

Blindagem em Radiologia



Prof. Luciano Santa Rita - MSc

www.lucianosantarita.pro.br

tecnologo@lucianosantarita.pro.br

Conteúdo programático

- ① Relação entre grandezas radiológicas
 - ❑ Exposição (X) x atividade (A); Dose (D) x atividade
 - ❑ Fator gama (gamão - Γ)
 - ❑ Dose x exposição
- ① Detecção das radiações ionizantes
 - ❑ Detectores à gás
 - ❑ Detectores cintiladores
 - ❑ Dosímetros
- ① Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em
 - ❑ instalações radiológicas industriais
 - ❖ cálculo em condição de boa e má geometria
 - ❑ serviços de radiodiagnóstico
 - ❖ cálculo de carga de trabalho (W) e barreiras primárias e secundárias
- ① Estudo de casos das metodologias

Relação de grandezas radiológicas

- Exposição pode ser associada à atividade gama de uma fonte, pela expressão:

$$X = \Gamma \cdot \frac{A \cdot t}{d^2}$$

- Γ = constante de exposição de uma fonte pontual (Gamão);
- A = atividade da fonte radioativa;
- t = tempo de exposição;
- d = distância até a fonte.
- Esta relação vale para as seguintes condições:
 - a fonte é suficientemente pequena (puntiforme), de modo que a fluência de fótons varie com o inverso do quadrado da distância;
 - a atenuação na camada de ar intermediária entre a fonte e o ponto de medição é desprezível ou corrigida pelo fator de atenuação;
 - somente fótons provenientes da fonte contribuem para o ponto de medição, ou seja, que não haja espalhamento nos materiais circunvizinhos.

Relação de grandezas radiológicas

- Dose pode ser associada à atividade gama de uma fonte, pela expressão:

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

- Γ = constante de exposição de uma fonte pontual (Gamão);
- A = atividade da fonte radioativa;
- t = tempo de exposição;
- d = distância até a fonte.
- Esta relação vale para as seguintes condições:
 - a fonte é suficientemente pequena (puntiforme), de modo que a fluência de fótons varie com o inverso do quadrado da distância;
 - a atenuação na camada de ar intermediária entre a fonte e o ponto de medição é desprezível ou corrigida pelo fator de atenuação;
 - somente fótons provenientes da fonte contribuem para o ponto de medição, ou seja, que não haja espalhamento nos materiais circunvizinhos.

Fator gama ou gamão (Γ)

Radionuclídeo	Γ (R.m ² /h.Ci)	Radionuclídeo	Γ (R.m ² /h.Ci)
¹³¹ I	0,22	⁷⁵ Se	0,15
¹²⁵ I	0,07	⁶⁰ Co	1,32
^{99m} Tc	0,12	²⁴ Na	1,84
¹⁹² Ir	0,48	¹⁹⁸ Au	0,23
²²⁶ Ra	0,83	¹²⁴ Sb	0,98
¹³⁷ Cs	0,33	⁵⁴ MN	0,47

Radionuclídeo	Γ (mSv.m ² /h.GBq)	Radionuclídeo	Γ (mSv.m ² /h.GBq)
¹³¹ I	5,2x10 ⁻²	⁷⁵ Se	3,6x10 ⁻²
¹²⁵ I	1,6x10 ⁻²	⁶⁰ Co	3,13x10 ⁻¹
^{99m} Tc	2,8x10 ⁻²	²⁴ Na	4,36x10 ⁻¹
¹⁹² Ir	1,1x10 ⁻¹	¹⁹⁸ Au	5,4x10 ⁻²
²²⁶ Ra	2,0x10 ⁻¹	¹²⁴ Sb	2,3x10 ⁻¹
¹³⁷ Cs	7,8x10 ⁻²	⁵⁴ MN	1,1x10 ⁻¹

Relação de grandezas radiológicas

- Sob condições de equilíbrio eletrônico (CPE), a Exposição X, medida no ar, se relaciona com a Dose Absorvida no ar, pela expressão:

$$D_{ar} = X \cdot (w/e)_{ar}$$

- Onde $(w/e)_{ar}$ é a energia média para formação de um par de íons no ar dividida pela carga do elétron:
 - No SI = 33,97 J/C
 - Quando exposição dada em Röentgen (R) = 0,876 .

Exercícios

1. Uma fonte de ^{24}Na com atividade de 18,4 Ci será utilizada na realização de END para a aferição de juntas soldadas. A que distância a taxa de dose será reduzida para 0,25 mSv/h?
2. Qual a dose em mSv, recebida por um grupo de trabalhadores expostos durante 2 horas às radiações devido a uma fonte de ^{60}Co com 222 GBq de atividade, numa distância de 4 metros?
3. Um IOE precisa atuar em um laboratório que possui 2 fontes sendo uma de ^{75}Se com atividade de 37,8 GBq e uma de ^{137}Cs com atividade de 25,7 GBq. Sabendo que a distância entre as fontes é de 5 m e que o IOE atuará no ponto médio entre as duas fontes, qual a taxa dose em mSv recebida?

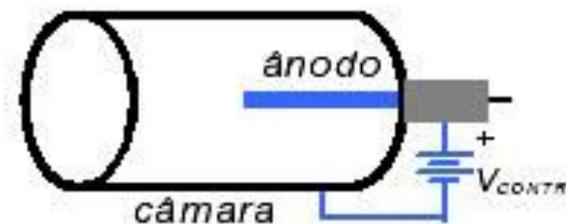
Exercícios

4. O slide 5 apresenta tabelas com relação de fatores de exposição e dose gama para vários radionuclídeos. Faça as conversões de unidades de grandezas necessárias para gerar uma tabela com o fator gama na unidade de $\mu\text{Sv.cm}^2 / \text{h.MBq}$.

Radionuclídeo	Γ ($\mu\text{Sv.cm}^2/\text{h.MBq}$)	Radionuclídeo	Γ ($\mu\text{Sv.cm}^2/\text{h.MBq}$)
^{131}I		^{75}Se	
^{125}I		^{60}Co	
$^{99\text{m}}\text{Tc}$		^{24}Na	
^{192}Ir		^{198}Au	
^{226}Ra		^{124}Sb	
^{137}Cs		^{54}Mn	

Detecção das radiações ionizantes

- Normalmente a detecção da radiação é obtida através do elemento ou material sensível à radiação (detector) e um sistema eletrónico 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.
- Monitor:** Associação dos detectores com circuitos eletrónicos originam estes instrumentos para medição imediata da radiação. Eles podem ser identificadores ou não.



Detecção das radiações ionizantes

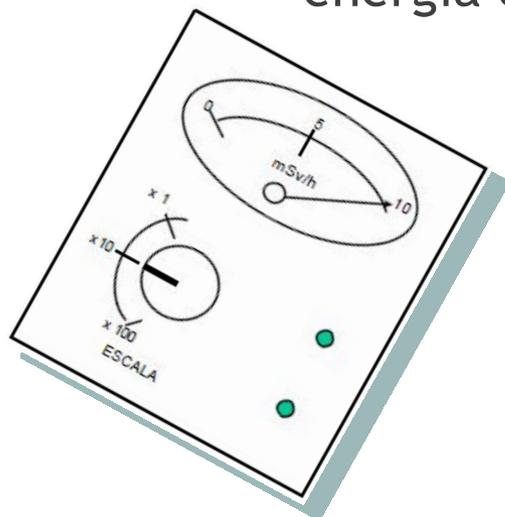
Propriedades de um sistema de detecção

- ❑ **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 ionizantes

Tipos de detector 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 cte 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 ionizantes

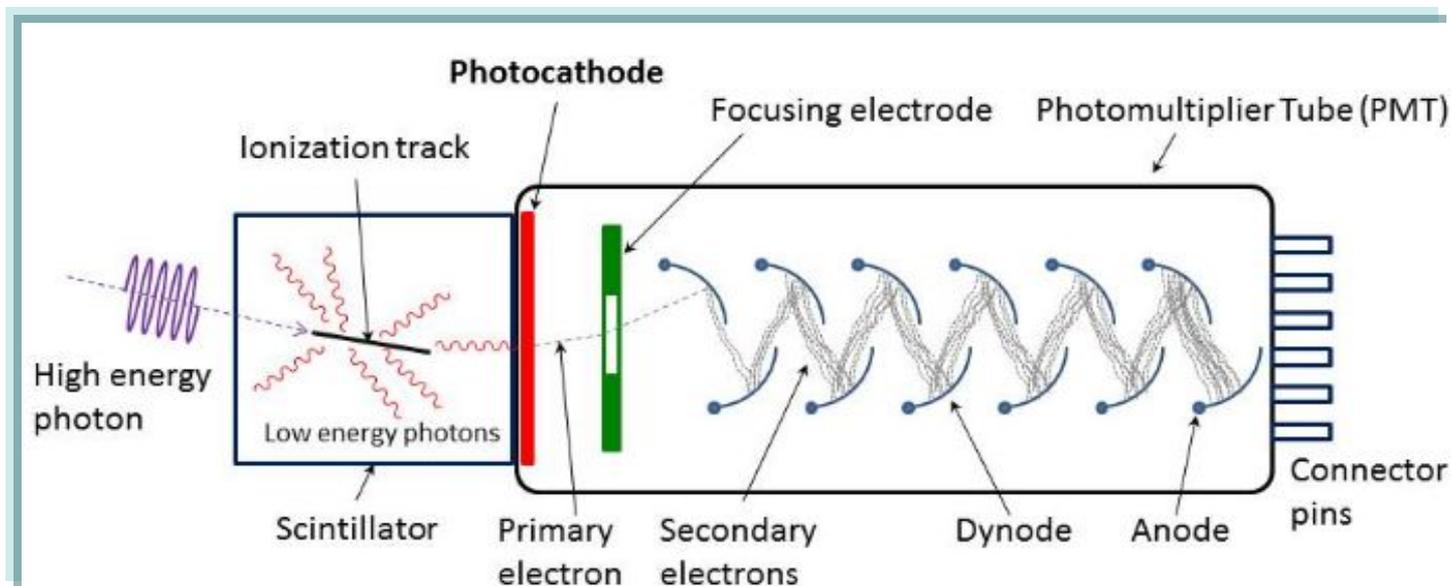
- Regiões de operação de um detector á gás



Detecção das radiações ionizantes

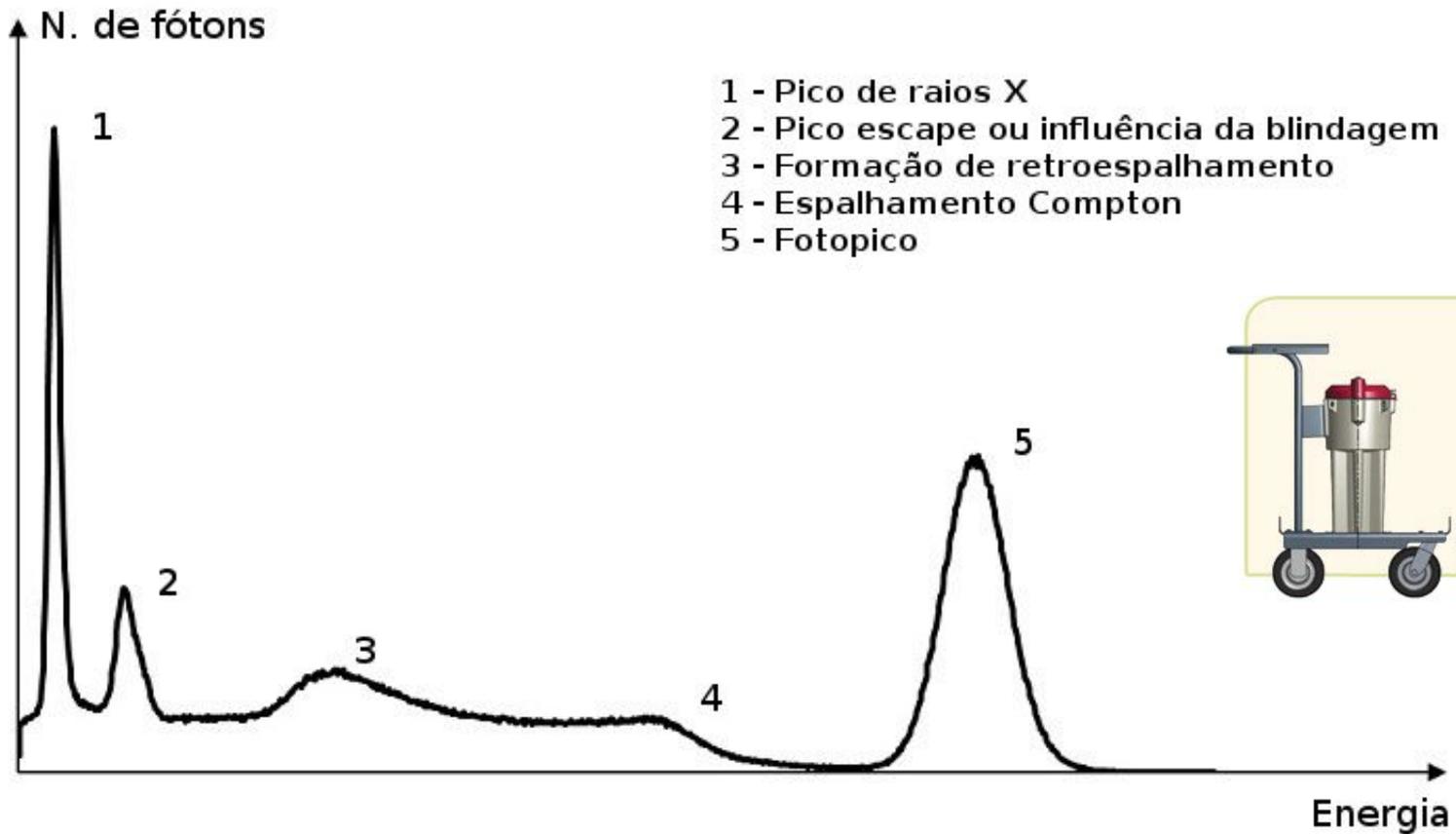
○ Detectores cintiladores

- 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 ionizantes

Resposta dos cintiladores para as energias dos fótons



Detecção das radiações ionizantes

⦿ Dosímetros pessoais

- ❑ São monitores de radiação ionizante que medem grandezas operacionais como equivalente de dose pessoal $H_p(d)$ ou dose individual (Photon Dose Equivalente) Hx.
- ❑ Para monitoração individual para fótons, *Equivalente de Dose* $H_p(10)$ pode ser provisoriamente substituído pela *Dose Individual* Hx obtida pela leitura do dosímetro individual superfície do tórax, calibrado em Kerma multiplicado pelo fator $f=1,14 \text{ Sv/Gy}$
- ❑ Tipos: Filme dosimétrico, TLD, caneta dosimétrica e dosímetro eletrônico.



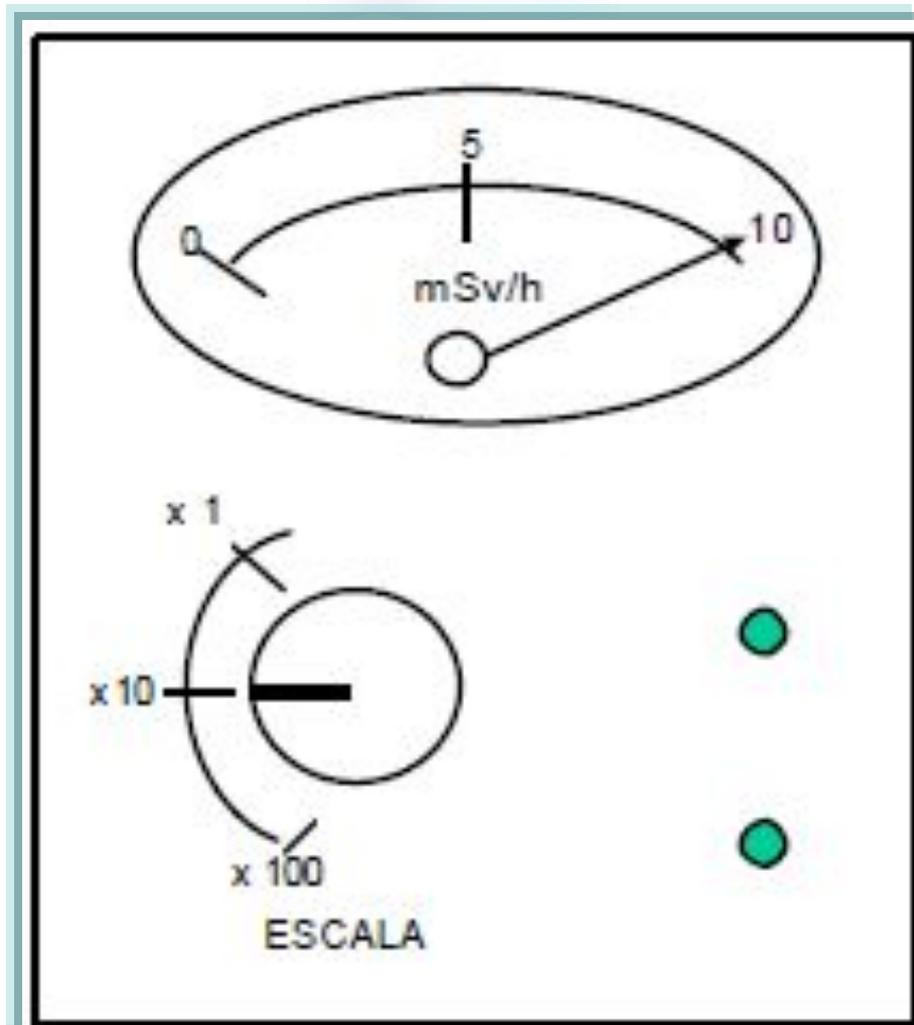
Detecção das radiações ionizantes

☉ Calibração dos instrumentos de medição

- ❑ 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 extremamente confiáveis;
- ❑ Laboratório de calibração de instrumentos de medição:
 - ❖ Instituto de Radioproteção e Dosimetria (*IRD-CNEN*) - Laboratório de Dosimetria Padrão Secundário (IAEA, WHO 1976);
 - ❖ Laboratório de Ciências Radiológicas (*LCR - UERJ*)

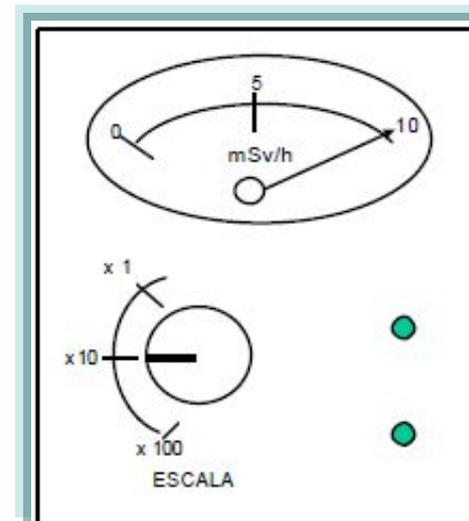
Detecção das radiações ionizantes

Leitura de monitores



Exercícios

1. Durante um levantamento radiométrico o medidor de radiação apresentou a leitura conforme indicado na figura abaixo. Que procedimento o operador deverá tomar diante da resposta do detector?
- a) o seletor de escalas deverá ser ajustado na posição x1;
 - b) o seletor de escalas deverá ser ajustado na posição x10;
 - c) o seletor de escalas deverá ser ajustado na posição x100;
 - d) nenhuma das anteriores.



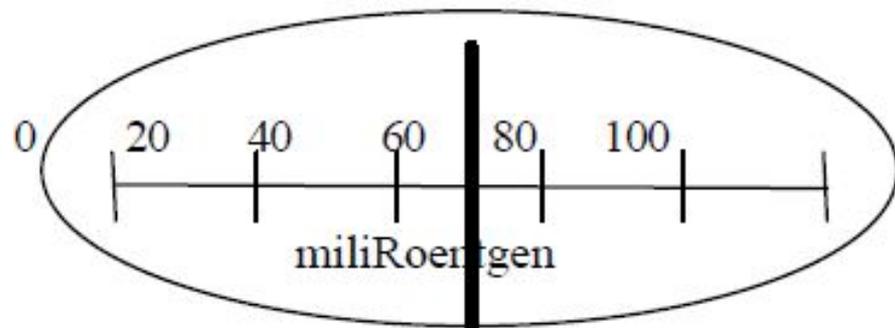
Exercícios

2. Qual a taxa de dose indicada pelo detector da questão 01?

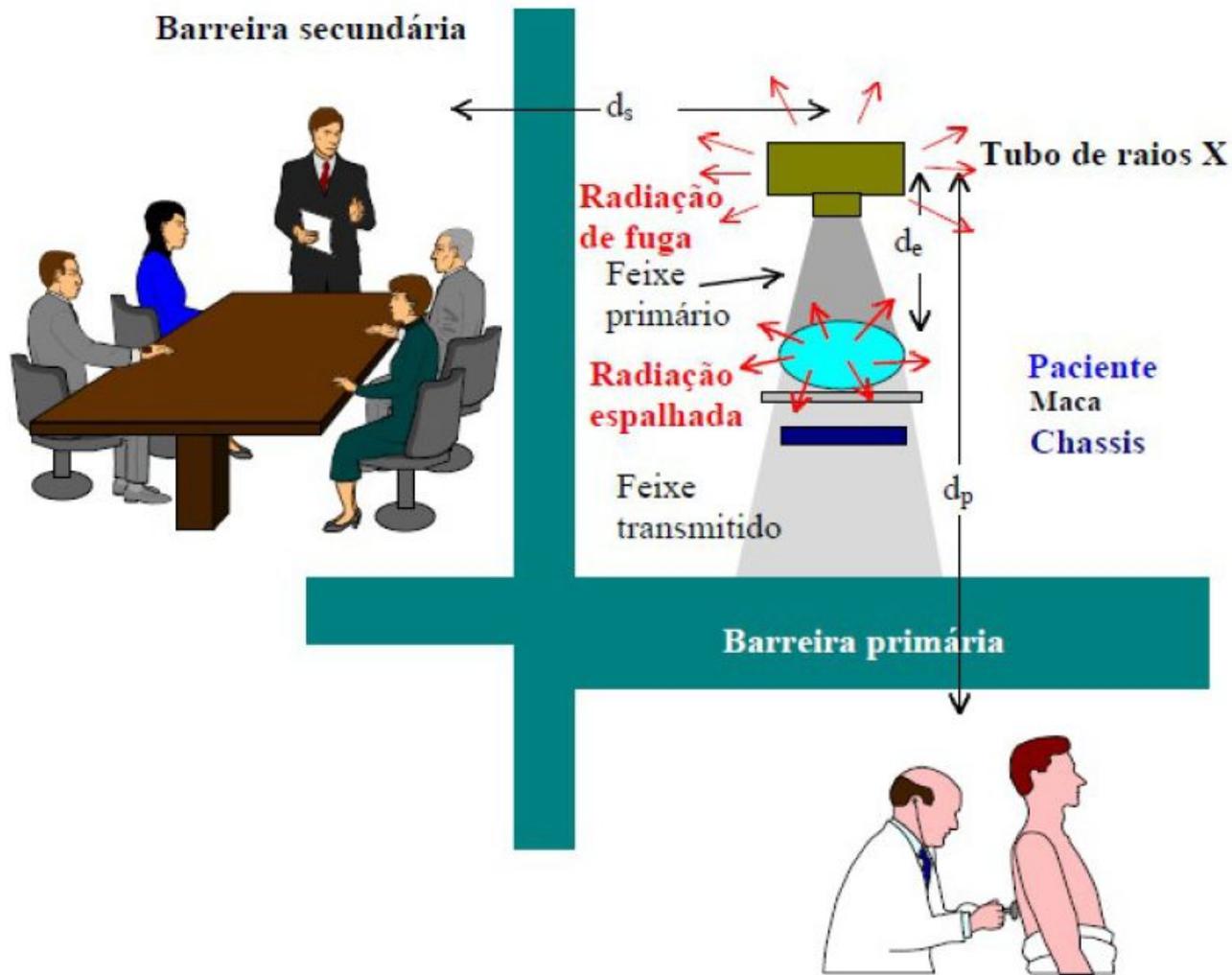
- a) 100 mSv/h.
- b) 10 mSv/h
- c) 1 mSv/h
- d) 1000 mSv/h

3. A figura abaixo representa um dosímetro de leitura direta marcando a exposição recebida por um operador. Qual a exposição registrada?

- a) 70 mR/h
- b) 70 R/h
- c) 70 mR
- d) 700 mR



Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico



Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico

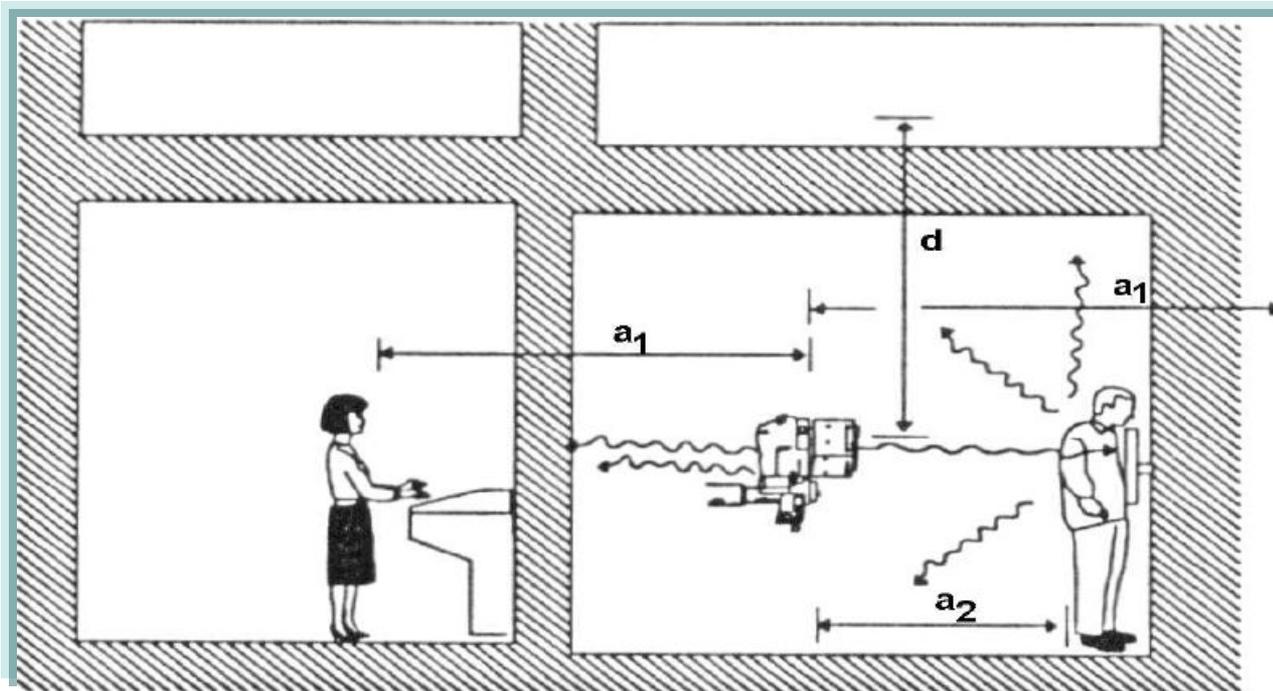
- Em 1969 nos USA criou-se o National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) que iniciou a publicação de relatórios onde foram descritas algumas recomendações específicas para a proteção de salas radiológicas.
- Estas recomendações detalhavam aspectos de construção dos ambientes, como as características das portas e cantos, bem como as formas como materiais protetores que não o chumbo deviam ser marcados, levando em consideração a energia da radiação utilizada na medição da equivalência em chumbo.
- Na década de 80 a publicação NCRP 49 tornou-se referência para os cálculos de barreiras.
- O NCRP 49 trata dos requisitos práticos e da metodologia para o cálculo de barreiras protetoras para salas onde ocorre a emissão de radiação para fins médicos.

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico

- ◉ Chamamos de barreira ou blindagem todo o material com capacidade de absorver ou atenuar um feixe de radiação que nela incide.
- ◉ Uma barreira não é capaz de impedir a transmissão da radiação gama e X através de uma barreira, mas apenas atenuá-la.
- ◉ O grau de atenuação depende, entre outros fatores, da natureza do material que constitui a barreira, da geometria das medidas, da forma geométrica da fonte, da energia da radiação incidente e da espessura da barreira.
- ◉ Esta *metodologia* permite o cálculo da barreira pela determinação do fator de transmissão ou grau de atenuação levando em conta as diferentes condições de incidência da radiação, as áreas adjacentes que podem apresentar tipos e graus de ocupação diferenciados e ainda as condições de operação e a quantidade de exposições realizadas com o aparelho de raios X, distâncias consideradas, etc. . .

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico

- As barreiras (paredes, teto, piso, etc.) para as quais o feixe primário de raios X pode ser direcionado (geralmente, piso e parede com estativa mural) são denominadas de *barreiras primárias*. As demais são denominadas de *barreiras secundárias* e sobre elas incidem radiação secundária (espalhada) e radiação de fuga (transmitida através da blindagem do cabeçote).



Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico - barreira primária

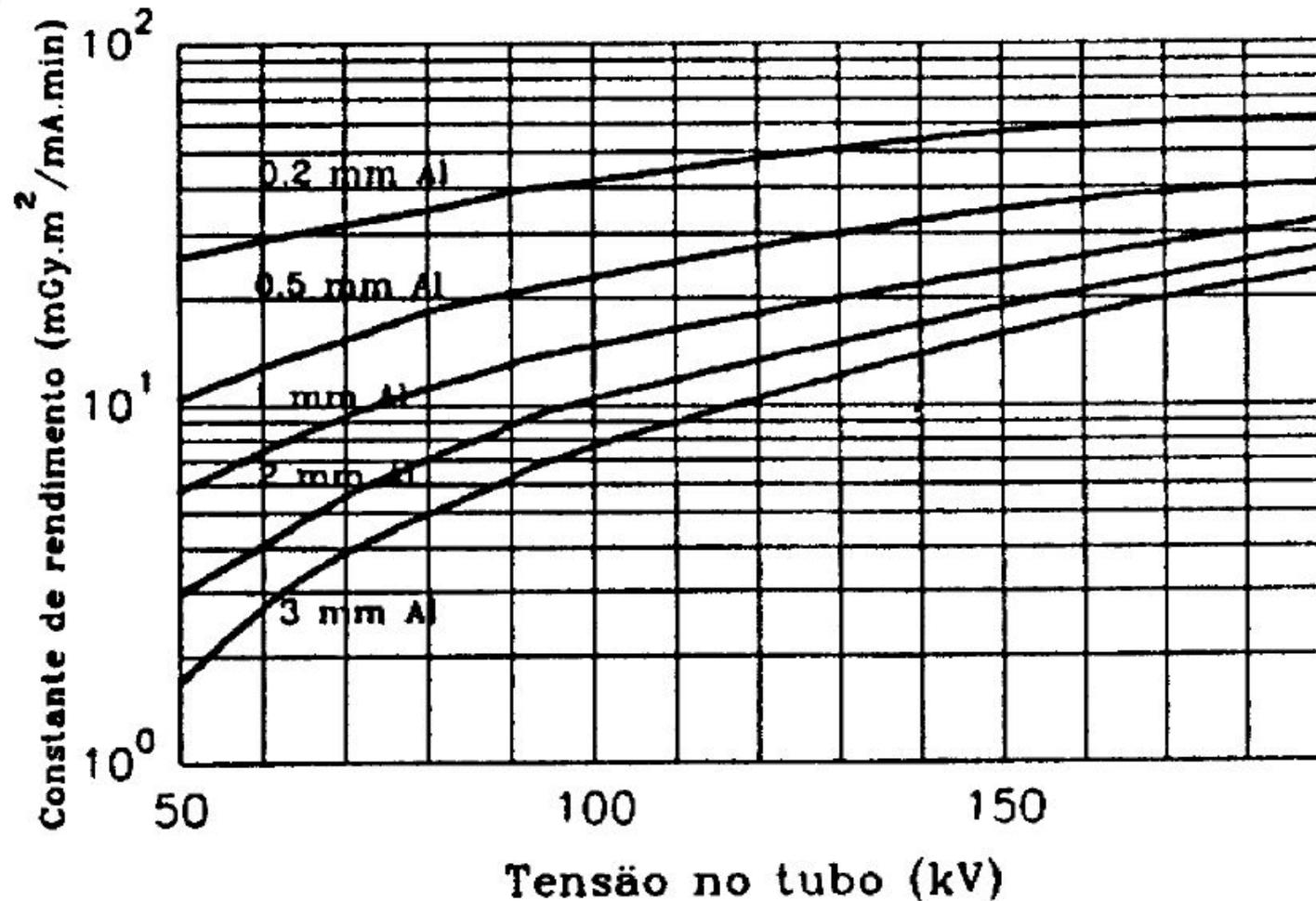
- O grau de atenuação F_p para uma determinada barreira primária é dado por:

$$F_p = \frac{T_r \cdot W \cdot U \cdot T}{J_w \cdot (a_1)^2}$$

- Onde:

- T_r : constante de rendimento do aparelho de raios X, em mGy.m²/mA.min;
- W : carga de trabalho semanal do aparelho de raios X, em mA.min/sem;
- U : fator de uso da barreira;
- T : fator de ocupação da área adjacente;
- J_w : limite autorizado semanal no ponto de interesse da área adjacente, em mGy/sem; e
- a_1 : distância entre o ponto de interesse da área adjacente e o ponto focal, em metros.

Constante de rendimento (T_r)



● *Obs.: Equipamento de raios X de onda completa*

Carga de trabalho semanal máxima (W)

<i>Equipamento</i>	<i>No de pac/dia</i>	<i>W</i>	<i>W (mA•min/sem)</i>		
		<i>(mA•min/pac)</i>	<i>100 kVp</i>	<i>125 kVp</i>	<i>150 kVp</i>
Radiografia Geral	24	2,67	320	160	80
Radiografia de Tórax	60	0,53	160	80	–

- Fonte: Portaria 453/98 e o guia “Radiodiagnóstico Médico: Desempenho de Equipamentos e Segurança” da ANVISA.

Cálculo da carga de trabalho (W)

- A carga de trabalho W é o número de exposições realizadas pelo aparelho de raios X, durante sua jornada de trabalho, em mA.min/sem. Por exemplo, se o aparelho opera com 5 mA durante 2 horas por dia, 5 dias por semana, a carga de trabalho será

$$W = 2 \frac{\cancel{\text{horas}}}{\cancel{\text{dias}}} \times 60 \frac{\text{minutos}}{\cancel{\text{horas}}} \times 5 \frac{\cancel{\text{dias}}}{\text{semana}} \times 5 \text{ mA}$$

$$W = 3000 \rightarrow W = 3 \times 10^3 \text{ mA.min/sem}$$

Cálculo da carga de trabalho (W)

- Exemplo 2: Se o aparelho opera em modo grafia com uma ajuste máximo de mAs de 200 por exame, realizando 20 exames por dia, 5 dias por semana, a carga de trabalho será :

Resposta

$$W = \frac{5 \cancel{\text{dias}}}{\text{semana}} \cdot \frac{20 \cancel{\text{exames}}}{\cancel{\text{dias}}} \cdot \frac{200 \cancel{\text{mAs}}}{\cancel{\text{exames}}} \cdot \frac{1 \cancel{\text{min}}}{60 \cancel{\text{s}}}$$

$$W = 3 \times 10^2 \text{ mA.min/sem}$$

Fator de uso (U) e ocupação (T)

<i>Barreira</i>	<i>U</i>
piso	0,5
parede 1	0,25
parede 2	0,25

<i>Ocupação</i>	<i>Local</i>	<i>T</i>
integral	consultório, recepção	1
parcial	sala de espera, vestiário, circulação interna	1/4
eventual	circulação externa, banheiros, escadas	1/16
rara	jardins cercados, casa de máquinas	1/32

- Fonte: Portaria 453/98 e o guia “Radiodiagnóstico Médico: Desempenho de Equipamentos e Segurança” da ANVISA.

Limite autorizado semanal (J_w)

<i>Localização</i>	<i>Restrição de Dose Semanal</i>	<i>Restrição de Dose Anual</i>
Área controlada	0,10 mSv/sem	5,0 mSv/ano
Área livre	0,01 mSv/sem	0,5 mSv/ano

$$H_x = K_{ar} \cdot f \longrightarrow K_{ar} = \frac{H_x}{f} \longrightarrow \text{do slide 15 e 31}$$

$$J_w \text{ (área controlada)} = \frac{0,10}{1,14} = 0,088 \text{ mGy/sem}$$

$$J_w \text{ (área livre)} = \frac{0,01}{1,14} = 0,009 \text{ mGy/sem}$$

H_x - Dose individual (Photon Dose Equivalent)

- As calibrações de monitores individuais em $H_p(d)$ precisam ser feitas em simuladores (cilindro da ICRU). Coeficientes de conversão tabelados são usados para converter, em condições padronizadas, o valor do kerma no ar (fótons).
- A grandeza H_x é usada no Brasil, em substituição a grandeza $H_p(d)$, 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.
- O fator de conversão ($f = 1,14 \text{ Sv/Gy}$ para kerma no ar) independe da energia. É uma boa estimativa da dose efetiva.

$$H_x = K_{ar} \cdot f$$

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico - barreira secundária

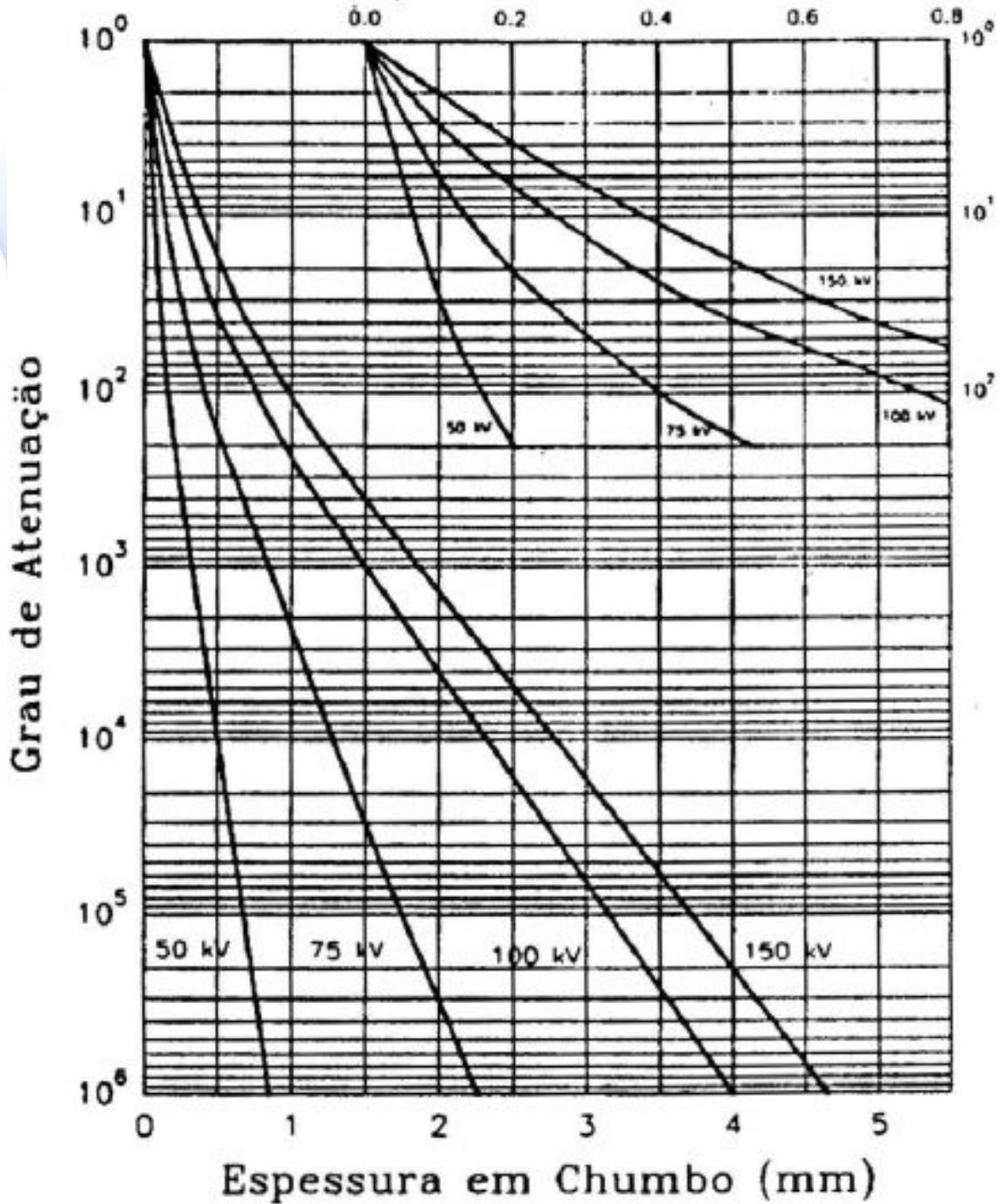
- O grau de atenuação F_s para uma determinada barreira secundária é dado por:

$$F_s = \frac{T_r \cdot W \cdot U \cdot T}{J_w \cdot (a_2)^2 \cdot d^2} \cdot k$$

- Onde:

- T_r , W , U , T e J_w tem o mesmo significado apresentado no slide 24;
- a_2 : distância entre a superfície do meio espalhador (no slide 23, o paciente) e o ponto focal, em metros;
- d : distância entre a superfície do meio espalhador e o ponto de interesse da área adjacente;
- k : coeficiente de espalhamento, em m^2 . para salas de radiografia, em geral, $k = 0,002 m^2$ e para radiologia oral, $k = 0,0005 m^2$.

Espessura de chumbo (mm) da Blindagem para F_p e F_s



Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico - radiação de fuga

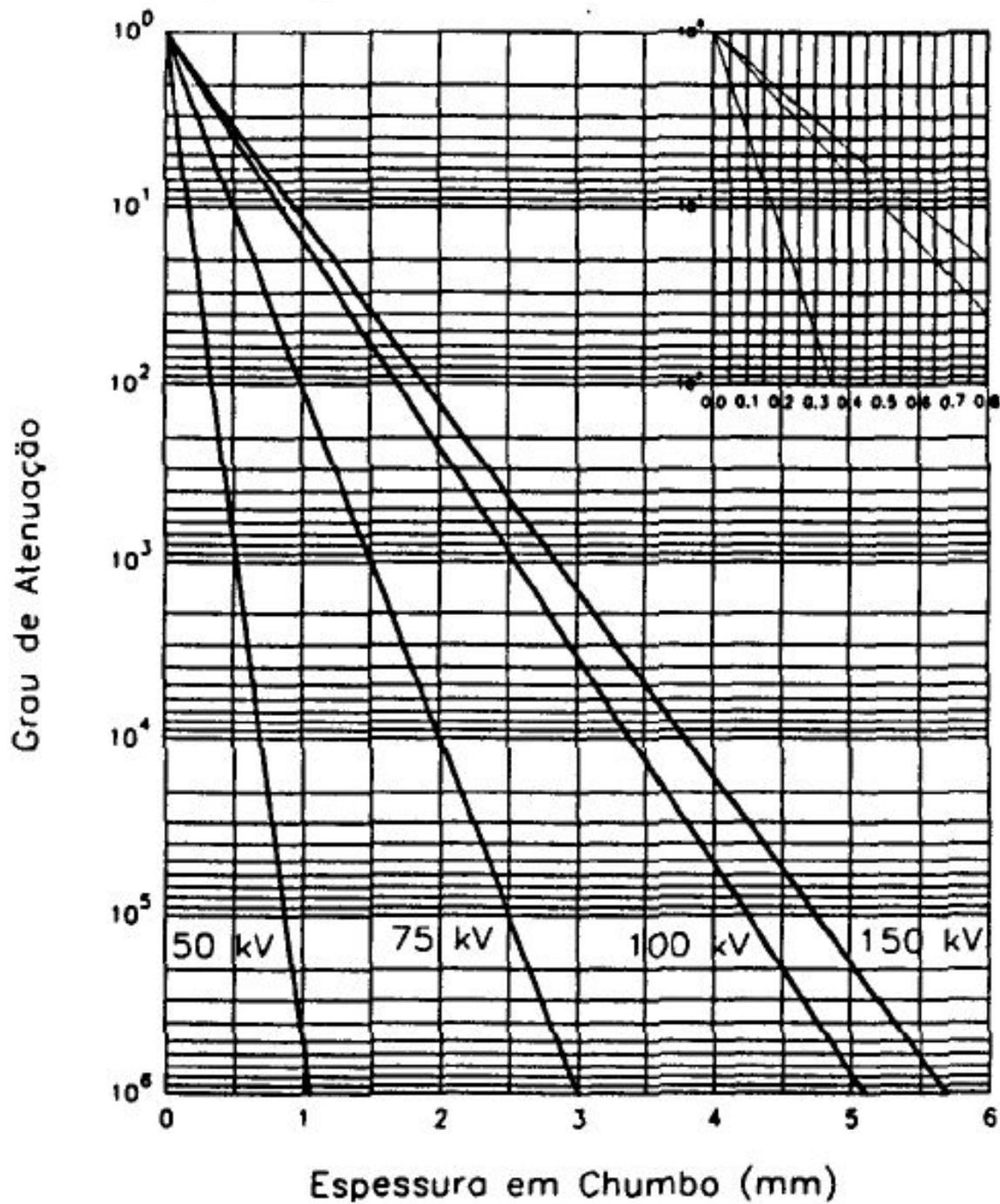
- O grau de atenuação F_{tr} para uma determinada barreira secundária para a radiação de fuga é dado por:

$$F_{tr} = \frac{C_{tr} \cdot W \cdot U \cdot T}{J_w \cdot (a_1)^2 \cdot Q}$$

- Onde:

- W , U , T , J_w e a_1 tem o mesmo significado apresentado no slide 24;
- C_{tr} : quantidade de radiação padrão num determinado ponto, fornecida pelo fabricante. Se não estiver disponível, usar 1 mGy.m²/h;
- Q : quantidade máxima admissível de eletricidade com a tensão nominal durante uma hora, especificada pelo fabricante. Para **radiografia**, $Q = 7200$ mAs/h a 150 kV. Para **fluoroscopia**, $Q = 19600$ mas/h para tubo sobre a mesa, e $Q = 9800$ mAs/h para tubo sob a mesa.

Espessura de chumbo (mm) da Blindagem para F_{tr}



Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico - barreira secundária

- A espessura definitiva da barreira secundária será:
 - Igual ao valor da barreira mais espessa encontrada se a diferença entre as espessuras das barreiras para a radiação de fuga e para a radiação espalhada for maior que 4 camadas semirredutoras (CSR); ou
 - Igual ao valor da barreira mais espessa acrescida de uma camada semirredutora se as espessuras das barreiras para a radiação de fuga e para a radiação espalhada tiverem valores praticamente iguais

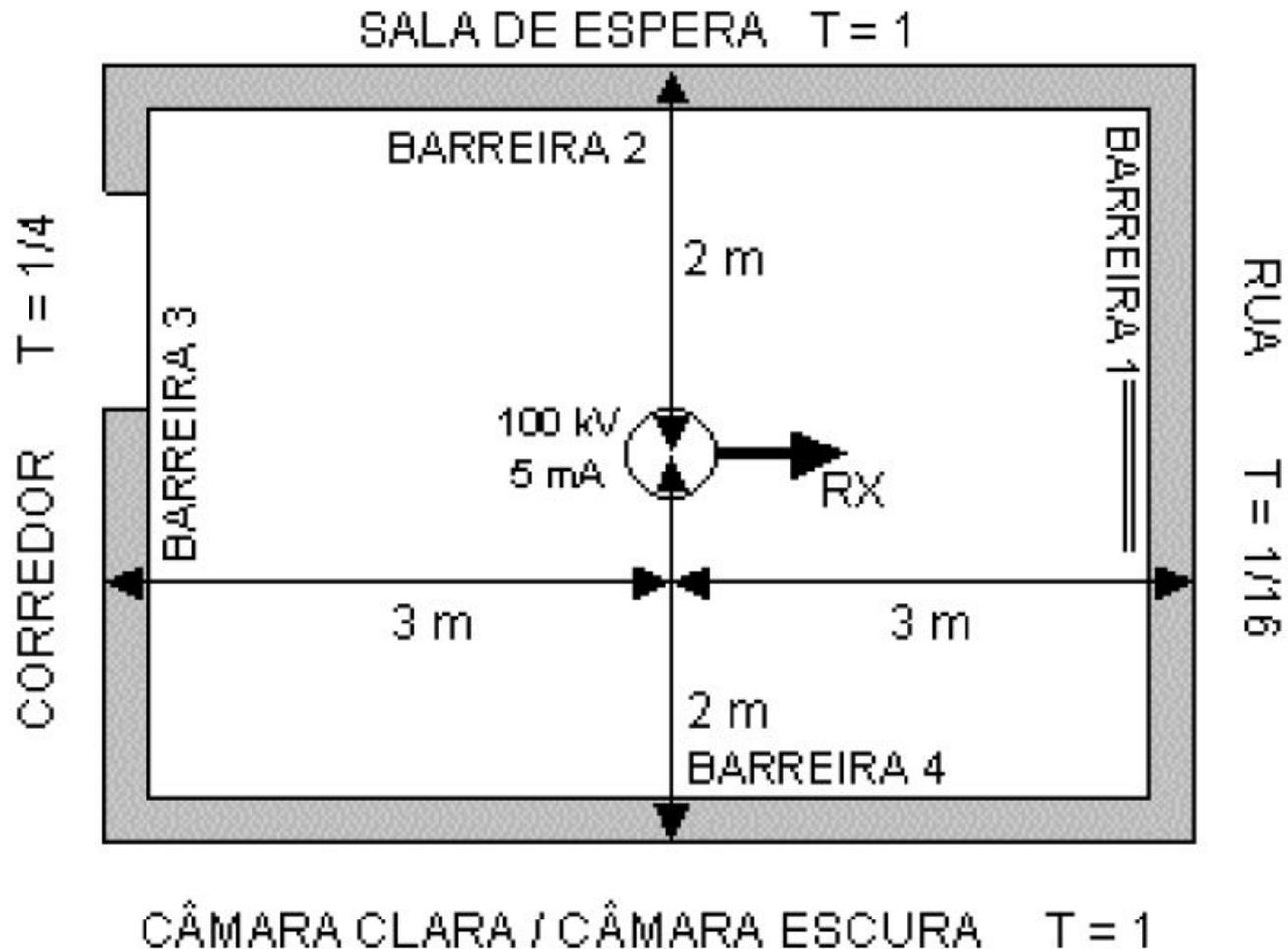
kV	50	75	100	110	125	150
CSR * (cm)	0,005	0,015	0,025	0,027	0,027	0,029

* CSR em centímetros para um feixe largo de radiação e fortemente filtrado para diferentes tensões.

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico - Exemplo

- Um aparelho de raios X com filtração total de 3,0 mm Al, tem seu feixe útil sempre direcionado para a parede que faz a divisa com uma rua. As demais áreas adjacentes à sala onde está instalado o aparelho de raios X e os respectivos fatores de ocupação estão indicados na figura do slide a seguir.
- Determine as espessuras das barreiras, em milímetros de chumbo, para que as áreas adjacentes possam ser classificadas em livres ou controladas, conforme necessário.
- Dados:
 - $Q = 7200 \text{ mAs/h}$; $C_{tr} = 1 \text{ mGy.m}^2/\text{h}$; $k = 0,002 \text{ m}^2$;
 - Use o valor da carga de trabalho máxima para 100kVp;

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico - Exemplo



Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico - Exemplo

Resposta: Cálculo para barreira 1 (primária)

- do gráfico do slide 25: 100kV e 3,0 mmAl, (T_r): 8 mGy.m²/mA.min
- do slide 26 carga de trabalho (W) máx: 320 mA.min/sem
- do slide 29 fator de uso (U) para parede: 0,25
- fator de ocupação indicado no slide 38, (T): 1/16
- limite autorizado semanal (J_w) para área livre: 0,009 mGy/sem
- distância entre ponto focal e ponto de interesse (a_1) no slide 38: 3 m

Fórmula

$$F_p = \frac{T_r \cdot W \cdot U \cdot T}{J_w \cdot (a_1)^2}$$

Análise de unidades

$$F_p = \frac{(\cancel{\text{mGy} \cdot \cancel{\text{m}^2}} / \cancel{\text{mA} \cdot \cancel{\text{min}}}) \cdot (\cancel{\text{mA} \cdot \cancel{\text{min}}} / \cancel{\text{sem}})}{(\cancel{\text{mGy}} / \cancel{\text{sem}}) \cdot \cancel{\text{m}^2}}$$

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico - Exemplo

- *Resposta: Cálculo para barreira 1 (primária)*

$$F_p = \frac{8 \cdot 320 \cdot 0,25 \cdot \left(\frac{1}{16}\right)}{0,009 \cdot (3)^2} \longrightarrow F_p = 5 \times 10^2$$

- *do gráfico do slide 33, espessura entre 1 e 1,5 mm de Pb*

• *Assim, resposta 1,5 mm de Pb para a barreira primária*

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico - Exemplo

Resposta: Cálculo para barreira 2 (secundária)

- T_r , W , U e J_w não mudam em relação ao slide 39
- fator de ocupação indicado no slide 38, (T): 1
- distância entre ponto focal e meio espalhador (a_2) no slide 38: 3 m
- distância entre o meio espalhador e ponto de interesse (d) no slide 38: 2 m
- coeficiente de espalhamento (k) no slide 37: 0,002 m²

Fórmula

$$F_s = \frac{T_r \cdot W \cdot U \cdot T}{J_w \cdot (a_2)^2 \cdot d^2} \cdot k$$

Análise de unidades

$$F_s = \frac{(\cancel{\text{mGy} \cdot \text{m}^2} / \cancel{\text{mA} \cdot \text{min}}) \cdot (\cancel{\text{mA} \cdot \text{min}} / \cancel{\text{sem}})}{(\cancel{\text{mGy}} / \cancel{\text{sem}}) \cdot (\cancel{\text{m}})^2 \cdot (\cancel{\text{m}})^2} \cdot \text{m}^2$$

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico - Exemplo

- *Resposta: Cálculo para barreira 2 (secundária)*

$$F_s = \frac{8 \cdot 320 \cdot 0,25 \cdot 1}{0,009 \cdot 3^2 \cdot 2^2} \cdot 0,002 \longrightarrow F_p = 4$$

- *do gráfico do slide 33, espessura entre 0,1 e 0,2 mm de Pb*

• *Assim, resposta 0,2 mm de Pb para a barreira secundária 2*

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico - Exemplo

Resposta: Cálculo para barreira 3 (secundária)

- T_r , W , U e J_w não mudam em relação ao slide 39
- fator de ocupação indicado no slide 38, (T): 1/4
- distância entre ponto focal e meio espalhador (a_2) no slide 38: 3 m
- distância entre o meio espalhador e ponto de interesse (d) no slide 38: 6 m
- coeficiente de espalhamento (k) no slide 37: 0,002 m²

Fórmula

$$F_s = \frac{T_r \cdot W \cdot U \cdot T}{J_w \cdot (a_2)^2 \cdot d^2} \cdot k$$

Análise de unidades

$$F_s = \frac{(\cancel{\text{mGy} \cdot \text{m}^2} / \cancel{\text{mA} \cdot \text{min}}) \cdot (\cancel{\text{mA} \cdot \text{min}} / \cancel{\text{sem}})}{(\cancel{\text{mGy}} / \cancel{\text{sem}}) \cdot (\cancel{\text{m}})^2 \cdot (\cancel{\text{m}})^2} \cdot \text{m}^2$$

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico - Exemplo

- Resposta: Cálculo para barreira 3 (secundária)

$$F_s = \frac{8 \cdot 320 \cdot 0,25 \cdot \left(\frac{1}{4}\right)}{0,009 \cdot 3^2 \cdot 6^2} \cdot 0,002 \longrightarrow F_p = 0,1$$

- do gráfico do slide 33, espessura entre 0,0 mm de Pb

Assim, resposta 0,0 mm de Pb para a barreira secundária 3

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico - Exemplo

Resposta: Cálculo para barreira 4 (secundária)

- T_r , W e U não mudam em relação ao slide 39
- limite autorizado semanal (J_w) para área controlada: 0,088 mGy/sem
- fator de ocupação indicado no slide 38, (T): 1
- distância entre ponto focal e meio espalhador (a_2) no slide 38: 3 m
- distância entre o meio espalhador e ponto de interesse (d) no slide 38: 2 m
- coeficiente de espalhamento (k) no slide 37: 0,002 m²

Fórmula

$$F_s = \frac{T_r \cdot W \cdot U \cdot T}{J_w \cdot (a_2)^2 \cdot d^2} \cdot k$$

Análise de unidades

$$F_s = \frac{(\cancel{\text{mGy} \cdot \text{m}^2} / \cancel{\text{mA} \cdot \text{min}}) \cdot (\cancel{\text{mA} \cdot \text{min}} / \cancel{\text{sem}})}{(\cancel{\text{mGy}} / \cancel{\text{sem}}) \cdot (\cancel{\text{m}})^2 \cdot (\cancel{\text{m}})^2} \cdot \text{m}^2$$

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico - Exemplo

- *Resposta: Cálculo para barreira 4 (secundária)*

$$F_s = \frac{8 \cdot 320 \cdot 0,25 \cdot 1}{0,088 \cdot 3^2 \cdot 2^2} \cdot 0,002 \longrightarrow F_p = 0,4$$

- *do gráfico do slide 33, espessura entre 0,0 mm de Pb*

• Assim, resposta 0,0 mm de Pb para a barreira secundária 4

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico - Exemplo

Resposta: Cálculo para barreira (fuga de cabeçote)

do slide 37 (C_{tr}): 1 mGy.m²/h

do slide 37 (Q): 7200 mAs/h

do slide 26 carga de trabalho (W) máx: 320 mA.min/sem

do slide 29 fator de uso (U) para parede: 0,25

fator de ocupação indicado no slide 38, (T): 1

limite autorizado semanal (J_w) para área livre: 0,009 mGy/sem

distância entre ponto focal e ponto de interesse (a_1) no slide 38: 3 m

Fórmula

$$F_{tr} = \frac{C_{tr} \cdot W \cdot U \cdot T}{J_w \cdot (a_1)^2 \cdot Q}$$

Análise de unidades

$$F_{tr} = \frac{\frac{\cancel{mGy} \cdot \cancel{m^2}}{\cancel{h}} \cdot \frac{\cancel{mA} \cdot \cancel{min}}{\cancel{sem}} \cdot \frac{\cancel{60s}}{\cancel{min}}}{\frac{\cancel{mGy}}{\cancel{sem}} \cdot \cancel{m^2} \cdot \frac{\cancel{mAs}}{\cancel{h}}}$$

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico - Exemplo

- *Resposta: Cálculo para barreira (fuga de cabeçote)*

$$F_{tr} = \frac{1 \cdot 320 \cdot 0,25 \cdot 1}{0,009 \cdot 3^2 \cdot 7200} \cdot 60 \longrightarrow F_{tr} = 8$$

- *do gráfico do slide 35, espessura entre 0,6 mm de Pb*

• *Assim, resposta 0,6 mm de Pb para a barreira (fuga de cabeçote)*

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico - Exemplo

○ Resultado do cálculo das blindagens

- Barreira primária: **1,5 mm de Pb**
- Barreira secundária 2: **0,85 mm de Pb***
- Barreira secundária 3: **0,85 mm de Pb***
- Barreira secundária 4: **0,85 mm de Pb***

** ver slide 36*

Exercício

- Refaça o exemplo do slide 37 considerando que o aparelho do serviço opera em modo grafia com uma ajuste máximo de mAs de 200 por exame, realizando 20 exames por dia, 5 dias por semana. Faça os cálculos das blindagens para a carga de trabalho (W) do serviço.

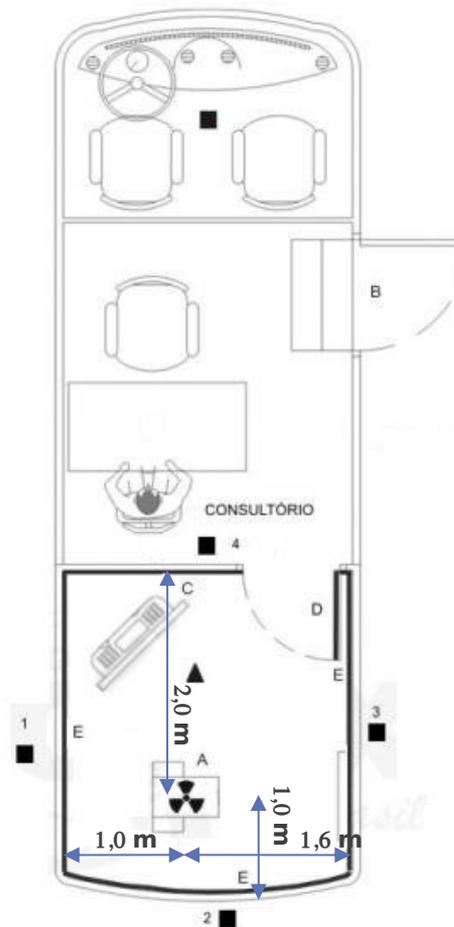
Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico - Atividade campo AV1

- Um aparelho de raios X, tem seu feixe útil sempre direcionado para a superfície 3 da lateral do veículo do slide 52. As demais áreas adjacentes à sala onde está instalado o aparelho de raios X estão demonstradas na figura e os respectivos fatores de ocupação devem ser consultados no slide 29.
- Determine as espessuras das barreiras, em milímetros de chumbo, para que as áreas adjacentes possam ser classificadas em livres ou controladas, conforme necessário.
- Dados:
 - Q = 7200 mAs/h; $C_{tr} = 1 \text{ mGy.m}^2/\text{h}$; $k = 0,002 \text{ m}^2$;
 - Use a tensão 100kVp como referência para cálculo;
 - Para obter T_r consulte a tabela no slide 53 e o gráfico no slide 25;
 - O serviço opera 5 dias por semana; e
 - Para obter a carga de trabalho (W) consulte a tabela no slide 53.

Trabalho Cálculo de Blindagem em unidade móvel

GRUPO GRX BRASIL LTDA EPP

CÁLCULO DE BLINDAGENS DE UNIDADE MÓVEL



A - EQUIPAMENTO RAIOS X
B - ENTRADA VEÍCULO
C - COMANDO
D - PORTA RADIOLÓGICA
E - REVESTIMENTO DE CHUMBO

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em serviços de radiodiagnóstico - Atividade campo AV1

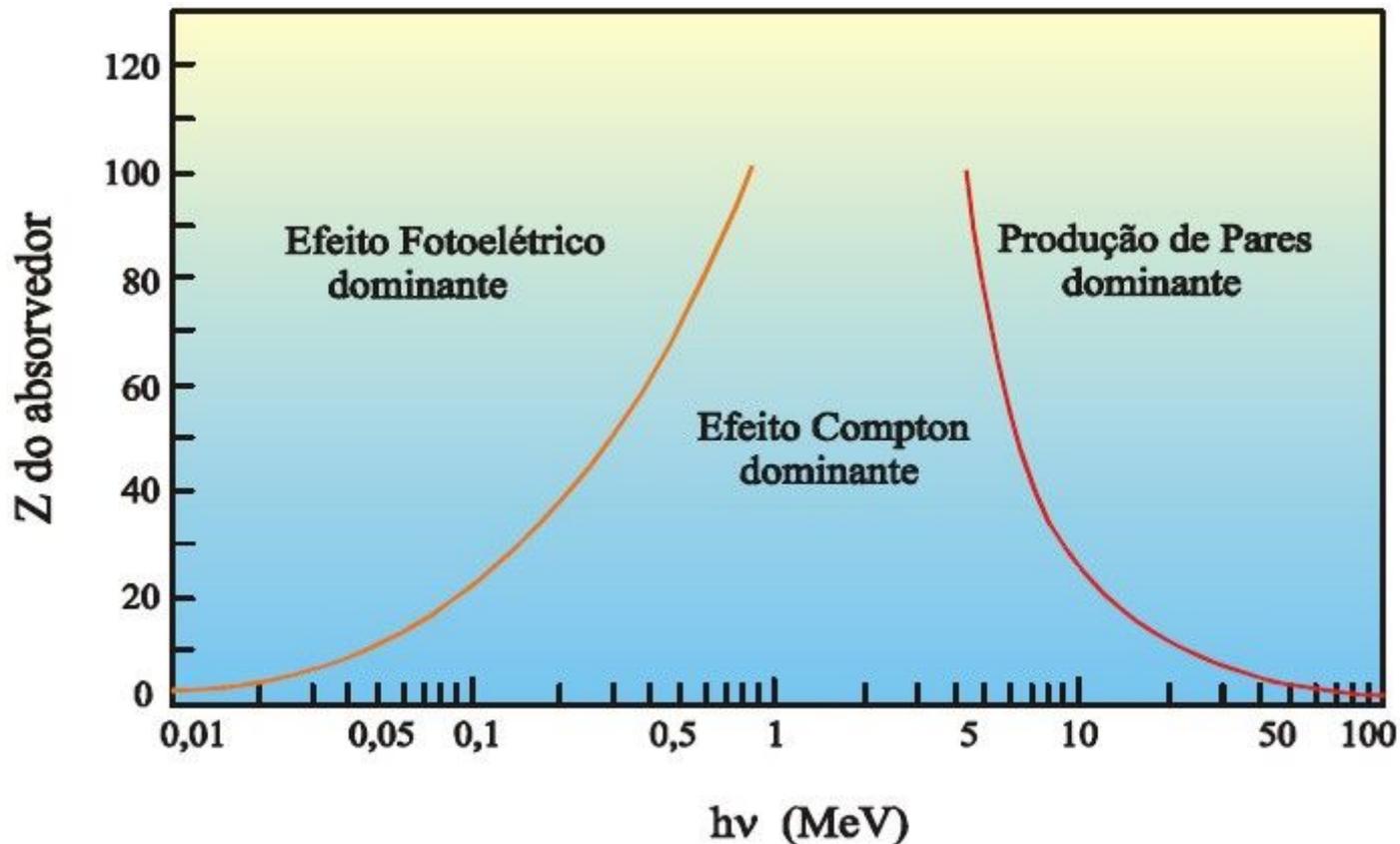
Grupos	CSR (mmAl)	nº exames	mAs
01	1	80	60
02	1	80	85
03	1	120	60
04	1	120	85
05	3	80	60
06	3	80	85
07	3	120	60
08	3	120	85

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

- ① Interação de fótons com a matéria;
- ① Coeficiente de atenuação linear (μ);
- ① Camada semirredutora (CSR ou HVL);
- ① Camada decimo redutora (CDR ou TVL);
- ① Condição de boa geometria e cálculo.

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

- Interação de fótons com a matéria;



Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

● 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, mas nunca se anula completamente;
- A capacidade de absorção varia de material para material. Isso se explica através de coeficiente de absorção “ μ ”, que representa a probabilidade, por unidade de comprimento, de que o fóton seja removido do feixe pelo material (por absorção ou espalhamento).

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

Coeficiente de atenuação linear (μ);

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

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

● Camada semirredutora (CSR ou HVL);

- Um conceito importante no cálculo de blindagem é o de camada semirredutora, corresponde à espessura necessária para reduzir a intensidade do feixe de fótons à metade do valor inicial e que está relacionada com o coeficiente de atenuação linear μ pela equação

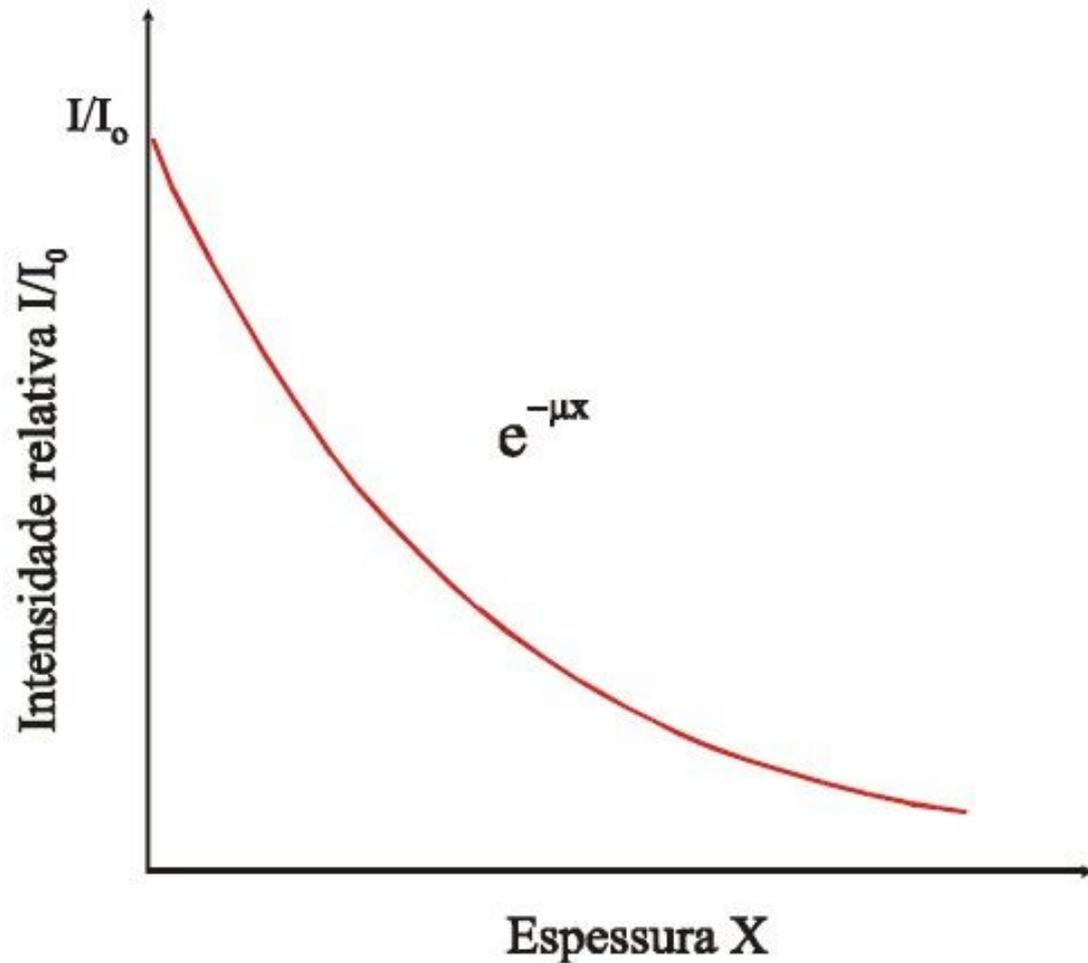
$$HVL = \frac{\ln 2}{\mu}$$

● Camada decimo redutora (CDR ou TVL);

- 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.

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

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



Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais : HVL e TVL

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

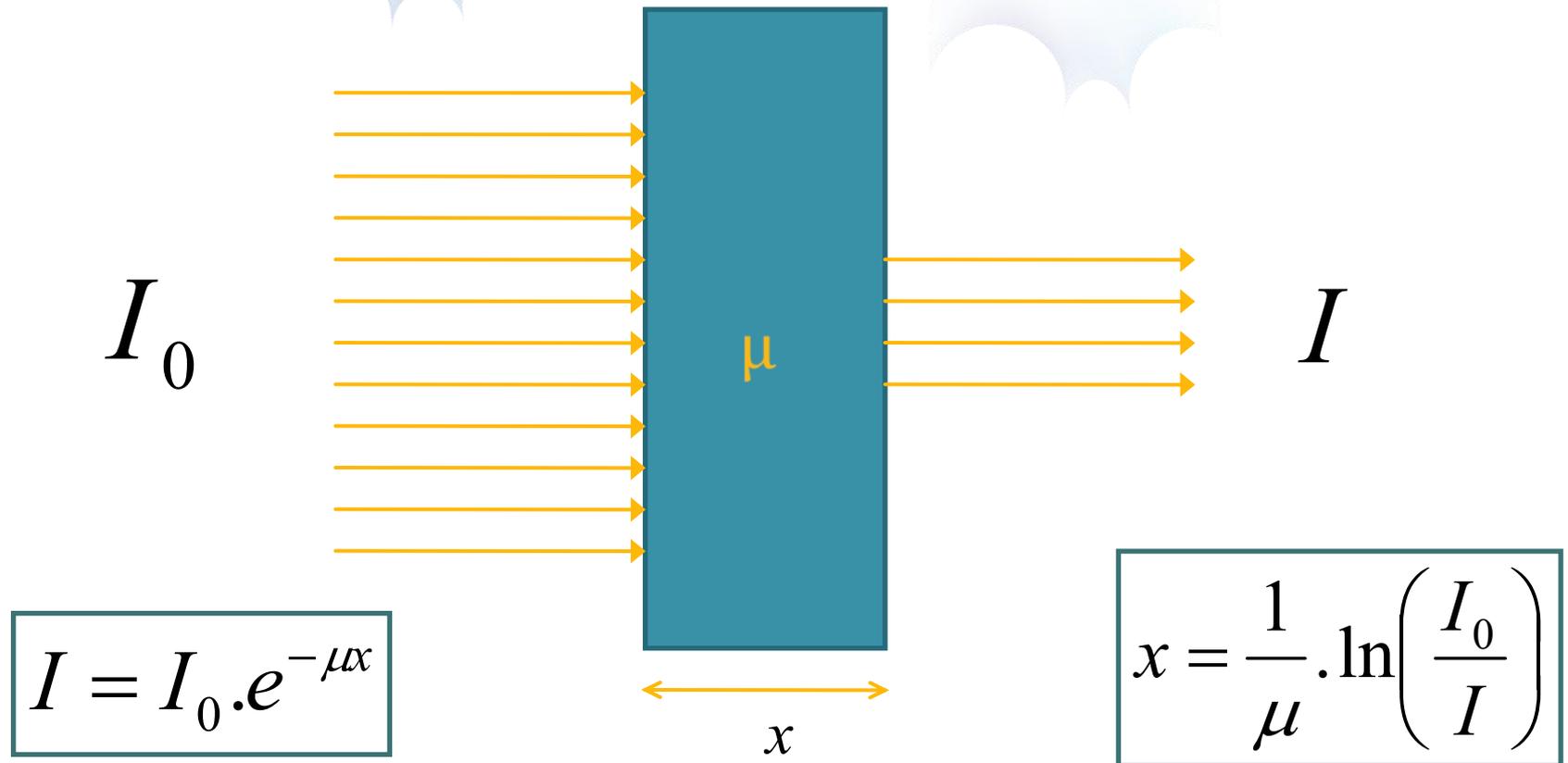
$$HVL = \frac{\ln(2)}{\mu}$$

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

◉ Condição de boa geometria e cálculo

- ❑ A fonte é suficientemente pequena (puntiforme), de modo que a fluência de fótons varie com o inverso do quadrado da distância;
- ❑ A atenuação na camada de ar intermediária entre a fonte e o ponto de medição é desprezível ou corrigida pelo fator de atenuação;
- ❑ Somente fótons provenientes da fonte contribuem para o ponto de medição, ou seja, que não haja espalhamento nos materiais circunvizinhos;
- ❑ Todo espalhamento Compton gerado na interação dos fótons na blindagem é absorvida na mesma, o mesmo ocorrendo com os fótons por aniquilação que possam ser gerados.

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais



Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

Exemplo

1. Determine a espessura da barreira de concreto, em boa geometria, que deverá ser colocada a 2,0 m de uma fonte de ^{192}Ir de 75,0 Ci de atividade para reduzir a taxa de exposição a 25 mR/h. Dados: considere $t = 1,0$ h.

- *Obs.: Os cálculos de barreiras e/ou blindagem visam dar proteção radiológica aos IOE e indivíduos do público. Ao contrário do radiodiagnóstico que o nível de restrição de dose estabelecido pela Portaria 453/98 tem que ser obedecido, nos cálculos envolvendo fontes gama ou equipamentos emissores de raios X com energias maiores que as utilizadas no radiodiagnóstico não há níveis de restrição. Assim sendo ao realizar os cálculos e proceder os arredondamentos necessários, busque ser conservativo em seus cálculos para que sob nenhuma condição, os limites de proteção radiológica estabelecidos em norma CNEN NN-3.01 sejam ultrapassados.*

Cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais - Boa geometria (exercícios)

1. Determine a espessura da barreira de concreto, em boa geometria, que deverá ser colocada a 2 m de uma fonte de ^{192}Ir de 75 Ci de atividade para reduzir a taxa de exposição a 25 mR/h. A área após a barreira poderá ser classificada como livre ou controlada?
2. Calcule a exposição acumulada num ponto a 20 cm de uma fonte pontual de ^{131}I de atividade 15 mCi, após 2 horas. Qual será o valor da exposição se a distância for aumentada para 50 cm? Qual o valor de dose absorvida?
3. Calcular a que distância de uma fonte de ^{192}Ir de 10 Ci, a taxa de dose é de 100 $\mu\text{Sv/h}$. Refaça o cálculo para uma fonte de ^{75}Se de mesma atividade.
4. Calcular a espessura necessária de uma parede de concreto para proteger operários em relação a uma taxa de dose superior a 25 $\mu\text{Sv/h}$ de uma fonte de cobalto-60 de 30 Ci, situada a 3,5 metros.
5. Calcule a espessura necessária de uma parede de concreto para proteger operários contra uma taxa de dose superior a 25 $\mu\text{Sv/h}$ de uma fonte de ^{137}Cs de 30 Ci, situada a 176 centímetros.

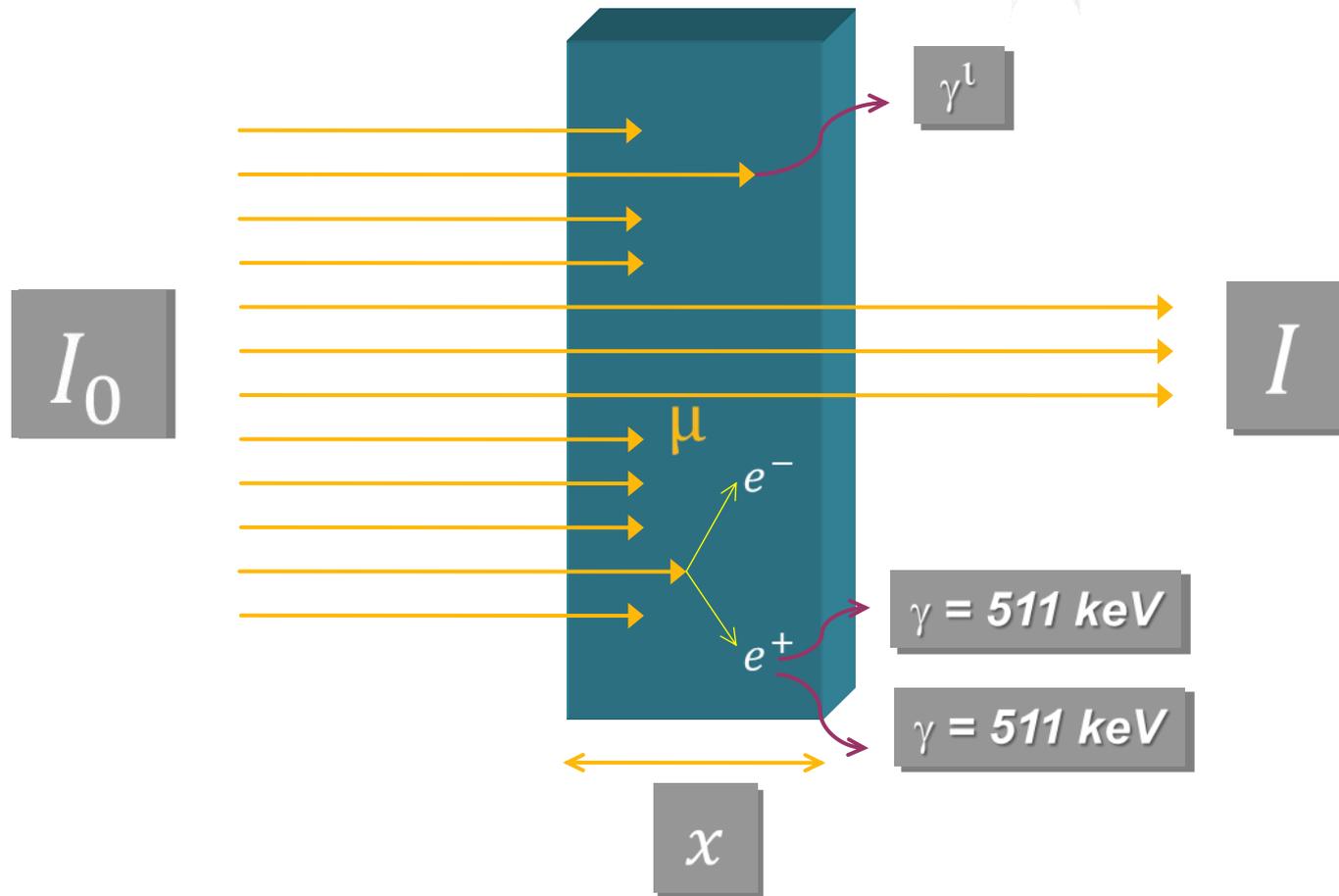
Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

Condição de má geometria e cálculo

- ❑ A partir da atenuação exponencial da radiação eletromagnética por um material, pode-se supor que os fótons espalhados pelas interações são completamente removidos do feixe transmitido, na direção de incidência.
- ❑ No entanto isso só ocorre no caso de feixe colimado e com espessura fina de material absorvedor, requisitos de uma boa geometria.
- ❑ Sem essa condição os fenômenos físicos da interação da radiação eletromagnética ionizante com a estrutura que compõe a blindagem, comprometerá a atenuação idealizada.
- ❑ Essa contribuição aditiva representa efetivamente um crescimento da intensidade do feixe em relação ao valor esperado.

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

- Condição de má geometria e cálculo



Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

Condição de má geometria e cálculo

- A diferença pode ser corrigida por um fator denominado fator de crescimento (fator de build up) que depende da energia da radiação, do material da barreira e da sua espessura.
- A lei de atenuação pode ser escrita como:
 - ❖ $I = I_0 \cdot e^{-\mu x} \cdot B$, onde $B \rightarrow \mu \cdot x$
 - ❖ Condição de boa geometria: $B = 1$

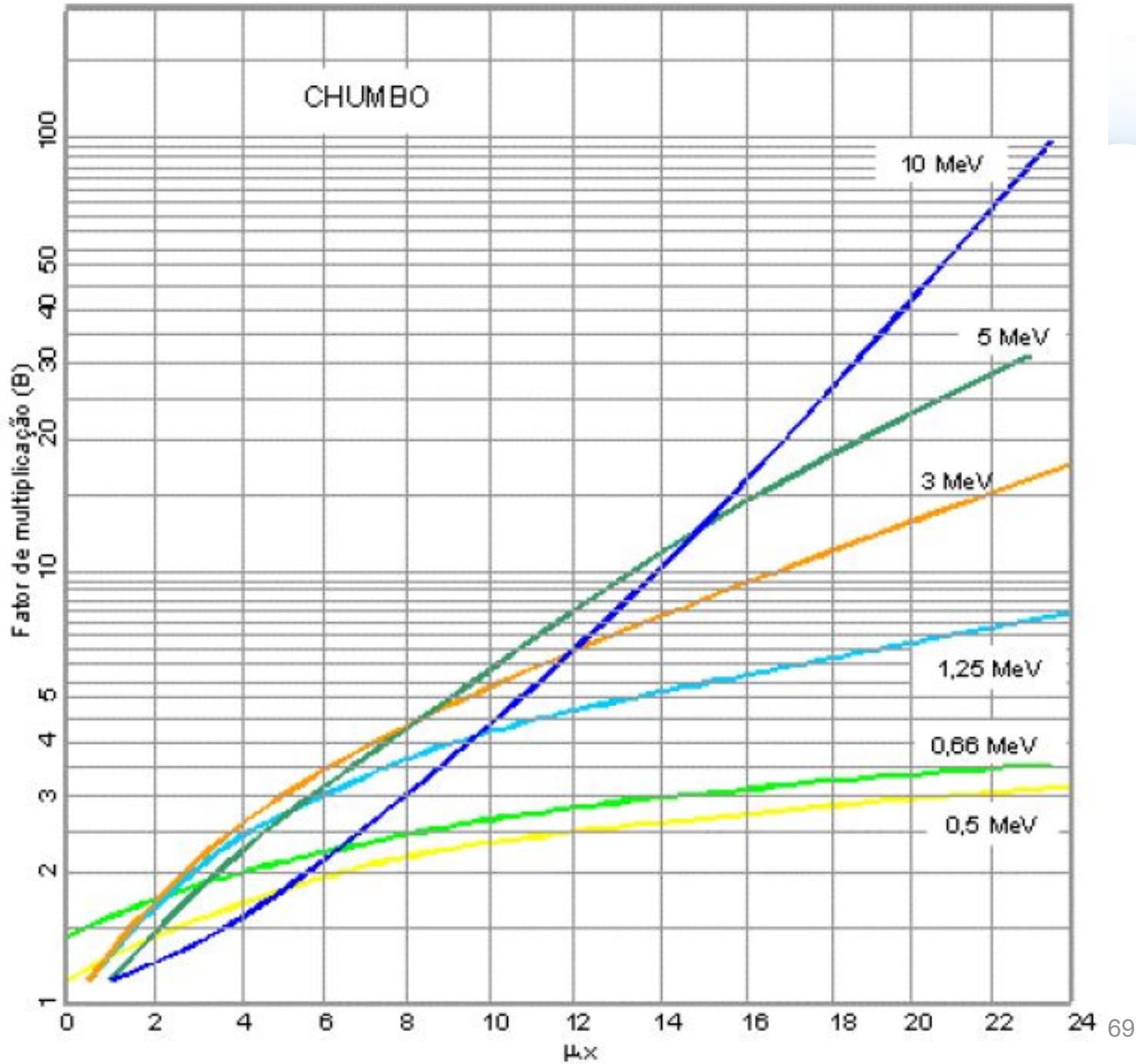
$$x = \frac{1}{\mu} \cdot \left[\text{Ln} \left(\frac{I_0}{I} \right) + \text{Ln} (B) \right]$$

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

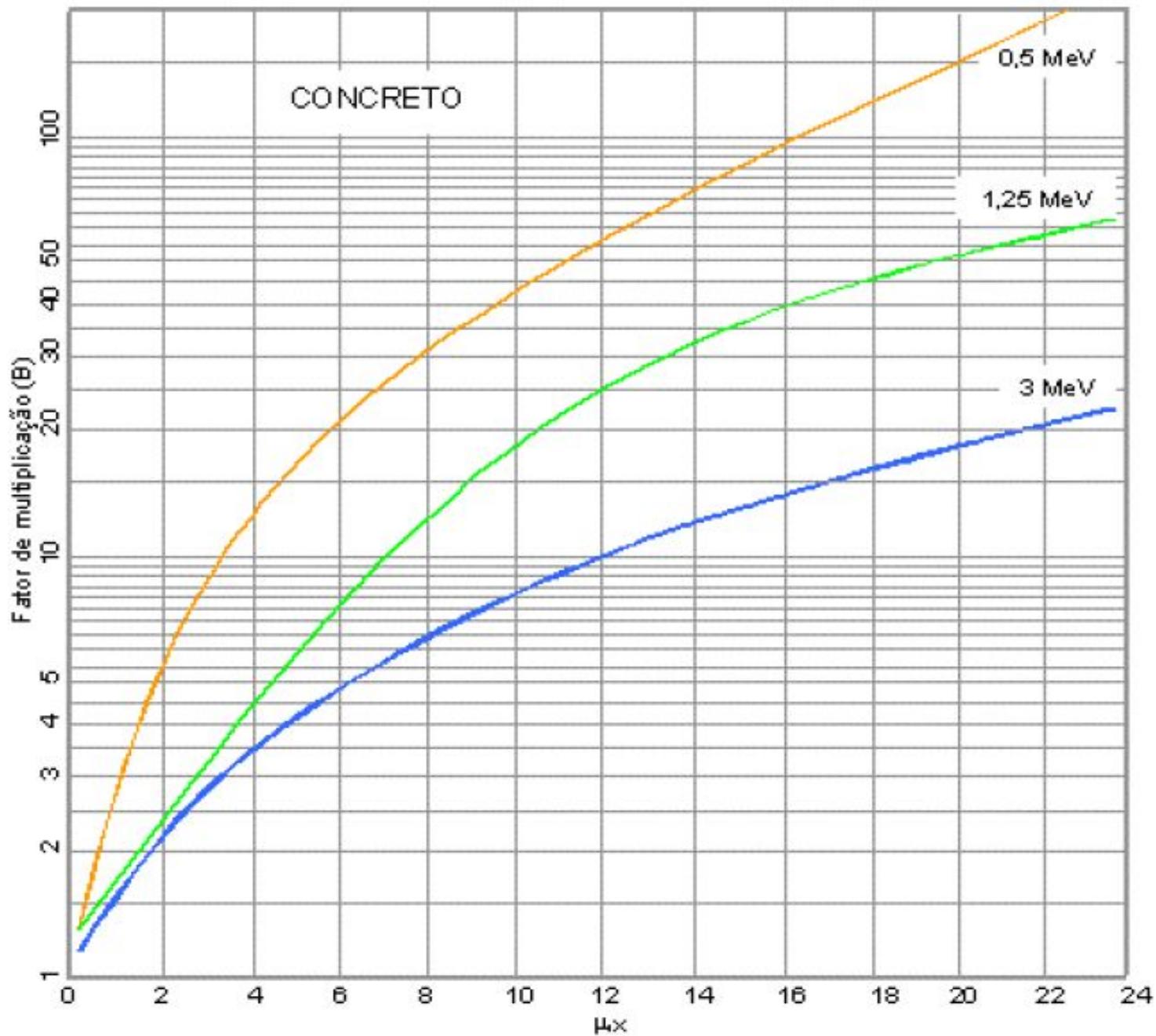
◉ Condição de má geometria e cálculo

- ❑ O fator de build up (B) depende de μ e da espessura x , podendo ser estimado, com boa aproximação por fórmulas semiempíricas ou gráficos que fornecem o valor de build-up em função de $\mu \cdot x$, para valores de energia média do feixe de radiação e da natureza do material absorvedor.
- ❑ No estudo desta condição de cálculo nesta disciplina serão usados gráficos para materiais absorvedores de chumbo, concreto e aço para a determinação do fator de Build up.

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons
em instalações radiológicas industriais
Condição de má geometria

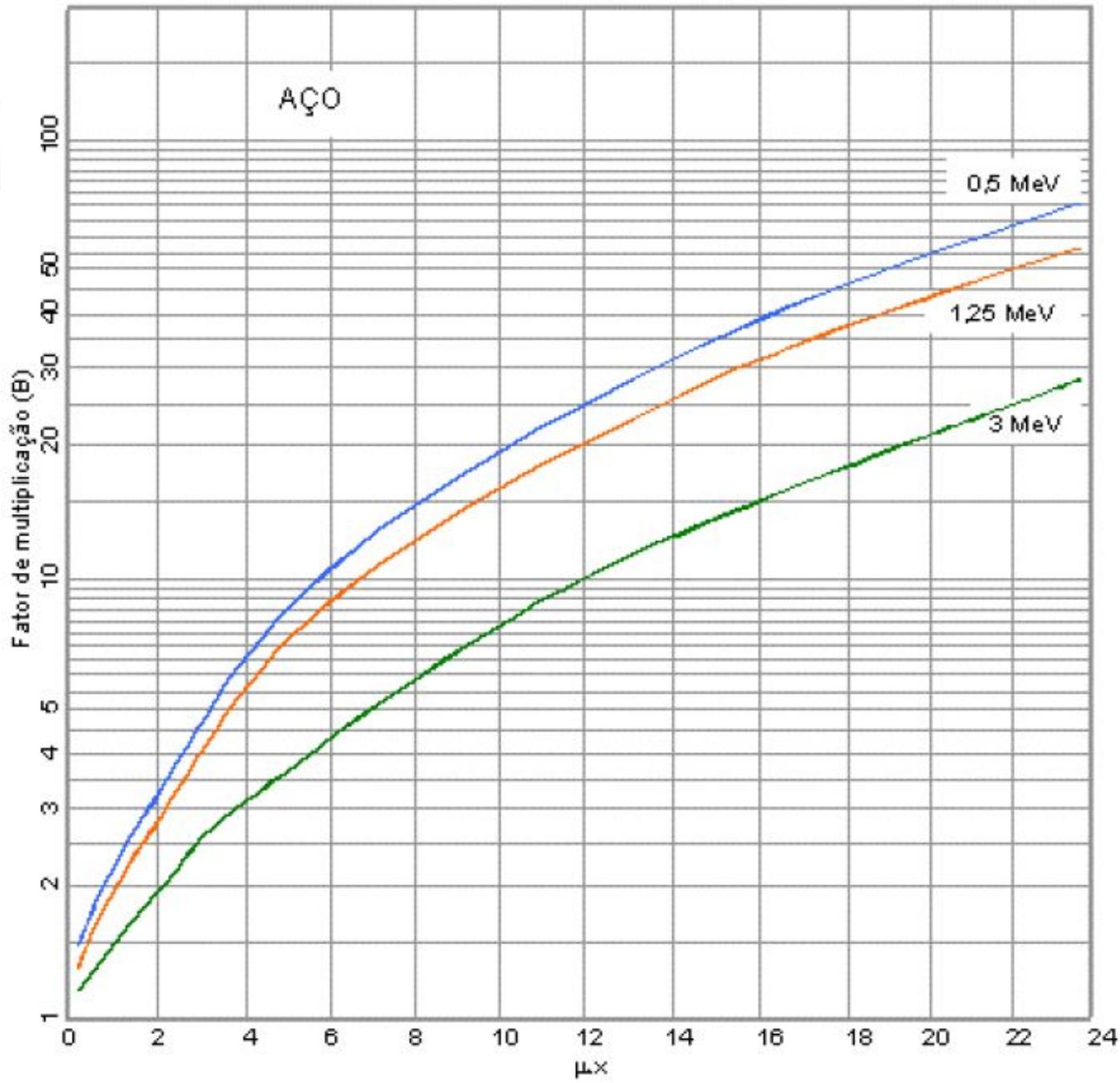


Metodologia para cálculo de blindagens para fótons
em instalações radiológicas industriais
Condição de má geometria



Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

Condição de má geometria



Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

Exemplo

1. Determine a espessura das paredes de concreto de um bunker (casamata) para serviço de gamagrafia com uma fonte puntiforme de ^{60}Co de 30 Ci de atividade. Sabe-se que a distância mínima entre a fonte e a parede mais próxima não será menor que 3,0 m e que a taxa de exposição externamente ao bunker não poderá exceder a 2,5 mR/h. Considere $B=1$ e $t = 1,0$ h.

- *Obs.: Os cálculos de barreiras e/ou blindagem visam dar proteção radiológica aos IOE e indivíduos do público. Ao contrário do radiodiagnóstico que o nível de restrição de dose estabelecido pela Portaria 453/98 tem que ser obedecido, nos cálculos envolvendo fontes gama ou equipamentos emissores de raios X com energias maiores que as utilizadas no radiodiagnóstico não há níveis de restrição. Assim sendo ao realizar os cálculos e proceder os arredondamentos necessários, busque ser conservativo em seus cálculos para que sob nenhuma condição, os limites de proteção radiológica estabelecidos em norma CNEN NN-3.01 sejam ultrapassados.*

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

Resolução

$$I_0 = \tau \cdot \frac{A \cdot t}{d^2} \rightarrow I_0 = 1,32 \cdot \frac{30 \cdot 1,0}{3,0^2} \rightarrow \boxed{I_0 = 4,4 \text{ R/h}}$$

$$x = \frac{1}{\mu} \cdot \left[\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) + \ln(B) \right] \rightarrow x = \frac{1}{\mu} \cdot \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) + \frac{1}{\mu} \cdot \ln(B)$$

$$\boxed{B = 1}$$

$$\boxed{B \neq 1}$$

Para análise do gráfico e fator de build up,
necessário valor da espessura em boa geometria

$$\longrightarrow \mu \cdot x$$

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

Resolução

$$x = \frac{1}{\mu} \cdot \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \rightarrow x = \frac{1}{0,133} \cdot \ln\left(\frac{4,4}{2,5 \cdot 10^{-3}}\right) \rightarrow x = 56 \text{ cm}$$

para análise do gráfico $\rightarrow \mu \cdot x = 0,133 \cdot 56 = 7,448 \simeq 8$

do slide 70, B = 15

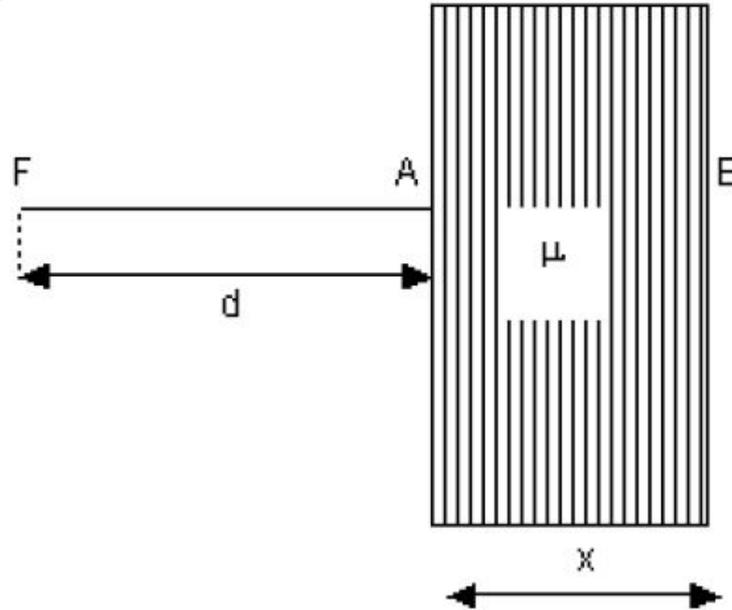
$$x = 56 + \left(\frac{1}{0,133} \cdot \ln(15)\right) \rightarrow x = 76,36 \text{ cm} \rightarrow x = 77 \text{ cm}^*$$

** sendo conservativo para respeitar princípios de proteção radiológica*

Cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais - Má geometria (exercícios)

1. Determine a espessura da barreira de concreto, em boa geometria, que deverá ser colocada a 2 m de uma fonte de ^{192}Ir de 75 Ci de atividade para reduzir a taxa de exposição a 25 mR/h. A área após a barreira poderá ser classificada como livre ou controlada?
2. Calcular a espessura necessária de uma parede de concreto para proteger operários em relação a uma taxa de dose superior a $25\mu\text{Sv/h}$ de uma fonte de cobalto-60 de 30 Ci, situada a 3,5 metros.
3. Calcular a espessura necessária de uma parede de concreto para proteger operários contra uma taxa de dose superior a $25\mu\text{Sv/h}$ de uma fonte de ^{137}Cs de 30 Ci, situada a 176 centímetros. Obs: para o valor de μ use o slide 60.

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais



● Avaliando barreiras

- Quando a espessura $x = AB$ da barreira não é desprezível em relação à distância $d = FA$ entre a fonte pontual F e um ponto A , deve-se acrescentar uma correção a expressão de redução da intensidade do feixe.

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

- Pela lei do inverso do quadrado da distância, pode-se estabelecer que:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{d^2}{(d+x)^2} \Rightarrow I = I_0 \cdot \frac{d^2}{(d+x)^2}$$

- Considerando x como sendo a espessura de um material absorvedor ou atenuador de coeficiente μ , então a expressão anterior é acrescida do termo $e^{-\mu \cdot x}$:

$$I = I_0 \cdot \frac{d^2}{(d+x)^2} \cdot e^{-\mu \cdot x} \cdot B \quad \longrightarrow \quad \frac{I \cdot e^{\mu \cdot x}}{I_0 \cdot B} = \frac{d^2}{(d+x)^2}$$

obs.: valor de μ no ar para energia de 35 keV $\approx 0,000022 \text{ cm}^{-1}$

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

Exemplo

1. Determine a espessura das paredes de concreto de um bunker (casamata) para serviço de gamagrafia com uma fonte puntiforme de ^{60}Co de 30 Ci de atividade. Sabe-se que a distância mínima entre a fonte e a parede mais próxima não será menor que 3,0 m e que a taxa de exposição externamente ao bunker não poderá exceder a 2,5 mR/h. Considere $B=1$ e $t = 1,0$ h.

- ❑ *O exercício acima foi apresentado e resolvido nos slides 72,73 e 74. o Resultado obtido foi uma espessura de 77 cm, porém não foi levado em consideração a avaliação do crescimento da distância em função da espessura da barreira. No slide a seguir será feita esta análise.*

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

Exemplo

1. *Correção do valor da barreira em função da espessura da mesma.*

x (cm)	$\mu \cdot x$	B	$(I \cdot e^{\mu \cdot x}) / (I_0 \cdot B)$	$[d / (d + x)]^2$
74	9,8	20	0,53	0,64
75	9,9	20	0,61	0,64
76	10	20	0,70	0,64
77	10	20	0,80	0,63

Valor corrigido → $x = 76 \text{ cm}$

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

Atividade campo AV2

1. Determine a espessura das duas paredes de concreto de um bunker (casamata) para serviço de gamagrafia, que serão expostas ao feixe primário de uma fonte* com atividade 3,7 TBq de atividade. Sabe-se que as distâncias entre a fonte e as paredes de interesse são de 2,6 m e 3,8 m. Sabe-se também que a taxa de exposição externamente ao bunker não poderá exceder a 2,5 mR/h. Considere: $B \neq 1$ e $t = 1,0$ h. obs. faça a análise de correção do valor da barreira em função de sua espessura.

Grupo	Fonte	Grupo	fonte
1	^{192}Ir	5	^{60}Co
2	^{137}Cs	6	^{124}Sb
3	^{24}Na	7	^{54}Mn
4	^{75}Se	8	^{226}Ra

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

Grupo	Fonte	Energia * (keV)	μ (cm ⁻¹)**	Gráfico *** (slide 70)
1	¹⁹² Ir	600	0,189	1,25 MeV
2	¹³⁷ Cs	662	0,182	1,25 MeV
3	²⁴ Na	2061	0,0941	3 MeV
4	⁷⁵ Se	273	0,26	0,5 MeV
5	⁶⁰ Co	1250	0,133	1,25 MeV
6	¹²⁴ Sb	1147	0,141	1,25 MeV
7	⁵⁴ Mn	835	0,163	1,25 MeV
8	²²⁶ Ra	186	0.30	0,5 MeV

* quando o radionuclídeo apresentar mais de uma emissão gama, o valor médio das maiores emissões será considerado;

** valores obtidos por interpolação linear a partir dos valores que constam na tabela do slide 57;

*** Para obtenção do fator de build up (B).

Metodologia para cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais

☉ Atividade campo AV2

❖ Estrutura da atividade campo.

- ☐ Capa
- ☐ Sumário
- ☐ Introdução
- ☐ Desenvolvimento
- ☐ Resultados
- ☐ Conclusão
- ☐ Referências (*se for necessário*)

Cálculo de blindagens para fótons em instalações radiológicas industriais - Má geometria (exercícios)

1. Faça do que 1,0 mR/h. Considere $B \neq 1$ e faça a análise de correção do valor da barreira em função de sua espessura.
2. Uma fonte de ^{192}Ir emite a 0,2 m uma taxa de 0,90 R/h. Qual distância deve ser calculada para o balizamento da área para que os IOE não recebam mais do que 1,0 mR/h. Calcule a atividade da fonte em Ci e Bq. Considere o tempo com 2 algarismos significativos.
3. Com a fonte do exercício anterior, calcule a blindagem de concreto necessária para que a partir da distância de 0,2 m os IOE não recebam mais do que 1,0 mR/h. Considere $B \neq 1$ e faça a análise de correção do valor da barreira em função de sua espessura.
4. Uma pessoa do público poderá transitar logo após a barreira do exercício 3? Justifique.

Referências bibliográficas

- Oliveira, L.S.R. Avaliação da Resposta de Detectores Cintiladores de NaI(Tl) em Medições de Kerma no Ar em Feixes de Raios X Diagnóstico - Dissertação de mestrado - IRD/CNEN [Rio de Janeiro] 2011
- BRASIL, 2005, Radiodiagnóstico Médico: Desempenho de Equipamentos e Segurança/Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. - Brasília: Ministério da Saúde.
- NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS. Structural Shielding Design and Evaluation for Medical Use of X rays and Gamma Rays of Energies up to 10 MeV. NCRP Publications, Bethesda, MD, 1976 (NCRP Report 49).
- Andreucci, R. Radiologia Industrial, ABENDI - Janeiro, 2009
- Tauhata, L., Salati, I.P.A., Prinzi, R.Di., Prinzi, M.A.R.R.Di. Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos - 5a revisão agosto/2003 - Rio de Janeiro - IRD/CNEN 242p.

Blindagem em Radiologia



Prof. Luciano Santa Rita - MSc

www.lucianosantarita.pro.br

tecnologo@lucianosantarita.pro.br