

## - "PROTEÇÃO RADIOLÓGICA OCUPACIONAL EM RADIOLOGIA DIAGNÓSTICA"

Helvécio Correa Mota

Instituto de Radioproteção e Dosimetria/CNEN

Av. das Américas, Km. 11,5 - Barra da Tijuca - Rio de Janeiro/RJ

### 1. LIMITAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

#### 1.1. Princípio ALARA

O princípio básico que deve governar a proteção radiológica ocupacional em radiologia diagnóstica, assim como em todos os campos de aplicação das radiações ionizantes, é o de que as exposições devem ser mantidas tão baixas quanto razoavelmente exequível (ALARA: As Low as Reasonably Achievable).

Isto é particularmente importante hoje quando todos os organismos internacionais ligados à proteção radiológica, após exaustivos estudos epidemiológicos e radiobiológicos em baixas doses, admitem que não existe um limiar real de dose para os efeitos estocásticos. Consequentemente, qualquer exposição de um tecido envolve um risco carcinogênico, dependendo da radiosensibilidade carcinogênica desse tecido por unidade de dose equivalente (coeficiente de risco somático). Além disso, qualquer exposição das gônadas pode levar a um detrimento genético nos descendentes do indivíduo exposto.

O princípio ALARA estabelece a necessidade do aumento do nível de proteção para um ponto tal que aperfeiçoamentos posteriores produziram reduções menos significantes que os esforços necessários. Portanto, a aplicação desse princípio requer a otimização da proteção radiológica em todas as situações onde as exposições possam ser controladas por medidas de proteção, particularmente na seleção e planejamento de equipamentos, operações e sistemas de proteção.

Os esforços envolvidos na proteção e o detrimento da radiação podem ser considerados em termos de custo; desta forma uma otimização em termos quantitativos pode ser realizada com base em uma análise custo-benefício.

#### 1.2. Limite de dose equivalente

A Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), considerando que na prática os riscos e benefícios não estão igualmente distribuídos, recomenda o estabelecimento de limites de dose equivalente para assegurar que aquelas práticas otimizadas não resultem em riscos inaceitáveis para alguns indivíduos, pelos benefícios recebidos por outros (1). Esses limites de dose equivalente devem ser considerados como condições de contorno e não como níveis permissíveis na ausência de otimização e outros procedimentos, tais como o estabelecimento de limites autorizados.

Para trabalhadores ocupacionalmente expostos a ICRP recomenda os seguintes limites básicos (ou primários):

**LIMITES ANUAIS DE DOSE PARA TRABALHADORES (exposição ocupacional)**

1) Limite estocástico (Dose equivalente efetiva)

$$50\text{mSv} = 5\text{rem}$$

2) Limite não estocástico (Dose equivalente média no tecido)

- lente dos olhos  $150\text{mSv} = 15\text{rem}$  (2)

- outros órgãos  $500\text{mSv} = 50\text{rem}$

(incluindo pele e extremidades)

Desde que esses limites formam apenas parte do sistema de limitação de dose, eles não podem mais ser usados como base primária para planejamento e projetos. A ICRP recomenda que as autoridades nacionais competentes estabeleçam limites operacionais baseados na otimização, aplicáveis em condições bem determinadas.

A ICRP assume que um método válido para julgar a aceitabilidade de um nível de risco para trabalhadores ocupacionalmente expostos, é o estabelecimento de uma comparação entre esse risco e o risco de mortalidade em outras ocupações, reconhecidas como tendo alto padrão de segurança, (em torno de  $10^{-4}$  por ano). Essa comparação deve ser feita em termos de risco médio para todos os trabalhadores em uma dada ocupação.

A experiência tem mostrado que o valor médio da distribuição anual das doses ocupacionais, não excede 1/10 do limite de dose equivalente efetiva (3). Aplicando o fator de mortalidade devida a exposição a radiação ( $1,25 \times 10^{-2} \text{Sv}^{-1}$ ) (1), o risco ocupacional médio para trabalhadores ocupacionalmente expostos é então

$$R_{\text{ocup}} = 0,005 \times 1,25 \times 10^{-2} = 6,3 \times 10^{-5} \text{ por ano.}$$

portanto, menor que o risco ocupacional observado em ocupações consideradas seguras.

Deve ser enfatizado, contudo, que a exposição de um grupo de trabalhadores, continuada a longo prazo em um nível próximo do limite, será aceitável apenas quando uma cuidadosa análise custo-benefício mostrar que o risco resultante é justificado. Deve-se também reconhecer que o risco de um trabalhador não é determinado pela sua exposição ocupacional em um único ano, mas pelas doses acumuladas que ele recebe durante toda sua vida ocupacional.

### 1.3. Justificação

O princípio de justificação da ICRP estabelece que nenhuma prática deve ser adotada a menos que sua introdução produza um benefício líquido positivo.

Em práticas de radiologia diagnóstica, este princípio está mais intimamente relacionado com risco e benefício para o paciente. Deve-se notar entretanto, que existe um paralelismo entre proteção do paciente e proteção ocupacional: a maioria dos métodos de proteção do paciente leva a uma proteção do "staff" e vice versa.

A justificação de que um dado procedimento radiológico pode trazer um benefício líquido para o paciente, está geralmente implícita no julgamento (indicação) do clínico e/ou do radiologista.

Os exames radiológicos deveriam ser realizados somente quando a informação obtida possa ser útil para o paciente ou para implementar o nível de saúde da população (4). Deve ser lembrado que tanto os achados negativos quanto os positivos podem ser benéficos para o paciente.

## 2 PLANEJAMENTO DA PROTEÇÃO

### 2.1. Aspectos gerais

De modo geral, proteção pode ser obtida pela distância, blindagem e redução do tempo de exposição. O posicionamento próprio da instalação e a limitação das possíveis direções do feixe útil, são exemplos de meios pelos quais o custo de uma blindagem pode ser reduzido.

A otimização deve ser realizada no planejamento de novas instalações tanto em relação às barreiras protetoras quanto às medidas protetoras existentes no próprio equipamento ("proteção técnica").

A otimização caso a caso de equipamentos largamente utilizados, não é apropriada porque anularia as vantagens da padronização e poderia causar uma perda social líquida. Contudo, ela deve tomar parte no estabelecimento de tais padrões e nas especificações de suas aplicações subsequentes.

Programas de garantia de qualidade (GQ) são em parte meios pelos quais um nível de proteção radiológica pode ser mantido ou até melhorado. Análise das razões para a rejeição de filmes pode mostrar falhas tanto da técnica radiográfica quanto do equipamento. Deficiências no equipamento requerem os serviços de técnicos especializados, mas se os equipamentos são regularmente ajustados, o número de filmes rejeitados deverá diminuir e a vida do equipamento será aumentada.

A dose de radiação administrada durante um exame radiológico é influenciada pelo conhecimento e perícia do radiologista e de seus assistentes. A princípio o dinheiro gasto no treinamento do "staff" pode estar relacionado com a redução concomitante da dose coletiva ocupacional e da dose nos pacientes. Deve-se notar contudo, que nem sempre a otimização de um determinado procedimento radiológico acarreta a redução de dose nas pessoas envolvidas ( a dose coletiva pode aumentar e ser ainda inteiramente justificada com base no aumento do conteúdo em informação).

A informação e treinamento do "staff" devem objetivar o uso inteligente dos fatores distância, tempo, blindagem e técnica; danio atenção particular em evitar a exposição de qualquer parte do corpo

a feixes primários.

No planejamento de uma instalação radiológica, devem ser feitas considerações sobre a carga de trabalho e o número de trabalhadores envolvidos. Na ausência de informações exatas é prudente se fazer um superdimensionamento.

Os requisitos de blindagem dependem da natureza da ocupação das áreas circunvizinhas que são acessíveis a trabalhadores e a indivíduos do público, incluindo pacientes. Para algumas áreas é possível empregar "fatores de ocupação" e "fatores de uso". Entretanto, a ICRP (4) não mais faz qualquer recomendação sobre a magnitude desses fatores uma vez que eles podem diferir consideravelmente entre instalações.

## 2.2. Cálculo de barreiras

Na ausência de níveis operacionais ou níveis autorizados, padronizados pelas autoridades competentes, baseados na otimização, deve-se adotar o método de análise custo-benefício para cada caso particular.

Considerando a proteção e o detrimento da radiação em termos de custo, a otimização pode ser expressa como

$$X(w) + Y(w) = \text{mínimo}$$

onde X é o custo da proteção e Y é o custo do detrimento da radiação, ambos em um nível de proteção representado por w (i.e. fator de blindagem, opções alternativas de proteção, etc.).

Assumindo que o nível de proteção pode ser variado para qualquer nível desejado, o mínimo para a expressão acima pode ser obtido por diferenciação:

$$\frac{dX}{dw} = - \frac{dY}{dw}$$

Aplicando a relação de proporcionalidade entre dose e risco estocástico, o custo do detrimento (para a saúde) pode ser considerado como uma função linear da dose coletiva (S).

$$Y = \alpha S$$

onde  $\alpha$  é custo do detrimento por unidade de dose coletiva.

Várias tentativas têm sido feitas nos últimos anos para estimar esse importante fator (ver, por exemplo, ref. 1). Os resultados estão, entre  $10^3$  e  $10^5$  \$por homem.Sv.

Considere o seguinte exemplo de otimização de barreira:

Uma blindagem apropriada deve ser construída para proteger operadores de raios-X junto ao comando do aparelho.

Suponha que sem a blindagem a taxa de dose esperada seja  $\dot{H}_0$ (Sv/h) \*. Com a instalação da blindagem a taxa de dose, expressa em termos de dose equivalente efetiva (ou de quantidades secundárias, por exemplo, índice de dose equivalente), será reduzida para

$$\dot{H} = \dot{H}_0/F$$

onde o fator de blindagem F é usado como parâmetro variável de proteção na análise custo-benefício.

Como condição de contorno, o limite básico de dose individual para trabalhadores  $H_L = 0,05$  Sv/ano, é utilizado.

Supondo que cada trabalhador pode permanecer no máximo  $t_{max} = 2000$  horas por ano naquele local, o menor fator de blindagem será

$$F_{min} = \dot{H}_0 t_{max} / H_L = 4 \times 10^4 \dot{H}_0$$

Note que os limites autorizados e os limites otimizados não devem ultrapassar o limite básico.

O objetivo da otimização da blindagem é calcular F de acordo com a equação abaixo

$$X(F) + Y(F) = \text{mínimo}$$

---

(\*) otimado levando-se em conta também a carga de trabalho média do equipamento.

O custo do detrimento é dado por

$$Y(F) = \alpha S(F) = n \alpha t T \dot{H}_0 / F,$$

onde T = tempo de vida da instalação e da blindagem

n = número de trabalhadores operando atrás da blindagem

t = período médio anual desses n trabalhadores nesse local

O custo da proteção X(F) pode ser considerado como sendo proporcional à quantidade de material. Então o custo da proteção pode ser calculado como função do custo de cada camada décima-redutora.

$$X(F) = k \log F$$

O custo total é então

$$X(F) + Y(F) = k \log F + n \alpha t T \dot{H}_0 / F$$

Pela diferenciação, o fator de blindagem otimizado  $F_{ot}$  é dado pela equação

$$\frac{k}{\ln 10} \frac{1}{F_{ot}} - n \alpha t T \dot{H}_0 \frac{1}{F_{ot}^2} = 0$$

$$F_{ot} = \ln 10 \frac{n \alpha t T \dot{H}_0}{k}$$

Suponha os seguintes valores estabelecidos no planejamento operacional:

$\alpha = 1000$  horas por ano

$T = 30$  anos

$n = 3$  trabalhadores

$\dot{H}_0 = 5000$  \$

Assumindo que  $\alpha = 2 \times 10^4$  \$ por homem.Sv (valor que deveria ser estabelecido por autoridade nacional competente), o fator de blindagem ótimo é então

$$F_{ot} = 8 \times 10^5 \dot{H}_0$$

Esse fator é 20 vezes maior que o fator mínimo calculado para manter o limite básico de dose individual.

Com o valor de blindagem otimizada, a dose média anual resultante será

$$\bar{H}_{ot} = 1000 \dot{H}_o / F_{ot} = 10^3 / 8 \times 10^5 = 1,2 \text{mSv (120mrem)}$$

para cada indivíduo.

A Comissão Internacional de Proteção Radiológica está consciente que de acordo com algumas das novas recomendações, pode implicar em mudanças estruturais nas estações existentes e/ou mudanças nos procedimentos operacionais.

É desejável que tais mudanças sejam feitas tão logo quanto possível, mas de modo a não privar o paciente da atenção médica necessária (4).

### 3. DETERMINAÇÃO DAS EXPOSIÇÕES OCUPACIONAIS

#### 3.1. Introdução

Do ponto de vista mais geral e considerando o risco global para a população, devido a exposições à radiação, a importância das exposições ocupacionais é muito pequena, pois representa 0,2% da exposição devida ao background ou 0,4% da exposição devida a radiodiagnóstico em países industrializados (6,7).

Entretanto, o risco individual ou coletivo de trabalhadores ocupacionalmente expostos pode ser relevante quando não são adotadas medidas adequadas de proteção radiológica. A quantificação dos possíveis riscos ocupacionais, pode ser realizada a partir da determinação das doses recebidas, tanto a nível individual, quanto coletivo. Portanto, é necessário o estabelecimento de programas de monitoração ocupacional nas diversas atividades que empregam a radiação ionizante.

O termo geral monitoração é usado para medições relacionadas com a avaliação e controle da exposição à radiação. Essas medições podem ser realizadas como monitoração do local do trabalho e como monitoração



individual dos trabalhadores.

Os principais objetivos da monitoração ocupacional são: manter as exposições tão baixas quanto razoavelmente exequível e assegurar que os limites autorizados não sejam excedidos (8).

### 3.2. Monitoração individual

Um programa de monitoração ocupacional deve permitir a avaliação das doses equivalentes efetivamente recebida pelos trabalhadores. Essa avaliação é muito difícil de ser realizada usando como base os resultados da monitoração do local de trabalho. Isto porque o campo de radiação varia rapidamente de um local para outro, e em muitos casos os técnicos e radiologistas podem ficar transitando no campo de radiação. O único meio satisfatório é fornecer a cada indivíduo um dosímetro a ser usado em sua pessoa.

A ICRP recomenda o estabelecimento de duas classes de condições de trabalho: Condição de Trabalho A, onde as doses equivalentes anuais podem exceder três décimos do limite anual básico e Condição de Trabalho B onde é muito pouco provável que as doses equivalentes excedam três décimos daquele limite. O propósito desta divisão seria estabelecer a obrigatoriedade da monitoração individual apenas para aqueles trabalhadores que poderiam estar expostos a níveis maiores (categoria A). Na Condição de Trabalho B, a ICRP não considera necessário a monitoração individual, podendo algumas vezes ser realizada como método de confirmação de condições satisfatórias.

A experiência tem mostrado que na maioria das instituições que utilizam raio-X diagnóstico, os níveis de exposição de seus empregados estão muito abaixo dos limites estabelecidos, podendo ser classificados como em Condição de Trabalho B \*. A questão real é: estão sendo feitos esforços para assegurar boas práticas de proteção e para instalar dispositivos que permitam a redução das exposições individuais?

---

(\*) Em um levantamento realizado no serviço de monitoração individual do IRD, em 1980, em cerca de 1000 usuários de radiodiagnóstico, apenas 7 apresentavam registro de exposição no "badge" maior que 1,5R. Note que na faixa de energia de raio-X diagnóstico, 1R corresponde a uma dose equivalente efetiva menor que 0,5rem (9). Além disso, não foi feito nenhum registro a respeito de quais destas exposições foram devidas a irradiações intencionais do "badge".

A implantação de um sistema de monitoração individual pode ser o primeiro esforço a ser feito, pois são vários os benefícios obtidos:

- a) motivação dos trabalhadores para reduzir suas exposições, como resultado das informações obtidas;
- b) demonstração da adequação dos sistemas de proteção e dos procedimentos técnicos;
- c) a utilização do dosímetro individual inspira um sentimento de confiança e segurança, especialmente entre os usuários do corpo não científico;
- c) a determinação das exposições ocupacionais é necessária para a avaliação do impacto das doses recebidas nas diversas atividades: análise epidemiológica e fins médico-legais.

Um dos problemas encontrados na avaliação das doses ocupacionais de um modo geral, é o da aditividade das doses em diferentes órgãos.

Com a introdução, em 1977, do conceito de dose equivalente efetiva foi estabelecido uma solução conveniente com a normalização das doses não uniformes para uma escala comum. Entretanto, as dificuldades práticas na determinação dessa grandeza ainda são muito grandes sendo necessário o estabelecimento de grandezas operacionais convenientes (para discussão desse problema ver "Implicações Práticas do ICRP 26 no Campo da Monitoração Individual" neste volume).

Quando se deseja aumentar a exatidão da avaliação da dose equivalente efetiva, devem ser adotadas considerações sobre a posição do dosímetro e o uso de dispositivos protetores tais como aventais plumbíferos. Quando um avental protetor é utilizado, é desejável fazer uma estimativa da dose equivalente efetiva (e não de grandezas operacionais, tais como índice de dose equivalente) pelo uso mais de um dosímetro individual, pelo menos durante um certo período de tempo até que a experiência tenha indicado um modelo de distribuição de dose.

Este é o caso dos exames angiográficos e de cateterismo de modo geral. Nestes exames cada membro da equipe utiliza um avental com

0,25mm equivalente em chumbo.

Considerando que uma equipe pode fazer 120 exames angiográficos por ano, a dose equivalente efetiva anual nos radiologistas poderia ser cerca de 6mSv (600mrem) e para as enfermeiras cerca de 2mSv (200mrem). Essas doses poderiam ser estimadas com base nas doses registradas no tórax (sob avental), cabeça, pescoço e mãos e braços. A dose nas mãos pode ser cerca de 100mSv e a nos olhos e tireóide cerca de 25mSv (aprox. 20% do limite de dose equivalente anual para as lentes dos olhos), (ver, por ex. ref. 10).

#### REFERÊNCIAS

- 1) Recommendation of the International Commission on Radiological Protection (ICRP Publication 26). Pergamon Press, New York, (1977).
- 2) Statement from the 1978 Stockholm Meeting of the ICRP (ICRP Publication 28). Pergamon Press, New York, (1978).
- 3) Sources and Effects of Ionizing Radiation; Report United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, (UNSCEAR), (1977).
- 4) Protection Against Ionizing Radiation from External Sources used in Medicine (ICRP Publication 33). Pergamon Press, New York, (1982).
- 5) Cost-Benefit Analysis in the Optimization Radiation Protection (ICRP Publication 37). Pergamon Press, New York, (1983).
- 6) Burger, G., "Occupational Exposure". Proceeding of the Meeting on Radiological Protection and Dosimetry - Itaipava, RJ, (1983).
- 7) Ionization Radiation: Sources and Biological Effects; Report United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, (UNSCEAR), (1982).

- 8) **Basic Requirements for Personnel Monitoring, IAEA Safety Series 14, (1980).**
- 9) **Kramer, R. and Drexler, G., "On the Calculation of the Effective Dose Equivalent". Rad. Prot. Dos. 3:13-24, (1982).**
- 10) **Gustafsson, M. and Lunderguist, A., "Personal Exposure to Radiation at Some Angiographic Procedures. Radiology 140:807-811, (1981).**