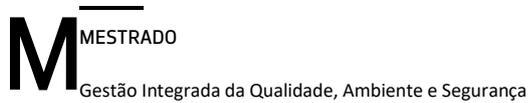


**M** MESTRADO  
GESTÃO INTEGRADA DA QUALIDADE, AMBIENTE E SEGURANÇA

# Exposição ocupacional a radiação ionizante numa instituição de saúde

Duarte Pinheiro do Rego

12/2023



# Exposição ocupacional a radiação ionizante numa instituição de saúde

Duarte Pinheiro do Rego  
8210043

## Orientador(es)

Professora Doutora Cláudia Sofia Barros Vieira  
Professor Doutor Paulo Eduardo Miranda dos Santos da Costa  
Laranjeira

Relatório de Projeto apresentado para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Integrada da Qualidade, Ambiente e Segurança pela Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico do Porto.

## **Declaração de Integridade**

Eu, Duarte Pinheiro do Rego, estudante nº 8210043, do Mestrado de Gestão Integrada da Qualidade, Ambiente e Segurança da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico do Porto, declaro que não fiz plágio nem auto-plágio, pelo que o trabalho intitulado “Exposição ocupacional a radiação ionizante numa instituição de saúde” é original e da minha autoria, não tendo sido usado previamente para qualquer outro fim. Mais declaro que todas as fontes usadas estão citadas, no texto e na bibliografia final, segundo as regras de referência adotadas na instituição.

## **Agradecimentos**

Este projeto representa a fase final de um longo percurso preenchido por bons e maus momentos. Claro que não consegui chegar até aqui sozinho, portanto gostaria de agradecer a todas as pessoas que me apoiaram nesta etapa.

Em primeiro lugar, quero agradecer aos meus pais e irmão pela constante ajuda e apoio que me dão todos os dias.

Aos meus orientadores, a Professora Cláudia Sofia Barros Vieira e o Professor Paulo Eduardo Miranda dos Santos da Costa Laranjeira pela sua orientação e disponibilidade, bem como os restantes docentes com quem tive a oportunidade de interagir.

Por fim, um agradecimento aos meus amigos e família por estarem sempre lá para mim.

## Resumo

No meio hospitalar são desenvolvidas inúmeras atividades que expõe continuamente os profissionais de saúde a radiação ionizante. Apesar da legislação existente e dos conhecimentos em relação aos riscos de exposição a radiação ionizante, continua a ser uma área de objeto de preocupação.

Este projeto visa avaliar a exposição ocupacional à radiação ionizante dos profissionais de saúde.

A amostra é formada por 319 sujeitos profissionalmente expostos a radiações, aos quais foi efetuada uma avaliação dos níveis de radiação para as doses equivalentes a 0.07mm e a 10mm de profundidade, nos anos de 2019 e 2020. Estes sujeitos pertencem aos serviços de Cardiologia, Cirurgia Vascular, Medicina Nuclear, Radiologia e Radioterapia, ainda que estes dois últimos apenas existam registos relativos ao ano de 2020. A metodologia utilizada neste estudo foi uma análise quantitativa através dos registos de doses dos profissionais de saúde expostos a radiação ionizante.

Os principais resultados mostram que em todos os meses, nos dois níveis de profundidade, o número de casos com valores iguais a 0 e superiores a 0. Contudo, nos últimos 5 meses de 2020, verificou-se um aumento significativo do número de profissionais expostos a valores superiores a 0. Em todos os serviços predominam baixos níveis de radiação. O serviço de radioterapia é o que regista valores mais altos.

A relação entre os níveis de radiação registados em 2019 e 2020, nos serviços de Cardiologia, Cirurgia Vascular, Medicina Nuclear, mostra a existência de uma correlação de moderada magnitude, com orientação positiva e estatisticamente significativa. Nestes serviços, a comparação dos níveis de radiação entre os anos de 2019 e 2020, mostra que apenas no serviço de medicina nuclear se registam evidências de diferenças estatisticamente significativas, decorrente do número de casos com registo mais baixo em 2019.

Concluiu-se que em todos os casos verificou-se que nenhum dos profissionais de saúde excedeu o limite de 20mSv por ano de dose efetiva estipulado por lei.

**Palavras-chave:** radiação ionizante, exposição, profissionais de saúde

## **Abstract**

*In the hospital environment, numerous activities are carried out that continually expose healthcare professionals to ionizing radiation. Despite existing legislation and knowledge regarding the risks of exposure to ionizing radiation, it continues to be an area of concern.*

*This project aims to evaluate occupational exposure to ionizing radiation among healthcare professionals. The sample is made up of 319 subjects professionally exposed to radiation, to whom an assessment of radiation levels was carried out for doses equivalent to 0.07mm and 10mm in depth, in the years 2019 and 2020. These subjects belong to the Cardiology services, Vascular Surgery, Nuclear Medicine, Radiology and Radiotherapy, although the last two only have records for the year 2020. The methodology used in this study was a quantitative analysis using records of doses of healthcare professionals exposed to ionizing radiation.*

*The main results show that in every month, at both depth levels, the number of cases with values equal to 0 and greater than 0. However, in the last 5 months of 2020, there was a significant increase in the number of professionals exposed at values greater than 0. Low levels of radiation predominate in all services. The radiotherapy service is the one with the highest values.*

*The relationship between the radiation levels recorded in 2019 and 2020, in the Cardiology, Vascular Surgery and Nuclear Medicine services, shows the existence of a correlation of moderate magnitude, with a positive and statistically significant orientation. In these services, the comparison of radiation levels between 2019 and 2020 shows that only in the nuclear medicine service is there evidence of statistically significant differences, resulting from the number of cases with lower registration in 2019.*

*It was concluded that in all cases it was found that none of the health professionals exceeded the limit of 20mSv per year of effective dose stipulated by law.*

**Keywords:** *ionizing radiation, exposure, health professionals*

## Índice

Agradecimentos .....	iv
Resumo.....	v
Abstract .....	vi
1. Introdução .....	1
1.1. Âmbito do estudo.....	1
1.2. Objetivos .....	3
1.3. Estrutura do estudo .....	3
2. Revisão da Literatura .....	5
2.1. Radiação ionizante.....	5
2.2. Propriedades das radiações ionizantes.....	5
2.3. Áreas de pesquisa das radiações ionizantes .....	6
2.4. Tipos de radiação ionizante .....	7
2.5. Contaminação <i>vs</i> irradiação.....	9
2.6. Efeitos determinísticos e estocásticos da exposição ocupacional à radiação ionizante.....	9
2.6.1. Efeitos determinísticos.....	9
2.6.2. Efeitos estocásticos.....	10
2.7. Efeitos agudos <i>vs</i> efeitos tardios.....	10
2.7.1. Efeitos (somáticos) agudos.....	10
2.7.2. Efeitos (somáticos) tardios.....	11
2.8. Outras doenças profissionais decorrentes da exposição às radiações ionizantes .....	12
2.9. Classificação dos trabalhadores expostos.....	13
2.10. Fatores que influenciam os efeitos da radiação na saúde .....	13
2.11. Índices de exposição à radiação e cálculo da dose .....	14
2.11.1. Dose absorvida .....	15
2.11.2. Dose equivalente.....	16
2.11.3. Dose efetiva .....	16
2.11.4. Taxa de dose.....	17
2.11.5. Nível de atividade .....	17
2.11.6. Limites de exposição à radiação.....	18
2.13 Percepção do Risco .....	20
2.14. Medidas de prevenção e proteção contra as radiações ionizantes .....	20
2.14.1. Análise do risco e planejamento .....	21
2.14.2. Princípio de ALARA (As Low As Reasonably Achievable).....	21
2.14.3. Posicionamento e Distância.....	21
2.14.4. Blindagem.....	22

2.14.5. Tempo de exposição.....	22
2.14.6. Equipamentos de proteção individual .....	23
2.14.7. Controlo da dose e monitorização da exposição.....	24
2.14.8. Treino e consciencialização .....	25
3. Material e Métodos .....	26
4. Resultados .....	29
4.1. Caracterização da amostra .....	29
4.2. Informação gráfica dos níveis de radiação por serviço e ano .....	44
4.3. Análise descritiva.....	46
4.4. Análise de correlação .....	47
4.5. Análise de regressão .....	48
4.6. Análise comparativa.....	50
5. Discussão de Resultados.....	53
6. Conclusões e Recomendações.....	55
7. Bibliografia .....	57
WEBGRAFIA .....	62
Anexos .....	63

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Propriedade das radiações ionizantes .....	5
Tabela 2 - Velocidade de algumas radiações ionizantes .....	6
Tabela 3 - Doenças profissionais pela exposição às radiações ionizantes e período de caracterização....	12
Tabela 4 - Fatores que influenciam os efeitos da radiação na saúde .....	13
Tabela 5 - Fatores de qualidade de diferentes tipos de radiação .....	15
Tabela 6 - Doses efetiva e equivalente de radiação ionizante estabelecidos na legislação portuguesa, para diferentes grupos da população.....	18
Tabela 7 - Número de casos válidos por serviço, ano e mês .....	27
Tabela 8 - Casos excluídos da amostra decorrente de situações específicas.....	27
Tabela 9 - Frequência absoluta e relativa de sujeitos não expostos e expostos, para Hp(10) e Hp(0.07), em todos os meses dos anos de 2019 e 2020, considerando a globalidade da amostra .....	29
Tabela 10 - Número de profissionais em cada serviço, não expostos e expostos, por ano e mês, para a dose equivalente individual a 10mm de profundidade, Hp(10).....	31
Tabela 11 - Número de sujeitos em cada serviço, não expostos e expostos, por ano e mês, para a dose equivalente individual a 0.07mm de profundidade, Hp(0.07) .....	32
Tabela 12 - Média, desvio-padrão, coeficiente de variação, valores mínimo e máximo nos dois níveis de profundidade (0.07mm e 10mm), nos anos de 2019 e 2020, nos serviços de cardiologia, cirurgia vascular, medicina nuclear, radiologia e radioterapia.....	47
Tabela 13 - Correlação de Spearman dos níveis de radiação entre as profundidades de 0.07mm vs 10mm, nos anos 2019 e 2020, por serviço hospitalar.....	48
Tabela 14 - Teste de Wilcoxon na comparação dos níveis de radiação entre 2019 vs 2020, a 0.07mm de profundidade.....	51

Tabela 15 - Teste de Wilcoxon na comparação dos níveis de radiação entre 2019 vs 2020, a 10mm de profundidade.....	52
--	----

## Índice de Figuras

Figura 1 - Poder de penetração de diferentes radiações ionizantes .....	9
Figura 2 - Avaliação e gestão do risco em Saúde e Segurança do Trabalho (Adaptado de NRS, National Research Council, 1994).....	19
Figura 3 - – Histograma do total de casos no serviço de cardiologia, a profundidades de Hp 0.07mm e Hp 10mm, nos anos de 2019 e 2020 .....	44
Figura 4 - Histograma do total de casos no serviço de cirurgia vascular, a profundidades de Hp 0.07mm e Hp 10mm, nos anos de 2019 e 2020.....	45
Figura 5 - Histograma do total de casos no serviço de medicina nuclear, a profundidades de Hp 0.07mm e Hp 10mm, nos anos de 2019 e 2020.....	45
Figura 6 - Histograma do total de casos nos serviços de radiologia e radioterapia, a profundidades de Hp 0.07mm e Hp 10mm, no ano de 2020 .....	46
Figura 7 - Gráfico da regressão linear simples para o ano de 2019.....	49
Figura 8 - Gráfico da regressão linear simples para o ano de 2020 .....	50

## Lista de siglas e acrónimos

ACT	Autoridade para as Condições do Trabalho
ALARA	<b>As Low As Reasonably Achievable</b>
Bq	unidade de medida Becquerel
C	unidades de Coulomb
CCOHS	Canadian Centre for Occupational Health and Safety (Centro Canadano para a Saúde e Segurança no Trabalho)
CIRMS	Council on Ionizing Radiation Measurements and Standards (Conselho de Medição e Padronização de Radiações Ionizantes)
DGS	Direção-Geral da Saúde
DNA	ácido desoxirribonucleico (deoxyribonucleic acid)
ECC	Commission of the European Communities (Comissão das Comunidades Europeias)
EPA	Environmental Protection Agency
EPI	equipamento de proteção individual
eV	elétron-volt
Gy	unidade de medida Gray
Hz	Hertz
IAEA	International Atomic Energy Agency (Agência Internacional de Energia Atómica)
IARC	International Agency for Research on Cancer (Agência Internacional para a Investigação sobre o Cancro)
ICRP	International Commission on Radiological Protection (Comissão Internacional de Proteção Radiológica)
IE	índices de exposição
IEC	International Electrotechnical Commission (Comissão Internacional de Eletrotécnica)
ILO	International Labour Organization (Organização Mundial do Trabalho)
IRD	Instituto de Radioproteção e Dosimetria
ISO	International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização)
IXRPC	International X-ray and Radium Protection Committee (Comité Internacional de Proteção aos Raios-X e Rádio)
J	Joule
MeV	mega elétron-volt
nm	nanómetros
OECD/NEA	Nuclear Energy Agency of Organisation for Economic Co-operation and Development (Agência de Energia Nuclear da Organização para Cooperação Económica e Desenvolvimento)
RI e RI's	Radiação ionizante e radiações ionizantes
Sv	unidade de medida Sievert
TAC	tomografia axial computadorizada
UNEP	United Nations Environment Programme (Programa Ambiental das Nações Unidas)

UNSCEAR United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (Comité Científico das Nações Unidas para os Efeitos da Radiação Atômica)

WHO World Health Organization (Organização Mundial da Saúde)

# 1. Introdução

## 1.1. Âmbito do estudo

Na área da saúde as radiações ionizantes (RI's) encontram um dos seus principais campos de ação, e como resultado a maior exposição dos seus profissionais. É também uma área privilegiada onde ocorre um elevado número de pesquisas com o objetivo de alcançar o máximo benefício com o mínimo risco possível. Uma das metas é minimizar as doses de radiação absorvidas tanto pelos profissionais quanto pelos pacientes durante os procedimentos que envolvam contacto com alguma fonte de RI, mantendo essas doses abaixo dos limites considerados permitidos.

Dados do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) (Tauhata et al., 2014) revelam que 80% dos profissionais expostos a fontes emissoras de RI's pertencem ao setor da saúde. Este dado enfatiza a importância do compromisso e da responsabilidade de cada profissional, das entidades empregadoras e das entidades fiscalizadoras no sentido de prevenir potenciais acidentes de trabalho e o desenvolvimento de doenças profissionais. Para tal, impõe-se o uso e conhecimento sobre equipamentos de proteção e suas aplicações, os processos de trabalho e os materiais, componentes ou recursos que são utilizados na atividade profissional, como forma de identificar e lidar com os riscos presentes nestas instalações.

Desde o descobrimento dos raios-X por Roentgen em 1895 e da radioatividade<sup>1</sup> por Becquerel em 1896 tem havido uma proliferação dos conhecimentos sobre as vantagens e desvantagens das radiações nos seres vivos. A palavra radiação foi usada até cerca de 1900 para descrever ondas eletromagnéticas. A radiação recém-descoberta mostrou características de partículas, em contraste com a radiação eletromagnética<sup>2</sup>, que foi tratada como uma onda. Na década de 1920, de Broglie desenvolveu a teoria da dualidade da matéria, que posteriormente provou-se estar correta através de experiências de difração de elétrons, tendo a distinção entre partículas e ondas deixado de ser importante. Hoje, a radiação refere-se a todo o espectro eletromagnético, bem como a todas as partículas atômicas e subatômicas em movimento. As radiações podem ser classificadas em termos de radiação ionizante e não ionizante. As radiações com energia suficiente para ionizar a matéria (i.e., separar um átomo ou uma molécula do meio que atravessa) são chamadas de radiações ionizantes, ao passo que as radiações cuja energia é menor do que a energia de ligação dos elétrons com o átomo designam-se de radiações não-ionizantes<sup>3</sup>.

As fontes de radiação são utilizadas para uma grande variedade de fins benéficos especialmente nos campos da indústria, medicina, investigação, agricultura e educação (Niu, 2011), sendo a sua utilidade indiscutível. Porém, apesar dos benefícios reconhece-se que poderá existir “detrimento para a saúde” humana decorrente da exposição profissional à radiação ionizante (artigo 2º do Decreto-Lei n.º

---

<sup>1</sup> Radioatividade refere-se à propriedade que alguns átomos têm de separar os seus núcleos instáveis, transformando-se, sucessivamente, em átomos de outros elementos, com libertação de RI, até alcançarem uma forma estável.

<sup>2</sup> A radiação eletromagnética é formada por fótons (i.e., partículas sem massa e sem carga), os quais se diferenciam pela energia que transportam (e.g., fótons dos raios-X possuem energia mais baixa do que os fótons dos raios- $\gamma$ ).

<sup>3</sup> Radiação não-ionizante, são radiações com comprimento de onda  $\lambda$  de cerca de 10nm ou mais. Esta parte do espectro eletromagnético inclui ondas rádio, micro-ondas, luz visível ( $\lambda=770 - 390\text{nm}$ ) e raios ultravioleta ( $\lambda=390 - 10\text{nm}$ ) (Tsoufanidi & Landsbeger, 2015).

222/2008, de 17 de novembro). Dos potenciais danos na saúde dos profissionais, destacam-se a possibilidade de redução da esperança e qualidade de vida em virtude de efeitos estocásticos e/ou efeitos determinísticos.

A excessiva exposição à radiação pode danificar tecidos e órgãos vivos, sendo que a magnitude do dano depende da quantidade de radiação recebida (ou seja, a dose); quanto maior a dose, maior o risco de efeitos adversos. Se a dose de radiação for baixa ou for administrada por um longo período de tempo, o risco é substancialmente menor porque os danos às células e moléculas serão reparados pelo organismo. Já a extensão do potencial dano depende de vários fatores, incluindo: o tipo de radiação, a sensibilidade dos tecidos e órgãos afetados, a forma e o tempo de exposição, os isótopos radioativos envolvidos, características da pessoa exposta (como idade, sexo e condição subjacente) (WHO, 2016).

Portanto, o principal risco de desenvolver efeitos adversos à saúde depende da dose de radiação e do tempo de exposição. A saúde é um dos setores da sociedade onde as RI's estão mais presentes. Como consequência, é na área da saúde onde ocorre a maior exposição e onde são realizadas com maior frequência pesquisas nos mais variados campos de ação, procurando-se produzir o maior benefício, ao mesmo tempo que se tenta minimizar ao máximo os riscos associados. Por exemplo, a exposição excessiva a RI's pode levar a mutações genéticas, danos nas células e tecidos, formação de cânceros e um rol de outros efeitos deletérios para a saúde humana (ICRP, 2007; UNSCEAR, 2012; ORISE, 2017). Por isso, é importante, por um lado, compreender primeiramente os riscos da exposição à radiação, e por outro, que as entidades empregadoras tomem medidas e diretrizes de proteção adequadas dos seus trabalhadores, como por exemplo, o uso de equipamentos de proteção individual e a observância dos limites de exposição estabelecidos por órgãos reguladores (Badawy et al. (2016); Baselet et al., 2016; Rose & Era, 2019; Miller et al., 2022). Para além do exposto, as fontes de radiação podem ser naturais (e.g., presentes no solo, na água, no ar) ou artificiais (e.g., raios-X, radiofármacos e diversos dispositivos médicos), e hoje sabe-se que fatores demográficos, como a idade, o género, a predisposição genética e as comorbilidades que a pessoa tem, a par de outros fatores relacionados com o estilo de vida exercem influência sobre a radiosensibilidade (Rose & Rae, 2019).

Nos últimos 20 anos, mais de metade da população mundial já realizou um exame radiológico (Miller et al., 2022). A radiação ionizante tem vindo a ser cada vez mais usada para procedimentos diagnósticos, terapêuticos e intervencionistas na medicina (sobretudo no âmbito da radioterapia, radiologia e medicina nuclear), particularmente nas especialidades de cardiologia, cirurgia vascular ou ortopedia. Nos últimos anos, a tecnologia sofreu melhorias substanciais, resultando em equipamentos que emitem menores doses de radiação; no entanto, os procedimentos tornaram-se mais complexos e de duração mais longa, o que representa um aumento do risco de saúde ocupacional para os profissionais de saúde que trabalham diariamente com radiação (e.g., aqueles que trabalham com equipamentos de diagnóstico e de imagens médicas, como os blocos operatórios, as unidades de cuidados intensivos e as enfermarias). Os efeitos

imediatos decorrentes da exposição às RI's em doses e tempo excessivos são irritação da conjuntiva ocular, da córnea e lesão da retina (Faria, 2008); o risco de cancro aumenta com a exposição ocupacional de 20mSv durante 1 ano, ainda que, segundo Carvalho (2009), apenas um número reduzido de profissionais está exposto a doses de radiação próximas dos 20mSv/ano. No campo da saúde, as radiações também têm propósitos diagnósticos e terapêuticos, constituindo inegavelmente um dos aspetos mais destacados na recuperação de complicações que de outra forma não seriam possíveis.

## 1.2. Objetivos

Tendo como objetivo geral:

- Avaliar os níveis de radiação ionizante a que os profissionais de saúde se encontram expostos nos diferentes serviços hospitalares.

Para alcançar o objetivo geral foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar os níveis de radiação dos profissionais expostos, registados a diferentes profundidades, pertencentes a diferentes serviços hospitalares;

- Dividir a amostra em profissionais expostos e não-expostos, e efetuar a caracterização das subamostras;

- Quantificar a relação entre os níveis de radiação nos anos de 2019 e 2020, nos serviços de Cardiologia, Cirurgia Vasculuar e Medicina Nuclear;

- Avaliar se existem diferenças significativas entre os níveis de radiação nos profissionais expostos pertencentes a diferentes serviços hospitalares.

## 1.3. Estrutura do estudo

O presente estudo está organizado em 7 capítulos:

- O capítulo 1, faz a «Introdução» a este estudo, onde se faz a apresentação do tema, do problema da pesquisa, justifica-se a importância do estudo e fornece uma visão global do conteúdo da dissertação;

- O capítulo 2, diz respeito à «Revisão da Literatura», onde é feita uma revisão geral e crítica da literatura relevante para o tema em estudo. Estabelece-se o contexto teórico e conceitual para a pesquisa;

- O capítulo 3, refere-se ao «Material e Métodos» empregue na pesquisa. É mostrada a amostra estudada, é descrito o *design* da pesquisa, o método utilizado na recolha de dados, as ferramentas e técnicas estatísticas usadas na análise dos resultados. Igualmente, é feita uma referência aos procedimentos éticos;

- O capítulo 4, apresenta os «Resultados» da pesquisa de forma objetiva e concisa;

- O capítulo 5, dedica-se à «Discussão dos Resultados», onde são interpretados os resultados apresentados no capítulo anterior, relacionando-os com os objetivos específicos do estudo e com a

revisão da literatura. É feita uma análise crítica dos resultados e a discussão das implicações e limitações do estudo;

- O capítulo 6, apresenta as «Conclusões e recomendações para trabalhos futuros», resumindo as conclusões gerais do estudo e destaca as contribuições para o campo de pesquisa. Além disso, são apresentadas sugestões para trabalhos futuros com base nas lacunas identificadas e nos resultados obtidos;

- O capítulo 7, lista a «Bibliografia» mencionada no estudo, permitindo verificar quais as fontes utilizadas;

- Os «Anexos» são usados para incluir informações adicionais que são relevantes para a pesquisa, mas que não se encaixam diretamente no corpo principal do estudo. Aqui estão incluídos os resultados do pressuposto da normalidade.

## 2. Revisão da Literatura

### 2.1. Radiação ionizante

De uma forma simples, a radiação ionizante é uma forma de energia com capacidade suficiente para remover elétrons dos átomos ou moléculas com as quais interage, criando íons positivos e elétrons livres no meio (WHO, 2016; Maqbool, 2017). Essa interação pode ocorrer de diferentes formas, incluindo a emissão de partículas alfa, beta, gama e neutrões, bem como radiação de raios-X ou gama, suscetível de produzir efeitos nefastos no organismo de todos os seres vivos, incluindo os seres humanos (IARC, 2000; Gupta, 2013). Segundo a U.S. Federal Communications Commission, RI's são todas aquelas com energia superior a  $10 \text{ eV}^4$  (Cleveland & Ulcek, 1999). Do ponto de vista da Legislação Portuguesa, a radiação ionizante refere-se à transferência de energia sob a forma de partículas ou de ondas eletromagnéticas com um comprimento de onda igual ou inferior a 100 nanómetros (nm), com uma frequência igual ou superior a  $3 \times 10^{15}$  Hertz (Hz), com capacidade de produzir íões direta ou indiretamente (Decreto-Lei n.º 108/2018, de 3 de dezembro). Por sua vez, a Environmental Protection Agency (EPA, 2001) refere que a ionização de uma molécula na água ocorre a uma energia de 33 eV (eletrão-volt), sendo este valor referenciado como o limite biológico apropriado para radiação ionizante. De todos os elementos, o céσιο é o que apresenta a mais baixa energia de ionização, ou seja, de 3.89 eV.

### 2.2. Propriedades das radiações ionizantes

As radiações ionizantes têm várias propriedades. Com apoio nos trabalhos de Shapiro (2002), da National Research Council (2006) e da UNSCEAR (2008, 2011a), a Tabela 1 sumariza algumas dessas propriedades.

Tabela 1 – Propriedade das radiações ionizantes

Propriedades	Características
Capacidade de ionização	As RI's possuem energia suficiente para remover elétrons de átomos e moléculas, produzindo íões. Esta situação pode conduzir à formação de elétrons livres e íões, capazes de reagir quimicamente com outras moléculas, danificando células e tecidos.
Efeito penetrante	Dependendo de tipo de partícula e energia, as RI's têm diferentes níveis de capacidade de penetração em materiais. As partículas $\alpha$ , por exemplo, têm baixa capacidade de penetração e são facilmente detidas por camadas finas de materiais, enquanto as partículas $\beta$ e as radiações $\gamma$ podem penetrar em camadas mais espessas de materiais.
Meia-vida	A meia-vida é o tempo necessário para que a metade dos núcleos instáveis de um material radioativo se desintegre, o que significa que a radioatividade de um material diminui com o tempo e pode ser medida em qualquer unidade de tempo.

<sup>4</sup> Um eletrão-volt (eV) é a energia cinética ganha por eletrão ao ser acelerado por uma diferença de potencial elétrico de 1 Volt. A relação entre 1 Joule e 1 eV é dada por:  $1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$ . Por sua vez, um mega eletrão-volt (MeV),  $1 \text{ MeV} = 1.60217656535 \times 10^{-13} \text{ J}$  (IARC, 2000).

Energia cinética	As RI's têm alta energia cinética, o que significa que elas têm a capacidade de transferir energia para materiais que interagem com elas, podendo levar à excitação ou ionização de átomos e moléculas que podem causar danos à matéria.
Poluição radioativa	A exposição excessiva a RI's pode levar à contaminação do ambiente com materiais radioativos, como resíduos nucleares ou emissões de reatores nucleares. Esta situação pode levar à poluição radioativa de solos, água e ar, com os consequentes efeitos negativos na saúde humana e no meio ambiente.

Considerando os 5 principais sentidos humanos, as radiações ionizantes são invisíveis, inodoras, inaudíveis, insípidas e indolores. A Tabela 2 apresenta a velocidade das radiações.

Tabela 2 - Velocidade de algumas radiações ionizantes

Radiações	Energia (MeV)	Velocidade (m/s)
Alfa	1	$7.0 \times 10^6$
Beta	4	$1.4 \times 10^7$
Neutrão	$2.5 \times 10^{-8}$	$2.2 \times 10^3$
	0.1	$1.4 \times 10^7$
Protão	1	$1.4 \times 10^8$
Raio-X	Qualquer	$3.0 \times 10^8$
Raio gama	Qualquer	$3.0 \times 10^8$

O valor  $3.0 \times 10^8$  m/s = 300000km/s, ou seja, a velocidade da luz

MeV =  $10^6$  eV =  $1.6 \times 10^{-13}$  Joule

### 2.3. Áreas de pesquisa das radiações ionizantes

O estudo das radiações ionizantes é importante por várias razões em algumas áreas:

1. Saúde e segurança: as RI's têm o potencial de causar danos à saúde humana e ao meio ambiente (Gupta, 2013; Baselet et al., 2016; Boerma et al., 2017). O estudo das RI's permite que sejam estabelecidos limites de exposição seguros e medidas de proteção capazes de assegurar que as pessoas que trabalham com radiação estejam seguras (Baselet et al., 2016).

2. Medicina: as RI's são usadas em diversas aplicações médicas, incluindo a radiografia, a tomografia axial computadorizada (TAC) e radioterapia. Sendo que é através do estudo destas radiações que se desenvolvem novas tecnologias, garantindo simultaneamente que possam ser usadas de forma segura e eficaz (Leach, 2014; Tochio et al., 2015; Sharma et al., 2018).

3. Indústria: as RI's são usadas para esterilização de produtos médicos, controlo da qualidade dos materiais e na produção de energia nuclear (IAEA, 2008; Filipic et al., 2020). Estudar estas radiações possibilita o avanço do conhecimento nestas áreas, bem como a desenvolver novas tecnologias (Jolesz et al., 2014).

4. Pesquisa científica: as RI's são usadas em pesquisas em diferentes áreas do conhecimento, estando, contudo, mais presentes nas áreas da física, química e biologia (Wondergem, 2014).

## 2.4. Tipos de radiação ionizante

Alguns dos principais tipos de radiação ionizante são:

- **raios-X**<sup>5</sup> – possuem energia suficiente para ionizar átomos e moléculas e causar danos aos tecidos corporais humanos. Estes raios são gerados a partir da colisão de elétrons acelerados com um alvo metálico, produzindo uma radiação eletromagnética de alta energia (Nowotny, 2014). Não obstante os efeitos nefastos, a radiologia de diagnóstico constitui uma poderosa ferramenta amplamente utilizada em medicina, incluindo radiologia e tomografia computadorizada, dados serem capazes de penetrar nos tecidos do corpo humano e produzir imagens com bastante detalhe dos ossos, órgãos e tecidos internos (Gomes, 2012; Leach, 2014; Tochio et al., 2015; Sharma et al., 2018). Também são utilizados em áreas como a inspeção de materiais e em processos de esterilização (IAEA, 1973, 2008; Filipic et al., 2020). Uma exposição aos raios-X pode ser prejudicial à saúde, podendo as RI's danificar as células, resultando em mutações genéticas<sup>6</sup>, danos no DNA ou mesmo cancro (Gupta, 2013; ORISE, 2017; Helm & Rudel, 2020).
- **Radiação gama** – Esta radiação são ondas eletromagnéticas com elevada frequência e energia, que são emitidas por núcleos atômicos em estado excitado. São fortemente penetrantes e podem atravessar facilmente materiais densos, como por exemplo, o betão e o chumbo (Semkow & Parekh, 2001).
- **Partículas alfa** – emitidas por átomos radioativos, sendo carregadas positivamente e são compostas por um aglomerado de quatro partículas, sendo dois prótons e dois neutrões (IARC, 2000; Baschenko, 2004; Gupta, 2013). Decorrente da sua carga elétrica, estas partículas possuem baixa capacidade de penetração em materiais, podendo por esta razão ser facilmente bloqueadas por uma folha de papel (Karam, 2008; Mattos & Másculo, 2011). Como sofrem muitas interações com átomos vizinhos, as partículas alfa depositam toda a energia num volume muito pequeno ( $3 \times 10^{-9} \text{ cm}^3$  no músculo).

---

<sup>5</sup> Os raios-X foram descobertos por Wilhelm Conrad Röntgen, em 1895. A designação deve-se ao facto de não se saber qual a sua origem. Desde então, tem sido demonstrada as vantagens (e.g., na medicina) e as ações nefastas desta radiação para o ser humano, devido à ação ionizante.

<sup>6</sup> A associação entre as mutações genéticas e os consequentes efeitos deletérios data de 1946 com a pesquisa de Muller acerca dos efeitos mutagénicos dos raios-X ou raios- $\gamma$  na mosca *Drosophila melanogaster*, levando-o a acreditar que a exposição à radiação ionizante deveria ser rigorosamente controlada. Por esta descoberta, Muller recebeu em 1946 o Prémio Nobel da Medicina e Fisiologia.

- **Radiação beta** – partículas carregadas negativas (elétrons) ou positivamente (positrão, ou seja, partículas que têm a mesma massa do elétron, porém, possuem carga positiva) que são emitidas por átomos radioativos. Têm carga elétrica de menos um e uma massa que é de  $1/7347$  da massa da partícula alfa. Razão pela qual estas partículas, comparativamente à radiação alfa, possuem uma maior capacidade de penetração em materiais, sendo capazes de atravessar camadas mais espessas de materiais, como por exemplo, a pele e os olhos num ser humano, mas não conseguem atingir os órgãos internos (Karam, 2008). Segundo Karam (2008), as partículas beta positivas são uma forma de antimatéria e não são habitualmente usadas, daí normalmente abordar-se apenas a carga elétrica negativa.
- **Partículas de neutrões** – com carga elétrica neutra (o que os torna capazes de interagir com o núcleo atômico de forma diferente dos elétrons), podem ser produzidas de diferentes formas, incluindo a fissão nuclear, ou seja, o processo em que o núcleo de um átomo pesado é dividido em dois núcleos menores, libertando neutrões no processo (IARC, 2000; IAEA, 2008). Igualmente, podem ser produzidos em aceleradores de partículas e em reatores nucleares (UNSCEAR, 2008) para gerar energia elétrica. Contudo, também são úteis em técnicas de análise de materiais, tais como a difração de neutrões, e na medicina nuclear para tratamento de certos tipos de cancro (IARC, 2000; Helm & Rudel, 2020). Segundo o Ionizing Radiation Measurements and Standards (CIRMS, 2004), o cancro é uma das principais causas de morte na população, sendo a RI uma das modalidades mais comuns usadas no tratamento. Em termos de tratamento, o objetivo da radiação ionizante é eliminar as células tumorais, mantendo o tecido normal. As partículas de neutrões possuem uma grande capacidade de penetração nos materiais, permitindo que sejam utilizados para estudar a estrutura interna de líquidos e sólidos (IARC, 2000; IAEA, 2008; UNSCEAR, 2008).

Com base no exposto, a Figura 1 traduz esquematicamente a capacidade de penetração das radiações ionizantes.

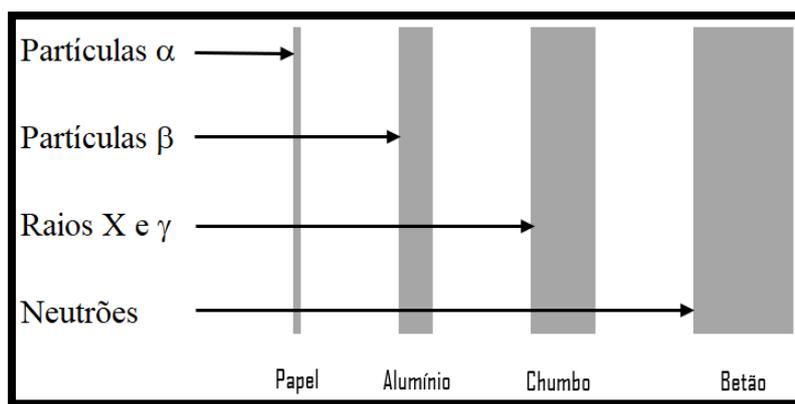


Figura 1 – Poder de penetração de diferentes radiações ionizantes

## 2.5. Contaminação vs irradiação

A dose de radiação de uma pessoa exposta pode ser aumentada de duas formas: contaminação e irradiação. Muitos dos acidentes por radiação mais significativos expuseram as pessoas a ambos (Vaquerizo, 2016). A contaminação refere-se ao contacto e retenção de um material radioativo, normalmente sob a forma de pó ou líquido. Distingue-se a contaminação externa da interna. A contaminação externa está situada na pele ou roupa; já a contaminação interna está depositada no corpo, podendo entrar no espaço interno por ingestão, inalação ou cortes na pele, favorecendo o transporte do material radioativo para todo o circuito corporal, especialmente para a medula óssea, expondo a pessoa a um risco acrescido. A contaminação radiativa interna é mais difícil de eliminar do que a contaminação externa (DGS, 2016).

Por sua vez, a irradiação é a exposição à radiação, mas não a material radioativo, portanto não há contaminação. Um exemplo é o contacto com um aparelho de raio-X e a consequente exposição a uma radiografia óssea com o intuito de verificar a existência (ou não) de fratura. Neste caso, quando a fonte de alimentação da radiação é removida ou desligada, tal indica o término da irradiação. As pessoas que sofrem a ação da irradiação, mas não da contaminação, não são radioativas (Vaquerizo, 2016).

## 2.6. Efeitos determinísticos e estocásticos da exposição ocupacional à radiação ionizante

A exposição à radiação ionizante pode resultar em dois tipos de efeitos sobre a saúde humana: efeitos determinísticos e efeitos estocásticos.

### 2.6.1. Efeitos determinísticos

Também conhecidos como efeitos não estocásticos, ocorrem quando a resposta biológica está diretamente relacionada a dose de radiação recebida. Resultam da exposição à RI, suscetível de provocar danos celulares ou a morte celular, prejudicando a função do tecido ou órgão irradiado. Estes efeitos têm

uma relação dose-resposta estabelecida (a partir do qual podem surgir os efeitos determinísticos), ou seja, a sua gravidade aumenta à medida que aumenta a dose de radiação recebida. Os efeitos determinísticos são os efeitos observáveis quando a dose é superior a um certo limiar e têm uma severidade previsível, i.e., que é proporcional ao dano (portanto, a gravidade depende da dose absorvida pelo órgão ou tecido). São exemplos, a síndrome aguda por radiação, queimaduras, queda de cabelo, esterilidade temporária ou permanente, danos nos órgãos, catarata induzida por radiação, anemia, lesões cutâneas, fibrose pulmonar, entre outros (DGS, 2016; Choudhary, 2018; Mack, 2020).

### **2.6.2. Efeitos estocásticos**

Também conhecidos como efeitos aleatórios, não têm um limiar de dose definido e não apresentam uma relação direta entre a dose e a gravidade do efeito. Ao invés, a probabilidade de ocorrência desses efeitos aumenta com a dose de radiação recebida, sem que haja uma relação direta com a gravidade, ou seja, mesmo com doses baixas, existe uma probabilidade de ocorrerem efeitos estocásticos, ainda que a gravidade seja menor. São efeitos de longo prazo que podem ocorrer em anos ou décadas após a exposição à radiação. A gravidade é independente da dose absorvida pelo órgão ou tecido. O principal efeito estocástico é o aumento do risco de cancro induzido por radiação, como por exemplo a leucemia, cancro do pulmão, cancro da tiroide, cancro da mama, mutações cromossômicas, efeitos hereditários, entre outros (DGS, 2016; Choudhary, 2018) e as doenças genéticas hereditárias (Mack, 2020). Não existe limiar de dose para os efeitos estocásticos. Contudo, o aumento da dose absorvida de radiação aumenta a probabilidade de desenvolver esses efeitos, mas não agravará o efeito em si (DGS, 2016; Mack, 2020).

## **2.7. Efeitos agudos vs efeitos tardios**

Dependendo do tempo em que se manifestam após a exposição, os efeitos biológicos da radiação ionizante podem ser classificados em efeitos agudos e tardios (CCOHS, 1989; Kim et al., 2011; Grabham et al., 2014; Helm & Rudel, 2020).

### **2.7.1. Efeitos (somáticos) agudos**

(também, efeitos determinísticos) São aqueles que ocorrem pouco tempo após a exposição a uma dose elevada de radiação ionizante, geralmente num período de dias ou semanas. Esses efeitos causam a morte das células que foram diretamente danificadas pela radiação. Alguns dos efeitos agudos incluem:

- Síndrome de radiação aguda. Resulta da exposição aguda de corpo inteiro a uma dose considerável de radiação ionizante externa muito penetrante ou resultante de contaminação tanto externa como interna. Esta síndrome representa a expressão clínica da lesão de órgãos importantes, em especial através de lesões na medula óssea, lesões gastrointestinais, lesões cardiovasculares e derrames. Basicamente, a exposição aguda a altas doses de RI's pode levar à síndrome aguda por radiação, a qual

pode originar sintomas como náuseas, vômitos, diarreia, queda de cabelo, danos aos tecidos e supressão do sistema imunológico (Demaria & Formenti, 2007; DGS, 2016; Ribeiro et al., 2019).

- Eritema e queimaduras na pele e em outros tecidos expostos;
- Epilação, ou seja, a perda de pelo nas zonas expostas;
- Esterilidade e anomalias do feto. No estudo de Wdowiak et al. (2019) com homens e no estudo de Skrzypek et al. (2019) com mulheres, ficou demonstrado que a exposição às RI's pode afetar a fertilidade e aumentar o risco de problemas reprodutivos, tais como a diminuição da qualidade do esperma, danos nos óvulos e risco aumentado de defeitos congénitos.

### **2.7.2. Efeitos (somáticos) tardios**

(também, efeitos estocásticos) São aqueles que podem ocorrer meses ou anos após a exposição a doses elevadas ou crónicas de RI's. Esses efeitos são causados por mudanças no DNA das células que não foram diretamente danificadas pela radiação. Alguns dos efeitos tardios incluem:

- Cataratas. Segundo Sakashita et al. (2019), a exposição crónica à radiação ionizante pode aumentar o risco de desenvolvimento de catarata, uma condição em que o cristalino do olho se torna opaco, afetando a visão. As cataratas também são o resultado de reações tecidulares, característica dos efeitos determinísticos.

- Problemas genéticos em descendentes. A exposição às RI's pode afetar as gametas, as células sexuais do corpo, conduzindo a malformações congénitas em descendentes. O cancro e as anomalias genéticas hereditárias que ocorrem a longo prazo são normalmente considerados fenómenos sem limiar de dose (DGS, 2016).

- Mutagenicidade e carcinogenicidade. As RI podem causar mutações no material genético (DNA) de uma célula ou organismo, que podem levar a problemas de saúde como cancro e defeitos genéticos em futuras gerações (Wu et al., 1999; Okuno & Yoshimura, 2010). Estas mutações definem-se como mudanças na sequência de DNA, podendo afetar um gene específico, um conjunto de genes ou mesmo o genoma inteiro (Pollycove & Feinendegen 2001; Cuttler & Pollycove, 2009). Da mesma forma, a exposição crónica às RI's aumenta o risco<sup>7</sup> de cancro, uma vez que a radiação pode danificar as células do corpo e causar mutações no DNA (Wu et al., 1999; Kim et al., 2011; Helm & Rudel, 2020). A exposição às RI's é uma das principais causas de cancro. A probabilidade de um trabalhador exposto adquirir um cancro como resultado da radiação ionizante aumenta com o aumento da dose de radiação. Niu (2011) menciona que em doses de 2500 mSv, a probabilidade diminui, devido aos efeitos de morte das células concorrentes.

---

<sup>7</sup> Para Funden (1996, p.93), estão sujeitos a riscos acrescidos de radiações ionizantes as pessoas cujas "situações de trabalho podem romper o equilíbrio físico, mental e social ... e não somente as situações que originam acidentes e doenças". Em contexto hospitalar, Bulhões (1998) refere que o risco ocupacional pode ser/ estar (i) oculto, por ignorância, por falta de conhecimento ou de informação, (ii) latente, onde o trabalhador apesar de saber que está a correr riscos, as condições de trabalho forçam a que tal aconteça, e (iii) real, apesar de conhecido não há possibilidade de o controlar.

Todavia, a gravidade do efeito estocástico induzido por radiação não depende da dose, i.e., o evento de saúde estocástico depende apenas da probabilidade da modificação pertinente de uma célula e da sua progressão para cancro (Niu, 2011; DGS, 2016).

A mutagenicidade é, assim, um importante fator a ser considerado nas avaliações de risco para a saúde, dado que a mutação num gene pode levar a uma variedade de efeitos negativos, incluindo o desenvolvimento de doenças genéticas, cancro e outras condições patológicas (ICRP, 2007; UNSCEAR, 2012; ORISE, 2017). Neste sentido, conforme a Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro e suas alterações (introduzidas pela Lei n.º 42/2012, de 28 de agosto, pela Lei n.º 3/2014, de 28 de janeiro, pelo Decreto-Lei n.º 88/2015, de 28 de maio, e pela Lei n.º 146/2015, de 9 de setembro), as “atividades que impliquem a exposição a radiações ionizantes” são consideradas de “risco elevado” e “suscetíveis de implicar riscos para o património genético” uma vez que podem “causar efeitos genéticos hereditários, efeitos prejudiciais não hereditários na progenitura ou atentar contra as funções e capacidades reprodutoras masculinas ou femininas”.

## 2.8. Outras doenças profissionais decorrentes da exposição às radiações ionizantes

Algumas doenças profissionais associadas à exposição profissional à radiação ionizante são apresentadas no Guia Técnico nº1 da Direção-Geral da Saúde (2016), as quais constam na Tabela 3.

Tabela 3 – Doenças profissionais pela exposição às radiações ionizantes e período de caracterização

Doenças profissionais pela exposição às RI's	Prazo indicativo de caracterização
Radiodermites agudas e radioepiteleites agudas das mucosas	2 meses
Anemia, leucopenia, trombopenia ou diátese hemorrágica consecutivas a irradiação aguda	1 ano
Blefarite ou conjuntivite	1 ano
Radiolesões crónicas das mucosas	5 anos
Radionecrose óssea	5 anos
Radiodermites crónicas	10 anos
Estados leucemóides	10 anos
Queratite	10 anos
Catarata	10 anos
Leucemia	18 anos
Sarcoma ósseo	30 anos
Tumores malignos da pele	30 anos
Carcinoma bronco-pulmonar por inalação	30 anos

Fonte: Lista das Doenças Profissionais – Decreto Regulamentar n.º 76/2007, de 17 de julho

## 2.9. Classificação dos trabalhadores expostos

Segundo o artigo 73.º Decreto-Lei n.º 108/2018, de 3 de dezembro, os trabalhadores expostos às radiações ionizantes são classificados em duas categorias, A e B:

– Trabalhadores da categoria A, são suscetíveis de receber uma dose efetiva superior a 6 mSv por ano, ou uma dose equivalente superior a três décimas de um dos limites anuais para o cristalino, para a pele ou para as extremidades. Também se incluem os aprendizes e estudantes com idade igual ou superior a 18 anos.

– Trabalhadores da categoria B, são todos os restantes trabalhadores expostos não classificados como sendo de categoria A. Também se incluem os aprendizes e estudantes com idade entre os 16 e os 18 anos.

## 2.10. Fatores que influenciam os efeitos da radiação na saúde

A exposição à radiação pode ter efeitos negativos na saúde humana. Existem vários fatores que podem influenciar os efeitos da radiação na saúde humana. Alguns dos mais importantes fatores, referenciados nos estudos de ICRP (1966, 1977, 1991, 2007), UNSCEAR (2000, 2008, 2011a, 2011b, 2012) e Gupta (2013), são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Fatores que influenciam os efeitos da radiação na saúde

Fatores	Características
Tipo de radiação	Diferentes tipos de radiação têm diferentes níveis de energia e penetração. As RI's, como raios-X e raios- $\gamma$ , são mais (penetrantes) perigosas do que as radiações não-ionizantes, como as de radiofrequência.
Dose de radiação	A quantidade de RI's a que uma pessoa é exposta pode influenciar significativamente os seus efeitos na saúde. Uma dose maior de radiação geralmente resulta em danos maiores no organismo humano.
Duração da exposição	A duração da exposição às RI's também pode influenciar os seus efeitos na saúde. Uma exposição curta a uma dose elevada de radiação pode ser tão prejudicial quanto uma exposição prolongada a uma dose baixa.
Exposição repetida	Exposições repetidas às RI's ao longo do tempo podem ter efeitos cumulativos na saúde. Isso pode ser um risco particular para pessoas que trabalham em ambientes com elevada exposição à radiação, tais como trabalhadores em centrais nucleares.
Idade	A idade de uma pessoa no momento da exposição às RI's pode influenciar os efeitos na saúde. Crianças e fetos em desenvolvimento são mais suscetíveis aos efeitos da radiação do que os adultos.

Estado de saúde	A saúde de uma pessoa pode influenciar os efeitos das RI's na saúde, afetando a capacidade de lidar com os efeitos da radiação. Pessoas com sistema imunológico enfraquecido ou com outras doenças (e.g., HIV) podem ser mais suscetíveis aos efeitos da radiação.
Proteção contra radiação	Medidas de proteção, incluem o uso de equipamentos de proteção, distância da fonte de radiação e a exposição limitada às RI's, podem ajudar a reduzir os efeitos negativos na saúde.

## 2.11. Índices de exposição à radiação e cálculo da dose

Os índices de exposição (IE) à radiação ionizante são medidas utilizadas para quantificar o nível de radiação ao qual uma pessoa ou objeto foi exposto. Os IE avaliam os riscos para a saúde decorrente da exposição às RI's e ajudam a estabelecer padrões de segurança para a exposição ocupacional e ambiental (University of California, Santa Cruz, 2000; Rask et al., 2006; UFRGS, 2006; ICRP, 2007). A exposição a elevados níveis de RI's pode ter efeitos nocivos à saúde. Portanto, importa monitorizar e limitar a exposição à radiação, na medida em que altas doses podem causar danos à saúde, incluindo cancro, doenças cardíacas e outras complicações de saúde (UFRGS, 2006; UNSCEAR, 2011b, Cuttler, 2020). Contudo, no entendimento da ICRP (2007), ainda são pouco conhecidos os efeitos da exposição a baixas doses de radiação (inferior a 100 mSv ou abaixo de mGy), dado poderem ser influenciados pela predisposição genética. Por exemplo, os estudos de Pollycove & Feinendegen (2001), Feinendegen, Pollycove & Sondhaus (2004), Cuttler & Pollycove (2009) e Boice, Held & Shore (2019) mostraram uma redução da taxa de mortalidade por cancro perante baixas doses de radioatividade, ao passo que o estudo de Qu et al. (2018) realizado com trabalhadores da indústria nuclear, mostrou não haver evidência dos efeitos estocásticos das RI's, contudo, os autores alertam para a necessidade de estabelecer mais protocolos para determinar se as baixas doses aumentam o risco de mortalidade relacionada com o cancro. Um estudo recente, realizado por Lumniczky et al. (2021) mostrou que mesmo as doses de radiação baixas são capazes de produzir danos nas células imunitárias T, especialmente as células CD4+ T.

O fator de qualidade é um parâmetro utilizado na radioprotecção de forma a ter em consideração o potencial de dano biológico causado por diferentes tipos de radiações ionizantes. O fator de qualidade está relacionado com a dose absorvida de vários tipos de radiação e com os danos que a mesma radiação causa nos tecidos expostos. O fator é multiplicado pela dose absorvida para determinar a dose equivalente (ver secção seguinte). Portanto, a absorção de quantidades equivalentes (energia por kg de tecido) proveniente de diversas fontes de radiação causam diferentes graus de lesão (University of California, Santa Cruz, 2000). Há um fator de qualidade associado a cada tipo e energia de radiação (Tabela 5). Um fator de qualidade elevado indica que o tipo de radiação absorvida tem um maior risco biológico ou maior efeito do que a radiação com um fator de valor baixo para a mesma dose absorvida (University of California, Santa Cruz, 2000). A comparação dos danos causados é feita com a radiação de referência, que é geralmente a radiação por raios-X. Pela Tabela 5 percebe-se, por exemplo, que as partículas  $\alpha$ , que têm mais alta massa

e carga elétrica, têm um fator de qualidade maior do que os raios-X, porque causam maior nível de destruição no tecido humano por unidade de dose absorvida.

Em suma, os fatores de qualidade são utilizados para ter em conta a diferente capacidade que cada tipo de radiação tem de causar danos biológicos nos tecidos humanos. Os valores apresentados são uma estimativa, pois os efeitos biológicos da radiação podem variar com a dose absorvida, com o tipo de tecido irradiado e com o tempo de exposição (WHO, 2016). Algumas Organizações, como o ICRP e a WHO atualizam periodicamente os valores de recomendação e limites à medida que novas pesquisas vão surgindo.

Tabela 5 – Fatores de qualidade de diferentes tipos de radiação

Tipos de radiação	Fator de qualidade
Partículas $\alpha$	20
Protões de alta energia	2
Neutrões	3 a 10
Partícula $\beta$	1
Raios- $\gamma$	1
Raios-X	1

(adaptado de IARC – International Agency for Research on Cancer, ICRP – International Commission on Radiological Protection e WHO – World Health Organization)

### 2.11.1. Dose absorvida

A «dose absorvida» ( $D$ ) é a quantidade de energia absorvida por unidade de massa. A unidade de medida é o Gray (Gy) (por vezes, também em miligray, mGy), onde 1 Gy é igual a 1 joule por quilograma (1 Gy = 1 J kg<sup>-1</sup> = 100 rad). É dada por:

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

em que  $d\varepsilon$  é a energia média depositada pelas radiações ionizantes na matéria num elemento de volume,  $dm$  é a massa da matéria contida nesse elemento de volume.

Nota: a expressão «dose absorvida» designa a dose média num tecido ou num órgão.

São vários os fatores que interferem na problemática da dose absorvida, sendo os mais importantes o tipo e a energia da radiação, o tempo de exposição à radiação, a distância da fonte de radiação e a capacidade do tecido humano para absorver a radiação (Knoll, 2010; Antoni & Bourgois, 2017). A dose absorvida é uma medida importante para avaliar os efeitos biológicos das RI's no corpo humano. Assim, doses muito altas são suscetíveis de causar dano nos tecidos e nas células, originando efeitos agudos como queimaduras, queda de cabelo e náuseas (ICRP, 2007; DiCarlo et al., 2020). Pelo contrário, doses baixas e em ambientes

controlados são usadas em diversas formas terapêuticas, reduzindo o risco de desenvolver de doenças (Pollycove & Feinendegen, 2001; Cuttler & Pollycove, 2009; Boice, Held & Shore, 2019).

O ICRP (2007) recomenda um máximo de 20 mSv/ano de dose absorvida em pessoas profissionalmente expostas, e 1 mSv/ano para as restantes pessoas.

### 2.11.2. Dose equivalente

A «dose equivalente» ( $H_T$ ), introduzida pela ICRP (1991), é a dose absorvida ajustada tendo em conta o tipo de radiação e o efeito biológico da radiação no tecido humano. A unidade de medida é o Sievert (Sv) (unidade de dose equivalente ou dose efetiva), onde 1 Sv é igual a 1 joule por quilograma (1 Sv = 1 J/kg = 100 rem), ajustado por um fator de ponderação de qualidade que depende do tipo de radiação. É dada por:

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

em que  $D_{T,R}$  é a dose absorvida média no tecido ou órgão  $T$ , ponderada em função do tipo e qualidade da radiação  $R$ . Os valores  $W_R$  são o fator de ponderação para o tipo de radiação, os quais são definidos em portaria, sob proposta da autoridade governativa competente.

Nota: uma dose absorvida de 1 Gy de raios-X tem um fator de qualidade de 1, então a dose equivalente seria 1 Sv. Portanto, a dose equivalente (que representa a dose absorvida ponderada pelo fator de qualidade) é igual à dose absorvida em Grays multiplicada pelo fator de qualidade: Sv= Gy x R. Uma dose de 1 Gy de partículas  $\alpha$ , que têm um fator de qualidade maior, teria uma dose equivalente maior.

Com base no manual da University of California, Santa Cruz (2000), na dissertação de mestrado de Castro (2005) e em Knoll (2010), a dose equivalente é uma medida utilizada na radioproteção para avaliar o risco sobre a saúde de pessoas expostas a radiações ionizantes. O ICRP (2007) recomenda 20 mSv de dose equivalente no cristalino e 500 mSv de dose equivalente na pele em pessoas profissionalmente expostas, e 15 mSv no cristalino e 50 mSv na pele para as restantes pessoas. Os limites de dose instituído em Portugal são apresentados na Tabela 6.

### 2.11.3. Dose efetiva

A «dose efetiva» ( $E$ ), expressa em sievert (Sv), corresponde a soma das doses equivalentes ponderadas em todos os tecidos e órgãos humanos, resultantes da exposição interna e externa (Decreto-Lei n.º 108/2018, de 3 de dezembro). É dada por:

$$E = \sum_T W_T H_T(\tau) = \sum_T W_T \sum_R W_R D_{T,R}$$

em que  $D_{T,R}$  é a dose absorvida média no tecido ou órgão  $T$ , como resultado da radiação  $R$ ,  $W_R$  é o fator de ponderação da radiação, e  $W_T$  é o fator de ponderação ( $R$ ) tecidular para o tecido ou órgão  $T$ .

Nota: os valores de  $W_T$  e  $W_R$  são definidos em portaria por parte da autoridade governativa competente. As grandezas dose efetiva e dose equivalente são designadas “*grandezas de proteção*” (i.e., têm em conta os efeitos na saúde), sendo os limites de dose estabelecidos em termos destas grandezas (DGS, 2016).

#### 2.11.4. Taxa de dose

A «taxa de dose» é a quantidade de dose absorvida ou dose equivalente que uma pessoa recebe por unidade de tempo. É particularmente importante nas atividades profissionais em que a radiação está presente, ou em situações de emergência, como por exemplo, acidentes nucleares (Samet et al., 2018) ou guerra nuclear (Shimizu et al., 2010), servindo para indicar se para um dado nível de dose deverá haver uma revisão pelos responsáveis, de forma a determinar se o valor é excessivo, tendo em conta as circunstâncias específicas e a aplicação das indicações clínicas. É medida em unidades Sievert por hora (Sv/h) ou millisievert por hora (mSv/h), embora também possa ser em Grays. É utilizada para avaliar a intensidade da radiação ionizante num determinado local. No seu cálculo mede-se a dose absorvida de radiação durante um certo tempo e divide-se pelo tempo de exposição. Por exemplo, se no espaço de uma hora, um monitor indicar que a dose absorvida é de 0.1 Sv/h, a taxa de dose seria de 0.1 Sv/h.

#### 2.11.5. Nível de atividade

O «nível de atividade» ( $A$ ) é uma medida da quantidade de material radioativo presente numa amostra exposta a esse material. Representa o número de desintegrações nucleares que ocorrem por segundo num material radioativo. Com isto, torna-se possível não apenas quantificar o material radioativo presente num ambiente, como quantificar o risco à saúde decorrente da exposição a essa radiação. O nível de atividade é usado para calcular a dose absorvida e a dose equivalente. No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de medida é o Becquerel (Bq)<sup>8</sup> e equivale a uma desintegração por segundo. Corresponde ao quociente entre  $dN$  por  $dt$ , onde  $dN$  é o valor esperado do número de transformações nucleares a partir desse estado energético no intervalo de tempo  $dt$ . Portanto,

$$A = \frac{dN}{dt}$$

Nota: antigamente usava-se o curie (Ci) e o fator de conversão entre as duas unidades é dado por: 1 Ci = 3,7 x 10<sup>10</sup> Bq.

---

<sup>8</sup> «Becquerel», (Bq) é a designação especial da unidade de atividade. Um becquerel equivale a uma transformação nuclear por segundo: 1 Bq = 1 s<sup>-1</sup>.

## 2.11.6. Limites de exposição à radiação

A Tabela 6 resume os valores limite de dose estabelecidos no Decreto-Lei n.º 108/2018, de 3 de dezembro, artigos 67º, 68º e 69º, para diferentes grupos de profissionais expostos.

Tabela 6 - Doses efetiva e equivalente de radiação ionizante estabelecidos na legislação portuguesa, para diferentes grupos da população

Limites de dose	Áreas corporais	Valor limite	Período
<b>+ Trabalhadores expostos</b>			
Dose efetiva		100 mSv	5 anos consecutivos
		20 mSv	Anual
Dose equivalente	do cristalino	20 mSv	
	para a pele	500 mSv	Anual
	para as extremidades	500 mSv	
<b>+ Aprendizizes e estudantes que utilizam fontes de radiação</b>			
Dose efetiva		100 mSv	5 anos consecutivos
		20 mSv	Anual, idade $\geq 18$ anos
		6 mSv	Anual, idade 16-18 anos
Dose equivalente	do cristalino	15 mSv	
	para a pele	150 mSv	Anual
	para as extremidades	150 mSv	
<b>+ Trabalhadoras grávidas, puérperas e lactantes que utilizam fontes de radiação</b>			
Dose equivalente		<1 mSv	Durante a gravidez
Dose equivalente	do cristalino	15 mSv	
	para a pele	50 mSv	Anual

## 2.12. Exposição Ocupacional à radiação ionizante

“O conceito de exposição profissional encontra-se intimamente relacionado com o conceito de dose de exposição, sendo esta a quantidade de um fator profissional que atinge um trabalhador exposto.” (Uva, 2006). Por sua vez, no Decreto-Lei n.º 108/2018, de 3 de dezembro está mencionado que um trabalhador exposto é a pessoa submetida durante o trabalho, por conta própria ou de outrem, a uma exposição regular, mesmo quando o trabalho é realizado de forma segura, decorrente de práticas suscetíveis de resultar numa dose superior a qualquer um dos limites de dose fixados para os membros do público. Fontes das Nações Unidas revelam que os países desenvolvidos apresentaram um aumento de 58% entre os relatórios de 2000 (UNSCEAR, 2000) e 2010 (UNSCEAR, 2011a) do Comité Científico das Nações Unidas sobre os Efeitos da Radiação Atómica (UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation).

A exposição médica às RI's pode ocorrer em várias situações, incluindo diagnóstico por imagem, tratamento de cancro e radioterapia. Embora estas tecnologias sejam extremamente úteis e salvem vidas, elas também têm o potencial de causar danos às células do corpo humano e poderem aumentar o risco de

desenvolvimento de cancro a longo prazo (IAEA, 2006; National Research Council, 2006; UNSCEAR, 2011a; Sutton, Collins & Heron, 2014; Cuttler, 2020; Helm & Rudel, 2020).

Porém, quando se fala em exposição média, fala-se em exposição intencional com vista ao benefício diagnóstico ou terapêutico do paciente.

Segundo Gomes (2012), Sutton, Collins & Heron (2014) e Costa (2015), os profissionais de saúde (e.g., técnicos de radiologia e radioterapia) minimizam o risco de exposição às RI's, recorrendo a técnicas de proteção radiológica, como limitar o tempo e a distância de exposição e o uso de barreiras de proteção, visando reduzir a quantidade de radiação recebida pelo paciente e pelo próprio profissional de saúde. Além disso, as doses de radiação utilizadas em procedimentos médicos são monitorizadas para garantir que estejam dentro de limites de segurança.

A legislação portuguesa, no artigo 4º do Decreto-Lei n.º 165/2002, de 17 de julho (DGS, 2016), refere que o controlo dos efeitos nocivos da RI na saúde humana, estão estabelecidos em três princípios basilares de proteção radiológica: justificação, otimização e limitação.

– Justificação: nenhuma prática que envolva a exposição à RI deve ser adotada, a não ser que o benefício (económico, social ou de outra ordem) resultante, para os indivíduos expostos ou para a sociedade, seja maior que o detrimento causado à saúde.

– Otimização: assegurar que a exposição dos indivíduos à RI seja tão baixa quanto razoavelmente atingível, tendo em conta fatores económicos e sociais.

– Limitação: a exposição dos indivíduos deve ser sempre mantida abaixo dos níveis estabelecidos.

Assim, a gestão do risco pode ser esquematizada da seguinte forma:

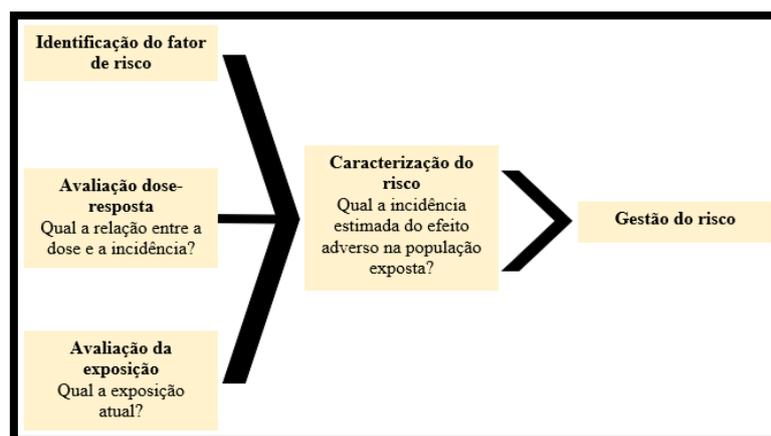


Figura 2 - Avaliação e gestão do risco em Saúde e Segurança do Trabalho (Adaptado de NRS, National Research Council, 1994).

### **2.13 Percepção do Risco**

A percepção do risco é fundamental na comunicação do risco, uma vez que determina a forma como a população trata o mesmo, é também um importante precursor no comportamento em como os perigos (fonte com potencial para causar dano ou doença) são lidados e evitados (Paek, 2017).

O conceito de risco remete para algo condicional, isto é, uma dose de incerteza sempre presente. Os tipos de percepção condicionam os trabalhadores nos seus comportamentos, atitudes e formas de realizar o trabalho, uma vez, que estes fatores podem afetar a possibilidade de os trabalhadores sofrerem acidentes ou contraírem doenças profissionais (Areosa, 2012).

Os hospitais como espaços de trabalho, são locais de múltiplas formas de risco, visto incorporarem riscos biológicos, riscos físicos, riscos químicos, riscos ergonómicos, riscos com máquinas ou equipamentos, riscos do próprio local ou ambiente de trabalho, riscos de organização de trabalho, riscos psicossociais, e ainda acresce a suscetibilidade individual perante as situações de risco, isto é, diferentes níveis pessoais de aversão ou de tolerância aos múltiplos fatores de risco” (Areosa, 2011).

A existência de um risco associado ao local de trabalho não pressupõe que o mesmo seja percecionado, interpretado e compreendido da mesma forma por todos os agentes sociais da organização. Deste modo, a percepção de riscos no trabalho é caracterizada pela heterogeneidade, dependendo da formação e da informação dos trabalhadores (Areosa, 2012). Areosa (2010), menciona fatores como o género, memória, disposições, humor e estado de espírito, personalidade, experiência, conhecimento, stresse no trabalho, timing das consequências, pressão do grupo, exposição e controlo sobre o risco, performance de segurança no local de trabalho, nível de educação/formação, cultura e clima de segurança, e relação custo/benefício.

É essencial para assegurar a proteção da saúde e o bem-estar dos trabalhadores que exista sensibilização e formação dos trabalhadores quanto à prevenção do risco associado à exposição a radiação ionizante (DGS, 2016).

Neste sentido, a entidade patronal, em estreita articulação com o serviço de Saúde e Segurança do Trabalhador/Serviço de Saúde Ocupacional deverá organizar ações que complementem/reforcem o conhecimento e a formação de base dos trabalhadores (DGS, 2016).

### **2.14. Medidas de prevenção e proteção contra as radiações ionizantes**

Não obstante a radiação ionizante estar presente na vida das pessoas, é sabido que a exposição excessiva é prejudicial à saúde. Por esta razão, algumas medidas de prevenção e proteção devem ser tomadas quer em ambientes naturais quer artificiais. Presentes no Decreto-Lei n.º108/2018, de 3 de dezembro, as medidas de proteção destinam-se a evitar ou a reduzir as doses suscetíveis de serem recebidas numa

situação de exposição de emergência ou numa situação de exposição existente, com exceção das medidas de remediação<sup>9</sup>.

#### **2.14.1. Análise do risco e planeamento**

O Decreto-Lei n.º 108/2018, de 3 de dezembro, refere que antes de desenvolver atividade profissional com RI's, é crucial efetuar uma análise de risco para identificar os possíveis perigos e, a partir deles, determinar as medidas de proteção adequadas.

#### **2.14.2. Princípio de ALARA (As Low As Reasonably Achievable)**

O Princípio de ALARA (As Low As Reasonably Achievable)<sup>10</sup> é um conceito bastante utilizado na indústria nuclear bem como em áreas que envolvem exposição a RI's. O ALARA é também um princípio básico de segurança radiológica<sup>11</sup>, onde se estabelece que todas as medidas de prevenção possíveis devem ser tomadas para minimizar a exposição (quer do trabalhador quer do público em geral) à radiação, mantendo-a tão baixa quanto razoavelmente possível, tendo em consideração fatores técnicos, sociais e económicos. O objetivo é reduzir os riscos para a saúde e para o meio ambiente associados à exposição às RI's (ICRP, 2007), sem comprometer a efetividade da tarefa a ser executada. Este mesmo organismo faz notar que fatores como a natureza da radiação, a atividade envolvida, as circunstâncias da exposição, a disponibilidade de tecnologias de proteção e os custos envolvidos são tidos em consideração no Princípio ALARA.

Neto et al. (2016, 2017) alertam para a importância das empresas e organizações que trabalham com materiais radioativos na tomada de medidas de segurança, que passam pela adequada utilização de equipamentos de proteção, a adoção de procedimentos seguros e a implementação de controlos rigorosos para reduzir o tempo e as condições de exposição à radiação. Além disso, o Princípio de ALARA incentiva a busca contínua de novas tecnologias e métodos que possam reduzir ainda mais a exposição à radiação ionizante, visando sempre manter a exposição tão baixa quanto razoavelmente possível.

#### **2.14.3. Posicionamento e Distância**

A intensidade da radiação recebida por um trabalhador diminui proporcionalmente ao quadrado da distância entre o trabalhador e a fonte, assim sendo, ao duplicar a distância do trabalhador à fonte de radiação ionizante a dose recebida pelo trabalhador passa para um quarto (Mazzilli, et al., 2002). Em muitos casos, a combinação dos fatores tempo e distância são suficientes para proporcionar uma proteção

---

<sup>9</sup> As medidas de remoção referem-se ou à interrupção ou à redução da exposição a uma qualquer fonte de radiação, quando se está na presença desta possibilidade.

<sup>10</sup> Foi introduzido pela ICRP – International Commission on Radiological Protection, de forma a reduzir a exposição ao nível mais baixo quanto possível. Inicialmente (ICRP, 1966) ajustou o conceito para “as low as is readily achievable”, para posteriormente (ICRP, 1977) adotar a expressão “tão baixo quanto razoavelmente possível” (“as low as reasonably achievable”, ALARA).

<sup>11</sup> O aprofundamento do conhecimento sobre a génese e a evolução da perceção do risco radiológico em Portugal foi estudada por Melo (2020).

adequada. No entanto, na prática, apresentam-se muitos casos em que os dois fatores anteriores não bastam por si só para se conseguir condições de trabalho aceitáveis, sendo necessário nessas situações interpor entre a fonte de radiação e o operador uma barreira (Ordem dos Médicos Dentistas, 2021)

#### **2.14.4. Blindagem**

O poder de penetração das RI's faz com que seja essencial a proteção dos profissionais expostos, para isso é necessária a adoção de medidas que as mitiguem. Por isso, a utilização de barreiras de proteção adequadas é uma medida fundamental para reduzir o grau de exposição às RI's. Aqui, a espessura e o tipo de material usados dependem do tipo de radiação (Santos, 2014). Por exemplo, quando a exposição é aos raios-X ou raios- $\gamma$ , deverão utilizar-se materiais como o (paredes) betão, chumbo ou aço (portas e janelas) (Santos, 2014).

A blindagem montada no equipamento inclui cortinas de proteção suspensas na mesa e no teto. Cortinas suspensas na mesa ficam penduradas na lateral da mesa do paciente, entre o tubo de raios X abaixo da mesa e o operador (Miller, et al., 2010).

Também todo equipamento de fluoroscopia deve possuir uma cortina ou saiate plumbífero, inferior e lateral, assim como biombo ou anteparos móveis de chumbo, com espessura não inferior a 0,5 mm equivalentes de chumbo para proteção do operador. Estudos feitos com procedimentos de cateterismo cardíaco relatam que há uma redução eficiente das doses dos médicos em 50% quando o anteparo de chumbo lateral está bem colocado entre o médico e o paciente durante os exames. Os biombo móveis reduzem a exposição dos profissionais que operam o aparelho de hemodinâmica em até 85% da radiação (Souza & Soares, 2008).

#### **2.14.5. Tempo de exposição**

A utilização de fontes de radiação resulta nalgum grau de exposição dos trabalhadores, estando os riscos a que estão expostos condicionados com o tempo de permanência junto à fonte de radiação e a distância entre a fonte de exposição e o indivíduo exposto. A forma de reduzir a dose equivalente recebida pelo trabalhador é diminuindo o tempo de exposição, aumento da distância fonte-indivíduo ou com o uso de barreiras (Mazzilli, et al., 2002).

A dose recebida por irradiação é diretamente proporcional ao tempo, assim sendo quanto maior o tempo de irradiação maior a dose recebida. No entanto, a redução do tempo de exposição implica que seja compatível com a correta prática dos procedimentos necessárias ao bom funcionamento da instalação (Mazzilli, et al., 2002).

### 2.14.6. Equipamentos de proteção individual

Entende-se por equipamento de proteção individual “todo o equipamento, bem como qualquer complemento ou acessório, destinado a ser utilizado pelo trabalhador para se proteger dos riscos, para a sua segurança e para a sua saúde” (Decreto-Lei n.º 348/1993, de 1 de outubro). O EPI, como meio de barreira contra as RI's durante a atividade laboral, “deve ser adequado aos riscos a prevenir e às condições existentes no local de trabalho, sem implicar por si próprio um aumento de risco”, e deve “atender às exigências ergonómicas e de saúde do trabalhador” (Decreto-Lei n.º 348/1993, de 1 de outubro).

A escolha do EPI depende do tipo de radiação, do nível de energia e das características específicas da atividade realização. Segundo Smilowitz, Balter & Weisz (2013), Badawy et al. (2016), Neto et al. (2016, 2017), Rose & Rae (2019), Vaz (2020) e Antunes-Raposo et al. (2022), alguns dos mais frequentes EPI incluem:

- Avental de chumbo (ou configuração colete/saia): usado para proteger o corpo da radiação. O avental deve ser feito de chumbo ou outro material pesado, e deve cobrir a maior parte do corpo, incluindo a parte superior das coxas. O chumbo para além de ser bastante denso é de fácil manuseamento (Baptista, 2011). Aventais de chumbo com 0,5 mm de espessura podem interceptar até 98% da radiação secundária e com 0,25 mm detêm até 96%, protegendo as gônadas e cerca de 80% da medula óssea ativa (Souza & Soares, 2008);

- Luvas: usadas para proteger as mãos da radiação: As luvas devem ser feitas de material resistente à radiação, como chumbo, borracha de látex com carga de bário ou compostos de tungsténio; (Whitby & Martin, 2005). As luvas cirúrgicas plumbíferas, que são comercializadas, possuem um fator de atenuação contra a radiação que varia de 5 a 20% (Souza & Soares, 2008);

- Óculos plumbíferos: usados para proteger os olhos da radiação. Os óculos devem ser feitos de material resistente à radiação, como vidro de chumbo (Miller et al., 2010; Baptista, 2011). A utilização deste equipamento permite reduzir entre 35-95% da radiação dispersa. Para tal, há que ter em conta a dimensão das lentes, bem como a presença ou ausência de proteção lateral (Kim & Miller, 2009; Miller et al., 2010). Neste caso, uma proteção lateral, no mínimo, de 0.25 mm Pb (Kim & Miller, 2009; Miller et al., 2010);

- Colar protetor da tireoide: com capacidade para reduzir a dose recebida entre 1.5 e 3 vezes, especialmente se for usado juntamente com um avental (ou colete/saia) que tenha uma espessura mínima de 0.5mm de equivalente em chumbo (Baptista, 2011);

Com o objetivo de avaliar a adesão ao uso de equipamentos de proteção individual, bem como do dosímetro pessoal, Antunes-Raposo et al. (2022) realizaram um estudo transversal envolvendo 295 profissionais que trabalham diretamente com radiações ionizantes em contexto hospitalar. Os principais resultados mostraram que o avental de chumbo (61.7%) e o protetor de tireoide (55.6%) foram os equipamentos mais referidos, ao passo que o uso de óculos (8.1%) e de luvas plumbíferas (0.7%) foram os

que tiveram menor adesão. Os principais motivos para a não utilização dos equipamentos de proteção individual radiológica foram indisponibilidade (no caso dos óculos e das luvas), bem como a presença de barreira de proteção e desconforto.

#### **2.14.7. Controlo da dose e monitorização da exposição**

O controlo da dose e a monitorização da exposição às RI's assumem-se como elementos fundamentais da segurança de todos aqueles que lidam com as RI's, procurando minimizar os riscos para a saúde humana e as implicações sobre o meio ambiente. Isto inclui o armazenamento adequado das fontes de radiação, a supervisão e o controlo/restricção de acesso, a implementação de procedimentos para manuseio, transporte e descarga segura de fontes radioativas (Knoll, 2010). Neste âmbito estão incluídos, naturalmente, os profissionais da área da saúde, como radiologistas e técnicos em radiologia, bem como outros profissionais que possam ser expostos à radiação nas suas atividades laborais.

A dosimetria é uma técnica utilizada para medir a quantidade de radiação a que uma pessoa é exposta. O dosímetro é um dispositivo individual e intransmissível usado para monitorizar a dose de radiação recebida por um trabalhador ao longo do tempo (Yoshimura, 2014; Antunes-Raposo et al., 2022). É um dispositivo específico para o tipo de RI que se pretende avaliar (e.g., radiação X, beta, gama) (DGS, 2916) e pode ser usado no corpo (ao nível do tórax) do trabalhador (sobre a roupa) ou no ambiente de trabalho, de forma a garantir que os níveis de exposição estejam abaixo dos limites estabelecidos pelas autoridades reguladoras (Neto et al., 2017). Importa que o aparelho seja regularmente calibrado para garantir a precisão e funcionamento adequado (DGS, 2016; Neto, 2017). A DGS (2016) faz notar que o dosímetro não protege da RI nem impede a ocorrência de efeitos na saúde humana, apenas se limita a registar a exposição à radiação no ponto onde é colocado. Da mesma forma, de forma a evitar leituras erróneas, deve existir especial cuidado com o local onde é guardado o dosímetro quando não está a ser utilizado pelo trabalhador. Existem alguns tipos de dosímetro, sendo eles:

- dosímetro de corpo inteiro - é de utilização obrigatória (exigível pelo decreto –lei n.º 108/2018) para todos os trabalhadores de zonas controladas, devendo ser colocado ao nível do peito (Decreto-Lei n.º 108/2018, de 3 de dezembro);
- dosímetro de extremidade - é aconselhada a sua utilização adicional (e.g. dosímetro de anel e/ou de pulso como ilustrado na figura) nas atividades em que seja previsível receber doses superiores a 3/10 do limite legal de dose nas extremidades. Constituem exemplo destas situações os casos em que as mãos podem estar expostas ao feixe de radiação (e.g. na radiologia de intervenção ou na manipulação de material radioativo) (Decreto-Lei n.º 108/2018, de 3 de dezembro);
- dosímetro para monitorização da radiação ionizante ao nível do feto, a utilizar no abdómen pelas trabalhadoras grávidas (Decreto-Lei n.º 108/2018, de 3 de dezembro);

- dosímetro para monitorização do cristalino - com a transposição da Diretiva 2013/59/EURATOM, prevê-se que seja necessária a monitorização da dose no cristalino (Decreto-Lei n.º 108/2018, de 3 de dezembro).

#### **2.14.8. Treino e consciencialização**

O treino adequado dos profissionais que lidam com radiações é uma medida eficaz de prevenção, proteção e minimização dos riscos associados. Segundo Decreto-Lei n.º 108/2018, de 3 de dezembro, Artigo 103.º, Educação, formação e treino de profissionais ligados às exposições médicas, a par do treino no uso correto de EPI, procedimentos de emergência e o cumprimento das normas regulamentares, deverá estar presente a consciencialização/educação acerca dos riscos e as boas práticas de segurança enquanto aspetos fundamentais para garantir uma cultura de segurança e reduzir os riscos de exposição desnecessária. Paralelamente, é importante, segundo a HERCA (2017), estabelecer procedimentos claros para situações de emergência relacionadas com as RI's. Isto inclui planos de evacuação (que também devem ser regularmente treinados pelos profissionais), treino para lidar com emergências, comunicação adequada e cooperação com as autoridades.

### 3. Material e Métodos

A população alvo deste estudo foram os profissionais de saúde do Centro Hospitalar Universitário São João (CHUSJ) através da análise dos registos de doses diárias que estes receberam durante o período entre 2019 e 2020.

Previamente à recolha de dados, foi solicitado à Comissão de Ética o pedido de autorização de utilização de dados e informação pertinente, que permitam a realização do estudo segundo as regras instituídas nesta unidade de saúde, pedido esse que foi concedido.

Os dados solicitados foram posteriormente entregues em um ficheiro PDF, e de seguida, foi criado um ficheiro Excel com os mesmos para facilitar a análise.

O principal objetivo deste estudo é a analisar os níveis de radiação presentes em diferentes grupos de profissionais expostos. Para a concretização deste objetivo, foram delineados alguns objetivos específicos, sendo eles:

- caracterizar os níveis de radiação dos profissionais expostos, pertencentes a diferentes serviços hospitalares;
- caracterizar os níveis de radiação, registados a diferentes profundidades, em profissionais expostos, pertencentes a diferentes serviços hospitalares;
- dividir a amostra em profissionais expostos e não-expostos, e efetuar a caracterização das subamostras;
- quantificar a relação entre os níveis de radiação nos anos de 2019 e 2020, nos serviços de Cardiologia, Cirurgia Vasculuar e Medicina Nuclear;
- avaliar se existem diferenças significativas entre os níveis de radiação nos profissionais expostos pertencentes a diferentes serviços hospitalares.

#### 3.1 Amostra

A população inicial era composta por 444 profissionais de saúde. Destes foram excluídos 125 profissionais de saúde que não tinham qualquer registo de doses durante os dois anos, bem como por outros motivos diversos, a título de exemplo ausências prolongadas, dosímetro extraviados, entre outras.

Após o tratamento dos dados da população inicial, selecionou-se que a amostra seria composta por 319 profissionais de saúde que foram expostos às radiações ionizantes. Destes, 43 exercem atividade no serviço de Cardiologia, 27 em Cirurgia Vasculuar, 33 em Medicina Nuclear, 171 em Radiologia e 45 em Radioterapia. Existe um elevado número de *missings* e de excluídos do estudo decorrente de situações específicas (dosímetro não devolvido, cancelado, dosímetro extraviado/danificado, dosímetro não processado por ter excedido o prazo de entrega, grávida ou em licença de parto e ausência prolongada).

Na Tabela 7 está apresentado o número de casos válidos por serviço, ano e mês.

Tabela 7 – Número de casos válidos por serviço, ano e mês

	Cardiologia		Cirurgia Vascular		Medicina Nuclear		Radiologia		Radioterapia		TOTAL	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
Janeiro	34	40	25	17	22	18	---	---	---	---	81	75
Fevereiro	34	37	26	19	23	18	---	---	---	---	83	74
Março	34	38	25	17	22	19	---	92	---	35	81	201
Abril	39	37	26	18	22	19	---	101	---	35	87	210
Maiο	39	37	26	23	22	21	---	101	---	34	87	216
Junho	39	36	25	22	22	21	---	113	---	35	86	227
Julho	39	37	24	23	22	21	---	114	---	35	85	230
Agosto	41	38	25	22	19	21	---	146	---	41	85	268
Setembro	41	39	21	20	17	25	---	156	---	41	79	281
Outubro	41	39	21	22	17	22	---	164	---	38	79	285
Novembro	40	39	20	22	18	22	---	161	---	40	78	284
Dezembro	42	37	20	22	18	28	---	161	---	41	80	289

### 3.2 Exclusão de casos

Foram excluídos da amostra os casos apresentados na Tabela 8, devido a diversas situações.

Tabela 8 – Casos excluídos da amostra decorrente de situações específicas

Código	Situação	2019	2020	TOTAL
B	Dosímetro não devolvido	8	338	346
C	Cancelado	0	4	4
E	Dosímetro extraviado/danificado	2	4	6
F	Dosímetro não processado por ter excedido o prazo de entrega	0	34	34
G	Grávida ou em licença de parto	0	20	20
H	Ausência prolongada	8	102	110

### 3.3. Procedimentos estatísticos

Todos os cálculos foram realizados no SPSS v.28.

O nível de significância estatístico adotado foi de 5% ( $\alpha=0.05$ ).

Os níveis de radiação foram registrados em milisieverts (mSv).

A análise exploratória de dados foi efetuada com a frequência absoluta ( $n$ ) e relativa (%) para as variáveis qualitativas (sem radiação, com radiação), e com a média (M), desvio-padrão (DP), coeficiente de variação (CV)<sup>12</sup>, valores mínimos (Mín) e máximo (Máx) para as variáveis quantitativas.

Foi obtida a informação gráfica (histograma) dos níveis de radiação por serviço e ano.

A verificação da normalidade foi realizada pelo teste de Shapiro-Wilk ( $W$ ) quando  $n \leq 50$ , ou pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ( $D$ ) quando  $n > 50$ . Igualmente, foram observados os gráficos PP-plot e QQ-plot.

<sup>12</sup> coeficiente de variação (CV):  $CV=(DP/M)*100$ , onde (Pestana & Gageiro, 2014; p.111):

$CV \leq 15\%$  → fraca dispersão

$15\% < CV \leq 30\%$  → moderada dispersão

$CV > 30\%$  → forte dispersão

A análise da relação entre os totais de radiação (2019 *vs* 2020), em cada serviço hospitalar, foi efetuada pelo coeficiente de correlação de Spearman ( $r_s$ ). A interpretação da magnitude da correlação foi feita segundo o intervalo de correlação apresentado em Pestana & Gageiro (2014, p.347), onde independentemente do sinal (+ ou -), se:

$r_s \leq 0.19$	correlação Muito Fraca
$0.20 \leq r_s \leq 0.39$	correlação Fraca
$0.40 \leq r_s \leq 0.69$	correlação Moderada
$0.70 \leq r_s \leq 0.89$	correlação Forte
$0.90 \leq r_s \leq 1.0$	correlação Muito Forte

A regressão linear simples entre as profundidades 0.07mm (variável independente) e 10mm (variável dependente), em 2019 e 2020, foi efetuada por visualização gráfica, com sobreposição da reta e da equação de regressão.

## 4. Resultados

### 4.1. Caracterização da amostra

Considerando a globalidade da amostra, a Tabela 9 apresenta a frequência absoluta e relativa de sujeitos que em cada mês dos anos 2019 e 2020, para as doses equivalentes a 10mm e 0.07mm de profundidade, não registaram e registaram valores de radiação. Verifica-se que em todos os meses, nos dois níveis de profundidade, o número de profissionais não expostos é substancialmente superior ao número de profissionais expostos. Contudo, nos últimos 5 meses de 2020, verificou-se um aumento significativo do número de profissionais com radiação.

Tabela 9 – Frequência absoluta e relativa de sujeitos não expostos e expostos, para Hp(10) e Hp(0.07), em todos os meses dos anos de 2019 e 2020, considerando a globalidade da amostra

Anos/meses	Não expostos		Expostos		Não expostos		Expostos	
	Hp(10)		Hp(10)		Hp(0.07)		Hp(0.07)	
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
<b>+ 2019</b>								
Janeiro	72	88.9	9	11.1	75	92.6	6	7.4
Fevereiro	73	88.0	10	12.0	76	91.6	7	8.4
Março	73	90.1	8	9.9	76	93.8	5	6.2
Abril	79	90.8	8	9.2	82	94.3	5	5.7
Maio	79	90.8	8	9.2	80	92.0	7	8.0
Junho	78	90.7	8	9.3	80	93.0	6	7.0
Julho	75	88.2	10	11.8	77	90.6	8	9.4
Agosto	76	89.4	9	10.6	78	91.8	7	8.2
Setembro	73	92.4	6	7.6	76	96.2	3	3.8
Outubro	68	86.1	11	13.9	72	91.1	7	8.9
Novembro	71	91.0	7	9.0	73	93.6	5	6.4
Dezembro	74	92.5	6	7.5	77	96.3	3	3.8
<b>+ 2020</b>								
Janeiro	69	92.0	6	8.0	71	95.9	3	4.1
Fevereiro	67	90.5	7	9.5	70	94.6	4	5.4
Março	193	96.0	8	4.0	193	96.0	8	4.0
Abril	207	98.6	3	1.4	208	99.0	2	1.0
Maio	213	98.6	3	1.4	216	100.0	0	0.0
Junho	218	96.0	9	4.0	224	98.7	3	1.3
Julho	224	97.4	6	2.6	230	100.0	0	0.0
Agosto	211	78.7	57	21.3	211	78.7	57	21.3
Setembro	183	65.1	98	34.9	186	66.2	95	33.8
Outubro	165	57.9	120	42.1	166	58.2	119	41.8
Novembro	169	59.5	115	40.5	173	60.9	111	39.1
Dezembro	165	56.9	125	43.1	169	58.3	121	41.7

Considerando a amostra em cada serviço, a Tabela 10 apresenta a frequência absoluta e relativa de sujeitos que em cada mês dos anos 2019 e 2020, para as doses equivalentes a **10mm de profundidade**. Verifica-se que em todos os meses, nos dois níveis de profundidade, o número de profissionais não

expostos é substancialmente superior ao número de profissionais expostos. Contudo, tal como ocorreu com a globalidade da amostra, também nos serviços, nos últimos 5 meses de 2020 verificou-se um aumento significativo do número de profissionais expostos. Nos serviços de radiologia e radioterapia apenas foram disponibilizados registos de março a dezembro de 2020.

Em 2019, por serviço, as frequências de profissionais expostos foram registadas nos meses de agosto e outubro no serviço de cardiologia, no mês de julho em cirurgia vascular e outubro em medicina nuclear.

Considerando a amostra em cada serviço, a Tabela 11 apresenta a frequência absoluta e relativa de sujeitos que em cada mês dos anos 2019 e 2020, para as doses equivalentes a **0.07mm de profundidade**. Verifica-se que em todos os meses, nos dois níveis de profundidade, o número de profissionais não expostos é substancialmente superior ao número de profissionais expostos. Contudo, tal como ocorreu com a globalidade da amostra, também nos serviços, nos últimos 5 meses de 2020 verificou-se um aumento significativo do número de profissionais expostos. Nos serviços de radiologia e radioterapia apenas foram disponibilizados registos de março a dezembro de 2020.

Em 2019, por serviço, as frequências de profissionais expostos foram registadas nos meses de maio, agosto e outubro no serviço de cardiologia, no mês de julho em cirurgia vascular; em medicina nuclear não foram registados casos com exposição.

Tabela 10 – Número de profissionais em cada serviço, não expostos e expostos, por ano e mês, para a dose equivalente individual a 10mm de profundidade, Hp(10)

Anos/meses	Cardiologia				Cirurgia Vascular				Medicina Nuclear				Radiologia				Radioterapia					
	Não expostos		Expostos		Não expostos		Expostos		Não expostos		Expostos		Não expostos		Expostos		Não expostos		Expostos			
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		
<b>+ 2019</b>																						
Janeiro	29	85.3	5	14.7	24	96.0	1	4.0	19	86.4	3	13.6	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Fevereiro	29	85.3	5	14.7	24	92.3	2	7.7	20	87.0	3	13.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Março	29	85.3	5	14.7	25	92.6	2	7.4	19	86.4	3	13.6	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Abril	34	87.2	5	12.8	26	100.0	0	0.0	19	86.4	3	13.6	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Maio	34	87.2	5	12.8	25	96.2	1	3.8	20	90.9	2	9.1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Junho	34	87.2	5	12.8	24	96.0	1	4.0	20	90.9	2	9.1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Julho	35	89.7	4	10.3	20	83.3	4	16.7	20	90.9	2	9.1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Agosto	35	85.4	6	14.6	24	96.0	1	4.0	17	89.5	2	10.5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Setembro	37	90.2	4	9.8	21	100.0	0	0.0	15	88.2	2	11.8	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Outubro	35	85.4	6	14.6	20	95.2	1	4.8	13	76.5	4	23.5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Novembro	37	92.5	3	7.5	18	90.0	2	10.0	16	88.9	2	11.1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Dezembro	39	92.9	3	7.1	20	100.0	0	0.0	15	88.2	2	11.8	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
<b>+ 2020</b>																						
Janeiro	37	92.5	3	7.5	17	100.0	0	0.0	15	83.3	3	16.7	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Fevereiro	34	91.9	3	8.1	18	94.7	1	5.3	15	83.3	3	16.7	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Março	31	81.6	7	18.4	16	94.1	1	5.9	19	100.0	0	0.0	92	100.0	0	0.0	35	100.0	0	0.0	---	---
Abril	35	94.6	2	5.4	18	100.0	0	0.0	19	100.0	0	0.0	100	99.0	1	1.0	35	100.0	0	0.0	---	---
Maio	37	100.0	0	0.0	23	100.0	0	0.0	21	100.0	0	0.0	99	98.0	2	2.0	33	97.1	1	2.9	---	---
Junho	34	94.4	2	5.6	21	95.5	1	4.5	18	85.7	3	14.3	110	97.3	3	2.7	35	100.0	0	0.0	---	---
Julho	36	97.3	1	2.7	23	100.0	0	0.0	18	85.7	3	14.3	112	98.2	2	1.8	35	100.0	0	0.0	---	---
Agosto	30	78.9	8	21.1	16	72.7	6	27.3	11	52.4	10	47.6	124	84.9	22	15.1	30	73.2	11	26.8	---	---
Setembro	27	69.2	12	30.8	15	75.0	5	25.0	14	56.0	11	44.0	108	69.2	48	30.8	19	46.3	22	53.7	---	---
Outubro	29	74.4	10	25.6	16	72.7	6	27.3	11	50.0	11	50.0	102	62.2	62	37.8	7	18.4	31	81.6	---	---
Novembro	27	69.2	12	30.8	14	63.6	8	36.4	5	22.7	17	77.3	109	67.7	52	32.3	14	35.0	26	65.0	---	---
Dezembro	25	67.6	12	32.4	15	68.2	7	31.8	15	53.6	13	46.4	97	59.9	65	40.1	13	31.7	28	68.3	---	---

Tabela 11 – Número de sujeitos em cada serviço, não expostos e expostos, por ano e mês, para a dose equivalente individual a 0.07mm de profundidade, Hp(0.07)

Anos/meses	Cardiologia				Cirurgia Vascular				Medicina Nuclear				Radiologia				Radioterapia					
	Não expostos		Expostos		Não expostos		Expostos		Não expostos		Expostos		Não expostos		Expostos		Não expostos		Expostos			
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		
<b>+ 2019</b>																						
Janeiro	29	85.3	5	14.7	24	96.0	1	4.0	22	100.0	0	0.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Fevereiro	29	85.3	5	14.7	24	92.3	2	7.7	23	100.0	0	0.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Março	29	85.3	5	14.7	25	100.0	0	0.0	22	100.0	0	0.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Abril	34	87.2	5	12.8	26	100.0	0	0.0	22	100.0	0	0.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Maio	33	84.6	6	15.4	25	96.2	1	3.8	22	100.0	0	0.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Junho	34	87.2	5	12.8	24	96.0	1	4.0	22	100.0	0	0.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Julho	35	89.7	4	10.3	20	83.3	4	16.7	22	100.0	0	0.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Agosto	35	85.4	6	14.6	24	96.0	1	4.0	19	100.0	0	0.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Setembro	38	92.7	3	7.3	21	100.0	0	0.0	17	100.0	0	0.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Outubro	35	85.4	6	14.6	20	95.2	1	4.8	17	100.0	0	0.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Novembro	37	92.5	3	7.5	18	90.0	2	10.0	18	100.0	0	0.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Dezembro	39	92.9	3	7.1	20	100.0	0	0.0	18	100.0	0	0.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
<b>+ 2020</b>																						
Janeiro	36	92.3	3	7.7	17	100.0	0	0.0	18	100.0	0	0.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Fevereiro	34	91.9	3	8.1	18	94.7	1	5.3	18	100.0	0	0.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Março	31	81.6	7	18.4	16	94.1	1	5.9	19	100.0	0	0.0	92	100.0	0	0.0	35	100.0	0	0.0	35	100.0
Abril	35	94.6	2	5.4	18	100.0	0	0.0	19	100.0	0	0.0	101	100.0	0	0.0	35	100.0	0	0.0	35	100.0
Maio	37	100.0	0	0.0	23	100.0	0	0.0	21	100.0	0	0.0	101	100.0	0	0.0	34	100.0	0	0.0	34	100.0
Junho	34	94.4	2	5.6	21	95.5	1	4.5	21	100.0	0	0.0	113	100.0	0	0.0	35	100.0	0	0.0	35	100.0
Julho	37	100.0	0	0.0	23	100.0	0	0.0	21	100.0	0	0.0	114	100.0	0	0.0	35	100.0	0	0.0	35	100.0
Agosto	30	78.9	8	21.1	16	72.7	6	27.3	11	52.4	10	47.6	124	84.9	22	15.1	30	73.2	11	26.8	30	73.2
Setembro	27	69.2	12	30.8	15	75.0	5	25.0	15	60.0	10	40.0	110	70.5	46	29.5	19	46.3	22	53.7	19	46.3
Outubro	29	74.4	10	25.6	16	72.7	6	27.3	11	50.0	11	50.0	103	62.8	61	37.2	7	18.4	31	81.6	7	18.4
Novembro	27	69.2	12	30.8	14	63.6	8	36.4	5	22.7	17	77.3	112	69.6	49	30.4	15	37.5	25	62.5	15	37.5
Dezembro	25	67.6	12	32.4	15	68.2	7	31.8	15	53.6	13	46.4	100	61.7	62	38.3	14	34.1	27	65.9	14	34.1

## 4.2. Informação gráfica dos níveis de radiação por serviço e ano

As Figuras 3, 4, 5 e 6 referem-se ao histograma do valor totais de radiação nos serviços de cardiologia, cirurgia vascular, medicina nuclear, nos níveis de profundidade de Hp 0.07mm e Hp 10mm, nos anos de 2019 e 2020. Os serviços de radiologia e radioterapia, apenas têm registos em 2020. Em todos os serviços, nos dois anos de registo, predominam os registos de mais baixo nível de radiação, i.e., na proximidade de mSv=0.00. O ano de 2020, apresenta uma maior distribuição dos valores de radiação, especialmente nos serviços de cirurgia vascular, medicina nuclear, radiologia e radioterapia.

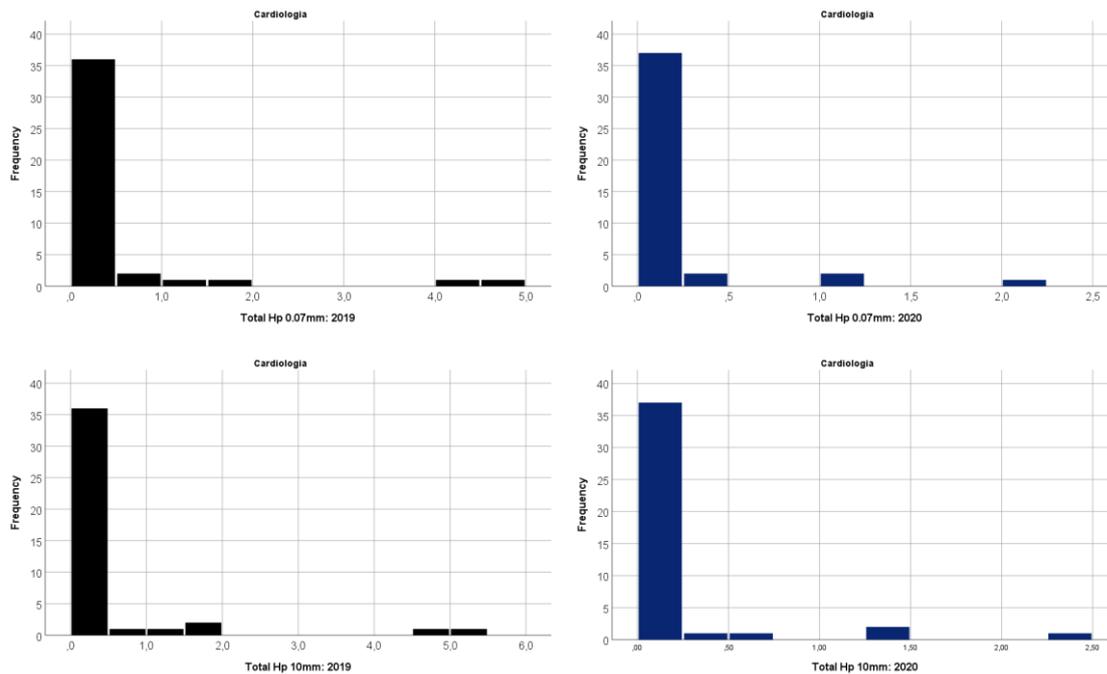


Figura 3 – Histograma do total de casos no serviço de cardiologia, a profundidades de Hp 0.07mm e Hp 10mm, nos anos de 2019 e 2020

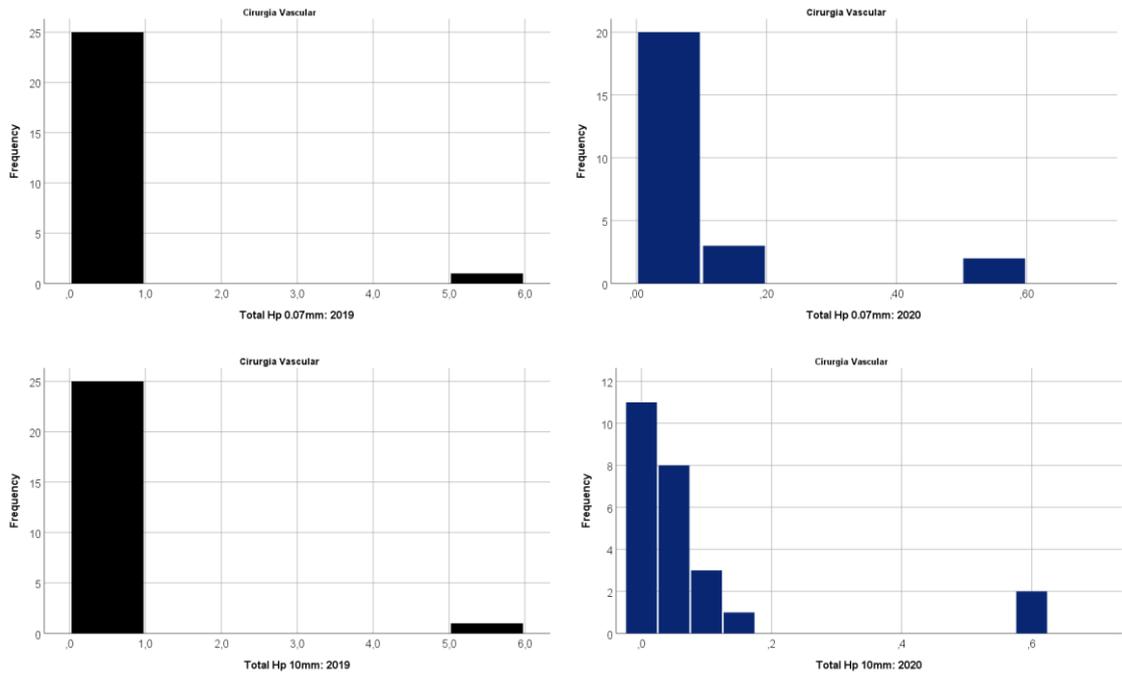


Figura 4 - Histograma do total de casos no serviço de cirurgia vascular, a profundidades de Hp 0.07mm e Hp 10mm, nos anos de 2019 e 2020

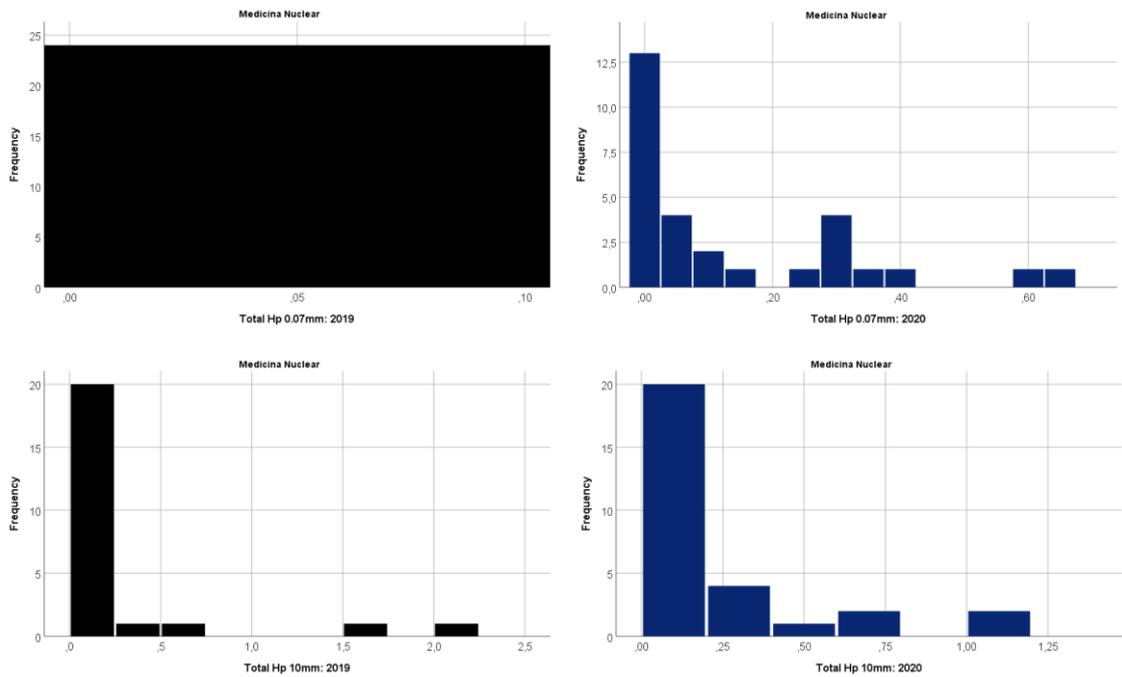


Figura 5 - Histograma do total de casos no serviço de medicina nuclear, a profundidades de Hp 0.07mm e Hp 10mm, nos anos de 2019 e 2020

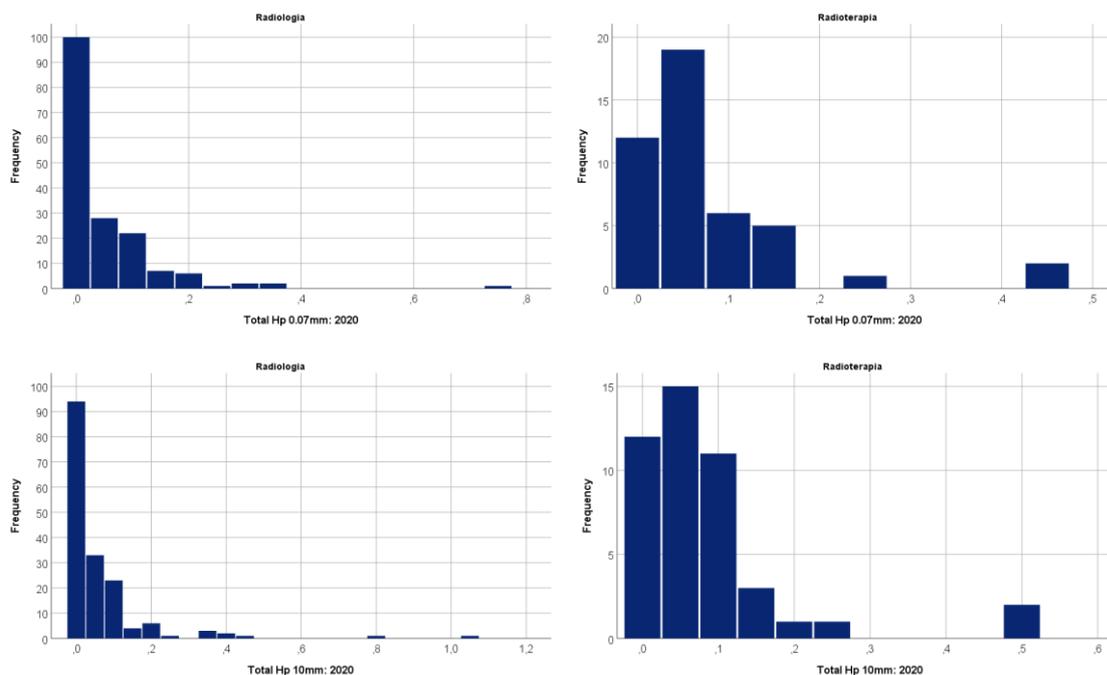


Figura 6 – Histograma do total de casos nos serviços de radiologia e radioterapia, a profundidades de Hp 0.07mm e Hp 10mm, no ano de 2020

### 4.3. Análise descritiva

De acordo com o Artigo 67º “Limites de dose para os trabalhadores expostos”, está expresso no seu ponto 1 que “Os limites de dose para os trabalhadores expostos são aplicáveis à soma das exposições ocupacionais anuais resultantes de todas as práticas autorizadas, ...”, do Decreto-Lei n.º 108/2018, de 03 de dezembro. Assim, para cada sujeito foram criadas quatro novas variáveis que correspondem à soma dos registos de exposição obtidos em todos os meses dos anos de 2019 e 2020 a 0.07mm e 10mm.

A Tabela 12 apresenta a média, desvio-padrão, coeficiente de variação, valores mínimo e máximo de radiação nos níveis de profundidade 0.07mm e 10mm, nos anos de 2019 e 2020, nos serviços em estudo. Em todos os casos verifica-se uma forte dispersão ( $CV > 30\%$ ), indicando um comportamento heterogéneo dos sujeitos da amostra quanto aos níveis de radiação. Observando o valor máximo dos cinco serviços, nos dois anos de estudo, verifica-se que não existem casos que excedam o nível de radiação apresentado na legislação portuguesa. De notar que no serviço de medicina nuclear, no ano de 2019, na profundidade de 0.07mm, os  $n=24$  profissionais registaram 0.00 mSv de radiação. Os serviços de radiologia e radioterapia não contêm registos no ano de 2019.

Tabela 12 – Média, desvio-padrão, coeficiente de variação, valores mínimo e máximo nos dois níveis de profundidade (0.07mm e 10mm), nos anos de 2019 e 2020, nos serviços de cardiologia, cirurgia vascular, medicina nuclear, radiologia e radioterapia

Serviço	Ano	Profundidade	n	M	DP	CV (%)	Mín	Máx
Cardiologia	2019	Hp 0.07mm	42	0.34	0.991	295.6	0.00	4.72
		Hp 10mm	42	0.36	1.078	297.5	0.00	5.07
	2020	Hp 0.07mm	42	0.15	0.390	254.6	0.00	2.11
		Hp 10mm	42	0.18	0.468	265.7	0.00	2.42
Cirurgia Vascular	2019	Hp 0.07mm	26	0.25	0.987	392.0	0.00	5.07
		Hp 10mm	26	0.28	1.138	402.5	0.00	5.84
	2020	Hp 0.07mm	25	0.08	0.152	190.4	0.00	0.57
		Hp 10mm	25	0.08	0.161	196.7	0.00	0.61
Medicina Nuclear	2019	Hp 0.07mm	24	0.00	0.000	---	0.00	0.00
		Hp 10mm	24	0.21	0.526	256.3	0.00	2.12
	2020	Hp 0.07mm	29	0.14	0.187	130.9	0.00	0.64
		Hp 10mm	29	0.21	0.315	---	0.00	1.11
Radiologia	2019	Hp 0.07mm	---	---	---	---	---	---
		Hp 10mm	---	---	---	---	---	---
	2020	Hp 0.07mm	169	0.05	0.088	176.7	0.00	0.74
		Hp 10mm	169	0.06	0.128	203.2	0.00	1.07
Radioterapia	2019	Hp 0.07mm	---	---	---	---	---	---
		Hp 10mm	---	---	---	---	---	---
	2020	Hp 0.07mm	45	0.08	0.099	127.5	0.00	0.47
		Hp 10mm	45	0.08	0.103	122.4	0.00	0.49
TODOS	2019	Hp 0.07mm	92	0.22	0.85	380.9	0.00	5.07
		Hp 10mm	92	0.30	0.98	326.7	0.00	5.84
	2020	Hp 0.07mm	310	0.08	0.18	227.6	0.00	2.11
		Hp 10mm	310	0.10	0.23	238.9	0.00	2.42

#### 4.4. Análise de correlação

A Tabela 13 apresenta os resultados da correlação de *Spearman* entre os níveis de radiação obtidos a 0.07mm vs 10mm profundidade, em 2019 e 2020, por serviço. Em Anexo 1, consta a verificação do pressuposto da normalidade das séries de dados.

Verifica-se que todas as correlações são de muito forte magnitude ( $r_s \geq 0.90$ ), com orientação positiva, o que significa que ao aumento dos níveis de radiação a 0.07mm ocorrem aumento dos níveis de radiação a 10mm, e estatisticamente significativas ( $p < 0.01$ ), indicando a forte probabilidade de as estimativas obtidas ocorrerem na população (i.e., todos os profissionais dos serviços de cardiologia, cirurgia vascular, medicina nuclear, radiologia e radioterapia) em idêntica magnitude.

Tabela 13 – Correlação de Spearman dos níveis de radiação entre as profundidades de 0.07mm vs 10mm, nos anos 2019 e 2020, por serviço hospitalar

Serviços	2019: 0.07mm vs 10mm			2020: 0.07mm vs 10mm		
	<i>n</i>	<i>r<sub>s</sub></i>	<i>p</i>	<i>n</i>	<i>r<sub>s</sub></i>	<i>p</i>
Cardiologia	42	0.95	<0.001	42	0.99	<0.001
Cirurgia Vascular	26	0.99	<0.001	25	0.99	<0.001
Medicina Nuclear	24	a)	---	29	0.99	<0.001
Radiologia	---	---	---	169	0.93	<0.001
Radioterapia	---	---	---	45	0.93	<0.001

a) valor de radiação constante, mSv=0.00

#### 4.5. Análise de regressão

Considerando a globalidade da amostra, a Figura 7 apresenta a trajetória regressão linear dos níveis de radiação nas profundidades 0.07mm e 10mm, no ano de 2019, cuja equação de regressão se traduz por  $y=0.05+1.09x$ . Tomando como exemplo um nível de radiação de  $x=3.72$ , então  $y=0.05+1.09 \times 3.72=4.1$  mSv. Fica assim evidente que níveis de radiação mais elevados a 0.07mm de profundidade correspondem, em média, a níveis mais altos a 10mm de profundidade. Percebe-se pela reta da regressão que a relação entre as duas variáveis é forte, dado a maior parte das observações se situarem sobre ou na proximidade da reta de identidade. Por sua vez, os diagramas de extremos e quartis, revelam a presença de diversos *outliers*. Quer a constante quer a variável independente são significativas ( $p<0.05$ ). O modelo é globalmente significativo ( $F_{(1,90)}=986.860, p<0.001$ ).

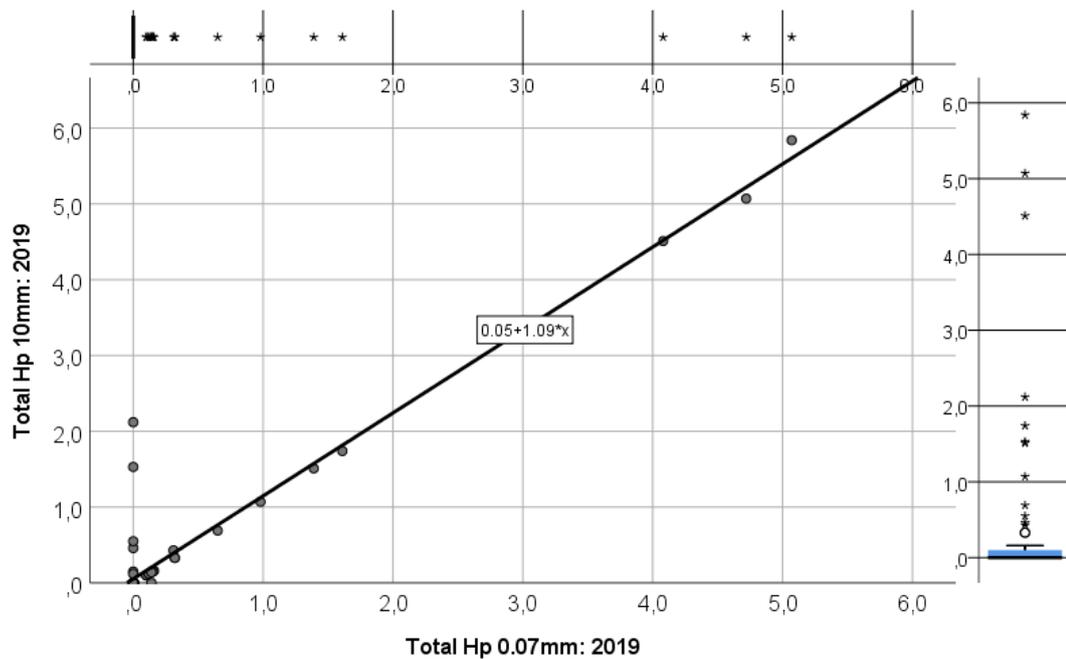


Figura 7 - Gráfico da regressão linear simples para o ano de 2019

Considerando a globalidade da amostra, a Figura 8 apresenta a trajetória regressão linear dos níveis de radiação nas profundidades 0.07mm e 10mm, no ano de 2020, cuja equação de regressão se traduz por  $y=0.000386+1.23x$ . Tomando como exemplo um nível de radiação de  $x=3.72$ , então  $y=0.000386+1.23 \times 3.72=4.6$  mSv. Fica assim evidente que níveis de radiação mais elevados a 0.07mm de profundidade correspondem, em média, a níveis mais altos a 10mm de profundidade. Os diagramas de extremos e quartis, revelam a presença de diversos *outliers*. Quer a constante quer a variável independente são significativas ( $p < 0.05$ ). O modelo é globalmente significativo ( $F_{(1,308)}=3400.113, p < 0.001$ ).

Considerando a globalidade da amostra, a Figura 8 apresenta a trajetória regressão linear dos níveis de radiação nas profundidades 0.07mm e 10mm, no ano de 2020, cuja equação de regressão se traduz por  $y=0.000386+1.23x$ . Tomando como exemplo um nível de radiação de  $x=3.72$ , então  $y=0.000386+1.23 \times 3.72=4.6$  mSv. Fica assim evidente que níveis de radiação mais elevados a 0.07mm de profundidade correspondem, em média, a níveis mais altos a 10mm de profundidade. Os diagramas de extremos e quartis, revelam a presença de diversos *outliers*. Quer a constante quer a variável independente são significativas ( $p < 0.05$ ). O modelo é globalmente significativo ( $F_{(1,308)}=3400.113, p < 0.001$ ).

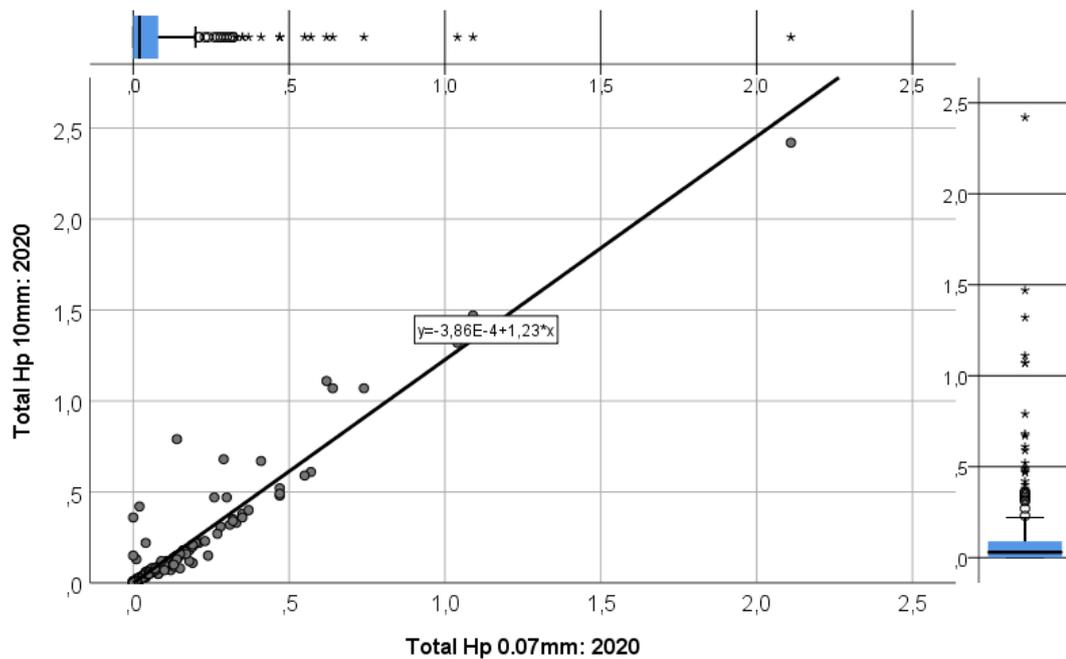


Figura 8 – Gráfico da regressão linear simples para o ano de 2020

#### 4.6. Análise comparativa

A Tabela 14 apresenta os resultados da comparação entre os anos 2019 vs 2020 quanto aos níveis de radiação dos profissionais hospitalares, quer por serviços quer na globalidade, na profundidade de 0.07mm. De notar que os resultados apresentados são os referentes aos casos emparelhados, ou seja, que apresentam registos nos dois anos de observação.

A um nível de significância de 5%, pelo teste de *Wilcoxon* para a comparação de duas amostras emparelhadas, não existem evidências para rejeitar a hipótese nula da ausência de diferenças de *mean ranks*, nos serviços de cardiologia ( $Z=-0.750$ ,  $p=0.453$ ) e cirurgia vascular ( $Z=-0.673$ ,  $p=0.501$ ). Portanto, nestes casos, não ocorreu uma mudança estatisticamente significativa nos níveis de radiação registados nos profissionais entre os anos de 2019 e 2020 quando avaliados a um nível e profundidade de 0.07mm. Não obstante, a redução dos níveis de radiação verificou-se em 8 profissionais de cardiologia e 7 de cirurgia vascular. Opostamente, 18 profissionais de cardiologia e 9 de cirurgia vascular aumentaram os níveis de radiação de 2019 para 2020.

No serviço de medicina nuclear registam-se evidências de diferenças estatisticamente significativas ( $Z=-3.624$ ,  $p<0.001$ ), bem como na globalidade da amostra significativas ( $Z=-2.194$ ,  $p=0.028$ ), decorrente do *mean rank* (média das ordenações) mais alto dos casos positivos na medicina nuclear, ou seja, o número de casos com registo mais baixo em 2020, e dos casos negativos na globalidade da amostra, ou seja, o número de casos com registo mais baixo em 2019.

Tabela 14 – Teste de Wilcoxon na comparação dos níveis de radiação entre 2019 vs 2020, a 0.07mm de profundidade

		<i>n</i>	<i>Mean Rank</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>
Cardiologia	Ranks Negativos	8 <sup>a</sup>	18.25	-0.750 <sup>d</sup>	0.453
Total: 2020 – Total: 2019	Ranks Positivos	18 <sup>b</sup>	11.39		
	Empates	15 <sup>c</sup>			
	Total	41			
Cirurgia Vascular	Ranks Negativos	7 <sup>a</sup>	11.57	-0.673 <sup>c</sup>	0.501
Total: 2020 – Total: 2019	Ranks Positivos	9 <sup>b</sup>	6.11		
	Empates	8 <sup>c</sup>			
	Total	24			
Medicina Nuclear	Ranks Negativos	0 <sup>a</sup>	0.00	-3.624 <sup>d</sup>	<0.001*
Total: 2020 – Total: 2019	Ranks Positivos	17 <sup>b</sup>	9.00		
	Empates	4 <sup>c</sup>			
	Total	21			
TOTAL	Ranks Negativos	15 <sup>a</sup>	39.63	-2.194 <sup>d</sup>	0.028*
Total: 2020 – Total: 2019	Ranks Positivos	44 <sup>b</sup>	26.72		
	Empates	27 <sup>c</sup>			
	Total	86			

- a. Total: 2020 < Total: 2019
- b. Total: 2020 > Total: 2019
- c. Total: 2020 = Total: 2019
- d. Baseado em ranks negativos
- e. Baseado em ranks positivos

A Tabela 15 apresenta os resultados da comparação entre os anos 2019 vs 2020 quanto aos níveis de radiação dos profissionais hospitalares, quer por serviços quer na globalidade, na profundidade de 10mm. A um nível de significância de 5%, pelo teste de *Wilcoxon* para a comparação de duas amostras emparelhadas, não existem evidências para rejeitar a hipótese nula da ausência de diferenças de *mean ranks*, em todos os serviços, assim como na globalidade da amostra ( $p > 0.05$ ). Portanto, a um nível e profundidade de 10mm, não ocorreu uma mudança estatisticamente significativa nos níveis de radiação registrados nos profissionais entre os anos de 2019 e 2020. Não obstante, a redução dos níveis de radiação verificou-se em 7 profissionais de cardiologia, 7 de cirurgia vascular e 4 de medicina nuclear. Opostamente, 18 profissionais de cardiologia, 9 de cirurgia vascular e 13 de medicina nuclear aumentaram os níveis de radiação de 2019 para 2020.

Tabela 15 – Teste de Wilcoxon na comparação dos níveis de radiação entre 2019 vs 2020, a 10mm de profundidade

		<i>n</i>	<i>Mean Rank</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>
Cardiologia	Ranks Negativos	7 <sup>a</sup>	18.29	-0.929 <sup>d</sup>	0.353
Total: 2020 – Total: 2019	Ranks Positivos	18 <sup>b</sup>	10.94		
	Empates	16 <sup>c</sup>			
	Total	41			
Cirurgia Vascular	Ranks Negativos	7 <sup>a</sup>	11.71	-0.725 <sup>c</sup>	0.469
Total: 2020 – Total: 2019	Ranks Positivos	9 <sup>b</sup>	6.00		
	Empates	8 <sup>c</sup>			
	Total	24			
Medicina Nuclear	Ranks Negativos	4 <sup>a</sup>	13.00	-1.161 <sup>d</sup>	0.246
Total: 2020 – Total: 2019	Ranks Positivos	13 <sup>b</sup>	7.77		
	Empates	4 <sup>c</sup>			
	Total	21			
TOTAL	Ranks Negativos	18 <sup>a</sup>	41.08	-0.899 <sup>d</sup>	0.369
Total: 2020 – Total: 2019	Ranks Positivos	40 <sup>b</sup>	24.29		
	Empates	28 <sup>c</sup>			
	Total	86			

a. Total: 2020 < Total: 2019

b. Total: 2020 > Total: 2019

c. Total: 2020 = Total: 2019

d. Baseado em ranks negativos

e. Baseado em ranks positivos

## 5. Discussão de Resultados

O objetivo geral deste estudo consistiu na caracterização e análise os níveis de radiação de diferentes grupos de profissionais expostos. A amostra é formada por 319 profissionais expostos a radiações ionizantes. Destes, 43 exercem atividade no serviço de Cardiologia, 27 em Cirurgia Vascular, 33 em Medicina Nuclear, 171 em Radiologia e 45 em Radioterapia.

Alguns fatores limitaram a análise estatística, sobretudo a grande quantidade de *missings* (sujeitos que não entregaram o seu dosímetro ou que este estava danificado), com apenas cerca de 25% de sujeitos com registos de doses em cada mês do ano de 2019 (80 casos validos). Ainda no mesmo ano de 2019, não foram disponibilizados os registos dos profissionais dos serviços de Radiologia e Radioterapia, bem como nos dois primeiros meses do ano de 2020. Também devido à Proteção de Dados, assim como restrições de tempo, não se teve acesso a informação como sexo, idade e categoria profissional dos profissionais de saúde. O conhecimento das representações destas variáveis, seria um fator acrescido de qualidade para o trabalho, dada a possibilidade de estabelecer novas relações.

Com este estudo verificou-se que muito profissional não foi realizado o registo da dose do dosímetro, alguns por se encontrar danificado (6 casos), por ter excedido o prazo de entrega (34 sujeitos) e a grande maioria por não ter devolvido (346 sujeitos). Segundo um estudo realizado por Carapinha (2009), que estudou a confiança dos profissionais nas leituras de dosimetria individual, a ausência de confiança na leitura do dosímetro leva por vezes à não utilização do mesmo, com 51.1% dos inquiridos a responder que não confiam nas leituras do dosímetro. O mesmo foi mencionado por Krutul & Krutul (2018), onde referem que a sensibilidade de deteção do dosímetro é motivo da baixa confiança dos trabalhadores, com 61.6% dos inquiridos a dizer que não confiam nas leituras do dosímetro.

Foi possível verificar que os maiores níveis de exposição foram registados nos profissionais dos serviços de Cardiologia e Cirurgia Vascular, atingindo um valor máximo de 5.84 mSv em profundidade Hp10mm (cirurgia vascular) e de 5.07 mSv em Hp 0,07mm (cirurgia vascular), ambas no ano de 2019. Mesmo assim, segundo um estudo de Hirshfeld et al. (2018) os médicos que são operadores de procedimentos cardiovasculares estão entre os profissionais de saúde mais expostos à radiação ionizante, indo de encontro com o verificado no presente estudo.

No serviço de Radiologia teve um valor máximo em profundidade Hp10mm de 1.07 mSv e de 0.74 mSv em Hp 0,07mm, valor bastante baixo. É neste serviço que se realizam os procedimentos com maior uso de radiação ionizante, como o Tomografia Computadorizada (TC), radiologia intervencionista e fluoroscopia (Hall & Brenner, 2008).

Uma observação que também se pode retirar, é o uso adequado dos EPI's exigidos por lei por parte dos profissionais de saúde. Segundo Vaz (2020), existem constrangimentos associados à utilização de EPI,

relativamente à sua concepção, adaptação e manutenção (Vaz, 2020). Diversos profissionais de saúde, referem que alguns dos principais constrangimentos associado à utilização do EPI é o desconforto térmico e o seu peso, originando ao fim de algum tempo bastante desconforto e às vezes lesões musculares, levando muitas vezes os profissionais a não utilizar certo EPI (Vaz, 2020).

Segundo o Artigo n.º 67 do Decreto-Lei n.º 108/2018, ponto 2, de 3 de dezembro, o limite de dose efetiva para os trabalhadores expostos é de 20 mSv por ano. Como se verificou nos resultados obtidos neste estudo, não houve qualquer profissional, quer no ano de 2019 quer no ano de 2020, que excedeu, ou sequer se aproximou, do limite de dose efetiva anual de 20 mSv. Um estudo realizado por Silva-Júnior et al. (2020), que fez um estudo sobre o risco genotóxico em profissionais de saúde expostos a baixas doses de radiação ionizante, em que recolheu amostras de sangue e bucais a 36 profissionais de saúde. Neste estudo todos os 36 profissionais de saúde não excederam o limite de dose eficaz para ser considerado exposição ocupacional, sendo ele de 20 mSv/ano, indo de encontro ao que foi observado no nosso estudo.

No estudo realizado por Tavares (2022), verificou-se que 10 dos 101 inquiridos excederam os limites, tendo 2 sido encaminhados para consulta de medicina no trabalho. Dos restantes inquiridos, 17 não tinham acesso aos dados pessoais das doses de dosimetria e 74 dos inquiridos nunca excederam os limites de exposição.

Relações de muito forte magnitude ( $r_s \geq 0.90$ ), com orientação positiva e estatisticamente significativas ( $p < 0.01$ ), verificaram-se entre os níveis de profundidade Hp 0.07mm vs Hp 10mm, em todos os serviços (cardiologia, cirurgia vascular, medicina nuclear, radiologia e radioterapia), mostrando que existe uma forte probabilidade de os valores obtidos com esta amostra serem passíveis de se verificarem na população, em idêntica magnitude.

A regressão linear entre os níveis de radiação nas profundidades 0.07mm e 10mm, em 2019 e 2020, foi significativa, pelo que níveis de radiação mais elevados a 0.07mm de profundidade (variável independente) correspondem, em média, a níveis mais altos a 10mm de profundidade (variável dependente). O gráfico da regressão, seguiu uma trajetória ascendente, com as observações a situarem-se na proximidade ou sobre a reta de identidade, indicando que um aumento na profundidade de Hp 0.07 mm está associado a um aumento na profundidade de Hp 10 mm.

A comparação dos níveis de radiação entre os anos de 2019 vs 2020, para as duas profundidades, Hp 0.07mm e Hp 10mm, em todos os serviços hospitalares estudados, mostrou que na profundidade Hp 0.07mm registaram-se diferenças estatisticamente significativas no serviço de medicina nuclear, devido ao *mean rank* (média das ordenações) mais alto dos casos em 2020. Na profundidade Hp 10mm, não existem diferenças significativas entre os anos de 2019 vs 2020.

## 6. Conclusões e Recomendações

A radiação ionizante é utilizada em todo o mundo para uma grande variedade de fins benéficos para o ser humano. Apesar dos seus benefícios, vários estudos reconhecem a existência de detrimientos para a saúde humana associada à exposição profissional a radiação ionizante.

Segundo a Direção-Geral da Saúde (2016), o controlo dos valores limites de dose do dosímetro têm como objetivo a prevenção de ocorrência de efeitos adversos à saúde dos profissionais de saúde expostos, e ainda a minimização da probabilidade de ocorrência de efeitos estocásticos, considerando-se, que o risco profissional é aceitável (Direção-Geral da Saúde, 2016). A presença de um determinado risco não pressupõe que o mesmo seja percebido, interpretado e compreendido por todos os trabalhadores.

Com isto, o tema de estudo desta investigação é de bastante relevância e importância considerando os vários efeitos negativos que as radiações ionizantes têm no ser humano, especialmente nos profissionais de saúde que estão expostos a esta radiação por períodos elevados. Este estudo, apesar de esta temática ser bastante estudada, visa completar e reforçar mais o tema com um estudo mais recente e com um novo ponto de vista.

O principal objetivo deste estudo é a análise de profissionais expostos a níveis de radiação ionizante. Para a concretização deste objetivo, foram delineados alguns objetivos específicos, sendo eles caracterizar os níveis de radiação dos profissionais expostos, pertencentes a diferentes serviços hospitalares, quantificar os níveis de radiação, registados a diferentes profundidades, em profissionais expostos, pertencentes a diferentes serviços hospitalares, dividir a amostra em profissionais expostos e não expostos, e caracterizar as subamostras, avaliar se existem diferenças significativas entre os níveis de radiação nos profissionais expostos pertencentes a diferentes serviços hospitalares. Foi possível atingir o principal objetivo de estudo proposto, bem como os restantes objetivos específicos.

Com este trabalho observou-se um elevado número de *missings*, possivelmente devido a atrasos de entrega do dosímetro ou por incumprimento por parte de vários profissionais de saúde de não utilizar o mesmo. No presente estudo não há registos de qualquer serviço em que o limite de dose tenha sido atingido ou ultrapassado.

O estudo poderia ter sido enriquecido com a realização de um questionário em que se colocava questões sobre o uso do dosímetro, se acreditava nas doses registadas pelo mesmo, se o utilizava bem como se sabia qual correto uso do mesmo, bem como questões sobre o uso dos EPI's, entre outras questões pertinentes, mas devido à escassez de tempo não foi possível concretizar a sua realização.

Propõe-se como medida que a instituição de saúde tenha um controlo mais rigoroso com o uso do dosímetro através de uma fiscalização de tempo a tempo, bem como no controlo dos registos das doses,

de modo a reduzir o elevado número de *missings*. Isto pode ser alcançado através de ações de formação e sensibilização periódicas com os profissionais de saúde.

Estudos futuros neste âmbito deveriam ser preferencialmente na aplicação de questionários e de entrevistas aos profissionais de saúde que fazem parte do estudo, bem como obter registos dos cinco ou mais anos, desenvolvendo assim interpretações mais fidedignas dos resultados.

## 7. Bibliografia

- Aerts, A.; Eberlein, U.; Holm, S.; Hustinx, R.; Konijnenberg, M.; Strigari, L.; van Leeuwen, F.W.B.; Glatting, G. & Lassmann, M. (2021). EANM position paper on the role of radiobiology in nuclear medicine. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 48 (11): 3365–3377.
- Antoni, R. & Bourgois, L. (2017). *Applied Physics of External Radiation Exposure Dosimetry and Radiation Protection*. Springer, Switzerland.
- Antunes-Raposo, J.A.; França, D.; Lima, A.; Mendonça-Galaio, L.; & Sacadura-Leite, E.M. (2022). Evaluation of personal protective equipment use in healthcare workers exposed to ionizing radiation in a Portuguese university hospital. *Revista Brasileira de Medicina do Trabalho: ANAMT*, 20 (2): 240–248.
- Areosa, J. (2010). *Riscos e Sinistralidade Laboral: um Estudo de Caso em Contexto Organizacional*. Tese de Doutoramento em Sociologia, Instituto Universitário de Lisboa, Portugal.
- Areosa, J. (2011). *Riscos ocupacionais da imagiologia*.
- Areosa, J. (2012). *As percepções de riscos dos trabalhadores: qual a sua importância para a prevenção de acidentes de trabalho?*
- Badawy, M.K.; Deb, P.; Chan, R. & Farouque, O. (2016). A review of radiation protection solutions for the staff in the cardiac catheterisation laboratory. *Heart, Lung and Circulation*, 25 (10): 961–967.
- Baschenko, S.M. (2004). Remote optical detection of alpha particle sources. *Journal of Radiological Protection*, 24 (1): 75–82.
- Baselet, B.; Rombouts, C.; Benotmane, A.M.; Baatout, S. & Aerts, A. (2016). Cardiovascular diseases related to ionizing radiation: The risk of low-dose exposure (Review). *International Journal of Molecular Medicine*, 38 (6): 1623–1641.
- Baptista, M.I.S. (2011). *Avaliação da exposição à radiação ionizante de profissionais e pacientes em procedimentos de Cardiologia de Intervenção*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Boerma, M.; Sridharan, V.; Mao, X.-W.; Nelson, G.A.; Cheema, A.K.; Koturbash, I.; Singh, S.P.; Tackett, A.J. & Hauer-Jensen, M. (2016). Effects of ionizing radiation on the heart. *Mutation Research*, 770 (Pt B): 319–327.
- Boice, J.D., Held, K.D. & Shore, R.E. (2019). Radiation epidemiology and health effects following low-level radiation exposure. *Journal of Radiological Protection*, 39 (4): S14–S27.
- Bulhões, I. (1998). *Riscos do trabalho de enfermagem*. 2ª ed, Folha Carioca Editora: Rio de Janeiro, p. 45–221.
- Carapinha, M. F. (2009). *Exposição de profissionais de saúde a radiações ionizantes – confiança dos profissionais nas leituras de dosimetria individual*. Lisboa.
- Carvalho, F.P. (2009). *Prevenção e minimização do risco de exposição ocupacional a radiações ionizantes*. Colóquio internacional sobre segurança e higiene ocupacionais, Universidade do Minho, Guimarães, p.123–129.
- Castro, R.C. (2005). *Cálculo de Dose Equivalente em Órgãos de Pacientes devido a Fotoneutrons Gerados em Aceleradores Lineares Clínicos*. Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia Nuclear, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- CCOHS – Canadian Centre for Occupational Health and Safety (1989). *Health Effects of Ionizing Radiation*. P89–27E.
- Choudhary, S. (2018). Deterministic and Stochastic Effects of Radiation. *Cancer Therapy & Oncology International Journal*, 12 (2): 31–32.
- CIRMS – Council on Ionizing Radiation Measurements and Standards (2004). *Fourth Report on Needs in Ionizing Radiation Measurements and Standards Prepared by the CIRMS Science and Technology Committee*.
- Cleveland, R.F. & Ulcek, J.L. (1999). *Questions and Answers about Biological Effects and Potential Hazards of Radiofrequency Electromagnetic Fields*. 4th ed., Washington, D.C.: OET (Office of Engineering and Technology) Federal Communications Commission.
- Costa, H.F.C. (2015). *Percepção dos Riscos Ocupacionais dos Técnicos de Análises Clínicas e Saúde Pública da Região Autónoma dos Açores*. Dissertação de Mestrado em Ambiente, Saúde e Segurança, Universidade dos Açores Departamento de Biologia.

- Cuttler, J.M. & Pollycove, M. (2009). Nuclear energy and health: and the benefits of low-dose radiation hormesis. Dose-response: International Hormesis Society, 7 (1): 52-89.
- Cuttler, J.M. (2020). Application of low doses of ionizing radiation in medical therapies. Dose. Response, 6 (18): 1-17.
- Decreto-Lei n.º 348/1993, (1 de outubro em 1993). Decreto-Lei n.º 348/1993. Diário da República
- Decreto-Lei n.º 108/2018. (3 de dezembro de 2018). Decreto-Lei n.º 108/2018. Diário da República
- Decreto-Lei n.º 165/2002, (17 de julho), Decreto-Lei n.º 165/2002. Diário da República
- Decreto-Lei n.º 167/2002, (18 de julho), Decreto-Lei n.º 167/2002. Diário da República
- Demaria, S. & Formenti, S.C. (2007). Sensors of ionizing radiation effects on the immunological microenvironment of cancer. International Journal of Radiation Biology, 83 (11-12): 819-825.
- DGS – Direção-Geral da Saúde (2016). Guia Técnico nº1 - Vigilância da Saúde dos Trabalhadores Expostos à Radiação Ionizante. (SNS-DGS, Ed.).
- DiCarlo, A.L.; Bandremer, A.C.; Hollingsworth, B.A.; Kasim, S.; Laniyonu, A.; Todd, N.F.; Wang, S.J.; Wertheimer, E.R. & Rios, C.I. (2020). Cutaneous radiation injuries: models, assessment and treatments. Radiation Research, 194 (3): 315-344.
- EPA – Environmental Protection Agency (2001). Radionuclides Rule: A Quick Reference Guide. EPA 816-F-01-003.
- Faria, A.M.C. (2008). Caracterização e Análise dos Acidentes de Trabalho com Profissionais de Enfermagem numa Unidade Hospitalar. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia da Faculdade do Minho.
- Feinendegen, L.E.; Pollycove, M. & Sondhaus, C.A. (2004). Responses to low doses of ionizing radiation in biological systems. Nonlinearity in Biology, Toxicology, Medicine, 2 (3): 143-171.
- Filipic, A., Aguirre, I., Primc, G., Mozetic, M., & Dobnik, D. (2020). Cold plasma, a new hope in the field of virus inactivation. Trends in Biotechnology, 38 (11): 1278-1291.
- Funden (1996). El riesgo profesional. In: Manual de Salud Laboral. Madrid, p.93-98. (Serie enfermería)
- Gomes, C.A. (2012). Perceção dos Riscos Ocupacionais pelos Técnicos de Radiologia da Região Autónoma dos Açores. Dissertação de Mestrado em Ambiente, Saúde e Segurança, Universidade dos Açores Departamento de Biologia.
- Grabham, P. & Sharma, P. (2014). Acute effects of ionizing radiation on human endothelial barrier function. Journal of Radiation Research, 55 (Suppl 1): i97-i98.
- Gupta, T.K. (2013). Radiation, Ionization, and Detection in Nuclear Medicine. Springer-Verlag Berlin/Heidelberg.
- Hall, E. J., & Brenner, D. J. (2008). Cancer risks from diagnostic radiology. The British Journal of Radiology, 81(965), 362-378. <https://doi.org/10.1259/bjr/01948454>
- Helm, J.S. & Rudel, R.A. (2020). Adverse outcome pathways for ionizing radiation and breast cancer involve direct and indirect DNA damage, oxidative stress, inflammation, genomic instability, and interaction with hormonal regulation of the breast. Archives of Toxicology, 94 (5): 1511-1549.
- HERCA – Heads of the European Radiological Protection Competent Authorities (2017). Guidelines on Radiation Protection Education and Training of Veterinary Professionals. Board of HERCA on 11 May 2017 in Warsaw (Poland), pp.1-21.
- Hirshfeld, J. W., Jr., Ferrari, V. A., Bengel, F. M., Bergersen, L., Chambers, C. E., Einstein, A. J., ... Wann, L. S. (2018). 2018 ACC/HRS/NASCI/SCAI/SCCT Expert consensus document on optimal use of ionizing radiation in cardiovascular imaging—best practices for safety and effectiveness, Part 1: Radiation physics and radiation biology: A report of the American College of Cardiology Task Force on Expert Consensus Decision Pathways. Journal of the American College of Cardiology, 71(24), 2811-2828. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.02.017>
- IAEA – International Atomic Energy Agency (1973). Manual on Radiation Sterilization of Medical and Biological Materials, Technical Reports Series No. 149, Vienna: IAEA.

IAEA – International Atomic Energy Agency (2006). Applying Radiation Safety Standards in Diagnostic Radiology and Interventional Procedures Using X Rays, Safety Reports Series No. 39, IAEA, Vienna: IAEA.

IAEA – International Atomic Energy Agency (2008). Trends in Radiation Sterilization of Health Care Products. IAEA Library Cataloguing in Publication Data, Vienna: IAEA.

IAEA – International Atomic Energy Agency (2018a). Radiation protection and safety in medical uses of ionizing radiation. Vienna: IAEA.

IARC – International Agency for Research on Cancer (2000). X-Radiation and  $\gamma$  radiation. In Ionizing Radiation, Part 1: X- and Gamma Radiation, and Neutrons. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, vol. 75. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer. p.121-359.

ICRP – International Commission on Radiological Protection (1966). Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 9. Oxford: Pergamon Press.

ICRP – International Commission on Radiological Protection (1977). Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1 (3): p.1-53.

ICRP – International Commission on Radiological Protection (1991). 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Annals of the ICRP, 21, p.1-3.

ICRP – International Commission on Radiological Protection (2007). The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publicação 103. Annals of the ICRP, 37, p.1-332.

Jolesz, F.A. & McDannold, N.J. (2014). Magnetic resonance-guided focused ultrasound: a new technology for clinical neurosciences. *Neurologic Clinics*, 32 (1): 253-269.

Karam, A. (2008). Radiation Safety Training Manual and Resource Book. Nevada Technical Associates, University of Rochester.

Kim, K.P & Miller, D.L. (2009). Minimising radiation exposure to physicians performing fluoroscopically guided cardiac catheterisation procedures: a review. *Radiation Protection Dosimetry*, 133 (4): 227-233.

Kim, J.-S.; Xu, X.; Li, H.; Solomon, D.; Lane, W.S.; Jin, T. & Waldman, T. (2011). Mechanistic Analysis of a DNA Damage-Induced, PTEN-Dependent Size Checkpoint in Human Cells. *Molecular and Cellular Biology*, 31 (13): 2756-2771.

Knoll, G.F. (2010). Radiation Detection and Measurement. Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc.

Kurtul, S., & Kurtul, N. (12 de 6 de 2018). The Level of Knowledge About Radiation Safety and the Frequency of the Use of Protective Equipment Among Healthcare Workers Exposed to Radiation in Different Units. *TURKISH JOURNAL of ONCOLOGY*

Leach, M.O. (2014). Magnetic Resonance Imaging. In Dance, D.R.; Christofides, S.; Maidment, A.D.A.; McLean, I.D. & Ng, K.H. (Eds), Diagnostic radiology physics: A handbook for teachers and students. Endorsed by: American Association of Physicists in Medicine, Asia-Oceania Federation of Organizations for Medical Physics, European Federation of Organisations for Medical Physics, p.361-392. IAEA.

Lumniczky, K.; Impens, N.; Armengol, G.; Candéias, S.; Georgakilas, A.G.; Hornhardt, S.; Martin, O.A.; Rödel, F. & Schaefer, D. (2021). Low dose ionizing radiation effects on the immune system. *Environment International*, 149, 1:50.

Mack, S-L.A. (2020). Eliminating the stigma: A systematic review of the health effects of low-dose radiation within the diagnostic imaging department and its implications for the future of medical radiation. *Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences*, 51 (4): 662-670.

Maqbool, M. (2017). An Introduction to Medical Physics. Springer.

Mattos, U.A.O. & Másculo, F. (2011). Higiene e Segurança do Trabalho. Elsevier Editora Ltda, São Paulo, Brasil.

Mazzilli, B. P., Filho, C. R., Kodama, Y., Suzuki, F. F., Dellamano, J. C., Marumo, J. T., . . . Bellintani, S. A. (2002). Noções básicas da proteção radiológica. Instituto de Pesquisas Energéticas. Obtido em 20 de abril de 2022

Melo, A.R.P.P. (2020). A Perceção do Risco Radiológico em Portugal. Tese de Doutoramento em História das Ciências e Educação Científica, Instituto de Investigação Interdisciplinar da Universidade de Coimbra.

Miller, D.L.; Vañó, E.; Bartal, G.; Balter, S.; Dixon, R.; Padovani, R.; Schueler, B.; Cardella, J.F. & de Baère, T. (2010). Occupational radiation protection in interventional radiology: A joint guideline of the Cardiovascular and Interventional Radiology Society of Europe and the Society of Interventional Radiology. *Cardiovascular Interventional Radiology*, 33 (2): 230–239.

Miller, D. L., Vañó, E., Bartal, G., Balter, S., Dixon, R., Padovani, R., et al. (2010). Occupational Radiation Protection in Interventional Radiology: A joint guideline of the Cardiovascular and Interventional Radiology Society of Europe and Society of Interventional Radiology. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*; 33(2):230–239.

Miller, K.B.; Mi, K.L.; Nelson, G.A.; Norman, R.B.; Patel, Z.S. & Huff, J.L. (2022). Ionizing radiation, cerebrovascular disease, and consequent dementia: a review and proposed framework relevant to space radiation exposure. *Frontiers in Physiology*, 13, 1–26.

Muller, H.J. (2020). Nobel Lecture. NobelPrize.org. Nobel Media AB. Disponível online: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1946/muller/lecture/> [consultado em 12-04-2023].

National Research Council (2006). Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation (BEIR VII) Phase 2. Washington, DC: National Academies Press.

Neto, F.A.B.; Alves, A.F.; Mascarenhas, Y.M.; Nicolucci, P. & Pina, D.R. (2016). Occupational radiation exposure in vascular interventional radiology: a complete evaluation of different body regions. *Physica Medica*, 32 (8): 1019–24.

Neto, F.A.B.; Alves, A.F.F.; Mascarenhas, Y.M.; Giacomini, G.; Maués, N.H.P.B. Nicolucci, P; Freitas, C.C.M.; Alvarez, M. & Pina, D.R. (2017). Efficiency of personal dosimetry methods in vascular interventional radiology. *Physica Medica*, 37, 58–67.

Niu, S. (2011). Radiation protection of workers – SafeWork Information Note Series N.º 1. Geneva: International Labour Office.

Nowotny, R. (2014). X ray Production. In Dance, D.R.; Christofides, S.; Maidment, A.D.A.; McLean, I.D. & Ng, K.H. (Eds), *Diagnostic radiology physics: A handbook for teachers and students*. Endorsed by: American Association of Physicists in Medicine, Asia-Oceania Federation of Organizations for Medical Physics, European Federation of Organisations for Medical Physics, p.89–115. IAEA.

Oak Ridge Institute for Science and Education (ORISE) (2017). The medical aspects of radiation incidents. Oak Ridge, TN: Oak Ridge Institute for Science and Education, US Department of Energy.

Okuno, E. & Yoshimura, E.M. (2010). Física das Radiações. 1ª Edição, S. Paulo: Oficina de Textos.

Pestana, M.H. & Gageiro, J.N. (2014). Análise de Dados para Ciências Sociais – a Complementaridade do SPSS. 6ª ed. Edições Sílabo, Lisboa.

Ordem dos Médicos Dentistas. (23 de novembro de 2021). Minuta Proteção Radiológica. Obtido em 24 de Outubro de 2023, de omd: <https://www.omd.pt/radiologia/minutas/>

Paek, H.-J. (2017). Risk Perceptions and Risk Characteristics. Obtido em 13 novembro de 2023, de: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228613.013.283>

Pollycove, M. & Feinendegen, L.E. (2001). Biologic responses to low doses of ionizing radiation: detriment versus hormesis, part 2: dose responses of organisms. *Journal of Nuclear Medicine*, 42 (9): 26N–37N.

Qu, S.G.; Gao, J.; Tang, B.; Yu, B.; Shen, Y.P. & Tu Y. (2018). Low-dose ionizing radiation increases the mortality risk of solid cancers in nuclear industry workers: A meta-analysis. *Mol Clin Oncol.*, 8 (5): 703–711.

Ribeiro, F.M.; Silveira, D.A.; Simão, E.M.; Mattos, V.L.D. & Góes, E.G. (2019). The response of genes and pathways of immunological system induced by irradiation. doi: <https://doi.org/10.1101/526384>

Rose, A. & Rae, W.I.D. (2019). Personal protective equipment availability and utilization among interventionalists. *Safety and Health at Work*, 10 (2): 166–171.

Sakashita, T.; Sato, T. & Hamada, N. (2019). A biologically based mathematical model for spontaneous and ionizing radiation cataractogenesis. *PLoS One*, 14 (8): 1–20.

Samet, J.M.; Berrington de González, A.; Dauer, L.T.; Hatch, M.; Kostj, O.; Mettler, F.A.; Jr. & Satyamitra, M.M. (2018). Gilbert W. Beebe Symposium on 30 years after the Chernobyl accident: current and future studies on radiation health effects. *Radiation Research*, 189 (1): 5–18.

Santos, A.I.S. (2014). Usabilidade dos Equipamentos de Protecção Individual Radiológica: pesquisa com técnicos e enfermeiros do CHLC. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa Faculdade de Motricidade Humana.

Semkow, T.M. & Parekh, P.P. (2001). Principle of gross alpha and beta radioactivity detection in water. *Health Physics*, 81 (5): 567-574.

Shapiro, J. (2002). *Radiation Protection: A Guide for Scientists and Physicians*. 4th ed., Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Sharma, N.K.; Sharma, R.; Mathur, D.; Sharad, S.; Minhas, G.; Bhatia, K.; Anand, A. & Ghosh, S.P. (2018). Role of Ionizing Radiation in Neurodegenerative Diseases. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 10 (134): 1-15.

Shimizu, Y.; Kodama, K.; Nishi, N.; Kasagi, F.; Suyama, A.; Soda, M.; Grant, E.J.; Sugiyama, H.; Sakata, R.; Moriwaki, H.; Hayashi, M.; Konda, M. & Shore, R.E (2010). Radiation exposure and circulatory disease risk: Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivor data, 1950-2003. *BMJ* 340, b5349.

Silva-Júnior, F. M. R. D., Tavella, R. A., Fernandes, C. L. F., Mortola, A. S., Peraza, G. G., & Garcia, E. M. (2020). Genotoxic risk in health-care professionals occupationally exposed to low doses of ionizing radiation. *Toxicology and Industrial Health*, 36(5), 356-370. <https://doi.org/10.1177/0748233720932081>

Skrzypek, M.; Wdowiak, A.; Panasiuk, L.; Stec, M.; Szczygieł, K.; Zybala, M. & Filip, M. (2019). Effect of ionizing radiation on the female reproductive system. *Annals of Agriculture and Environmental Medicine*, 26 (4): 606-616.

Smilowitz, N.R.; Balter, S. & Weisz, G. (2013). Occupational hazards of interventional cardiology. *Cardiovascular Revascularization Medicine*, 14 (84): 223-228.

Souza, E. d., & Soares, J. P. (2008). Correlações técnicas e ocupacionais da radiologia intervencionista. *Jornal Vascular Brasileiro*; 7 (4): 341-350.

Sutton, D.; Collins, L.T. & Heron, J.L.E. (2014). Radiation Protection. In Dance, D.R.; Christofides, S.; Maidment, A.D.A.; McLean, I.D. & Ng, K.H. (Eds), *Diagnostic radiology physics: A handbook for teachers and students*. Endorsed by: American Association of Physicists in Medicine, Asia-Oceania Federation of Organizations for Medical Physics, European Federation of Organisations for Medical Physics, p.615-665. IAEA.

Synowitz, M., & Kiwit, J. (2006). Surgeon's radiation exposure during percutaneous vertebroplasty. *Journal of neurosurgery. Spine*, 4(2), 106-109. <https://doi.org/10.3171/spi.2006.4.2.106>

Tauhata, L.; Salati, I.P.A.; Di Prinzio, R. & Di Prinzio, M.A.R.R. (2014). Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos. 10ª revisão abril/2014 - Rio de Janeiro - IRD/CNEN.

Tavares, C. V. (2022, September). Percepção do Risco dos Técnicos de Radiologia Expostos a Radiações Ionizantes

Tocchio, S.; Kline-Fath, B.; Kanal, E.; Schmithorst, V.J. & Panigrahy, A. (2015). MRI evaluation and safety in the developing brain. *Seminars of Perinatology*, 39 (2): 73-104.

Tsoufanidi, N. & Landsbeger, S. (2015). *Measurement & Detection of Radiation*. 4th Edition, CRS Press, Taylor & Francis Group.

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2006). *Princípios Básicos de Segurança e Protecção Radiológica*. 3ª Edição revisada, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

University of California, Santa Cruz (2000). *Radiation safety fundamentals workbook*. 4rd ed., University of California, Santa Cruz Environmental Health & Safety.

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2000). *Sources and Effects of Ionizing Radiation, Report 2000, Vol. 1: Sources*, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York.

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2008). *Sources and effects of ionizing radiation* New York: United Nations.

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2011a). *Sources and Effects of Ionizing Radiation, Report 2010*, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York.

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2011b). *Summary of Low-Dose Radiation Effects on Health*. New York: United Nations.

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2012). *Biological Mechanisms of Radiation Actions at Low Doses*; United Nations: New York, NY, USA.

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2020). *Sources, effects and risks of ionizing radiation, Report 2019*, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York.

Uva, A.S. (2006). *Avaliação e gestão do risco em saúde ocupacional: algumas vulnerabilidades*. (U.N. Lisboa, Ed.) *Revista Portuguesa de Saúde Pública (ENSP)*.

Vaquerizo, D.M.A. (2016). *Ciencias aplicadas a la actividad profesional 4º ESO*. Editex.

Vaz, A.J.N. (2020). *Perceção do Risco e Uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) na Exposição de Profissionais de Enfermagem a Radiações Ionizantes*. Dissertação de Mestrado em Psicologia, Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da Universidade do Porto.

Whitby, M. & Martin, C.J. (2005). A study of the distribution of dose across the hands of interventional radiologists and cardiologists. *The British Journal of Radiology*, 78 (927): 219–229.

WHO – World Health Organization (2016). *Ionizing Radiation – Health Effects and Protective Measures*. Disponível online: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures> [consultado em 12/04/2023].

Wdowiak, A.; Skrzypek, M.; Stec, M. & Panasiuk, L. (2019). Effect of ionizing radiation on the male reproductive system. *Annals of Agriculture and Environmental Medicine*, 26 (2): 210–216.

Wondergem, J. (2014). *Radiation Biology*. In Dance, D.R.; Christofides, S.; Maidment, A.D.A.; McLean, I.D. & Ng, K.H. (Eds), *Diagnostic radiology physics: A handbook for Teachers and Students*. Endorsed by: American Association of Physicists in Medicine, Asia-Oceania Federation of Organizations for Medical Physics, European Federation of Organisations for Medical Physics, p.499–524. IAEA.

Wu, L.J.; Randers-Pehrson, G.; Xu, A.; Waldren, C.A.; Geard, C.R., Yu, Z. & Hei, T. K. (1999). Targeted cytoplasmic irradiation with alpha particles induces mutations in mammalian cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96 (9): 4959–4964.

Yoshimura, E.M. (2014). *Fundamentals of Dosimetry*. In: Dance, D.R.; Christofides, S.; Maidment, A.D.A.; McLean, I.D. & Ng, K.H. (Eds), *Diagnostic Radiology Physics: A handbook for Teachers and Students*. Endorsed by: American Association of Physicists in Medicine, Asia-Oceania Federation of Organizations for Medical Physics, European Federation of Organisations for Medical Physics, p.35–53. IAEA.

## WEBGRAFIA

International Atomic Energy Agency. (s.d.). Página inicial. Organismo Internacional de Energia Atômica.  
<https://www.iaea.org>

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (s.d.). Página inicial.  
<https://www.unscear.org>

## Anexos

### Anexo 1 – Verificação da normalidade

Teste de Shapiro-wilk					
Serviço	Variável	Shapiro-Wilk			Decisão
		<i>W</i>	gl	<i>p</i>	
Cardiologia	2019				
	0.07mm	0.390	42	<0.001*	Distribuição não-normal
	10mm	0.387	42	<0.001*	Distribuição não-normal
	2020				
	0.07mm	0.441	42	<0.001*	Distribuição não-normal
	10mm	0.421	42	<0.001*	Distribuição não-normal
Cirurgia Vascular	2019				
	0.07mm	0.261	26	<0.001*	Distribuição não-normal
	10mm	0.253	26	<0.001*	Distribuição não-normal
	2020				
	0.07mm	0.550	25	<0.001*	Distribuição não-normal
	10mm	0.521	25	<0.001*	Distribuição não-normal
Medicina Nuclear	2019				
	0.07mm	---			
	10mm	0.460	24	<0.001*	Distribuição não-normal
	2020				
	0.07mm	0.772	29	<0.001*	Distribuição não-normal
	10mm	0.708	29	<0.001*	Distribuição não-normal
Radioterapia	2020				
	0.07mm	0.235	45	<0.001*	Distribuição não-normal
	10mm	0.250	45	<0.001*	Distribuição não-normal

Teste de Kolmogorov-Smirnov					
Serviço	Variável	Kolmogorov-Smirnov			Decisão
		<i>D</i>	gl	<i>p</i>	
Radiologia	2020				
	0.07mm	0.286	169	<0.001*	Distribuição não-normal
	10mm	0.331	169	<0.001*	Distribuição não-normal