



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Ciências da Saúde

Radiobiologia - efeito das radiações ionizantes na célula - e formas de protecção das radiações ionizantes

João Vítor de Almeida Moreira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Medicina
(ciclo de estudos integrado)

Orientador: Dr. Abel Salgueiro
Co-orientador: Dr. Manuel Simões

Covilhã, Junho de 2011

“Choose a job you love and you will never have to work a day in your life.”

Confúcio

Agradecimentos

Após vários meses de trabalho, gostaria de começar por agradecer a todos aqueles, que de forma directa ou indirecta, me ajudaram e tornaram possível a realização desta Dissertação de Mestrado.

Ao Dr. Abel Salgueiro, pela orientação, disponibilidade, compreensão e dedicação demonstrada ao longo da realização deste trabalho.

À Dra. Catarina Silva, pelo apoio prestado, amabilidade, amizade e disponibilização dos artigos necessários.

Ao Dr. Manuel Simões, pela dedicação, apoio e disponibilidade demonstrada.

A toda a minha família, que sempre esteve presente nos momentos mais difíceis, dando-me apoio incondicional, o que me ajudou muito a ser aquilo que sou hoje.

Aos meus amigos, pelo companheirismo, ajuda e amizade demonstrada ao longo de todos estes anos.

Resumo

A radiação ionizante é a radiação com energia suficiente para que durante uma interacção com um átomo, possa remover electrões fortemente vinculados à sua órbita, fazendo com que o átomo se torne carregado ou ionizado.

A radiação ionizante ocorre sob duas formas: ondas ou partículas. Ondas com maior comprimento, mas com frequência mais baixa (calor e rádio) têm menos energia do que aquelas com comprimentos mais curtos e frequência mais alta (radiação X e gama). Nem toda a radiação electromagnética é ionizante. Apenas a parte de alta frequência do espectro electromagnético, que inclui raios X e gama são ionizantes.

As formas específicas de radiação ionizante designam-se partículas de radiação, que consistem em partículas atómicas e subatómicas (electrões, protões, etc.) que transportam energia na forma de energia cinética ou de massa em movimento.

Desde sempre o Homem está exposto a radiação proveniente de fontes naturais (radiação de fundo) e, recentemente, de fontes artificiais.

Relativamente à radioactividade natural, há que ter em conta que existem pequenas quantidades de urânio, tório e outros elementos radioactivos que emitem baixos níveis de radiação ionizante. Outra fonte de exposição natural são os raios cósmicos. A grande maioria destes são filtrados pela atmosfera mas, em locais de grande altitude ou em voos comerciais, a exposição pode ser considerável, ao contrário do que sucede ao nível do mar. Os raios cósmicos podem também interagir com átomos na atmosfera terrestre criando isótopos radioactivos como é o caso do Carbono-14.

Os efeitos da radiação no corpo humano são complexos e dependem do tipo de radiação, mais concretamente da sua intensidade e energia.

A radiação ionizante, pela sua elevada energia, é capaz de penetrar na matéria, ionizar os átomos, romper ligações químicas e causar danos nos tecidos biológicos, como a presença de eritema, dermatite, lesão vascular e alopecia, cataratas e ainda alterações a nível dos sistemas hematopoiético, gastrointestinal, neuronal e vascular. A exposição a doses elevadas de radiação ionizante pode ainda resultar na destruição de células ou na indução de cancro.

No entanto, o uso de radiação ionizante tem inúmeras aplicações que apresentam largos benefícios para a sociedade e para os indivíduos. Um exemplo comum é o recurso à radiação ionizante em medicina, onde esta é largamente utilizada com fins diagnósticos (raio-X, TC e mamografia) e terapêuticos (radioterapia, braquiterapia e medicina nuclear).

No contexto industrial, as aplicações são igualmente vastas, destacando-se a radiografia industrial em ensaios não-destrutivos, esterilização por irradiação e os medidores nucleares de densidade, humidade, peso e nível de interface.

Devido aos efeitos deletérios da radiação ionizante no organismo humano, é necessário recorrer a diversos métodos para protecção, os quais estão devidamente

regulamentados pelas diferentes entidades e devem ser conhecidos e utilizados, não só por profissionais experientes, mas também pelo público em geral, que está exposto a radiações. Nos diferentes métodos de protecção, há que ter em conta os métodos de barreira (óculos, protectores das gónadas, aventais e luvas de chumbo, entre outros), tempo de exposição e distância à fonte de radiação.

O objectivo desta dissertação de mestrado passa por efectuar uma pesquisa bibliográfica acerca dos seguintes aspectos ligados à radiação ionizante: efeitos a nível celular; fontes de exposição a radiação; limites máximos de radiação a que um indivíduo pode estar exposto; medidas de protecção radiológica e sua fiscalização.

Palavras-Chave

Radiologia, protecção radiológica, fontes de radiação, radiação e gravidez, efeitos celulares da radiação, raio-X, radiação ionizante, limites de exposição, medicina nuclear, história da radiação, cancro e radiação, doses de radiação.

Abstract

Ionizing radiation is a kind of radiation with enough energy so that during an interaction with an atom, it can remove electrons strongly tied to its orbit, causing the atom to become charged or ionized.

Ionizing radiation occurs in two forms: waves or particles. Longer waves, but with lower frequency (heat and radio) have less energy than those with shorter lengths and higher frequency (X and gamma radiation). Not all electromagnetic radiation is ionizing. Only the high frequency part of the electromagnetic spectrum, which includes X-rays and gamma rays, is ionizing.

Specific forms of ionizing radiation are called radiation particles, which consist of atomic and subatomic particles (electrons, protons, etc.) that transport energy as kinetic energy or mass in motion.

Mankind has always been exposed to radiation from natural sources (background radiation) and recently, from artificial sources too.

With regard to natural radioactivity, it must be remembered that there are small amounts of uranium, thorium and other radioactive elements that emit low levels of ionizing radiation. Another source of natural exposure are cosmic rays. Most of these are filtered through the atmosphere, but in high altitudes or on commercial flights, the exposure can be considerable, unlike what happens at sea level. Cosmic rays can also interact with atoms in Earth's atmosphere creating radioactive isotopes such as Carbon-14.

The effects of radiation on the human body are complex and depend on the type of radiation, specifically its intensity and energy.

Ionizing radiation, for their high energy, can penetrate matter, ionize the atoms, break chemical bonds and cause damage to biological tissues such as erythema, dermatitis, vascular lesions, alopecia, cataracts, and even changes in the hematopoietic, gastrointestinal, neuronal and vascular systems. Exposure to high doses of ionizing radiation may also result in the destruction of cells or even cancer induction.

However, the use of ionizing radiation has many applications that have broad benefits for society and individuals. A common example is the use of ionizing radiation in medicine, where it is widely used for diagnostic purposes (X-ray, CT scans and mammography) and treatment (radiotherapy, brachytherapy and nuclear medicine).

In the industrial setting, applications are similarly extensive, especially in industrial radiography in non-destructive tests, sterilization by radiation and nuclear gauges of density, humidity, weight and interface level.

Due to the deleterious effects of ionizing radiation on the human body, it is necessary to use several methods for protection, which are properly regulated by different entities and should be known and used, not only by experienced professionals, but also by the general public exposed to radiation. The different protective methods that should be considered are:

barrier methods (protective glasses, gonads protectors, lead aprons and gloves, among others); exposure time; distance to the source of radiation.

The objective of this dissertation is to do a literature research on the following aspects of ionizing radiation: effects at cellular level; sources of radiation; maximum radiation dose that an individual can be exposed; radiation protection measures and its supervision.

Keywords

Radiology, radiation protection, radiation sources, radiation and pregnancy, radiation cellular effects, X-ray, ionizing radiation, exposure limits, nuclear medicine, radiation history, radiation cancer, radiation doses.

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract	vi
Lista de Figuras.....	xii
Lista de Tabelas	xiv
Lista de Acrónimos	xv
1.Introdução	1
2.Material e Métodos.....	2
3.Perspectiva Histórica da Radiação Ionizante	3
4.Desintegração Radioactiva - Tipos de Radiação	7
4.1.Natureza da Radioactividade.....	7
4.2.Partículas Alfa.....	7
4.3.Partículas Beta	7
4.4. Radiação Gama/ Raio-X	8
4.5.Neutrões	8
5.Unidades de Medida	9
5.1.Actividade	9
5.2.Exposição	9
5.3.Dose Absorvida	9
5.4.Factor de Qualidade	10
5.5.Dose Equivalente	10
6.Fontes de Exposição a Radiação Ionizante	12
6.1.Fontes Naturais de Radiação	12
6.2.Exposição a Radiação Associada à Tecnologia.....	12
7.Exposição a Radiação.....	14
7.1.Exposição Médica à Radiação.....	15
7.2.Exposição dos Pacientes à Radiação	15
8.Exposições em “Nome da Lei”	18
8.1.Determinação da Idade.....	18
8.2.Abuso Infantil	18
8.3.Prevenção de Actividades Ilegais/ Controlo da Entrada de Pessoas e Materiais nas Fronteiras.....	18
9.Efeitos Biológicos da Radiação	20
9.1.Classificação dos Efeitos Biológicos	20
9.2.Interacção da Radiação com os Tecidos.....	20
9.3.Radiobiologia Celular	23
9.3.1.Alvos na Célula.....	23

9.3.2.Efeitos da Radiação no DNA	23
9.4.Factores que Afectam a Sensibilidade Celular à Radiação	24
9.4.1.Factores Condicionais.....	24
9.4.2.Factores Inerentes.....	26
9.5.Resposta dos Sistemas Orgânicos à Radiação	27
9.5.1.Regeneração e Reparação	27
9.5.2.Resposta de Sistemas Orgânicos Específicos.....	28
9.6.Síndrome de Radiação Aguda.....	30
9.6.1.Sequência de Eventos.....	30
9.6.2.Síndrome Hematopoiética	31
9.6.3.Síndrome Gastrointestinal	32
9.6.4.Síndrome Neurovascular.....	32
9.6.5.Interrelações da Síndrome de Radiação Aguda.....	33
9.7.Carcinogénese Induzida pela Radiação	33
9.7.1.Modificadores da Carcinogénese Induzida pela Radiação	34
9.7.2.Investigação Epidemiológica de Carcinomas Induzidos pela Radiação	34
9.8.Modelos de Estimativa de Risco	34
9.8.1.Curvas de Dose-resposta	34
9.8.2.Modelos de Risco.....	35
9.8.3. Estimativas de Risco BEIR V e BEIR VII	36
9.9.Efeitos Hereditários da Exposição a Radiação	38
9.9.1.Efeitos Genéticos Induzidos pela Radiação em Humanos.....	38
9.9.2.Risco Genético Estimado	39
9.10.Efeitos Benéficos da Radiação	39
9.10.1.American Nuclear Society	39
9.10.2.Comissão Internacional para Protecção Radiológica.....	39
10.Actividades do Quotidiano vs Radiação.....	41
10.1.Quantificar o Risco.....	41
11.Radiação e Gravidez	43
11.1.Posição da Legislação Portuguesa.....	44
11.2.Efeitos da Radiação no Útero	44
11.2.1.Efeitos da Radiação e Gestação	44
11.2.2.Incidência de Cancro Após Irradiação Intra-uterina	45
11.2.3.Risco da Exposição Intra-uterina a Radionuclídeos	45
12.Perspectiva Histórica da Protecção Contra Radiação	46
13.Medidas de Protecção Radiológica	48
13.1.Critérios Básicos de Aceitabilidade das Directivas Europeias	48
13.1.1.Requisitos da Directiva de Exposição Médica	48
13.1.2.ALARA	49
13.2.Protecção Radiológica e Controlo Exposicional.....	49

13.2.1. Protecção Interna	49
13.2.2. Protecção Externa	52
13.3. Protecção de Células Saudáveis Durante a Radioterapia	55
13.4. Procedimentos para Reduzir a Dose de Exposição a Raio-X	57
13.4.1. Recomendações Gerais	57
13.4.2. Recomendações para Operação de Unidades Radiográficas	57
13.4.3. Recomendações para Operação de Unidades Fluoroscópicas	57
13.4.4. Recomendações para Operação de unidades Móveis	58
13.5. Procedimentos para Minimizar a Dose para os Pacientes	58
13.5.1. Diário da República	58
13.5.2. Orientações para a Prescrição de Exames Diagnósticos de Raio-X	58
13.5.3. Orientações Radiográficas em Grávidas	58
13.5.4. Recomendações para Procedimentos Fluoroscópicos	59
13.6. Protecção Radiológica em Instalações Médicas Radioactivas	59
13.6.1. Manutenção e Valorização da Segurança e Medidas de Protecção para Equipamentos e Fontes Radioactivas	59
13.6.2. Formação dos Trabalhadores Expostos Durante Seus Devers Profissionais	60
13.7. Legislação Portuguesa Quanto à Protecção em Áreas de Radiação	60
14. Medição das Fontes Internas e Externas de Radiação Ionizante	61
14.1. Medição da Radiação Interna	61
14.2. Medição da Radiação Externa	62
14.2.1. Crachás com Película	63
14.2.2. Dosímetros Termoluminescentes e Luminescentes Opticamente Estimulados	63
14.2.3. Dosímetros de Bolso	64
14.3. Campos de Radiação e Pesquisas de Contaminação	65
14.3.1. Medições de Campo de Radiação Ionizante	65
14.3.2. Análises Laboratoriais de Amostras Ambientais	66
14.4. Diário da República - Dosimetria das Radiações	67
14.5. Bioindicadores em Protecção Radiológica	67
14.5.1. Primeiros Bioindicadores: Sintomas Físicos	67
14.5.2. Aberrações Cromossómicas e Multinucleares	67
14.5.3. Micronúcleos	67
14.5.4. Medição da Expressão Proteica	68
15. Organizações Responsáveis pela Implementação de Medidas de Radioprotecção e Fiscalização Radiológica em Portugal	69
16. Papel e Actividade de Organizações Internacionais no Campo das Aplicações Médicas da Radiação Ionizante	70
16.1. Agência Internacional de Energia Atómica (AIEA)	70
16.2. Comissão Internacional de Protecção Radiológica (CIPR)	71
16.3. Comité Científico das Nações Unidas nos Efeitos da Radiação Atómica (UNSCEAR) ...	72

16.4. Organização Mundial de Saúde (OMS)	72
17. Contra-ordenações e Sanções Acessórias	74
18. Conclusão	75
19. Bibliografia	77
Anexos	82
Anexo I	82
Anexo II	84
Anexo III	85
Anexo IV	90
Anexo V	91

Lista de Figuras

Figura 1: Cópia do primeiro raio-X de Wilhelm Röntgen.....	3
Figura 2: Dose efectiva anual média de radiação a que está exposta a população dos EUA ...	13
Figura 3: Pórticos detectores de metal	19
Figura 4: Respostas físicas e biológicas à radiação ionizante.	21
Figura 5: Relação entre os valores de RBE e LET	22
Figura 6: Mutações de DNA.....	24
Figura 7: Curvas de sobrevivência celular, ilustrando o efeito da taxa de dose	24
Figura 8: Curvas de sobrevivência celular, ilustrando o maior dano produzido pela radiação com LET alta a 10% de sobrevivência	25
Figura 9: Curvas de sobrevivência celular, demonstrando o efeito do oxigénio durante LET baixa e alta	26
Figura 10: Resposta do sistema orgânico à radiação.	27
Figura 11: Radiodermatite	28
Figura 12: Catarata.....	29
Figura 13: Fases da Síndrome de Radiação Aguda	30
Figura 14: Depressão hematológica típica depois da exposição da medula óssea a doses de (A) 1 Gy e (B) 3 Gy	31
Figura 15: Interrelações entre os diversos constituintes da SRA.	33
Figura 16: Modelos dose-resposta linear e linear-quadrático.....	34
Figura 17: Comparação dos modelos multiplicativo e aditivo	35
Figura 18: Incidência de cancro associado à radiação, numa população de 100 indivíduos....	38
Figura 19: Sinal de Aviso.....	51
Figura 20: Equipamento de raio-X	51
Figura 21: Equipamento fluoroscópico	51
Figura 22: Lei do inverso do quadrado	53
Figura 23: Métodos de barreira dos diversos tipos de radiação.	54
Figura 24: Aventais de Chumbo	54
Figura 25: Protectores de gónadas e óculos protectores	55
Figura 26: Luvas com chumbo	55
Figura 27: Laboratório de Cateterização Cardíaca, Hospital de San Carlos, Madrid.....	55
Figura 28: Seringa com escudo	55
Figura 29: Detector de Corpo Inteiro.....	61
Figura 30: Detector de germânio de baixa energia de base pulmonar	62
Figura 31: Componentes de um detector de cintilação.....	62
Figura 32: Crachá com película	63
Figura 33: Dosímetro termoluminescente (TLD)	64
Figura 34: Anel TLD.....	64

Figura 35: Câmara de ionização de bolso	64
Figura 36: Dosímetro de bolso digital	64
Figura 37: Detector GM compensado a energia	66
Figura 38: Detector GM tipo “panqueca”, de janela estreita	66
Figura 39: Sistema de monitorização de solo, com matriz multidetectora.	66
Figura 40: Espectrómetro de radiação gama, in situ	66
Figura 41: Trifólio de perigo radioactivo	85
Figura 42: Perigo radioactivo	85

Lista de Tabelas

Tabela 1: Factores de Qualidade	10
Tabela 2: Relação entre as diferentes unidades de energia.	11
Tabela 3: Dose efectiva anual média de exposição a radiação por ocupação, nos EUA.	13
Tabela 4: Dose limite anual recomendada (em mSv) para cada órgão ou tecido	14
Tabela 5: Evolução temporal da dose a que estão expostos os trabalhadores em diversas técnicas médicas.....	15
Tabela 6: Doses efectivas características dos exames de radiodiagnóstico na década de 90..	15
Tabela 7: Doses de radiação a que o ser humano está exposto na realização de actividades do quotidiano.....	17
Tabela 8: Classificação da Sensibilidade Radiológica Celular.....	26
Tabela 9: Efeitos da radiação na pele	28
Tabela 10: Risco global e probabilidades relativas de mortalidade devido a cancro induzido por radiação em vários órgãos, por diferentes grupos etários.....	36
Tabela 11: Incidência espontânea e sensibilidade dos vários tecidos a cancro induzido pela radiação	37
Tabela 12: Risco associado à realização de diversas actividades do quotidiano	41
Tabela 13: Risco associado à realização de alguns exames médicos com o número de cigarros fumados e de quilómetros (km) conduzidos em auto-estrada, e a possibilidade de desenvolver cancro fatal	42
Tabela 14: Métodos de monitorização pessoal	65

Lista de Acrónimos

^{131}I - Iodo-131

^{226}Ra - Rádio-226

AIEA - Agência Internacional de Energia Atómica

ALARA - As Low As Reasonably Achievable

AP - Antero-Posterior

ARS - Autoridades Regionais de Saúde

BEIR - Biological Effects of Ionizing Radiation

Bq - Becquerel

BSS - Basic Safety Standards

CA - Chromosomal Aberrations

CDK - Cyclin-dependent kinase

Ci - Curie

CIPR - Comissão Internacional para Protecção Radiológica

cm - centímetro

CNPCR - Comissão Nacional de Protecção Contra Radiações

dC - depois de Cristo

DGS - Direcção Geral de Saúde

DNA - Deoxyribonucleic Acid

dpm - desintegrações por minuto

dps - desintegrações por segundo

DRE - Direcção Regional de Economia

EM - Estados Membros

EUA - Estados Unidos da América

EURATOM - European Atomic Energy Community

FISH - Hibridação Fluorescente *In Situ*

GBq - GigaBecquerels

GI - Gastrointestinal

GM - Geiger-Mueller

Gy - gray

I-125 - Iodo-125

INK - Inibidor da Quinase Ciclina-Dependente

IR - Ionizing Radiation

J - joule

kg - quilograma

LET - Linear Energy Transfer

LiF - Lithium Fluoride

LiFTLD - Lithium Fluoride Thermoluminescent Dosimeter

MBq - MegaBecquerels
MN - Micronúcleos
NCRP - National Council on Radiation Protection
NF-Kb - Nuclear Factor Kappa B
OMS - Organização Mundial de Saúde
OSL - Optically Stimulated Luminescence
p53 - proteína 53
PIC - Pressurized Ion Chamber
Po - Polónio
pRb - Proteína do Retinoblastoma
QF - Quality Factor
R - Röntgen
rad - radiation absorbed dose
Rb - Retinoblastoma
RBE - Relative Biological Effectiveness
rem - roentgen equivalent man
RNA - Ribonucleic Acid
SI - Sistema Internacional
SNC - Sistema Nervoso Central
SRA - Síndrome de Radiação Aguda
Sv - Sievert
Tc -99m - Tecnécio-99-metaestável
TLD - Thermoluminescent Dosimeter
UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
WR 2721 - Ácido S-2-(3-Aminopropilamino)etilfosforotióico
ZnS - Sulfureto de zinco

1. Introdução

A radiação está presente desde sempre no nosso planeta. Nos primórdios, esta era proveniente somente de fontes naturais, como radiação cósmica e material radioactivo proveniente do corpo, rochas, solo e ar. Os primeiros efeitos adversos para a saúde associadas à exposição a radiação foram relatados em 1400 dC, quando mineiros desenvolveram aquilo que hoje se pensa ter sido cancro pulmonar, causado pela exposição ao radão.

Só em 1895 é que foram descobertos os raios-X, assim designados pelo facto de não se saber qual a sua origem, e começaram a ser realizadas as primeiras experiências com radiação, tendo demorado somente um ano até que se começasse a utilizar a radiação em medicina para a obtenção de diagnósticos. Com a utilização cada vez maior da radiação ionizante, começaram também a ser relatados os primeiros efeitos adversos resultantes da sua utilização, tendo sido a lesão ocular, alopecia e eritema os primeiros a ser identificados (1).

Com o aparecimento dos efeitos adversos surgiu a necessidade de procurar formas de protecção deste tipo de radiação. Actualmente existem diversos métodos de protecção radiológica que se encontram em constante evolução (2).

Com a evolução do conhecimento acerca da radiação ionizante, foram desenvolvidas as primeiras bombas atómicas, que causaram morte e destruição nas cidades de Hiroshima e Nagasaki, no Japão. Os efeitos desta radiação nos indivíduos são actualmente das poucas fontes de estudo disponíveis acerca da acção da radiação ionizante no ser humano, tanto a curto como a longo prazo (1).

No entanto, o uso da radiação com fins pacíficos também tem evoluído, nomeadamente como fonte de energia eléctrica para diversos países (1) e na ajuda às autoridades para a manutenção da ordem (3).

Devido à importância com que a radiação ionizante surge no mundo actual, nomeadamente no caso dos profissionais de saúde (procedimentos diagnósticos e tratamento), mas também para a população em geral (diversas actividades profissionais estão expostas a radiação ionizante), deve-se procurar uma actualização constante, no que é respeitante aos efeitos da radiação a nível celular, os principais cuidados a ter quando a esta se recorre, e também quais as principais formas de protecção radiológica. Aliado a estes aspectos é ainda de salientar o recente problema associado à central nuclear de Fukushima, desencadeado pelo terramoto no Japão, e que levou a comunidade internacional (inclusive Portugal devido às centrais nucleares existentes do lado espanhol da fronteira) a pôr em causa a segurança das centrais nucleares.

Tendo em conta os factos supracitados, o objectivo desta dissertação de mestrado, passa por efectuar uma pesquisa bibliográfica acerca dos seguintes aspectos ligados à radiação ionizante: efeitos a nível celular; fontes de exposição a radiação; limites máximos de radiação a que um indivíduo pode estar exposto; medidas de protecção radiológica e sua fiscalização.

2. Material e Métodos

A pesquisa dos artigos realizou-se entre Setembro de 2010 e Março de 2011, recorrendo-se para tal à base de dados da *PubMed*, *MEDLINE*, sites do “*American Journal of Roentgenology*”, “*ORAMED*”, “*Radiographics*”, “*The New England Journal of Medicine*”, “*Diário da República*”, “*EURATOM*”, “*Direcção-Geral de Saúde*” e “*World Health Organization*”.

As palavras-chave utilizadas foram: *radiology*, *radiation protection*, *radiation sources*, *radiation and pregnancy*, *radiation cellular effects*, *X-ray*, *ionizing radiation*, *exposure limits*, *nuclear medicine*, *radiation history*, *radiation cancer*, *radiation doses*.

Procedeu-se posteriormente à selecção dos artigos, mais relevantes em língua inglesa e portuguesa. Foram incluídos artigos de revisão, estudos prospectivos e ensaios clínicos. Recorreu-se ainda a alguns livros de referência na área da radiologia.

3. Perspectiva Histórica da Radiação

Ionizante

A radiação ionizante está presente desde que a Terra foi criada. Antes da década de 1890, existiam apenas fontes naturais de radiação, tais como a radiação de origem cósmica, e material radioactivo proveniente do corpo, rochas, solo e ar. Grande parte da exposição à radiação deu-se sob a forma de radiação cósmica ou terrestre de baixo nível. Como a radiação não pode ser observada através de qualquer um dos cinco sentidos, os humanos não tinham conhecimento da sua existência.

Acerca de 1.800.000 anos atrás, o único "reactor nuclear" natural conhecido, operava no solo rico em urânio perto do que é agora Oklo, Gabão. A primeira utilização conhecida do urânio ocorreu em 79 dC (depois de Cristo), quando artesãos romanos estavam a fabricar um mosaico de cor amarelada, perto de Nápoles. Esta actividade produzia baixos níveis de radiação. Os primeiros relatos de efeitos adversos para saúde relacionados com a radiação estiveram associados à inalação de gás radónico e seus constituintes e ocorreu por volta de 1400 dC, quando uma misteriosa doença resultou na morte de mineiros em idade precoce nas montanhas próximas a Schneeberg e Joachimsthal nos Sudetos (República Checa). Esta misteriosa doença era conhecida como "O mal da montanha" e acredita-se agora ter sido cancro pulmonar. Quando a doença da montanha foi pela primeira vez descrita, o radão não era conhecido e não estava ligado a doenças, até 1920, quando o gás radónico foi identificado como uma causa de carcinoma pulmonar (1,2).

Só a partir da descoberta dos raios misteriosos ou "raio-X" em 1895 é que as pessoas começaram a tomar consciência da quase mágica presença destes "raios" invisíveis que nos permitem ver dentro do corpo. No Verão de 1894, Wilhelm Röntgen iniciou experiências com tubos de raios catódicos. No dia 8 de Novembro de 1895, ele observou alguns cristais de paltinocianeto de bário que estavam em cima de uma mesa e que produziam um brilho fluorescente. De seguida verificou a presença de um componente desconhecido ("X"), proveniente do tubo de raios catódicos, que penetrava as substâncias sólidas, e que os "raio-X" tinham o mesmo efeito que a luz visível sobre uma chapa fotográfica. O que se seguiu foi a primeira "exposição Röntgen", ou "radiografias", que eram fotografias capazes de mostrar as formas dos objectos de metal dentro de uma caixa de madeira e os ossos das mãos de sua esposa (Figura 1).



Figura 1: Cópia do primeiro raio-X de Wilhelm Röntgen, que corresponde à mão da sua mulher e anel de casamento. Tirada em 22 de Dezembro de 1895 (4).

Um mês depois, Röntgen enviou um manuscrito sobre a sua extraordinária descoberta à Associação Física Médica em Wuerzburg, intitulado “*Relativamente a um novo tipo de raio: Relatório Preliminar*”. Outros periódicos, tais como *Nature* e *Science* publicaram o relatório no ano seguinte. Röntgen foi aclamado devido à sua descoberta pelas comunidades científica e leiga, nos anos subsequentes. Outros rapidamente encontraram aplicações práticas para os raio-X (também chamados de "raios Röntgen"). Em 1896, o primeiro diagnóstico com recurso a raio-X foi feito nos Estados Unidos por E. Frost. No espaço de dois anos foi obtida, a primeira imagem raio-X de um feto in útero, o que foi seguido pela estreia desta radiação em odontologia.

Efeitos adversos para a saúde devido à exposição aos raio-X foram rapidamente comunicados. Estes incluíram um relatório por Thomas Edison, em que este afirma que a exposição aos raio-X pode provocar lesão ocular, e um relatório de Daniel, identificando alopecia e eritema três semanas depois de este ter radiografado a cabeça do assistente de Thomas Edison (1,2).

A descoberta por Röntgen dos raio-X foi seguida pela descoberta por Henri Becquerel da radioactividade, em Novembro de 1896. Becquerel descobriu que as chapas fotográficas que estavam próximas à pechblenda (variedade, provavelmente impura, de uraninita. Dela é retirado o urânio.) foram expostas, apesar de estarem seladas em envelopes à prova de luz. A exposição que encontrou, foi devida a radiações emitidas a partir da pechblenda. Estudos subsequentes mostraram que havia três tipos diferentes de radiação, a que chamou de radiações alfa, beta e gama. Posteriormente, verificou-se que os raio-X de Röntgen e os raios gama de Becquerel são o mesmo tipo de radiação.

Após estas descobertas, o interesse científico nas propriedades da radiação aumentou dramaticamente.

Tório radioactivo foi descoberto por Schmidt em 1898. Poucos meses depois, Marie e Pierre Curie isolaram polónio (Po) a partir de pechblenda. O casal Curie posteriormente isolou o rádio radioactivo (^{226}Ra) a partir da pechblenda e explicou a transformação natural de um átomo instável, de um maior número atómico, num de menor número atómico, processo conhecido como transformação ou "decaência". O casal Curie, em última análise cunhou a palavra "radioactividade."

Nos anos seguintes outros cientistas notáveis contribuíram para esta nova área científica:

- Villard descobriu os raios gama;
- Rutherford descobriu gases radioactivos provenientes de tório e cunhou o termo "meia-vida" e partículas alfa usadas para desenvolver um novo modelo teórico do átomo;
- Planck criou a teoria quântica;
- Einstein descobriu a relação massa-energia e o efeito fotoeléctrico;
- Hess relatou a existência de "Raios cósmicos " (radiação ionizante) em altas altitudes (1).

Em 1904, Ernest Rutherford disse: "Se alguma vez fosse possível controlar como quiséssemos a taxa de desintegração dos rádio-elementos, uma enorme quantidade de radiação poderia ser obtida a partir de uma pequena quantidade de matéria". Esta declaração expressou as implicações óbvias para a utilização dos radionuclídeos (urânio, em particular, e plutónio) na geração de grandes quantidades de energia eléctrica em reactores nucleares e na produção de armas nucleares, aproximadamente, 40 anos depois. A utilização da "bomba atómica" (este termo é um tanto equívoco, uma vez que é o núcleo do qual essa energia deriva) daria uma contribuição importante para término da Segunda Guerra Mundial.

Em Hiroshima, com uma população civil de cerca de 250.000 pessoas, 45.000 morreram no primeiro dia após o bombardeamento e mais 19.000 morreram durante os quatro meses subsequentes. Em Nagasaki, com uma população residente de cerca de 174.000, um número estimado de 22.000 morreram no primeiro dia e houve 17.000 mortes adicionais durante os quatro meses seguintes. Os efeitos teratogénicos em fetos fortemente expostos foram graves, resultando em deformidades ao nascimento e muitos óbitos fetais ao longo dos nove meses seguintes. A principal fonte de radiação para a população das duas cidades foi proveniente das radiações gama penetrantes. O estudo dos sobreviventes japoneses tem provado ser muito valioso para se perceber melhor os efeitos para a saúde da radiação em baixas doses (1,2).

O desenvolvimento das "bombas atómicas" tem recebido mais atenção do que o uso pacífico da energia atómica e da radiação. O uso da radiação com fins pacíficos também tem evoluído com bastante êxito. Uma aplicação importante tem sido na geração de fontes de energia segura, controlada e de longo prazo para a população civil. A 20 de Dezembro de 1951, iniciou-se a produção de electricidade utilizando energia nuclear. Hoje, quase 25% da electricidade gerada nos EUA provem da energia nuclear. Outros países obtêm proporções muito maiores do seu fornecimento eléctrico a partir desta fonte de energia (França, 80%; Suécia 47%; Japão 30%; Alemanha 29%).

Embora os reactores nucleares continuem a ser utilizados como fonte de energia por vários países, a preocupação pública sobre a segurança destes tem-se intensificado devido a acidentes. No entanto, apenas três dos acidentes envolveram reactores nucleares: Three Mile Island, Chernobyl (1) e Fukushima (este último no dia 11 de Março do presente ano).

O uso médico de máquinas produtoras de radiação e radionuclídeos emissores de radiação também foi desenvolvido, e estes desempenham um papel significativo no diagnóstico e tratamento médico. Quantidades controladas de radiação na forma de raio-X são utilizadas há já um século, como auxiliar no diagnóstico e tratamento de doenças. Hoje sabe-se quais os efeitos das altas doses de raio-X para a saúde, bem como de outros tipos de radiação, no entanto, isso nem sempre foi o caso:

- Em 1947 a tinea do couro cabeludo era tratada com 400 rad (4 Gy) de raio-X para provocar alopecia; mais tarde constatou-se que este esquema de tratamento conduzia a um aumento da incidência de tumores de tiróide e cancro no cérebro.

- Radium-224 foi utilizado no tratamento da espondilite anquilosante na década de 1940; estes tratamentos mais tarde foram associadas a um aumento da incidência de tumores ósseos (1).

4. Desintegração Radioactiva - Tipos de Radiação

Há vários modos pelos quais um átomo instável pode desintegrar-se para uma configuração mais estável. Uma breve revisão das formas comuns de radiação ionizante e suas características é essencial para a compreensão das razões de uma protecção específica contra as radiações.

4.1. A Natureza da Radioactividade

Quando um nuclídeo radioactivo decai, uma transmutação ocorre. O produto da desintegração torna-se um átomo de um novo elemento com propriedades químicas diferentes do átomo original. Com cada transmutação, uma emissão a partir do núcleo ocorre. Há várias formas de desintegração associadas a cada emissão (5).

4.2. Partículas Alfa

São partículas ejectadas a alta velocidade do núcleo de alguns átomos, quando estes se desintegram. Consiste num aglomerado de quatro partículas, dois prótons e dois neutrões, e tem uma carga positiva de dois. Devido à sua massa e carga eléctrica, estas partículas desaceleram muito rapidamente e não conseguem penetrar muito profundamente.

Não conseguem penetrar a camada de células mortas da pele, que cobre o corpo, daí a exposição externa do corpo a estas partículas não representar grande perigo. No entanto, dentro do corpo, os emissores alfa são muito significativos. Como estas partículas sofrem muitas interacções com os átomos vizinhos, elas depositam toda a energia num volume muito pequeno ($3 \times 10^{-9} \text{ cm}^3$ no músculo). Um depósito de energia desta magnitude dentro do núcleo duma célula irá praticamente garantir a sua destruição. Por esta razão, precauções extremas devem ser tomadas para evitar a entrada de fontes de radiação alfa no organismo por inalação, ingestão ou punção (6).

4.3. Partículas Beta

São idênticas a um electrão, com a excepção de serem provenientes do núcleo e não da cápsula exterior. Tem uma carga eléctrica de menos um e uma massa que é $1/7347$ da massa de uma partícula alfa. Por esta razão, as partículas beta conseguem penetrar muito mais profundamente que as alfa, no entanto não conseguem atingir os órgãos internos.

Se ingerida ou inalada, uma fonte de radiação beta em contacto próximo com o tecido corporal, pode depositar energia num pequeno volume desse tecido. Externamente estas partículas são potencialmente perigosas para a pele e olhos. Tal como acontece com a

radiação alfa, fontes dentro do corpo, no interior das células ou incorporadas em moléculas biologicamente activas, podem transmitir doses significativas provocando incapacitação ou morte celular (6).

Nota: As partículas beta podem ser carregadas positiva ou negativamente. As partículas beta positivas são uma forma de anti-matéria e não são comumente usadas, daí ter-se falado somente na carga eléctrica negativa (2).

4.4. Radiação Gama / Raio-X

Os raios gama e X são radiação electromagnética e não têm carga eléctrica. Os raio-X originam-se na nuvem de electrões em torno do núcleo como consequência do movimento da carga de níveis mais elevados de energia para níveis mais baixos. Os raios gama resultam de um rearranjo de prótons e neutrões que constituem o núcleo.

Como a radiação gama/ raio-X não tem carga nem massa, tem uma capacidade de penetração muito elevada. A atenuação refere-se à redução na intensidade da radiação gama e X. Quanto maior a energia do fóton, mais materiais serão necessários para atenuar a sua intensidade.

É de notar, no que respeita à segurança da radiação, que os métodos barreira reduzem a intensidade da radiação electromagnética, mas estatisticamente esta nunca chega a zero, contrariamente às partículas alfa e beta que, por causa da sua desaceleração, podem ser completamente blindadas.

A pele atenua muitos dos fótons com energia inferior a 0,01 MeV. Estes fótons podem ser um perigo para a pele decorrente da radiação externa. Fótons de energia superior penetram distâncias consideráveis dentro e através do corpo humano. Fótons com esta energia são considerados um perigo para todo o corpo, proveniente da radiação externa. Emissores internos de radiação gama e X também são um perigo, devendo ser tomadas precauções para evitar absorções internas (5).

4.5. Neutrões

São emitidos durante reacções nucleares. Não têm carga e devido a isso têm uma capacidade de penetração elevada. Uma interacção directa ocorre como resultado de uma colisão entre um neutrão e um núcleo. Uma partícula carregada ou outra radiação ionizante pode ser emitida durante este processo. A radiação emitida pode causar ionização nas células humanas, processo designado “ionização indirecta”.

Como os neutrões têm a capacidade de penetrar através do corpo, são considerados um perigo para todo o organismo. A exposição à radiação de neutrões, tanto de fontes externas como internas ao organismo, é preocupante devido ao dano biológico que estas podem causar, dano este que é consideravelmente maior que aquele provocado pela mesma dose de radiação gama ou beta (5).

5. Unidades de Medida

5.1. Actividade

A quantidade de actividade de um radioisótopo é expressa em termos do número de desintegrações que o núcleo sofre por unidade tempo. Tendo em conta que a unidade fundamental do tempo é o segundo, a quantidade de actividade é medida em desintegrações por segundo (dps). Como o segundo é um período de tempo muito curto para fazer uma medição, a actividade é geralmente medida em desintegrações por minuto (dpm) (5).

A unidade histórica de actividade é o curie. O curie é uma unidade muito grande da actividade e é definido como 3.7×10^{10} dps (6).

A unidade SI de actividade é o becquerel. O becquerel é uma unidade muito pequena de actividade e é definido como 1 dps. Mais unidades adequadas para expressar actividade são megabecquerels (MBq ou 1×10^6 becquerels) e gigabecquerels (GBq ou 1×10^9 becquerels) (5).

5.2. Exposição

Exposição é uma medida da capacidade dos fotões (X e gama) para produzir ionização no ar. Tradicionalmente, a unidade de exposição é o roentgen (R). A unidade é definida como a soma da carga por unidade de massa de ar, que é:

$$1 \text{ Roentgen} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ coulombs / kg de ar}$$

Não há unidade SI definida (5).

5.3. Dose Absorvida

Unidades de dose quantificam a quantidade de energia absorvida ou depositada por unidade de massa. A unidade de dose absorvida é o rad, que é um acrónimo para dose de radiação absorvida (radiation absorbed dose). O rad pode ser aplicado para todos os tipos de radiação e é definido como a deposição de qualquer radiação de 100 ergs de energia num grama de qualquer material (5).

Nota: Para simplificar, um rad de fotões é geralmente considerado equivalente a 1 R. A relação física real é que a exposição a 1 R produziria uma dose absorvida de 0,87 rad no ar (5).

A unidade SI de dose absorvida é o gray (Gy), equivalente à deposição de um joule de energia por quilograma (1 J/kg). $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$.

Embora o rad e o gray sejam medidas de ionização produzida, não dão quaisquer informações acerca dos efeitos biológicos da radiação que é absorvida (5).

5.4. Factor de Qualidade

O factor de qualidade (quality factor, QF) é usado para relacionar a dose absorvida de vários tipos de radiação com os danos biológicos causados nos tecidos expostos. O QF é necessário para relacionar os efeitos da radiação, pois as mesmas quantidades absorvidas (energia por kg de tecido) de diferentes tipos de radiação causam diferentes graus de lesão. O QF converte a dose absorvida numa unidade de dose equivalente que pode ser adicionada e comparada ao dano causado por qualquer tipo de radiação.

Há um QF associado a cada tipo e energia de radiação (Tabela 1). Um QF elevado indica que aquele tipo de radiação tem um maior risco biológico ou maior efeito que a radiação com um factor de valor inferior para a mesma dose absorvida (5).

Tabela 1: Factores de Qualidade (5).

TIPO DE RADIAÇÃO	QF
Raio-X	1
Raios Gama	1
Partículas Beta	1
Neutrões	3-10
Partículas Alfa	20

5.5. Dose Equivalente

A dose equivalente é calculada através da dose absorvida multiplicada pelo QF, o que relaciona o risco relativo do tipo de radiação absorvida com o risco da mesma dose de radiação X ou gama.

A unidade tradicional de dose equivalente é o rem, que é um acrónimo para roentgen equivalente no homem (roentgen equivalent man). O rem é a quantidade de radiação ionizante, cujo efeito biológico (no homem) é igual àquele produzido por um roentgen de raio-X ou radiação gama. A dose equivalente em rem é numericamente igual à dose absorvida em rad multiplicada pelo QF:

$$rem = rad \times QF$$

A unidade SI é o sievert (Sv). A dose equivalente em sieverts é igual à dose absorvida em grays multiplicada pelo QF:

$$sievert = gray \times QF$$

Uma vez que, um gray é igual a 100 rad, segue-se que:

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

Para todos os efeitos práticos, a quantidade de rads é igual à quantidade de rems para a radiação beta, gama e X (5).

A Tabela 2 mostra a relação entre as diferentes unidades.

Tabela 2: Relação entre as diferentes unidades de energia (1,7)

QUANTIDADE	DEFINIÇÃO	UNIDADES TRADICIONAIS	UNIDADES SI	RELAÇÃO
ACTIVIDADE	Taxa de emissão de radiação (transformação ou desintegração, a partir de uma substância radioactiva)	Curie (Ci)	Becquerel (Bq)	$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ $1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps}, 1 \text{ S}^{-1}$
DOSE ABSORVIDA	Energia concedida pela radiação por unidade de massa num material absorvente	rad	Gray (Gy)	$1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Gy}$ $1 \text{ Gy} = 1 \text{ Jkg}^{-1}$
DOSE EQUIVALENTE	Expressão da dose, em termo dos seus efeitos biológicos	rem	Sievert (Sv)	$1 \text{ rem} = 0.01 \text{ Sv}$ $1 \text{ Sv} = 1 \text{ Jkg}^{-1}$

6. Fontes de Exposição a Radiação Ionizante

Aproximadamente 80% da radiação ionizante a que estamos expostos é resultante de fontes naturais, enquanto os restantes 20% derivam da utilização tecnológica de fontes tanto naturais como artificiais de radiação (8).

6.1. Fontes Naturais de Radiação

Estas incluem raios cósmicos, radionuclídeos cosmogénicos e radionuclídeos primordiais e seus produtos de degradação. A dose equivalente média *per capita* de radiação cósmica a que estamos expostos é 270 μSv (27 mrem) por ano. Existem, no entanto, certas actividades, em que os indivíduos estão expostos a maior radiação cósmica, como são os casos das tripulações das aeronaves. Os radionuclídeos primordiais (materiais radioactivos que estão presentes na Terra desde a sua formação) e os seus produtos de degradação, são a maior fonte de exposição a radiação terrestre (8).

6.2. Exposição a Radiação Associada à Tecnologia

Os avanços tecnológicos conduziram a uma maior exposição da população à radiação. Esta exposição é feita por diferentes fontes: utilização tecnológica de fontes naturais de radiação e fontes artificiais de radiação.

1. *Utilização Tecnológica de Fontes Naturais de Radiação.* A maior contribuição para esta categoria provém dos produtos do tabaco, que se estima que produzam uma dose equivalente anual de exposição, para o epitélio brônquico, de aproximadamente 160 mSv (16 rem), nos fumadores. O radão dissolvido na água que abastece as habitações contribui com 10-60 μSv (1-6 mrem) da dose efectiva anual média a que está exposta a população norte-americana. Outras fontes de exposição são: materiais de construção, actividade mineira, agricultura, combustíveis, lanternas a gás, próteses dentárias e lentes ópticas.
2. *Fontes Artificiais de Radiação.* O maior contributo para esta categoria provém do diagnóstico e terapêuticas médicas, nomeadamente raio-X e medicina nuclear. O uso da radiação com fins médicos produz uma dose efectiva anual média de 540 μSv (54 mrem), o que representa mais de 95% do total de exposição proveniente de fontes artificiais de radiação.

A exposição à radiação está também associada à actividade laboral. Por esta razão é importante falar de *Exposição Ocupacional*. A Tabela 3 permite ter uma ideia das profissões associadas a maior exposição (8).

Tabela 3: Dose efectiva anual média de exposição a radiação por ocupação, nos EUA (8).

OCUPAÇÃO	DOSE EFECTIVA ANUAL MÉDIA (mSv)
Minas de urânio	12.0
Operações com energia nuclear	6.0
Tripulação Aeronave	1.7
Técnicos de radiologia e medicina nuclear	1.0
Radiologistas	0.7

Como se viu anteriormente, toda a população está exposta a radiação. A população norte-americana, mais especificamente, está exposta a uma dose efectiva anual média de aproximadamente 360 mrem/ano (8). Existem diversas fontes responsáveis por essa exposição, e que se distribuem como é mostrado na Figura 2.

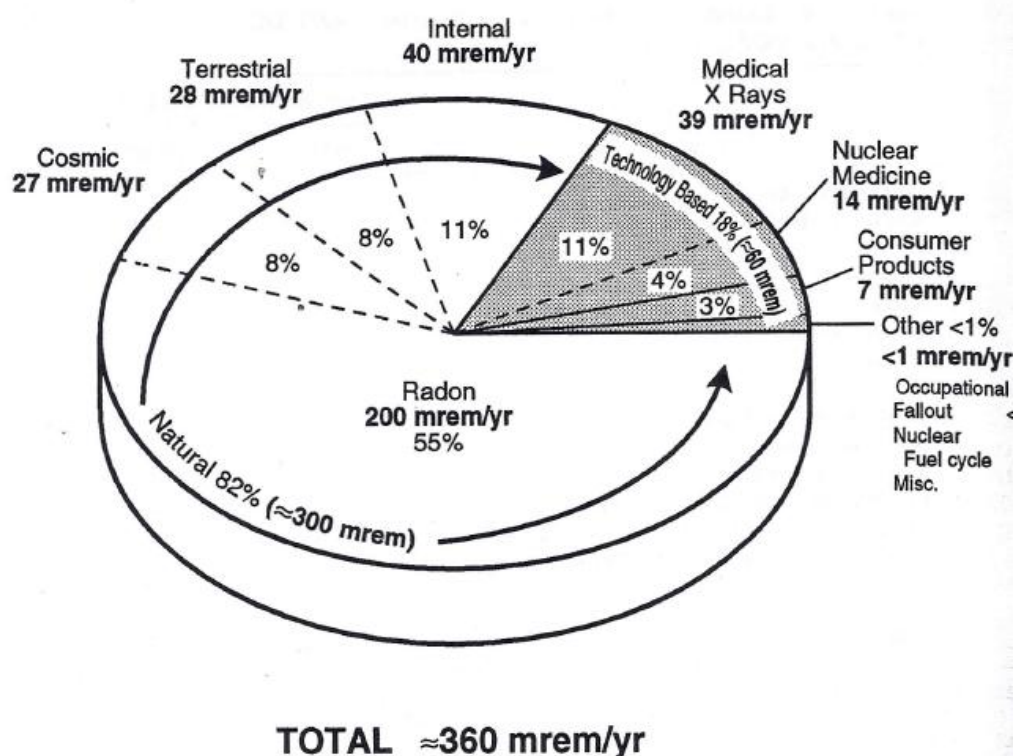


Figura 2: Dose efectiva anual média de radiação a que está exposta a população dos EUA. Pode-se verificar a contribuição das diferentes fontes para a exposição total de aproximadamente 360 mrem/ano (8).

7. Exposição a Radiação

Com o objectivo da protecção radiológica os indivíduos devem ser classificados em uma de duas categorias: trabalhadores com radiação ou público geral. Existem doses limite recomendadas para ambas as categorias. Deve-se ter em conta que as doses limite para os trabalhadores com radiação, aplica-se somente à radiação que resulta directamente da sua ocupação e não inclui a exposição a radiação de outras fontes, tais como diagnósticos médicos, ou radiação de base (9).

A Tabela 4 compara os limites recomendados de radiação utilizados em Portugal e aqueles indicados pela CIPR. Os limites referidos estão abaixo daqueles a partir dos quais começam a surgir sintomas relacionados com a radiação.

Tabela 4: DOSE LIMITE ANUAL RECOMENDADA (mSv) PARA CADA ORGÃO OU TECIDO

Órgão corporal ou tecido	CIPR ^a		PORTUGAL	
	Trabalhadores com radiação	Público geral	Trabalhadores com radiação	Público geral
Todo o corpo	20	1	50	5
Cristalino (olho)	150	15	150	15
Pele ^b	500	50	500	50
Mão, antebraços, pés e tornozelos	500	50	500	50
Outros órgãos ou tecidos	500	50	500	50
Menores, entre 16 e 18 anos	<u>Estagiário/Estudante:</u> O mesmo limite que para membros do público	O mesmo limite que para membros do público	<u>Estagiário/Estudante:</u> 3/10 do limite para profissionais expostos	O mesmo limite que para membros do público
Menores de 16 anos	<u>Estagiário/Estudante:</u> O mesmo limite que para membros do público	O mesmo limite que para membros do público	<u>Estagiário/Estudante:</u> O mesmo limite que para membros do público	O mesmo limite que para membros do público
Grávida declarada ^c (embrião/feto durante toda a gravidez)	5	Evitar, mas se necessário proteger a região abdominal	10	Evitar, mas se necessário proteger a região abdominal

^a CIPR: Comissão Internacional de Protecção Radiológica; ^b Quando a exposição resulta de uma contaminação radioactiva cutânea, este limite aplica-se para uma dose média sobre uma superfície de 100 cm² na zona que receba a dose mais alta; ^c Grávida declarada: quando uma mulher, voluntariamente informa o seu supervisor, por escrito, da sua gravidez e a data estimada da concepção. A declaração mantém o seu efeito até que a mulher a decida retirar por escrito, ou não esteja mais grávida (10.11).

7.1. Exposição Médica à Radiação

Os resultados das leituras de dosimetria pessoal mostram que as práticas de trabalho e os métodos estão cada vez mais seguros.

A Tabela 5 mostra a dose média individual dos trabalhadores em instalações médicas radioactivas, tendo como fonte o Relatório UNSCEAR 2000 (9).

Tabela 5: Evolução temporal da dose a que estão expostos os trabalhadores em diversas técnicas médicas (9).

Técnica Médica	Dose média individual (mSv)			
	1975-1979	1980-1984	1985-1989	1990-1994
Todas as práticas médicas	0.78	0.60	0.47	0.33
Diagnóstico radiológico	0.94	0.68	0.56	0.50
Medicina nuclear	1.01	1.04	0.95	0.79
Radioterapia	2.23	1.58	0.87	0.14

Como se pode verificar, apesar do aumento da utilização da radiação ionizante em medicina, a dose a que estão expostos os trabalhadores tem apresentado tendência decrescente ao longo dos anos (9).

7.2. Exposição dos Pacientes à Radiação

O recurso aos exames radiológicos constitui um dos elementos aceites da prática clínica e justifica-se se houver claras vantagens para o doente que contrabalancem largamente o pequeno risco associado às radiações (12).

A Directiva 97/43/Euratom do Conselho requer que todos os intervenientes reduzam a exposição desnecessária dos doentes à radiação (13). Os organismos responsáveis e as pessoas que utilizam as radiações ionizantes devem observar o disposto na referida directiva. Uma forma importante de reduzir a dose de radiação é não realizar exames desnecessários (em especial, repetições de exames).

Tabela 6: Doses efectivas características dos exames de radiodiagnóstico na década de 90. (1) Média da radiação de fundo no Reino Unido = 2,2 mSv/ano (14).

Procedimento Diagnóstico	Dose Efectiva Característica (mSv)	N.º equivalente de RX torácicos	Período equivalente aproximado de radiação natural de fundo ⁽¹⁾
Exames radiológicos:			
Membros e articulações (excepto a anca)	< 0,01	< 0,5	< 1,5 dias
Torác (simples PA)	0,02	1	3 dias
Crânio	0,07	3,5	11 dias
Coluna torácica	0,7	35	4 meses
Coluna lombar	1,3	65	7 meses
Anca	0,3	15	7 semanas

Pélvis	0,7	35	4 meses
Abdómen	1,0	50	6 meses
Esofagografia	1,5	75	8 meses
Papa baritada	3	150	16 meses
Trânsito intestinal	3	150	16 meses
Clister opaco	7	350	3,2 anos
TC da cabeça	2,3	115	1 ano
TC do tórax	8	400	3,6 anos
TC do abdómen ou pelve	10	500	4,5 anos
Exames com radionuclídeos:			
Ventilação pulmonar (Xe-133)	0,3	15	7 semanas
Perfusão pulmonar (Tc-99m)	1	50	6 meses
Rim (Tc-99m)	1	50	6 meses
Tiróide (Tc-99m)	1	50	6 meses
Ossos (Tc-99m)	4	200	1,8 anos
Dinâmica cardíaca (Tc-99m)	6	300	2,7 anos
TEP da cabeça (F-18 FDG)	5	250	2,3 anos

Os exames radiográficos mais frequentes são os dos membros e tórax, que envolvem doses baixas (14). As doses de alguns exames de TC (Tomografia Computorizada) particularmente elevadas, não têm estado a diminuir e o recurso à TC continua a aumentar. A TC representa hoje em dia provavelmente metade da dose colectiva decorrente de todos os exames radiológicos. É, por conseguinte, muito importante que a requisição deste exame seja plenamente justificada e que se adoptem técnicas que minimizem a dose e assegurem simultaneamente a obtenção dos dados diagnósticos essenciais. De facto, algumas autoridades consideram que o risco adicional de cancro fatal decorrente de uma TC de abdómen é, no decurso da vida de um adulto, da ordem de 1 para 2 000 (sendo o risco de uma radiografia do tórax de 1 para um milhão) (15). No entanto, trata-se de um pequeno excesso de risco, quando comparado com o elevadíssimo risco global de cancro (quase 1 para 3), geralmente mais do que compensado pelas vantagens decorrentes da TC (12). Como se pode verificar na Tabela 7 o ser humano está exposto a radiação até nas actividades mais simples.

Tabela 7: Doses de radiação a que o ser humano está exposto na realização de actividades do quotidiano (2).

DOSE (mR/ano)	FONTE
0.3-1	Ver televisão 4 horas/dia a 3.65 metros <i>emissão de raio-X pelo ecrã</i>
4	Ler revistas femininas durante 1 hora/dia <i>urânio e potássio no revestimento de papel de argila</i>
5	Comer uma banana/dia <i>Potássio (K-40) na banana</i>
10	Morar numa casa de tijolo em vez de madeira <i>potássio, urânio e tório na argila dos tijolos</i>
100	Voar ±8046 km/mês <i>redução da protecção da radiação atmosférica</i>
100-200	Comidas e fertilizantes <i>potássio natural (K-40) e urânio nos fertilizantes super-fosfatados</i>
150	Técnicos de medicina (média anual) Combinação de raio-X e medicina nuclear
170	Tripulações de voo <i>redução da protecção da radiação atmosférica</i>
2000-5000	Dose para os pulmões - fumar 1 maço de cigarros/dia <i>Polónio (Po-210) e Chumbo (Pb-210)</i>

8. Exposições em “Nome da Lei”

Em certas situações para a resolução de problemas legais, recorre-se à radiação. Os casos em que isso acontece são diversos, tais como:

- Determinação da idade
- Abuso infantil
- Prevenção de actividades ilegais/ controlo da entrada de pessoas e materiais nas fronteiras (3)

8.1. Determinação da Idade

Este pedido é feito, especialmente na infância, quando não há qualquer prova válida da data de nascimento. É usado em casos de adopção de lactentes. Em crianças mais velhas e jovens, os pedidos podem ser para refugiados que procuram asilo ou imigrantes ilegais. Pedidos frequentes estão também associados a adolescentes, perto dos 18 anos, e para os quais a polícia necessita de saber se pode instaurar uma pena para adulto.

A quantidade de radiação a que os indivíduos estão expostos, depende das técnicas e dos métodos usados. As seguintes doses podem ser consideradas:

- Para uma visão AP da mão e do pulso por raio-X: 0,15 mGy (3).

8.2. Abuso Infantil

Quando se suspeita de abuso em crianças menores de dois anos de idade, deve-se começar por fazer um exame completo do esqueleto. O objectivo é identificar ferimentos ocultos, não evidentes clinicamente. Os dois anos de idade são vistos como barreira. Após esta idade, a detecção de fracturas ocultas diminui - principalmente porque os mecanismos de lesão mudam (3).

8.3. Prevenção de Actividades Ilegais/ Controlo da Entrada de Pessoas e Materiais nas Fronteiras

Existem vários métodos disponíveis para inspeccionar pessoas, e eles variam muito, tanto em eficácia como em intromissão. Os métodos mais usados são também os menos intrusivos: pórticos detectores de metal (Figura 3) (3).



Figura 3: Pórticos detectores de metal. Os aparelhos metálicos aparecem escuros, quando vistos contra o corpo. Partes orgânicas escondidas aparecem com um aspecto brilhante na imagem (3).

Na maioria dos casos, uma simples imagem anterior e posterior da pessoa que está sendo inspeccionada é suficiente para determinar a presença ou ausência de contrabando no corpo.

Este sistema expõe a pessoa a somente $5\mu\text{rem}$ ($0.05\mu\text{Sv}$) por imagem, o que é uma exposição extremamente baixa.

Nas fronteiras/alfândegas são utilizados raio-X e gama para controlar tanto bens como pessoas (3).

9. Efeitos Biológicos da Radiação

Existem muitos factores que determinam a resposta biológica à exposição radiológica. Estes factores incluem variáveis associadas com a fonte de radiação e do sistema que é irradiado. Factores relacionados com a radiação incluem a dose, tipo e energia da radiação, tal como a taxa de radiação e condições sob as quais é dose é administrada (8).

9.1. Classificação dos Efeitos Biológicos

Os efeitos biológicos da exposição a radiação podem ser classificados em estocásticos ou determinísticos. O efeito estocástico, é aquele em que a probabilidade do efeito, em vez da sua severidade, aumenta com a dose. Cancro e alterações genéticas induzidas pela radiação são estocásticos na natureza. Acredita-se que estes efeitos não têm uma dose limite, pois a lesão de poucas ou até mesmo uma única célula pode resultar no desenvolvimento da doença. Por essa razão, mesmo exposições insignificantes podem conduzir a algum, apesar de pequeno, aumento do risco. É o pressuposto de que o risco aumenta com a dose e não há limite abaixo do qual este risco deixe de existir que funciona como base dos novos programas de radioprotecção, o objectivo dos quais é manter as exposições quanto mais baixas possível (*as low as reasonably achievable*, ALARA). Os efeitos estocásticos são vistos como o principal risco para a saúde derivado de baixas doses de radiação, incluindo exposições no diagnóstico radiológico e medicina nuclear.

Se a exposição a radiação for muito elevada, o efeito biológico predominante é a morte celular, que resulta em alterações degenerativas do tecido exposto. Neste caso, a gravidade da lesão, em vez da probabilidade do seu aparecimento, aumenta com a dose. Os efeitos determinísticos diferem dos efeitos estocásticos no facto de necessitarem de doses muito mais altas para produzir qualquer efeito. Também há uma dose limite, abaixo da qual não surge qualquer efeito. Cataratas, eritema, fibrose e lesão hematopoiética são alguns dos efeitos determinísticos que podem advir da exposição a altas doses de radiação. Efeitos determinísticos podem resultar de grandes acidentes com radiação e podem ser observados em tecidos saudáveis que são inevitavelmente irradiados durante a terapêutica radiológica. É pouco provável que estes efeitos possam surgir pela exposição a radiação devido a processos de diagnóstico imagiológico ou exposições ocupacionais de rotina (6,8,16).

9.2. Interacção da Radiação com os Tecidos

Lesões induzidas num organismo pela radiação começam sempre com alterações químicas a nível atómico e molecular. As alterações biológicas resultantes da radiação tornam-se aparentes somente passado algum tempo (período de latência), que pode variar desde minutos, a semanas ou até mesmo anos, dependendo do sistema biológico e da dose

inicial. Somente uma fracção da energia da radiação depositada provoca alterações químicas; a maior parte da energia é depositada como calor, que tem pouco significado biológico (8).

A radiação que produz alterações biológicas é classificada em directa ou indirecta. A alteração é provocada por acção directa, se uma macro molécula biológica, como DNA (ácido desoxirribonucleico), RNA (ácido ribonucleico) ou proteína fica ionizada ou excitada por uma partícula ionizante ou fotão, que passa através ou próximo. Efeitos indirectos resultam de interacções entre a radiação e o meio (ex.: citoplasma), o que cria espécies quimicamente reactivas, que por sua vez interagem com a molécula alvo. Como 70% a 85% da massa dos sistemas vivos é composta por água, a grande maioria das lesões induzidas por radiação é realizada através da acção indirecta em moléculas de água. A absorção da radiação por uma molécula de água resulta em H_2O^+ ou H_2O^- . Estes iões são muito instáveis e dissociam-se para formar outro ião e um radical livre. Os efeitos danosos dos radicais livres são reforçados pela presença de oxigénio, que se combina com os radicais de hidrogénio para formar um radical extremamente reactivo designado hidroperoxil. Os radicais livres difundem-se na célula, lesando-a. Acredita-se que estes sejam a causa principal de dano biológico causado por radiação de transferência linear de energia (*linear energy transfer*, LET) (1,6,17,18).

Existem mecanismos dentro das células, capazes, em muitos casos, de conduzir a célula de volta ao seu estado inicial. No entanto, se a lesão for muito grave, ou os mecanismos reparadores estiverem comprometidos ou oprimidos pela radiação excessiva, a célula vai-se transformar (Figura 4) (8,16).

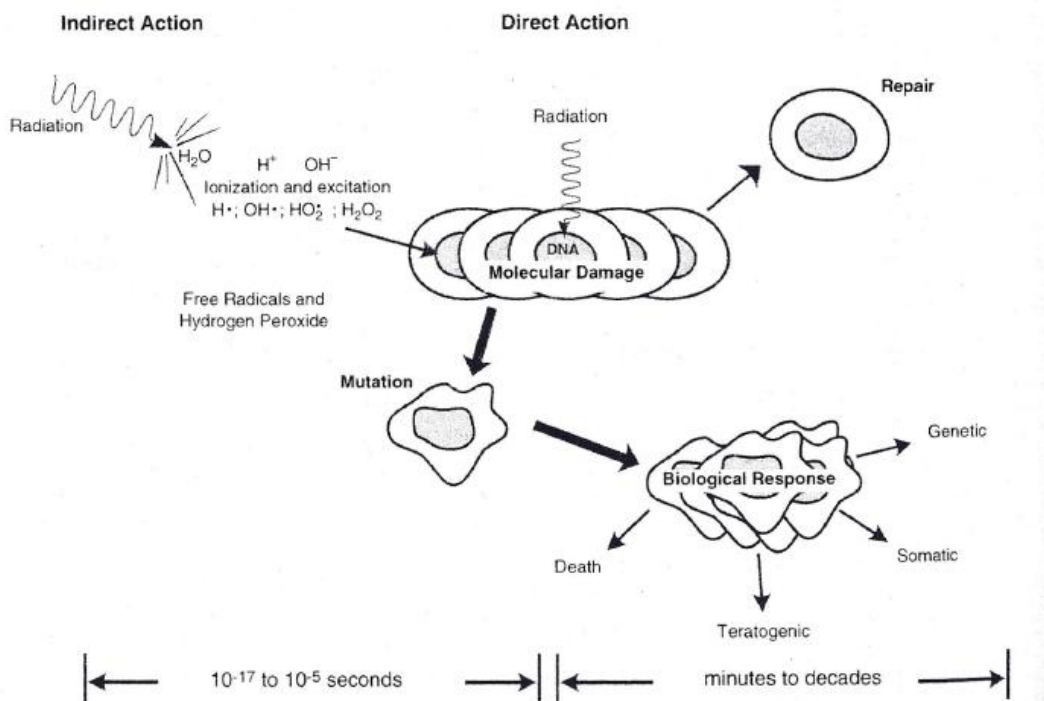


Figura 4: Respostas físicas e biológicas à radiação ionizante (8).

Os efeitos biológicos da radiação dependem não só de factores como dose, taxa de dose, condições ambientais na altura da radiação e sensibilidade radiológica do sistema biológico, mas também da distribuição espacial da deposição energética. A LET é um parâmetro que descreve a deposição média energética por unidade de comprimento, da radiação incidente. Apesar de todas as radiações ionizantes serem capazes de produzir os mesmos efeitos biológicos, a magnitude do efeito por dose unitária difere. Doses idênticas de radiação de diferentes LETs não produzem a mesma resposta biológica. O termo que relaciona a efectividade da radiação de teste para a radiação de referência designa-se efectividade biológica relativa (*relative biological effectiveness*, RBE) (8,19).

$$RBE = \frac{\text{Dose de 250 - kVp raio - X necessários para produzir um efeito X}}{\text{Dose de radiação teste necessárias para produzir um efeito X}}$$

A RBE é inicialmente proporcional à LET: enquanto a LET aumenta, também o faz a RBE (Figura 5) (8).

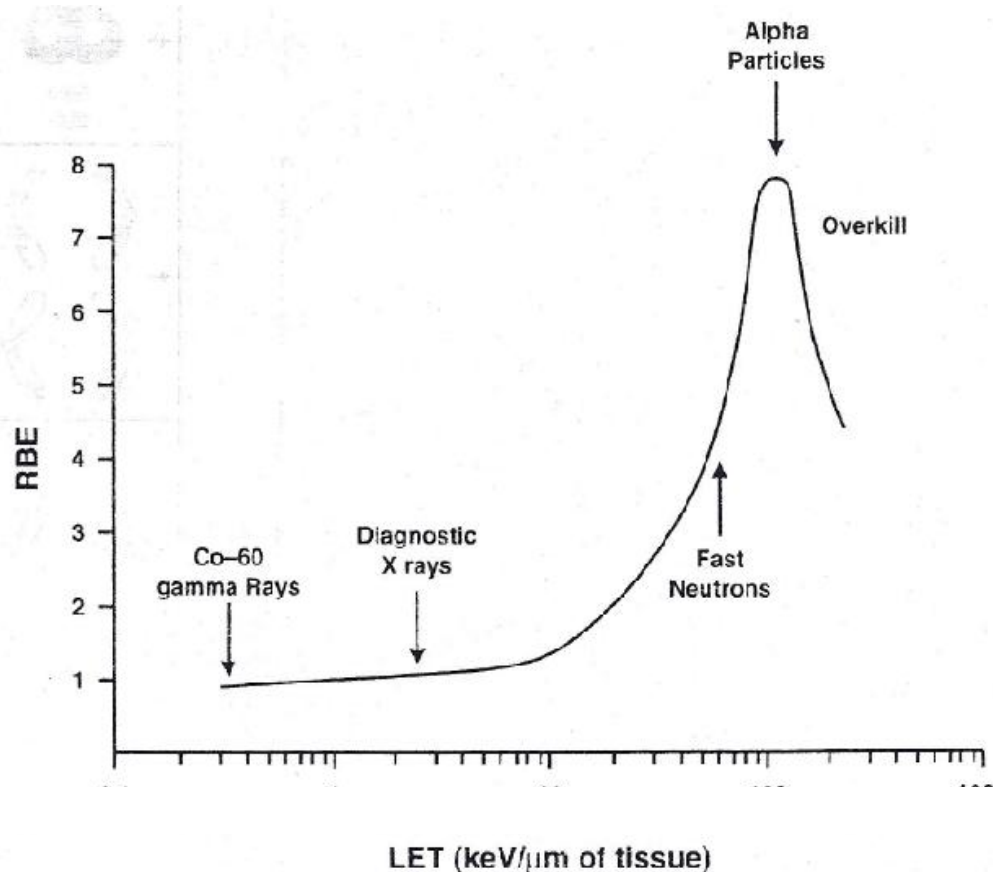


Figura 5: Relação entre os valores de RBE e LET. A RBE de uma determinada radiação, se todos os outros factores se mantiverem constantes, aumenta com a LET da radiação. No entanto a partir de 100 keV/μm, aproximadamente, a radiação começa a ser menos eficiente, pois o potencial de lesão máximo já foi alcançado (8).

O aumento é atribuído à ionização específica mais elevada associada à radiação com LET elevada (ex.: partículas alfa) e à sua capacidade em produzir maior dano, comparativamente com a LET baixa (ex.: raio-X, raios gama). Contudo, acima de 100 keV/μm a RBE diminui com o aumento da LET. Isto verifica-se, pois há uma deposição excessiva de radiação comparativamente com a quantidade necessária para provocar morte celular. A RBE é uma ferramenta útil para ajudar a caracterizar o potencial dano provocado pelos diferentes tipos de radiação (8,19).

9.3. Radiobiologia Celular

9.3.1. Alvos na Célula

As estruturas sensíveis à radiação estão localizadas no núcleo e não no citoplasma da célula. A célula contém numerosas macro moléculas, mas só algumas são essenciais à sua sobrevivência. Se uma molécula chave, para a qual a célula não tem substituto (ex.: DNA), é lesada ou destruída, o resultado poderá ser morte celular. Lesão no DNA é a principal causa de morte celular induzida pela radiação (5,8).

9.3.2. Efeitos da Radiação no DNA

A deposição de energia (directa ou indirectamente), pela radiação ionizante, conduz a uma série de alterações estruturais na célula, que incluem: quebra do laço de hidrogénio, quebra ou degradação molecular e cruzamento inter e intramolecular. As quebras da cadeia dupla de DNA são lesões muito genotóxicas, podendo conduzir a aberrações cromossómicas. A instabilidade genética resultante da quebra persistente ou mau emparelhamento da dupla cadeia pode conduzir a carcinogénese (2,8,19). As quebras de cadeia simples são mais facilmente reparadas que as de cadeia dupla e é mais comum que sejam o resultado de um padrão de ionização mais escasso, característico de LET baixa.

O DNA também pode sofrer cruzamento entre duas moléculas de DNA, DNA e uma proteína, dois pares base dentro da dupla hélice de DNA. A perda ou alteração de uma base é considerado um tipo de mutação. Apesar das mutações poderem ter sérias implicações, alterações no DNA são discretas e não resultam necessariamente em alterações estruturais dos cromossomas (Figura 6) (8).

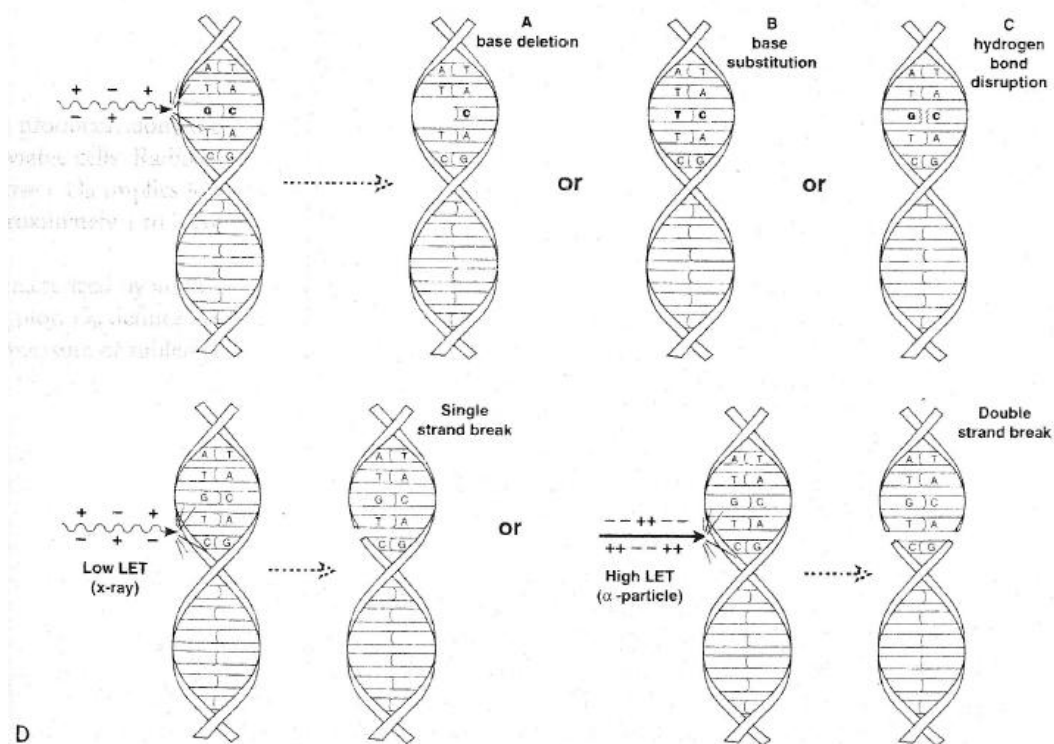


Figura 6: Vários exemplos de mutações de DNA. A: Delecção da base. B: Substituição da base. C: Ruptura do laço de hidrogénio. D: Quebra de cadeias simples e dupla (8).

9.4. Factores que Afectam a Sensibilidade Celular à Radiação

9.4.1. Factores Condicionais

A taxa à qual a LET baixa é administrada afecta o grau de lesão biológica para diversos parâmetros biológicos, incluindo aberrações cromossómicas, falha reprodutiva e morte. Geralmente, altas taxas de dose produzem maior lesão biológica do que baixas taxas

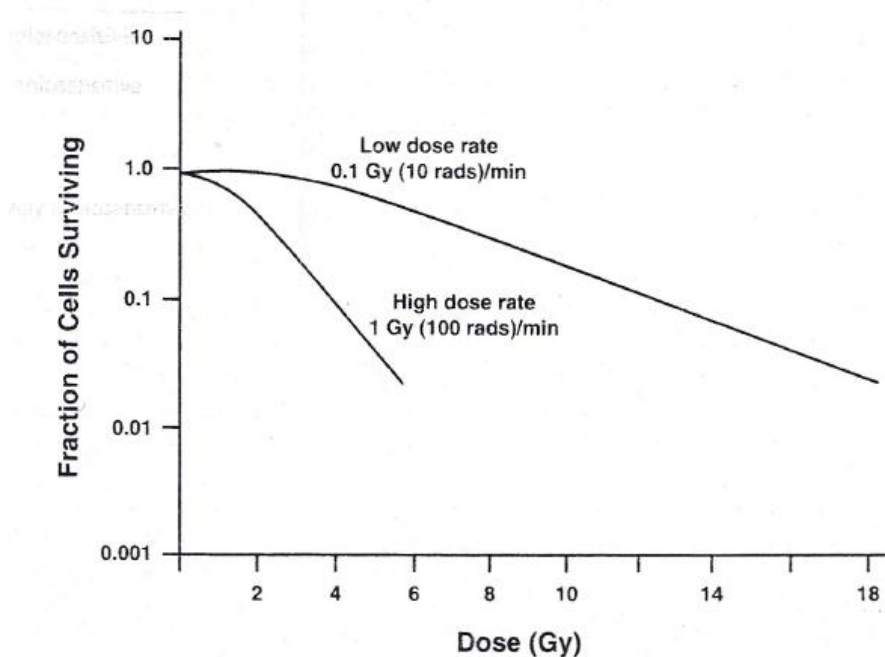


Figura 7: Curvas de sobrevivência celular, ilustrando o efeito da taxa de dose (8).

(Figura 7). A principal explicação é o baixo potencial de reparação das lesões provocadas pelas altas taxas de dose de radiação. As células têm maior capacidade para reparar danos subletais causados por baixas taxas de dose do que por altas taxas, reduzindo as lesões e aumentando a sobrevivência (Figura 8) (1,8,19).

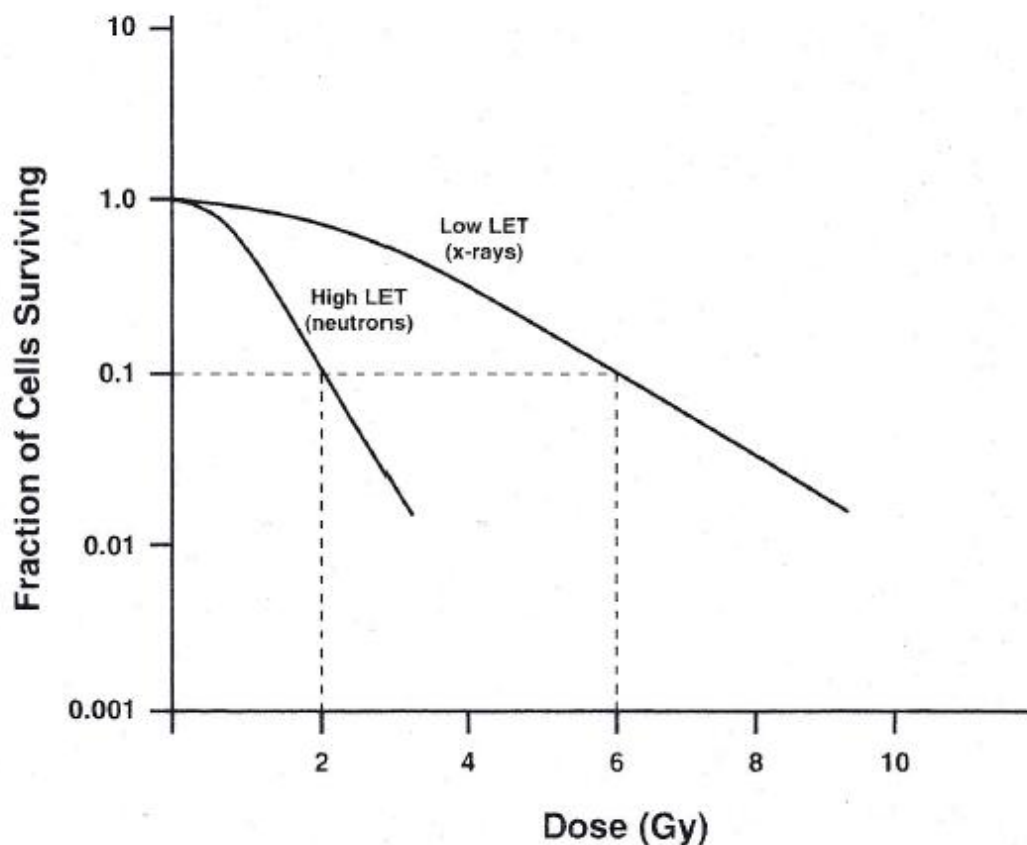


Figura 8: Curvas de sobrevivência celular, ilustrando o maior dano produzido pela radiação com LET alta a 10% de sobrevivência. A LET alta causa três vezes mais dano, para a mesma dose, que a LET baixa (8).

Para uma determinada dose de radiação, também se verifica uma diminuição no seu efeito lesivo celular, se essa dose for administrada de forma fracionada. Esta técnica é fundamental na radioterapia para o cancro. Os intervalos entre doses (geralmente de dias ou semanas) permitem aos mecanismos reparadores dum tecido saudável sobreporem-se ao tumor através da reparação de algumas lesões subletais (6,8,20).

A presença de oxigénio livre aumenta a lesão causada por LET baixa, através da inibição da recombinação dos radicais livres para formarem espécies químicas inofensivas e impedindo a reparação das lesões causadas pelos radicais livres (Figura 9). O aumento da concentração de oxigénio durante a irradiação induz a morte do que outrora eram células neoplásicas hipóxicas (radiatorresistentes) (8,19).

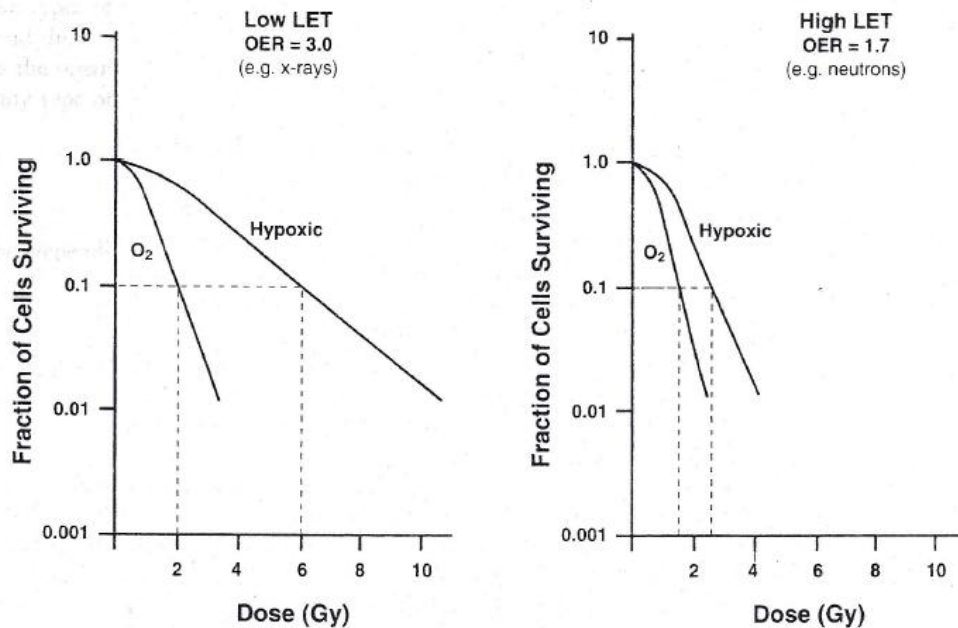


Figura 9: Curvas de sobrevivência celular, demonstrando o efeito do oxigénio durante LET baixa e alta (8).

9.4.2. Factores Inerentes

A Lei de Bergonié e Tribondeau diz que a sensibilidade radiológica é maior naquelas células que têm: elevada taxa mitótica, longo futuro mitótico e são indiferenciadas. Com algumas, poucas, excepções (ex.: linfócitos), esta lei prevê uma caracterização da sensibilidade radiológica relativa das células (8). Mais tarde, Rubin e Casarett diferenciaram cinco tipos celulares, de acordo com as características que afectavam a sua sensibilidade radiológica (Tabela 8) (1).

Tabela 8: Classificação da Sensibilidade Radiológica Celular (1).

Tipo Celular	Características	Exemplos	Sensibilidade Radiológica
Células intermitóticas vegetativas (CIV)	Divisão rápida; indiferenciadas; não se diferenciam entre divisões	Espermatogónia tipo A; Eritroblastos; Células basais da epiderme	Muito Grande
Células intermitóticas diferenciadas (CID)	Divisão activa; mais diferenciadas que as CIV; diferenciam-se entre divisões	Espermatogónia intermédia; Mielócitos	Grande
Células do tecido conjuntivo multipotencial (CTCM)	Divisão irregular; mais diferenciadas que as CIV e as CID	Células endoteliais; Fibroblastos	Intermédia
Células reversoras pós mitóticas (CRP)	Geralmente não se dividem, mas têm capacidade de divisão; diferenciadas	Células do parênquima hepático; Linfócitos	Grande
Células fixas pós mitóticas (CFP)	Não se dividem; diferenciadas	Algumas células nervosas; células musculares; Eritrócitos; Espermatozoa	Muito Grande

O estágio celular no ciclo reprodutivo, na altura da radiação, afecta muito a sua sensibilidade radiológica. Geralmente as células são mais sensíveis à radiação, durante a mitose (fase M) e a síntese de RNA (G_2). São menos sensíveis durante o período de preparação para a síntese de DNA (G_1), e ainda menos sensíveis durante a síntese de DNA (fase S) (8).

9.5. Resposta dos Sistemas Orgânicos à Radiação

Esta resposta depende não só da dose, taxa de dose e radiação LET, mas também da sensibilidade radiológica relativa das células que abrangem o parênquima funcional e o estroma de suporte.

A resposta de um sistema orgânico após radiação desenvolve-se durante um período de tempo cujo início e período de expressão são inversamente proporcionais à dose. Quanto mais alta a dose, mais curto é o intervalo até que surjam manifestações fisiológicas (período de latência) e se expressem na sua extensão máxima. Na maioria dos casos, a patologia induzida pela radiação é indistinguível da patologia que ocorre naturalmente (1,8,19).

9.5.1. Regeneração e Reparação

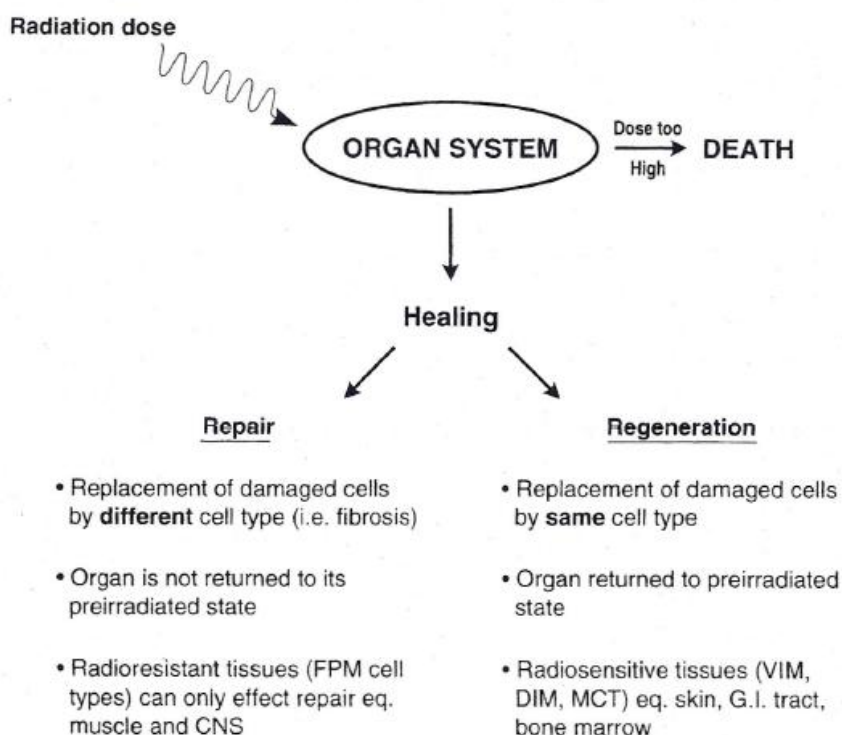


Figura 10: Diagrama esquemático da resposta do sistema orgânico à radiação (8).

9.5.2. Respostas de Sistemas Orgânicos Específicos

9.5.2.1. Pele

A primeira prova dos efeitos biológicos da radiação ionizante surge na pele exposta, sob a forma de um eritema e dermatite por radiação aguda (Figura 11). O grau de lesão depende não só da quantidade, qualidade e taxa de dose da radiação, mas também da localização e extensão da exposição. É muito improvável que doses utilizadas nos exames de diagnóstico sejam altas o suficiente para produzir qualquer um dos efeitos que serão discutidos posteriormente.

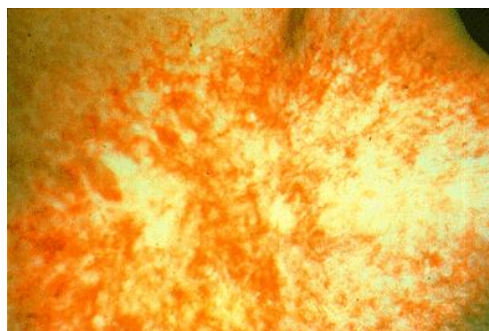


Figura 11: Radiodermatite - as radiações gama e X podem produzir radiodermatite aguda ou crónica. (22)

As estruturas mais sensíveis da pele são o epitélio germinal, glândulas sebáceas e folículos pilosos. Alguns dos efeitos provocados pela radiação na pele, estão resumidos na Tabela 9 (1,2,8,21).

Tabela 9: Efeitos da radiação na pele (8)

Espectro de efeitos na pele			
Efeitos precoces	Efeitos tardios		Efeitos em estruturas acessórias
Eritema Inflamação Descamação seca Descamação húmida	Atrofia Fibrose Hiper/Hipopigmentação Ulceração Necrose Cancro		Depilação Destruição de glândulas sebáceas e sudoríparas.
Relação dose/tempo - resposta			
Dose	Área de radiação	Intervalo Exposição	Tipo de reacção ou lesão
<1 Gy (100 rad)	Pequena	Curto	Efeitos não são visíveis
2-6 Gy (200-600 rad)	Pequena	Curto	Eritema em 1-2 dias após exposição; persiste até ao dia 5-6; reaparece nos dias 10-12; máximo nos dias 18-20. Alopecia temporária se >3 Gy (300 rad)
6-10 Gy (600-1000 rad)	Pequena	Curto	Eritema mais sério causado pela lesão de células basais. Sintomas aparecem precocemente, são mais intensos e a cura é adiada.
15 Gy (1500 rad) <i>ou</i> 30 Gy (3000 rad)	Pequena Pequena	Curto ~4 semanas	Eritema grave, seguido de descamação seca e atraso ou mesmo cura incompleta.
20-50 Gy (2000-5000 rad) <i>ou</i>	Limitada	Curto	Eritema intenso, dermatite por radiação aguda com descamação húmida, edema, hipoplasia dérmica, lesão vascular e alopecia permanente, bronze

40 Gy (4000 rad)	Limitada	~4 semanas	permanente, destruição das glândulas sudoríparas. Se >50 Gy (5000 rad) há ulceração/necrose.
20 Gy (2000 rad)	Mãos ou outra pequena área	Pequenas doses diárias de 10-20 mGy (1-2 rad) por vários anos	Não há alterações precoces ou intermediárias. Alterações tardias manifestam-se por pele seca e gretada, unhas enroladas e gretadas, úlceras intratáveis, possíveis alterações cancerosas.

9.5.2.2. Órgãos Reprodutivos

As gónadas são muito sensíveis à radiação. O principal efeito da radiação no sistema reprodutor masculino é a esterilidade temporária ou permanente após doses de 2,5 Gy (250 rad) ou 5 Gy (500 rad) respectivamente. Por vezes verifica-se esterilidade temporária para doses baixas de 150 mGy (15 rad). Também se pode verificar uma diminuição da fertilidade devido à redução do número de espermatozóides e da sua mobilidade após exposições crónicas de 20-50 mGy/semana (2-5 rad/semana), quando a dose total excede 2,5 Gy (250 rad). Nos exames de diagnóstico, doses que excedam 100 mGy (10 rad) são muito raras.

Os óvulos, dentro dos folículos ováricos, são muito sensíveis à radiação. Os folículos intermediários são os mais sensíveis, seguidos dos grandes (maduros) folículos e só depois os pequenos folículos. Após uma dose de radiação baixa de 1,5 Gy (150 rad), a fertilidade pode estar temporariamente preservada devido à maior resistência dos folículos maduros, no entanto, mais tarde, haverá um período de redução da fertilidade. A esterilidade permanente só surge com doses elevadas, na ordem dos 6 Gy (600 rad). As mulheres mais jovens são mais resistentes à radiação (8).

9.5.2.3. Olhos

O cristalino apresenta células sensíveis à radiação. Como não há um sistema de remoção das células lesadas, estas vão-se acumulando, levando ao aparecimento de cataratas (Figura 12). O período de latência é inverso à dose e prolonga-se durante um ano após a exposição. Radiação com LET elevada é mais eficiente na génese de cataratas. Doses agudas baixas, de 2 Gy (200 rad), são capazes de produzir cataratas, mas só em alguns indivíduos, enquanto doses elevadas, na ordem dos 7 Gy (700 rad), conduzem sempre à sua formação. A exposição crónica reduz a eficiência da génese de cataratas. Nos primeiros anos de utilização da radiação eram muito comuns, devido às longas e frequentes exposições a doses muito elevadas a que os trabalhadores estavam sujeitos. Além disso a protecção dos equipamentos não era a melhor. Nos dias de hoje esta situação é rara, mesmo para aqueles que trabalham com elevadas doses de radiação (1,8).



Figura 12: Catarata (23)

9.6. Síndrome de Radiação Aguda

Uma grande dose de radiação administrada de forma aguda, provoca maior dano celular, que a mesma dose de radiação administrada durante um período prolongado. Quando todo o corpo é sujeito a uma grande dose de radiação administrada de forma aguda, ocorre uma resposta clínica característica, conhecida por Síndrome de Radiação Aguda (SRA)

A SRA é a combinação de sub-síndromes que ocorrem durante um período de horas a semanas após a exposição, quando as lesões dos diferentes tecidos e sistemas de órgãos expostos à radiação, começam a surgir. Divide-se nas síndromes hematopoiética, gastrointestinal e neurovascular. A SRA só acontece quando a exposição é: aguda, envolve todo o corpo e resulta de radiação externa penetrante (radiação X ou gama, ou neutrões) (1,8,21).

9.6.1. Sequência de Eventos:

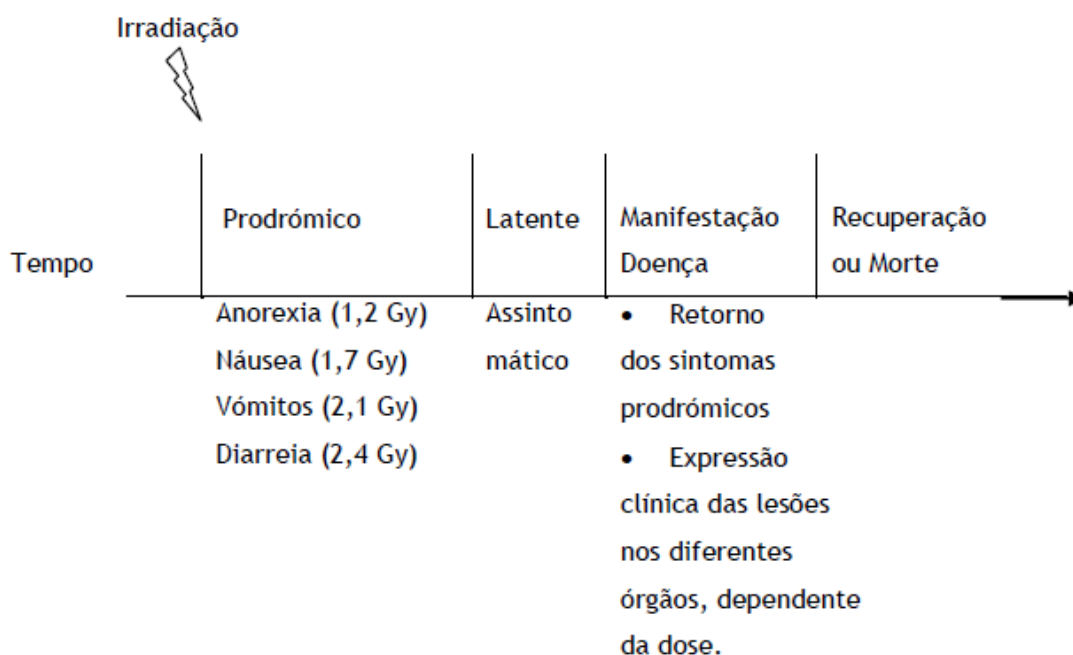


Figura 13: Fases da Síndrome de Radiação Aguda

Os sintomas prodrômicos geralmente começam 6 horas após a exposição. Estes sintomas diminuem durante o período latente, cuja duração é menor, quanto maior tiver sido a dose de radiação e que pode durar até quatro semanas para exposições com menos de 1 Gy (100 rad). O período latente pode ser visto como um “período de incubação”, durante o qual, a lesão no sistema de órgãos progride. Este período termina com o início da expressão clínica das lesões, chamado estágio de manifestação da doença, e que pode durar 2-3 semanas. Este estágio é o mais difícil de gerir do ponto de vista terapêutico, devido à imunoincompetência subjacente resultante da lesão do sistema hematopoiético. Por isso, o tratamento durante

as primeiras 6-8 semanas após a exposição, é essencial para otimizar as possibilidades de recuperação. Caso o paciente sobreviva à fase de manifestação da doença, a recuperação está praticamente assegurada; no entanto, o paciente terá maior probabilidade de desenvolver cancro e a sua descendência de apresentar anormalidades genéticas (1,8,21).

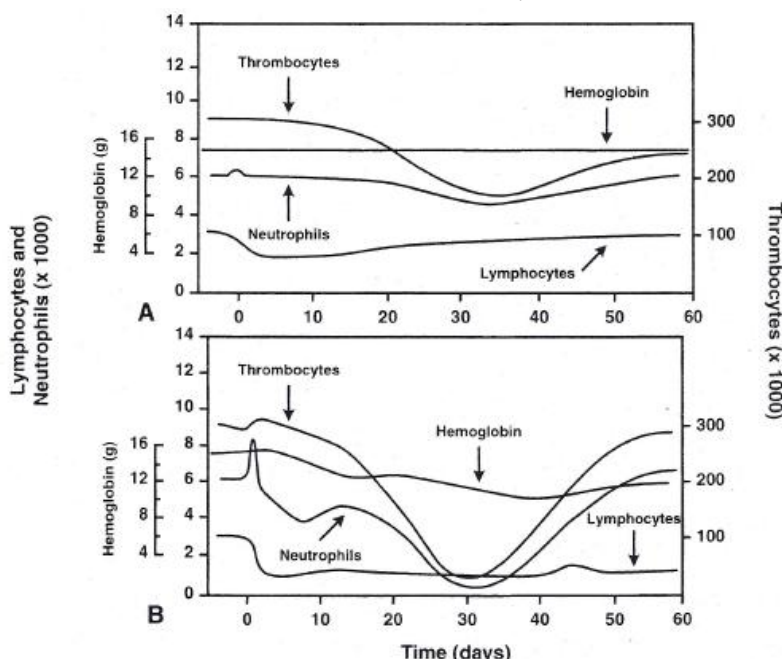
9.6.2. Síndrome Hematopoiética

O sistema de órgãos mais sensível à radiação é a medula óssea, que contém as células estaminais hematopoiéticas. No entanto, com excepção dos linfócitos, os seus homólogos na circulação são relativamente resistentes à radiação.

Os tecidos hematopoiéticos estão dispersos pelo corpo, no entanto, a exposição posterior à radiação maximiza o dano, porque a maior parte da medula óssea activa está localizada na coluna vertebral e região posterior das costelas e pélvis. A síndrome hematopoiética é a principal consequência clínica aguda de uma dose aguda de radiação entre 0,5-10 Gy (50-1000 rad). Adultos saudáveis, com os cuidados médicos adequados, geralmente recuperam de doses abaixo de 2 Gy (200 rad), no entanto, doses acima de 8 Gy (800 rad) são quase sempre fatais salvo situações bem sucedidas de transplante medular. Mesmo com terapêutica de substituição de células estaminais é improvável que um paciente sobreviva a doses superiores a 12 Gy (1200 rad), devido à lesão do tracto gastrointestinal e da vasculatura.

A probabilidade de recuperar de elevada dose de radiação é baixa em pacientes com traumatismo ou qualquer outra doença grave. Pacientes com doenças hereditárias têm maior sensibilidade à radiação.

Os sintomas prodrómicos surgem algumas horas após a exposição e consistem em náuseas, vómitos e diarreia. Se estes sintomas aparecerem cedo e diarreia grave ocorrer nos primeiros 2 dias, a exposição pode ter sido fatal. Os períodos prodrómico e latente devem durar 3 semanas cada um. Apesar de assintomáticos, os pacientes ainda se sentem fracos e cansados durante o período latente. Durante este período há diminuição do número de células estaminais e por conseguinte, diminuição da capacidade de substituição das células



sanguíneas circulantes, que morrem por senescência. A Figura 14 mostra a resposta hematológica típica após radiações de 1 e 3 Gy.

Figura 14: Depressão hematológica típica depois da exposição da medula óssea a doses de (A) 1 Gy e (B) 3 Gy (8).

O aumento inicial do número de neutrófilos está associado a respostas de stress, em que os neutrófilos são libertados a partir de reservas extra-vasculares. A diminuição do número de linfócitos ocorre algumas horas após a exposição e é um marcador biológico precoce da magnitude de exposição.

As manifestações clínicas da lesão medular ocorrem 3-4 semanas após a exposição, quando o número de células em circulação atinge o seu nadir. Hemorragias devido a trombocitopenia e infecções resultantes de leucopenia são as consequências letais do comprometimento hematopoético grave. Os efeitos sistémicos resultantes desta síndrome incluem comprometimento imunológico moderado a grave, infecção, hemorragia, anemia e dificuldades de cicatrização (8,24).

9.6.3. Síndrome Gastrointestinal

Para doses maiores que 12 Gy (1200 rad) esta síndrome é a principal responsável pela letalidade. O estado prodrómico inclui náusea, vômitos, diarreia aquosa e câibras, que surgem horas após a exposição, seguidas de um período de latência muito curto (5-7 dias). O estágio de manifestação da doença inicia-se com o recomeço dos sintomas prodrómicos, mais intensos do que inicialmente. Ocorre disfunção intestinal por lesão da mucosa. Células estaminais criptais, gravemente lesadas, perdem a sua capacidade reprodutiva. As células envelhecidas da mucosa não são substituídas, conduzindo a uma degeneração da integridade funcional do intestino. Há perda da capacidade reguladora da absorção de electrólitos e nutrientes e concomitantemente é criado um portal, permitindo a entrada da flora intestinal para a circulação sistémica.

A patologia intestinal inclui ulceração mucosa e hemorragia, perda da secreção e absorção normais, alterações da flora entérica, depleção do tecido linfóide intestinal e alterações da motilidade intestinal. Os efeitos sistémicos incluem má nutrição, devido à má absorção; vômitos e distensão abdominal devido ao íleus paralítico; anemia por hemorragia gastrointestinal; sepsis por alteração da integridade estrutural do revestimento intestinal.

A letalidade decorrente desta síndrome é praticamente 100%. Morte ocorre 3-10 dias após a exposição, se não houver qualquer tipo de tratamento médico (8,24).

9.6.4. Síndrome Neurovascular

Morte ocorre 2-3 dias após doses de 50 Gy (5000 rad). Doses dentro desta gama resultam em choque cardiovascular com enorme perda de plasma e electrólitos para os tecidos extra-vasculares. Os problemas circulatórios subsequentes (edema, aumento da pressão intracraniana e anoxia cerebral) provocam a morte antes que qualquer outra alteração seja identificada.

O estágio prodrómico inicia-se com uma sensação de queimação da pele, que ocorre em minutos, seguida de náusea, vômitos, confusão, ataxia e desorientação, dentro de uma hora. Há um breve período de latência (4-6 horas), durante o qual se verifica alguma melhora, mas que é seguido por um estágio grave de manifestação da doença. Os sintomas

prodromicos surgem ainda mais intensamente, associados a angústia respiratória e alterações neurológicas profundas (incluindo tremores e convulsões) que conduzem, inevitavelmente, a coma e morte (8,24).

9.6.5. Interrelações da Síndrome de Radiação Aguda

A Figura 15 resume os constituintes da SRA e sua interrelações.

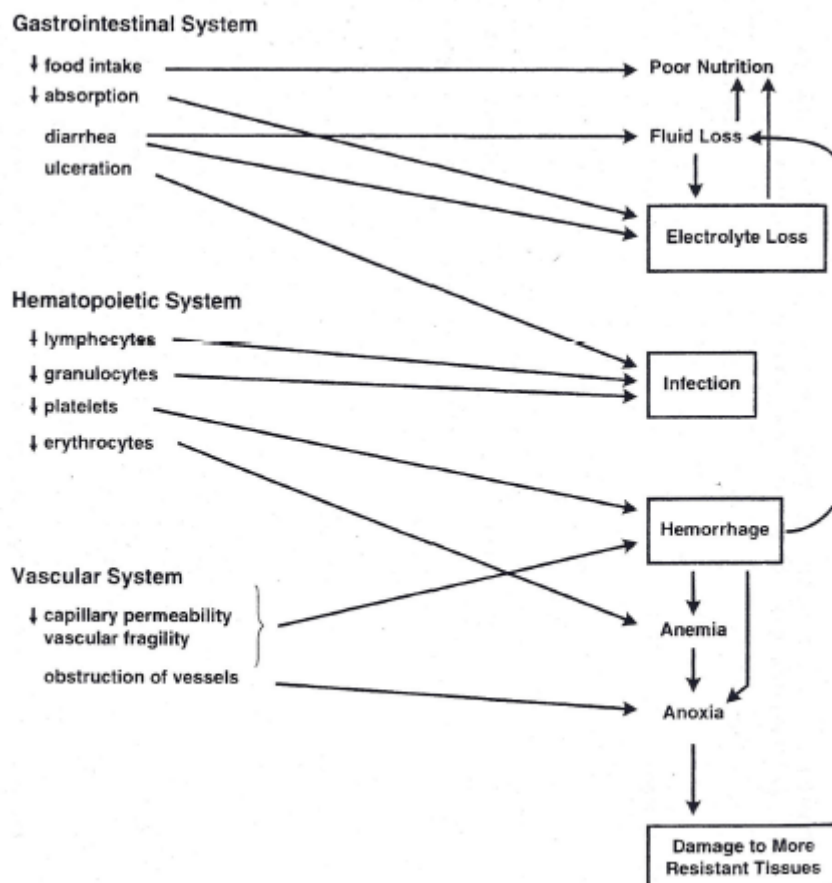


Figura 15: Interrelações entre os diversos constituintes da SRA (8).

9.7. Carcinogénese Induzida pela Radiação

A radiação ionizante pode provocar danos que não se expressam durante anos ou décadas. A indução de cancro é o efeito somático tardio mais importante, causado pela exposição a radiação. No entanto, em baixas doses, a radiação é pouco carcinogénica (ex.: exposições diagnósticas e ocupacionais) (8,16).

O processo de formação cancerígeno pode ocorrer em três diferentes fases: iniciação, promoção e progressão. A radiação pode actuar em qualquer uma destas fases (8).

9.7.1. Modificadores da Carcinogénese Induzida pela Radiação

A probabilidade de desenvolvimento de um tumor induzido pela radiação depende de diversos factores, incluindo a taxa de dose e a quantidade e qualidade da radiação. Radiação com LET elevada é mais efectiva na produção de dano biológico que a de LET reduzida. A radiação com LET elevada está associada a maior taxa de leucemia e carcinomas da mama, pulmão, hepático, da tiróide e ósseo, que a mesma dose de radiação com LET baixa.

O fraccionamento das doses de radiação também diminui a indução de carcinogénese.

O aparecimento de alguns carcinomas induzidos pela radiação varia com a idade e o tempo de exposição. Indivíduos com menos de 20 anos, na altura da exposição correm maior risco de desenvolver cancro da mama ou da tiróide, mas um risco menor de desenvolver carcinoma do estômago e leucemia (8,24,25).

9.7.2. Investigação Epidemiológica de Carcinomas Induzidos pela Radiação

Apesar da relação dose-resposta para a indução tumoral por altas doses estar bem estabelecida, o mesmo não se pode dizer para baixas doses resultantes de exposições diagnósticas ou ocupacionais (8,24,25).

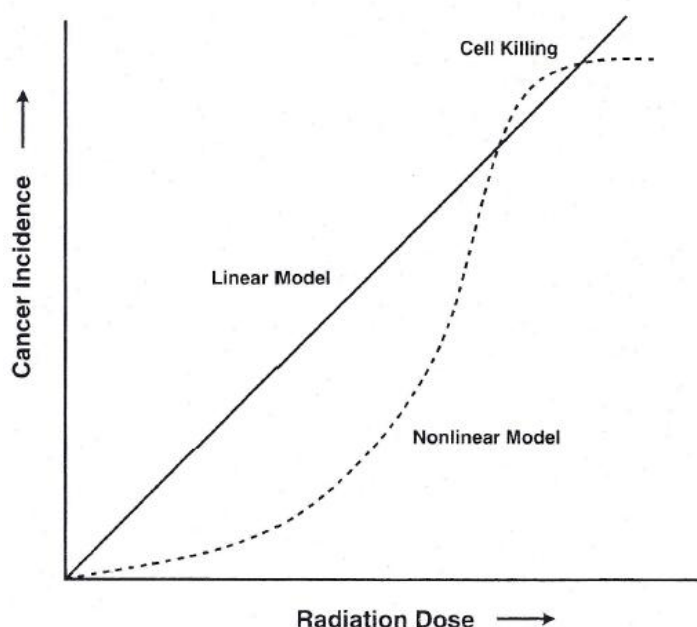
9.8. Modelos de Estimativa de Risco

9.8.1. Curvas de Dose-resposta

Apesar de apresentarem algumas limitações, foram desenvolvidos modelos de dose-resposta, que indicam o risco de carcinoma associado à exposição de baixas doses de radiação.

Uma curva linear sem limite é mais provável que exagere na incidência de cancro para radiação com LET reduzida, e por essa razão, é usada na protecção radiológica, para estimar o risco global de cancro associado a exposições diagnósticas e ocupacionais.

O modelo dose-resposta linear-quadrático prediz uma menor incidência de cancro que



o modelo linear, para baixas doses e maior incidência para doses médias de radiação. Esta curva indica uma diminuição da incidência de cancro para altas doses, devido à morte celular (5,8,26-30).

A Figura 16 mostra ambos os modelos.

Figura 16: Modelos dose-resposta linear e linear-quadrático que indicam o risco de cancro devido a exposição à radiação com LET reduzida (8).

9.8.2. Modelos de Risco

Dois modelos indicadores do risco de cancro após exposição são o multiplicativo e o aditivo. A influência da idade na altura da exposição é tida em conta no modelo multiplicativo. Este modelo indica que, após o período de latência, o excesso de risco é múltiplo do risco normal de aparecimento de cancro, naquela idade (Figura 17A).

Uma hipótese alternativa é o modelo aditivo que prediz um aumento constante do risco, que não está relacionado com o risco normal de aparecimento de cancro naquela idade (Figura 17B) (8).

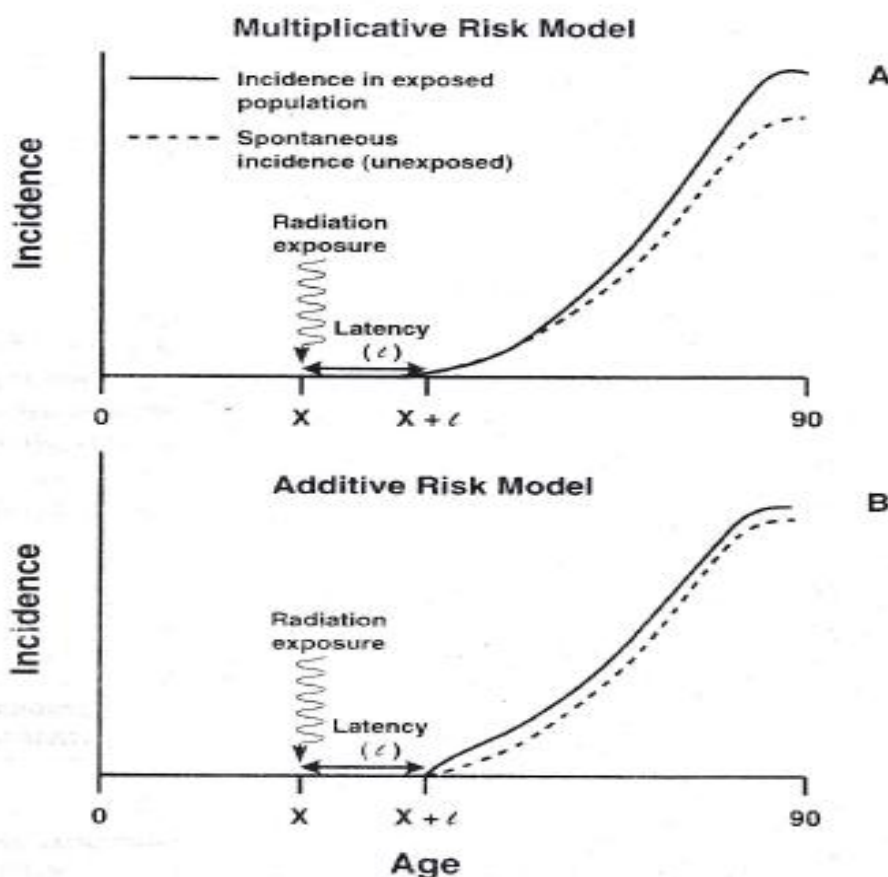


Figura 17: Comparação dos modelos multiplicativo e aditivo. Os aumentos do risco induzido pela radiação verificam-se após um período de latência l ; X é a idade à exposição. Quando se assume que o risco aumentado se verifica no período de vida remanescente, os efeitos induzidos podem seguir o modelo multiplicativo (A), no qual o excesso de risco é múltiplo do risco normal de aparecimento de cancro naquela idade, ou o modelo aditivo (B), no qual o constante aumento da incidência é adicionado à incidência espontânea da doença ao longo da vida. O modelo multiplicativo indica um maior aumento de incidência em idades mais avançadas.

No geral, nenhum destes modelos parece ser adequado para descrever o risco de cancro após exposição. Uma modificação do modelo de risco relativo, com correcção para factores como o tipo de cancro, género, idade na altura da exposição e tempo decorrido desde a exposição, deve ser pensada.

9.8.3. Estimativas de Risco BEIR V e BEIR VII

A *National Academy of Sciences/National Research Council Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR)* publicou, em 1990, um artigo intitulado, Os efeitos para a saúde da exposição a baixos níveis de radiação ionizante, mais conhecido por BEIR V.

O BEIR V indicava que o modelo linear de dose-resposta era o melhor para todos os carcinomas, com exceção da leucemia e carcinoma ósseo; para estes recomendava o modelo linear-quadrático. De acordo com o modelo linear, uma exposição de 10000 pessoas a 10 mSv resultaria em 4 mortes adicionais devido a carcinoma, a juntar às 2200 normalmente esperadas na população em geral. Isto representa um aumento de menos de 0.2% para além da taxa mortalidade espontânea por cancro por cada 10 mSv de exposição. A Tabela 10 indica o risco global e probabilidades relativas de mortalidade devido a cancro induzido por radiação em vários órgãos, por diferentes grupos etários (8,31).

Tabela 10: Risco global e probabilidades relativas de mortalidade devido a cancro induzido por radiação em vários órgãos, por diferentes grupos etários (8).

Órgão	Grupo etário		
	0-19 anos	0-90 anos	20-64 anos
Estômago	0.226	0.291	0.305
Pulmão	0.192	0.174	0.159
Medula óssea	0.052	0.077	0.109
Bexiga	0.030	0.052	0.082
Cólon	0.255	0.180	0.089
Esófago	0.021	0.038	0.061
Ovário	0.009	0.014	0.023
Mama	0.025	0.023	0.022
Risco $10^{-2}/Sv$	12.3	5.4	4

É de notar que em idades mais jovens (0-19 anos) a probabilidade de cancro induzido pela radiação é algumas vezes maior, que o valor nominal na população como um todo. Reciprocamente a CIPR, estima que o risco diminua após exposição radiológica em indivíduos com mais de 50 anos, atingindo valores iguais a 1/5 a 1/10 do valor nominal entre os 70 e 80 anos.

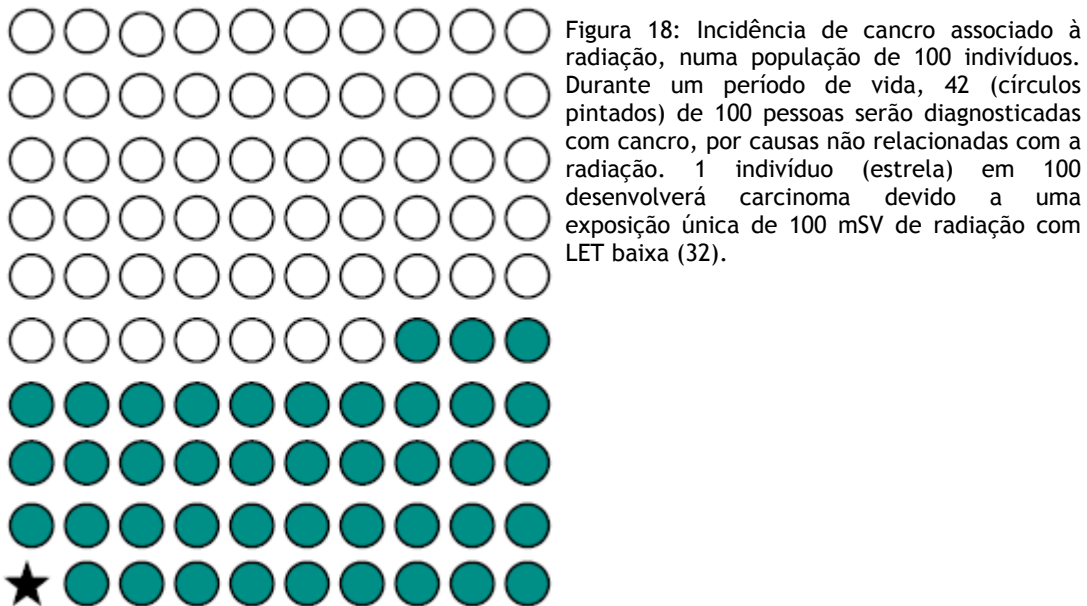
A Tabela 11 compara o aparecimento espontâneo de carcinomas, com a indução destes devido à radiação, em adultos (8).

Tabela 11: Incidência espontânea e sensibilidade dos vários tecidos a cancro induzido pela radiação (8).

Local ou tipo de cancro	Incidência espontânea	Sensibilidade radiológica
Cancros induzidos pela radiação, mais frequentes		
Mama (na mulher)	Muito alta	Alta
Tiróide	Baixa	Muito alta, principalmente em mulheres
Pulmão	Muito alta	Moderada
Leucemia	Moderada	Muito alta
Tracto alimentar	Alta	Moderada a baixa
Cancros induzidos pela radiação, menos frequentes		
Faringe	Baixa	Moderada
Fígado e tracto biliar	Baixa	Moderada
Linfomas	Moderada	Moderada
Rins e bexiga	Moderada	Baixa
Cérebro e sistema nervoso	Baixa	Baixa
Glândulas salivares	Muito baixa	Baixa
Ossos	Muito baixa	Baixa
Pele	Alta	Baixa
Magnitude do risco da radiação incerta		
Laringe	Moderada	Baixa
Seios nasais	Muito baixa	Baixa
Paratiróide	Muito baixa	Baixa
Ovário	Moderada	Baixa
Tecido conjuntivo	Muito baixa	Baixa

O estudo BEIR VII, publicado em 2005, concluiu que há relação linear dose-resposta entre a exposição a radiação ionizante e o desenvolvimento de cancro em humanos. É improvável que haja um limite abaixo do qual o desenvolvimento cancerígeno não seja induzido mas, a baixas doses, o número de cancros induzidos pela radiação diminui (modelo “linear sem limite”). No entanto não há provas de um aumento do risco de doenças não cancerígenas provocadas por baixas doses de radiação.

Este estudo concluiu ainda que, assumindo uma distribuição similar de sexos e idades para uma determinada população, 1 em cada 100 indivíduos desenvolverá cancro devido a



uma dose de 100 mSv, enquanto 42 dos 100 o desenvolverão por outras causas (Figura 18) (32).

9.9.Efeitos Hereditários da Exposição a Radiação

Sabe-se que, para doses associadas a exposição médica e ocupacional, os riscos são pequenos, quando comparados com a incidência espontânea de anomalias genéticas e são secundários ao seu potencial carcinogénico (8).

9.9.1.Efeitos Genéticos Induzidos pela Radiação em Humanos

A maior população estudada são os sobreviventes da bomba atómica e a sua descendência. A falha na detecção de um aumento das mutações induzido pela radiação não foi encarada com surpresa, tendo em conta a sua raridade, quando comparadas com as de incidência espontânea.

A irradiação dos testículos em homens mostrou provocar um aumento da incidência de translocações, no entanto não se verificaram mais alterações cromossómicas nas crianças sobreviventes da bomba atómica (1,6,8,16,20).

9.9.2. Risco Genético Estimado

O BEIR V estimou que uma exposição a 10 mGy provocaria 6 a 65 alterações genéticas adicionais por cada milhão de nascimentos na geração seguinte, como resultado do aumento do número de autossómicos dominantes e mutações dominantes associadas ao sexo.

A piscina genética tem a capacidade de absorver grandes quantidades de dano resultante da radiação, sem afectar significativamente a população. Mesmo uma dose de 100 mGy só provocaria 200 alterações genéticas adicionais por cada milhão de nascimentos na primeira geração, comparativamente com a incidência normal de aproximadamente 1 em cada 20 (5%). A dose de 100 mGy provocaria um aumento de 0.4% à taxa de alterações genéticas normal (1,6,8,16,20).

O BEIR VII permitiu concluir que radiação com LET baixa administrada em doses reduzidas ou crónicas, conduz a riscos genéticos muito pequenos, comparativamente com a frequência de alterações genéticas normais na população (32).

9.10. Efeitos Benéficos da Radiação

Apesar de todos os riscos e malefícios associados à exposição radiológica, também é possível encontrar diversos benefícios associados ao desenvolvimento da radiação e à maior exposição a que o ser humano está sujeito hoje em dia.

Diversas entidades desenvolveram relatórios em que demonstram benefícios da radiação:

9.10.1. American Nuclear Society

Num relatório emitido em Abril de 1999 esta entidade refere que não há evidências científicas que indiquem efeitos deletérios para a saúde, resultantes da exposição a poucos centigrays ou rads por ano. A radiação, tal como qualquer agressão contra o organismo, em pequenas doses, leva a um estímulo das defesas corporais, surgindo como benéfica.

Experiências em pequenos organismos, em que a radiação de fundo é suprimida, mostram que há um detrimento das funções biológicas. Com doses moderadas ainda não se verificou qualquer efeito adverso ou morte associados à radiação, enquanto que já foram reportados efeitos benéficos.

O DNA em cada célula sofre normalmente mais de 100000 alterações/dia. As lesões provocadas no DNA resultantes de baixas radiações são insignificantes, quando comparadas com a sua taxa de lesão normal. Alguns estudos demonstraram que a radiação baixa a moderada, estimula os mecanismos de reparação celular (33).

9.10.2. Comissão Internacional para Protecção Radiológica

A utilização da radiação é muito benéfica para os pacientes:

- Diagnósticos radiológicos modernos asseguram maior rapidez e precisão, e permitem a monitorização de uma grande quantidade de doenças.

- Medicina nuclear recorre a substâncias radioactivas (radiofármacos) para diagnóstico e tratamento de uma ampla gama de doenças. Os mesmos resultados não são obtidos com recurso a outras modalidades. Estes procedimentos são não-invasivos e por isso não apresentam risco ou complicações directas para o paciente.
- Radioterapia usa radiação ionizante para tratamento, salvando milhões de vidas todos os anos. Caso só sejam possíveis cuidados paliativos, a radioterapia também reduz o sofrimento (5,16).

10. Actividades do Quotidiano vs Radiação

Praticamente todas as actividades têm algum risco associado. Qualquer actividade está associada a um risco quantificável, pois qualquer uma pode resultar em ferimentos ou morte. A maioria dos riscos estudados são aqueles resultantes de toxinas, agentes cancerígenos ou actividades laborais (2).

10.1. Quantificar o Risco

A Tabela 12 resume o risco de uma variedade de actividades, incluindo exposição a radiação. Duas formas de quantificar o risco são mostradas: a probabilidade de morte devido a uma actividade e a perda de esperança de vida (2).

Tabela 12: Risco associado à realização de diversas actividades do quotidiano (2).

ACTIVIDADE	PERDA DE ESPERANÇA DE VIDA (DIAS)	RISCO DE MORTE ($\times 10^{-5}$)
Ingestão de manteiga de amendoim (1 colher sopa/dia)	1	0.091
Ingestão de leite (meio litro/dia)	0.9	0.082
Ingestão de carne grelhada (0.91kg/semana)	3 horas	0.011
Abuso de Álcool (risco para o bebedor)	10.8-15.5 anos	358-514
Abuso de Álcool (risco para a sociedade)	0.3-1.0 anos	9.95-33.20
Asa delta	25	2.27
Pára-quedismo	25	2.27
Tornados	0.88	0.08
Acidentes de viação associados a fenómenos meteorológicos	2.03	0.18
Relâmpagos	0.6	0.055
Exposição contínua a 100mrem/ano	9.9	0.90
Exposição única a 1 rem	1.5	0.14
Exposição contínua a 1 rem/ano	51	4.64
Trabalho (média sobre todas as ocupações)	60	5.45

Agricultura	320	29.1
Acidentes veículos motorizados	366	33.3
Electrocussão	4.5	0.41
Lesão por animal	0.6	0.045
Quedas	28	2.55
Armas de fogo	6.5	0.59
Queda de objectos	6.5	0.59
Cancro (todos os tipos)	1247	113
Diabetes	82	7.45
Deficiências nutricionais	3.5	0.32
Doenças hepáticas	81	7.36
Homicídios	93	8.45
Problemas Cardíacos	1607	146

A Tabela 13 faz a comparação entre o risco associado à realização de alguns exames médicos com o número de cigarros fumados e de quilómetros (km) conduzidos em auto-estrada, e a possibilidade de desenvolver cancro fatal (34).

Tabela 13: Risco associado à realização de alguns exames médicos com o número de cigarros fumados e de quilómetro (km) conduzidos em auto-estrada, e a possibilidade de desenvolver cancro fatal (34).

Procedimento	Dose Efectiva (Sv)	Dose Efectiva (mrem)	Risco de cancro fatal	Equivalente a n.º de cigarros fumados	Equivalente a n.º de km conduzidos na auto-estrada
RX Tórax	3.2×10^{-5}	3.2	1.3×10^{-6}	9	37.01
Exame Crânio	1.5×10^{-4}	15	6×10^{-6}	44	167.37
Enema Baritado	5.4×10^{-4}	54	2×10^{-5}	148	574.54
Cintilografia Óssea	4.4×10^{-3}	440	1.8×10^{-4}	1300	5149.90

Em resumo, deve-se ter em conta os benefícios e os riscos. Quando se pretende ir a algum lado e se está com pressa, aceita-se o risco de conduzir, com vista ao benefício. Na maior parte das vezes os benefícios retirados de uma pequena exposição a radiação são muito superiores aos riscos. O risco da exposição a radiação é quase ínfimo se comparado com outros do quotidiano.

11. Radiação e Gravidez

Todos os anos, milhares de grávidas são expostas a radiação, tanto como pacientes ou por trabalharem com radiação. Isto muitas vezes causa ansiedade, maioritariamente por ignorância das próprias mulheres, mas também de quem trabalha com elas. O primeiro instinto é evitar qualquer contacto com radiação, contudo isto nem sempre é possível, pois uma grávida pode necessitar de investigação e tratamento, e aquelas que trabalham com radiação têm que continuar a sua função.

Procedimentos diagnósticos ou terapêuticos envolvendo radiação devem ser adiados, se possível. Qualquer procedimento só deve ser feito caso o benefício para a mãe supere grandemente o risco para o feto. As fontes de exposição são exames radiológicos, procedimentos de medicina nuclear e radioterapia.

A maioria dos procedimentos diagnósticos não provoca aumento do risco para o feto. Doses mais altas provenientes de procedimentos terapêuticos ou radioterapia podem provocar graves problemas fetais, principalmente se a pélvis for irradiada. A maioria dos procedimentos de medicina nuclear não provocam alterações fetais, contudo alguns radionuclídeos atravessam a placenta e apresentam maior risco para o feto (35,36,37).

Se o raio necessitar de estar perto do feto, mas ainda assim não o irradiando directamente, devem ser tomadas precauções especiais, devendo-se recorrer a um perito em dosimetria de forma a este calcular a dose a que o feto estará exposto. A exposição fetal em qualquer altura da gravidez acarreta grandes riscos para este devendo, em certos casos, ser considerada a interrupção da gravidez (tratamento com ^{131}I), no entanto doses fetais <100 mGy não são razão válida para a interrupção (16,35).

Por vezes verificam-se alguns problemas em mulheres que fazem radioterapia, as quais não se sabia estarem grávidas. Para evitar estas situações é necessário excluir gravidez antes de iniciar radioterapia (35,38).

É necessário obter consentimento informado, após uma discussão em que sejam apresentados todos os riscos relacionados com determinado procedimento, principalmente quando a dose prevista for >1 mGy. Em casos emergentes, em que o paciente não possa dar consentimento, este deve ser dado pela família (35).

Trabalhadoras com radiação, em medicina, têm de informar os seus patrões, caso estejam grávidas. Dependendo dos seus deveres e escolha individual, um trabalhador pode continuar o seu trabalho, sem o alterar, ou optar por uma posição em que haja diminuição ou ausência de exposição a radiação (36).

11.1. Posição da Legislação Portuguesa

No Diário da República Portuguesa, encontra-se uma portaria que refere especificamente, quais os cuidados que devem ser tomados para protecção e segurança das trabalhadoras grávidas, puérperas e lactantes, em Portugal (Anexo I).

11.2. Efeitos da Radiação no Útero

A resposta após exposição a radiação ionizante depende de diversos factores: dose total, taxa de dose, tipo de radiação e estágio de desenvolvimento na altura da exposição. Estes factores determinam o tipo e extensão da lesão, entre as quais estão: morte pré-natal ou neo-natal, anormalidades congénitas, atraso de crescimento, diminuição da inteligência, alterações genéticas e aumento do risco de cancro (8,36,37).

11.2.1. Efeitos da Radiação e Gestação

O período gestacional pode ser dividido em três estádios: pré-implantação, organogénese maior e crescimento fetal. Em cada um deles desenvolvem-se diferentes respostas à radiação.

11.2.1.1. Pré-Implantação

Inicia-se com a união do espermatozóide com o ovo e prolonga-se durante 9 dias.

O embrião é extremamente sensível nesta altura e a lesão radiológica pode traduzir-se em morte pré-natal. Neste período a incidência de anomalias congénitas é baixa. Os embriões desenvolvem uma resposta “tudo ou nada”, em que, caso não haja morte pré-natal, as células lesadas são reparadas ou substituídas, sendo improvável verificarem-se sinais visíveis de anomalias, mesmo que a radiação tenha provocado extensa morte celular.

Diversos factores, incluindo capacidade de reparação, reduzida diferenciação celular e estado relativamente hipóxico do embrião, contribuem para a sua resistência a anomalias induzidas pela radiação. Contudo, o dano cromossómico pode vir a expressar-se somente mais tarde. Quando as células deixarem de ser indeterminadas, a perda de até mesmo reduzido número de células pode conduzir a anomalias, atrasos no crescimento ou morte pré-natal. A altura mais sensível à exposição é às 12, 30 e 60 horas após a concepção.

Verifica-se um aumento da taxa de abortos espontâneos após doses de 50-100 mGy administradas durante este período. Após a implementação são necessárias doses de 250 mGy para provocar morte pré-natal (8,36).

11.2.1.2. Organogénese

As malformações embrionárias são mais comuns durante o período de organogénese maior (segunda a oitava semanas após concepção). A maior probabilidade de malformação

num sistema orgânico específico (período crítico) surge quando a exposição à radiação ocorre durante o pico de diferenciação daquele sistema.

O único sistema orgânico que mostrou associação entre malformações e radiação com LET baixa (menos de 250 mGy) foi o SNC (Sistema Nervoso Central). Embriões expostos precocemente na organogênese apresentam maior atraso de crescimento intra-uterino. A exposição a doses superiores que 100 mGy, no útero, de neutrões mistos e radiação gama, devido à bomba atômica, resultou num aumento da incidência de microcefalia. Baixas doses de raio-X estão associadas a atrasos no crescimento e alterações comportamentais (8,36).

11.2.1.3.Crescimento Fetal

Inicia-se no final da organogênese maior (dia 45) e prolonga-se até ao termo. A incidência de morte pré-natal induzida pela radiação e anomalias congénitas é muito rara. Anomalias do sistema nervoso e órgãos dos sentidos são as principais verificadas devido a radiação durante este período, o que coincide com o seu crescimento e desenvolvimento. A maior parte das lesões provocadas durante este período podem-se vir a manifestar só mais tarde, sob a forma de alterações comportamentais ou diminuição da inteligência (8,36).

11.2.2.Incidência de cancro após irradiação intra-uterina

Irradiação intra-uterina (principalmente no último trimestre) aumenta o risco de cancro na infância. Este aumento do risco surge para doses na ordem dos 10 mGy e o excesso de risco é aproximadamente 6% por Gy (8,36,37,38).

11.2.3.Risco da Exposição Intra-uterina a Radionuclídeos

Os radiofármacos podem ser administrados a grávidas, caso a informação diagnóstica que será obtida compense os riscos associados à exposição radiológica. Os radiofármacos podem ser divididos em 2 categorias: aqueles que atravessam a placenta e os que permanecem somente na circulação materna. Aqueles que não atravessam a placenta irradiam o feto pela emissão de radiação penetrante (principalmente radiação X e gama). No início da gravidez, quando o embrião é pequeno e a distribuição radiofarmacológica razoavelmente uniforme, a dose para o feto é aproximadamente a mesma que a dos ovários. Os radiofármacos que atravessam a placenta, podem-se distribuir pelo corpo do feto, ou concentrarem-se localmente se o órgão alvo fetal for suficientemente maduro (8).

12. Perspectiva Histórica da Protecção Contra Radiação

O estudo da radiação é um campo relativamente novo, tendo começado com a descoberta dos raios-X em 1895. Os experimentadores iniciais não percebem os potenciais efeitos adversos da radiação devido à falta de experiência. Na ausência de efeitos físicos imediatos (com excepção de vermelhidão da pele) assumiu-se que não haveria efeitos adversos biológicos da sua utilização (2).

Levou-se menos de um ano a descobrir que os raios-X poderiam, em grandes doses, provocar lesões corporais. Foi a partir desse momento que se começou a usar protecção. O campo de protecção de radiação, no entanto, ainda se estava a iniciar e os pesquisadores não tinham tempo para acumular informações suficientes para tomar qualquer decisão quanto à extensão dos efeitos da exposição a raios-X. Na ausência de qualquer informação negativa, a curto prazo, os médicos e o público pressupunham que a exposição a esta radiação era mais benéfica do que prejudicial. A descoberta de efeitos a longo prazo, como cancro, só ocorreu após vários anos (2).

Um método comum de calibração de máquinas de raios-X foi colocar a mão no caminho do feixe até que a pele começasse a ficar vermelha. Isso corresponde a uma dose absorvida de aproximadamente 200 rem para a mão, em relação ao limite actual legal de 50 rem, por ano, para as extremidades.

Os raios-X foram utilizados para o tratamento da tuberculose, dores crónicas, comportamento criminoso e até mesmo para remover pêlos faciais nas mulheres. Mesmo a utilização legítima da radiação, como o diagnóstico por imagem, levou a sobreexposição. Somando-se à problemática da exposição havia a falta de dosimetria pessoal, unidades-padrão para a medição da dose de radiação, medidas quantitativas que relacionassem a dose de radiação com os danos biológicos e limites de exposição (2).

Em 1904 o rádio havia sido descoberto e foi visto, como raios-X haviam sido, como um novo milagre médico. Medicamentos com rádio eram comumente usados para uma variedade de problemas, incluindo, ironicamente, letargia, impotência e calvície. Alguns produtos, associados ao rádio, que foram vendidos nesta época, foram dentífricos, tónicos capilares, cremes para a pele, e as unidades de tratamento de águas que infundiam rádio ou tório na água potável como "medicina preventiva". Não havia uma percepção dos perigos associados ao rádio até à morte de um industrial famoso, Eben Byers, em 1934, devido a envenenamento por rádio. Byers tinha bebido um "remédio" chamado Radiothor com o objectivo de melhorar a sua virilidade, consumindo uma média de 8 μCi diariamente durante vários anos. Isto resultou numa morte prematura e levou à proibição de rádio em todos os produtos de consumo, em 1936 (2).

Em meados e final de 1920 surgiu a adopção de uma unidade padrão de medida (Roentgen), equipamento de detecção de radiação e os primeiros limites de dose recomendada de 200 mR/dia. Este limite de dose foi baseado na recepção de um décimo da dose necessária para produzir eritema cutâneo. Em 1932, reconhecendo os limites de tolerância de variação de diferentes partes do corpo à radiação, sugere-se o limite de dose diária de 100 mR para todo o corpo ou 500 mR para as mãos. Em 1949, foi reduzido ainda mais, pelo Conselho Nacional de Protecção Radiológica (National Council on Radiation Protection, NCRP) para 300 mR/semana e, em 1956, os limites de 5 rem/ano para todo o corpo de indivíduos ocupacionalmente expostos e 0,5 rem/ano para indivíduos não-expostos ocupacionalmente foram aprovados. O limite anual para o público em geral, desde então, caiu para 0,1 rem (100 mrem) (2).

As normas que e os limites de radiação actualmente seguidos baseiam-se quase num século de tentativa/erro.

13. Medidas de Protecção Radiológica

13.1. Critérios Básicos de Aceitabilidade das Directivas Europeias

13.1.1. Requisitos da Directiva de Exposição Médica

O trabalho da Comissão Europeia no domínio da protecção contra as radiações é regido pelo Tratado Euratom e as directivas do Conselho que dele decorrem. O mais proeminente é a directiva de Normas Básicas de Segurança, relativa à protecção de trabalhadores expostos e do público. Esta estabelece uma série de medidas para garantir que exposições médicas são realizadas em condições adequadas. É necessário estabelecer programas de garantia de qualidade e critérios de aceitabilidade dos equipamentos e instalações, critérios esses aplicáveis a todos os equipamentos radiológicos utilizados com pacientes.

Todas as doses resultantes da exposição médica de pacientes devem ser mantidas o mais baixo quanto razoavelmente possível consistente com a obtenção da informação diagnóstica necessária, tendo em consideração factores económicos e sociais (ALARA) (32,39,40).

Os requisitos em matéria de critérios de aceitabilidade (e que são aqueles também aceites em Portugal, como se pode verificar no Diário da República) são demonstrados como segue:

“As autoridades competentes devem assegurar-se que as medidas necessárias sejam tomadas pelo titular da instalação radiológica para melhorar características inadequadas ou defeituosas do equipamento. Deverão também adoptar critérios específicos para a aceitação do equipamentos a fim de indicar quando a acção correctiva é necessária, incluindo, se for o caso, colocar o equipamento fora de serviço.”

Todos os novos equipamentos:

“devem ter, sempre que possível, um dispositivo que informe o médico da quantidade de radiação emitida pelo equipamento durante o procedimento radiológico.”

O Artigo 9 (C O N T R A C T N O . T R E N / 0 7 / N U C L / S 0 7 . 7 0 4 6 4 d o EURATOM) indica:

“Equipamento radiológico apropriado ----- e equipamentos auxiliares, são utilizados para a exposição médica:

- de crianças,
- como parte de um programa de rastreio de saúde,
- envolvendo altas doses para o paciente, como a radiologia intervencionista, tomografia computadorizada ou radioterapia.”

"Atenção especial deve ser dada aos programas de garantia de qualidade, incluindo medidas de controlo de qualidade e dosimetria do paciente ou de avaliação da actividade administrada, conforme mencionado no artigo 8 °, para essas práticas." (39).

As consequências práticas destas exigências são:

1. Testes de aceitação devem ser realizados antes da primeira utilização do equipamento com fins clínicos para garantir que este cumpre com as especificações de desempenho, e também fornecer valores de referência para testes de desempenho futuro.
2. Mais testes de desempenho devem ser realizados de forma regular, e depois de qualquer procedimento de manutenção maior.
3. Devem ser tomadas medidas pelo detentor da instalação radiológica para melhorar características inadequadas do equipamento.
4. As autoridades competentes devem adoptar critérios específicos para a aceitação do equipamento, a fim de indicar quando a acção apropriada é necessária, inclusive tendo o equipamento fora de serviço.
5. Programas de garantia de qualidade devem ser implementados pelo detentor da instalação radiológica (39).

13.1.2.ALARA

A filosofia ALARA (As Low As Reasonably Achievable) é baseada na suposição de que a exposição à radiação coloca um risco. O pressuposto cauteloso da existência de uma relação proporcional entre a dose e efeito para todas as doses (conceito sem limiar) é a base para ALARA. Qualquer dose está associada a um determinado risco.

Cada indivíduo que trabalha com radiação é responsável por manter a sua dose de radiação ALARA.

Em defesa do princípio ALARA, existem controlos radiológicos para proteger os indivíduos da exposição à radiação e material radioactivo (5,20).

13.2.Protecção Radiológica e Controlo Expositivo

13.2.1.Protecção Interna

Um dos maiores perigos quando se trabalha com radionuclídeos de baixa energia provém da inalação, absorção e ingestão. Um radionuclídeo interno é mais perigoso do que um externo, pois a maioria ou a totalidade das emissões radioactivas são capturadas pelo corpo.

Dose interna é o resultado do material radioactivo dentro do corpo. Este pode entrar das seguintes formas: inalação, ingestão, absorção através de pele ou injecção por feridas ou cortes (1,2,5,6,8).

13.2.1.1. Controlo da Contaminação

É um dos aspectos mais importantes da protecção radiológica, sendo importante que os trabalhadores saibam identificar potenciais fontes de contaminação.

A exposição à radiação não resulta em contaminação. A contaminação radioactiva só acontece caso os indivíduos entrem em contacto com material radioactivo (líquidos radioactivos ou poeiras).

Independentemente das precauções tomadas, material radioactivo, por vezes, escapa-se e contamina uma área, como pode acontecer nos casos de práticas de trabalho desleixadas que levam à contaminação cruzada de ferramentas, equipamentos e trabalhadores, má limpeza das áreas contaminadas e vazamentos em recipientes radiológicos.

Algumas das medidas preventivas consistem em:

1. Todos os trabalhos com componentes voláteis devem ser realizados em estufas.
2. Estabelecer controlos de trabalho adequados antes de iniciar qualquer tarefa.
3. Utilizar práticas de boa gestão. A cada indivíduo deve ser atribuída uma tarefa.
4. Lavar a mãos com água e sabão, após trabalhos com radioisótopos e antes de deixar o laboratório.
5. Rotular os contentores com material radioactivo.
6. Assegurar-se que o sistema de ventilação está a funcionar correctamente (1,2,5,6,8).

13.2.1.2. Equipamento de Protecção Pessoal

É necessário ao lidar com material radioactivo para evitar a contaminação da pele, olhos e vestuário. No mínimo, bata, óculos de segurança e luvas são obrigatórios para todas as manipulações de radioisótopos não selados (1,2,5,6,8).

13.2.1.3. Política de Bebida e Comida

Nunca se deve comer, beber ou fumar em áreas controladas por razões radiológicas. É importante constatar que, mesmo a presença de recipientes vazios de comida no lixo, pode causar uma violação, uma vez que é entendido como "evidência de consumo". Pastilha elástica e tabaco de mascar também são proibidos (1,2,5,6,8).

13.2.1.4. Especificações do Equipamento

13.2.1.4.1. Equipamento de Raio-X (Figura 20)

Para garantir máxima protecção dos pacientes e trabalhadores, o equipamento de raio-X deve apresentar certas características:

- Sinais de aviso - o painel de controlo deve apresentar um aviso de que perigosos raio-X são emitidos quando o equipamento está a operar e proibindo o uso não autorizado (Figura 19).



Figura 19: Sinal de Aviso (42)

- Iluminação indicadora - deve existir no painel de controlo indicadores discerníveis que indiquem quando este está energizado e a máquina pronta para produzir raio-X.
- Barreira do tubo de raio-X - O tubo deve estar dentro de uma protecção blindada, de forma a que a fuga de radiação medida a um metro em qualquer direcção, a partir do ponto focal, do tubo de raio-X, não exceda 0.1% da taxa de exposição à mesma distância, ao longo do eixo central do feixe útil.
- Controlo de exposição - deve existir um interruptor de exposição, temporizador, ou outro aparelho que inicie e finalize a produção de raio-X. Este controlo deve finalizar automaticamente a exposição após determinado período de tempo (39,41).

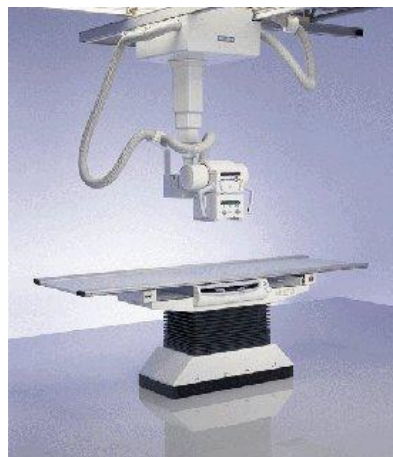


Figura 20: Equipamento de raio-X (43)

13.2.1.4.2. Equipamento Fluoroscópico (Figura 21)

- Colimação - o invólucro do tubo de raio-X deve estar equipado com um colimador ajustável, que ajuste o tamanho do campo de raio-X e que garanta o mesmo grau de barreira para a fuga de radiação que é exigido ao invólucro do tubo.
- Intensificação da imagem - todas as máquinas devem estar equipadas com este sistema. Este deve estar blindado, de forma a que tanto o feixe útil como a radiação dispersa do intensificador, não possam provocar exposição significativa para o operador ou outros funcionários.
- Distância pele a alvo - o equipamento fluoroscópico fixo deve apresentar formas de limitar a distância pele a alvo, a não menos de 38 cm.
- Interruptor de exposição - o interruptor de exposição fluoroscópica deve ser do tipo "dead-man" (interruptor de segurança destinado a parar a acção da máquina no caso do operador humano se tornar incapacitado).



Figura 21: Equipamento fluoroscópico (44)

- Temporizador - deverá haver um aparelho de acumulação de tempo, activado pelo interruptor de activação fluoroscópica. O temporizador não deve permitir exceder 5 minutos, apresentando um sinal audível quando este tempo é alcançado.
- Barreira da mesa - o lado da mesa fluoroscópica deve apresentar chumbo com espessura de pelo menos 0.5 mm a 100 kVp, de forma a restringir a radiação dispersa que passa através dela (39,41).

13.2.2. Protecção Externa

É sobretudo um problema relacionado com os emissores de energia beta e gama e fontes de raio-X. Uma das práticas mais importantes para limitar a exposição externa à radiação é usar a menor quantidade de material radioactivo necessário. Há três formas para reduzir a exposição associada a fontes externas de radiação (2,5,6,8,21,45).

13.2.2.1. Tempo

Reduzir o tempo de exposição é um método muito prático de protecção radiológica. Tendo em conta que a quantidade de exposição está relacionada com a duração da mesma, menos tempo significa menos exposição.

Formas de minimizar o tempo:

- Planear e discutir a experiência antes de realizá-la.
- Ter todo o equipamento necessário presente, antes de iniciar a experiência.
- Utilizar guias até o procedimento se tornar rotineiro.
- Nunca permanecer próximo a uma fonte radioactiva.
- Trabalhar de forma eficiente e rápida. No entanto, não trabalhar tão rápido que vá comprometer os resultados ou causar derrames.
- Fazer o trabalho correctamente à primeira.

A exposição recebida (X) é igual à intensidade do campo de radiação (dose), vezes o tempo de exposição (2,5,6,8,21,45).

$$X = RT$$

X= exposição recebida

R= dose

T= tempo de

13.2.2.2. Distância

É uma medida de protecção muito eficaz e, muitas vezes a maneira menos onerosa para reduzir a exposição à radiação. Ao afastar-se de uma fonte de radiação, a quantidade de radiação a uma determinada distância da fonte é inversamente proporcional ao quadrado da distância (lei do inverso do quadrado).

Métodos para maximizar a distância de fontes de radiação:

- O trabalhador deve ficar o mais longe possível da fonte de radiação.
- Durante atrasos no trabalho, é aconselhável deslocar-se para áreas de menor taxa de dose.
- Quando possível, use dispositivos de manuseamento remoto (pinças, fórceps, ...).

$$ID^2 = id^2$$

I = intensidade a uma distância (D) de uma determinada fonte

i = intensidade a uma distância diferente (d) a partir do mesmo ponto de origem

Esta lei diz que se duplicarmos a distância, a taxa de dose cai para 1/4 do valor original. Se triplicarmos a distância, a taxa de dose cai para 1/9 do valor original (Figura 22) (2,5,6,8,21,45).

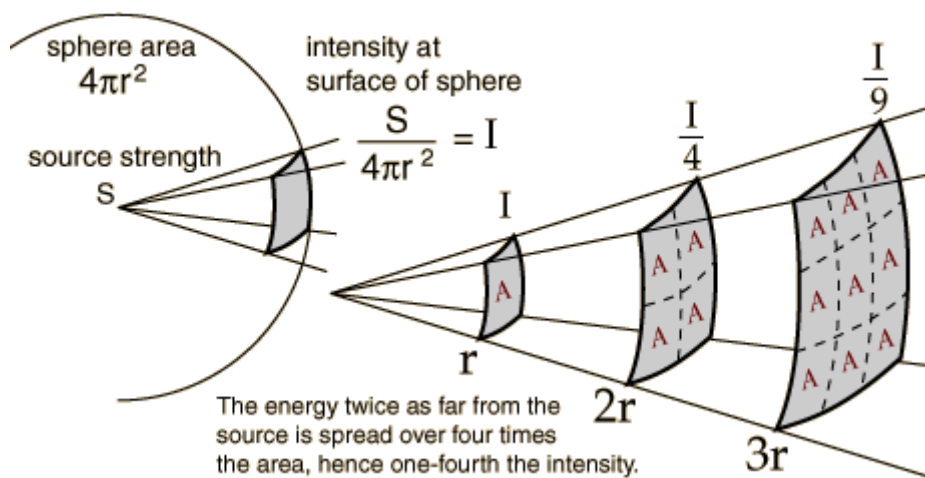
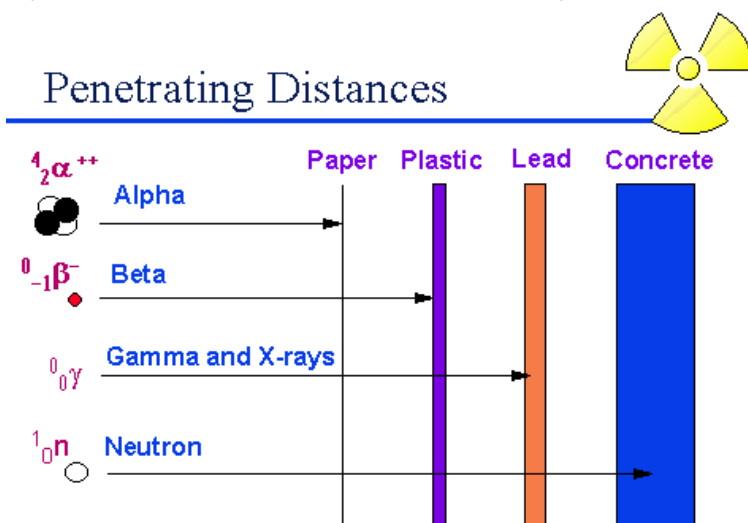


Figura 22: Lei do inverso do quadrado.

13.2.2.3. Barreiras (Figura 23)

A interposição de protecção entre o indivíduo e uma fonte de radiação irá reduzir a exposição à radiação de acordo com as propriedades da radiação emitida e a espessura da barreira. Para os radionuclídeos emissores beta, cerca de 1 cm de plástico proporciona excelente protecção. Por causa da radiação bremsstrahlung (radiação X emitida quando partículas



carregadas beta passam perto do núcleo de átomos

pesados), o chumbo nunca deve ser usado para proteger da radiação beta. No entanto, o chumbo é apropriado para emissores gama, tais como I-125. Para protecção dos raios-X o chumbo também é o mais utilizado, devido às suas elevadas propriedades atenuantes e baixo custo. Outros materiais que podem ser utilizados são o cimento, vidro, acrílico com chumbo e placas de gesso. O avental de chumbo pode ser necessário para algumas utilizações médicas, mas normalmente não é necessário em laboratórios de investigação. Já para protecção das radiações alfa basta uma simples folha de papel enquanto para proteger dos neutrões é necessário recorrer a blocos de cimento ou parafina.

Os métodos de barreira são usados na radiologia diagnóstica e medicina nuclear, para reduzir a exposição dos pacientes, trabalhadores e público (2,8).

13.2.2.4. Protecção pessoal na radiologia diagnóstica

Diversos factores garantem protecção durante a fluoroscopia/imagiologia radiográfica. O principal é o avental protector, usado por todos os indivíduos que têm de permanecer na sala quando o aparelho de raio-X está a trabalhar. A espessura do chumbo varia entre 0.25-0.50 mm e garante uma atenuação de 90%. Os aventais protegem maioritariamente o tronco, excluindo membros, cabeça e pescoço (Figura 24). Também não protegem a tiróide ou os olhos, no entanto existem protectores da tiróide e óculos com chumbo que podem ser usados. Os protectores da tiróide garantem a mesma atenuação que os aventais de chumbo, já os óculos provocam uma atenuação de 30-70% das radiações,



Figura 24: Aventais de Chumbo. A espessura do chumbo deve estar inscrita no avental. (47)

dependendo do peso do chumbo (Figura 25). Para a protecção das mãos recorre-se a luvas com chumbo (Figura 26).



Figura 25: Protectores de gónadas e óculos protectores (48)



Figura 26: Luvas com chumbo (49)

Nas salas de cateterização cardíaca e intervencional (Figura 27), com elevadas cargas de trabalho, são colocadas barreiras de protecção de radiação, portáteis ou montadas no tecto, que vão permanecer entre o paciente e o pessoal que se encontra na sala. O vidro com chumbo ou acrílico com chumbo, destas barreiras, garante maior atenuação que os aventais com chumbo (5,8,20,41).



Figura 27: Laboratório de Cateterização Cardíaca, Hospital de San Carlos, Madrid (50)

13.2.2.5. Barreiras em Medicina Nuclear

Volfrâmio, chumbo e vidro com chumbo são utilizados para reduzir a exposição à radiação proveniente de frascos e seringas contendo material radioactivo. Escudos de seringas são usados para reduzir a exposição pessoal de seringas contendo radioactividade durante a preparação e administração da dose a pacientes (Figura 28).



Ilustração 28: Seringa com escudo (51)

Em áreas de preparação radiofarmacológica usam-se escudos de chumbo e vidro com chumbo. Os indivíduos que têm que lidar com radionuclídeos devem usar bata, luvas, dosímetro corporal e dosímetro em anel TLD (dosímetro termoluminescente) para o dedo. Os aventais com chumbo têm um valor limitado em medicina nuclear, pois não provocam grande atenuação dos fotões de energia média libertados pelo Tc-99m. A radiação beta é mais atenuada por materiais com baixo número atómico (ex.: plástico ou vidro) (5,8).

13.3. Protecção de Células Saudáveis Durante a Radioterapia

O sistema hematopoiético e o tracto gastrointestinal, devido à sua elevada radiosensibilidade, são os que apresentam o maior desafio neste campo.

Tendo em conta que a morte celular por radiação é mediada pela ionização da matéria irradiada, o princípio melhor caracterizado de radioprotecção envolve o uso de

antioxidantes, que actuam contra as espécies reactivas de oxigénio. A única droga actualmente aprovada para uso clínico para protecção contra a toxicidade da radioterapia, a amifostina, funciona dessa maneira. No entanto, o uso clínico da amifostina é prejudicado pela sua toxicidade própria e falta de selectividade na protecção das células normais e tumorais.

Ficou claro que a perda de células em massa que ocorre em tecidos radiosensíveis e embriões após a irradiação e que leva à letalidade não é devido a um dano irreversível das células, mas sim a activação da apoptose. Esta apoptose é largamente dependente de p53 (proteína 53), e, num estudo realizado em camundongos deficientes nesta proteína, verificou-se serem resistentes a altas doses de radiação que mata aqueles com níveis normais de p53. Estes resultados conduziram ao desenvolvimento de inibidores farmacológicos da proteína capazes de fornecer radioprotecção reversível, bloqueando temporariamente a apoptose mediada por p53. Embora os inibidores da p53 sejam uma promessa terapêutica, a sua potencial aplicação é limitada, pois, apesar da acentuada apoptose p53-dependente que ocorre entre as células epiteliais do intestino delgado após a irradiação, sinais clínicos da síndrome GI (Gastrointestinal) de radiação aguda desenvolvem-se independentemente da proteína. A radioprotecção do tracto GI só poderá ser feita por técnicas independentes da p53.

Uma solução promissora para este problema foi encontrada com uma outra classe de inibidores de apoptose que imitam um mecanismo diferente, específico-tumoral, de sobrevivência celular: ativação da via NF- κ B prosurvival. O NF- κ B (Factor Nuclear Kappa B) geralmente encontra-se inactivo em células saudáveis, em condições normais, mas está activado na maioria dos tumores. Recentemente, uma abordagem activadora do NF- κ B, provou ser viável, apresentando excelentes propriedades radioprotectoras em ratos e primatas.

A análise de tumores humanos tem mostrado que a via da CDK-ciclina D/INK4/pRb/E2F é anormal na maioria dos carcinomas. A desregulação da actividade da CDK4/6 (Quinase Ciclina-dependente 4/6) quase que invariavelmente leva à hiperproliferação e, eventualmente, ao desenvolvimento tumoral. Dado o seu papel crítico no controle do ciclo celular, as CDKs estiveram consideradas como alvos para terapia anticancerígena.

Espera-se que os inibidores da CDK4/6 não protejam as células Rb-deficientes, pois elas são independentes da CDK4/6. Contrariamente às células normais, em que a inibição farmacológica da CDK4/6 resulta em quiescência reversível, a resposta das células tumorais a esses agentes é frequentemente irreversível e envolve a indução de senescência ou apoptose (52,53).

Deve-se ter em conta que todos estes mecanismos ainda se encontram em estudo, sendo, no entanto, bastante promissores.

13.4.Procedimentos para Reduzir a Dose de Exposição a Raio-X

13.4.1.Recomendações Gerais

1. Uma sala de raio-X não deve ser usada para mais que uma investigação radiológica simultaneamente.
2. Com excepção daqueles cuja presença é essencial, mais ninguém deve estar numa sala de raio-X enquanto se realiza a exposição.
3. O pessoal deve manter-se o mais longe possível do feixe útil da radiação. A exposição do pessoal a este feixe nunca deve ser permitida.
4. Todo o pessoal deve aproveitar ao máximo os métodos de protecção.
5. Os operadores devem permanecer dentro da cabine de controlo ou atrás das telas protectoras quando há emissão de radiação. Quando isto não for possível devem recorrer a vestuário protector.
6. Quando é necessário apoiar crianças ou pacientes mais fracos, o indivíduo responsável deve usar avental e luvas e posicionar-se de maneira a evitar o feixe útil. Esta tarefa não deve ser sempre realizada pela mesma pessoa.
7. Quando estiver a usar um avental de chumbo, o dosímetro pessoal deve ser colocado por baixo deste.
8. Todos os indivíduos que participem rotineiramente em procedimentos radiológicos têm de possuir dosímetros pessoais.
9. Todas as portas devem permanecer fechadas enquanto o paciente estiver na sala.
10. Todas as máquinas de raio-X prontas para produzir radiação, nunca devem ser deixadas sozinhas.
11. O equipamento de raio-X só deve ser operado por, ou sobre supervisão directa, de indivíduos qualificados (39,41).

13.4.2.Recomendações para Operação de Unidades Radiográficas

1. O operador deve ter uma vista perfeita do paciente durante cada exposição, e poder comunicar com este e/ou auxiliares sem ter que abandonar a cabine de controlo.
2. Os chassis (cassetes para aquisição de imagem) nunca devem ser seguradas à mão, durante uma exposição (39,41).

13.4.3.Recomendações para Operação de Unidades Fluoroscópicas

1. Todas as pessoas, com a possível excepção do paciente, que necessitem de estar na sala durante um procedimento fluoroscópico devem usar aventais de protecção. A presença de barreiras de chumbo não é suficiente para evitar o uso de vestuário protector.
2. Luvas protectoras devem ser usadas pelo radiologista, durante a palpação, nos exames fluoroscópicos.

3. Todos os exames fluoroscópicos devem ser feitos o mais rápido possível.
4. Fluoroscopia por observação directa nunca deve ser feita; deve-se recorrer a fluoroscopia de imagem intensificada (39,41).

13.4.4.Recomendações para Operação de Unidades Móveis

1. As unidades móveis só devem ser usadas em casos em que a condição do paciente não permita que este seja conduzido até uma sala de exame.
2. Durante a operação deve ser assegurado que o feixe útil não irradie mais ninguém na proximidade do doente.
3. O operador deve permanecer pelo menos a 3 metros do tubo de raio-X e fora do percurso do feixe.
4. O operador deve estar blindado na altura da exposição (39,41).

13.5.Procedimentos para Minimizar a Dose para os Pacientes

13.5.1.Diário da República

No Diário da República Portuguesa, são referidos uma série de procedimentos que devem ser seguidos, de modo a que os pacientes sejam expostos ao mínimo de radiação possível (Anexo II).

13.5.2.Orientações para a Prescrição de Exames Diagnósticos de Raio-X

1. A prescrição de um exame de raio-X deve ser sempre baseada numa avaliação clínica, e com o propósito de obter informação diagnóstica.
2. Exames de rotina, para os quais não haja uma avaliação clínica prévia não devem ser prescritos.
3. Deve-se verificar se já houve exames raio-X prévios que façam com que novos exames sejam desnecessários.
4. Quando um paciente é transferido de um hospital para outro todas as radiografias e relatórios relevantes devem acompanhá-lo.
5. Na altura de prescrever um exame radiológico, o médico deve especificar as indicações clínicas e a informação necessária.
6. O número de vistas radiográficas pedidas deve ser mantido no mínimo possível.
7. Ao prescrever exames raio-X a grávidas deve-se considerar as consequências da exposição fetal (41,54).

13.5.3.Orientações Radiográficas em Grávidas

1. Radiografias da região pélvica em mulheres em idade gestacional devem ser realizadas até dez dias após o início da menstruação.
2. Só devem ser feitas investigações essenciais em grávidas.

3. Não devem ser realizados exames fotofluorográficos do tórax em mulheres grávidas
4. Quando é necessário obter uma radiografia da região pélvica ou abdominal, a exposição deve ser mantida o mais baixo possível, devendo-se recorrer a todas as barreiras protectoras, sem comprometer os objectivos do exame.
5. Caso seja necessário um exame radiográfico do feto, este deve ser feito em pronação, pois reduz a dose fetal.
6. Não se deve recorrer á radiografia para verificar a presença de anomalias fetais. Aqui deve recorrer à ultrasonografia (41,55).

13.5.4.Recomendações para Procedimentos Fluoroscópicos

1. Devido à ampla exposição resultante da fluoroscopia estes procedimentos só devem ser realizados quando não se conseguir um resultado equivalente a partir das radiografias.
2. Todos os procedimentos fluoroscópicos devem ser realizados o mais rapidamente possível.
3. A taxa de exposição deve ser o mais baixa possível e não pode exceder 10 roentgens/minuto na posição em que o eixo central do feixe de raio-X contacta com o paciente.
4. Deve-se recorrer a intensificação da imagem para reduzir a exposição do paciente (41,54).

13.6.Protecção Radiológica em Instalações Médicas Radioactivas

Nas instalações médicas, a radiação ionizante é utilizada para obter um benefício para a sociedade com um mínimo de risco radiológico para os seres humanos. Para reduzir esse risco a um nível aceitável, é necessário trabalhar na: manutenção e valorização da segurança e medidas de protecção para equipamentos e fontes radioactivas; formação dos trabalhadores expostos durante seus deveres profissionais (9).

13.6.1.Manutenção e Valorização da Segurança e Medidas de Protecção para Equipamentos e Fontes Radioactivas

O trabalho neste campo tem várias fases:

- a. Na concepção, construção e funcionamento dos equipamentos que contêm fontes radioactivas e de geradores de radiação ionizante;
- b. A instalação em si, incluindo a concepção correcta das instalações, a sua distribuição, posicionamento dos equipamentos, áreas a serem protegidas e barreiras, bem como nos testes de aceitação e programas de estabelecimento de garantia de qualidade, orientados ou destinados a reduzir a exposição e otimizar todos os aspectos da prática radiológica, de modo que esta prática seja eficaz para o diagnóstico ou o tratamento com as doses mais baixas possíveis;

- c. Durante a operação em si, assegurando uma protecção adequada de todo o pessoal, uso adequado dos equipamentos e material radioactivo, a optimização dos métodos de trabalho e a realização de controlos regulares do material radioactivo não-encapsulado, fontes radioactivas encapsuladas, equipamentos radioactivos e geradores de radiação ionizante e das instalações como um todo (9,39).

13.6.2. Formação dos Trabalhadores Expostos Durante seus Deveres

Profissionais.

Todos os sectores envolvidos em práticas em que há um risco de exposição a radiações ionizantes têm reconhecido que o treino em protecção radiológica é um elemento chave para a obtenção e manutenção de uma cultura de segurança adequada. Além disso, a formação contribui para melhorar a competência técnica dos indivíduos e organizações.

As autoridades reguladoras introduziram requisitos específicos relativos à qualificação e formação dos trabalhadores na regulamentação aplicável às instalações radioactivas.

A directiva acerca da protecção dos trabalhadores com risco de exposição a radiações ionizantes, obriga a que as empresas que empregam trabalhadores externos, tenham de lhes dar formação básica em protecção radiológica, necessária para estes realizarem o seu trabalho.

As normas básicas sobre a protecção dos trabalhadores e da população contra os riscos resultantes das radiações incluem os requisitos de treino em protecção radiológica para todos os trabalhadores que sofram exposição durante o trabalho. A este respeito é importante garantir que todas as pessoas que trabalham nas instalações conheçam os padrões de protecção contra as radiações e as acções a serem tomadas em caso de emergência (9,54).

13.7. Legislação Portuguesa quanto à Protecção em Áreas de Radiação

No Diário da República Portuguesa, são referidas uma série de regras que devem ser seguidas, no que diz respeito às áreas de radiação (Anexo III).

14. Medição das Fontes Internas e Externas de Radiação Ionizante

A radiação de alguns radionuclídeos depositados internamente não pode ser medida directamente. A radioactividade destes radionuclídeos no corpo é determinada por bioensaio. As doses de radiação externa podem ser medidas directamente com instrumentos adequados (1).

14.1. Medição da Radiação Interna

A quantidade de material radioactivo no corpo é medida por testes *in vivo* ou *in vitro*. Estes tipos de medições, designados bioensaio, são usados para determinar o tipo, quantidade, localização e retenção de radionuclídeos no corpo. As técnicas *in vivo*, medem directamente as quantidades de radionuclídeos depositados internamente, enquanto as análises *in vitro* são realizadas sobre os materiais excretados ou removidos do corpo.

Um método *in vivo* ou directo de medição de radionuclídeos no corpo é realizado com um sistema de detecção de radiação, chamado detector de corpo inteiro (Figura 29). Este sistema mede a emissão de radiação X ou gama, a partir de radionuclídeos depositados internamente. São insensíveis às partículas alfa e beta (1,5,20).



Figura 29: Detector de Corpo Inteiro (1).

Se uma parte específica do corpo necessita de acompanhamento após exposição a emissores



de partículas alfa que também emitem radiação X ou gama, tais como urânio, plutónio e amerício, um detector de germânio de baixa energia de base pulmonar, pode ser usado para maximizar a sensibilidade de detecção das radiações (Figura 30) (1).

Para radionuclídeos transformados por radiação alfa ou beta emitida e que não emitem raios gama

Figura 30: Detector de germânio de baixa energia de base pulmonar (1).

facilmente mensuráveis, podem ser realizadas análises indirectas ou *in vitro*.

Estas análises geralmente envolvem medições de radionuclídeos na urina, mas também podem ser medidos noutros materiais corporais como fezes, sangue ou amostras de tecido. Os radionuclídeos, emissores de radiação alfa ou beta, são frequentemente avaliados por técnicas *in vitro* (1,5,20).

A medição de raios gama, pode não exigir processamento químico e separação antes da contagem, devido às características penetrantes desta radiação. Para as medições de radiação alfa e beta, os espectros de energia dos radionuclídeos sobrepõem-se. Nesses casos, a separação química das amostras antes da quantificação da radioactividade pode ser necessária (1).

Os detectores comumente utilizados para quantificar radiações alfa, beta e gama em amostras *in vitro* incluem cintilação e detectores de cintilação em meio líquido, detectores Geiger-Müller (GM), detectores proporcionais com gás, e detectores de semicondutores (1,5,20).

Nos detectores de cintilação (Figura 31), fótons provenientes dos radionuclídeos deixam a amostra (urina, fezes, tecido) e interagem com o cintilador. Medem a radiação gama, alfa e beta.

Os detectores de cintilação em meio líquido são usados para identificar e medir isotópicamente a actividade dos radionuclídeos alfa ou beta.

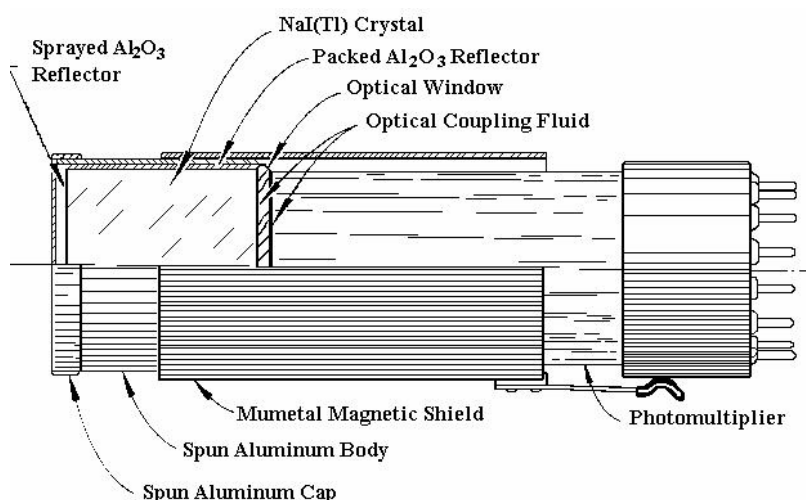


Figura 31: Componentes de um detector de cintilação (1).

O detector GM não tem capacidade discriminativa dos diferentes tipos de radiação (alfa, beta, gama); ele simplesmente grava o número de pulsos. Contudo, o uso de diferentes janelas de espessura, permite ao utilizador discriminar entre os diferentes tipos de radiação.

Os detectores proporcionais com gás, são usados para medir as partículas alfa e beta; estes estão particularmente adaptados para medir radiação alfa de baixo nível (1,5,20).

Os detectores de semicondutores têm a sua principal utilização na espectroscopia nuclear, onde conseguem simultaneamente separar, identificar e quantificar diversos radionuclídeos (1,5,20).

14.2. Medição da Radiação Externa

Existem três tipos principais de aparelhos individuais para gravação de radiação, designados dosímetros pessoais, usados em radiologia diagnóstica e medicina nuclear: crachás com película, dosímetros que usam fósforo armazenado (dosímetros termoluminescentes, TLDs) e dosímetros de bolso (1,2,6,8,56).

14.2.1. Crachás com Película

São os dosímetros mais usados em radiologia diagnóstica e medicina nuclear. Consistem num pequeno conjunto de películas de filme fechadas, colocadas dentro de um suporte de plástico que pode ser preso à roupa (Figura 32).

A maioria destes dispositivos pode gravar doses que vão desde os 100 μGy até 15 Gy para a radiação beta. A película geralmente é substituída mensalmente e enviada para o fornecedor, para processamento. É depois guardada pelo vendedor, servindo como registo permanente da exposição à radiação.

Estes dosímetros são pequenos, leves, baratos e de fácil utilização. O crachá deve ser colocado na parte do corpo que se espera que seja exposta a maior quantidade de radiação, ou que seja mais sensível a lesões provocadas pela radiação. Grávidas que trabalhem com radiação, geralmente usam um segundo crachá ao nível da cintura, para medir a dose fetal (1,2,6,8,56).



Figura 32: Crachá com película (3)

14.2.2. Dosímetros Termoluminescentes e Luminescentes Opticamente Estimulados

Os dosímetros termoluminescentes (TLDs) (Figura 33) são dosímetros pessoais e ambientais, contudo, são mais caros, não sendo por isso, tão usados em radiologia diagnóstica. O material de TLD mais utilizado, para dosimetria pessoal, é o fluoreto de lítio (LiF). Os LiFTLDs têm um amplo intervalo de dose-resposta de $10 \mu\text{Sv}$ a 10^3Sv e são reutilizáveis. São muitas vezes utilizados em medicina nuclear, como dosímetros de extremidades; um anel para o dedo com um chip de LiF é usado na mão que se espera que receba maior radiação, durante a preparação e administração de radiofármacos (Figura 34) (1,2,6,8,56).

Dosímetros luminescentes opticamente estimulados (OSL) surgem como alternativa aos TLDs. Os dosímetros OSL têm como vantagem, relativamente aos TLDs, o facto de poderem ser lidos várias vezes e uma imagem do padrão de filtro poder ser produzida, para diferenciar entre exposição estática e dinâmica (1,2,6,8,20,56).



Figura 33: Dosímetro termoluminescente (TLD) (4)

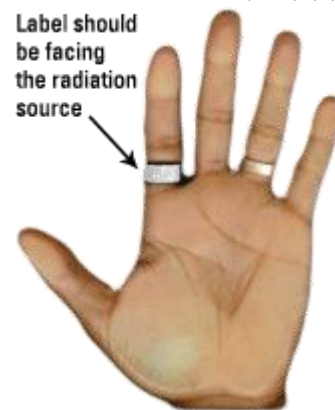


Figura 34: Anel TLD (5)

14.2.3. Dosímetros de Bolso

Medem a exposição a radiação, que pode ser lida instantaneamente. Estes aparelhos são pequenos (do tamanho de uma caneta) e de fácil utilização (Figura 35), contudo, apesar de serem reutilizáveis, não fornecem um registo permanente da exposição.



Figura 35: Câmara de ionização de bolso. (6)

Estes dosímetros usam tubos de Geiger-Mueller (GM) ou diodos (componentes electrónicos compostos por um cristal semiconductor de silício ou germânio) sensíveis à radiação (1,2,6,8,56).

Os dosímetros de bolso são usados quando se espera exposição a altas doses de radiação, como durante

Os dosímetros de bolso digitais (Figura 36), podem ser usados no lugar das câmaras de



Figura 36: Dosímetro de bolso digital (7)

a cateterização cardíaca, ou na manipulação de grandes quantidades de radioactividade (1,2,6,8,56).

A Tabela 14 resume as características de cada um dos dosímetros supracitados.

Tabela 14: Métodos de monitorização pessoal. TLD, dosímetro de termoluminescência; OSL, dosímetros luminescentes opticamente estimulados (8).

Método	Medidas	Intervalo útil	Gravação permanente	Utilização e comentários
Crachá com película	Beta, gama e raio-X	(X e gama) - 0.1 a 15 000 mSv (beta) - 0.5 a 10 000 mSv	Sim	Monitorização pessoal de rotina; mais comum em radiologia diagnóstica e medicina nuclear
TLD	Beta, gama e raio-X	0.01 a 10 ⁶ mSv	Não	Cada vez mais comum, mas ainda apresenta preço elevado; usado na dosimetria dos pacientes
OSL	Beta, gama e raio-X	0.01 a 10 ⁶ mSv	Não	Vantagens sobre o TLD incluem capacidade de reler os dosímetros e distinção entre exposição dinâmica e estática
Dosímetro de bolso	Gama e raio-X	Analógico: 0 a 0.2 R 0 a 0.5 R 0 a 5 R Digital: 0 a 100 mSv	Não	Monitorização especial (ex.: cateterização cardíaca); permite leitura a tempo-real da exposição

14.3. Campos de Radiação e Pesquisas de Contaminação

A radiação ambiental pode ser medida, recorrendo a dois métodos principais: levantamentos de campo, utilizando instrumentos portáteis de pesquisa e análise de amostras obtidas no campo, que são enviadas para o laboratório para quantificação (1,2,8,56).

14.3.1. Medições de Campo de Radiação Ionizante

Medições de radioactividade e radiação externa, podem ser feitas recorrendo a instrumentos de pesquisa portáteis concebidos para detectar radiação gama, alfa e beta.

Dois medidores de pesquisa GM, frequentemente usados são o detector GM



Figura 37: Detector GM compensado a energia (1).



Figura 38: Detector GM tipo "panqueca", de janela estreita (1).

compensado a energia (Figura 37) e o detector GM tipo "panqueca", de janela estreita (Figura 38) (1,2,8,56).

Os monitores de solo são usados para desenvolver relatórios digitalizados dos níveis de contaminação alfa e beta; estas unidades conseguem quantificar os níveis de contaminação, mesmo em movimentação constante (Figura 39).

Instrumentos de pesquisa de campo fornecem informação atempada sobre a presença e os níveis de campos de radiação ou materiais radioactivos. Medições de campos de radiação ou material radioactivo livre podem ser realizadas no terreno, através de instrumentos portáteis (Figura 40) (1,2,8,56).

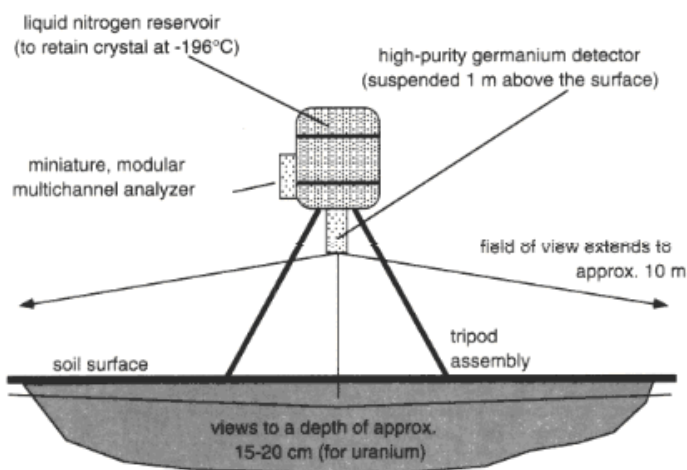


Figura 40: Espectrómetro de radiação gama, in situ (1).



Figura 39: Sistema de monitorização de solo, com matriz multidetectora (1).

Instrumentos semi-permanentes ou instrumentos colocados no terreno por longos períodos de tempo são, por vezes, usados para medir níveis de radiação ambiental ou detectar mudanças nesses níveis de radiação (por exemplo, perto de instalações nucleares). Câmaras de ionização pressurizada (Pressurized Ion Chambers, PICs) são utilizadas como padrão para medir os níveis de radiação gama (1,2,8,56).

14.3.2. Análises Laboratoriais de Amostras Ambientais

Existem métodos analíticos padrões para a quantificação de material radioactivo no ar, água, sedimentos, comida, vegetação e outros biota. Dependendo do tipo de partículas que se pretende analisar, pode-se recorrer a diferentes métodos.

Existem vários métodos para a quantificação das partículas alfa. Se a identidade do radionuclídeo emissor alfa não é necessária ou já é conhecida, a actividade alfa das amostras pode ser quantificada pela contagem bruta ou contagem "total". No entanto, a pequena quantidade de partículas alfa em amostras líquidas e sólidas, geralmente requer separação física e/ou química do radionuclídeo, a partir da matriz (1,2,8).

Para amostras ambientais que contêm radionuclídeos emissores de radiação gama, os detectores de cintilação (iodeto de sódio) e detectores semicondutores (germânio) são os mais usados (1,2,8).

Existem radionuclídeos que emitem somente radiação beta. Os sistemas líquidos de detecção de cintilação são amplamente usados na análise de baixos níveis de radionuclídeos emissores beta, tal como os detectores GM (1,2,8).

14.4. Diário da República - Dosimetria das Radiações

No Diário da República Portuguesa pode-se encontrar a legislação relativa à medição das radiações (Anexo IV).

14.5. Bioindicadores em Protecção Radiológica

Na maioria dos casos de exposições acidentais ou de suspeita de radiação ionizante (ionizing radiation, IR), a dosimetria física não pode ser directamente realizada para as estimativas *a posteriori*, principalmente devido à falta de informações sobre as condições de irradiação. Em tais situações, a dosimetria biológica (biodosimetria) tem sido proposta como um método alternativo, que se baseia na investigação de alterações celulares e moleculares (bioindicadores) induzida pela IR, a fim de correlacioná-los com a dose de radiação (57).

Em termos de radioprotecção, os bioindicadores podem ser definidos como todos os terminais biológicos individuais (alterações macro ou microscópicas) usados para indicar uma exposição à IR, principalmente, representando um evento precoce, que ocorre como resultado da interacção da IR com tecidos vivos (57,58).

14.5.1. Primeiros Bioindicadores: Sintomas Físicos

A gravidade e a duração dos sintomas estão relacionados com a dose absorvida e as características físicas da radiação, tendo em conta que igual dose absorvida de diferentes tipos de radiação não significa a mesma resposta biológica (57,58).

14.5.2. Aberrações Cromossómicas e Multinucleares

Aberrações cromossómicas (Cromosomal aberrations, CA) em linfócitos circulantes do sangue humano é o sistema mais amplamente estudado. Algumas CA instáveis (como dicêntricas e anéis) são geralmente consideradas específicas da exposição à radiação.

Actualmente, dois métodos citogenéticos têm-se tornado mais comuns: marcar CA instáveis (principalmente dicêntricas) e FISH (hibridação fluorescente *in situ*), este último, com base no uso de sondas fluorescentes para visualizar CA dicêntricas e translocações sem o pré-requisito da demorada cariotipagem.

Quando grande parte do corpo é exposto, é possível detectar CA dicêntricas presentes na fracção de linfócitos da parte do corpo que foi irradiada (57,58).

14.5.3. Micronúcleos

Micronúcleos (MN) são cromatina citoplasmática, massas que surgem a partir de produtos centrais ou periféricos de cromossomas danificados. MN são uma espécie de subproduto de CA instáveis. Eles têm a aparência de pequenos núcleos, adicionados ao núcleo da célula e são identificados durante divisão linfocítica humana, activada por mitógenos, bloqueando na fase de citocinese. Como o registo de MN é mais sensível e mais rápido do que o registo de CA, foram testadas melhorias na metodologia de MN para biodosimetria (57,58).

14.5.4. Medição da Expressão Proteica

A IR pode causar várias lesões no DNA, que induzem a expressão de diversas proteínas, a fim de reparar tais danos. Entre as proteínas expressas durante o processo reparador do DNA, a p53 tem um papel importante sobre a conservação da integridade do genoma. Esta proteína é encontrada no citoplasma em pequenas concentrações e tem uma meia-vida curta. No entanto, uma variedade de agentes físico-químicos, depois de danificar a molécula de DNA, desencadeiam a expressão de p53 aumentando a sua concentração e a sua meia-vida, tornando possível a sua detecção. Assim, a correlação entre o aumento da expressão de p53 e a irradiação pode constituir um método rápido e confiável de monitorização individual, nos casos de exposições acidentais ou suspeitas a IR (57,58).

15. Organizações Responsáveis pela Implementação de Medidas de Radioprotecção e Fiscalização Radiológica em Portugal

Como se pode verificar no Diário da República Portuguesa, existem uma série de entidades e órgãos consultivos, responsáveis por estabelecer as medidas de protecção radiológica obrigatórias em Portugal e também por fiscalizar se essas medidas estão a ser cumpridas (Anexo V).

16. Papel e Actividade de Organizações Internacionais no Campo das Aplicações Médicas da Radiação Ionizante

16.1. Agência Internacional de Energia Atómica (AIEA)

A AIEA procura acelerar e ampliar a contribuição da energia atómica para a saúde, a paz e a prosperidade em todo o mundo. Na aplicação médica a AIEA presta assistência aos Estados Membros (EM) na radiação em medicina e na produção de radioisótopos.

As actividades e serviços da AIEA aos EM para a radiação em medicina envolvem diálogos sobre política, pareceres técnicos, educação e formação, projectos de investigação coordenados, fornecimento de equipamentos, publicações técnicas, bases de dados, redes e informação pública. As três principais áreas de radiação em medicina focadas são: medicina nuclear, radiodiagnóstico e radiação oncológica.

Os procedimentos imagiológicos em medicina nuclear com fontes radioactivas não seladas tornaram-se essenciais na gestão dos dois grandes grupos de doenças não infecciosas: doenças cardiovasculares e cancro. A AIEA ajuda a criar novas instalações de medicina nuclear, incentiva a sua integração com os procedimentos radiodiagnósticos e facilita a capacitação adequada de recursos humanos.

No radiodiagnóstico a AIEA, apoia a qualidade e sustentabilidade da mamografia e fornece aconselhamento para o radiodiagnóstico de condições médicas, tais como doenças cardiovasculares e cancro.

Na radiação oncológica a AIEA promove a pesquisa e aplicação clínica da radiação na reparação de lesões teciduais.

A AIEA também publicou protocolos de dosimetria, que são utilizados em todo o mundo.

Esta agência tem publicado roteiros padronizados para a educação e formação dos profissionais de saúde em radiação na medicina e apoia a educação continuada através de cursos de formação e workshops (9,40).

Relativamente ao uso seguro das radiações ionizantes a AIEA está a realizar várias actividades que são essenciais para a melhoria global da segurança na área médica:

1. *Construir as infra-estruturas de segurança apropriadas*

Apoia os EM no estabelecimento e fortalecimento de:

- Um marco legal e regulador (leis, regulamentos e guias, bem estabelecidos, órgão regulador independente e competente), que estabelece requisitos de segurança claros para trabalhadores, pacientes e

protecção do público, para o controle de fontes radioactivas, da sua produção ou importação à sua eliminação ou exportação;

- Uma estratégia nacional e uma agência responsável que assegure a protecção de pacientes e a utilização segura da radiação para diagnósticos e procedimentos médicos terapêuticos;
- Uma estratégia nacional e uma agência responsável para o controlo dos resíduos radioactivos;
- Regulamentos de transporte, nacionais e internacionais;
- Serviços técnicos relevantes na protecção radiológica.

2. *Capacitação dos profissionais de saúde*

A capacitação directa para a utilização segura da radiação no diagnóstico e tratamento do cancro nos EM é fornecida através:

- Educação e formação no domínio da segurança radiológica médica para profissionais de saúde em cooperação com a OMS, incluindo o desenvolvimento de orientações e material de treino;
- Intercâmbio de conhecimentos através do site da AIEA em protecção radiológica dos pacientes para profissionais de saúde;
- A assistência técnica aos EM, através de formação, missões, aconselhamento e fornecimento de ferramentas, bem como avaliações;
- Desenvolvimento de sistemas educacionais de informação de segurança para prevenção de exposições involuntárias durante procedimentos radiológicos e radioterapia;
- Trabalhar para a prevenção a exposições médicas desnecessárias através do reforço da justificação das exposições médicas individuais (9,40).

16.2. Comissão Internacional de Protecção Radiológica (CIPR)

A CIPR, fundada em 1928, no segundo Congresso Internacional de Radiologia, é uma organização internacional independente, associada à protecção radiológica, nomeadamente através de recomendações e orientações sobre todos os aspectos da protecção contra as IR. O principal objectivo destas recomendações é contribuir para um nível adequado de protecção das pessoas e do meio ambiente sem limitar indevidamente as actividades humanas desejáveis que podem ser associados com a exposição à radiação.

Assim, o âmbito da CIPR, inclui questões relacionadas com a protecção radiológica de radioisótopos médicos, e mais amplamente a utilização de radiações ionizantes em medicina.

A CIPR oferece as suas recomendações a agências reguladoras e de consultoria e presta assessoria com o objectivo de ajudar gestores e equipas de profissionais com responsabilidades na protecção radiológica.

Esta entidade inclui cerca de 100 cientistas e formuladores de políticas em todas as áreas da protecção radiológica de mais de 25 países.

A CIPR desenvolveu um Comité cuja principal preocupação é a protecção de pessoas e fetos quando é necessário recorrer a radiação ionizante para o diagnóstico médico, terapia ou pesquisa biomédica, e também a avaliação das consequências médicas de exposições acidentais (9,40).

16.3. Comité Científico das Nações Unidas nos Efeitos da Radiação Atómica (UNSCEAR)

A Assembleia Geral da ONU na sua resolução 913(X) de 3 de Dezembro de 1955 estabeleceu um Comité Científico para compilar e avaliar informações sobre os níveis globais e regionais da exposição às radiações ionizantes de todas as fontes e sobre os efeitos para a saúde dessa exposição.

O Comité actua como o ponto focal para a avaliação sistemática dos riscos globais e regionais da exposição às radiações ionizantes utilizadas em medicina. Também identifica questões emergentes e a necessidade de pesquisas futuras na área.

Os principais objectivos das recentes avaliações da exposição médica são essencialmente para estabelecer a frequência anual de exames e procedimentos médicos envolvendo o uso de radiação, bem como as doses associadas.

Relativamente à avaliação dos riscos de exposição à radiação, o Comité revê regularmente a informação clínica, epidemiológica e radiobiológica publicada, associada ao risco de carcinoma. Tem também avaliado: os efeitos da irradiação pré-natal no desenvolvimento intra-uterino; os riscos de doenças para além do cancro; os efeitos da radiação sobre os sistemas imunológico e nervoso; os efeitos prematuros de altas doses de radiação; os mecanismos pelos quais ocorrem os efeitos da radiação, incluindo a reparação do DNA e mutagénese e as respostas adaptativas nas células e organismos; os efeitos combinados da radiação e outros agentes (9,40).

16.4. Organização Mundial de Saúde (OMS)

A OMS é a agência das Nações Unidas com mandato específico para o trabalho na saúde pública internacional. Um mecanismo de colaboração interna entre os programas mais relevantes da OMS, abordando a radiação e a saúde humana, está preparado para coordenar as acções, promover sinergias e evitar a duplicação de esforços.

O Departamento de Saúde Pública e Ambiental da OMS, conduz um programa de Radiação e Saúde Ambiental que compreende uma iniciativa global na Segurança da Radiação em Cuidados de Saúde, de forma a mobilizar o sector da saúde em direcção à utilização segura da radiação em medicina. A estratégia adoptada inclui actividades em áreas de avaliação, gestão e comunicação do risco.

O programa de Radiação e Saúde Ambiental advoga a inclusão dos conteúdos de protecção radiológica nos currículos das faculdades de medicina e saúde pública e promove o

recurso a guidelines como ferramentas de ensino para estudantes de Medicina e jovens médicos.

A OMS está em várias actividades/projectos orientadas para as necessidades dos funcionários, dirigindo-se em particular para a formação de médicos e reconhecimento e papel dos técnicos de radiação na implementação das políticas de protecção radiológica.

O recurso às radiações na saúde também é abordado através da Acção Global contra o Cancro para promover os componentes básicos do controlo cancerígeno: prevenção, detecção precoce, diagnóstico e tratamento, e cuidados paliativos (9,40).

17. Contra-ordenações e Sanções

Acessórias

Constituem contra-ordenações, puníveis com coima graduada de € 1250 a € 3740, no caso de pessoa singular, e de € 4990 até ao máximo de € 44 890, no caso de pessoa colectiva a violação das regras de segurança ou o não cumprimento de procedimentos de optimização na utilização da radiação ionizante.

Em função da gravidade da contra-ordenação poderão ser aplicadas as seguintes sanções acessórias:

- a) Encerramento da instalação;
- b) Apreensão de equipamentos.

Se da fiscalização efectuada resultar a constatação de que as especificações fixadas no processo de licenciamento não estão a ser cumpridas ou que não estão a ser aplicadas as normas que regulam o exercício, o titular deverá ser notificado. O titular da instalação deverá promover, no prazo máximo de 30 dias a contar da data da respectiva notificação, todas as medidas consideradas necessárias, sob pena de ser suspensa a licença de funcionamento. A suspensão da licença de funcionamento é determinada pelo director-geral da saúde, independentemente da aplicação das coimas a que houver lugar (59).

18. Conclusão

Com este trabalho conclui-se que:

- Dependendo do tipo de radiação ionizante, da dose a que um indivíduo está exposto e do tipo de célula afectada, esta pode causar diversos efeitos, entre os quais se salientam: náuseas, vómitos e diarreias; eritema e dermatite; alopecia; cataratas; fibrose; ulceração; lesão hematopoiética; alterações genéticas; cancro e até mesmo morte celular (8). É importante referir, no entanto, que a exposição média a que um indivíduo está sujeito no quotidiano e também no recurso a exames imagiológicos para diagnóstico médico, geralmente não é suficiente para desencadear qualquer destes sintomas. Ao nível da radiação intra-uterina, dependendo da fase de desenvolvimento embrionário, a exposição pode apresentar diferentes repercussões, podendo mesmo causar a morte pré-natal (8). Existem alguns estudos que ainda podem ser realizados no âmbito dos efeitos da radiação a nível celular: determinação do nível de diversos marcadores moleculares de lesão no DNA como resultado da exposição a baixas doses de radiação ionizante; determinação da capacidade de reparação do DNA, e se esta capacidade é independente da dose de radiação; factores genéticos que influenciam a resposta à radiação e risco de cancro; estudos sobre os efeitos genéticos hereditários da radiação; estudos continuados relativamente à radiação médica e ocupacional; estudos de seguimento dos sobreviventes da bomba atómica no Japão (32);
- As fontes de exposição a radiação ionizante dividem-se em dois grandes grupos: naturais e de origem humana. As fontes naturais existem desde a formação da Terra e a energia proveniente destas fontes representa 80% da radiação ionizante a que estamos expostos. Os grupos mais expostos a este tipo de fontes são os trabalhadores das minas e a tripulação das aeronaves. Somente 20% da radiação ionizante a que estamos expostos é que tem origem humana. Os grupos mais afectados são os operadores com energia nuclear, técnicos de radiologia e medicina nuclear e radiologistas (8,42). Pode-se então concluir, que apesar de na maioria das vezes nos preocuparmos mais com a radiação ionizante proveniente de fontes de origem humana, esta acaba por representar uma percentagem muito menor de exposição do que a de origem natural, com a qual contactamos diariamente;
- Relativamente aos limites máximos de exposição, deve-se começar por fazer uma divisão entre trabalhadores com radiação (apresentam um maior controlo de exposição) e público em geral, pois os limites são diferentes nos dois grupos (8,12). Ao desenvolver este tema verifiquei que existem discrepâncias entre alguns limites máximos de exposição recomendados em Portugal e aqueles indicados pela CIPR. Neste campo seria importante realizar mais estudos de forma a uniformizar tais valores. Com esses estudos pretender-

-se-ia estabelecer um limite máximo para o qual a exposição à radiação ionizante ainda é considerada segura;

- Actualmente, no âmbito da protecção radiológica, já uma série de medidas foram tomadas: conceito de ALARA (optimização), justificação e limitação da exposição à radiação (40); protecção externa (tempo, distância e métodos de barreira) (8); desenvolvimento de radioprotectores (ainda em estudo) (53); guidelines de forma a minimizar a exposição de pacientes, técnicos de radiologia e radiologistas durante procedimentos médicos (9); características necessárias, por lei, a uma instalação que utilize radiação ionizante; criação de organizações responsáveis pela implementação de medidas de radioprotecção e sua fiscalização, tanto nacionais como internacionais (40).

Existem, no entanto, várias medidas que ainda podem vir a ser desenvolvidas no futuro, algumas das quais já se encontram em estudo: desenvolvimento definitivo dos radioprotectores, que actualmente se encontram em estudo; desenvolvimento de uma nova geração de reactores nucleares menores, padronizados, mais seguros e mais resistentes; programas de educação para a engenharia nuclear e física de saúde têm vindo a aumentar rapidamente por forma a fortalecer a infra-estrutura técnica para lidar com questões de radiação (60).

A protecção radiológica é um tema bastante actual, e apesar de todas as medidas tomadas, ainda se verificam várias falhas que devem ser colmatadas, por forma a ser possível obter os maiores benefícios da radiação ionizante, com o menor risco possível.

19. Bibliografia

- (1) Toxicological profile for ionizing radiation [Online]. 2011 Mar 3 [cited 2011 Mar]; Available from: URL:<http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp.asp?id=484&tid=86>
- (2) University of Rochester. Radiation safety training manual and resource book. [Online]. 2008 May [cited 2011 Jan]; Available from:

URL:http://extranet.urmc.rochester.edu/radiationSafety/documents/training_manual_002.pdf
- (3) Ciska Z, Leitz W, Depommier EM, Douws C, Gromb S, Kalifa G, et al, editors. Radiation protection: medico-legal exposures, exposures with ionizing radiation without medical indication. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2003.
- (4) Stanford University. Medical imaging: unsafe x-rays refined to computerized images [Online]. 2008 Feb 13 [cited 2010 Out]; Available from:
URL:<http://news.stanford.edu/news/2008/february13/med-imaging-021307.html>
- (5) University of California, Santa Cruz. Radiation safety fundamentals workbook. 4rd ed; 2000.
- (6) University of Nevada Reno. Radiation safety [Online]. 2011 Jan [cited 2011 Mar]; Available from: URL:<http://www.ehs.unr.edu/Documents/RadSafety.pdf>
- (7) Rask J, Elland C, Vercoutere W. Radiation biology educator guide. Revision 3. California: National Aeronautics and Space Administration (NASA); 2006.
- (8) Bushberg JT, Seibert JA, Leidholdt EM, Boone JM. The essential physics of medical imaging. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2002.
- (9) International Atomic Energy Agency. Occupational radiation protection: protecting workers against exposure to ionizing radiation. Proceedings of an International Conference; 2002 Aug 26-30; Geneva, Switzerland. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2003.
- (10) Tennessee Government. Rules of department of environment and conservation division of radiological health: chapter 1200-2-5 standards for protection against radiation [Online]. 2007 May [cited 2010 Sep]; Available from:
URL:<http://www.tn.gov/sos/rules/1200/1200-02/1200-02-10.pdf>
- (11) Diário da República Portuguesa - I Série. N.º 91 - 1990-04-19. Anexo IV: Limites de dose.
- (12) Becker W, Delaloye AB, Ciani V, Dixon AK, Harding K, McCall I, et al, editors. Directrizes para a prescrição de exames imagiológicos. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2001.
- (13) Nuis A. Council directive 97/43/EURATOM of 30 June 1997 on health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation in relation to medical exposure. Official Journal of the European Communities 1997 Jul 9;180:22-27.

- (14) Needham G, Grimshaw J. Referral guidelines for imaging: guidelines for healthcare professionals who prescribe imaging investigations involving ionizing radiation; 2008.
- (15) National Radiological Protection Board. Protection of the patient in x-ray computed tomography. London: HMSO; 1992.
- (16) International Commission on Radiological Protection. Radiation and your patient: a guide for medical practitioners [Online]. [cited 2010 Oct]; Available from: URL:http://www.icrp.org/docs/Rad_for_GP_for_web.pdf
- (17) Ward J. Advances in radiation biology. New York: Academic Press; 1975. p. 181239. Vol 5.
- (18) von Sonntag C. The chemical basis of radiation biology. London: Taylor & Francis; 1987.
- (19) Baccarelli, Gianturco FA, Scifoni E, Solov'yov AV, Surdutovich E. Molecular level assessments of radiation biodamage. The European Physical Journal D 2010 Sep 1;60:1-10.
- (20) University of California, Santa Cruz. Analytical x-ray safety workbook. 1st ed; 2001.
- (21) University of South Florida. Radiation safety: research x-ray safety manual [Online]. 2003 Aug [cited 2011 Jan]; Available from: URL:<http://www.research.usf.edu/cs/rad/xraymanual.pdf>
- (22) National Institute for Occupational Safety and Health. Occupational dermatoses: a program for physicians [Online]. 2001 Apr 17 [cited 2011 Feb]; Available from: URL:<http://www.cdc.gov/niosh/topics/skin/occderm-slides/occderm14.html>
- (23) Ghanem RC, Ghanem VC, Ghanem EA. Catarata polar anterior piramidal deslocada para a câmara anterior causando edema de córnea. Arq Bras Oftalmol 2004 Jul/Aug;67(4).
- (24) Mettler FA, Upton AC. Medical effects of ionizing radiation. 2nd ed. Philadelphia: WB Saunders; 1995.
- (25) Hall EJ. Radiobiology for the radiologist. 5th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2000.
- (26) Leenhouts HP. Radon-induced lung cancer in smokers and non-smokers: risk implications using a two mutation carcinogenesis model. Radiat Environ Biophys 1999;38:57-71.
- (27) Leenhouts HP, Chadwick KH. A two-mutation model of radiation carcinogenesis: applications to lung tumours in rodents and implications for risk evaluations. J Radiol Prot 1994;14:115-30.
- (28) Leenhouts HP, Brugmans MJP. An analysis of bone and head sinus cancer in radium dial painters using a two-mutation carcinogenesis model. J Radiol Prot 2000;20:169-88.
- (29) Leenhouts HP, Brugmans MJP. Calculation of the 1995 lung cancer incidence in the Netherlands and Sweden caused by smoking and radon: risk implications for radon. Radiat Environ Biophys 2001;40:11-21.

- (30) Leehnouts HP, Brugmans MJP, Chadwick KH. Analysis of thyroid cancer data from the Ukraine after “Chernobyl” using a two-mutation carcinogenesis model. *Radiat Environ Biophys* 2000;39:89-98.
- (31) Upton AC, Hartl DL, Boecker BB, Clifton KH, Denniston C, Epp ER, et al, editors. Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR V. United States of America: National Academy of Sciences; 1990.
- (32) National Research Council. BEIR VII: health risks from exposure to low levels of ionizing radiation [Online]. 2005 Jun [cited 2011 Mar]; Available from: URL:http://dels-old.nas.edu/dels/rpt_briefs/beir_vii_final.pdf
- (33) American Nuclear Society. Health effects of low-level radiation [Online]. 2001 Jun [cited 2011 Jan]; Available from: URL:<http://www.ans.org/pi/ps/docs/ps41.pdf>
- (34) Idaho State University. Radiation and risk [Online]. [cited 2011 Jan]; Available from: URL:<http://www.physics.isu.edu/radinf/risk.htm>
- (35) Cousin C, editor. Radiation and pregnancy. Forty-third Annual Meeting Program of Advances in Radiation Protection in Medicine; 2007 Apr 16-17; Virginia, USA. Maryland: National Council of Radiation Protection; 2007.
- (36) Wall BF, Meara JR, Muirhead CR, Bury RF, Murray M. Protection of pregnant patients during diagnostic medical exposures to ionizing radiation. United Kingdom: Health Protection Agency, The Royal College of Radiologists and the College of Radiographers; 2009.
- (37) Sharp C, Shrimpton JA, Bury RF. Diagnostic medical exposures: advice on exposure to ionizing radiation during pregnancy. Didcot: NRPB; 1998.
- (38) Bury B, Hufton A, Adams J. Radiation and women of child bearing potential. *BMJ* 1995;310:1022-3.
- (39) European Commission. Radiation criteria for acceptability of medical radiological equipment used in diagnostic radiology, nuclear medicine and radiotherapy [Online]. [2010?] [cited 2011 Feb]; Available from: URL:http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation_protection/consultations/doc/rp_91_update_2009_draft_for_consultation.pdf
- (40) European Commission. Communication from the commission to the European parliament and the council on medical applications of ionizing radiation and security of supply. Brussels: European commission; 2010.
- (41) Healthy Environments and Consumer Safety Branch. X-ray equipment in medical diagnosis part A: recommended safety procedures for installation and use. Canada: Minister of Public Works and Government Services; 2000.
- (42) Medical - MRI/ CT scan/ X-ray - osha warning [Online]. [2005-2011?] [cited 2011 Mar]; Available from: URL:<http://www.compliancesigns.com/MedicalMRICTXRyOSHAWarning.shtml>

- (43) United medical Technologies Corporation. Used x-ray equipment [Online]. 2011 [cited 2011 Mar]; Available from:
URL:<http://www.radiology-equipment.com/X-Ray.cfm>
- (44) Imaging Systems and Services. Used radiographic fluoroscopy equipment [Online]. 2011 [cited 2011 Mar]; Available from:
URL:<http://www.ncdmedical.com/?content=used equip pages/fluoroscopy equipmnt>
- (45) United States Nuclear Regulatory Commission. Dose standards and methods for protection against radiation and contamination [Online]. [cited 2010 Dec]; Available from: URL:http://mitnse.files.wordpress.com/2011/03/radiation_dose_08.pdf
- (46) Radiation basics [Online]. [cited 2010 Oct]; Available from:
URL:<http://www.gtceis.anl.gov/guide/rad/index.cfm>
- (47) Avental plumbífero tipo casaco - konex [Online]. [cited 2011 Mar]; Available from:
URL:http://www.rxnet.com.br/produtos_folder/avental_tipo_casaco.htm
- (48) AmRay Medical [Online]. 2011 [cited 2011 Mar]; Available from:
URL:<http://www.amray.ie/amray/main/Aprons-Gonad-Ovary.htm>
- (49) X-ray lead gloves for protection with CE certification [Online]. 2011 [cited 2011 Mar]; Available from: URL:<http://taixingruisheng.en.made-in-china.com/product/JMTQIGBPsWho/China-X-ray-Lead-Gloves-For-Protection-With-CE-Certification-14-.html>
- (50) iSaúde. Saúde pública de capital espanhola alcança mais de 85% de aprovação [Online]. 2011 [cited 2011 Mar]; Available from:
URL:<http://www.isaude.net/pt-BR/noticia/16225/saude-publica/saude-publica-de-capital-espanhola-alcanca-mais-de-85-de-aprovacao>
- (51) Syringe and vial shields [Online] [cited 2011 Mar]; Available from:
URL:<http://www.samedical.se/petct/engpetctmain.htm>
- (52) Kljajic RR, Masic ZS. Application of radioprotectors in radiation protection [Online]. [cited 2010 Oct]; Available from:
URL:<http://www.irpa.net/irpa10/cdrom/00226.pdf>
- (53) Gudkov AV, Komarova EA. Radioprotection: smart games with death. J Clinical Investigation 2010 Jul;120(7):2270-2272.
- (54) Nuclear Regulatory Agency. Regulation on basic norms of radiation protection [Online]. [cited 2011 Feb]; Available from:
URL:<http://www.bnsa.bas.bg/en/documents-en/legislation/regulations/reg-onrz2004en.pdf>
- (55) Radiation and Nuclear Safety Authority. Use of radiation in nuclear medicine. Helsinki: Radiation and Nuclear Safety Authority; 2003.
- (56) University of Wollongong. Radiation safety Guidelines [Online]. 2010 Aug [cited 2011 Jan]; Available from:
URL:<http://staff.uow.edu.au/content/groups/public/@web/@ohs/documents/doc/uow017051.pdf>

- (57) Amaral A, Fernandes TS, Cavalcanti MB. Bioindicators in radiation protection. *Braz arch boil technol* 2008 Dec;51:91-96.
- (58) Pinto M, Amaral A. Análise citogenética na investigação de incidentes radiológicos. *NewLab* 2011;105:76-86.
- (59) Diário da República Portuguesa - I Série-A. N.º 182 - 2002-Ago-08. Título VI, Das contra-ordenações e sanções acessórias; Art. 93º, Contra-ordenações.
- (60) Olson RL. The future of radiation protection: 2025 [Online]. 2002 Oct [cited 2011 Mar]; Available from:
URL:http://www.epa.gov/rpdweb00/docs/futures/future_2025.pdf

Anexos

Anexo I

Diário da República Portuguesa - Portaria n.º 229/96 de 26-06-1996

Protecção da segurança e da saúde das trabalhadoras grávidas, puérperas e lactantes.

1 - O Decreto-Lei n.º 441/91, de 14 de Novembro, sobre os princípios gerais da promoção da segurança, higiene e saúde no trabalho, determina que os empregadores devem avaliar os riscos para a segurança e saúde dos trabalhadores e adoptar as medidas de protecção adequadas.

Ao mesmo tempo, esse diploma prevê a adopção de legislação específica para protecção das mulheres grávidas em relação a certos riscos a que são especialmente sensíveis.

2 - Em conformidade com estes princípios, a Lei n.º 4/84, de 5 de Abril, na redacção dada pela Lei n.º 17/95, de 9 de Junho, adopta um conjunto de regras para protecção das trabalhadoras grávidas, puérperas e lactantes.

Assim, nas actividades com riscos específicos de exposição a agentes, processos ou condições de trabalho, o empregador deve avaliar a natureza, o grau e a duração da exposição das trabalhadoras grávidas, puérperas e lactantes, determinar qualquer risco para a sua segurança e saúde, bem como as repercussões sobre a gravidez ou a amamentação e decidir as medidas a tomar.

Se a avaliação revelar a existência de riscos, o empregador deve evitar a exposição das trabalhadoras, tomando para isso as medidas adequadas genericamente previstas na lei.

Além disso, em situações de maior gravidade, se a avaliação revelar riscos de exposição aos agentes e condições de trabalho que ponham em perigo a sua segurança ou saúde, as trabalhadoras grávidas e lactantes estão impedidas de exercer essas actividades.

3 - A nova legislação de protecção das trabalhadoras grávidas, puérperas e lactantes nos locais de trabalho baseia-se na avaliação dos riscos, ligados aos agentes, processos ou condições de trabalho, e no condicionamento ou proibição do exercício de certas actividades, consoante a natureza e o grau dos riscos existentes.

Com efeito, os conhecimentos científicos e os meios técnicos actuais permitem basear a protecção adequada das trabalhadoras grávidas, puérperas e lactantes em critérios de nocividade e em valores de referência que conduzam a limites de exposição aos riscos e, desse modo, determinar os agentes, processos e condições de trabalho que são condicionados ou proibidos.

4 - Diversamente, a Portaria n.º 186/73, de 13 de Março, regulamenta o trabalho das mulheres, baseando-se apenas na toxicidade de algumas substâncias e nas condições de risco

inerentes a certas actividades para proibir a utilização de certas substâncias ou o exercício de algumas actividades por parte das mulheres. Não havia, ao tempo, conhecimentos e meios técnicos para definir e aplicar valores limite de exposição aos riscos e, por isso, não era possível assegurar uma protecção adequada das mulheres através de medidas de condicionamento.

A regulamentação do trabalho das mulheres deve ser ajustada de modo a ser coerente com o novo regime de protecção da segurança e da saúde das trabalhadoras grávidas, puérperas e lactantes. Seria, com efeito, inadequado que a exposição a determinados agentes passasse a ser condicionada às trabalhadoras grávidas, puérperas e lactantes, mas permanecesse proibida às mulheres em geral. Justificam-se, assim, algumas adaptações na regulamentação do trabalho das mulheres, sem prejuízo da sua futura revisão.

5 - A Lei n.º 4/84, de 5 de Abril, prevê que as actividades susceptíveis de apresentarem um risco específico de exposição a agentes, processos ou condições de trabalho, bem como os agentes e condições de trabalho que ponham em perigo a segurança ou saúde das trabalhadoras grávidas, puérperas e lactantes, serão determinados por portaria.

Anexo II

Diário da República Portuguesa - Decreto de Lei n.º 180/2002 de 8 de Agosto, Título II, Capítulo II.

Refere que o médico responsável pela realização da exposição é também responsável pela sua justificação. O médico que prescreve o exame deve fornecer, por escrito, os seguintes dados:

- Identificação e idade do paciente;
- Se mulher em idade fértil verificar possibilidade de gravidez;
- De que situação suspeita naquele paciente;
- Descrição breve do caso;
- Objectivos que pretende obter com a exposição;
- Indicar e especificar, se houver, outra(s) patologia(s) associada(s);
- Contactos para a obtenção de informações suplementares;
- Indicação legível do seu nome e data.

Nenhuma pessoa pode ser submetida a uma exposição radiológica médica, a não ser que a mesma tenha sido justificada por um médico responsável, tendo em conta:

- a. O benefício potencial directo para a saúde do indivíduo ou para a sociedade em comparação com o detrimento que essa exposição possa causar;
- b. Eficácia, benefícios e riscos das técnicas alternativas disponíveis com o mesmo objectivo, mas que envolvam menos ou nenhuma exposição a radiações ionizantes;
- c. Critérios de referência adequados para as exposições a prescrever.

O médico responsável pela realização da exposição radiológica em situação de emergência deve dar particular atenção à justificação das exposições radiológicas médicas que envolvam:

- a. Paciente em que a gravidez não possa ser excluída;
- b. Paciente que está a amamentar e que vai ser submetida a um exame de medicina nuclear.

O médico responsável pela exposição radiológica deve assegurar-se que as doses a que o paciente é exposto são mantidas a um nível tão baixo quanto razoavelmente possível, tendo em conta as informações de diagnóstico pretendidas. Relativamente a exposições com fins terapêuticos, o médico deve assegurar-se que as exposições de volumes alvo são individualmente planificadas, tendo em conta que as doses dos volumes e tecidos circundantes são o mais baixas possível e coerentes com os objectivos radioterapêuticos. O médico é ainda responsável por seleccionar o equipamento adequado para cada indivíduo.

Anexo III

Diário da República Portuguesa - I Série. N.º 91 - 1990-04-19. Capítulo II: Zonas de risco; Art. 12º e 15º.

No Diário da República começa-se por classificar as zonas onde os trabalhadores poderão ser expostos a radiações:

- “Zonas controladas” - aquelas em que é provável que a exposição a que os trabalhadores estão sujeitos durante um ano possa ultrapassar 3/10 dos limites fixados;
- “Zonas vigiadas” - aquelas em que é provável que a exposição a que os trabalhadores estão sujeitos durante um ano possa ultrapassar 1/10, mas é improvável que ultrapasse 3/10 dos limites fixados.

Estas zonas devem estar convenientemente assinaladas, sendo os dispositivos de sinalização colocados de forma bem visível a quem entrar nesses locais. Esses dispositivos deverão indicar a importância e natureza do risco de exposição às radiações e de contaminação radioactiva a que os indivíduos podem estar sujeitos naquelas zonas.

Diário da República Portuguesa - I Série. N.º 91 - 1990-04-19. Anexo V: Sinalização de segurança.

Da legislação nacional e comunitária que regula e torna obrigatórias as normas de sinalização e segurança salientam-se:

- O trifólio é o símbolo básico para significar o perigo de radiações ionizantes;
- O símbolo e seus adicionais são em preto, sobre fundo amarelo (Figura 41);
- O símbolo pode ser usado em combinação com outros símbolos e textos adicionais nos casos de dúvida da boa interpretação daquele símbolo, quando isolado, ou sempre que a natureza do local ou do perigo o justifiquem, mas sem afectar a clareza do símbolo básico. Nenhuma letra deve ser sobreposta ao símbolo e o texto limitar-se-á ao mínimo possível (Figura 42);
- O símbolo pode ser associado ao círculo, ao triângulo ou ao rectângulo para



Figura 41: Trifólio de perigo radioactivo^a

constituir sinais de proibição, de aviso ou de informação (Figura 42).



Figura 42: Perigo radioactivo^b

^aFonte: Publicdomainpicture.net. Sinal radioactivo [Online]; Available from: URL:<http://www.publicdomainpictures.net/view-image.php?image=674&picture=sinal-radioativo&jazyk=PT>

^bFonte: Warningsignsdirect.co.uk. Danger radiation risk sign [Online]. 2010; Available from: URL:http://www.warningsignsdirect.co.uk/-c-516_774.html?osCsid=1d4b976d6cccecf027a8216b355bca8

Diário da República Portuguesa - I Série-A. N.º 182 - 2002-Ago-08. Título III: Instalações radiológicas; Capítulo I: Organização e funcionamento; Secção I: Disposições gerais; Art. 18º-20º, 23º, 24º. Secção II: Obrigações gerais; Art. 25º, 26º. Secção III: Equipamentos e instalações; Art. 30º-32º. Capítulo III: Condições gerais de segurança radiológica; Art. 36º.

As instalações radiológicas devem dispor de um regulamento interno, definido pelo titular, do qual deve constar:

- a) Identificação do director clínico e do seu substituto, bem como dos restantes colaboradores;
- b) Estrutura organizacional;
- c) Deveres gerais dos profissionais;
- d) Funções e competências por grupos profissionais;
- e) Normas de funcionamento.

Na elaboração e aplicação deste regulamento, o titular, deve assegurar a consulta e participação dos profissionais médicos e restante pessoal.

As instalações radiológicas devem ser tecnicamente dirigidas por um médico especialista da respectiva área, inscrito na Ordem dos Médicos, que assume as funções de director clínico.

As instalações devem dispor, para além dos profissionais médicos, do seguinte pessoal:

- a) Especialista em física médica;
- b) Técnico de diagnóstico ou de terapia devidamente habilitado;
- c) Pessoal de enfermagem no caso de as valências o exigirem;
- d) Pessoal de atendimento, secretariado e arquivo.

Sempre que seja efectuada uma exposição radiológica médica, deve ser entregue ao paciente um relatório assinado pelo médico responsável pela sua execução, em papel timbrado, com a identificação da instalação radiológica.

As instalações radiológicas devem conservar por qualquer processo pelo menos durante 10 anos, os seguintes documentos:

- a) Cópia dos relatórios das exposições efectuadas;
- b) Resultados nominativos;
- c) Resultados dos programas de garantia de qualidade;
- d) Registo do controlo dos resíduos radioactivos, antes da sua eliminação;
- e) Contratos celebrados quanto à recolha dos resíduos radioactivos, no caso dos mesmos não poderem ser confinados à instalação;
- f) Resultados das vistorias realizadas;
- g) Resultados da monitorização do pessoal durante o período de vida activa do trabalhador.

O titular da instalação assume a responsabilidade de a dotar de equipamentos e profissionais necessários ao desempenho das actividades desenvolvidas. Deve igualmente assegurar a vigilância e controlo médico dos trabalhadores profissionalmente expostos, informando-os sobre as conclusões dos exames médicos que lhes digam respeito, bem como da avaliação das doses recebidas. Além disso devem garantir assistência médica em caso de acidente, dando cumprimento aos requisitos estabelecidos na correspondente legislação aplicável em vigor. Ao titular incumbe ainda submeter à Direcção Geral de Saúde (DGS) um plano de acção para fazer face às exposições causadas por acidente ou devidas a situações de emergência e comunicar à DGS situações de onde resultem ou possam vir a resultar doses superiores aos limites estabelecidos.

A responsabilidade clínica implica uma presença física que garanta a qualidade dos exames. É da responsabilidade do director clínico:

- a) Elaborar o manual de práticas da instalação de acordo com o manual de boas práticas em vigor;
- b) Velar pelo cumprimento dos preceitos éticos e deontológicos;
- c) Velar pela qualidade dos tratamentos e dos cuidados clínicos prestados, tendo em particular atenção os programas de garantia de qualidade;
- d) Orientar superiormente o cumprimento das normas estabelecidas quanto à estratégia terapêutica dos doentes e aos controlos clínicos;
- e) Elaborar os protocolos clínicos e terapêuticos tendo em vista, designadamente, o cumprimento das normas definidas pelo manual de boas práticas e velar pelo seu cumprimento.

Ao director clínico incumbe ainda, no caso da utilização clínica de novas técnicas, propor ao titular acções de formação relativas a essas técnicas e aos requisitos pertinentes de protecção contra as radiações.

As instalações radiológicas devem situar-se em meios físicos salubres, de fácil acessibilidade e bem ventilados, e devem dispor de infra-estruturas viárias, de abastecimento de água, de sistemas de recolha de águas residuais e de resíduos, de energia eléctrica e de telecomunicações, de acordo com a legislação em vigor aplicável.

As instalações radiológicas devem situar-se em áreas especificamente aprovadas ao exercício das valências e as salas de exame devem ter as dimensões apropriadas. As instalações radiológicas devem dispor ainda das seguintes áreas:

- a) Salas onde se desenvolvem técnicas radiológicas;
- b) Sector de atendimento e respectivo apoio administrativo, salas de espera, instalações sanitárias para pacientes e para o pessoal da instalação, separadas, bem como vestiários de apoio a cada uma das salas em que seja desenvolvida a exposição do paciente.

As paredes, tectos, divisórias, portas e o revestimento das áreas destinadas a exames e tratamentos devem garantir a necessária protecção e segurança radiológica dos trabalhadores, do público e do paciente, bem como permitir a manutenção de um grau de

asepsia compatível com a zona a que se destinam e ainda evitar barreiras arquitectónicas de forma a facilitar o acesso e a mobilidade dos utentes com incapacidades, de acordo com as normas em vigor.

A fim de garantir as condições de segurança radiológica, o planeamento das instalações deve ter em conta a localização, a configuração, o número de salas e as respectivas dimensões, mediante as seguintes condições e especificações técnicas:

- a) A protecção adequada é obtida pelo controlo da distância dos trabalhadores à fonte de radiação, pela existência de barreiras de protecção e pela duração das exposições.
- b) A fim de assegurar que a exposição dos trabalhadores e dos membros do público seja tão baixa quanto razoavelmente possível, o planeamento das barreiras de protecção deve ter em conta a localização adequada do equipamento e as possíveis direcções do feixe primário de radiação.

No planeamento das barreiras de protecção devem ser usados os seguintes valores de limites derivados:

- a) 0,4 mSv/semana, para áreas ocupadas por trabalhadores profissionalmente expostos;
- b) 0,02 mSv/semana, para áreas ocupadas por membros do público.

O planeamento das barreiras de protecção deve ter em conta os seguintes factores:

- a) Para instalações de radiodiagnóstico e de radioterapia, a carga de trabalho semanal máxima prevista para o funcionamento da instalação;
- b) Para instalações de medicina nuclear, a actividade máxima dos radionuclídeos a utilizar ou a armazenar e a carga de trabalho semanal.

Deve ainda ser considerado o tipo de ocupação das áreas adjacentes às salas com exposição a radiações ionizantes e a sua acessibilidade pelos trabalhadores, pacientes e membros do público.

Diário da República Portuguesa - I Série-A. N.º 182 - 2002-Ago-08. Anexo

III: Cálculo das barreiras de protecção em instalações de radiodiagnóstico.

Para calcular as barreiras de protecção em instalações de radiodiagnóstico deve-se ter em conta:

- a) Energia da radiação;
- b) Carga semanal de funcionamento;
- c) Direcção do feixe útil da radiação;
- d) Tipo de ocupação das áreas a proteger.

Também é necessário determinar a espessura das barreiras e para isso deve-se considerar:

- I. Classificação da área a proteger
 - a) Área controlada (ocupada por trabalhadores profissionalmente expostos)

- b) Área não controlada (ocupada por membros do público);
- II. Tensão máxima a aplicar à ampola;
- III. Carga semanal ponderada;
- IV. Distância da ampola ao local a proteger;
- V. Distância do objecto difusor (corpo do paciente) ao local a proteger

A presença de fugas de radiação da cúpula da ampola, medidas a 1 m de distância do foco, não devem exceder 1 mGy durante 1h à carga máxima especificada pelo fabricante.

Diário da República Portuguesa - I Série-A. N.º 182 - 2002-Ago-08. Título III: Instalações radiológicas; Capítulo II: Da licença de funcionamento; Art. 35º. Capítulo III: Condições gerais de segurança radiológica; Art. 37º.

Deve ser feita uma reavaliação das condições de segurança da instalação sempre que se verifique uma das seguintes situações:

- a) Alteração na ocupação das áreas adjacentes (factores de ocupação);
- b) Alteração das barreiras de protecção em que incide directamente a radiação (factores de uso);
- c) Aumento da carga de trabalho semanal máxima ou aumento da actividade dos radionuclídeos, inicialmente declarada.

No caso de encerramento, o titular da instalação deve fazer a respectiva comunicação à DGS, acompanhada dos seguintes documentos:

- a) Inventário dos equipamentos e das fontes radioactivas, se as houver, e o destino previsto para os mesmos;
- b) Plano de descontaminação, no caso de existir contaminação radioactiva na instalação.

A responsabilidade do titular só se extingue quando todos os materiais e equipamentos estiverem retirados da instalação e esta esteja descontaminada, quando for o caso.

Anexo IV

Diário da República Portuguesa - I Série. N.º 91 - 1990-04-19. Capítulo II: Zonas de risco; Art. 16º.

1. Nas zonas controladas será obrigatória a dosimetria de exposição individual e nas zonas vigiadas a utilização de monitores de área, por forma a afectar-se uma avaliação, o mais correcta possível, das doses de radiação a que os trabalhadores estão sujeitos.
2. As zonas controladas e as zonas vigiadas devem ser organizadas de modo a que possam ser detectados os riscos das radiações ionizantes no meio ambiente e, em especial, de forma a proceder-se, segundo os casos, a medições das doses e dos débitos de dose, bem como aos registos dos resultados.
3. Especificamente, a avaliação das doses individuais deve ser feita sistematicamente para os trabalhadores profissionalmente expostos.
4. No caso de existir risco de contaminação radioactiva, é obrigatório o uso de equipamento pessoal de protecção adequado ao risco específico existente.
5. Na vigilância colectiva dos efeitos das radiações ionizantes deverá proceder-se à avaliação dos débitos de dose, com indicação da natureza e qualidade das radiações em causa, bem como à avaliação da concentração atmosférica e da densidade superficial das substâncias radioactivas contaminantes, com indicação da sua natureza e estado físico e químico.
6. Os resultados das medidas de vigilância colectiva devem ser registados e conservados em arquivo durante, pelo menos, 30 anos.
7. Compete ao técnico especialista em protecção contra radiações a organização operacional das zonas de risco, incluindo, a previsão de normas e instruções de trabalho.

Anexo V

Diário da República Portuguesa - Decreto de Lei n.º 165/2002 de 17 de Julho, Capítulo IV: Entidades competentes; Secção I: Entidades responsáveis; Art. 10º-20º. Secção II: Órgãos consultivos; Art. 21º-24º.

A regulamentação relativa à protecção contra radiações ionizantes, fundamentada nas normas básicas de segurança estabelecidas no direito comunitário, teve a sua expressão harmonizada através do Decreto-Lei n.º 348/89, de 12 de Outubro, e do Decreto Regulamentar n.º 9/90, de 19 de Abril, que determinam os princípios e as normas por que se devem reger as acções de prevenção e de protecção contra os efeitos nocivos da exposição radiológica.

Definiram-se assim competências e campos de actuação que possibilitaram dar resposta a situações que vão desde a protecção dos trabalhadores, do público e dos pacientes, submetidos a exames ou tratamentos médicos que recorram a radiações ionizantes, até emergências radiológicas que possam atingir pessoas e bens no território nacional.

O desenvolvimento contínuo do conhecimento científico e da prática administrativa, na área da protecção radiológica, tornou conveniente a revisão das normas de base e a sua codificação num novo acto legislativo, pelo que o Conselho da União Europeia aprovou a Directiva n.º 96/29/EURATOM, em 13 de Maio.

Na prossecução da observância das providências estabelecidas, continua a ser entendido que é atribuição do Ministério da Saúde a responsabilidade pelo desenvolvimento das acções genéricas na área da protecção contra radiações, cabendo à DGS a coordenação de medidas destinadas a assegurar em todo o território nacional a protecção das pessoas e bens contra os efeitos deletérios da exposição a radiações.

Esta coordenação não obnubila, porém, as competências específicas de outros organismos, nomeadamente o Instituto Tecnológico e Nuclear, o Serviço Nacional de Protecção Civil, o Instituto do Ambiente, o Instituto de Desenvolvimento e Inspecção das Condições de Trabalho, bem como a Ordem dos Médicos e a Ordem dos Médicos Dentistas.

Mantém-se como órgão de consulta a Comissão Nacional de Protecção contra Radiações, cuja constituição se altera, de forma a terem assento representantes dos referidos organismos.

Dado que há a necessidade de uma protecção adequada em caso de intervenção em situações de emergência radiológica, inclui-se a criação da Comissão Nacional para Emergências Radiológicas.

Entidades Responsáveis

Ministério da Economia e Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente

Compete ao Ministro da Economia outorgar a concessão mineira para extracção de minério radioactivo.

Compete ao Ministro da Economia e ao Ministro das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente aprovar mediante despacho conjunto as áreas mineiras de minério radioactivo que serão objecto de recuperação.

Direcção-Geral da Saúde

Compete à DGS:

- a) Conceder a autorização de práticas e o licenciamento de instalações e equipamentos produtores de radiações ionizantes, à excepção de actividades mineiras e outras instalações do ciclo de combustível nuclear;
- b) Conceder licença a entidades públicas ou privadas prestadoras de serviços na área da protecção radiológica, dosimetria e formação;
- c) Aprovar programas de formação na área da protecção contra radiações ionizantes;
- d) Fomentar acções de formação e de informação na área da protecção contra radiações ionizantes, com a participação das autoridades de saúde pública e em colaboração com outras entidades públicas ou privadas, sempre que adequado;
- e) Participar nas acções de informação à população susceptível de ser afectada em caso de emergência radiológica;
- f) Emitir caderneta radiológica para trabalhadores externos;
- g) Assegurar a aplicação das medidas de protecção dos trabalhadores expostos;
- h) Propor a adopção das disposições legais e regulamentares, tendo em vista a prevenção e a protecção contra os efeitos nocivos das radiações ionizantes;
- i) Manter actualizado o registo central das entidades detentoras de equipamentos produtores ou utilizadores de radiações ionizantes.

Autoridades regionais de saúde (ARS)

Compete à ARS territorialmente competente proceder à fiscalização e controlo do funcionamento de instalações e equipamentos radiológicos do Serviço Nacional de Saúde. (1)

Compete à entidade fiscalizadora verificar regularmente as condições de segurança radiológica com periodicidade não superior a metade do prazo de validade da licença de funcionamento concedida à instalação.

Para além das inspecções periódicas referidas compete ainda à entidade fiscalizadora efectuar, sempre que se lhe afigure pertinente ou possua informações que o justifiquem, todas as diligências para garantir a observância das normas instituídas, nomeadamente:

- a) Verificar a satisfação dos requisitos exigidos para a instalação, organização e funcionamento;
- b) Reconhecer o cumprimento das instruções constantes no manual de boas práticas;
- c) Avaliar a implementação dos programas de controlo de qualidade, no que se refere a:
 - Qualidade dos procedimentos;
 - Qualidade dos resultados dos exames de diagnóstico ou das terapias;
- d) Verificar os equipamentos mínimos exigidos para cada valência;
- e) Verificar as condições de manutenção dos equipamentos e a periodicidade das verificações;
- f) Apreciar as regras de armazenamento, segurança e certificação dos produtos.

O titular é obrigado a facultar à autoridade fiscalizadora:

- a) O acesso aos locais, aos equipamentos e acessórios utilizados;
- b) A instalação de equipamento ou instrumentação julgados necessários à obtenção de dados para efeitos de fiscalização;
- c) A consulta aos documentos técnicos relativos a segurança e protecção radiológica das instalações;
- d) O pessoal e os meios técnicos para o cabal desempenho da função fiscalizadora;
- e) Todos os esclarecimentos relativos ao funcionamento da instalação radiológica que lhe sejam pedidos. (2)

Direcção-Geral da Energia

Compete à Direcção-Geral da Energia:

- a) Conceder o licenciamento de instalações do ciclo de combustível nuclear;
- b) Autorizar a transferência, trânsito e reenvio de combustível nuclear, fresco ou irradiado, entre Portugal e os restantes Estados-Membros e entre Portugal e países terceiros, bem como o trânsito por Portugal desses materiais.

Instituto Tecnológico e Nuclear

Compete ao Instituto Tecnológico e Nuclear:

- a) Autorizar a detenção, transferência, introdução no território nacional, venda, locação, cessão ou qualquer outro tipo de transmissão de fontes radioactivas seladas ou equipamento que as incorpore;

- b) Manter actualizado o registo das informações contidas nos pedidos de licenciamento e autorização de transmissão de fontes radioactivas seladas;
- c) Autorizar a transferência e reenvio de resíduos radioactivos entre Portugal e os restantes Estados-Membros e entre Portugal e países terceiros, bem como o trânsito por Portugal dos resíduos dessa natureza;
- d) Proceder à fiscalização e controlo do funcionamento de instalações/equipamentos que prossigam práticas com fins de investigação e ensino;
- e) Sem prejuízo do disposto na alínea anterior, assessorar a autoridade competente nas funções de controlo, fiscalização e inspecção das instalações radiológicas;
- f) Assegurar a metrologia de radiações ionizantes e a calibração de sistemas e instrumentos de medição;
- g) Proceder à avaliação das entidades prestadoras de serviços na área da dosimetria;
- h) Avaliar o contributo de cada prática para a exposição da totalidade da população e propor medidas correctivas, caso necessário, para garantir a protecção da população em geral contra os riscos da exposição às radiações ionizantes;
- i) Avaliar e fiscalizar as condições de segurança no transporte de combustível nuclear, fresco ou irradiado, de fontes de radiação e de resíduos radioactivos;
- j) Proceder à colecta, acondicionamento e armazenamento temporário dos resíduos radioactivos sólidos produzidos no País;
- k) Participar nas acções de intervenção em casos de emergência radiológica ou de exposição prolongada, nos termos da legislação em vigor aplicável;
- l) Realizar as medições das concentrações de radionuclídeos no ambiente;
- m) Constituir e manter actualizado o registo previsto na alínea anterior;
- n) Criar e manter actualizado o registo central de doses dos trabalhadores expostos às radiações ionizantes;
- o) Proceder à vigilância ambiental na área de influência de explorações mineiras de minério radioactivo, incluindo as fases de exploração, encerramento e requalificação.

Instituto de Desenvolvimento e Inspeção das Condições de Trabalho

Compete a esta entidade:

- a) Apoiar as autoridades competentes na identificação dos riscos profissionais, na aplicação das medidas de prevenção e na organização de serviços de segurança e saúde no local de trabalho;
- b) Assegurar a promoção e a realização de programas de acção em matéria de segurança dos trabalhadores.

Centro Nacional de Protecção contra Riscos Profissionais

O Centro Nacional de Protecção contra Riscos Profissionais tem acesso à base de dados que constitui o registo central de doses dos trabalhadores expostos às radiações ionizantes, competindo-lhe:

- a) O controlo, a qualquer momento, das doses acumuladas pelas pessoas expostas;
- b) A realização de avaliações estatísticas.

Instituto do Ambiente

Compete ao Instituto do Ambiente:

- a) Acompanhar os aspectos de segurança nuclear associados aos riscos de acidentes em instalações em que sejam utilizadas ou produzidas matérias cindíveis ou férteis;
- b) Manter operacional uma rede de medida em contínuo de modo que possam ser detectadas situações de aumento anormal de radioactividade no ambiente;
- c) Manter actualizado o registo das medidas efectuadas na rede referida na alínea anterior;
- d) Actuar como ponto de contacto nacional para situações de emergência radiológica ocorridas no estrangeiro;
- e) Propor, caso necessário, medidas correctivas para garantia da protecção do ambiente e das populações em casos de emergência radiológica ou exposição prolongada, com contaminação ambiental.

Serviço Nacional de Protecção Civil

Compete ao Serviço Nacional de Protecção Civil:

- a) Actuar como ponto de contacto emissor de notificações sobre emergências radiológicas ocorridas em território nacional ou no espaço sob jurisdição portuguesa;
- b) Assegurar a elaboração e os ensaios dos planos de emergência externos para os casos de emergência radiológica ou de exposição prolongada;
- c) Assegurar a informação das populações de acordo com a legislação em vigor aplicável.

Direcções regionais de Economia

Compete à DRE territorialmente competente:

- a) Conceder o licenciamento de actividades de tratamento de minério radioactivo;

- b) Proceder à fiscalização e controlo do funcionamento das instalações que prossigam práticas para fins industriais.

Órgãos Consultivos

Comissão Nacional de Protecção Contra Radiações (CNPCR)

A CNPCR, prevista no artigo 4.º do Decreto-Lei n.º 348/89, de 12 de Outubro, funciona na DGS, com funções consultivas, e é composta pelos dirigentes ou seus representantes, designados para o efeito, dos seguintes serviços ou organismos:

- a) DGS, que preside;
- b) Colégios das especialidades de radiologia, de radioterapia e de medicina nuclear da Ordem dos Médicos;
- c) Ordem dos Médicos Dentistas;
- d) Instituto Tecnológico e Nuclear;
- e) Instituto de Desenvolvimento e Inspecção das Condições de Trabalho;
- f) Direcção-Geral da Energia.

O presidente pode chamar a participar nas sessões representantes de quaisquer organismos oficiais ou privados, ou especialistas de reconhecida competência.

O presidente pode constituir, de entre os vogais da Comissão e os representantes e especialistas referidos no número anterior, grupos de trabalho para se ocuparem do estudo e apreciação de questões específicas.

A Comissão Nacional de Protecção contra Radiações reúne em sessão plenária semestralmente e sempre que o presidente, por sua iniciativa ou a requerimento de três dos seus vogais, a convoque.

Competência da Comissão Nacional de Protecção contra Radiações

Compete a esta entidade:

- a) Emitir parecer ou formular recomendações sobre projectos legislativos e regulamentares no âmbito da protecção contra radiações ionizantes;
- b) Emitir parecer ou formular recomendações sobre o grau de cumprimento das determinações legais e regulamentares referentes à protecção contra radiações ionizantes;
- c) Emitir parecer ou formular recomendações sobre as prioridades de acções dos organismos envolvidos na protecção contra radiações ionizantes tendo em vista a definição de estratégias e actividades futuras;
- d) Emitir parecer ou formular recomendações sobre processos de licenciamento ou medidas disciplinadoras de actividades, sempre que a sua importância ou o seu grau de complexidade assim o exijam;

e) Emitir parecer ou formular recomendações que julgue relevantes para a divulgação de conhecimentos e para a formação de técnicos em protecção contra radiações ionizantes.

Comissão Nacional para Emergências Radiológicas

É criada a Comissão Nacional para Emergências Radiológicas junto do Serviço Nacional de Protecção Civil, com funções consultivas, que reúne os dirigentes ou seus representantes, designados para o efeito, dos seguintes serviços ou organismos:

- a) Serviço Nacional de Protecção Civil, que presidirá;
- b) DGS;
- c) Instituto Nacional de Emergência Médica;
- d) Instituto do Ambiente;
- e) Instituto de Meteorologia;
- f) Comissão de Planeamento da Agricultura, Pescas e Alimentação de Emergência;
- g) Instituto Tecnológico e Nuclear;
- h) Direcção-Geral da Energia.

O presidente pode chamar a participar nas sessões representantes de quaisquer organismos, oficiais ou privados, ou especialistas de reconhecida competência.

O presidente pode constituir, de entre os vogais da Comissão e os representantes e especialistas referidos no número anterior, grupos de trabalho para se ocuparem do estudo e apreciação de questões específicas.

A Comissão Nacional para Emergências Radiológicas reúne-se em sessão plenária semestralmente e sempre que o presidente, por sua iniciativa ou a requerimento de três dos seus vogais, a convoque.

Competência da Comissão Nacional para Emergências Radiológicas

Compete à Comissão Nacional para Emergências Radiológicas:

- a) Dar parecer sobre os planos de emergência externos para os casos de emergência radiológica;
- b) Assessorar a protecção civil, através do Serviço Nacional de Protecção Civil, nas acções de preparação para situações de emergência radiológica consideradas de âmbito nacional, nomeadamente fornecendo os elementos indispensáveis a uma correcta informação do público;
- c) Integrar de imediato, em situação de emergência que afecte ou possa vir a afectar zonas do território nacional, o Centro de Operações de Emergência de Protecção Civil, com vista ao acompanhamento da situação e à elaboração dos comunicados para informação da população.