

1. O texto a seguir é uma tradução livre do artigo “Everyday risks” (Phys. Educ. **28** p.22-25 (1993)) de George Marx, um cientista húngaro. Trata-se do primeiro de três artigos de divulgação científica, para introduzir a leigos os riscos do uso da radiação:

*“...Para simplificar a discussão, vamos introduzir o conceito de **micro-risco** (**μrisco**) como 1/milhão, ou seja, um risco de morte para uma em um milhão de pessoas expostas a esse agente. De acordo com estimativas internacionais, corre-se um μrisco ao:*

- | | |
|---------------------------------|---|
| • viajar 2500 km de trem, | • fumar 1,5 cigarros, |
| • voar 2000 km de avião, | • morar por dois meses com um fumante, |
| • viajar 80 km de ônibus, | • beber meio litro de vinho, |
| • dirigir um carro por 65 km, | • respirar o ar poluído de uma cidade como Budapeste por três dias. |
| • andar de bicicleta por 12 km, | |
| • andar de moto por 3 km, | |

*Olhando para esses números, pode-se concluir que as pessoas consideram aceitáveis **alguns micro-riscos**: 1 μrisco é como fumar um cigarro, dirigir um carro até uma cidade próxima ou ir de moto pegar um amigo. De fato, em termos legais, o Congresso dos EUA considera 1 μrisco como desprezível.*

De acordo com a prática legal da Califórnia, uma atividade que exponha alguém a risco superior a 10 μrisco não deve ser causada sem prévio aviso. É por isso que alertas devem ser impressos em cada maço de cigarros...”

Inspirada(o) nesse texto e levando em conta o detrimento devido à indução de câncer e de efeitos hereditários nos seres humanos pela radiação (risco de $5,5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ – ou 55 μrisco/mSv – para a população em geral) estimados pelo ICRP 103:

- discuta a necessidade do estabelecimento de princípios básicos de radioproteção por autoridades regulatórias. Avalie essa necessidade levando em conta os efeitos biológicos da radiação e as diversas atividades que empregam a radiação ionizante, principalmente a da saúde e da segurança.
- Quanto aos efeitos biológicos, sabe-se que, além do risco de câncer, há os efeitos chamados reações nos tecidos (anteriormente, efeitos determinísticos) causadas pela radiação. Como e por que eles deveriam ou não ser considerados na legislação de proteção radiológica?

2. Um técnico de empresa de ensaios não destrutivos recebeu uma irradiação acidental quando trabalhava com uma fonte de nêutrons (fonte isotópica tipo alfa-nêutron). Para avaliar as consequências do acidente, tentou-se, retrospectivamente, obter as doses absorvidas. Pode-se supor que nêutrons e raios gama contribuíram para a irradiação, da seguinte forma:

- nêutrons de 1,0 MeV de energia: no **corpo inteiro**, de maneira uniforme, com dose absorvida estimada em 0,20 mGy, e **nas mãos** com dose absorvida de 0,80 mGy;
 - raios gama de 60 keV emitidos pela fonte: **nas mãos**, por 5 min, a 20 cm de distância da fonte; **nas gônadas**, por 20 min, a 1 m da fonte. (Estima-se que, a 1 m de distância da fonte, a taxa de dose absorvida devida a esses raios gama, seja de 25 µGy/h, e que a fonte pode ser considerada pontual).
 - fótons de 2,0 MeV (produzidos na blindagem para nêutrons): 0,30 mGy **no corpo todo**.
- a. Estime a dose absorvida nas mãos, nas gônadas e no corpo todo do técnico, levando em conta todas as radiações listadas.
 - b. Calcule as doses equivalentes em mãos e gônadas.
 - c. Estime a dose efetiva recebida pelo técnico.
 - d. Comente o acidente sob o ponto de vista de potenciais efeitos à saúde desse técnico, conhecidos os efeitos biológicos das radiações ionizantes.

3. Em consequência do acidente nuclear em Fukushima, em 11/3/2011, houve necessidade de regular a ocupação de espaços que foram contaminados. Em particular, foi feito um estudo para a volta às aulas na região da Prefeitura de Fukushima, o que ocorreu em 14 de abril de 2011. Para esse estudo foram feitas medições da contaminação radioativa de particulados no ar (poeira) e superfície de solo, e medidas de taxa de dose ao ar livre (nos pátios) e dentro das escolas.

Os principais contaminantes identificados estão na tabela 1. A partir da presença relativa desses contaminantes, obteve-se uma “meia vida física efetiva” para a atividade de solo e ar de 2 anos – ou seja, o decréscimo da atividade do conjunto de contaminantes decai como se fosse uma fonte radioativa simples, com meia vida de 2 anos.

Além disso, o governo japonês adotou um valor limite de dose efetiva emergencial para a população da cidade (não trabalhadores, incluídos crianças e adolescentes) de 20 mSv nos 12 meses de 15 de abril de 2011 a 14 de abril de 2012. Para cada escola fez-se a estimativa de dose efetiva que seria recebida pelos estudantes durante esses doze meses, e, se a previsão estivesse acima do valor emergencial, ou uma camada de concreto ou uma camada de solo limpo seria usada para recobrir o solo contaminado, com espessura tal que a taxa de dose resultante fosse inferior à necessária para atingir os 20 mSv ao ano.

Tabela 1. Hipóteses empregadas para o cálculo de dose efetiva.

Origens da contaminação	Contaminantes do solo no pátio das escolas (região de recreação) e nos telhados por: ¹³¹ I (meia vida de 8 d, emissor beta e gama de ~350 keV) ¹³⁴ Cs (meia vida de 2 a, emissor beta e gama de ~750 keV) ¹³⁷ Cs (meia vida de 30 a, emissor beta e gama de ~660 keV).
Tipo de radiação causadora da dose	Fótons
Meia vida física efetiva dos contaminantes	2 anos
Fatores de atenuação devido ao edifício da escola: razão entre taxa de dose dentro e fora do edifício	Madeira: 0,4 Concreto: 0,1
Atenuação da taxa de dose do pátio com a espessura de material atenuador	Solo e concreto conforme a figura anexa.
Distribuição de dose no corpo	Homogênea em todo o corpo
Taxa de dose equivalente em cada órgão do corpo	Numericamente igual à taxa de dose absorvida no ar a 0,50 m do solo ou do chão.

A partir desses dados e hipóteses:

- Obtenha a contribuição da frequência à escola para a dose efetiva nesses 12 meses que receberia um estudante típico que frequente uma escola com paredes de madeira na qual a taxa de dose absorvida no ar, a 0,50 m do solo, no pátio, valia 200,0 $\mu\text{Sv/h}$ em 14 de abril de 2011. Para fazer esse cálculo, faça hipóteses sobre a parcela de tempo que o estudante passa dentro e fora do edifício da escola; e o tempo ao ano em que ele frequenta a escola – e justifique suas escolhas. Lembre-se que as escolas no Japão são de período integral.
- Caso esse valor exceda a dose emergencial 20 mSv ao ano, obtenha, a partir do gráfico (Figura 1), qual seria a espessura necessária de solo e de concreto para viabilizar essa dose efetiva.
- Crianças e adolescentes que frequentam essas escolas correm riscos adicionais devido à exposição à radiação. Baseando-se no que sabe sobre os efeitos biológicos da radiação, apresente quais seriam esses riscos.
- Comente cada uma das hipóteses descritas na tabela 1.
- A proteção radiológica é baseada em três princípios: justificação da prática, limitação da dose e otimização dos procedimentos. Como você aplicaria esses três princípios a essa situação? Na sua visão, o governo, ao aumentar de 1,0 para 20 mSv o limite de dose efetiva dessa população, agiu de acordo com os princípios?

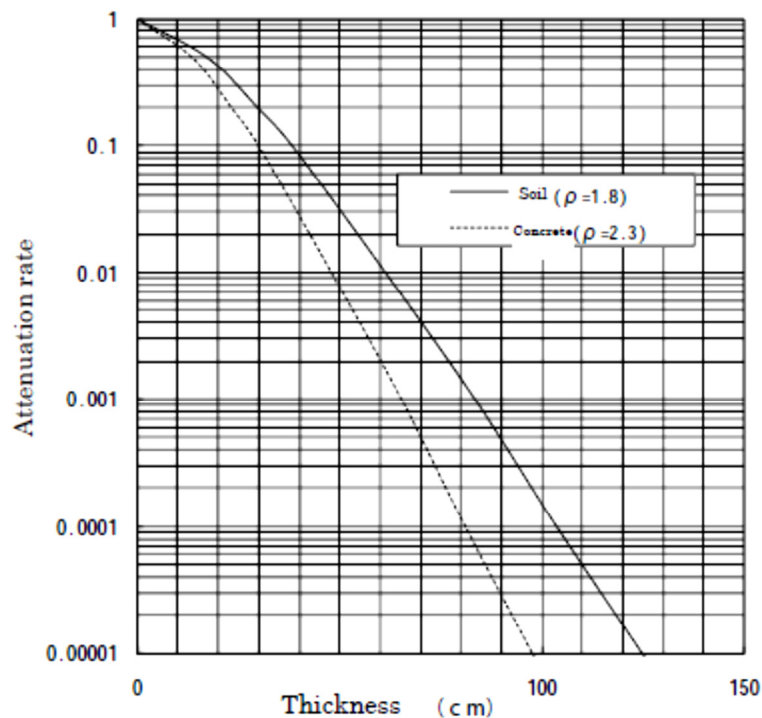


Figura 1. Fatores de atenuação para a taxa de kerma no ar no pátio das escolas da Prefeitura de Fukushima.

Extratos da NN3.01 DIRETRIZES BÁSICAS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

(Resolução CNEN/ CD 27 de 17/12/2004

Publicação D.O.U de 06/01/2005

Resolução CNEN/ CD 27 de 17/12/2004

Republicação D.O.U de 26/01/2005

Resolução CNEN/ CD 48 de 09/09/2005

Publicação D.O.U de 14/11/2005 (Alterações)

Portaria CNEN/ PR 007 de 17/01/2006 (Alterações)

Publicação D.O.U de 18/01/2006)

5.4 REQUISITOS BÁSICOS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

5.4.1 Justificação

5.4.1.1 Nenhuma *prática* ou *fonte* associada a essa *prática* será aceita pela *CNEN*, a não ser que a *prática* produza benefícios, para os indivíduos expostos ou para a sociedade, suficientes para compensar o *detrimento* correspondente, tendo-se em conta fatores sociais e econômicos, assim como outros fatores pertinentes.

5.4.1.2 As *exposições médicas* de pacientes devem ser justificadas, ponderando-se os benefícios diagnósticos ou terapêuticos que elas venham a produzir em relação ao *detrimento* correspondente, levando-se em conta os riscos e benefícios de técnicas alternativas disponíveis, que não envolvam *exposição*.

....

5.4.2 Limitação de *dose* individual

5.4.2.1 A *exposição normal* dos indivíduos deve ser restringida de tal modo que nem a *dose efetiva* nem a *dose equivalente* nos órgãos ou tecidos de interesse, causadas pela possível combinação de *exposições* originadas por *práticas* autorizadas, excedam o limite de *dose* especificado na tabela a seguir, salvo em circunstâncias especiais, autorizadas pela *CNEN*. Esses limites de *dose* não se aplicam às *exposições médicas*.

Limites de Dose 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.

Os valores de *dose efetiva* se aplicam à soma das doses efetivas, causadas por exposições externas, com as doses efetivas comprometidas (integradas em 50 anos para adultos e até a idade de 70 anos para crianças), causadas por incorporações ocorridas no mesmo ano.

.....

5.4.3 Otimização

5.4.3.1 Em relação às exposições causadas por uma determinada fonte associada a uma prática, salvo no caso das exposições médicas, a proteção radiológica deve ser otimizada de forma que a magnitude das doses individuais, o número de pessoas expostas e a probabilidade de ocorrência de exposições mantenham-se tão baixas quanto possa ser razoavelmente exequível, tendo em conta os fatores econômicos e sociais. Nesse processo de otimização, deve ser observado que as doses nos indivíduos decorrentes de exposição à fonte devem estar sujeitas às restrições de dose relacionadas a essa fonte.

5.4.3.2 Nas avaliações quantitativas de otimização, o valor do coeficiente monetário por unidade de dose coletiva não deve ser inferior, em moeda nacional corrente, ao valor equivalente a US\$ 10000/pessoa.sievert.