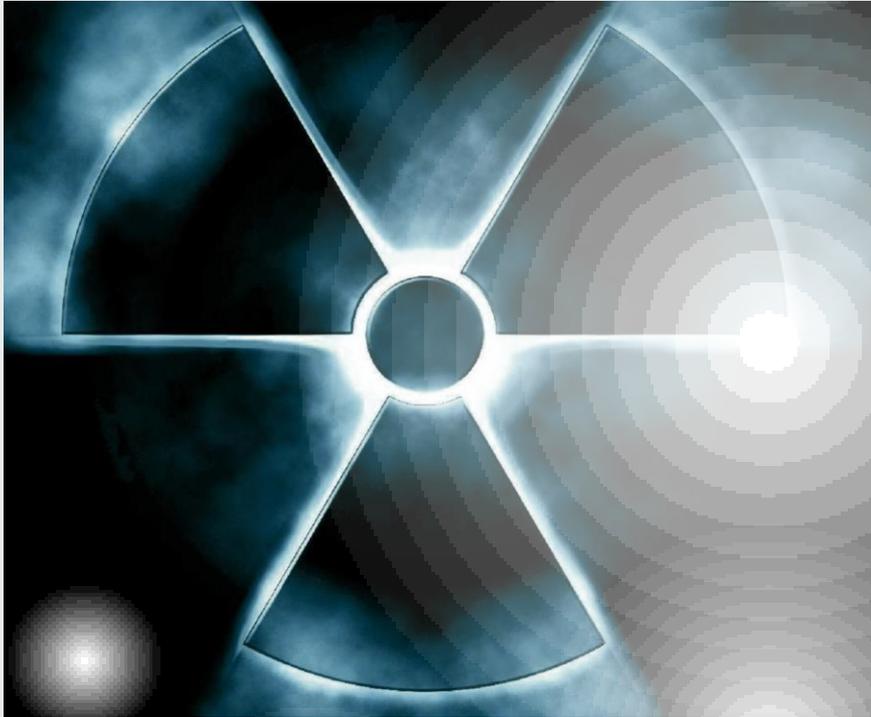




DECN

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
E CIÊNCIAS NUCLEARES

TÉCNICO LISBOA



Princípios Básicos de Protecção Radiológica

Augusto Oliveira

adoliv@ctn.tecnico.ulisboa.pt

2015

Sumário



Sumário

- O risco radiológico
 - Sinalizações
 - O conceito de risco. Percepção de risco
 - Avaliação de probabilidades
 - Detrimento, cálculo de risco e modelos de detrimento. Coeficientes de risco
 - Exposição ocupacional
- O sistema da protecção radiológica
 - Conceitos, regulação e ciência
 - Efeitos da radiação no homem
 - Efeitos estocásticos e determinísticos
 - Morbilidade e mortalidade
 - Objectivos da protecção radiológica
 - Relação dose-efeito
 - Justificação, optimização e limitação de doses
- Grandezas de protecção radiológica
- Cultura de segurança



DECN

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
E CIÊNCIAS NUCLEARES

TÉCNICO LISBOA



O risco radiológico

O risco radiológico (sinalização)



O risco radiológico (sinalização)



Níveis perigosos de radiação ionizante são sinalizados pelo sinal trevo de três folhas (trifólio) sobre um fundo amarelo. Esta sinalização é afixada no limite de uma zona controlada de radiação ou em qualquer lugar onde os níveis de radiação são significativamente acima do fundo devido à intervenção humana.

O símbolo é para ser colocado em equipamentos ou dispositivos que contêm fontes de radiação, como aviso para não desmontar o dispositivo ou para evitar proximidade da fonte. O sinal não será visível na utilização normal mas somente se alguém tentar desmontar o dispositivo. O símbolo não será colocado na construção de portas de acesso, embalagens de transporte ou contentores.



O conceito de risco

- O termo risco é genericamente associado a alguma ameaça mal definida, a uma possibilidade desconfortável de que algo terrível poderá acontecer.
- Profissionalmente, falamos de uma possível consequência e da probabilidade da sua ocorrência.



O conceito de risco

- Descrição de uma situação envolvendo um determinado risco:
- Devemos referir:
 - a consequência
 - a probabilidade da sua ocorrência



O conceito de risco

- Em muitos casos, existe a possibilidade de não apenas uma consequência mas uma diversidade de consequências, cada uma com uma probabilidade diferente.
- Se olharmos para o risco como uma grandeza, é uma grandeza multidimensional e não pode ser representada sem confusão por apenas um número



O conceito de risco

- Perante um determinado risco, tem todo o sentido questionar: ele é aceitável?
- Esta questão é similar a perguntar se uma pedra é muito pesada.
- Nem o peso de uma pedra, nem a magnitude de um risco podem ser julgados fora de contexto.
- A aceitabilidade do risco depende do benefício associado à decisão, prática ou situação que causa o risco.
- Não é o risco mas sim a situação ou prática que é aceite ou rejeitada.

(Lindell, 1996).



Atitudes perante o risco

Percepção do risco

Lindell (1996) identifica dois tipos de percepção de risco:

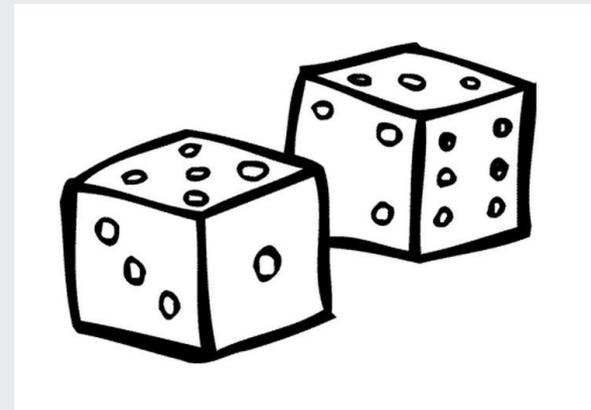
- Relacionado com a identificação, quantificação e descrição do risco (“risk assessment”).
- Relacionado com a atitude para com o risco (“risk evaluation”).



Atitudes perante o risco

Definindo o risco como um conjunto de probabilidades de acontecimentos,

- a avaliação do risco (“risk assessment”) consiste essencialmente na quantificação de probabilidades de acontecimentos.
- Podemos referir como o *risco objectivo*, em contraste com o *risco subjectivo* ou perceptível.



Atitude perante o risco. “Risk evaluation”

- Em algumas situações de risco, as pessoas têm consciência do risco associado a determinada actividade mas exercem a actividade.
- Por exemplo:
 - as acrobacias em situação de risco.
 - Caminhar sobre um arame a vários metros do chão
- A maior parte das pessoas considera que o risco é demasiado elevado para experimentar.



Atitude perante o risco. “Risk evaluation”

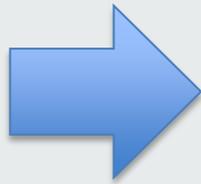
- Outras pessoas admitem conhecer o risco associado elevado mas executam a actividade. Exercem conscientemente atitudes de risco.

- Desconhecimento do risco.
- Negligenciar o risco
- Por exemplo: movimentar uma fonte radioactiva com as mãos.



Avaliação de probabilidades (“risk assessment”)

Se a experiência diz que num grupo de 9090 indivíduos expostos, a dose de corpo inteiro foi de 20 mSv e aconteceram 10 mortes de cancro



Podemos concluir:

- a probabilidade de morte é de 1 em 909 indivíduos.
- Ou seja, $(1/909) \times 100 = 0.11\%$ por 20 mSv
- $0.0011/20 = 0,000055$ por 1 mSv
- Isto é, $0,000055 \times 1000$ por Sv =
- $= 0,055 \text{ Sv}^{-1}$

Mas, em relação a um determinado indivíduo, qual é o significado de uma probabilidade de 5.5 %?

Avaliação de probabilidades (“risk assessment”)

$$P=5,5\% Sv^{-1}$$

Para aplicar esta probabilidade a um determinado indivíduo é necessário admitir dois pressupostos:

- Estamos perante um indivíduo médio, relativamente à população em que se obteve a probabilidade.
- Não existem alterações significativas das condições em que a probabilidade foi obtida.

Detrimento

- A ICRP definiu o conceito de *detrimento* para um indivíduo exposto a uma determinada dose de radiação.
- O detrimento devido à radiação resulta de uma combinação complexa entre
 - A probabilidade de dano,
 - A severidade do dano,
 - O tempo após a exposição para o dano se revelar

Detrimento



Detrimento

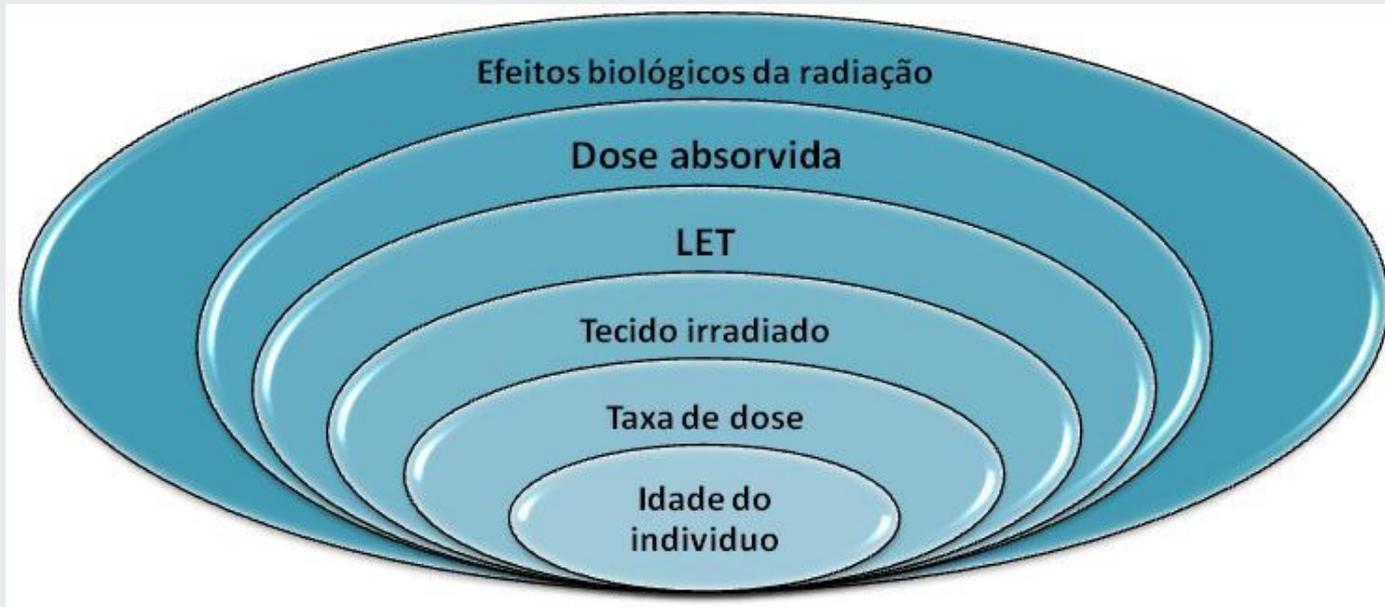
Uma das principais preocupações na avaliação do risco devido à exposição às radiações é a probabilidade de indução de cancro.

Os efeitos biológicos dependem de vários factores entre os quais:

- A dose absorvida,
- O LET (“linear energy transfer”) / RBE (Relative biological Effectiveness)
- A natureza do tecido biológico irradiado
- A taxa de dose.
- A idade do indivíduo

Detrimento

Factores importantes para os efeitos biológicos da radiação



Detrimento

• Problema

- Considerando todos os factores já referidos, conseguir estimar o detrimento devido à radiação é uma tarefa complicada.
- Parte da resolução do problema resultou na adopção de grandezas especiais designadas grandezas de protecção radiológica, designadamente a dose equivalente e a dose efectiva.

• Objectivo

- Idealmente, o que queremos é que, uma vez determinada a dose em cada órgão ou alvo do corpo humano,
- multiplicamos esse valor de **dose** pela probabilidade de um detrimento para esse órgão ou alvo para o **tipo de radiação** em causa, **agora ou no futuro**, e **somamos para todos os órgãos** do corpo humano.

Solução

- No entanto não conseguimos recolher ou determinar toda a informação necessária para esta estratégia de procedimento.
- Há que simplificar o problema.

O cálculo de risco

- Uma das complicações associadas ao cálculo do risco da radiação resulta, por exemplo, de que o cancro induzido pela radiação pode revelar-se apenas muitos anos após a exposição.
- Há, portanto, que especificar:
- Quantos anos após a exposição devemos acompanhar a população irradiada,
- Qual a idade quando ocorreu a exposição?
- Qual a idade actual?
- Interessa saber também se o risco se refere a:
 - Mortalidade
 - Aparecimento clínico da doença e à morbilidade associada

O cálculo de risco

- Numa perspectiva de análise de risco podemos definir:
- O risco depende de uma grandeza relacionada com a radiação, por exemplo
- A dose equivalente (H).
- Definimos o risco devido à dose equivalente como uma função

$$r = r(H)$$

(veremos mais à frente o que é a dose equivalente)

O cálculo de risco

- EAR – “Excess Absolute Risk”
- ERR – “Excess Relative Risk”

$$EAR = r(H) - r(0)$$

$$ERR = \frac{r(H) - r(0)}{r(0)}$$

As unidades de r e de EAR podem variar. O risco pode ser *por pessoa por ano*, ou pode ser um certo *número de anos* ou para uma *exposição durante a vida*.

O cálculo de risco (exemplo)

- Consideremos uma determinada doença rara
- Suponhamos que a probabilidade de uma pessoa adquirir a doença durante a vida é
- $r(0) = 2 \times 10^{-3}$
- Entretanto numa determinada população que recebeu uma determinada dose de algo (pode ser radiação, químico, biológico, etc.) essa probabilidade é superior, por exemplo,
- $r(H) = 5 \times 10^{-3}$

O cálculo de risco (exemplo)

- $r(O) = 2 \times 10^{-3}$
- $r(H) = 5 \times 10^{-3}$

$$EAR = 5 \times 10^{-3} - 2 \times 10^{-3} = 3 \times 10^{-3}$$

$$ERR = \frac{3 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-3}} = 1.5$$

Ou seja, o risco relativo é de
150%

O cálculo de risco (exemplo)

Alguém, ao ouvir dizer que o risco relativo aumentou 1.5 vezes pode, eventualmente, ficar muito alarmado, sem pensar que o risco absoluto é de 3×10^{-3} , ou seja 3 casos em 1000 pessoas.

O cálculo de risco

- Na definição de *EAR* surge o termo $r(0)=r(H=0)$, isto é o risco para um valor de dose equivalente nulo.
- O paradigma adoptado pela ICRP, admite que o risco da radiação aumenta linearmente com a dose, no entanto é um pressuposto, controverso.
- Enquanto as entidades reguladoras admitem a variação linear da função $r=r(H)$, a busca para a justificação científica deste paradigma está envolto em várias polémicas, por exemplo, devido às dificuldades estatísticas associadas.

Modelos de detrimento (D_T)

- Risco de cancro fatal
- Risco de cancro não fatal
- Risco de efeitos hereditários
- Modelos de detrimento
- Modelos de risco

Modelos de detrimento total (D_T)

Dano total para a saúde de um grupo exposto à radiação e seus descendentes:

$$D_T = [R_{F,T} + q_T \times R_{NF,T}] l_T$$

Detrimento

Risco total de doença fatal

[0,1]
Qualidade de vida

Risco total de doença não fatal

Valor médio de vida perdida

Coeficiente de risco para a população exposta a radiação de baixa taxa de dose

- Cancro: $0,055 \text{ Sv}^{-1}$
- Efeitos hereditários: $0,002 \text{ Sv}^{-1}$

- Total: $0,057 \text{ Sv}^{-1}$

(Sv - Sievert)

(ICRP-103)

Exposição ocupacional (externa e interna)

$$E \cong H_p(10) + E(50)$$

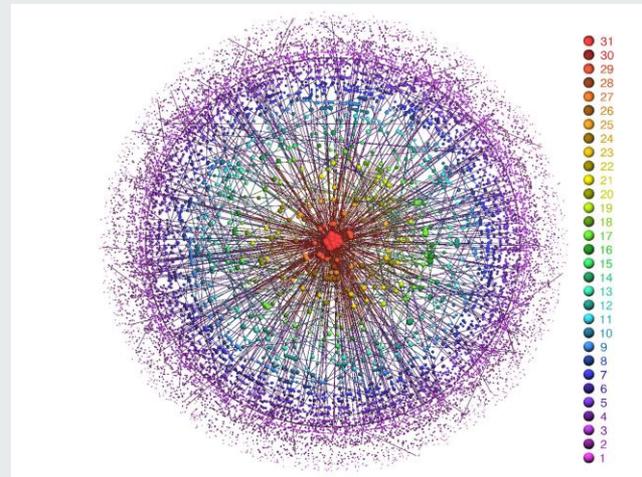
Dose efectiva

Equivalente de dose individual

Dose efectiva comprometida

Grandezas de protecção

Grandezas operacionais



O sistema da protecção radiológica

Protecção radiológica (PR)

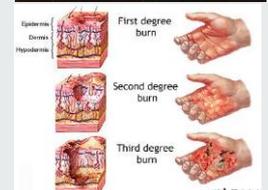
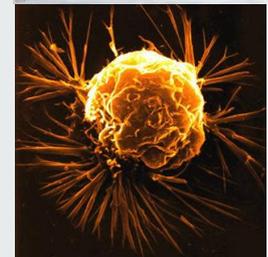
- **Sistema conceptual**
 - Desenvolvimento de conceitos básicos em PR. Exemplos: trabalhador exposto, membros do público, limite de dose, restrição de dose, etc.
- **Sistema Regulador**
 - A relação entre utilizador e regulador. Regulamentos, autorizações, etc.
- **Sistema científico**
 - O conceito de fluência e de dose. RBE, LET, efeitos biológicos, etc.

Protecção radiológica (PR)

PORQUÊ?

Efeitos da radiação no homem

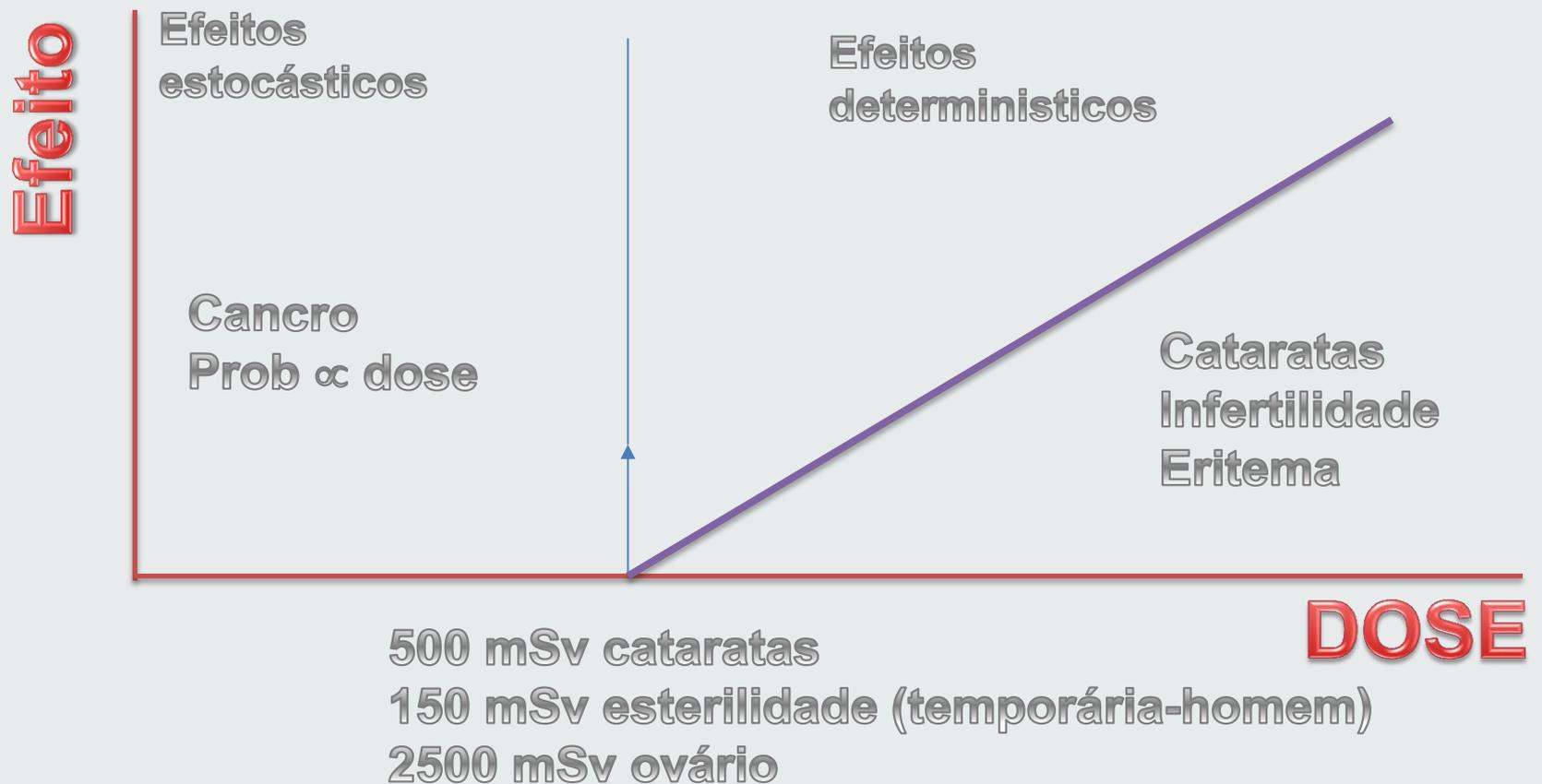
- Morte
- Cancro
- Queimaduras na pele
- Cataratas
- Infertilidade
- ...



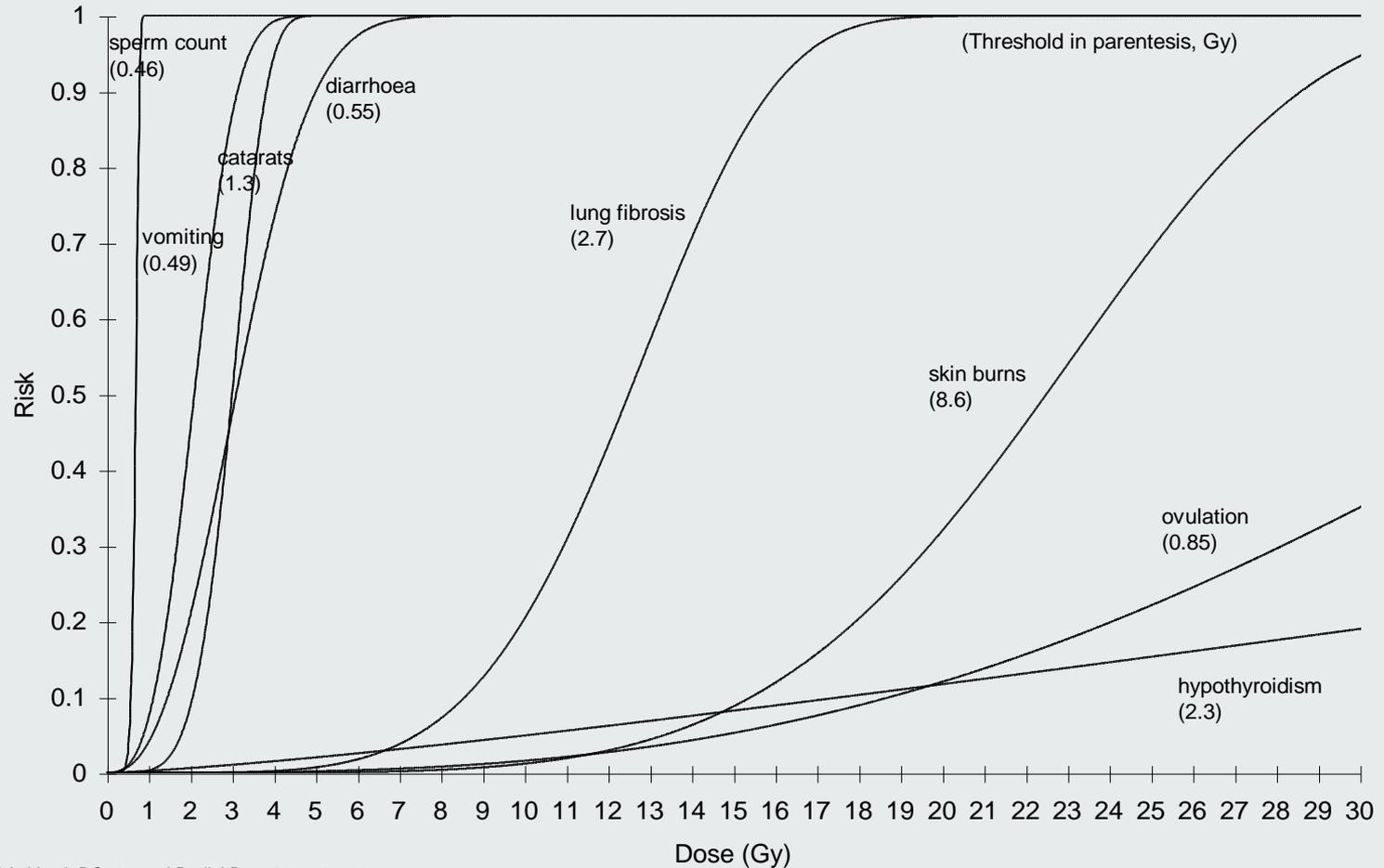
A cataract is an opacity of the normally clear lens which may develop as a result of aging, metabolic disorders, trauma or heredity



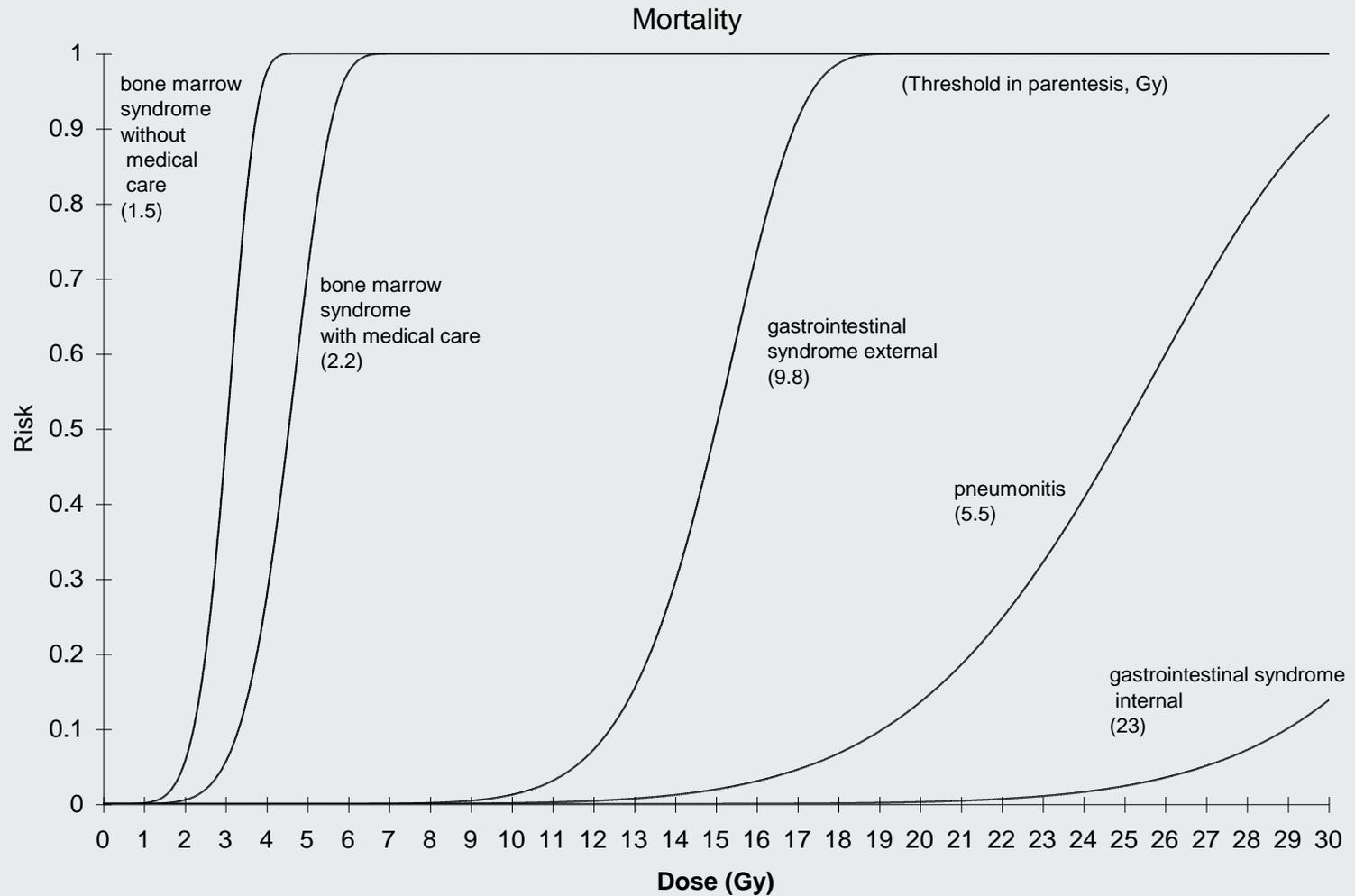
Efeitos da radiação



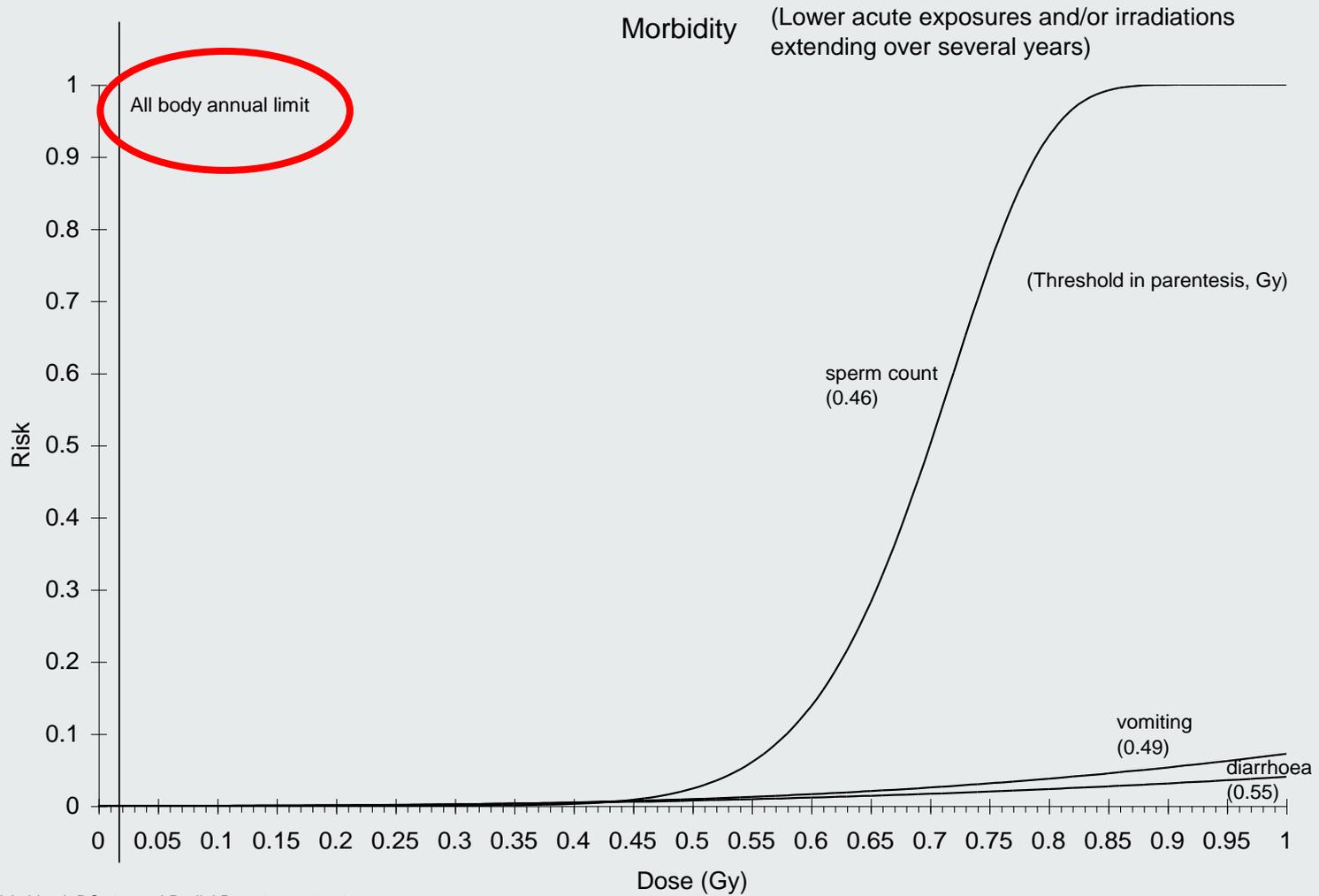
Morbidity (Lower acute exposures and/or irradiations extending over several years)



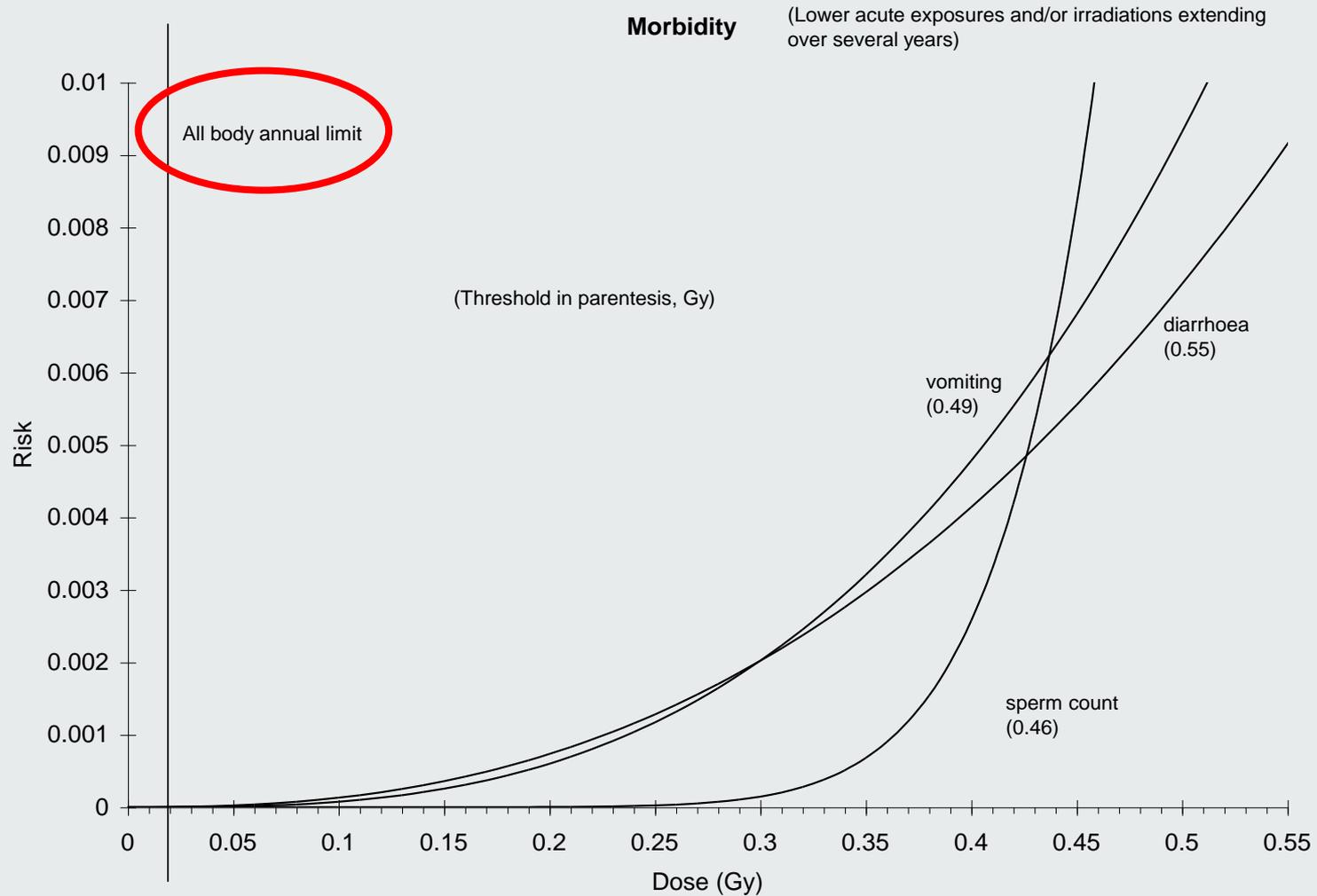
Dados de: Edwards, AA; Lloyd, DC, 1998, J Radiol Prot, 18, 3, 175-183



Dados de: Edwards, AA; Lloyd, DC, 1998, J Radiol Prot, 18, 3, 175-183



Dados de: Edwards, AA; Lloyd, DC, 1998, J Radiol Prot, 18, 3, 175-183



Dados de: Edwards, AA; Lloyd, DC, 1998, J Radiol Prot, 18, 3, 175-183

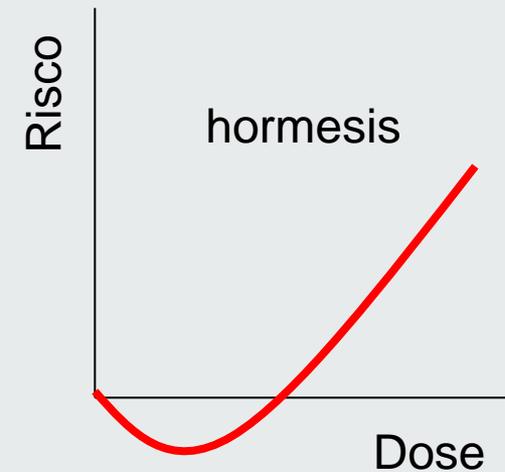
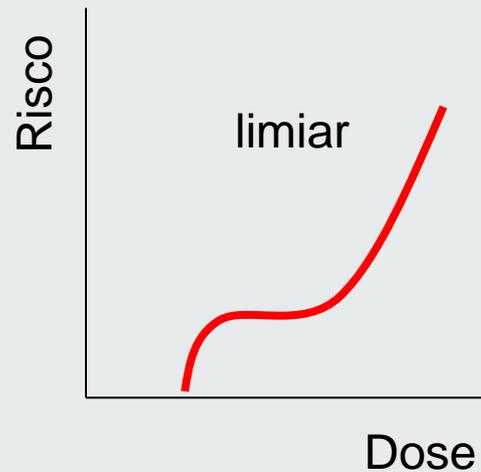
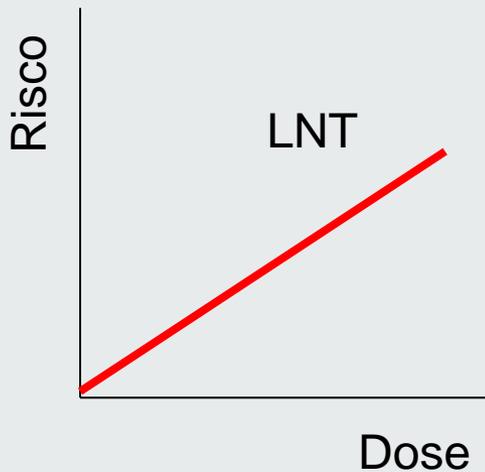
Objectivos da protecção radiológica

- **Prevenção dos efeitos determinísticos.**
- **Limitação da probabilidade dos efeitos estocásticos**

Níveis de dose para aplicação da protecção radiológica

- Aceita-se que mesmo baixas doses de radiação ionizante pode, potencialmente, provocar danos (“linear no threshold hypothesis”, LNT)
- As pessoas devem estar protegidas das radiações ionizantes para toda e qualquer dose.
- Hormesis?

Qual é a relação dose-efeito para exposições de baixa dose?



Quem deve ser protegido?

- Trabalhador exposto
- Público em geral
- Paciente (em medicina)
- Familiares de pacientes (em medicina)
- O ambiente (ICRP-103, 2007)



Como proteger as pessoas?

- Justificação da exposição
- Optimização da protecção
- Limitação das doses

Princípios gerais de protecção radiológica

A justificação da prática

Nenhuma prática que envolva exposição a radiação deve ser adoptada a menos que resulte um benefício suficiente para os indivíduos expostos ou para a sociedade superior ao detrimento provocado (ICRP-60)

Princípios gerais de protecção radiológica

Limitação do risco e da dose individual

A exposição de indivíduos resultante da combinação de todas as práticas relevantes estão sujeitas a limites de dose, ou a algum controlo de risco no caso de exposições potenciais. Tem como objectivo assegurar que nenhum indivíduo é exposto a riscos da radiação considerados inaceitáveis e resultantes de práticas, em circunstâncias normais. (ICRP-60)

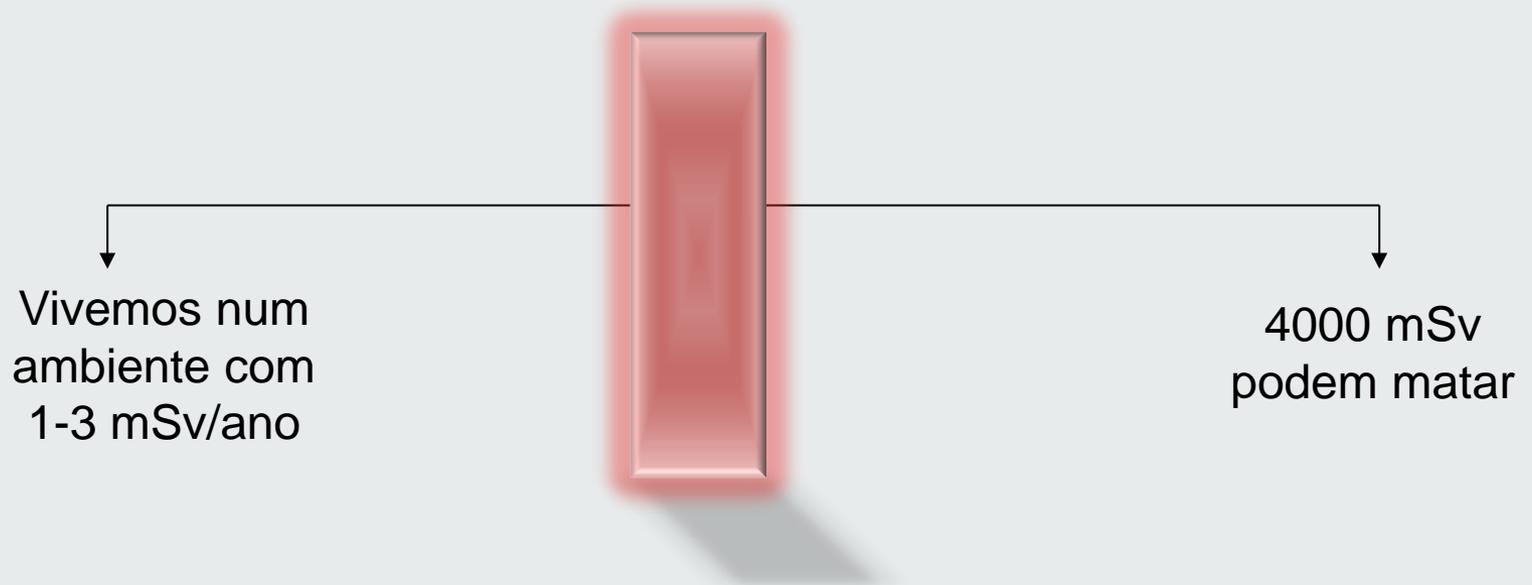
Princípios gerais de protecção radiológica

A optimização da protecção

Relativamente a qualquer fonte particular envolvida numa determinada prática, o valor da dose individual, o número de pessoas expostas e a possibilidade de exposições, devem ser mantidas “As Low As Reasonable Achievable” (ALARA), tendo em conta factores económicos e sociais.

(ICRP-60)

Radiação ionizante



**Existe um valor de segurança?
Como lidar com o problema?**

O sistema de protecção tem por base as seguintes abordagens:

- **Individual-related system (sistema relacionado com o indivíduo):**
Limite de dose (máximo risco absoluto que a sociedade aceita),
optimização
- **Source-related system (sistema relacionado com a fonte):**
Limitações na fonte, restrições relacionadas com a fonte.
Protecção básica + ambiente + protecção do indivíduo (blindagens, vestuário de protecção)



DECN

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
E CIÊNCIAS NUCLEARES

TÉCNICO LISBOA



Grandezas de protecção radiológica

ICRP

International Commission on Radiological Protection

ICRP

- publicação 1 em 1959
- publicação 6 em 1964
- publicação 9 em 1966
- publicação 26 em 1977
- publicação 60 em 1990:
 - “1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection”
- publicação 103 em 2007.
- www.icrp.org

ICRP

- Apoiar as entidades reguladoras e várias agências a nível internacional, regional ou nacional, fornecendo guias sobre os princípios fundamentais da protecção radiológica
- As recomendações não são textos para autoridades reguladoras
- Cada país deve desenvolver as próprias estruturas de legislação, regulamentação, autorização, licenciamentos e procedimentos para práticas radiológicas

Grandeza básica da dosimetria das radiações: Dose absorvida

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm}$$

- $d\bar{\varepsilon}$ é a energia média depositada na matéria pela radiação ionizante num elemento de volume de massa dm .
- No sistema internacional as unidades são [J kg^{-1}] com a designação especial de gray [Gy].

Dose absorvida média num tecido ou órgão

$$D_T = \frac{\varepsilon_T}{m_T}$$

- ε_T é a energia total depositada num tecido ou órgão.
- m_T é a massa do tecido ou órgão.

Transferência linear de energia (“LET”)

$$L_{\infty} = \frac{dE}{dl}$$

- dE é a energia perdida por uma partícula carregada ao atravessar a distância dl .

**Do ponto de vista da
protecção radiológica
interessa não só determinar
a energia depositada na
matéria mas também
conseguir prever os riscos
biológicos.**

Grandezas de protecção radiológica

- **Para o mesmo valor da dose absorvida os efeitos biológicos são diferentes para diferentes tipos de radiação**
- **alfa, beta ou gama; fotões, electrões, neutrões, protões, iões pesados, etc.**

Equivalente de dose

D: Dose absorvida

Q: Factor de qualidade

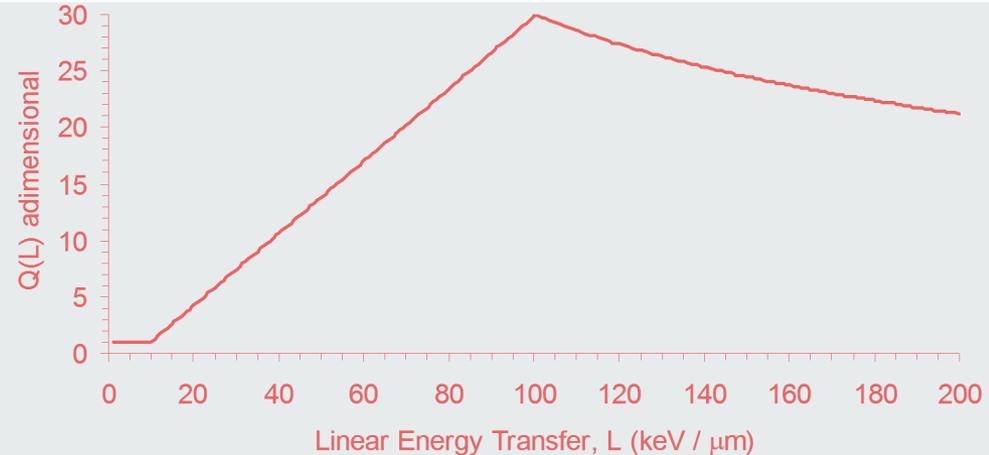
$$H = QD$$

Factor de qualidade

Como a probabilidade de efeitos estocásticos depende da qualidade da radiação definiu-se um factor para modificar a dose absorvida obtendo-se a grandeza equivalente de dose. O factor de qualidade, Q , é uma função do LET.

$$Q = Q(L)$$

Factor de qualidade

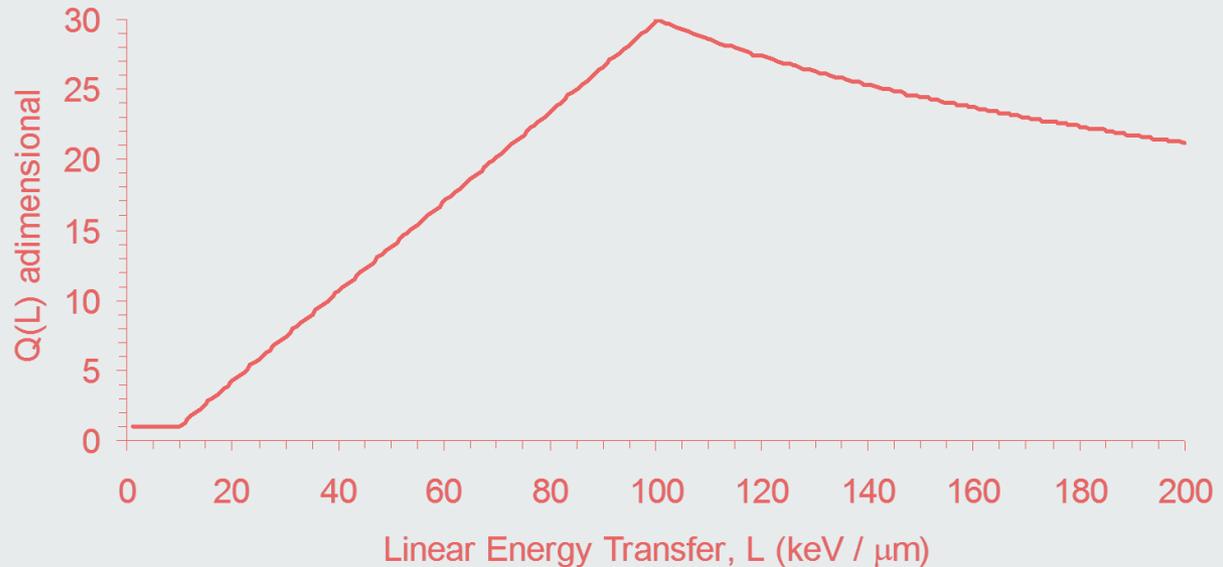


$$Q(L) = \begin{cases} 1 & L \leq 10 \\ 0,32L - 2,2 & 10 < L < 100 \\ 300/\sqrt{L} & L \geq 100 \end{cases}$$

As unidades de L são $[\text{keV } \mu\text{m}^{-1}]$

O factor de qualidade é adimensional

Factor de qualidade



Na maioria das aplicações o factor de qualidade para fotões (X ou gama) e para electrões é $Q=1$

Equivalente de dose

H : [Sv] Sievert

Q : *adimensional*

D : [J kg⁻¹] = [Gy] Gray

$$H = QD$$

Equivalente de dose

Esta grandeza é definida para aplicações em situações de rotina de protecção radiológica.

Não deve ser utilizada para a avaliação numérica de altos níveis de exposição, como por exemplo, em acidentes radiológicos.

Equivalente de dose

Em cada ponto do meio irradiado, as partículas carregadas têm uma distribuição em L , então é necessário determinar H em termos do valor médio de Q ,

$$H = \bar{Q}D$$

$$\bar{Q} = \frac{1}{D} \int Q(L)D_L dL$$

D_L é a distribuição da dose absorvida em L

As grandezas assim definidas referem-se a um ponto de interesse

Equivalente de dose num órgão ou tecido

Para um ponto:

$$H = \bar{Q}D \quad \bar{Q} = \frac{1}{D} \int Q(L)D_L dL$$

$$H_T = Q_T D_T$$

Para um órgão de massa m , a dose absorvida resulta da integração sobre a massa

$$D_T = \frac{1}{m_T} \int D dm$$

$$Q_T = \frac{1}{m_T D_T} \int \int Q(L) D_L dL dm$$

$$H_T = \frac{1}{m_T} \int \int Q(L) D_L dL dm$$

Equivalente de dose efectiva

$$H_E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T D_T Q_T$$

$$\sum_T w_T = 1$$

Factores de ponderação do
tecido para o órgão T

H_T : [Sv] Sievert

Q_T : *adimensional*

D_T : [J kg⁻¹] = [Gy] Gray

No ICRP-26, foram introduzidos factores de ponderação para 6 órgãos.

No ICRP-60 estão descritos 12 órgãos.

ICRP-103: 14 órgãos.

Equivalente de dose efectiva

$$H_E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T D_T Q_T$$



Equivalente de dose num tecido ou órgão

$$\sum_T w_T = 1$$

Tecido ou órgão	Factor de ponderação do tecido (ICRP-26, 1977)	Factor de ponderação do tecido (ICRP-60, 1990)	Factor de ponderação do tecido (ICRP-103, 2007)
Gónadas	0.25	0.20	0.08
Medula óssea (vermelha)	0.12	0.12	0.12
Cólon	-	0.12	0.12
Pulmões	0.12	0.12	0.12
Estômago	-	0.12	0.12
Bexiga	-	0.05	0.04
Mama	0.15	0.05	0.12
Fígado	-	0.05	0.04
Esófago	-	0.05	0.04
Tiróide	0.03	0.05	0.04
Pele	-	0.01	0.01
Superfície óssea	0.03	0.01	0.01
Cérebro	-	-	0.01
Glândulas salivares	-	-	0.01
Resto do organismo	0.30	0.05	0.12
Total	1	1	1

Nas situações de rotina as incertezas associadas às condições de uma exposição são relativamente grandes, pelo que a ICRP procurou simplificar ainda mais os factores de modificação da dose absorvida.

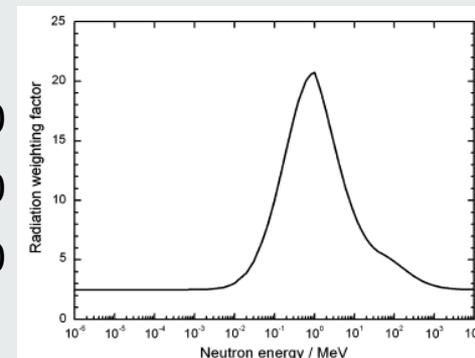
Em vez de Q , ou mais rigorosamente, em vez de \bar{Q} , a ICRP introduziu novos factores de modificação designados factores de ponderação da radiação, W_R , com base nas informações provenientes de efeitos biológicos das radiações.

as incertezas associadas às condições de uma exposição são relativamente grandes

factores de ponderação da radiação, w_R

Factores de ponderação da radiação¹ (ICRP-60)

Tipo e gama de energia	Factor de ponderação da radiação, w_R
Fotões, todas as energias	1
Electrões e muões, todas as energias ²	1
Neutrões, energia < 10 keV	5
10 keV a 100 keV	10
> 100 keV a 2 MeV	20
> 2 MeV a 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protões, energia > 2 MeV	5
Partículas alfa, fragmentos de fissão, núcleos pesados	20



ICRP-103

¹ Os valores referem-se a radiação incidente no corpo ou, para fontes internas, emitidas pela fonte.

² Excluindo electrões de Auger emitidos por núcleos ligados ao DNA.

Grandezas de referência para os limites de dose

ICRP - 26

**Equivalente de dose
num tecido ou órgão**

ICRP - 60

**Dose equivalente
num tecido ou órgão**

Equivalente de dose efectiva

Dose efectiva

Dose equivalente num tecido ou órgão

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

H_T : [Sv] Sievert

w_R : *adimensional*

$D_{T,R}$: dose absorvida média no tecido ou órgão, devido à radiação R .

$D_{T,R}$: [J kg⁻¹] = [Gy] Gray

w_R : factor de ponderação da radiação R .

Dose efectiva

$$E = \sum_T w_T H_T$$

E : [Sv] Sievert

w_T : *adimensional*

H_T : [J kg⁻¹] = [Sv] Sievert

H_T : dose equivalente no tecido para o órgão T , devido à radiação R .

w_T : factor de ponderação do tecido para o órgão T .

Equivalente de dose

$$H = DQ$$

D - dose absorvida (Gy).
Q - factor de qualidade.

[J kg⁻¹ - Sv (Sievert)]

Equivalente de dose efectiva

$$H_E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T D_T Q_T$$

H_T – Equivalente de dose no órgão T (Sv)

Dose equivalente

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

Dose efectiva

$$E = \sum_T w_T H_T$$

$D_{T,R}$ dose média absorvida num tecido ou órgão, T , e tipo de radiação, R .

w_R factor de ponderação da radiação, R .

w_T factor de ponderação para o tecido, T .

estocásticos apenas para doses absorvidas abaixo dos limiares dos efeitos determinísticos (ICRP-60, 1990)

Comentário

Equivalente de dose

$$H_T = Q_T D_T$$

Dose equivalente

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

Referem-se ao campo de radiação nos órgãos

Depende do campo de radiação externo

O factor de ponderação da radiação depende do campo de radiação externo sem que exista um factor que dependa da distribuição do LET ou de outra característica qualquer do campo no tecido ou órgão

Dose equivalente

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

- Tem uma característica bi – local, depende simultaneamente da radiação interna e externa ao alvo de interesse.
- Esta característica complica o cálculo destas grandezas, principalmente em campos mistos (por exemplo, neutrões e gamas).
- Torna-se necessário separar quantitativamente a dose absorvida no órgão, em componentes devidas a cada um dos tipos de radiação, modificando cada componente com o factor w_R respectivo.

Dose efectiva e dose equivalente

- No que diz respeito à medida experimental de E e H_T , é necessária uma caracterização completa do campo externo, incluindo a distribuição direccional das fluências permitindo o cálculo de E para uma dada orientação e geometria do corpo humano.
- Esta especificação pode ser difícil de conseguir mesmo em campos uniformes, sendo muito difícil, senão impossível, em situações práticas de protecção radiológica.
- Por este motivo se refere por vezes que E e H_T são designadas grandezas não mensuráveis.

Experimentalmente utiliza-se o factor de qualidade

$$H_T = Q_T D_T$$

$$Q = Q(L)$$



Grandezas operacionais

- Equivalente de dose ambiental (H^*)
- Equivalente de dose individual (H_p)

Limites de risco

w_R

Grandezas de protecção

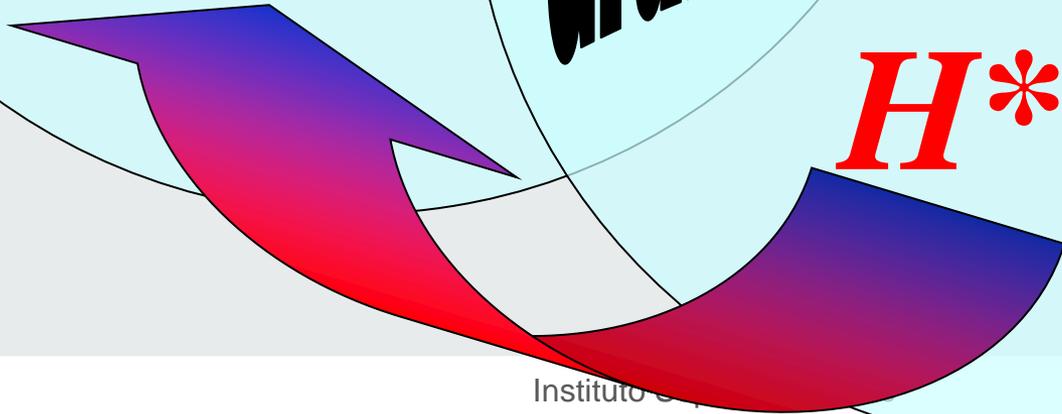
E, H_T

Monitorização

$Q(L)$

Grandezas operacionais

H^*, H_p



Esfera da ICRU (www.icru.org)

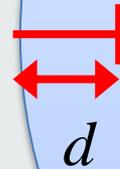
- Esfera com 30 cm de diâmetro em material equivalente a tecido com densidade de 1 g cm^{-3} e com a composição:
 - 76.2% de oxigénio
 - 11.1 % de carbono
 - 10.1 % de hidrogénio
 - 2.6% de azoto.

Equivalente de dose ambiental, $H^*(d)$

- Define-se para um ponto do campo de radiação.

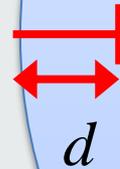
- É o equivalente de dose originado pelo respectivo campo expandido e alinhado na esfera da ICRU à profundidade d , no raio oposto à direcção do campo alinhado.
- As unidades são $[J\ kg^{-1}]$ com a designação especial sievert $[Sv]$.

Equivalente de dose ambiental, $H^*(d)$



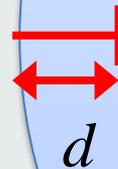
- Qualquer especificação do equivalente de dose deve incluir a profundidade de referência, d .
- Pode-se definir de modo semelhante a grandeza dose absorvida ambiental.

Equivalente de dose ambiental, $H^*(d)$



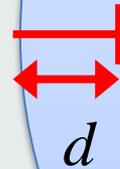
- Normalmente utiliza-se o $H^*(10)$ correspondendo à profundidade de 10 mm,
- o $H^*(0.07)$ e o $H^*(3)$ respectivamente para a *pele* e para o *olho*.

Equivalente de dose individual, $H_p(d)$



- É o equivalente de dose no tecido mole (o corpo humano é o material de interesse neste caso) a uma profundidade d sobre um determinado ponto.
- Devido à dispersão da radiação que depende da composição do material e da geometria, o $H_p(d)$ pode variar de indivíduo para indivíduo e no mesmo indivíduo varia com a localização do corpo.
- Torna-se portanto necessário especificar a localização no corpo, normalmente o tronco humano.
- Para as calibrações dos dosímetros utilizam-se fantomas: a esfera da ICRU (com raio de 30 cm), o fantoma em camada da ICRU (30 cm × 30 cm × 15 cm).
- Pretende-se com a utilização dos fantomas substituir o tronco humano.
- As unidades são as mesmas do equivalente de dose ambiental.
- Normalmente utiliza-se uma profundidade de 10 mm, na monitorização individual.

Equivalente de dose individual, $H_p(d)$



- Normalmente utiliza-se o $H_p(10)$ correspondendo à profundidade de 10 mm,
- o $H_p(0.07)$ e o $H_p(3)$ respectivamente para a *pele* e para o *olho*.

Incorporação de radionuclídeos

- A dose absorvida não pode ser medida directamente podendo apenas ser deduzida através de cálculo ou de medições indirectas

Incorporação de radionuclídeos

1. estimar a quantidade total de material radioactivo que entrou no corpo (“intake”)
2. estimar a dose efectiva devida à incorporação (“intake”)

Incorporação de radionuclídeos

Métodos experimentais

1. Monitorização de corpo inteiro, total ou parcial,
2. Monitorização dos excreta (fezes e urina)
3. Análise de amostras de ar

Dosimetria interna

(aspectos a considerar)

1. As doses internas não podem ser medidas directamente.
2. A distribuição da actividade no corpo é não homogénea.
3. As doses devidas à incorporação de radionuclidos prolongam-se no tempo podendo estender-se ao longo de toda a vida do indivíduo.
4. Cada radionuclido tem comportamentos próprios e distintos de outros.



DECN

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
E CIÊNCIAS NUCLEARES

TÉCNICO LISBOA

Dosimetria interna

Dose equivalente comprometida para um tecido ou órgão

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0 + \tau} \dot{H}_T(t) dt$$

Como o radionuclido irradia os órgãos do corpo após a incorporação, esta grandeza define-se como um integral temporal sobre o tempo τ da taxa de dose equivalente no tecido em questão.

Define-se como a dose equivalente total no tecido ou órgão comprometido durante τ anos após a incorporação.

Quando o período de integração não é fornecido admite-se um período de 50 anos para adultos ou um período que pode ir até 70 anos para crianças.

Dose efectiva comprometida

$$E(\tau) = \sum_T H_T(\tau) w_T$$

Quando o período de integração (τ) não é fornecido admite-se um período de 50 anos para adultos ou um período que pode ir até 70 anos para crianças.

Para cada tecido ou órgão, a dose equivalente comprometida é multiplicada pelo respectivo factor de ponderação do tecido obtendo-se a dose efectiva comprometida

População exposta à radiação

Dose colectiva

Não se faz qualquer especificação explícita acerca do intervalo de tempo em que a população esteve exposta originando a respectiva dose efectiva, pelo que esse tempo deve ser expressamente especificado na apresentação de valores de dose colectiva.

$$S = \int_0^{\infty} E \frac{dN}{dE} dE$$

$$S = \sum_i \bar{E}_i N_i$$

População do subgrupo i

Dose efectiva média para a população do subgrupo i

Unidade: man Sievert; man Sv (homem Sv)

Cultura de segurança

- Outra apresentação.

