

GRANDEZAS BÁSICAS

I. Exposição: Grandeza que mede a quantidade de ionizações produzidas por radiação X ou γ no ar. Se relacionarmos a exposição durante o intervalo de tempo \Rightarrow taxa de exposição.

Exposição (X): unidade de medida antiga: “roentgen” (R).

$$X = 1R \Rightarrow 1,61 \cdot 10^{12} \text{ ion-par/g}$$

Aplica-se a fótons e seu uso é controvertido para energias acima de 3 MeV.

II. Dose absorvida: expressa a energia absorvida num ponto.

III. Dose equivalente: indicador da probabilidade de ocorrência de efeitos subsequentes.

Dose absorvida (D): é o rad.

$$\begin{aligned} E_{\text{abs}} &= 1,61 \cdot 10^{12} \text{ ion/g} \times 34 \text{ eV/ion} \\ &= 5,47 \cdot 10^{13} \text{ eV/g} \\ &= 8,76 \cdot 10^{-6} \text{ J/g} \\ &= 87,6 \text{ erg/g} \end{aligned}$$

É a dose absorvida de qualquer tipo de radiação ionizante equivalente a 100 erg/g de qualquer tecido. \therefore

$$D = 0,87 \text{ rad. para o ar.}$$

Portanto, para o ar. $1 R \Rightarrow 1,61 \cdot 10^{12} \text{ ion/g}$ de ar : devido a absorção de 0,87 rad = $8,76 \cdot 10^{-3} \text{ J/kg}$

$$1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J} = 1,6 \times 10^{-12} \text{ erg}$$

Dose equivalente (H): A dose absorvida média em um órgão ou tecido é um indicador da probabilidade de efeito subsequente. Entretanto, esta probabilidade depende da qualidade da radiação.

Tipos diferentes de radiação podem produzir diferentes efeitos biológicos para uma mesma dose absorvida. Foi portanto necessário introduzir uma nova grandeza que foi chamada primitivamente de “**DOSE DE EFEITO BIOLÓGICO**” depois passou para “**DOSE RBE**” e finalmente para “**DOSE EQUIVALENTE**”.

A forma pela qual a energia é distribuída, a natureza bioquímica do meio e outros fatores podem ocasionar efeitos diferentes para a mesma dose de radiação.

Sob o ponto de vista biológico, já se sabe que não são iguais os efeitos produzidos pelos vários tipos de radiação ionizantes, pois possuem **LET** e **RBE** (“relative biological effectiveness”) diferentes.

Chamamos de RBE ou eficácia biológica relativa de uma dada radiação, a razão entre a dose absorvida de raios-X de 250 kV necessária para produzir um certo efeito biológico e a dose necessária da radiação considerada para produzir o mesmo efeito. **Ex.:** se a dose de 1 rad de raios-X de 250 kV produz o mesmo efeito biológico que 0,1 rad de neutrons rápidos, então o RBE dos neutrons é $1/0,1 = 10$.

O RBE leva em conta os diferentes valores do LET e do particular efeito biológico.

Dose RBE ou Dose Equivalente (H) = Dose absorvida. RBE . DF

Unidades Atuais

Exposição: $X = 1 \text{ C/kg}$. Chamamos exposição a razão entre todas as cargas de eletrons freados num volume ΔV de ar, produzidos por interação gama ou X com a massa Δm do ar desse volume.

$$1 \text{ R} = 1,61.10^{12} \text{ ion/g} = 1,61.10^{15} \text{ ion/kg} \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} = 2,58.10^{-4} \text{ C/kg}$$

$X = dQ/dm$, onde dQ é a soma de todas as cargas de mesmo sinal criadas no ar quando todos os eletrons (de ambos os sinais) liberados por fotons em um volume dV de ar de massa dm , são completamente freados nesse volume.

KERMA(K) : Uma grandeza equivalente, conveniente para uso nas calibrações dosimétricas e que pode ser utilizada inclusive para neutrons.

$K = dE_{tr} / dm$ sendo E_{tr} = a soma das energias cinéticas iniciais de todas as particulas liberadas por partículas não carregadas (radiação indiretamente ionizante) em um material de massa dm . Apesar de ser muito utilizado para medidas no ar, o kerma pode ser utilizado para qualquer material.

A unidade de kerma é o J / kg e recebe o nome de **gray (Gy)**

DOSE ABSORVIDA (D) - Energia Absorvida em um ponto

$D = dE / dm$, sendo dE o valor esperado da energia depositada no elemento de massa dm .

A unidade (SI) é o J/kg = 1 gray = 1 Gy

É um indicativo da probabilidade do efeito subsequente, porém, depende da qualidade da radiação. O ICRP26 define os fatores de qualidade que modificam o efeito biológico levando em conta as características das radiações. **São chamados fatores de peso da radiação (w_r). Estes fatores possibilitaram a avaliação numérica da probabilidade da ocorrência de um dano.**

DOSE EQUIVALENTE: $H_T = \sum W_r \cdot D_{tr}$, onde D_{tr} é a dose absorvida média no tecido ou órgão t , para uma dada radiação R e W_r é o fator de peso da radiação.

A unidade de dose equivalente é o J/kg = 1 sievert = 1 Sv.

Os fatores de peso, W_R foram selecionados pela ICRP para representar os valores da RBE da radiação na indução de efeitos biológicos para baixas doses e baixas taxas de dose. Os fatores de peso W_T independem do tecido ou órgão irradiados e são válidos para irradiação interna ou externa.

Fatores de Peso da Radiação

| Tipos e faixas de Energia | W_R |
|---|-------|
| Fótons de todas as energias | 1 |
| Elétrons e muons, de todas as energias | 1 |
| Nêutrons, energia < 10 eV | 5 |
| =10 keV a 100 keV | 10 |
| >100 keV a 2 MeV | 20 |
| >2 MeV a 20 MeV | 10 |
| >20 MeV | 5 |
| Prótons, energia > 2 MeV | 5 |
| Partículas alfa, frag. Fissão e núcleos pesados | 20 |

—**DOSE EFETIVA (E)** A relação entre a probabilidade de efeitos estocásticos e dose equivalente depende também do tecido irradiado, sendo necessário definir uma nova grandeza derivada da dose equivalente, para indicar a combinação de doses diferentes para diversos tecidos de tal modo que fique bem relacionada com os efeitos estocásticos devido a todos os órgãos.

Em 1977 a ICRP introduziu o conceito de “equivalente de dose efetiva” como uma dose média ponderada por fatores de pesos derivados dos riscos de morte para trabalhadores causado por câncer nos órgãos irradiados Recentemente a ICRP, considerando as novas informações sobre danos biológicos achou oportuna a modificação dos fatores de peso do equivalente de dose efetiva ⇒ **DOSE EFETIVA**

Fatores de Peso do Tecido

| TECIDO | W_T | | |
|---|-------|-----------|----------|
| Medula óssea | 0,12 | Gônadas | 0,20 |
| Pulmão | 0,12 | Cólon | 0,12 |
| Bexiga | 0,05 | Estômago | 0,12 |
| Fígado | 0,05 | Mama | 0,05 |
| Tireóide | 0,05 | Esôfago | 0,05 |
| Superfície óssea | 0,01 | Pele | 0,01 |
| Glândulas supra-renais, cérebro, intestino grosso, intestino delgado, rins, pâncreas, baço, timo e útero. | | restante* | 0,05 (*) |

DOSE EFETIVA: $E = \sum_T W_T \cdot H_T$, onde H_T é a dose equivalente média no tecido ou órgão e W_T é o fator de peso do tecido. Esses fatores são independentes do tipo e da energia da radiação existente ou incidente no corpo.

Devemos enfatizar que a “dose efetiva” se destina ao uso em **RADIOPROTEÇÃO**, incluindo a avaliação de riscos em termos gerais. Ela fornece uma base para estimar a probabilidade do efeito estocástico apenas para dose absorvida muito abaixo do limiar para efeito determinísticos. Para estimar as conseqüências prováveis para uma exposição de uma pessoa ou grupo conhecido deve se usar o RBE e os coeficientes de probabilidade relacionados a essa pessoa ou grupo.

Dose-Rate

Para medirmos o “dose-rate” de uma fonte gama, externamente precisamos conhecer, além de sua atividade específica:

- 1) Forma geométrica
- 2) Espectro de emissão da fonte
- 3) Distância e geometria da medida Além disso, necessitamos separar as fontes gama segundo o aspecto da auto-absorção em três categorias: Fontes sem auto-absorção (caso ideal), fontes com auto-absorção e com múltipla-dispersão.

O dose-rate de uma fonte punctual se constitui na lei fundamental do dosimetria, isto é, lei do Inverso do quadrado da distância.

$$P \propto A/d^2 \Rightarrow P = \Gamma \cdot A/d^2$$

Γ : coeficiente gama ou constante característica de cada emissor gama (fator gama). Γ .
 \Rightarrow R/h. mCi a 1 cm.

Em muitas situações experimentais as fontes podem absorver parcialmente os ftons gama que podem ser atenuados \Rightarrow Fontes com auto absorção. Nesta situação dever ser levada em conta a probabilidade de um foton X ou γ sofrer um determinado tipo de interação devido aos efeitos combinados de todas as interações possíveis.

Considerando um feixe estreito de raios X ou γ incidindo sobre um detetor capaz de medir sua intensidade \Rightarrow intensidade **dI**: fração que será reduzida a intensidade devido a interação de alguns fótons com os átomos do material de espessura elementar

$$dx. dI \propto - I dx$$

μ : é o coeficiente de absorção linear ou atenuação linear que depende da energia e do meio.
 μ / ρ : coeficiente de absorção de massa.

$I = I_0 e^{-\mu x}$ expressão válida para feixe monoenergético