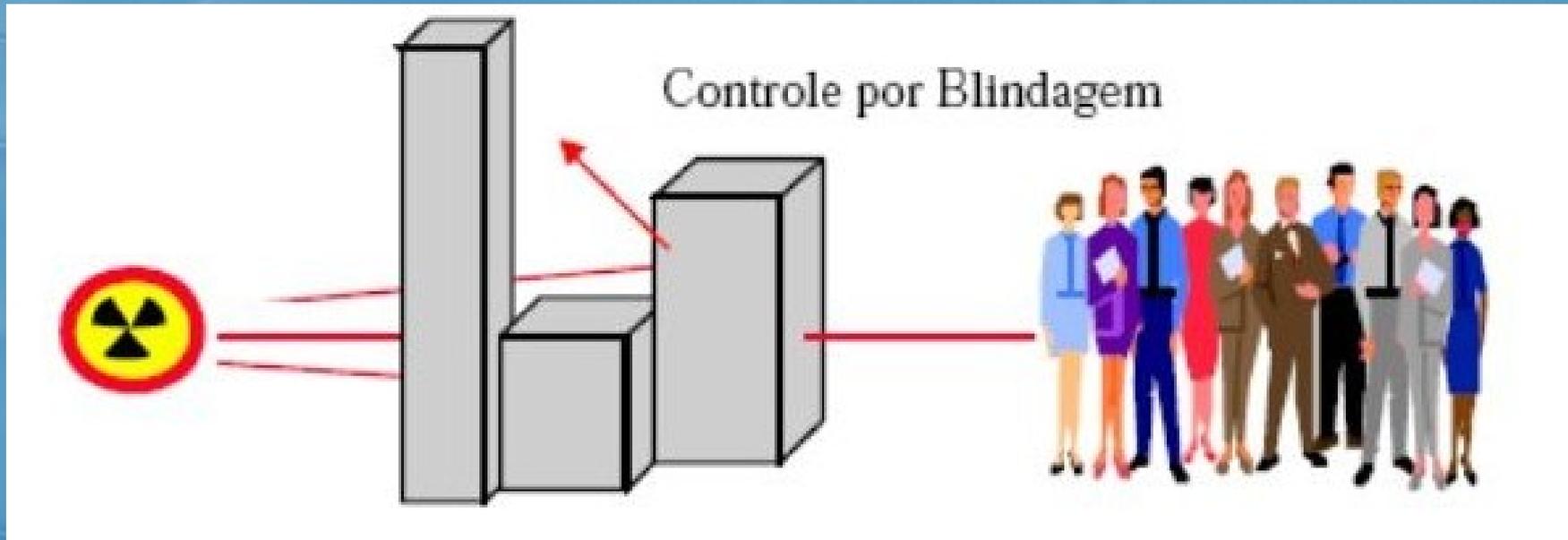
- Estes equipamentos não são portáteis e necessitam de instalação adequada, para movimentação do aparelho e as espessuras das paredes de concreto, que podem alcançar cerca de 1 metro.

Controle das radiações ionizantes aplicado a indústria

- Tempo, blindagem e distância
- Limites primários anuais de dose efetiva e equivalente
- Plano de radioproteção

Controle das radiações ionizantes aplicado a indústria

- Blindagem



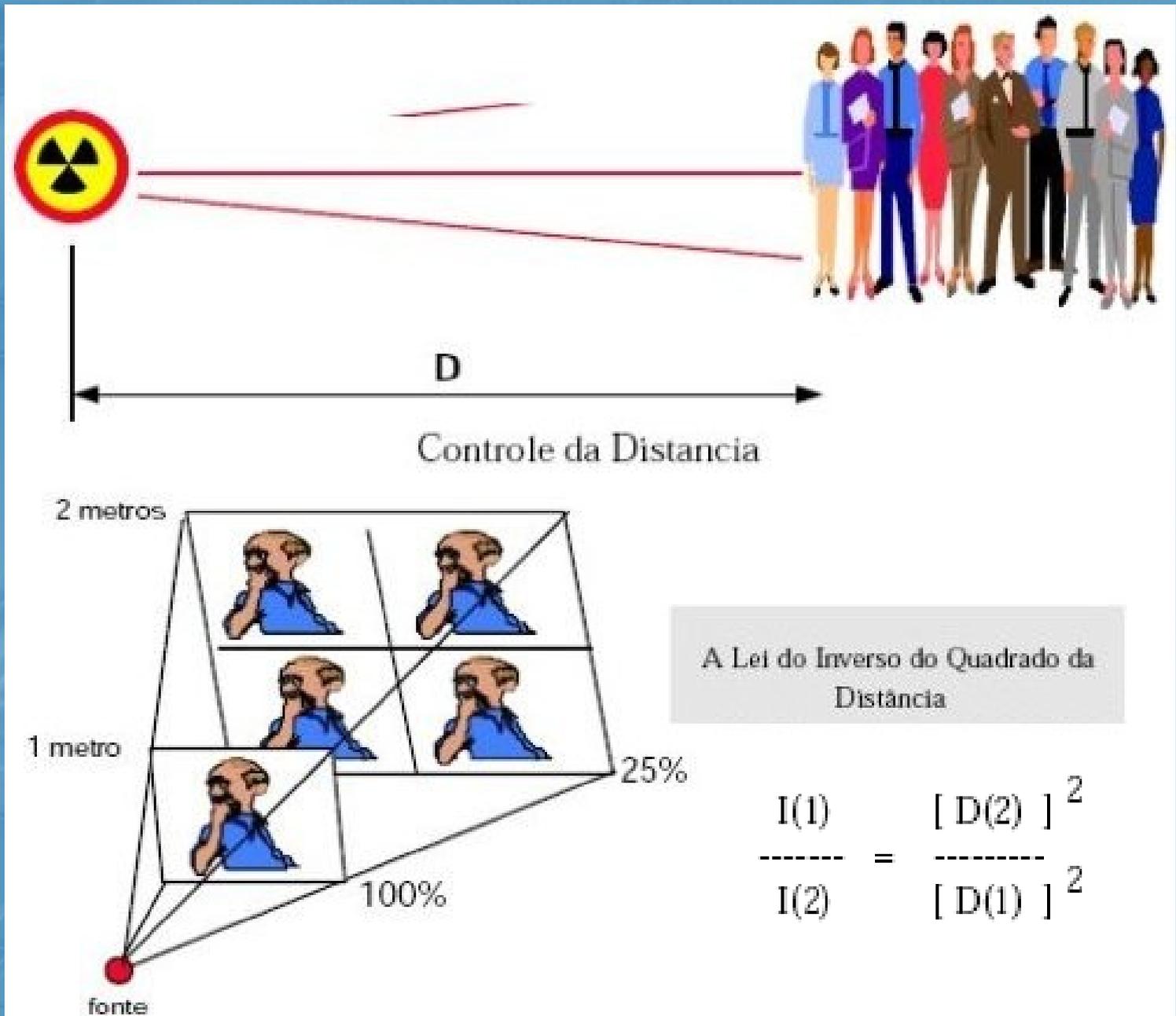
Controle das radiações ionizantes aplicado a indústria

- Tempo



Controle das radiações ionizantes aplicado a industria

- Distância



Controle das radiações ionizantes aplicado a indústria

- Princípios da Radioproteção
 - Justificação da prática
 - Otimização (da proteção radiológica)
 - Limitação da dose individual

Controle das radiações ionizantes aplicado a indústria

- Limites primários anuais de dose efetiva e equivalente
 - Os *limites* de doses individuais são valores de *dose efetiva* ou de *dose equivalente* nos órgãos ou tecidos de interesse, estabelecidos para *exposição ocupacional* e *exposição do público* decorrentes de *práticas autorizadas*, cujas magnitudes não devem ser excedidas.

Controle das radiações ionizantes aplicado a indústria

Limites de <i>Dose</i> Anuais [a]			
Grandeza	Órgão	<i>Indivíduo ocupacionalmente exposto</i>	<i>Indivíduo do público</i>
<i>Dose efetiva</i>	Corpo inteiro	20 mSv [b]	1 mSv [c]
<i>Dose equivalente</i>	Cristalino	150 mSv	15 mSv
	Pele [d]	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	---

[a] Para fins de *controle administrativo* efetuado pela *CNEN*, o termo *dose* anual deve ser considerado como *dose* no ano calendário, isto é, no período decorrente de janeiro a dezembro de cada ano.

[b] Média ponderada em 5 anos consecutivos, desde que não exceda 50 mSv em qualquer ano.

[c] Em circunstâncias especiais, a *CNEN* poderá autorizar um valor de *dose efetiva* de até 5 mSv em um ano, desde que a *dose efetiva* média em um período de 5 anos consecutivos, não exceda a 1 mSv por ano.

[d] Valor médio em 1 cm² de área, na região mais irradiada.

Controle das radiações ionizantes aplicado a indústria

- Posição regulatória 3.01 / 004
 - Restrição de dose, níveis de referência ocupacionais e classificação de áreas
 - **Restrição de dose**
 - Nível de registro
 - Nível de investigação
 - **Classificação de áreas**
 - Áreas controladas
 - Áreas supervisionadas

Controle das radiações ionizantes aplicado a indústria

- Restrição de dose (PR-3.01/004)
 - *Nível de registro:*
 - monitoração individual mensal de IOE deve ser igual ou inferior a **0,20 mSv** para dose **efetiva**.
 - *Nível de investigação*
 - monitoração individual de IOE deve ser, para dose **efetiva**, 6 mSv por ano ou **1 mSv** em qualquer mês.
 - dose equivalente para mãos e pés é de 150 mSv por ano ou 20 mSv em qualquer mês.
 - dose equivalente para cristalino é 50 mSv por ano ou 6 mSv em qualquer mês.

Controle das radiações ionizantes aplicado a indústria

1. O embalado de uma fonte de Ir-192 está identificado como “Categoria III” e apresenta índice de transporte (IT) igual a 10. A que distância do embalado o IOE estará sujeito a uma taxa de dose de $25\mu\text{Sv/h}$?
2. Ainda com relação a questão anterior, permanecendo a 1m do embalado em quanto tempo um IOE, envolvido no transporte, ultrapassará a condição de restrição de dose, nível de investigação, definida na legislação?

Controle das radiações ionizantes aplicado a indústria

- Classificação de áreas (PR-3.01/004)
 - *Área controlada*:
 - Deve ser classificada como área controlada **qualquer área** na qual **medidas específicas** de proteção radiológica são ou podem ser necessárias para:
 - a) controlar** as exposições de rotina e **evitar** a disseminação da contaminação durante as condições normais de operação;
 - b) evitar** ou **limitar** a extensão das exposições potenciais;
 - c) estar sujeita** a uma fração de 3/10 do limite de dose anual.

Controle das radiações ionizantes aplicado a indústria

- Classificação de áreas (PR-3.01/004)
 - *Área controlada*:
 - Os titulares devem:
 - a) sinalizar* a área com o *símbolo internacional de radiação ionizante*, bem como ter instruções pertinentes nos pontos de acesso e em outros locais apropriados no interior dessas áreas;
 - b) implementar* as medidas de proteção ocupacional estabelecidas no *Plano de Proteção Radiológica* e procedimentos apropriados a essas áreas;
 - c) restringir* o acesso por meio de procedimentos administrativos e por meio de barreiras físicas. O grau de restrição deve ser adequado as exposições esperadas;

Controle das radiações ionizantes aplicado a indústria

- Classificação de áreas (PR-3.01/004)

- *Área controlada:*

- Os titulares devem:

- d) *manter* disponível nas entradas dessas áreas, conforme apropriado, equipamento e vestimenta de proteção e instrumento de monitoração; e

- e) *manter* disponível nas saídas dessas áreas, quando apropriado:

- i. *instrumentação para monitoração de contaminação de pele e de vestimenta;*

- ii. *instrumentação para monitoração da contaminação de qualquer objeto ou substância sendo retirada da área;*

- iii. *meios para descontaminação, como chuveiro ou pia; e*

- iv. *local adequado para coleta de equipamentos e vestimentas de proteção contaminados.*

Controle das radiações ionizantes aplicado a indústria

- Classificação de áreas (PR-3.01/004)
 - *Área supervisionada*:
 - Deve ser classificada como área supervisionada ***qualquer área sob vigilância*** não classificada como controlada, mas onde as ***condições*** de exposição ocupacional necessitam ser ***mantidas*** sob ***supervisão***.
 - Os titulares devem:
 - a)delimitar*** as áreas por meios apropriados;
 - b)colocar*** sinalização nos pontos de acesso; e
 - c)rever*** periodicamente as condições para determinar qualquer necessidade de adoção de novas medidas de proteção e segurança .

Controle das radiações ionizantes aplicado a indústria

- Restrição de dose (PR-3.01/004)
 - *Fora das áreas* designadas como ***controladas*** ou ***supervisionadas***, a taxa de dose e o risco de contaminação por materiais radioativos devem ser baixos o suficiente para assegurar que, em condições normais, o nível de proteção para aqueles que trabalham no local seja comparável com o nível de proteção requerido para ***exposições*** do ***público***.
 - Tais áreas são denominadas ***áreas livres***, do ponto de vista de proteção radiológica ocupacional.

Controle das radiações ionizantes aplicado a indústria

- Plano de radioproteção
 - Para se *assegurar* que as *doses* recebidas pelos indivíduos estejam *dentro* dos *limites* aceitáveis e que as classificações das áreas dentro da instalação radioativa sejam observadas, é *necessário* que seja feito um *planejamento* do ponto de vista da *radioproteção*.
 - Este *planejamento* é elaborado pelo responsável da instalação radioativa e aprovado pela direção da instalação, e *recebe* o *nome* de *Plano de Radioproteção*, devendo conter todos os itens relativos à segurança radiológica.

Controle das radiações ionizantes aplicado a indústria

- Plano de radioproteção
 - A título de orientação, segue abaixo o **conteúdo mínimo** de um Plano de Radioproteção para as várias áreas no setor industrial.
 - **Dados cadastrais**: nome da organização, nome do titular, endereço, nome dos SPR, CNPJ;
 - **Descrição da instalação**: principal atividade no uso de fontes de radiação ionizante;
 - **Descrição do setor de Radioproteção**: relação do pessoal, descrição detalhada dos medidores e monitores de radiação, inventário de fontes e equipamentos emissores de radiação;
 - **Controle e segurança**: descrever os sistemas de segurança com fotos, sinalização;
 - **Programa de controle dos instrumentos de medição**: plano de calibração e testes dos instrumentos de medição da radiação;

Controle das radiações ionizantes aplicado a indústria

- Plano de radioproteção
 - *Programa de monitoração de área:* levantamento radiométrico, periodicidade, registros
 - *Classificação das áreas*
 - *Programa de treinamento*
 - *Instruções de radioproteção*
 - *Dosimetria pessoal* – laboratório contratado
 - *Exames médicos*
 - *Armazenamento dos equipamentos:* local e controles efetuados
 - *Programa de transporte de fontes*
 - *Programa de emergência:* auditorias, investigação de acidentes
 - *Planta da instalação*
 - *Termo de responsabilidade do Diretor da Instalação*

Ações de resposta a situações de emergência radiológica

- Definição de uma emergência radiológica
- Emergência radiológica com irradiadores de gamagrafia
- Equipamentos de proteção individual - EPI
- Ação de resposta a emergência radiológica
- Prática de uso de EPI

Ações de resposta a situações de emergência radiológica

- Acidente radiológico
 - Desvio inesperado significativo das condições normais de projeto, de atividade, ou de operação ou manutenção de instalação radioativa que, a partir de um determinado momento, foge ao controle do planejado e pretendido, demandando medidas especiais para a retomada de sua normalidade, e que possa resultar em exposição de pessoas a radiação ionizante, acima dos limites estabelecidos pela CNEN, e em danos ao meio ambiente e a propriedade.

Ações de resposta a situações de emergência radiológica

- Causas comuns de acidente radiológico
 - Perda ou manipulação inadequada da fonte;
 - Desconsiderar sistemas de segurança;
 - Falhas no uso de instrumentos de vigilância;
 - Capacitação e/ou procedimentos inadequados;
 - Programas de proteção radiológica inadequados;
 - Controle de qualidade ou supervisão inadequada;
 - Fatores humanos.

Ações de resposta a situações de emergência radiológica

- Consequências dos acidentes radiológicos
 - Médicas;
 - Ambientais;
 - Psicológicas;
 - Econômicas;
 - Legais.



Ações de resposta a situações de emergência radiológica

TIPOS DE ACIDENTES - RADIAÇÃO EXTERNA

	Local do acidente	tipo de radiação
	instalações nucleares	neutron / γ
Exposição de corpo inteiro	hospitais: radioterapia radiodiagnósticos indústrias: fontes de radiografia	X e γ
Exposição Localizada	instalações nucleares hospitais indústria	X, γ e β

Ações de resposta a situações de emergência radiológica

TIPOS DE ACIDENTES - CONTAMINAÇÃO

	Local do acidente	tipo de radiação
Externa	instalações nucleares	neutron / γ
	hospitais: radioisótopos laboratório pesquisas indústrias: laboratório pesquisas estabelecimento de ensino	α , β , γ
Interna ferimentos ingestão inalação injeção	instalações nucleares hospitais indústrias estabelecimento de ensino	α , β , γ

Ações de resposta a situações de emergência radiológica

ACIDENTES RADIOATIVOS FATAIS RELATADOS PELA IAEA

Ano	local	fonte de radiação	fatalidades	
			trabalhadores	público
1961	Switzerland	água triciada	1	-
1962	México	fonte de radiografia	-	4
1963	China	irradiador de sementes	-	2
1964	Alemanha	água triciada	1	-
1975	Itália	irradiador	1	-
1978	Argélia	fonte de radiografia	-	1
1982	Noruega	irradiador	1	-
1984	Marrocos	fonte de radiografia	-	8
1987	GO - Brasil	fonte de teleterapia	-	4
1989	El Salvador	irradiador	1	-
1990	Israel	irradiador	1	-
1991	Belarus	irradiador	1	-
1992	China	fonte de pesquisa	-	3
1994	Estônia	rejeitos	-	1
1996	Geórgia	fonte de radioterapia	-	1
		TOTAL.....	7	24

Ações de resposta a situações de emergência radiológica

Acidente radiológico de Goiânia (fonte de radioterapia)

Acidente radiológico do Peru (fonte de gamagrafia)

Ações de resposta a situações de emergência radiológica

Acidente radiológico de Goiânia (fonte de radioterapia)

A Fonte

- | | |
|----------------------|---------------------|
| • Nuclídeo | Cs-137 |
| • Atividade (set.87) | 50,9 TBq (1.375 Ci) |
| • Forma Química | CsCl |
| • Forma Física | Pó |
| • Massa de CsCl | 93 g |
| • Massa de Cs-137 | 19,3 g |
| • Meia-vida Física | 30 anos |

Ações de resposta a situações de emergência radiológica

Acidente radiológico de Goiânia
(fonte de radioterapia)



Ações de resposta a situações de emergência radiológica

Acidente radiológico de Goiânia
(fonte de radioterapia)



Ações de resposta a situações de emergência radiológica

Acidente radiológico de Goiânia
(fonte de radioterapia)



Ações de resposta a situações de emergência radiológica

Acidente radiológico de Goiânia
(fonte de radioterapia)



Ações de resposta a situações de emergência radiológica

Acidente radiológico de Goiânia
(fonte de radioterapia)



Ações de resposta a situações de emergência radiológica

Acidente radiológico de Goiânia (fonte de radioterapia)



Fonte Principal



Ações de resposta a situações de emergência radiológica

Acidente radiológico de Goiânia
(fonte de radioterapia)

CNEN - Centro Regional de Ciências Nucleares



Ações de resposta a situações de emergência radiológica

Acidente radiológico do Peru
(fonte de gamagrafia) *Fev/1999*



22 de fevereiro de 1999



23 de fevereiro de 1999

Ações de resposta a situações de emergência radiológica

Acidente radiológico do Peru
(fonte de gamagrafia) *Fev/1999*



01 de março de 1999



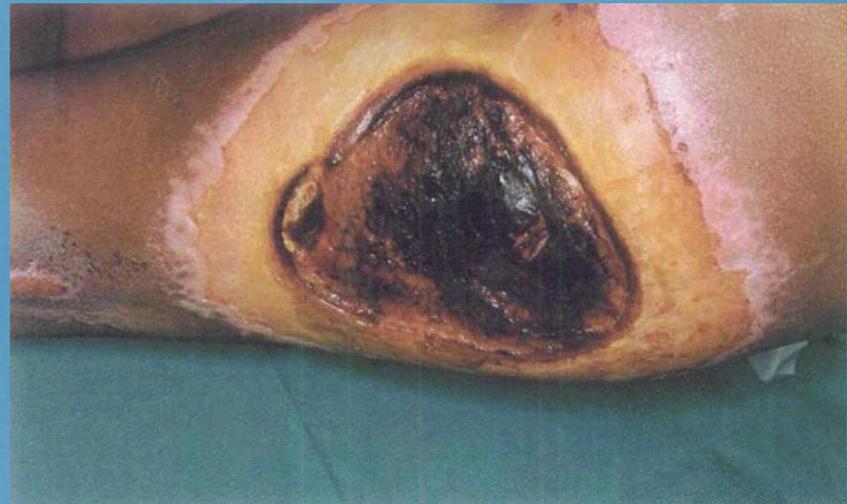
15 de março de 1999

Ações de resposta a situações de emergência radiológica

Acidente radiológico do Peru
(fonte de gamagrafia) *Fev/1999*



19 de março de 1999



03 de maio de 1999

Ações de resposta a situações de emergência radiológica

- Objetivos da Radioproteção
 - Minimizar os riscos de efeitos biológicos no ser humano
 - Limitar a dose em atividades profissionais
 - Diminuir a probabilidade de efeitos a longo prazo
- Ação de resposta a emergência radiológica
 - *Tem por objetivo minimizar as conseqüências para as pessoas (evitando a ocorrência de efeitos determinísticos), a sociedade e o meio ambiente, criando e mantendo ações eficazes contra os riscos radiológicos envolvidos em um acidente radiológico.*

Ações de resposta a situações de emergência radiológica

PERDA DA EXPECTATIVA DE VIDA

(Estudo com população norte americana 1979)

Causa	Redução (dias)	Causa	Redução (dias)
Ser solteiro	3.500	Alcolismo	130
Fumante, sexo masculino	2.500	Diabetes	95
Doenças cardíacas	2.100	Acidentes no trabalho	74
Ser solteira	1.600	<u>Trabalhar com radiação</u>	<u>40</u>
Obeso, 30% acima do normal	1.300	Acidentes com armas de fogo	11
Trabalhar em minas de carvão	1.100	Radiação natural	8
Câncer	980	Raio X para fins médicos	6
Fumante, sexo feminino	800	Café	6
Hemorragia cerebral	520	Anticoncepcional oral	5
Acidentes com veículos	207		

Ações de resposta a situações de emergência radiológica

- Equipamentos de proteção individual – EPI
 - **Legislação:** os equipamentos de proteção individual, tem o seu uso regulamentado, pelo Ministério do trabalho e Emprego, em sua Norma Regulamentadora nº 6 (NR nº 6).
 - **Definição:** Esta Norma define que equipamento de proteção individual é todo dispositivo de uso individual, destinado a proteger a saúde e a integridade física do trabalhador.

Ações de resposta a situações de emergência radiológica

- Equipamentos de proteção individual – EPI
 - **Emprego:**
 - sempre que as medidas de proteção coletiva forem tecnicamente inviáveis ou não oferecerem completa proteção contra riscos de acidentes do trabalho e/ou doenças profissionais e do trabalho;
 - enquanto as medidas de proteção coletiva estiverem sendo implantadas, reparadas ou substituídas;
 - para atender a situações de emergência.

Ações de resposta a situações de emergência radiológica

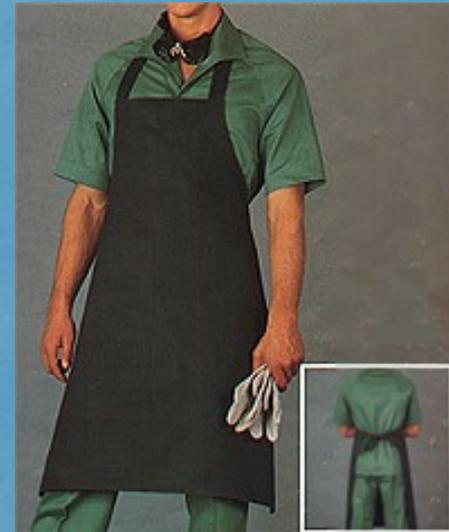
- Equipamentos de proteção individual – EPI
 - **Seleção e uso - requisitos básicos:**
 - Confortável na temperatura a ser utilizado;
 - Ajustável;
 - Proteção adequada ao risco;
 - Durável;
 - Eficiente;
 - Boa visualização;
 - Resistente às intempéries;
 - Não inflamável;
 - Dificultar penetração de calor e liberar o calor interno;
 - Refratário as radiações não-ionizantes e absorvedor das radiações ionizantes.

Ações de resposta a situações de emergência radiológica

- Equipamentos de proteção individual – EPI
 - **Proteção do tronco:**
 - Aventais de plástico;
 - Aventais de chumbo.
 - **Proteção de cabeça, pescoço e extremidade:**
 - Gorro, óculos de segurança, protetor de tireóide e luvas.
 - **Proteção de corpo inteiro:**
 - Macacão de pano;
 - Macacão de **Tyvek**
 - Tecido sintético não-textil, confeccionado com fibras de polietileno aglutinado por pressão e calor.
 - **Roupas especiais de proteção química:**
 - Nível A, nível B e Nível C.

Ações de resposta a situações de emergência radiológica

- Equipamentos de proteção individual – EPI
 - Proteção do tronco:



Ações de resposta a situações de emergência radiológica

- Equipamentos de proteção individual – EPI
 - Proteção de cabeça, pescoço e extremidade:



Ações de resposta a situações de emergência radiológica

- Equipamentos de proteção individual – EPI
 - Proteção de corpo inteiro:



Ações de resposta a situações de emergência radiológica

- Equipamentos de proteção individual – EPI
 - Roupas especiais de proteção química:
 - *Nível A* - utilizada para proteger o usuário contra gases, vapores e partículas tóxicas, bem como contra produtos líquidos, especialmente em condições de risco extremo, com elevadas concentrações de produtos químicos perigosos.



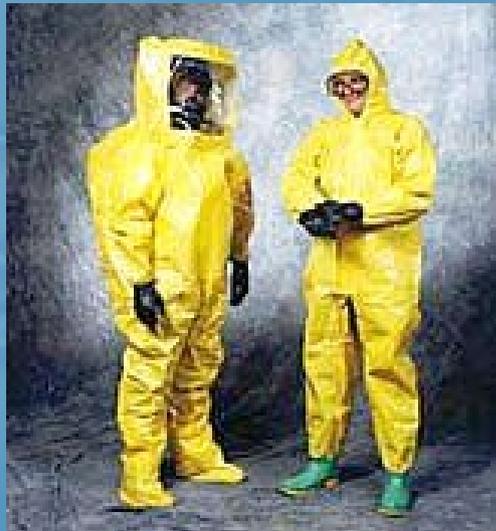
Ações de resposta a situações de emergência radiológica

- Equipamentos de proteção individual – EPI
 - Roupas especiais de proteção química:
 - *Nível B* - Esta roupa é especial para combate a substâncias químicas em condições que não ofereçam risco máximo à pele. Portanto, as roupas nível B podem não ser conectadas às luvas e botas. No entanto, assim como nas roupas nível A, oferecem proteção respiratória máxima pois estão associadas a equipamentos respiratórios autônomos.



Ações de resposta a situações de emergência radiológica

- Equipamentos de proteção individual – EPI
 - Roupas especiais de proteção química:
 - *Nível C* - O grau de proteção da roupa nível C para a pele é idêntico ao nível B, mas o grau de proteção respiratória é inferior. O ambiente deve estar caracterizado e as substâncias envolvidas, bem como suas concentrações devem ser conhecidas.



Obrigado

Luciano Santa Rita Oliveira

<http://www.lucianosantarita.pro.br>

e-mail: tecnologo@lucianosantarita.pro.br

Radioproteção na Saúde

Por: Luciano Santa Rita Oliveira

<http://www.lucianosantarita.pro.br>

<http://lattes.cnpq.br/8576030547171431>



Objetivos da Radioproteção

- Definição

- Conjunto de medidas que visam proteger o homem, seus descendentes e seu meio-ambiente contra possíveis efeitos indevidos causados por radiação ionizante proveniente de **fontes produzidas** pelo homem e **fontes naturais modificadas** tecnologicamente.

Objetivos da Radioproteção

- Objetivos
 - **Minimizar** os riscos de efeitos biológicos no ser humano
 - **Limitar** dose em atividades profissionais
 - **Diminuir** a probabilidade de efeitos de longo prazo (câncer, efeitos genéticos, etc)



Objetivos da Radioproteção

- Legislação

- Normas CNEN (www.cnen.gov.br)

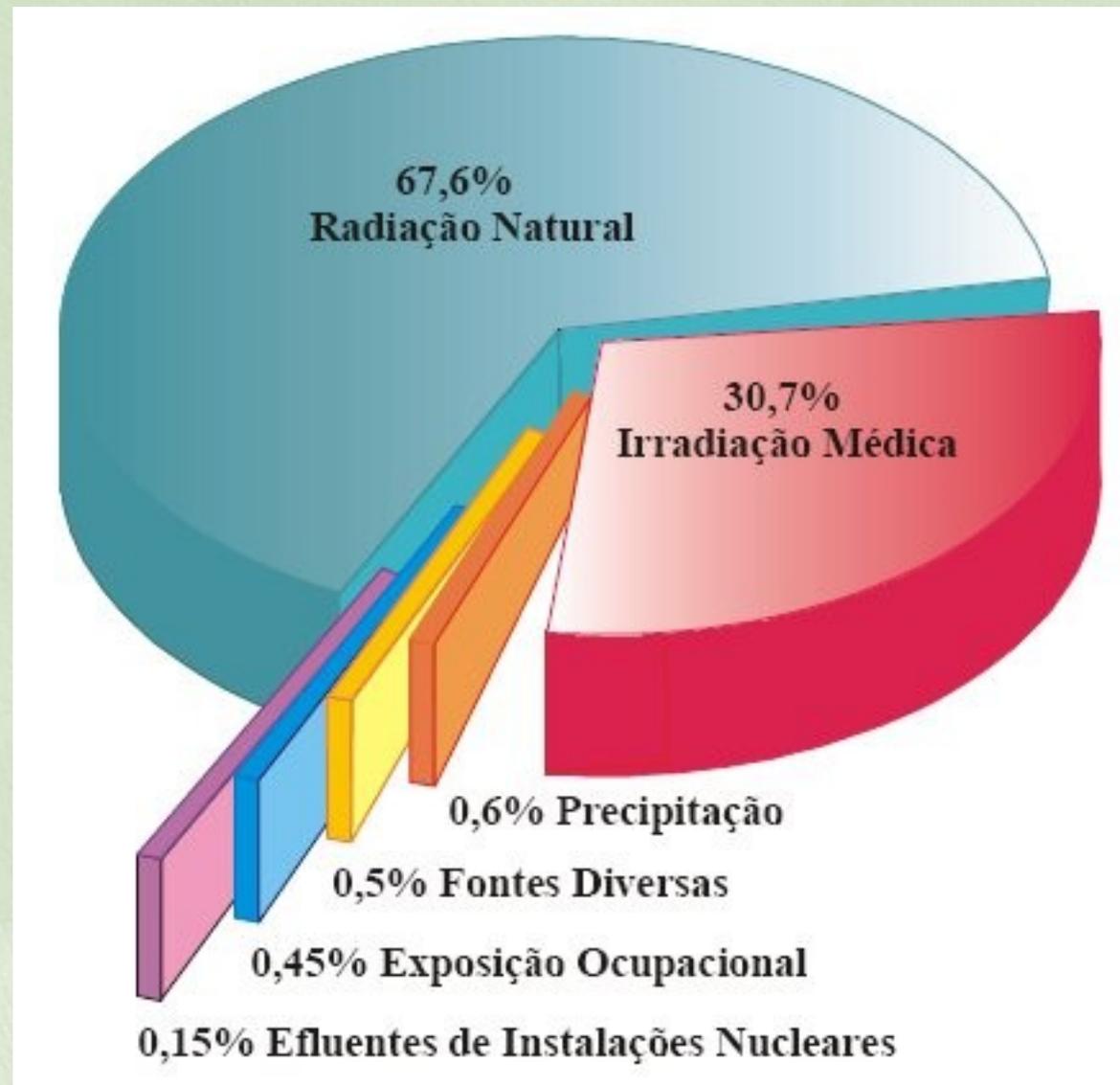
- NN-3.01: Diretrizes básicas de radioproteção
 - NE-3.02: Serviços de radioproteção
 - NN-3.03: Certificação da qualidade de supervisores de radioproteção
 - NN-3.05: Requisitos de radioproteção e segurança para serviços de medicina nuclear
 - NE-3.06: Requisitos de radioproteção e segurança para serviços de radioterapia

- ANVISA (www.anvisa.gov.br)

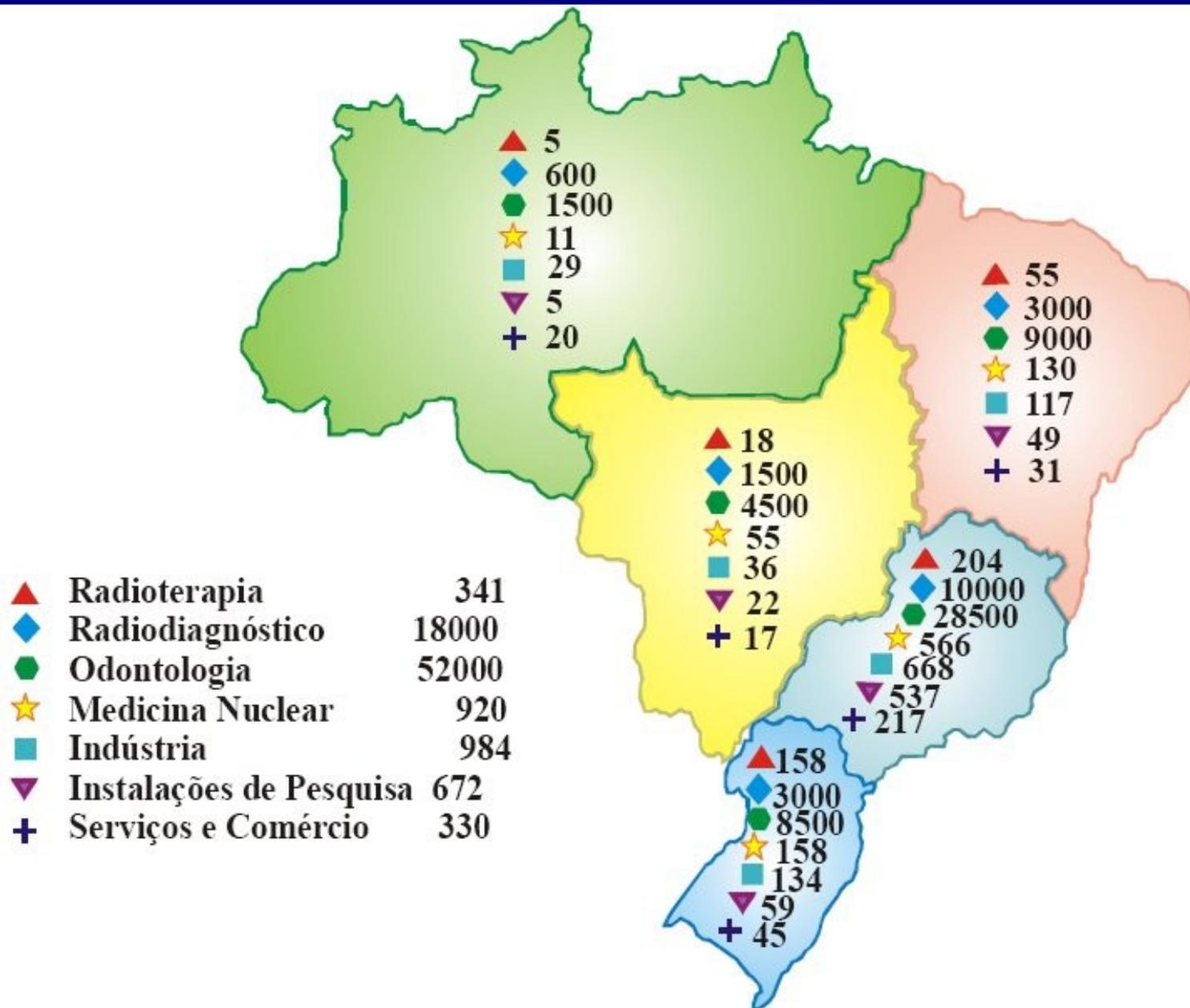
- Portaria 453/98: Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico

Objetivos da Radioproteção

- Exposição do homem à radiação ionizante

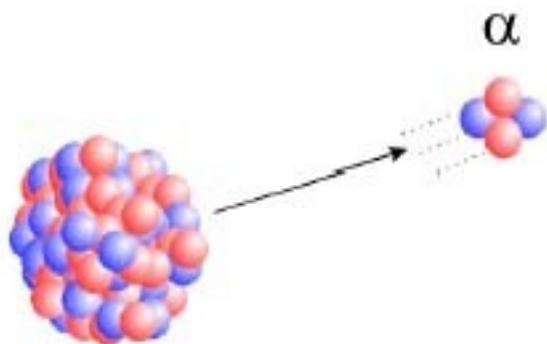


Objetivos da Radioproteção

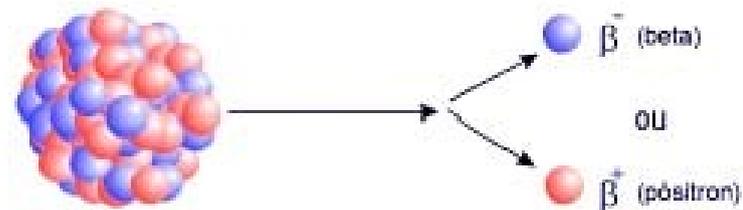


Conceitos Fundamentais de Radioproteção

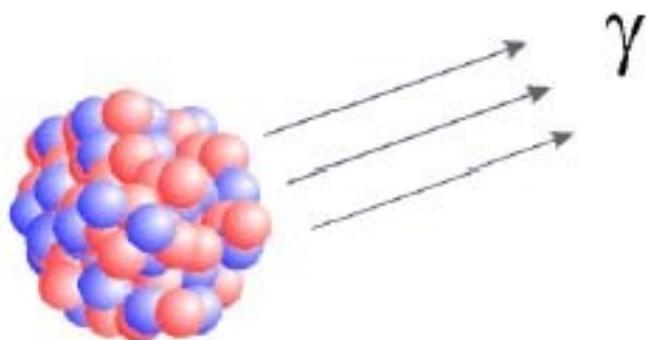
RADIAÇÃO ALFA OU PARTÍCULA ALFA



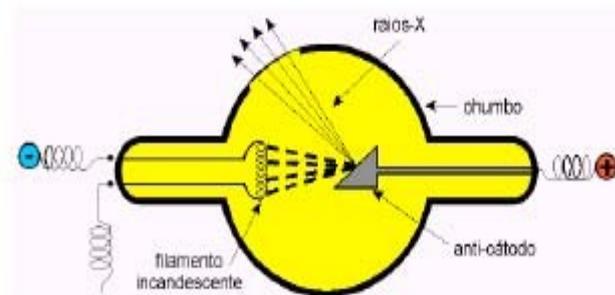
RADIAÇÃO BETA OU PARTÍCULA BETA



RADIAÇÃO GAMA



Raios-X não são energia nuclear

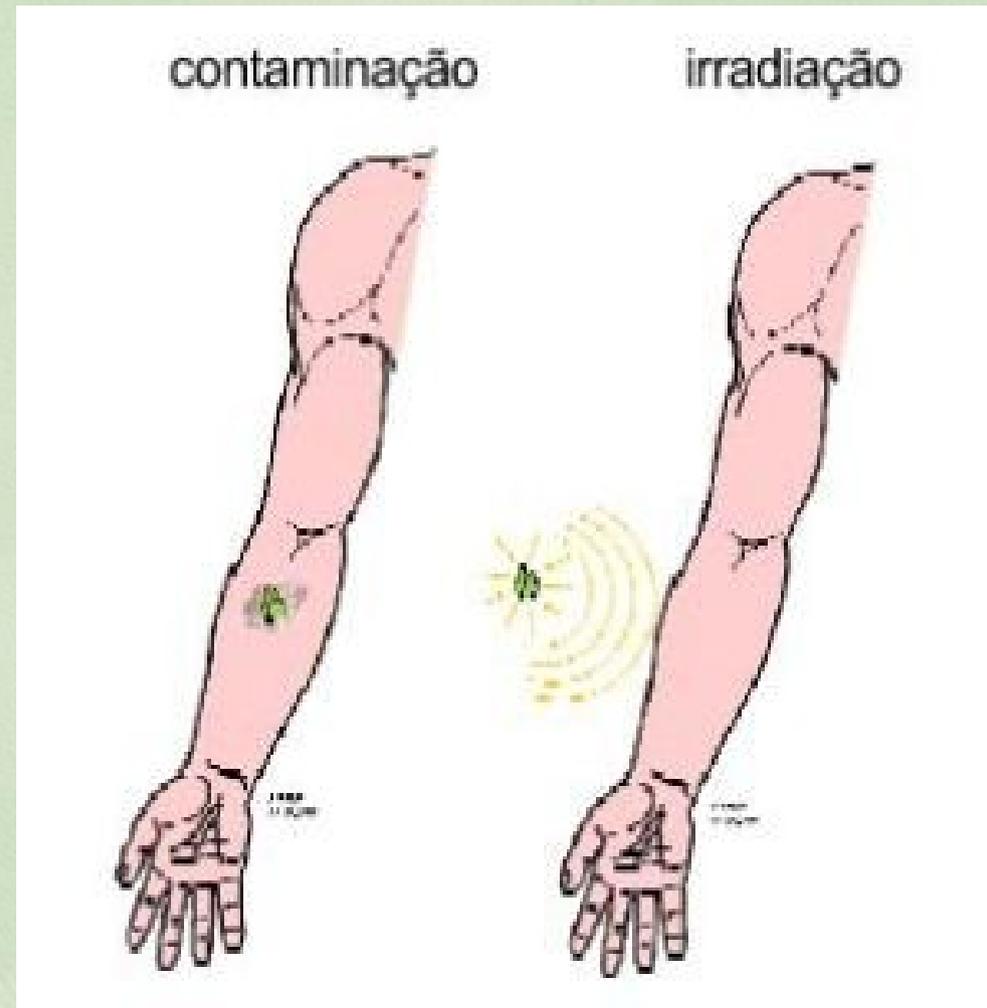


Conceitos Fundamentais de Radioproteção

- ***Radiação diretamente ionizante***: radiações que possuem carga elétrica (partículas alfa e beta), atuam principalmente por meio de seu campo elétrico e transferem sua energia para muitos átomos ao mesmo tempo.
- ***Radiação indiretamente ionizante***: radiações que não tem carga elétrica (fótons de raios X e gama), interagem individualmente com elétrons transferindo sua energia e produzindo ionizações.
 - Obs.: ***fótons gama e raios X podem passar entre 02 elétrons sem produzir ionização.***
 - Obs.: ***nêutrons são radiações indiretamente ionizante..***

Conceitos Fundamentais de Radioproteção

- A **contaminação** se caracteriza pela **presença** de um material indesejável em determinado local.
- A **irradiação** é a **exposição** de um objeto ou de um corpo à radiação ionizante.
- **Pode** haver irradiação **sem existir** contaminação.
- Irradiação **não** contamina, mas contaminação **irradia**.

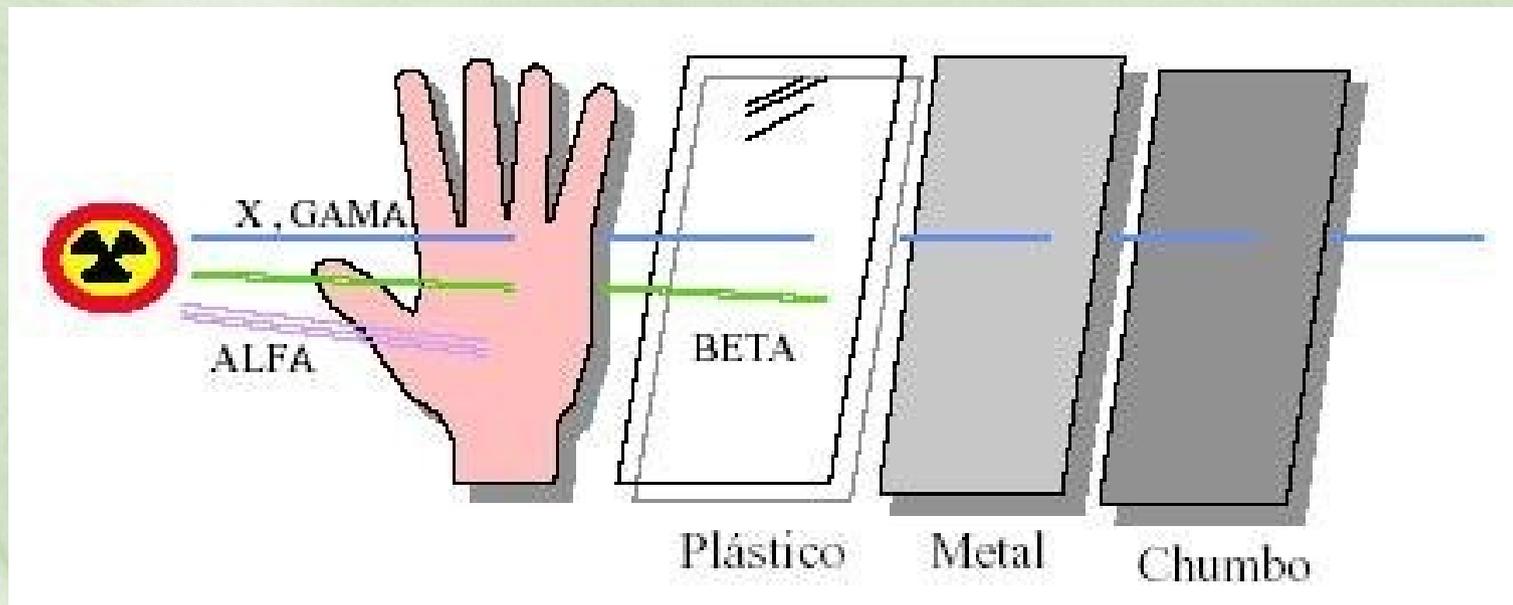


Conceitos Fundamentais de Radioproteção

- Poder de ionização e penetração das radiações
 - Partícula alfa (α):
 - alto poder de ionização e baixo poder de penetração
 - Partícula beta (β):
 - alto poder de ionização (menor que α) e baixo poder de penetração (maior que α)
 - Fótons gama (γ):
 - baixo poder de ionização e alto poder de penetração
 - Fótons de raios X:
 - baixo poder de ionização e alto poder de penetração

Conceitos Fundamentais de Radioproteção

- *Características de penetração das radiações ionizantes*



Importância de parâmetros físicas na radioproteção

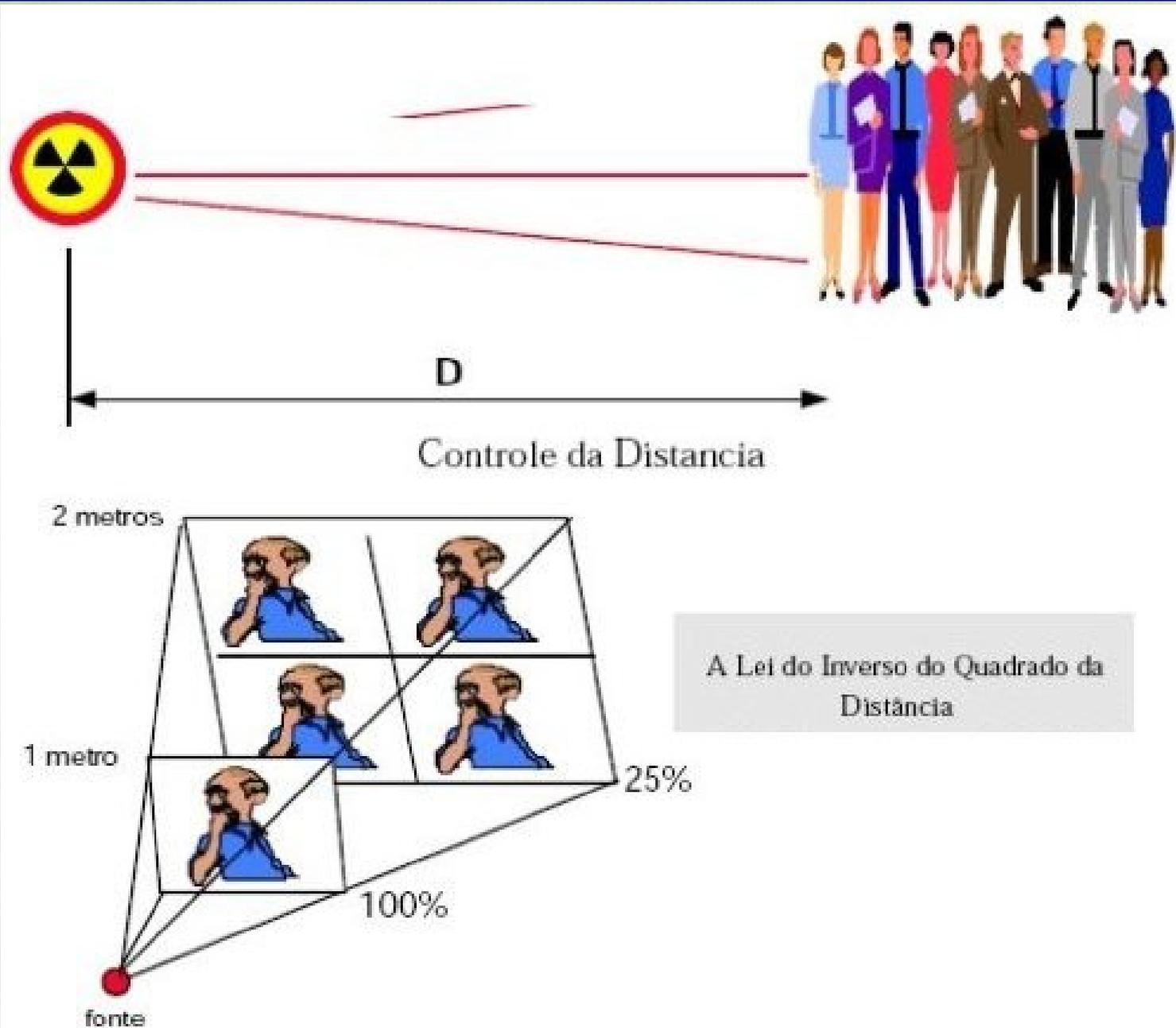
- Tempo



Controle do Tempo de Exposição

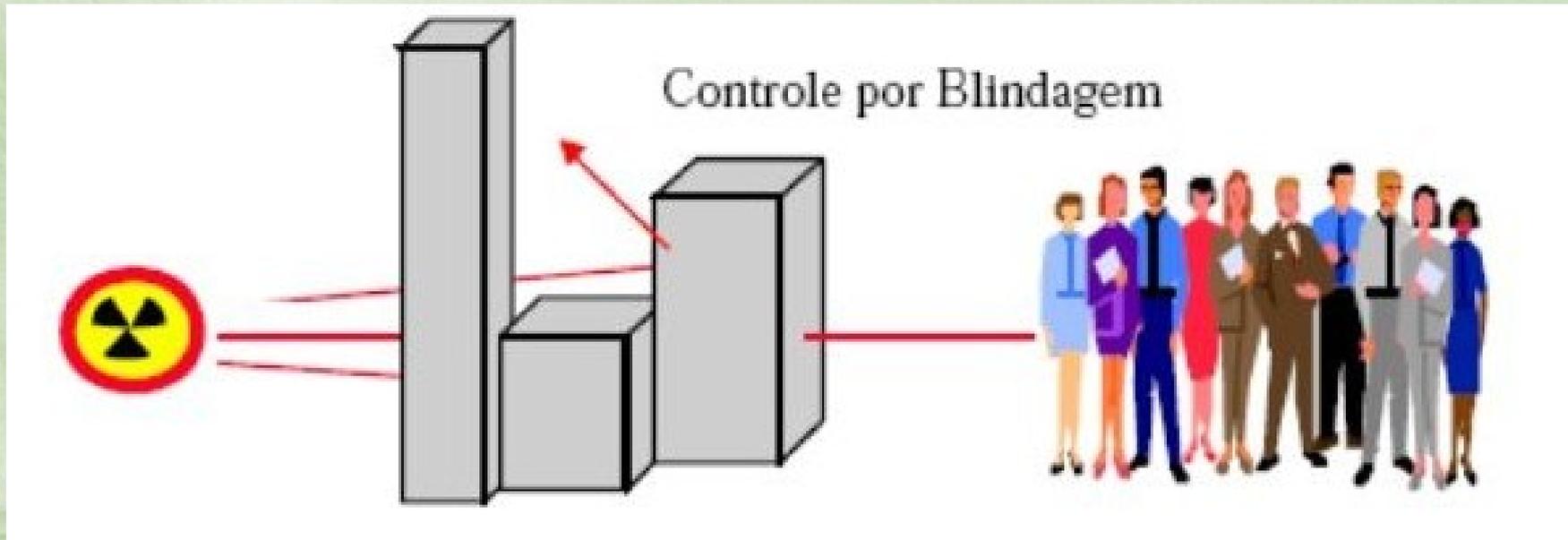
Importância de parâmetros físicas na radioproteção

- Distância

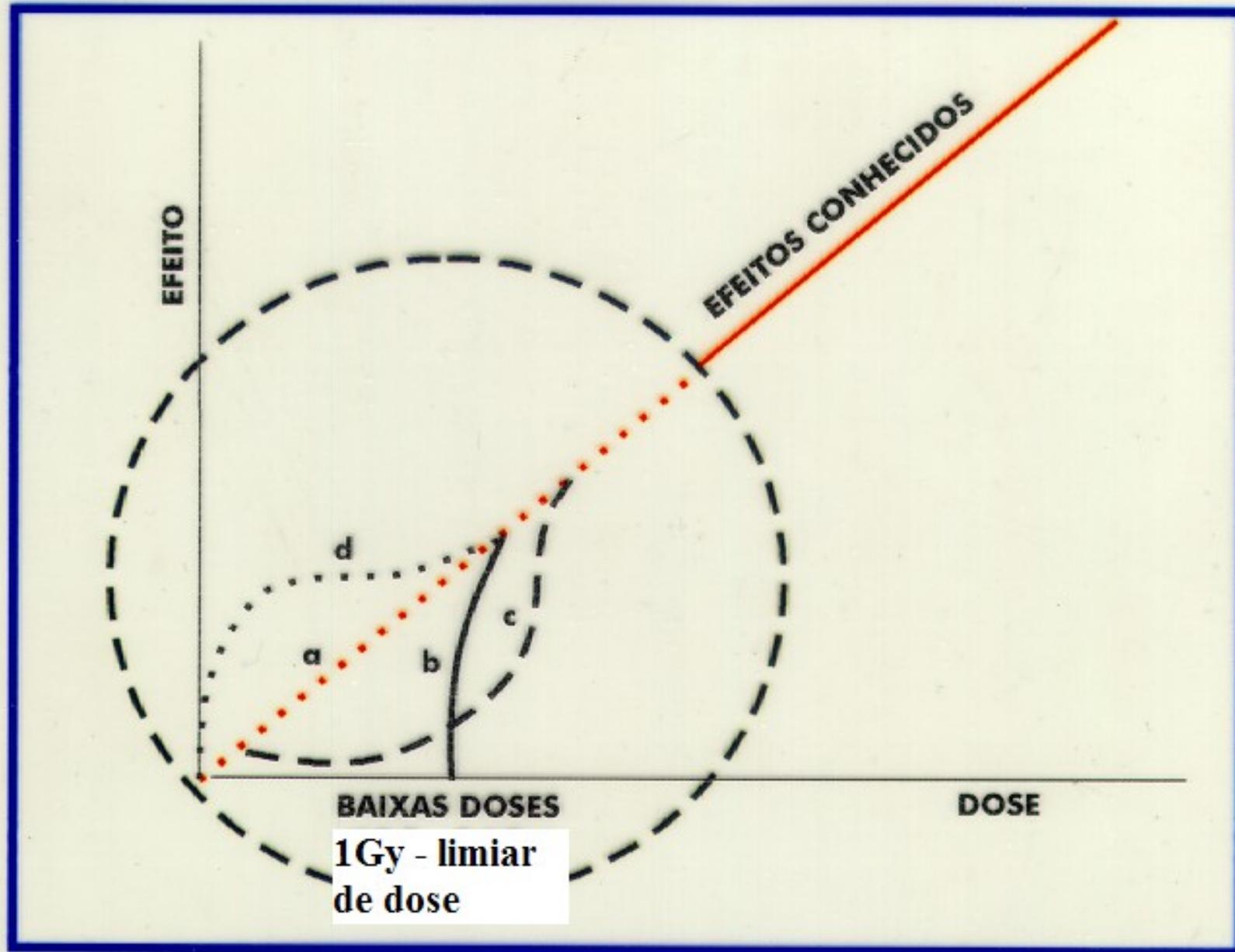


Importância de parâmetros físicas na radioproteção

- Blindagem



Relação dose x efeito



Relação dose x efeito

- Efeitos estocásticos:
 - 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 radioproteção, podem induzir tais efeitos.
- Efeitos 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. A probabilidade de **efeito determinístico** é **nula** para valores de dose **abaixo** do **limiar** e, e **100%, acima**.

Princípios da radioproteção

- Justificação (prática e exposições médicas)
- Otimização (da proteção radiológica)
- Limitação da dose individual



Princípios da radioproteção

- Justificação (prática e exposições médicas)
 - **Nenhuma** prática ou fonte adscrita a uma prática deve ser autorizada **a menos** que **produza** suficiente **benefício** para o indivíduo exposto ou para a sociedade, de modo a compensar o detrimento que possa ser causado.

Princípios da radioproteção

- O princípio da justificação em medicina e odontologia deve ser aplicado considerando:
 - que **deve** resultar em **benefício real** para a saúde do indivíduo e/ou para a sociedade, tendo sido considerada a eficácia de técnicas alternativas disponíveis que não envolvam o uso de radiações ionizantes;
 - que a **responsabilidade** pela aplicação deste princípio é de um **médico** ou **odontólogo** (radiologia odontológica).

Princípios da radioproteção

- Otimização (da proteção radiológica)
 - Estabelece que as instalações e as práticas devem ser planejadas, implantadas e executadas de modo que a magnitude das doses individuais, o número de pessoas expostas e a probabilidade de exposições acidentais sejam ***tão baixos quanto razoavelmente exeqüíveis***, levando-se em conta fatores sociais e econômicos, além das ***restrições de dose*** aplicáveis.

Princípios da radioproteção

- Restrição de dose (PR-3.01/004)
 - Com a **finalidade** de garantir um nível adequado de **proteção individual para cada IOE**, deve ser estabelecido, como **condição limitante** do processo de **otimização** da proteção radiológica, um valor de restrição de dose:
 - Nível de registro
 - Nível de investigação

Princípios da radioproteção

- Restrição de dose (PR-3.01/004)
 - *Nível de registro:*
 - monitoração individual mensal de IOE deve ser igual ou inferior a 0,20 mSv para dose efetiva.
 - *Nível de investigação*
 - monitoração individual de IOE deve ser, para dose efetiva, 6 mSv por ano ou 1 mSv em qualquer mês.

Princípios da radioproteção

- Nível de intervenção (PR-3.01/007)

Conceito	Dose Anual Existente
Nível genérico para avaliação da implementação de ações de intervenção	10 mSv/a
Nível para implementação de ações de intervenção, independente de justificativa	50 mSv/a

Princípios da radioproteção

- Otimização (da proteção radiológica)
 - No emprego das radiações em medicina e odontologia, deve-se dar **ênfase** à otimização da proteção nos **procedimentos de trabalho**, por possuir uma influência direta na qualidade e segurança da assistência aos pacientes.
 - As exposições médicas de pacientes devem ser **otimizadas ao valor mínimo necessário** para obtenção do **objetivo radiológico** (diagnóstico e terapêutico), compatível com os padrões aceitáveis de qualidade de imagem.

Princípios da radioproteção

- Limitação da dose individual
 - Os limites de doses individuais são valores de ***dose efetiva*** ou de ***dose equivalente*** nos órgãos ou tecidos de interesse, estabelecidos para ***exposição ocupacional*** e ***exposição do público*** decorrentes de ***práticas autorizadas***, cujas magnitudes não devem ser excedidas.

Princípios da radioproteção

- Os limites de dose
 - Incidem sobre o indivíduo considerando todas as exposições, decorrentes de todas as práticas que o indivíduo possa estar exposto;
 - **Não** se aplicam as exposições médicas;
 - **Não** devem ser considerados como uma fronteira entre “seguro” e “perigoso”.

Princípios da radioproteção

Limites de <i>Dose</i> Anuais [a]			
Grandeza	Órgão	<i>Indivíduo ocupacionalmente exposto</i>	<i>Indivíduo do público</i>
<i>Dose efetiva</i>	Corpo inteiro	20 mSv [b]	1 mSv [c]
<i>Dose equivalente</i>	Cristalino	150 mSv	15 mSv
	Pele [d]	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	---

[a] Para fins de *controle administrativo* efetuado pela *CNEN*, o termo *dose* anual deve ser considerado como *dose* no ano calendário, isto é, no período decorrente de janeiro a dezembro de cada ano.

[b] Média ponderada em 5 anos consecutivos, desde que não exceda 50 mSv em qualquer ano.

[c] Em circunstâncias especiais, a *CNEN* poderá autorizar um valor de *dose efetiva* de até 5 mSv em um ano, desde que a *dose efetiva* média em um período de 5 anos consecutivos, não exceda a 1 mSv por ano.

[d] Valor médio em 1 cm² de área, na região mais irradiada.

Princípios da radioproteção

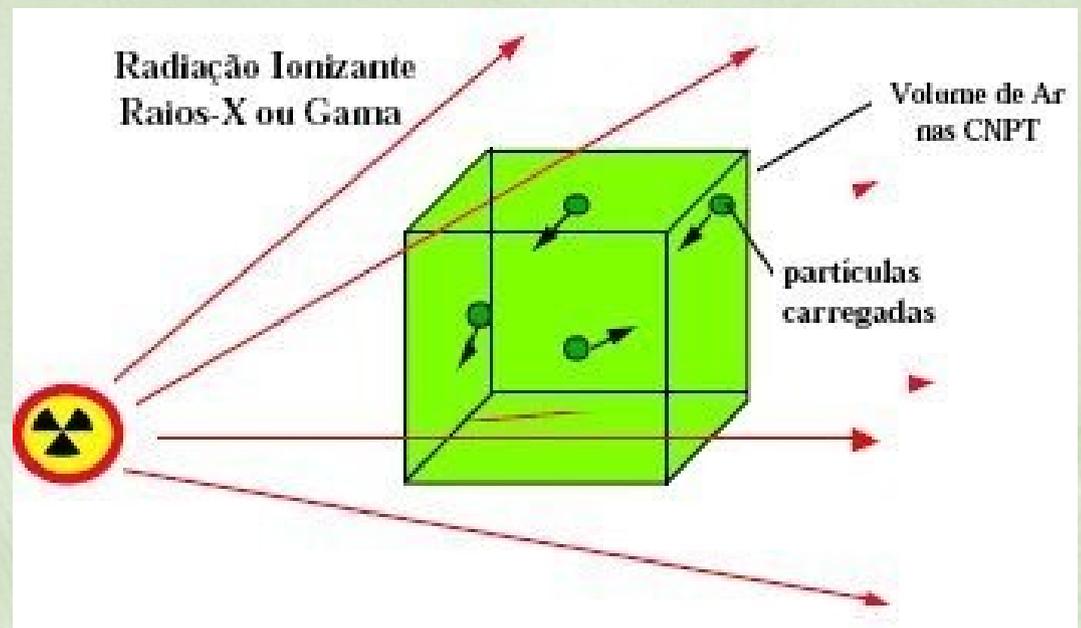
- Nas exposições ocupacionais normais, nas práticas abrangidas pela Portaria 453, o controle deve ser feito de maneira que:
 - Para IOE grávidas a dose na superfície do abdome não exceda 2mSv durante todo o período restante da gravidez (após notificação);
 - Menores de 18 anos não podem trabalhar com raios-X diagnósticos, exceto em treinamentos;
 - Estudantes com idade entre 16 e 18 anos, em estágio de treinamento profissional a dose efetiva anual não deve exceder o valor de 6mSv (dose equivalente - extremidades: 150mSv; cristalino: 50mSv);
 - É proibida a exposição ocupacional de menores de 16 anos;
 - A dose efetiva anual de indivíduos do público não deve exceder a 1mSv.

Grandezas Radiológicas e Unidades

- Além das grandezas que conhecemos e suas unidades no Sistema Internacional (SI), existem outras grandezas, que são aplicadas as radiações ionizantes e radioproteção:
 - Exposição;
 - kerma;
 - Dose absorvida;
 - Dose equivalente;
 - Dose efetiva.

Grandezas Radiológicas: Exposição

- É a soma das cargas elétricas de todos os íons de mesmo sinal (positivos ou negativos) produzidos no ar quando todos os elétrons gerados pelos fótons incidentes em uma massa são completamente freados no ar.
- Unidade de Exposição será C/kg ou R;
 - $1R = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$.
- Taxa de exposição;
 - $1R/h = 0,258 \text{ mC/kg.h}$.



Grandezas Radiológicas: Kerma

- Grandeza definida por $k = dE_{tr}/dm$, onde dE_{tr} é a energia cinética inicial de todas partículas carregadas liberadas por partículas ionizantes não carregadas em um material de massa dm .
- A unidade SI é o gray (Gy) :
 - **$1 \text{ J / kg} = 1 \text{ gray (Gy)}$**
- **Kerma no ar (k_{ar})** - grandeza definida para radiações indiretamente ionizantes (fótons e nêutrons).
 - Para a maioria das situações estudadas em dosimetria externa, o kerma é definido em um volume de ar de massa dm imerso em um meio constituído também de ar, sendo assim definido como kerma no ar.

Grandezas Radiológicas: Dose Absorvida

- Dose absorvida é a energia média cedida pela radiação ionizante à matéria por unidade de massa dessa matéria;
- A unidade atual a dose absorvida é o gray (Gy) :
 - **$1 \text{ J / kg} = 1 \text{ gray (Gy)}$**
- Nas unidades antigas a dose era medida em rad :
 - **$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$**



Grandezas Radiológicas:

Dose Equivalente (H_T)

- Grandeza expressa por $H_T = D_T \times w_R$, onde D_T é dose absorvida média no órgão ou tecido e w_R é o fator de ponderação da radiação (fator de peso) que caracteriza o tipo de radiação incidente.
- A unidade atual a dose absorvida é o sievert (Sv) :
 - **$1 \text{ J / kg} = 1 \text{ sievert (Sv)}$**
- Nas unidades antigas a dose era medida em rem :
 - **$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$**

Grandezas Radiológicas:

Dose Equivalente (H_T)

- Fator de ponderação da radiação w_R .

TIPO DE RADIAÇÃO E ENERGIA	w_R
Fótons de todas as energias	1
Elétrons de todas as energias	1
Nêutrons de energia E :	
$E < 10 \text{ keV}$	5
$10 \text{ keV} \leq E \leq 100 \text{ keV}$	10
$100 \text{ keV} \leq E \leq 2 \text{ MeV}$	20
$E > 20 \text{ MeV}$	10
Prótons (exceto os de retrocesso) $E > 2 \text{ MeV}$	5
Partículas alfa, fragmentos de fissão, núcleos pesados	20

Grandezas Radiológicas: Dose Efetiva

- É o produto da dose equivalente por um fator de peso de cada órgão ou tecido, e os resultados são somados para o corpo todo

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

- onde H_T é a dose equivalente no tecido ou órgão e w_T é o fator de ponderação do órgão ou tecido.
- A unidade atual a dose absorvida é o sievert (Sv) :
 - **$1 \text{ J / kg} = 1 \text{ sievert (Sv)}$**
- Nas unidades antigas a dose era medida em rem :
 - **$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$**

Grandezas Radiológicas: Dose Efetiva

- Fator de ponderação do tecido ou órgão w_T .

TECIDO OU ÓRGÃO	w_T	
	ICRP 26	ICRP 60
Gônadas	0,25	0,20
Medula óssea (vermelha)	0,12	0,12
Cólon	-	0,12
Pulmão	0,12	0,12
Estômago	-	0,12
Bexiga	-	0,05
Mama	0,15	0,05
Fígado	-	0,05
Esôfago	-	0,05
Tireóide	0,03	0,01
Pele	-	0,01
Superfície óssea	0,03	0,01
Restantes*	0,30	0,05

Efeitos da Radiação no ser humano

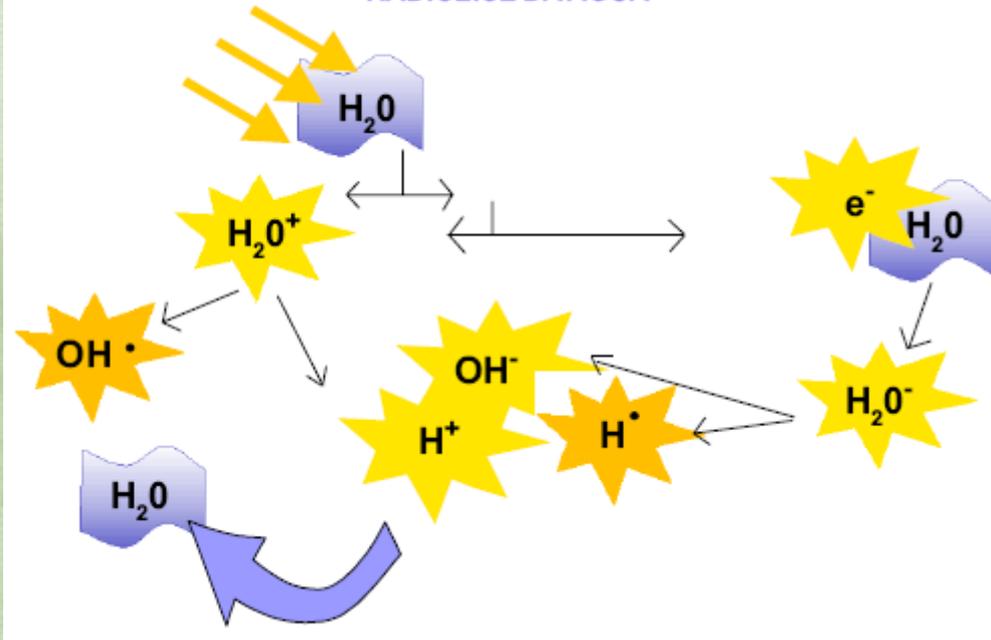
- A interação da radiação com sistemas biológicos gera uma variedade de mudanças biológicas, que podem ser benignas ou malignas
- Essas mudanças podem se tornar evidentes imediatamente ou podem levar anos, ou gerações, para se manifestarem.
- Em geral, a probabilidade de ocorrências, tipo e severidade de tais mudanças depende de muitos fatores, alguns deles relacionados à radiação e suas características, e outros com as características biológicas dos sistemas atingidos.

Efeitos da Radiação no ser humano

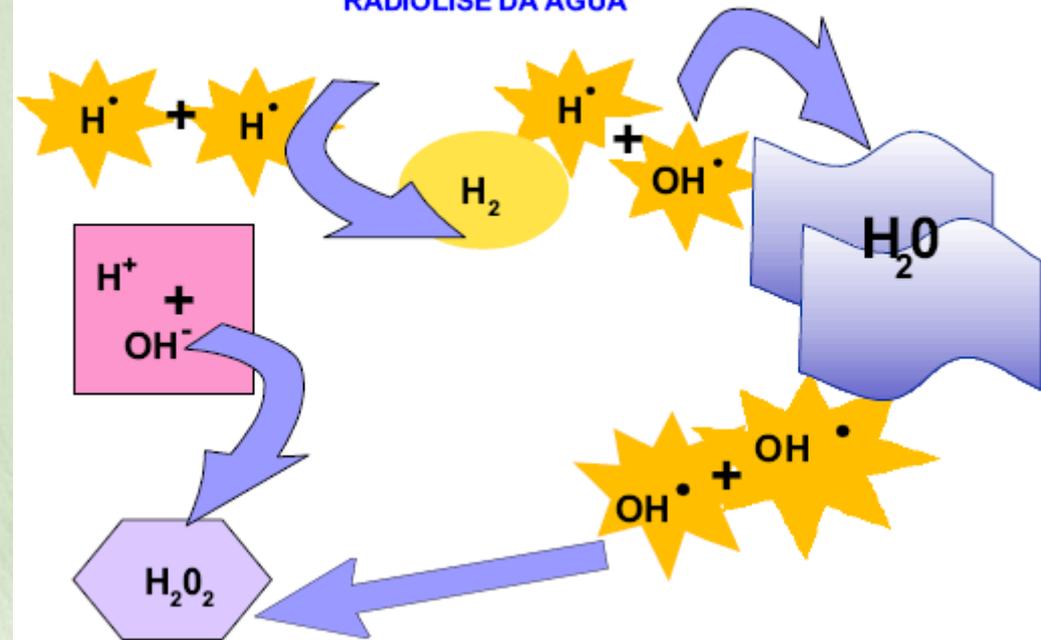
- A radiação ao atravessar os tecidos causa ionização ou excitação dos átomos e moléculas contidas nas células.
- Como a maior parte do corpo é formado de água, são essas moléculas que são as mais atingidas pela radiação, ocorrendo a radiólise da molécula de água.
- A quantidade de dano biológico produzido depende da energia total depositada, ou seja da dose de radiação.

Efeitos da Radiação no ser humano

RADIÓLISE DA ÁGUA

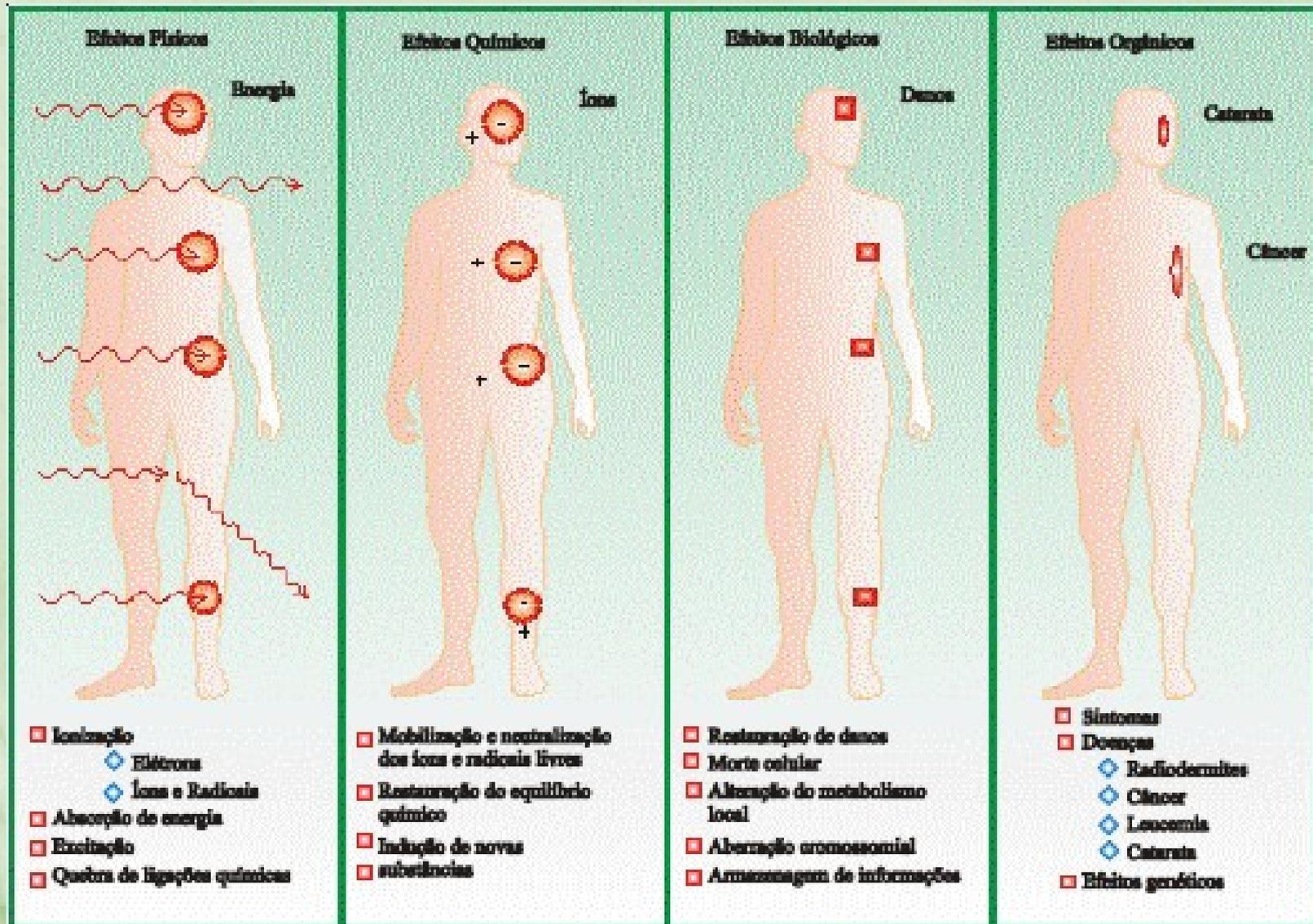


REAÇÕES QUÍMICAS DECORRENTES DA RADIÓLISE DA ÁGUA



Efeitos da Radiação no ser humano

- Mecanismo de dano biológico

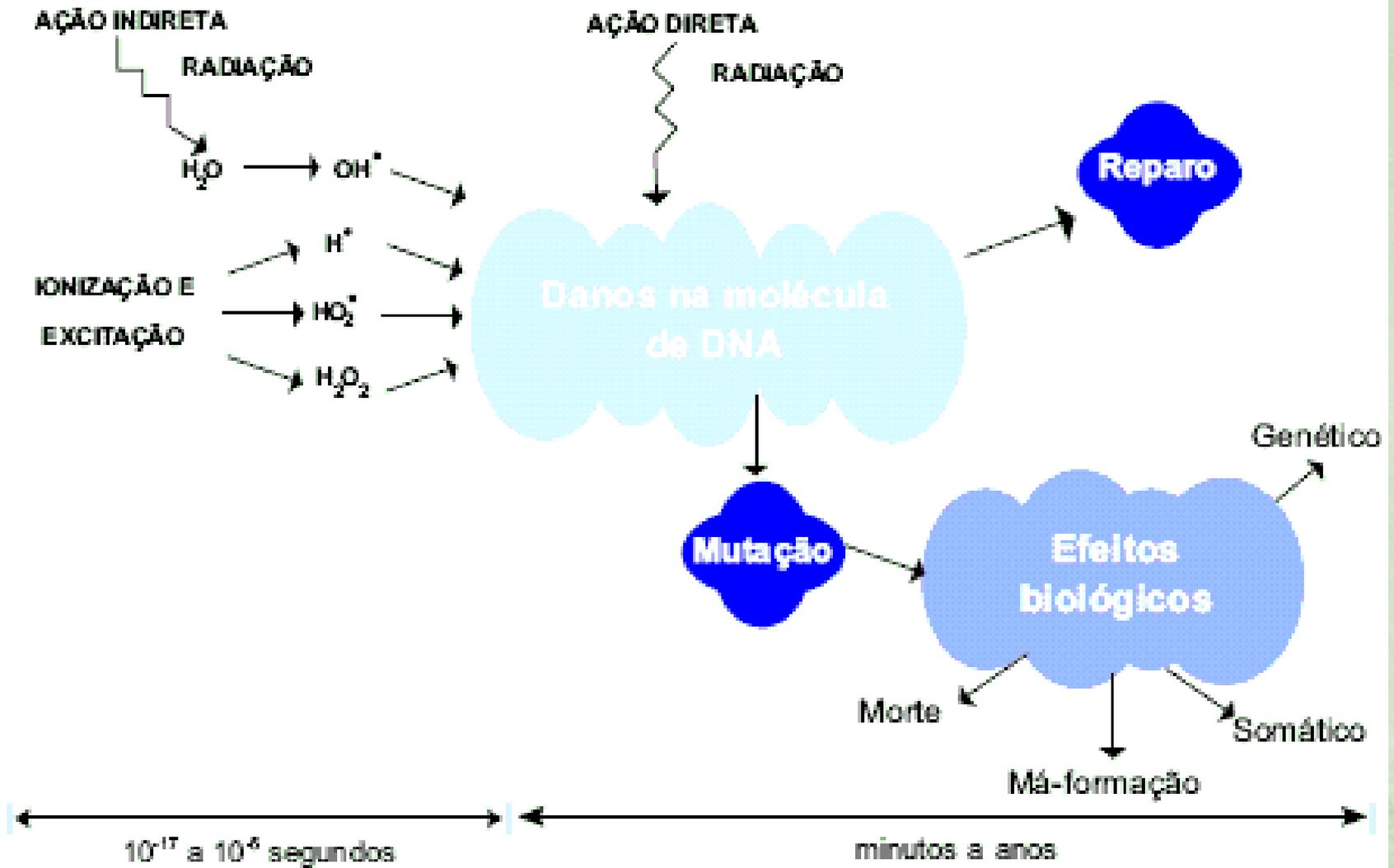


Efeitos da Radiação no ser humano

- Mecanismo de dano biológico
 - **Fase física:** ocorre a deposição de energia pela radiação na forma de ionização e/ou excitação de alguns átomos e moléculas do sistema biológico. Isto geralmente leva cerca de 10^{-13} segundos.
 - **Fase química:** esta fase dura cerca de 10^{-10} segundos, e nela, os radicais livres, íons e os agentes oxidantes podem atacar moléculas importantes da célula, inclusive as substâncias que compõem o cromossomo.
 - **Fase biológica:** esta fase varia de minutos a anos, dependendo dos sintomas. As alterações químicas produzidas podem afetar uma célula de várias maneiras: morte prematura, retardo na divisão celular ou modificação permanente. O surgimento de efeito biológico não significa uma doença e sim a resposta do organismo a um agente agressor.
 - **Fase orgânica:** quando os efeitos biológicos desequilibram o organismo humano ou o funcionamento de um órgão, surgem sintomas clínicos da incapacidade de reparar tais danos, as doenças.

Efeitos da Radiação no ser humano

RESUMO: CONSEQÜÊNCIAS DA IRRADIAÇÃO DA MOLÉCULA DE DNA



Efeitos da Radiação no ser humano

- Fatores determinantes do efeito biológico
 - *Exposição a radiação ionizante*
 - *Resposta biológica de um sistema*
- Os **efeitos** das radiações ionizantes em um indivíduo **depende** basicamente da dose absorvida (alta/baixa), da taxa de exposição (crônica/aguda) e da forma de exposição (corpo inteiro/localizada);
- Quanto **maiores** as taxas de dose e doses absorvidas, maiores a probabilidade de dano, de mutações precursoras de câncer e de morte celular.

Efeitos da Radiação no ser humano

- Radioexposição aguda em adulto (corpo inteiro)

FORMA	DOSE ABSORVIDA	SINTOMATOLOGIA
Infra-clínica	Inferior a 1 Gy	Ausência de sintomatologia na maioria dos indivíduos.
Reações gerais leves	1-2 Gy	Astenia, náuseas, vômitos (3 a 6 hs. Após a exposição; sedação em 24 hs.)
Hematopoiética leve	2-4 Gy	Função medular atingida: linfopenia, leucopenia trombopenia, anemia; recuperação em 6 meses.
Hematopoiética grave	4-6 Gy	Função medular gravemente atingida.
DL ₅₀	4-4,5 Gy	Morte de 50% dos indivíduos irradiados
Gastro-intestinal	6-7 Gy	Diarréia, vômitos, hemorragias, morte 5 ou 6 dias.
Pulmonar	8-9 Gy	Insuficiência respiratória aguda, coma e morte entre 14 e 36 h.
Cerebral	superior a 10 Gy	Morte em poucas horas por colapso

Efeitos da Radiação no ser humano

- Radioexposição aguda localizada

DOSE ABSORVIDA (Gy)	SINTOMATOLOGIA
>4	Epilação temporária.
16 a 20	Epilação definitiva.
6 a 12	Riodermite eritematosa que se manifesta oito dias após a exposição por dor e vermelhidão; freqüentemente substituída por pigmentação acentuada.
16 a 20	Riodermite exudativa (bolhas, lesões) que regride em 5 ou 6 semanas.
25	Riodermite e radionecrose que se manifesta por um eritema precoce, dor e exudação; o processo evolui para uma ulceração do tecido.
2	Catarata: quanto maior a dose, maior a velocidade do estabelecimento do processo; conjuntivite aguda de pouca gravidade.
0,3	Esterilidade temporária do homem.
5	Esterilidade definitiva do homem.
3	Esterilidade temporária da mulher.
6-8	Esterilidade definitiva da mulher.

Efeitos da Radiação no ser humano

- Fatores determinantes do efeito biológico
 - Resposta biológica de um sistema
 - A resposta biológica de um sistema, sua **radiossensibilidade**, varia grandemente dependendo do tipo de tecido e à quantidade de tecido irradiada.



Efeitos da Radiação no ser humano

- Fatores determinantes do efeito biológico
 - Radiossensibilidade de um sistema
 - **Radiossensível:**
 - Sistema hematopoiético (Nodos linfáticos, timo, baço, medula óssea);
 - Sistema digestório (intestino, cólon, esôfago e estômago)
 - Órgãos reprodutores (masculino e feminino)

Efeitos da Radiação no ser humano

- Fatores determinantes do efeito biológico
 - Radiossensibilidade de um sistema
 - ***Radiorresistente:***
 - Sistema respiratório;
 - Sistema vascular;
 - Pele;
 - Tecido muscular; e
 - Tecido nervoso.



Efeitos da Radiação no ser humano

- Efeitos radioinduzidos
 - Os efeitos radioinduzidos podem receber denominações em função do **nível orgânico** atingido (somáticos e hereditários), em função do **tempo de manifestação** (imediatos e tardios) e em função do **valor da dose** e forma de resposta (estocásticos e determinísticos).

Efeitos da Radiação no ser humano

- Efeitos radioinduzidos
 - Efeitos somáticos
 - Os efeitos somáticos afetam a pessoa irradiada, podendo ainda ser divididos em agudos ou a curto prazo e tardios ou a longo prazo, dependendo do tempo de manifestação dos efeitos, que é função da dose absorvida, isto é, quanto **maior a dose, menor** é o intervalo de **tempo** entre a exposição e o **aparecimento do efeito**.

Efeitos da Radiação no ser humano

- Efeitos radioinduzidos
 - Efeitos hereditários
 - Estes efeitos podem ocorrer quando as células do ovário ou dos testículos são irradiadas. Se o óvulo ou o espermatozóide danificado for usado na concepção, as células do organismo novo conterão o dano reproduzido.



Efeitos da Radiação no ser humano

- Efeitos radioinduzidos
 - Efeitos estocásticos
 - 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 radioproteção, podem induzir tais efeitos.*** Entre estes efeitos, destaca-se o câncer.

Efeitos da Radiação no ser humano

- Efeitos radioinduzidos
 - Efeitos determinísticos
 - São efeitos causados por irradiação total ou localizada de um tecido, causando um grau de morte celular não compensado pela reposição ou reparo do DNA (ADN), com prejuízos detetáveis 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. 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.

Cálculo de tempo máximo

1. Um IOE atuando em um serviço de radiodiagnóstico, teve registrado no relatório de dose nos meses de julho, agosto e setembro os seguintes valores de dose efetiva: 0,4mSv, 3mSv e 4mSv. Nos meses anteriores do corrente ano os relatórios de dose registraram “BG”. Pergunta-se:
- a) Algum nível de restrição de dose foi atingido?
 - b) Quais as ações que o responsável pela radioproteção deve executar?
 - c) Caso a dose efetiva seja mantida na média dos meses de agosto e setembro o limite anual será alcançado?
 - d) Qual a taxa de dose efetiva por hora do IOE no mês de setembro?
 - e) Caso a dose efetiva do mês de outubro tenha novo aumento existirá a necessidade de intervenção nos procedimentos do IOE?
 - f) Quais motivos poderiam justificar este valor de dose efetiva no IOE?

Cálculo de tempo máximo

2. Com a instalação do novo equipamento emissor de raios X, modelo Intecal CR125, foi realizado um levantamento radiométrico na sala de exame e nas demais dependências do serviço. Verificou-se que na sala de exame a taxa de dose era de $20\mu\text{Sv/h}$. Pergunta-se:

- a) Qual a dose que o IOE estará sujeito em uma semana?
- b) Em um mês algum nível de restrição de dose será alcançado? Qual?
- c) Na letra B, em caso afirmativo, o responsável deve tomar qual atitude?
- d) Para que o responsável pela radioproteção mantenha a dose efetiva anual em 20mSv , qual deve ser a redução na taxa de dose na sala de exame?

Obrigado

Luciano Santa Rita Oliveira

<http://www.lucianosantarita.pro.br>

e-mail: tecnologo@lucianosantarita.pro.br

