

Avaliação da exposição da população portuguesa a radiações ionizantes devido a exames médicos de radiodiagnóstico e medicina nuclear

Mariana Santos Portela Trincão

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Proteção e Segurança Radiológica

Orientador: Doutor Pedro Manuel Peixoto Teles

Júri

Presidente: Professor Doutor José Pedro Miragaia Trancoso Vaz

Orientador: Doutor Pedro Manuel Peixoto Teles

Vogal: Professor Doutor Nuno José Coelho Gomes Teixeira

Outubro de 2018

Avaliação da exposição da população portuguesa a radiações ionizantes devido a exames médicos de radiodiagnóstico e medicina nuclear

Mariana Santos Portela Trincão

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Proteção e Segurança Radiológica

Orientador: Doutor Pedro Manuel Peixoto Teles

Júri

Presidente: Professor Doutor José Pedro Miragaia Trancoso Vaz

Orientador: Doutor Pedro Manuel Peixoto Teles

Vogal: Professor Doutor Nuno José Coelho Gomes Teixeira

Outubro de 2018

Agradecimentos

É com todo o prazer que exprimo o meu agradecimento e reconhecimento a todos os que me acompanharam no desenvolvimento deste trabalho com sugestões, críticas e comentários no sentido de melhorar o conteúdo da presente dissertação.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Doutor Pedro Teles, meu orientador, que com muito entusiasmo, me deu a conhecer o presente tema de dissertação. O seu empenho, dedicação e motivação demonstrados ao longo destes últimos meses foram essenciais para a conclusão desta etapa com sucesso.

Agradeço também ao Coordenador do Mestrado em Proteção e Segurança Radiológica (MPSR) do Instituto Superior Técnico, o Professor Doutor Pedro Vaz, por todo o rigor e exigência ao longo destes dois anos, os quais foram fundamentais para o nosso desenvolvimento pessoal e profissional.

A toda a equipa da MedicalConsult que me acompanhou e apoiou ao longo deste percurso: Hugo Trindade, Daniel Figueiredo, João Amorim, Guilherme Coutinho, David Vicente, Ana Coutinho, Marisa Barreira, Bianca Conceição, Joana Couto, Cláudia Xavier, Nuno Reis, João Schiappa, Romão Trindade, Sónia Gomes, Helena Pires, Cláudia Castelo e Ivanica Nhaga.

Aos meus amigos, agradeço todo o apoio, motivação e paciência infinita ao longo desta etapa.

Agradeço a todas as entidades e instituições que participaram neste trabalho com o fornecimento de dados, nomeadamente: ARS Algarve (Dra. Paula Simãozinho), ARS Lisboa e Vale do Tejo (Dr. António Faria Vaz), ARS Centro (Eng^a Isabel Lança), ARS Norte (Dr. Pimenta Marinho, Dra. Rita Moreira, Dra. Helena Pereira e Dra. Luísa Líbano), APIC (Dra. Ana Domingues, Dra. Maria Fátima Loureiro, Dra. Sandra Corker), Faculdade de Medicina da Universidade de Lisboa (Dra. Guilhermina Cantinho), Atomedical (Dra. Guilhermina Cantinho e Dr. Fernando Godinho), IPO – Porto (Dr. João Santos e Dra. Vera Antunes), Hospital de São João (Dr. Jorge Pereira e Dra. Ana Luísa Carvalho), Hospital CUF Descobertas (Dra. Ana Geão), Nuclearmed (Dr. Edgar Pereira), Instituto de Ciências Aplicadas à Saúde (Dra. Magda Silva e Dr. Francisco Alves), Diaton (Dra. Diana Neves), HPP-Medicina Molecular, Maio Clinic, Laboratório de Medicina Nuclear (Dra. Joana Vale), Hospital de Santa Cruz (Dra. Sophia Pintão), Hospital da Luz (Dra. Denise Calado), Centro Hospitalar e Universitário de Coimbra (Dr. Jorge Isidoro), Medicina Nuclear, Serviço de Saúde da RAM (Dr. Rafael Macedo), Professor Pedro Almeida e Professor Nuno Matela.

Gostaria de demonstrar também a minha gratidão para com todos os meus colegas do MPSR que me acompanharam neste percurso e para com os Professores do MPSR, por todo o conhecimento transmitido, dedicação e apoio ao longo destes últimos dois anos.

Por fim, queria agradecer à minha família por tudo o que me proporcionaram desde sempre e por acreditarem em mim e no valor do meu trabalho até ao presente.

Resumo

A crescente utilização das radiações ionizantes para fins de diagnóstico e realização de procedimentos médicos, em conjunto com os progressos tecnológicos das últimas décadas, conduziram ao aumento da dose coletiva da população mundial. Este aumento da exposição da população a radiações ionizantes, realça a importância da realização de estudos de avaliação periódica da dose coletiva nas populações.

No presente trabalho foi avaliada a exposição da população portuguesa a radiações ionizantes devido a exames de radiodiagnóstico e medicina nuclear, utilizando a metodologia do *Report Radiation Protection 154*. Para determinar a dose efetiva coletiva total e da dose *per caput* devido à realização de exames de medicina nuclear, foi solicitado aos centros de medicina nuclear a frequência anual e atividade média administrada em cada exame e, para a dose efetiva coletiva e a dose *per caput* devido à realização de exames de radiodiagnóstico, foi solicitada a frequência anual dos exames realizados às Administrações Regionais de Saúde.

Com este trabalho, observa-se que os exames de radiodiagnóstico que mais contribuem para a dose coletiva em Portugal são os exames de Tomografia Computorizada e que a dose efetiva média anual da população devido a exames de radiodiagnóstico foi 0,79 mSv caput^{-1} em 2013 e 0,91 mSv caput^{-1} em 2017. Para exames de medicina nuclear, a dose efetiva média anual foi 0,088 mSv caput^{-1} em 2013 e 0,090 mSv caput^{-1} em 2017, e os exames que mais contribuem para a dose coletiva são as cintigrafias ósseas e exames cardíacos.

Este estudo pretende contribuir para a sensibilização da necessidade de otimização da dose de exposição em exames médicos de diagnóstico.

Palavras-chave: radiação ionizante, radiodiagnóstico, medicina nuclear, exposição da população portuguesa, dose efetiva coletiva.

Abstract

The increasing uses of ionizing radiation for diagnostic purposes and medical procedures, as well as the technological progress in the health field in the last decades have led to an increase in the collective dose in worldwide population. The increased exposure of population to ionizing radiation brings awareness to the importance of studying the periodic evaluation of collective dose in populations.

This work studied the portuguese population exposure to ionizing radiation due to radiodiagnostic and nuclear medicine exams, using the Report Radiation Protection 154 methodology. In order to determine the total collective effective dose and per caput dose due to nuclear medicine exams, it was requested to nuclear medicine centers to share the data of annual frequency and average activity administered in each exam; and for the collective effective dose and per caput dose due to radiodiagnostic exams it was requested the annual frequency of the performed exams to the Health Regional Administrations.

With this work it is observed that the radiodiagnostic exams that contribute the most to the collective dose in Portugal are Computed Tomography exams, and the average annual effective dose of the population due to radiodiagnostic exams was $0,79 \text{ mSv caput}^{-1}$ in 2013 and $0,91 \text{ mSv caput}^{-1}$ in 2017. For nuclear medicine, the annual effective dose was $0,088 \text{ mSv caput}^{-1}$ in 2013 and $0,090 \text{ mSv caput}^{-1}$ in 2017, and the exams that contribute the most to collective dose are bone imaging and cardiac exams.

This study intends to bring awareness to the need of optimizing exposure dose in medical diagnosis exams.

Keywords: ionizing radiation, radiodiagnostic, nuclear medicine, portuguese population exposure, collective effective dose.

Índice

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract.....	ix
Índice.....	xi
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Tabelas.....	xv
Acrónimos.....	xvii
1. Introdução.....	1
1.1. Introdução às Radiações Ionizantes	1
1.2. Dosimetria e Grandezas Dosimétricas.....	2
1.2.1. Grandezas Físicas.....	2
1.2.2. Grandezas de Proteção Radiológica.....	3
1.2.3. Grandezas Operacionais.....	5
1.3. Efeitos Biológicos das radiações ionizantes	6
1.3.1. Risco associado à exposição a radiação	7
1.4. Os três pilares da Proteção Radiológica	8
1.5. Contextualização do presente trabalho	9
1.5.1. Utilização de radiação ionizante em medicina	9
1.6. Legislação e Metodologia para a determinação da dose coletiva	11
1.7. Objetivos do Trabalho.....	11
2. Materiais e Métodos	13
2.1. Metodologia	13
2.2. Medicina Nuclear.....	14
2.2.1. Dosimetria dos dados de Medicina Nuclear.....	14
2.2.2. Compilação dos dados de Medicina Nuclear	16
2.2.3. Questionário realizado aos Centros de Medicina Nuclear	17
2.2.4. Projeto NRD Portugal.....	18
2.3. Radiodiagnóstico	19
2.3.1. Dosimetria dos exames de Radiodiagnóstico	19
2.3.2. Compilação dos dados de Radiodiagnóstico	21
2.3.3. Questionário realizado às ARS	22
3. Resultados e Discussão de Resultados.....	23
3.1. Estimativa das frequências e dose efetiva coletiva devido à realização de exames de Medicina Nuclear	23
3.1.1. Cálculo das incertezas dos resultados obtidos para a Medicina Nuclear	23
3.1.2. Frequências anuais dos exames de Medicina Nuclear.....	24
3.1.3. Dose efetiva coletiva e dose <i>per caput</i>	27

3.1.4. Evolução temporal.....	29
3.1.5. Top 10 de exames de Medicina Nuclear.....	31
3.2. Estimativa das frequências e doses efetivas coletivas anuais para os exames TOP 20 de Radiodiagnóstico.....	32
3.2.1. Cálculo das incertezas dos resultados obtidos para o Radiodiagnóstico.....	32
3.2.2 Frequência anual dos exames de Radiodiagnóstico.....	33
3.2.3. Dose efetiva coletiva, dose <i>per caput</i> e evolução temporal.....	37
3.2.4. Top 10 de exames de Radiodiagnóstico.....	41
3.3. Comparação com outros países.....	42
3.3.1 Exames de Medicina Nuclear.....	42
3.3.2 Exames de Radiodiagnóstico.....	42
4. Conclusões.....	44
4.1 Recomendações para profissionais e instituições de saúde.....	46
5. Referências Bibliográficas.....	47
Apêndice I.....	50
Apêndice II.....	51
Apêndice III.....	52

Índice de Figuras

Figura 1.1. a) Interação da radiação de baixa LET com a molécula de ADN. b) Interação da radiação de alta LET com a molécula de ADN. (Adaptado de [7,11]).....	7
Figura 1.2. Comparação entre as fontes de exposição a radiação a que a população dos Estados Unidos da América estava exposta no início dos anos 80 e 2006.....	9
Figura 2.1. Distribuição geográfica da totalidade de Centros de Medicina Nuclear em Portugal. (Adaptado de [35]).....	16
Figura 2.2. Total de Centros de MN existentes em Portugal por região.....	17
Figura 2.3. Número total de Centros de MN que participaram no estudo por região.....	17
Figura 2.4. Percentagem da população abrangida por cada ARS.....	21
Figura 3.1. Frequências anuais dos diferentes grupos de exames de MN.....	25
Figura 3.2. Distribuição das frequências anuais de cada grupo de exame em percentagem do total de exames de MN realizados em Portugal.....	26
Figura 3.3. Frequências anuais dos seis exames cardíacos de MN para os anos 2010 a 2017.....	27
Figura 3.4. Distribuição relativa de frequências anuais para os sete grupos de exames de MN entre os anos 2010 e 2017.....	29
Figura 3.5. Distribuição relativa da dose coletiva anual para os sete grupos de exames de MN entre os anos 2010 e 2017.....	29
Figura 3.6. Evolução da dose coletiva total entre os anos 2010 e 2017.....	30
Figura 3.7. TOP 10 de exames de MN para os anos 2013 a 2017.....	31
Figura 3.8. Frequências anuais dos diferentes grupos de exames de radiodiagnóstico do TOP 20 realizados nos anos 2010 e 2013 a 2017.....	34
Figura 3.9. Frequências anuais das radiografias realizadas nos anos 2010 e 2013 a 2017.....	35
Figura 3.10. Frequência dos exames de fluoroscopia realizados nos anos 2010 e 2013 a 2017.....	35
Figura 3.11. Frequência dos exames de TC realizados nos anos 2010 e 2013 a 2017.....	36
Figura 3.12. Frequência dos exames de intervenção realizados nos anos 2010 e 2013 a 2017.....	36
Figura 3.13. Distribuição relativa de frequência para os quatro grupos de exames de radiodiagnóstico considerados para os anos 2010 e 2013 a 2017.....	37
Figura 3.14. Distribuição relativa da dose coletiva para os quatro grupos de exames de radiodiagnóstico considerados para os anos 2010 e 2013 a 2017.....	38
Figura 3.15. TOP 10 de exames de radiodiagnóstico para os anos 2013 a 2017.....	41

Índice de Tabelas

Tabela 1.1. Áreas de utilização das radiações ionizantes na medicina.....	1
Tabela 1.2. Fatores de ponderação por tipo de radiação. Adaptado de [3].....	3
Tabela 1.3. Exemplos de fatores de ponderação tecidual ω_T . Adaptado de [3].....	4
Tabela 1.4. Vantagens e desvantagens da utilização da dose coletiva para avaliação da exposição de uma população a radiações ionizantes.....	5
Tabela 1.5. Resumo das características dos efeitos biológicos induzidos pela radiação.....	8
Tabela 2.1. Diagrama da Metodologia utilizada.....	13
Tabela 2.2. Vinte e oito procedimentos de Medicina Nuclear mais comuns, radionuclídeos usados para cada exame, forma química e respectivo coeficiente de conversão [22, 30-32].....	15
Tabela 2.3. Exames TOP 20 de acordo com o relatório RP 154 [19,21].....	19
Tabela 2.4. Dose efetiva por exame para cada exame TOP 20 [19].....	20
Tabela 3.1. Frequência dos 28 exames de MN considerados no período de 2013 a 2017 e respectiva incerteza das frequências.....	24
Tabela 3.2. Frequência anual de cada grupo de exames de MN considerado entre 2013 e 2017 e respectiva incerteza da frequência.....	25
Tabela 3.3. Dose coletiva anual devido à totalidade dos exames de MN, e para cada grupo de exame considerado.....	28
Tabela 3.4. Dose coletiva devido à totalidade dos exames de MN, respectiva dose <i>per caput</i> e incertezas para os anos 2011 a 2017.....	30
Tabela 3.5. Frequência anual dos 20 exames de radiodiagnóstico considerados no período de 2013 a 2017 e respectiva incerteza das frequências.....	33
Tabela 3.6. Dose efetiva coletiva, dose <i>per caput</i> e respectivas incertezas para o TOP 20 para os anos 2010, 2013 e 2014.....	39
Tabela 3.7. Dose efetiva coletiva, dose <i>per caput</i> e respectivas incertezas para o TOP 20 para os anos 2015, 2016 e 2017.....	40
Tabela 3.8. Dose efetiva coletiva devido à totalidade dos exames de radiodiagnóstico, respectiva dose <i>per caput</i> e incertezas para os anos 2010 e 2013 a 2017.....	41

Acrónimos

ACSS: Administração Central do Sistema de Saúde;

ADN: Ácido Desoxirribonucleico;

ADSE: Assistência na Doença aos Servidores Civis do Estado;

ALARA: Tão baixo quanto razoavelmente possível (do inglês, *As Low As Reasonably Achievable*);

APIC: Associação Portuguesa de Intervenção Cardiovascular;

ARS: Administração Regional de Saúde;

CT: Tomografia Computorizada (do inglês, *Computed Tomography*);

C2TN: Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares;

DDM2: Dose Datamed II;

DGS: Direção Geral da Saúde;

EURATOM: Comunidade Europeia de Energia Atómica (do inglês, *European Atomic Energy Community*);

IAEA: Agência Internacional de Energia Atómica (do inglês, *International Atomic Energy Agency*);

ICRP: Comissão Internacional de Proteção Radiológica (do inglês, *International Commission on Radiological Protection*);

ICRU: Comissão Internacional das Unidades e Medidas de Radiação (do inglês, *International Commission on Radiation Units and Measurements*);

IST: Instituto Superior Técnico;

KERMA: Energia cinética libertada por unidade de massa (do inglês, *kinetic energy released per unit mass*);

LET: Transferência Linear de Energia (do inglês, *Linear Energy Transfer*);

LVT: Lisboa e Vale do Tejo;

MIBI: metoxi-isobutil-isonitrilo;

MN: Medicina Nuclear;

NCRP: Conselho Nacional de Proteção e Medidas de Radiação (do inglês, *National Council on Radiation Protection and Measurements*);

NRD: Nível de Referência de Diagnóstico;

OMS: Organização Mundial de Saúde;

PET: Tomografia por Emissão de Positrões (do inglês, *Positron Emission Tomography*);

RP 154: *Radiation Protection 154*;

SNS: Serviço Nacional de Saúde;

UE: União Europeia.

1. Introdução

1.1. Introdução às Radiações Ionizantes

Define-se radiação como sendo a emissão ou transmissão de ondas ou partículas por um determinado material. Existem vários tipos de radiação, como a radiação eletromagnética, a radiação acústica, ou a radiação de partículas pesadas. Consoante possua ou não energia suficiente para ionizar o meio que atravessa, a radiação pode ser classificada em duas categorias: radiação ionizante e radiação não ionizante. Exemplos de radiação não ionizante são a luz visível, as ondas de rádio, ou a radiação de microondas. Apesar desta radiação não ionizar a matéria, à sua utilização estão associados alguns riscos para a saúde, como por exemplo, a exposição excessiva a radiação solar que pode dar origem a vários tipos de cancro de pele. A radiação ionizante tem a capacidade de ionizar a matéria, e é por isso mais perigosa para a saúde. A radiação ionizante pode ainda ser classificada como radiação diretamente ionizante quando a radiação tem a capacidade de ionizar diretamente a matéria, como é o caso das partículas carregadas (por exemplo, eletrões, partículas alfa ou protões); ou indiretamente ionizante quando se tratam de partículas de carga nula, como fótons ou neutrões [1].

Na área da medicina as radiações ionizantes são utilizadas tanto para diagnóstico, como para tratamento de doenças, nomeadamente o cancro. As três principais áreas em que as radiações ionizantes são utilizadas são:

Tabela 1.1. Áreas de utilização das radiações ionizantes na medicina.

Radiodiagnóstico	Utiliza radiação ionizante de baixa energia para obtenção de imagens médicas de diagnóstico.
Medicina Nuclear	Utiliza radiofármacos para a obtenção de imagens de diagnóstico ou para fins terapêuticos.
Radioterapia	Utiliza radiação ionizante de alta energia para tratamento oncológico.

A capacidade desta radiação em ionizar a matéria, faz com que esta possa ter consequências nefastas e duradouras para a saúde humana ou animal, ou para o meio ambiente. Como tal, são necessárias ferramentas que permitam estimar e avaliar a quantidade de radiação emitida ou absorvida de forma sistemática, assim como o risco para a saúde associado a esta quantidade de radiação. A dosimetria é a disciplina que mede, quantifica e permite estimar a quantidade de radiação num material ou tecido biológico.

1.2. Dosimetria e Grandezas Dosimétricas

A dosimetria utiliza métodos para a determinação da energia depositada num dado meio, sendo necessário para tal definir algumas grandezas, das quais se salientam: grandezas físicas, grandezas operacionais e grandezas de proteção radiológica [2,3].

1.2.1. Grandezas Físicas

Fluência e Fluência Energética

A fluência, Φ , pode ser definida como o quociente entre dN e dA , em que dN corresponde ao número de partículas incidentes numa esfera de seção eficaz de área dA :

$$\Phi = \frac{dN}{dA} \quad (\text{Equação 1.1})$$

A unidade SI é m^{-2} .

A fluência energética, Ψ , é o quociente entre dR e dA , em que dR é a energia total transportada pelas N partículas que incidem na esfera de seção eficaz de área dA ;

$$\Psi = \frac{dR}{dA} \quad (\text{Equação 1.2})$$

A unidade SI é Jm^{-2} .

A taxa de fluência energética, que representa a variação da fluência energética num intervalo de tempo dt , é dada pela expressão:

$$\dot{\Psi} = \frac{d\Psi}{dt} \quad (\text{Equação 1.3})$$

em que a unidade é $J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ou W/m^2 .

KERMA (*kinetic energy released per unit mass*)

O kerma, K , é definido em termos de uma quantidade não estocástica de energia transferida (ϵ_{tr}) aplicável a radiação indiretamente ionizante (fotões e neutrões).

A transferência de energia de um feixe de fotões para um meio trata-se de um processo que ocorre em duas etapas: na primeira etapa os fotões transferem energia para as partículas carregadas secundárias (eletrões) através de diversas interações (efeito fotoelétrico, efeito de Compton, produção de pares, etc); na segunda etapa dá-se a transferência de energia das partículas carregadas para o meio através de várias excitações e ionizações dos átomos [2,3].

O kerma trata-se assim da energia média transferida a partir da radiação indiretamente ionizante para as partículas carregadas no meio ($d\bar{E}_{tr}$) por unidade de massa d_m :

$$K = \frac{d\bar{E}_{tr}}{dm} \quad (\text{Equação 1.4})$$

A unidade do kerma é J Kg^{-1} , também denominado Gray (Gy).

O kerma deve ser definido tendo em consideração o material onde ocorreu a interação (exemplo: kerma no ar).

Dose absorvida

A dose absorvida, quantidade de energia absorvida por um determinado meio D, corresponde à energia média absorvida ($\bar{\epsilon}$) pela matéria de massa m de um volume finito V :

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm} \quad (\text{Equação 1.5})$$

A energia absorvida ($\bar{\epsilon}$) é a soma de todas as energias que entram o volume de interesse subtraindo a energia que sai do volume (nomeadamente fótons – raios-X produzidos por *bremstrahlung*) e a energia de repouso. Assim, nem toda a energia cinética produzida inicialmente se traduz em energia absorvida pelo meio. A dose absorvida é expressa em J Kg^{-1} ou Gy [3].

1.2.2. Grandezas de Proteção Radiológica

Dose equivalente

A dose equivalente para um órgão ou tecido para um tipo de radiação R, $H_{T,R}$, é dada por:

$$H_{T,R} = w_R D_{T,R} \quad (\text{Equação 1.6})$$

em que $D_{T,R}$ corresponde à média da dose absorvida no órgão ou tecido T proveniente da exposição à radiação R e w_R corresponde ao fator de ponderação que depende do tipo de radiação (Tabela 1.2). Dado que w_R é adimensional, a dose equivalente é expressa na mesma grandeza que a dose absorvida (J Kg^{-1}), mas à unidade de dose equivalente chama-se Sievert (Sv) para a distinguir da dose absorvida [3].

Quando há a contribuição de vários tipos de radiação, a dose equivalente é expressa através da soma das contribuições dos vários tipos de radiação:

$$H_{T,R} = \sum_R w_R D_{T,R} \quad (\text{Equação 1.7})$$

Tabela 1.2. Fatores de ponderação por tipo de radiação. Adaptado de [3].

Tipo de Radiação	Fator de ponderação da radiação (w_R)
Fótons	1
Elétrons e múons	1
Protões (> 2MeV)	2
Partículas alfa, fragmentos de fissão e iões pesados	20
Neutrões	Curva contínua em função da energia dos neutrões

Dose efetiva

Diferentes órgãos e tecidos do organismo apresentam diferentes radiosensibilidades e, conseqüentemente, um risco de ocorrência de efeitos estocásticos diferente. A dose efetiva encontra-se associada à probabilidade de ocorrência desses efeitos e é definida como o somatório das doses equivalentes ponderadas para os diferentes tecidos, através do fator de ponderação ω_T :

$$E = \sum_T \omega_T H_T = \sum_T \omega_T \sum_R \omega_R D_{T,R} \quad (\text{Equação 1.8})$$

A dose efetiva, tal como a dose equivalente, também é expressa em Sv.

Na Tabela 1.3 encontram-se representados vários valores de fatores de ponderação tecidual definidos pela ICRP 103 (Comissão Internacional de Proteção Radiológica, do inglês *International Commission on Radiological Protection*) [3].

Tabela 1.3. Exemplos de fatores de ponderação tecidual ω_T . Adaptado de [3].

Tecidos	ω_T
Medula óssea, pulmões, estômago, cólon peito, restantes	0,12
Gónadas	0,08
Tiróide, esófago, bexiga, fígado	0,04
Superfície óssea, pele, cérebro, glândulas salivares	0,01

*nos restantes órgãos estão incluídos: glândulas supra-renais, região extratorácica, a vesícula biliar, coração, rins, gânglios linfáticos, músculo, mucosa oral, pâncreas, timo, baço, útero, próstata, intestino grosso superior e intestino delgado. [3]

Dose efetiva coletiva

Embora a dose efetiva coletiva não constitua uma grandeza de proteção radiológica fundamental, é uma grandeza muito utilizada, sobretudo em contexto de exposição ocupacional, tendo em conta a exposição de grupos de indivíduos durante um determinado período de tempo e local que devem ser especificados.

A dose efetiva coletiva baseia-se na suposição de uma relação linear dose-efeito sem limiar para efeitos estocásticos e é calculada através do somatório das doses efetivas individuais de uma determinada população no período considerado e expressa-se em *man sievert* (manSv) [2,3]. Ao dividir a dose efetiva coletiva pela população total obtém-se a dose *per caput* (Sv/caput), que é a dose média recebida por qualquer indivíduo de uma determinada população no período considerado. São estas as duas grandezas que serão avaliadas no presente estudo.

A utilização do conceito de dose efetiva para avaliar a exposição de uma população, como medida de detrimento associado a uma prática específica, tem sido algo de grande debate na comunidade científica [4,5]. Em seguida apresentam-se algumas vantagens e desvantagens da utilização da dose coletiva como medida de exposição a radiação da população (Tabela 1.4) [3-5].

Tabela 1.4. Vantagens e desvantagens da utilização da dose coletiva para avaliação da exposição de uma população a radiações ionizantes.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Pode ser usada para avaliação exposição de grupos de indivíduos durante um período de tempo e local que devem ser especificados. • Utilizada para estimar os efeitos na saúde devido à exposição a radiação ionizante. • Permite avaliar o impacto global (detrimento coletivo) relacionado com uma atividade (médica ou outra). • Pode ser usada como ferramenta de otimização das exposições radiológicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Usado incorretamente se considerar amostras de população demasiado grandes, uma extensão temporal demasiado longa e níveis de exposição demasiado baixos. • O conceito não reflete as desigualdades entre indivíduos expostos. • Não pode ser usada em projeções de risco. • Não pode ser usada como indicador de efeitos determinísticos. • É utilizada sobretudo no contexto de exposição ocupacional, apesar disso tem sido utilizada em outros contextos.

1.2.3. Grandezas Operacionais

As grandezas operacionais são usadas em aplicações práticas para monitorização de área e investigação de situações que envolvem exposição externa, sendo definidas para medição e avaliação de dose no corpo humano, uma vez que a dose equivalente e a dose efetiva não podem ser medidas de forma direta [2,3].

Equivalente de dose ambiente e equivalente de dose direcional

Tratam-se de grandezas operacionais para monitorização de área que relacionam um campo de radiação externo com a dose equivalente num fantoma esférico ICRU (*International Commission on Radiation Units and Measurements*) à profundidade d .

O equivalente de dose ambiente $H^*(d)$ num determinado ponto do campo de radiação, corresponde ao valor de dose equivalente que seria produzido pelo correspondente campo expandido e alinhado na esfera ICRU à profundidade d e que depende do poder de penetração da radiação.

O equivalente de dose direcional $H'(d, \Omega)$ num determinado ponto do campo de radiação, corresponde ao valor de dose equivalente que seria produzido pelo correspondente campo expandido na esfera ICRU à profundidade d sobre um raio de direção Ω .

A unidade em que ambas as grandezas se expressam é o Sievert (Sv) [2,3].

Equivalente de dose pessoal

O equivalente de dose pessoal $H_p(d)$ é definido para propósito de monitorização individual correspondendo à dose equivalente num tecido a uma profundidade d , expressando-se em Sv. No

caso de radiação altamente penetrante, a profundidade considerada é $d= 10$ mm e o equivalente de dose pessoal denota-se por $H_p(10)$, para radiação pouco penetrante o equivalente de dose pessoal na pele denota-se por $H_p(0,07)$ e, para a lente ocular, tem-se $H_p(3)$ [2,3].

1.3. Efeitos Biológicos das radiações Ionizantes

Desde a descoberta da radiação e das suas potencialidades que se tem desenvolvido uma intensa pesquisa sobre os efeitos biológicos da radiação [6]. Quando exposto a radiação ionizante, o ácido desoxirribonucleico (ADN) das células pode sofrer danos por ação direta ou ação indireta da radiação. As interações diretas da radiação com a molécula de ADN são as predominantes no caso de radiação de alta transferência linear de energia (LET – *linear energy transfer*, em inglês) e correspondem a cerca de 30% no caso de radiação de baixa LET (Raios X e γ). No caso das interações indiretas, que correspondem a cerca de 70% no caso da radiação de baixa LET, ocorre interação da radiação ionizante com as moléculas de água (radiólise da água), sendo produzidas espécies reativas de oxigénio que causam *stress* oxidativo que, por sua vez, pode causar dano celular [3,7]. Os estudos ao nível da radiosensibilidade celular desenvolvidos por Bergonié e Tribondeau, em 1906, contribuíram também para a perceção dos efeitos biológicos das radiações ao nível celular, tendo-se verificado que quanto maior a proliferação das células, maior será a sua radiosensibilidade e quanto menos diferenciada for a célula, maior será também sua radiosensibilidade [8-10].

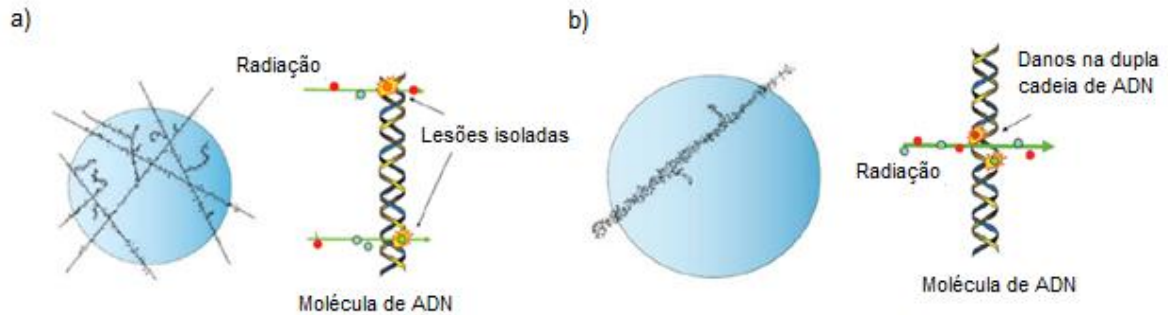


Figura 1.1. a) Interação da radiação de baixa LET com a molécula de ADN. b) Interação da radiação de alta LET com a molécula de ADN. (Adaptado de [7,11]).

1.3.1. Risco associado à exposição a radiação

Após a exposição à radiação são por vezes verificados efeitos na saúde humana que se podem dividir em efeitos determinísticos ou tecidulares e efeitos estocásticos.

Os efeitos determinísticos resultam da exposição a radiação ionizante acima de um determinado limiar, que varia consoante o tecido irradiado. Estes efeitos são diretamente proporcionais ao valor da dose, provocam danos que prejudicam o funcionamento ou levam à morte celular do tecido ou órgão irradiado [12-14]. Como exemplo de efeitos determinísticos tem-se, por exemplo, indução de esterilidade temporária ou permanente, lesões cutâneas (eritema, epilação, necrose), fibrose pulmonar, complicações em mulheres grávidas e fetos, síndrome de irradiação aguda, ou mesmo morte [14].

Por sua vez, os efeitos estocásticos associam-se a modificações não letais nas células, e não existe limiar de dose para a sua ocorrência, embora sejam caracterizados por relações probabilísticas, que fazem com que a sua gravidade seja independente da dose absorvida pelo tecido/órgão [14]. Como exemplo de efeitos estocásticos, tem-se o desenvolvimento de tumores e as anomalias genéticas hereditárias [3,6,14]. Para estes efeitos é possível relacionar a dose de exposição do indivíduo com o risco de indução de cancro sendo atribuído um valor de coeficiente de risco relativo adicional de desenvolvimento de cancro de, aproximadamente, 5,5%/Sv para a população [14]. Este valor varia em função de vários fatores como o género e idade do indivíduo exposto [3,14,15]. Estes efeitos e avaliações de exposição a longo prazo têm como base, entre outros, estudos epidemiológicos realizados com os sobreviventes das bombas atômicas de Hiroshima e Nagasaki, e de acidentes nucleares, como os de Chernobyl e Fukushima, que permitem determinar um risco radiológico, ou seja, a probabilidade de vir a desenvolver complicações de saúde devido à exposição a radiação [14,16]. Alguns destes estudos mostram que os jovens aparentam ter duas vezes maior probabilidade de desenvolver leucemia do que os adultos para a mesma taxa de exposição a radiação, sendo por isso mais radiosensíveis [6,8].

Tabela 1.5. Resumo das características dos efeitos biológicos induzidos pela exposição a radiação.

	Efeitos Determinísticos	Efeitos Estocásticos
Gravidade	Depende da dose	Independente da dose
Limiar de Dose	Sim	Não
Tempo para manifestação do efeito	Imediata ou tardia	Tardia
Exemplo	Morte, lesões cutâneas, anemia	Cancro, anomalias hereditárias

1.4. Os três pilares da Proteção Radiológica

Tal como já foi mencionado, uma vez que a exposição a radiação ionizante pode traduzir-se em potenciais danos para a saúde humana, no sentido de reduzir o risco radiológico associado a estas exposições, o ICRP estabeleceu três princípios fundamentais ou pilares da Proteção Radiológica [3]:

- **Justificação:** nenhuma prática que envolva a exposição a radiação ionizante deve ser adotada a não ser que o benefício resultante para os indivíduos expostos e para a sociedade seja maior que o detrimento causado;
- **Otimização:** aplicadas a situações previamente justificadas nas quais a exposição resultante de qualquer prática radiológica deve ser mantida tão baixa quanto razoavelmente possível (do inglês, *As Low As Reasonably Achievable* – ALARA) levando em conta fatores socio-económicos;
- **Limitação da dose:** a dose total a que um indivíduo está exposto numa situação planeada, excluindo a exposição médica de pacientes, não deve exceder os limites recomendados pela Comissão.

Dado que a limitação de dose não se aplica a exposições médicas, para estas exposições são definidos NRDs (Níveis de Referência de Diagnóstico). Os NRDs são níveis de dose, baseados no terceiro quartil (percentil 75) de uma distribuição de doses médias obtidas em condições clínicas. Quando estabelecidos, por exemplo a nível nacional, permitem otimizar procedimentos e, consequentemente, reduzir a exposição do doente à radiação e o risco que lhe está associado. Uma vez que em Portugal os NRDs ainda não foram estabelecidos a nível nacional, e ainda não foram contemplados em legislação, atualmente os valores de referência a considerar são os NRDs europeus [17].

1.5. Contextualização do presente trabalho

1.5.1. Utilização de radiação ionizante em medicina

Face à rápida evolução das tecnologias utilizadas na saúde, nomeadamente ao nível dos equipamentos médicos de diagnóstico e de tratamento, nos quais o uso de radiação ionizante teve um papel fundamental, é possível hoje em dia efetuar exames e tratamentos que há décadas eram inimagináveis. Apesar dos claros benefícios para o paciente, esta evolução tecnológica tem sido acompanhada por um aumento gradual da exposição a radiações ionizantes dos pacientes e da população em geral [18]. A par e passo com o desenvolvimento tecnológico, o uso de radiação ionizante na medicina aumentou de tal forma que é atualmente a principal fonte de exposição de origem não natural em todo o mundo, correspondendo a 95% desta exposição [6,15]. Em 2009, o NCRP (Conselho Nacional de Proteção e Medidas de Radiação dos Estados Unidos da América, do inglês “*National Council on Radiation Protection and Measurements*”) publicou um estudo [18] que comparava as fontes de exposição a radiação da população dos Estados Unidos da América no início dos anos 80 com as de 2006, tendo-se verificado que a exposição proveniente das atividades médicas passou de 15% para cerca de 50% (Figura 1.2). Como exemplo, temos o caso da utilização da Tomografia Computorizada (TC, também designada CT, do inglês *Computed Tomography*) como meio de diagnóstico, que levou a que do ano 1988 para o ano 2007 se tenha verificado um aumento da dose efetiva média global destes procedimentos de 0,35 mSv para 0,62 mSv, sendo que os exames de TC correspondem a, aproximadamente, 43% da dose coletiva total proveniente dos exames de radiodiagnóstico realizados [6,15]. Como já vimos, as principais áreas médicas cuja prática envolve o uso de radiação ionizante para fins de diagnóstico e tratamento são o radiodiagnóstico (na qual se pode incluir os procedimentos de intervenção), a medicina nuclear (MN) e a radioterapia [6].

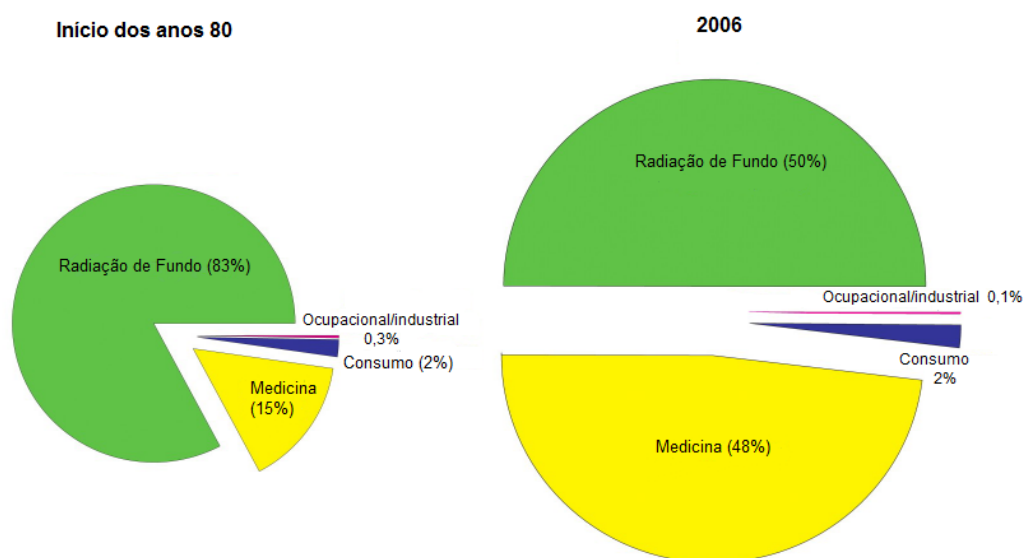


Figura 1.2. Comparação entre as fontes de exposição a radiação a que a população dos Estados Unidos da América estava exposta no início dos anos 80 e em 2006 [18].

Face ao exposto, várias organizações mundiais (IAEA – Agência Internacional de Energia Atômica, do inglês *International Atomic Energy Agency*; OMS – Organização Mundial de Saúde, etc), assim como autoridades nacionais e locais (como por exemplo, no caso de Portugal: DGS – Direção Geral da Saúde e IST – Instituto Superior Técnico), têm insistido num crescente esforço para o desenvolvimento de uma metodologia robusta que permita estimar a dose da população no que diz respeito à realização de exames médicos que recorram à utilização de radiação ionizante [19,20]. Neste sentido, a Comissão Europeia, para harmonizar o cálculo para os seus Estados membros, publicou o documento *Radiation Protection 154 (RP 154)* [21]. Este documento fornece um sistema harmonizado com recomendações e metodologias que permitem determinar a dose de exposição da população adulta devido à realização de procedimentos médicos (de radiodiagnóstico e medicina nuclear). Assim, a nível de cada país, os principais objetivos para a determinação da dose de exposição da população adulta são:

- a) Observar a tendência da dose coletiva anual e a dose média anual *per caput* devido à realização de procedimentos médicos;
- b) Determinar as diferentes contribuições para a dose coletiva de cada modalidade de imagem;
- c) Determinar a frequência de cada tipo de exame ao longo do tempo e a sua contribuição para a dose coletiva total;
- d) Determinar as variações regionais do país em termos de frequência por tipo de exame realizado e dose *per caput*;
- e) Proceder a uma comparação das frequências dos exames realizados e da dose *per caput* entre países.

A análise dos resultados permite fornecer informações às autoridades nacionais de saúde sobre os grupos de doentes e da população mais expostos a radiação ionizante decorrente da realização de procedimentos médicos, nos quais, conseqüentemente, o risco radiológico e suscetibilidade de possíveis efeitos estocásticos devidos a essa exposição é maior.

De forma a facilitar a determinação da exposição da população devido a exames de radiodiagnóstico e de medicina nuclear, este relatório (RP 154) define 20 exames na área do radiodiagnóstico (que incluem exames de radiografia, fluoroscopia, tomografia computadorizada e intervenção) que mais contribuem para a dose efetiva coletiva. Estes exames constituem 50%-70% do total de exames realizados e 70% a 90% da dose coletiva efetiva total devido a exames médicos de radiodiagnóstico. No caso da Medicina Nuclear é considerada uma lista dos 28 procedimentos mais comuns, divididos em seis tipos de exames de diagnóstico que envolvem administração de radionuclídeos [20-22].

Na sequência da persistente falta de estudos de avaliação da exposição da população portuguesa a radiações ionizantes devido à realização de exames e procedimentos médicos, em Portugal, em 1992, foi realizado um estudo pioneiro que permitiu determinar a dose coletiva da população devido a procedimentos médicos de diagnóstico, no qual foram compilados dados de setenta e cinco instituições, tendo-se obtido um valor de dose de corpo inteiro de 0,53 mGy *per caput* [20,23].

Em 2009-2010 a Comissão Europeia financiou o projeto Dose Datamed II (no seguimento do anterior projeto Dose Datamed I) no qual Portugal e outros trinta e cinco países participaram [24],

com o objetivo de recolher dados relativos aos exames mais frequentes de radiodiagnóstico e medicina nuclear para determinar a dose coletiva da população europeia, utilizando a metodologia proposta no RP 154 [19,21]. Neste estudo verificou-se uma grande prevalência dos exames de TC que contribuíram com 74% para a dose coletiva total dos exames de radiodiagnóstico, sendo a dose efetiva média anual de $0,96 \pm 0,68$ mSv *per caput* para o ano de 2010 em Portugal. Para os exames de medicina nuclear foi estimada uma dose efetiva média anual de $0,08 \pm 0,017$ mSv *per caput* para o mesmo ano [20].

Em 2017, foi criado o Projeto NRD Portugal, que engloba diversas entidades como a DGS, a Sociedade Portuguesa de Física, o Instituto Superior Técnico, a Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Coimbra, entre outros, e que tem como objetivo a obtenção de dados reais de exames de pacientes do maior número de instituições portuguesas possível (hospitais públicos e privados, clínicas de radiologia, etc) de forma a determinar os NRDs por instituição e, posteriormente, compará-los a nível nacional e internacional [25].

1.6. Legislação e Metodologia para a determinação da dose coletiva

A Diretiva 97/43/EURATOM estabelece os mecanismos de proteção da saúde da população contra os perigos resultantes de radiações ionizantes em exposições radiológicas médicas e procede à regulamentação da exposição médica de pacientes às radiações ionizantes. O artigo 12º do referido documento prevê também que todos os estados-membros devam estimar periodicamente a exposição coletiva da população a radiações ionizantes devido a atividades médicas no contexto de diagnóstico e de tratamento médico [26].

Em particular, no caso de Portugal, de acordo com o artigo 14º do Decreto-Lei nº 165/2002, as doses na população devem ser estimadas periodicamente, tendo o Instituto Tecnológico e Nuclear (atual Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares – C2TN) um papel preponderante na execução desta tarefa [27]. Em 2012, de acordo com o Decreto-Lei nº 29/2012 esta função é atribuída ao IST que sucede o Instituto Tecnológico Nuclear nos direitos e obrigações [28].

1.7. Objetivos do Trabalho

O presente trabalho, mais do que seguir diretivas europeias e legislação nacional, tem como objetivo responder à persistente falta de estudos consistentes de avaliação da exposição da população portuguesa a radiações ionizantes decorrente da realização de exames e procedimentos médicos de radiodiagnóstico e medicina nuclear, pretendendo obter e compilar dados detalhados relativos aos anos 2013 a 2017. Estes dados possibilitarão acompanhar outros países na elaboração de estudos representativos de avaliação periódica das doses de exposição da população, no âmbito da realização de exames médicos, permitindo efetuar comparações ao nível da dose *per caput* por exame, frequências por exame, bem como fazer uma análise crítica comparativa da justificação e otimização dos exames realizados em Portugal face a outros países.

A metodologia usada tem como base o RP 154 [21]. Para a Medicina Nuclear, o referido documento recomenda a implementação de um inquérito realizado aos centros de medicina nuclear nacionais considerando os 28 exames mais comuns. Já para os exames de radiodiagnóstico, utilizou-se o Top 20 de exames de radiodiagnóstico definidos no RP 154 que inclui radiologia convencional, fluoroscopia, tomografia computadorizada e intervenção.

Com o presente estudo de avaliação de exposição da população portuguesa a radiações ionizantes, pretende-se não só avaliar a evolução do número de exames de radiodiagnóstico realizados mas, sobretudo, determinar os valores efetivos das doses recebidas pela população em cada exame, permitindo proceder a uma comparação com os restantes países da União Europeia (UE). Esta comparação é de extrema importância nacional e internacional uma vez que permite inferir e concluir acerca de questões como a justificação das práticas e a utilização segura e otimizada das radiações ionizantes na prestação de cuidados de saúde, e pode ser utilizada como base para a construção de recomendações a serem utilizadas por profissionais.

O presente trabalho visa ainda colaborar com o Projeto NRD Portugal no fornecimento de dados para o estabelecimento de Níveis de Referência de Diagnóstico para os procedimentos mais frequentes por modalidade de imagem médica que utilize radiações ionizantes. O estabelecimento de NRD a nível nacional tem como objetivo a harmonização das práticas e promoção da otimização das exposições médicas.

A colaboração com o Projeto NRD Portugal, nomeadamente através do fornecimento de dados obtidos junto das instituições, permitirá estabelecer Níveis de Referência de Diagnóstico para os procedimentos mais frequentes por modalidade de imagem médica que utilize radiação ionizante. O estabelecimento de Níveis de Referência de Diagnóstico, obtidos pela primeira vez em Portugal com dados de exames de pacientes a nível nacional, possibilitará analisar e refletir sobre as práticas nacionais.

2. Materiais e Métodos

2.1. Metodologia

Para o desenvolvimento deste estudo, foi utilizada, tal como em anteriores trabalhos [19,20,22], a metodologia proposta no RP 154 [21]. O referido documento estabelece uma lista dos vinte exames mais frequentemente realizados em radiodiagnóstico (designado como TOP 20 de exames de radiodiagnóstico), que constituem 50% a 70% do total de exames realizados e 70% a 90% da dose efetiva coletiva total devido a exames médicos de radiodiagnóstico, e vinte e oito exames de medicina nuclear. Dadas as diferentes características entre a prática de medicina nuclear e radiodiagnóstico em Portugal, foi decidido, à semelhança do estudo anterior, estudar as duas áreas separadamente. Ao contrário do que foi realizado no estudo anterior, e de forma a obter os dados em tempo útil, optou-se por recolher apenas os dados dos exames convencionados das Administrações Regionais de Saúde (ARS) e os dados da Associação Portuguesa de Intervenção Cardiovascular (APIC), não tendo sido realizados inquéritos a nível hospitalar para determinação das frequências dos exames TOP 20, nem obtidos os dados da ADSE (Assistência na Doença aos Servidores Civis do Estado).

Assim, a metodologia para compilação dos dados engloba três áreas:

- 1) Compilação de dados relativos aos exames de medicina nuclear realizados, análise da frequência dos exames realizados em Portugal para os anos 2013-2017 e obtenção de dados específicos de exames de dez pacientes para o Projeto NRD Portugal;
- 2) Compilação de dados relativos ao TOP 20 de exames de radiodiagnóstico e análise da frequência dos referidos exames realizados em Portugal para os anos 2013-2017;
- 3) Compilação das frequências e determinação da dose efetiva coletiva devido à realização de exames de medicina nuclear e TOP 20.

A metodologia utilizada encontra-se resumida na Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Diagrama da Metodologia utilizada.

Dados		
Medicina Nuclear <ul style="list-style-type: none">• Frequência dos exames e atividade média/exame Questionário enviado a 38 centros de MN (15 respostas) <ul style="list-style-type: none">• Dados de exames de 10 pacientes – Projeto NRD Portugal	Radiodiagnóstico – TOP 20 <ul style="list-style-type: none">• Frequência dos exames Códigos de reembolso das ARS + Dados da APIC [29]	Dose Efetiva Coletiva <ul style="list-style-type: none">• Dados diretos da MN• Dose no paciente por exame para TOP 20 (DDM2)

2.2. Medicina Nuclear

2.2.1. Dosimetria dos dados de Medicina Nuclear

Para a determinação da dose efetiva coletiva para os exames de medicina nuclear, foi necessário definir as grandezas necessárias que permitam estabelecer uma metodologia adequada. Como se obteve o valor da atividade média administrada para cada exame, assim como a sua frequência de cada centro, foi possível determinar:

- A atividade média ponderada de cada procedimento de medicina nuclear, $A_{avg}(x)$, que é dada pela seguinte expressão:

$$A_{avg}(x) = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \text{freq}_i(x)}{\sum_{i=1}^n \text{freq}_i(x)} \quad (\text{Equação 2.1})$$

Em que n é o número total de centros de MN que participam no estudo (neste caso participaram 15 centros), A_i é a atividade média reportada pelo centro de medicina nuclear i para o procedimento x , e $\text{freq}_i(x)$ representa a frequência anual de cada procedimento x no centro i ;

- A dose *per caput* para cada procedimento de medicina nuclear:

$$\frac{D}{\text{caput}}(x) = \frac{A_{avg}(x) \cdot e_x \cdot \sum_{i=1}^n \text{freq}_i(x)}{\text{população portuguesa}} \quad (\text{Equação 2.2})$$

Em que e_x é o coeficiente de conversão da atividade em dose efetiva (mSv/MBq) que depende do radiofármaco usado no procedimento x (Tabela 2.2). Estes coeficientes de conversão são determinados, na sua maioria, a partir de técnicas de Monte Carlo que simulam fontes nos órgãos e determinam a energia depositada nos diferentes órgãos-alvo. Estes coeficientes dependem de vários fatores como peso e altura e os valores tabelados correspondem a um adulto padrão equivalente ao fantoma (modelo antropomórfico do corpo humano) ICRP de referência [30-32]. Os dados referentes à população portuguesa são retirados de [33], e para 2017, a população corresponde a 10572721 indivíduos;

- A dose *per caput* total devido a todos os procedimentos de MN que corresponde à soma da dose *per caput* obtida para cada procedimento x .

Como não se obteve resposta da totalidade dos centros em Portugal, e dado que a taxa de resposta foi de 39,5%, optou-se por proceder a uma extrapolação linear dos dados, utilizando como fator de extrapolação $1/0,395 = 2,53$. A utilização da extrapolação linear dos dados permite, com as limitações inerentes, colmatar a taxa de respostas obtida.

As incertezas sobre a estimativa da dose por tipo de exame de MN foram determinadas a partir do desvio padrão médio ponderado das atividades obtidas.

Tabela 2.2. Vinte e oito procedimentos de Medicina Nuclear mais comuns, radionuclídeos usados para cada exame, forma química e respetivo coeficiente de conversão [22,30-32].

Procedimento/Exame	Radionuclídeo e forma química	Coeficiente de conversão (mSv/MBq)
1- Cintigrafia Óssea ^a	^{99m} Tc - Fosfatos e fosfonatos	5,70×10 ⁻³
2- Cintigrafia de Perfusão Miocárdio ^b	²⁰¹ Tl - Cloreto	2,20×10 ⁻¹
3- Cintigrafia de Perfusão Miocárdio (Repouso) ^b	^{99m} Tc - Tetrofosmina	7,60×10 ⁻³
4- Cintigrafia de Perfusão Miocárdio (Esforço) ^b	^{99m} Tc - Tetrofosmina	7,00×10 ⁻³
5- Cintigrafia de Perfusão Miocárdio (Repouso) ^b	^{99m} Tc - MIBI	9,00×10 ⁻³
6- Cintigrafia de Perfusão Miocárdio (Esforço) ^b	^{99m} Tc - MIBI	7,90×10 ⁻³
7- PET (Tomografia por Emissão de Positrões) - Estudo Cardíaco (metabolismo) ^{b,f}	¹⁸ F – FDG	1,90×10 ⁻²
8- PET - Estudo Cardíaco (perfusão) ^{b,f}	¹⁵ O – H ₂ O	9,30×10 ⁻⁴
9- PET - Estudo de Corpo Inteiro ^f	¹⁸ F – FDG	1,90×10 ⁻²
10- PET-CT - Estudo de Corpo Inteiro com TC diagnóstico ^f	¹⁸ F – FDG	1,90×10 ⁻²
11- Cintigrafia Corporal (Carcinoma diferenciado da tiroideia) ^c	¹³¹ I - iodeto	6,10×10 ⁻²
12- Cintigrafia da Tiroideia ^c	^{99m} Tc - Pertecnetato	1,40×10 ⁻²
13- Estudo de fixação na Tiroideia ^c	¹²³ I - Iodeto	2,20×10 ⁻²
14- Angiografia de Radionuclídeos de 1ª Passagem ^b	^{99m} Tc - DTPA	4,90×10 ⁻³
15- Angiografia de Radionuclídeos em Equilíbrio ^b	^{99m} Tc - Eritrócitos marcados com Tc-99m	7,00×10 ⁻³
16- Tomografia Cerebral com Ligandos do Transportador da Dopamina ^g	¹²³ I - β - CIT	5,00×10 ⁻²
17- Tomografia Cerebral com Ligandos do Transportador da Dopamina ^g	¹²³ I - Ioflupano (Datscan)	2,40×10 ⁻²
18- Cintigrafia Pulmonar de Perfusão ^d	^{99m} Tc - Macroagregados de Albumina (MAA)	1,10×10 ⁻²
19- Cintigrafia de Recetores de Somatostatina (Tumores Neuroendócrinos) ^g	¹¹¹ In - Pentatreótido (Octreoscan)	1,20×10 ⁻¹
20- Cintigrafia Renal ^e	^{99m} Tc - DMSA	8,80×10 ⁻³
21- Renograma ^e	^{99m} Tc – MAG3	7,00×10 ⁻³
22- Renograma ^e	^{99m} Tc - DTPA	4,90×10 ⁻³
23- Cintigrafia das Paratiroideias ^c	^{99m} Tc - MIBI	9,00×10 ⁻³
24- Cintigrafia de Perfusão Cerebral ^g	^{99m} Tc - Exametazima (HMPAO)	9,30×10 ⁻³
25- Cintigrafia de Perfusão Cerebral ^g	^{99m} Tc - ECD (Neurolite)	2,20×10 ⁻³
26- Cintigrafia para estudo de infeção/inflamação ^g	⁶⁷ Ga - Citrato de Gálio	1,00×10 ⁻¹
27- Cintigrafia para estudo de infeção/inflamação ^g	^{99m} Tc - Leucócitos Marcados	1,10×10 ⁻²
28- Cintigrafia para estudo de infeção/inflamação ^g	^{99m} Tc - Anticorpos monoclonais (Leukoscan)	8,00×10 ⁻³

Categorias dos exames: a - ósseo; b – cardíaco; c – tiróide; d – pulmão; e – renal; f – PET/PET-CT; g - restantes

2.2.2. Compilação dos dados de Medicina Nuclear

De forma a ser possível recolher os dados de todos os centros de medicina nuclear existentes, foi efetuado um levantamento de todas as instituições com licença de funcionamento da DGS, entidade responsável pela emissão das licenças do âmbito radiológico. De acordo com a lista mais atualizada (maio de 2018), disponibilizada pela DGS, existem trinta e oito centros de Medicina Nuclear em Portugal, mais três que em 2012, data em que foram publicados os resultados de um estudo semelhante [22,34]. Os centros de MN podem ser divididos em 6 regiões geográficas:

- 1) Grande Lisboa: 17 centros, dos quais 6 participaram, 4 declinaram a participação e os restantes não responderam;
- 2) Grande Porto e Região Norte: 10 centros, dos quais 5 participaram e 5 não responderam;
- 3) Região Centro: 6 centros, dos quais 3 participaram, 2 não responderam e 1 não possui estatística significativa;
- 4) Região do Algarve: 1 centro que não respondeu;
- 5) Madeira: 2 centros, dos quais um participou e um declinou a participação;
- 6) Açores: 2 centros que, por serem recentes, não forneceram dados para o presente estudo.

A distribuição geográfica dos centros de MN encontra-se representada na Figura 2.1.



Figura 2.1. Distribuição geográfica da totalidade de Centros de Medicina Nuclear em Portugal. (Adaptado de [35])

A comparação entre o número de centros de MN existentes por região e o número de centros que participaram no estudo por região pode ser observado nas Figuras 2.2 e 2.3. Assim, da totalidade dos 38 centros de MN existentes em Portugal: 15 forneceram dados para o presente estudo (39,5%), 2 são centros recentes que ainda não possuem dados que possam ser incluídos no estudo (5,3%), 5

não aceitaram participar (13,2%), 1 corresponde a uma instituição de ensino (2,6%), 1 não apresenta estatística significativa (2,6%) e 14 não responderam (36,8%).

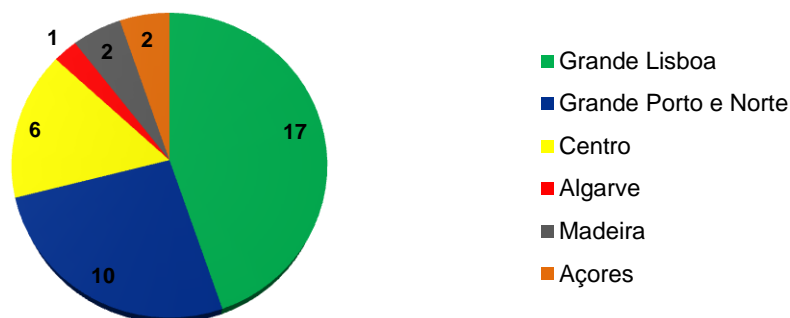


Figura 2.2. Total de Centros de MN existentes em Portugal por região.

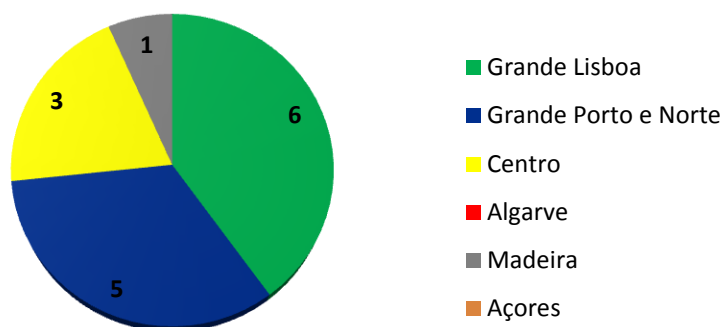


Figura 2.3. Número total de Centros de MN que participaram no estudo por região.

2.2.3. Questionário realizado aos Centros de Medicina Nuclear

Para a obtenção dos dados, e de acordo com a metodologia sugerida no RP 154, foi criado um questionário padrão que foi enviado a todos os centros de Medicina Nuclear do país. Este questionário contém os vinte e oito procedimentos de Medicina Nuclear mais comuns divididos em sete categorias (osso - a, coração - b, tiróide - c, pulmão - d, rins - e, PET/PET-CT - f e restantes estruturas anatómicas - g), bem como os radionuclídeos mais utilizados e forma química para realização dos exames.

O questionário, no formato de Excel, solicitava o preenchimento da frequência anual de cada exame bem como a média da atividade administrada por procedimento em adultos relativos aos anos 2013 a 2017, sendo que existia também a possibilidade de acrescentar outro tipo de exames realizados na instituição com relevância estatística. No Apêndice I encontra-se o questionário enviado aos centros de Medicina Nuclear para preenchimento, neste caso, apenas para o ano de 2013.

2.2.4. Projeto NRD Portugal

Complementarmente aos dados solicitados no questionário enviado aos centros de medicina nuclear, foram também solicitados dados relativos a dez exames específicos de doentes com altura compreendida entre 160 centímetros e 180 centímetros e peso entre 60 Kg e 80 Kg. Para os dados destes dez exames (dois exames cardíacos, dois renais, dois ósseos, dois de tiróide e dois de PET-CT), foi solicitado o género do paciente, o radionuclídeo usado e a atividade administrada com o objetivo de fornecer os dados obtidos aos responsáveis do Projeto para que possam ser calculados os NRD relativos aos exames de MN em Portugal [25].

Foram ainda pedidos os dados dos equipamentos de Medicina Nuclear existentes nas instalações, nomeadamente a marca e modelo das câmaras gama, equipamentos PET ou PET-CT com o objetivo de, ao analisar os NRD, perceber se a tecnologia dos equipamentos tem influência nos valores obtidos.

2.3. Radiodiagnóstico

2.3.1. Dosimetria dos exames de Radiodiagnóstico

No caso dos exames de radiodiagnóstico, TOP 20 (Tabela 2.3), a metodologia seguida é a seguinte:

- Determinação da dose efetiva média por tipo de exame – esta dose pode ser calculada através de medições em salas de radiologia ou através de dados de dose média retirados de trabalhos académicos, estudos apresentados em conferências ou estudos publicados. No presente trabalho foram usados os valores de dose efetiva por exame e respetivas incertezas determinados no Dose Datamed II Portugal (DDM2 Portugal) [19], os quais foram determinados considerando 11 dos 30 estudos inicialmente selecionados e dados de salas de radiologia de 8 hospitais públicos, 2 hospitais privados e 7 centros de saúde. Assim, os valores considerados para a dose efetiva por exame, bem como as incertezas associadas, encontram-se na Tabela 2.4;

Tabela 2.3. Exames TOP 20 de acordo com o relatório RP 154 [19,21].

Radiografia	1. Tórax Frente (PA) e Perfil	<i>Chest/Thorax</i>
	2. Coluna Cervical (Frente e Perfil)	<i>Cervical Spine</i>
	3. Coluna Dorsal (Frente e Perfil)	<i>Thoracic Spine</i>
	4. Coluna Lombar (Frente e Perfil)	<i>Lumbar Spine</i>
	5. Mamografia (CC e MLO 4 incidências)	<i>Mammography</i>
	6. Abdómen (Frente)	<i>Abdomen</i>
	7. Bacia e Anca (Frente ou Anca Frente+Perfil)	<i>Pelvis&Hip</i>
Radiografia/ Fluoroscopia	8. Trânsito esófago-gastro-duodenal	<i>Ba Meal</i>
	9. Clíster Opaco	<i>Ba enema</i>
	10. Trânsito do intestino delgado	<i>Ba follow</i>
	11. Urografia Intravenosa	<i>IVU</i>
	12. Angiografia Cardíaca	<i>Cardiac angiography</i>
Tomografia Computorizada	13. TC Crânio-encefálica	<i>CT head</i>
	14. TC Pescoço	<i>CT neck</i>
	15. TC Tórax	<i>CT chest</i>
	16. TC Coluna	<i>CT spine</i>
	17. TC Abdómen	<i>CT abdomen</i>
	18. TC Pélvica	<i>CT pelvis</i>
	19. TC Toraco-abdómino-pélvico	<i>CT trunk</i>
Intervenção	20. Angioplastia Coronária	<i>PTCA</i>

Tabela 2.4. Dose efetiva por exame para cada exame TOP 20 [19].

Exames TOP 20	Dose Efetiva por exame (mSv)
1. Tórax Frente (PA) e Perfil	0,09±0,05
2. Coluna Cervical Frente e Perfil	0,07±0,04
3. Coluna Dorsal Frente e Perfil	0,55±0,31
4. Coluna Lombar Frente e Perfil	1,02±0,57
5. Mamografia	0,13±0,07
6. Abdómen Frente	0,74±0,40
7. Bacia e Anca Frente ou Anca Frente + Perfil	0,77±0,43
8. Trânsito esófago-gastro-duodenal	7,84±7,84
9. Clíster Opaco	12,7±12,68
10. Trânsito do intestino delgado	---
11. Urografia intravenosa	4,16±4,16
12. Angiografia cardíaca	6,8±3,81
13. TC crânio-encefálica	2,04±2,04
14. TC pescoço	2,13±2,13
15. TC tórax	4,93±2,76
16. TC coluna	9,29±5,20
17. TC abdómen	6,94±3,88
18. TC pélvica	4,28±2,40
19. TC Toraco-abdomino-pélvico ou TC aorta torácica ou abdominal	13,58±13,58
20. Angioplastia coronária	14,5±14,5

- Determinação da dose coletiva - é necessário conhecer as frequências dos exames de radiodiagnóstico realizados em Portugal. Para tal foi requisitado às Administrações Regionais de Saúde a frequência dos exames convencionados em Portugal. Isto permite obter uma estimativa da frequência destes exames no país;
- A dose *per caput* média anual para cada exame TOP 20 é calculada a partir da razão entre a dose efetiva coletiva média anual por tipo de exame e a população portuguesa total [33];
- A dose *per caput* média anual total é obtida somando a dose *per caput* média anual de todos os exames considerados.

2.3.2. Compilação dos dados de Radiodiagnóstico

Para a recolha de dados referentes aos exames de radiodiagnóstico, foi tida em consideração a especificidade do sistema de saúde português, que se encontra organizado em vários subsistemas, e foi realizado um levantamento das entidades que potencialmente poderiam vir a fornecer os dados necessários. O maior subsistema e o mais utilizado é o SNS (Serviço Nacional de Saúde) que se trata de um serviço público disponível a todos os cidadãos portugueses ou residentes e que é tendencialmente gratuito, existindo também outros subsistemas financeiramente suportados por uma contribuição percentual do salário dos utilizadores, como por exemplo a ADSE (para funcionários públicos), ADM (para funcionários da marinha, exército, etc) e SAMS (para funcionários do setor bancário). O orçamento do SNS é gerido pelo Ministério da Saúde através da sua estrutura orgânica: ACSS (Administração Central do Sistema de Saúde) e das cinco ARS – Norte, Centro, Lisboa e Vale do Tejo (LVT), Alentejo e Algarve. Os beneficiários deste subsistema, caso não se encontrem abrangidos por nenhum regime de isenção, pagam uma taxa moderadora que varia consoante o exame radiológico realizado. Os exames radiológicos prescritos, na sua maioria, são efetuados em centros de diagnóstico privados que acordam com o Ministério da Saúde a realização dos exames através do denominado regime convencionado que tem uma tabela própria com códigos próprios, sendo o preço do exame (excluindo a taxa moderadora se aplicável) suportado pelo Ministério da Saúde.

À semelhança do procedimento utilizado para a recolha de dados relativos aos exames de Medicina Nuclear, foram contactadas as entidades que dispõem dos dados referentes aos exames de radiodiagnóstico. Por constrangimento temporal e de forma a compilar as frequências do TOP 20 de exames de radiodiagnóstico em tempo útil, foram apenas contactadas as cinco ARS no sentido de fornecerem a frequência dos exames efetuados no regime convencionado. Da totalidade das ARS contactadas, quatro (ARS Algarve, ARS Centro, ARS Lisboa e Vale do Tejo e ARS Norte) forneceram os dados necessários para a avaliação da exposição da população portuguesa devido à realização de exames de radiodiagnóstico. A percentagem da população abrangida por cada uma das ARS encontra-se representada na Figura 2.4. Os dados referentes aos exames Angiografia Cardíaca e Angioplastia Coronária foram solicitados à APIC [29], tendo sido apenas possível obter os dados referentes às Angioplastias Coronárias.

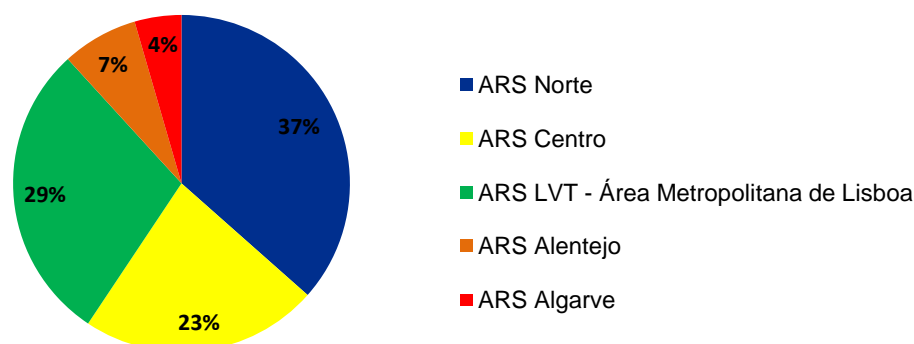


Figura 2.4. Percentagem da população abrangida por cada ARS.

2.3.3. Questionário realizado às ARS

De acordo com a metodologia sugerida no RP 154, foi criado um questionário padrão (ver Apêndice II) em formato Excel que foi enviado às ARS a solicitar dados para os anos 2013 a 2017, juntamente com os códigos de reembolso utilizados pela ARS (ver Apêndice III) de forma a, por um lado, facilitar a recolha dos dados, e por outro permitir compilar as frequências dos exames realizados através dos reembolsos efetuados. Como já foi acima referido, o questionário enviado, considera o TOP 20 de exames de radiodiagnóstico (que incluem radiografias, exames de fluoroscopia, exames de TC e exames de intervenção) definidos no RP 154 (Tabela 2.4), e que correspondem aos vinte exames que mais contribuem para a dose coletiva europeia. Estes exames constituem 50% a 70% do total de exames realizados e 70% a 90% da dose coletiva efetiva total devido a exames médicos de radiodiagnóstico [19-21].

Uma vez que a ARS Alentejo e a ADSE não forneceram dados para o estudo, foi necessário proceder a uma extrapolação dos dados. Esta extrapolação para a ARS Alentejo foi feita a partir dos dados fornecidos pela ARS Lisboa e Vale do Tejo, de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{Frequência exames ARS Alentejo} = \quad \text{(Equação 2.3)}$$

$$= \frac{n^{\circ} \text{ habitantes Alentejo}}{n^{\circ} \text{ habitantes LVT}} \times \text{Frequência exames ARS LVT}$$

Dado que de trabalhos anteriores [19] temos conhecimento do número de exames realizados no regime convencionado ARS e ADSE, é necessário proceder à extrapolação do número de exames reembolsados pela ADSE. Para a ADSE a extrapolação foi feita considerando que os exames da ADSE correspondem a 10% dos exames totais, logo uma estimativa pode ser obtida considerando 10% dos valores totais das ARSs, aqui designadas como A, B, C, D e E (equação 2.4):

$$\text{Frequência ADSE} = 0,1 \times \sum \text{frequência ARS A, B, C, D e E} \quad \text{(Equação 2.4)}$$

Uma vez que a APIC não forneceu os dados referentes às Angiografias Cardíacas, foi também efetuada uma extrapolação a partir dos dados de 2010 para os anos 2013 a 2017, tendo sido considerado que o número de angiografias para cada ano em questão seria dado por:

$$\text{(Equação 2.5)}$$

$$\begin{aligned} N^{\circ} \text{ Angiografias Cardíacas}_i &= N^{\circ} \text{ Angioplastias Coronárias}_i \times \frac{N^{\circ} \text{ Angiografias Cardíacas}_{2010}}{N^{\circ} \text{ Angioplastias Coronárias}_{2010}} \\ &= N^{\circ} \text{ Angioplastias Coronárias}_i \times \frac{31740}{12253} = N^{\circ} \text{ Angioplastias Coronárias}_i \times 2,59 \end{aligned}$$

em que i corresponde ao ano considerado (2013, 2014, 2015, 2016 e 2017).

3. Resultados e Discussão de Resultados

3.1. Estimativa das frequências e dose efetiva coletiva devido à realização de exames de Medicina Nuclear

A estimativa das frequências dos exames e da dose efetiva coletiva foram realizadas tendo por base as respostas aos questionários enviados aos centros de medicina nuclear, através do fornecimento de informação do número de exames realizados e a atividade média administrada em cada exame, como explicado na secção anterior. É importante salientar que, apesar de serem requisitados explicitamente os dados apenas para exames de adultos, não é possível afirmar com total segurança que todos os centros forneceram apenas os dados de adultos. Esta distinção entre exames de adultos e pediátricos foi, inclusivamente, uma das dificuldades já anteriormente reportadas [20,22]. Os resultados apresentados para a medicina nuclear contemplam os dados de 2010 a 2017, sendo que os dados referentes ao período de 2010 a 2012 provêm de trabalhos anteriormente desenvolvidos, utilizando a mesma metodologia [19,20,22] e os dados referentes ao período de 2013 a 2017 foram obtidos recentemente para o desenvolvimento deste trabalho.

3.1.1. Cálculo das incertezas dos resultados obtidos para a Medicina Nuclear

As incertezas dos valores obtidos das atividades reportadas pelos centros de Medicina Nuclear podem ser estimadas com recurso ao erro padrão ε_{at} , que se pode obter a partir do desvio padrão ponderado σ_{at} , e é dado pela seguinte expressão:

$$\varepsilon_{at} = \frac{\sigma_{at}}{\sqrt{N}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n freq_i (A_i - A_{avg})^2}{\frac{N-1}{N} \sum_{i=1}^n freq_i}} \quad (\text{Equação 3.1})$$

em que σ_{at} corresponde ao desvio padrão dos valores das atividades para cada procedimento x no centro i reportadas pelos centros, $freq_i$ representa a frequência anual de cada procedimento x no centro i , A_i é a atividade média reportada pelo centro de medicina nuclear i , A_{avg} é a atividade média ponderada de cada procedimento de medicina nuclear, e N corresponde ao número de centros de MN que realizam o procedimento x no centro i .

Para obter o erro padrão da dose (ε_{dose}), multiplica-se ε_{at} pelo fator de conversão respetivo (Tabela 2.2):

$$\varepsilon_{dose} = \text{Fator de conversão} \times \varepsilon_{at} \quad (\text{Equação 3.2})$$

Finalmente, para as frequências anuais, a incerteza é estimada a partir do erro padrão:

$$\varepsilon_{freq} = \sigma_{freq} / \sqrt{N} \quad (\text{Equação 3.3})$$

em que σ_{freq} é o desvio padrão normal dos valores da frequência obtidos e N o número de centros que forneceram resultados.

Para grupos de exames, a incerteza total corresponde à soma das incertezas da dose de cada grupo:

$$\sigma_{total} = \sum_i \sigma_{dose} \quad (\text{Equação 3.4})$$

3.1.2. Frequências anuais dos exames de Medicina Nuclear

Na Tabela 3.1 apresentam-se as frequências anuais de cada exame de MN, entre 2013 e 2017, e as respetivas incertezas.

Tabela 3.1. Frequência dos 28 exames de MN considerados no período de 2013 a 2017 e respetiva incerteza das frequências.

Exame	Ano				
	2013	2014	2015	2016	2017
1- Cintigrafia Óssea	46479±323	43281±289	46901±341	50448±319	49054±277
2- Cintigrafia de Perfusão Miocárdio - tálio	3±0,00*	3±0,00*	-	-	-
3- Cintigrafia de Perfusão Miocárdio (Repouso) - tetrofosmina	36839±860	34504±625	29087±376	30871±397	32002±365
4- Cintigrafia de Perfusão Miocárdio (Esforço) - tetrofosmina	39931±844	37404±612	32475±366	33740±396	33333±363
5- Cintigrafia de Perfusão Miocárdio Repouso) - MIBI	5030±366	5212±411	4944±371	4966±542	4486±585
6- Cintigrafia de Perfusão Miocárdio (Esforço) - MIBI	5030±366	5214±411	4944±371	4966±542	4486±585
7- PET - Estudo Cardíaco metabolismo - FDG	5±0,00*	8±0,00*	10±0,00*	5±0,00*	40±7
8- PET - Estudo Cardíaco (perfusão) - H ₂ O	-	-	-	-	-
9- PET - Estudo de Corpo Inteiro	17055±373	19696±472	21318±622	26193±591	27382±609
10- PET-CT - Estudo de Corpo Inteiro com TC	3421±0,00*	4741±0,00*	5480±0,00*	4868±0,00*	8142±631
11- Cintigrafia Corporal (Carcinoma da tiroideia)	1895±57	1485±74	1498±44	1133±17	749±15
12- Cintigrafia da Tiroideia	8217±101	6469±58	7415±76	7304±66	7001±56
13- Estudo de fixação na Tiroideia	380±58	400±69	466±80	476±84	600±104
14- Angiografia Radionuclídeos de 1ª Passagem	-	-	-	-	-
15- Angiografia de Radionuclídeos em Equilíbrio	10983±261	11190±258	11985±277	11899±307	11231±250
16- Tomografia Cerebral com Ligandos do Transportador da Dopamina - β-CIT	-	-	-	-	-
17- Tomografia Cerebral com Ligandos do Transportador da Dopamina - Datscan	916±13	966±15	1285±16	1343±15	1070±12
18- Cintigrafia Pulmonar de Perfusão	3479±25	3572±26	4326±32	4147±30	4640±42
19- Cintigrafia de Recetores de Somatostatina (Tumores Neuroendócrinos)	380±8	233±7	235±4	132±2	94±2
20- Cintigrafia Renal	3519±54	3507±50	3765±41	3653±38	3347±31
21- Renograma – MAG 3	4569±69	4825±64	5017±53	5396±50	5217±53
22- Renograma – DTPA	2980±30	2204±22	2720±32	2300±25	1885±21
23- Cintigrafia das Paratiroideias	1348±12	1553±11	1680±12	1903±13	1741±13
24- Cintigrafia de Perfusão Cerebral (HMPAO)	1106±43	1128±38	918±32	721±23	653±18
25- Cintigrafia de Perfusão Cerebral (Neurolite)	-	-	-	-	-
26- Cintigrafia para estudo de infeção/inflamação – Citrato de Gálio	531±6	587±6	519±5	331±3	445±5
27- Cintigrafia para estudo de infeção/inflamação – Leucócitos marcados	263±0,00*	278±52	230±39	202±33	210±36
28- Cintigrafia para estudo de infeção/inflamação - Leukoscan	352±11	324±16	299±18	271±13	331±12
Total	194711±3880	188784±3586	187517±3208	197268±3506	198139±4092

*Exame realizado apenas num centro de MN em Portugal | Os exames sem valor de frequência não foram realizados.

Como explicado na secção anterior, os exames de MN foram organizados em sete grupos - exames ósseos, cardíacos, tiróide, pulmão, renais, PET e PET-CT e restantes (Tabela 2.2). Na Tabela 3.2, apresenta-se a frequência anual para cada grupo de exames e respetiva incerteza. Na Figura 3.1, apresenta-se um gráfico onde é possível observar a evolução temporal dos grupos de exames considerados. De notar que para ser possível distinguir a frequência dos exames de pulmão dos restantes, é utilizada uma escala logarítmica, o que impossibilita a visualização das barras de erro no gráfico.

Tabela 3.2. Frequência anual de cada grupo de exames de MN considerado entre 2013 e 2017 e respetiva incerteza da frequência.

Grupo de Exame	Ano				
	2013	2014	2015	2016	2017
Exames Ósseos	46479±323	43281±289	46901±341	50448±319	49054±277
Exames Cardíacos	97821±2697	93535±2317	83445±1761	86447±2184	85578±2155
Exames Renais	11068±153	10536±136	11502±126	11349±113	10449±105
Exames de Tiróide	11840±228	9907±212	11059±212	10816±180	10091±188
Exames de Pulmão	3479±25	3572±26	4326±32	4147±30	4640±42
Exames PET e PET-CT	20476±373	24437±472	26798±622	31061±591	35524±1240
Restantes	3548±81	3516±134	3486±114	3000±89	2803±85
Total	194711±3880	188784±3586	187517±3208	197268±3506	198139±4092

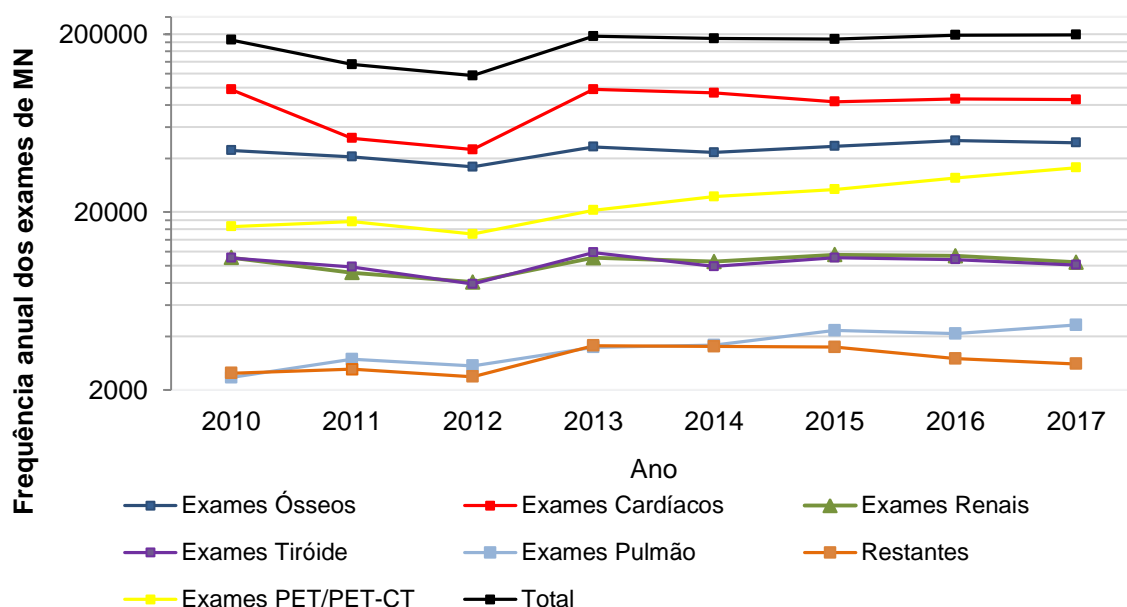


Figura 3.1. Frequências anuais dos diferentes grupos de exames de MN.

Na Figura 3.2, apresenta-se a evolução temporal da distribuição das frequências anuais dos exames em percentagem do total de exames.

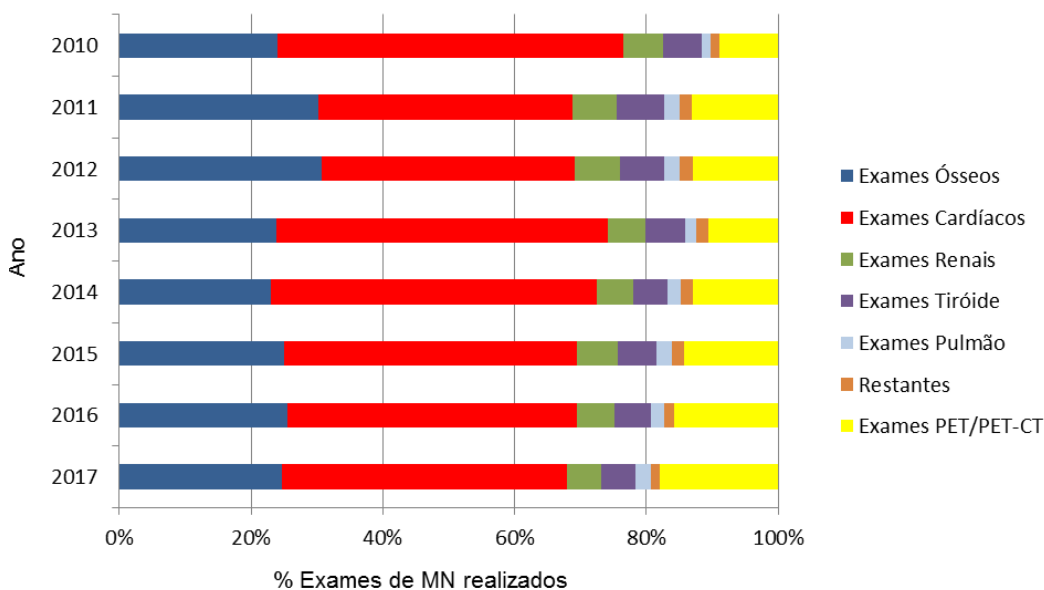


Figura 3.2. Distribuição das frequências anuais de cada grupo de exame em percentagem do total de exames de MN realizados em Portugal.

Conforme observado nas Tabelas 3.1 e 3.2 e na Figura 3.1, entre 2010 e 2012 existe um decréscimo tendencial da frequência dos exames de cada grupo e, conseqüentemente, da frequência total de exames de MN realizados. Este decréscimo é posteriormente seguido de um aumento do número de exames de MN realizados com especial incidência nos exames PET/PET-CT. É também possível observar que, de entre todos os grupos de exames considerados, os exames cardíacos são os que apresentam maior frequência anual, correspondendo a uma maior percentagem do total de exames de MN realizados nos anos considerados (Figura 3.2).

3.1.2.1. Frequências anuais dos exames cardíacos

Dada a prevalência dos exames cardíacos, como se observa na figura anterior, foi feita uma análise da evolução de cada um dos exames cardíacos realizados em MN (Figura 3.3) com as respetivas incertezas. Verificou-se que, de entre os exames cardíacos, a cintigrafia de perfusão do miocárdio com tetrofosmina (em esforço e repouso) é o exame com maior frequência, e que a cintigrafia de perfusão do miocárdio com tálio deixou de ser realizada a partir do ano 2015. Para os exames de perfusão do miocárdio com tetrofosmina, observou-se inicialmente uma diminuição considerável da frequência de exames realizados, entre 2010 e 2012, seguido de um aumento da frequência. Desde 2013 que a frequência das cintigrafias de perfusão do miocárdio (esforço e repouso) com MIBI e as angiografias de radionuclídeos em equilíbrio se mantêm praticamente inalteradas, se considerarmos as barras de erro associadas a cada exame.

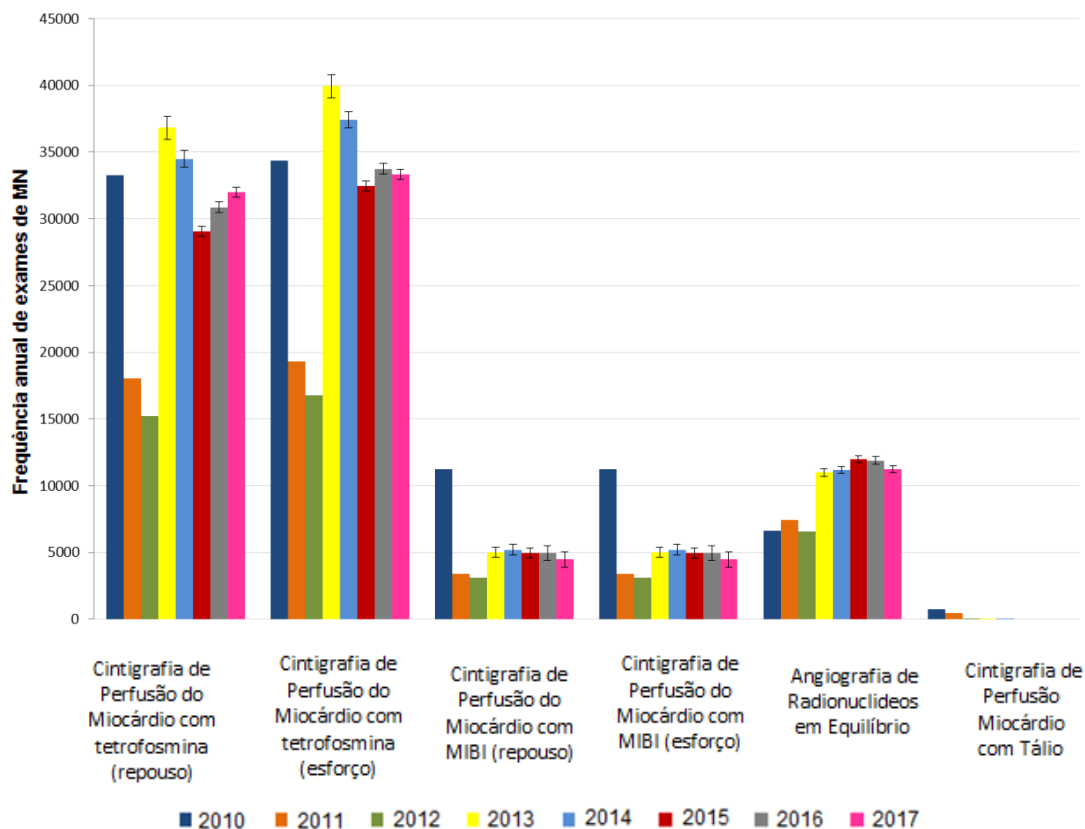


Figura 3.3. Frequências anuais dos seis exames cardíacos de MN para os anos 2010 a 2017.

3.1.3. Dose efetiva coletiva e dose *per caput*

Paralelamente ao cálculo das frequências anuais dos exames de MN, foram calculadas as doses coletivas anuais totais (em manSv) e a dose coletiva anual para os sete grupos de exames de MN considerados (Tabela 3.3).

Para os anos 2010, 2011 e 2012 foram usados os dados publicados [19,20,22] e para os anos 2013 a 2017, as doses coletivas foram calculadas com os dados obtidos para o presente estudo através da metodologia descrita anteriormente. Por esta razão, há dados na Tabela 3.3 que não se encontram preenchidos.

Tabela 3.3. Dose coletiva anual devido à totalidade dos exames de MN, e para cada grupo de exame considerado.

Ano	Dose Coletiva total (manSv)	Dose coletiva devido a exames cardíacos (manSv)	Dose coletiva devido a exames ósseos (manSv)	Dose coletiva devido a exames renais (manSv)	Dose coletiva devido a exames PET/PET-CT (manSv)	Dose coletiva devido a exames tiróide (manSv)	Dose coletiva devido a exames pulmão (manSv)	Dose coletiva devido aos restantes exames (manSv)
2010*	840,3	453,7	183,3	-	-	-	-	-
2011*	625,64±41,64**	248,3	178,9	-	-	-	-	-
2012*	565,07±57,31**	219,3	156,8	-	-	-	-	-
2013	921,12±10,68	499,4±0,39	199,61±0,01	10,80±0,78	121,36±0,02	48,92±3,31	6,80±0,22	34,26±5,97
2014	911,51±12,30	476,64±0,32	191,06±0,01	10,52±0,40	147,25±0,02	46,66±3,09	6,84±0,17	32,54±8,30
2015	885,19±11,81	427,83±0,34	200,69±0,01	11,20±0,35	160,81±0,01	45,76±2,09	8,46±0,15	30,44±8,86
2016	912,39±15,58	423,69±0,37	216,09±0,01	11,32±0,33	186,24±0,01	43,58±1,87	8,20±0,16	23,28±12,84
2017	923,45±16,90	418,42±0,26	210,07±0,01	10,31±0,34	213,12±0,01	38,78±2,22	9,19±0,14	23,57±13,93

*Os dados referentes aos anos 2010-2012 foram retirados das referências [20,22].

**As incertezas para a dose coletiva total para os anos 2011 e 2012 foram recalculadas com recurso às equações 3.1 e 3.2.

3.1.4. Evolução temporal

De forma a analisar a evolução temporal de cada um dos grupos de exames, em termos de frequência e dose, foram efetuados gráficos com a distribuição relativa de frequência e dose para os anos 2010 a 2017.

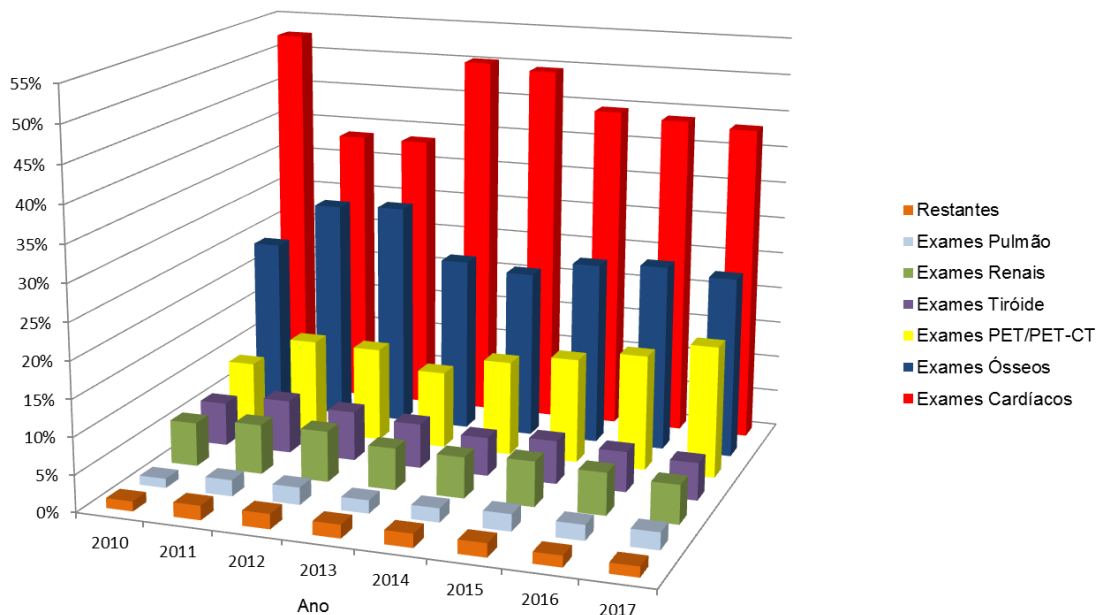


Figura 3.4. Distribuição relativa de frequências anuais para os sete grupos de exames de MN entre os anos 2010 e 2017.

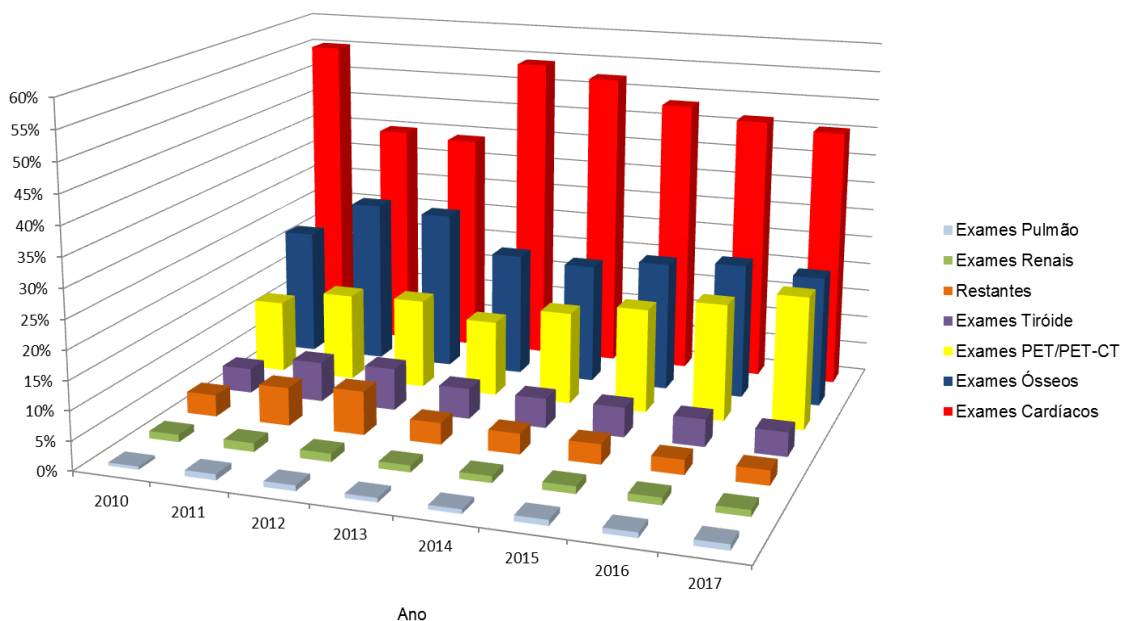


Figura 3.5. Distribuição relativa da dose coletiva anual para os sete grupos de exames de MN entre os anos 2010 e 2017.

Como se observa na Tabela 3.3 e nas Figuras 3.4 e 3.5, os exames cardíacos são os que apresentam maior frequência anual e dose ao longo dos anos considerados, seguidos dos exames ósseos e PET/PET-CT. Os restantes exames (pulmão, tireóide, renais e restantes) apresentam frequências anuais e dose inferior a 10% do valor total. De entre todos os exames considerados, os exames de pulmão são aqueles que apresentam menor frequência anual entre os anos 2010 e 2017, ou seja, são os que são menos realizados.

Foi também efetuado o cálculo da dose coletiva total *per caput* e respetiva incerteza para cada ano em análise. Os resultados encontram-se na Tabela 3.4.

Tabela 3.4. Dose coletiva devido à totalidade dos exames de MN, respetiva dose *per caput* e incertezas para os anos 2011 a 2017.

Ano	Dose Efetiva Coletiva total (manSv)	População portuguesa [33]	Dose <i>per caput</i> (mSv/caput)
2010*	840,3	10 572 721	0,080
2011*	625,64±41,64**	10 542 398	0,059±0,004
2012*	565,07±57,31**	10 487 289	0,054±0,005
2013	921,12±10,68	10 427 301	0,088±0,001
2014	911,51±12,30	10 374 822	0,088±0,001
2015	885,19±11,81	10 341 330	0,086±0,001
2016	912,39±15,58	10 309 573	0,088±0,002
2017	923,45±16,90	10 291 027	0,090±0,002

*Os dados referentes aos anos 2010-2012 foram retirados das referências [20,22].

**Incertezas recalculadas com recurso às equações 3.1 e 3.2

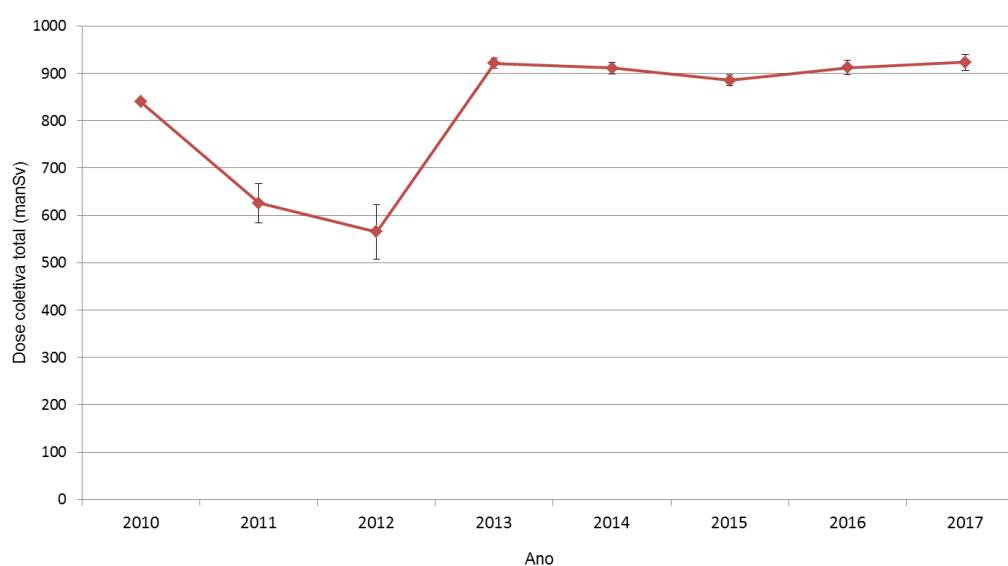


Figura 3.6. Evolução da dose coletiva total dos exames de MN entre os anos 2010 e 2017.

Conforme se observa na Tabela 3.4 e na Figura 3.6, a dose coletiva total e a dose *per caput* sofreram uma diminuição entre 2010 e 2012, aumentando em 2013. Entre os anos 2013 e 2015, verificou-se um decréscimo na dose coletiva e dose *per caput*, verificando-se de seguida um reduzido aumento até 2017.

As incertezas associadas à dose coletiva e à dose *per caput* para os exames de MN foram recalculadas para os anos 2011 e 2012 com recurso às equações 3.1 e 3.2.

3.1.5. Top 10 de exames de Medicina Nuclear

Na Figura 3.7. observa-se o TOP 10 de exames de MN, que corresponde aos dez exames que mais contribuíram para a dose coletiva para os anos 2013 a 2017. Os exames cardíacos correspondem a cerca de 50% da dose coletiva neste período, os exames ósseos a 23%, e os exames PET/PET-CT a 15%.

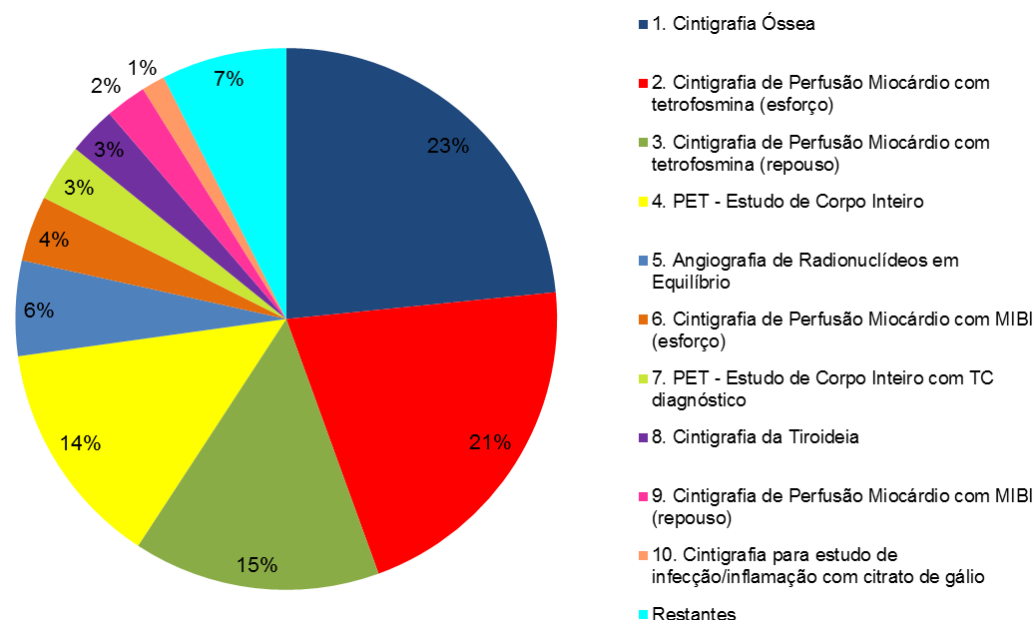


Figura 3.7. TOP 10 de exames de MN para os anos 2013 a 2017.

Este TOP 10 de exames de MN coincide com o TOP 10 determinado para os anos 2010 a 2012 [20,22], sendo que o exame de perfusão de miocárdio com tálio já não consta do TOP 10, tendo sido substituído pelo exame de cintigrafia para estudo de infecção/inflamação com citrato de gálio.

3.2. Estimativa das frequências e doses efetivas coletivas anuais para os exames TOP 20 de Radiodiagnóstico

Através dos dados fornecidos pelas quatro ARS que participaram no estudo e os dados extrapolados para a ARS Alentejo, e para a ADSE, assim como para as angiografias cardíacas a partir dos dados da APIC [29], e utilizando os valores de dose efetiva por exame e respetivas incertezas determinados no DDM2 Portugal [19,20], foi possível determinar a dose coletiva, a dose *per caput* para cada exame TOP 20 e a dose *per caput* média anual total.

Os resultados apresentados contemplam dados dos anos 2013 a 2017, sendo que os dados referentes ao ano 2010 foram retirados do Projeto DDM2 Portugal [19,20].

3.2.1. Cálculo das incertezas dos resultados obtidos para o Radiodiagnóstico

Para a estimativa das incertezas da frequência dos exames realizados, tem-se em consideração que a frequência de exames da ARS Alentejo foi estimada a partir da Equação 2.3, pelo que o valor da incerteza para cada exame da ARS Alentejo é dado por:

$$\text{Incerteza} = \varepsilon \times \frac{\text{n}^\circ \text{ habitantes Alentejo}}{\text{n}^\circ \text{ habitantes LVT}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \times \frac{\text{n}^\circ \text{ habitantes Alentejo}}{\text{n}^\circ \text{ habitantes LVT}} \quad (\text{Equação 3.5})$$

em que ε é o erro padrão, σ é o desvio padrão para o exame considerado e N corresponde ao número de ARSs que forneceram dados relativos às frequências anuais dos exames.

Dado que foi realizada também uma extrapolação para os dados da ADSE (Equação 2.4), considerando que estes correspondem a 10% dos exames totais, uma estimativa da incerteza é dada por 10% da incerteza calculada anteriormente. Uma vez que as angiografias cardíacas são dadas pela Equação 2.5, e que o valor das angioplastias coronárias corresponde a um valor fornecido pela APIC [29] como sendo um valor total, assume-se que a incerteza para as angiografias cardíacas é nula.

Dado que o valor da frequência total é o somatório das frequências de cada entidade, a incerteza total da frequência será a soma de ambas as incertezas determinadas acima.

Para o cálculo da incerteza da dose coletiva há que expandir a incerteza, considerando que a dose coletiva é dada por:

$$\text{Dose coletiva} = \text{Dose/exame} \times \text{Frequência do exame} \quad (\text{Equação 3.6})$$

Então, a incerteza da dose coletiva é dada por:

$$\frac{\Delta \text{Dose coletiva}}{\text{Dose coletiva}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \text{dose/exame}}{\text{dose/exame}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \text{freq/exame}}{\text{freq/exame}}\right)^2} \Leftrightarrow \quad (\text{Equação 3.7})$$

$$\Leftrightarrow \Delta \text{Dose coletiva} = \text{Dose coletiva} \times \sqrt{\left(\frac{\Delta \text{dose/exame}}{\text{dose/exame}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \text{freq/exame}}{\text{freq/exame}}\right)^2}$$

3.2.2 Frequência anual dos exames de Radiodiagnóstico

Na Tabela 3.5 apresentam-se as frequências anuais de cada exame de radiodiagnóstico entre 2013 e 2017 e as respectivas incertezas. Como se verifica, não existem dados para o exame TC toraco-abdomino-pélvica uma vez que atualmente este exame é lançado no sistema de gestão de exames hospitalar como correspondendo a três exames distintos, pelo que os dados referentes a este exame se encontram diluídos nos exames TC tórax, TC abdómen e TC pélvico. O exame urografia intravenosa apresenta valores nulos na maioria dos anos uma vez que tem vindo a ser substituído, na grande maioria das vezes, pelo exame uro-TC.

Tabela 3.5. Frequência anual dos 20 exames de radiodiagnóstico considerados no período de 2013 a 2017 e respetiva incerteza das frequências.

Exame	Ano				
	2013	2014	2015	2016	2017
1- Tórax Frente (PA) e Perfil	3578472±76400	3622657±74515	3674060±74480	3366308±67955	3186911±64286
2- Coluna Cervical (Frente e Perfil)	499008±9220	502901±9491	514195±9744	493920±9281	474527±9222
3- Coluna Dorsal (Frente e Perfil)	190800±3386	191421±3327	190619±3351	178531±3148	170153±3061
4- Coluna Lombar (Frente e Perfil)	436585±7778	449406±8235	457915±8348	437634±7918	427804±7992
5- Mamografia (CC e MLO 4 inc.)	663317±17007	628477±15898	594417±15149	558217±14233	534348±14149
6- Abdómen (Frente)	193390±3796	195091±3537	197793±3479	198426±3588	189740±3150
7- Bacia e Anca (Frente ou Anca Frente + Perfil)	549125±12053	609544±14782	634553±15487	609238±14833	622967±15932
8-Trânsito esófago-gastro-duodenal	16432±485	14346±425	11240±321	9476±264	7785±224
9- Clíster Opaco	7955±188	5612±142	3844±66	2357±48	1513±10
10- Trânsito do intestino delgado	1714±45	1279±27	1062±28	827±24	574±16
11- Urografia intravenosa	1±0*	-	1±0*	-	-
12- Angiografia Cardíaca	34509	35252	36325	38381	37830
13- TC Crânio-encefálica	267304±4194	286378±4515	301265±4717	313272±4917	327812±5346
14- TC Pescoço	42263±775	51440±926	55103±957	60425±983	64975±996
15- TC Tórax	133050±2620	146509±2873	160306±3190	161441±3163	172774±3290
16- TC Coluna	95902±1521	99962±3479	107782±3750	111546±3855	122824±4403
17- TC Abdómen	131225±2365	158695±2849	162655±2915	164650±2872	181777±3141
18- TC Pélvica	102551±1494	76861±1454	78525±1410	81111±1365	92705±1507
19- TC Toraco-abdómino-pélvica	-	-	-	-	-
20- Angioplastia Coronária	13324	13611	14025	14819	14606
Total	6956926±143326	7089443±146475	7195686±147391	6800579±138447	6631626±136725

*Reportada apenas a realização de um exame

Como visto na secção anterior, o TOP 20 de exames de radiodiagnóstico inclui exames de radiologia convencional, fluoroscopia, tomografia computadorizada e intervenção. A distribuição das frequências anuais do TOP 20 de exames, dividido em radiografias, exames de fluoroscopia, exames de tomografia computadorizada e intervenção para os anos 2010 e 2013 a 2017 encontra-se representada na Figura 3.8. Nas Figuras abaixo, em conjunto com os dados, são dadas as incertezas das frequências anuais para 2013 a 2017, contudo, para 2010 são usados os dados existentes, que não apresentam incertezas.

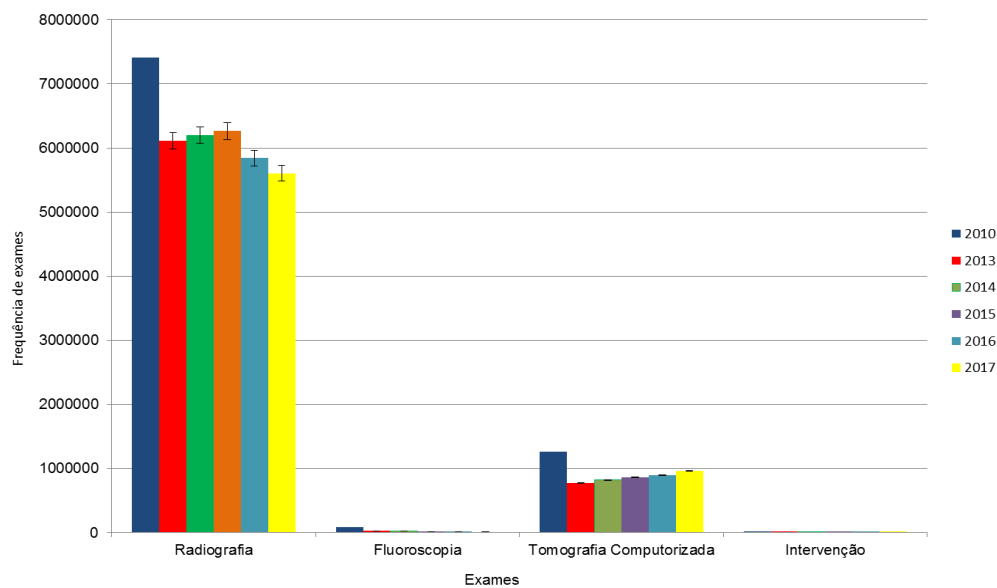


Figura 3.8. Frequências anuais dos diferentes grupos de exames de radiodiagnóstico do TOP 20 realizados nos anos 2010 e 2013 a 2017.

Face à elevada frequência dos exames de radiografia e tomografia computadorizada e menor frequência dos exames de fluoroscopia e intervenção quando comparados com os anteriores, mostra-se agora em maior detalhe a evolução das frequências dos exames que fazem parte de cada grupo.

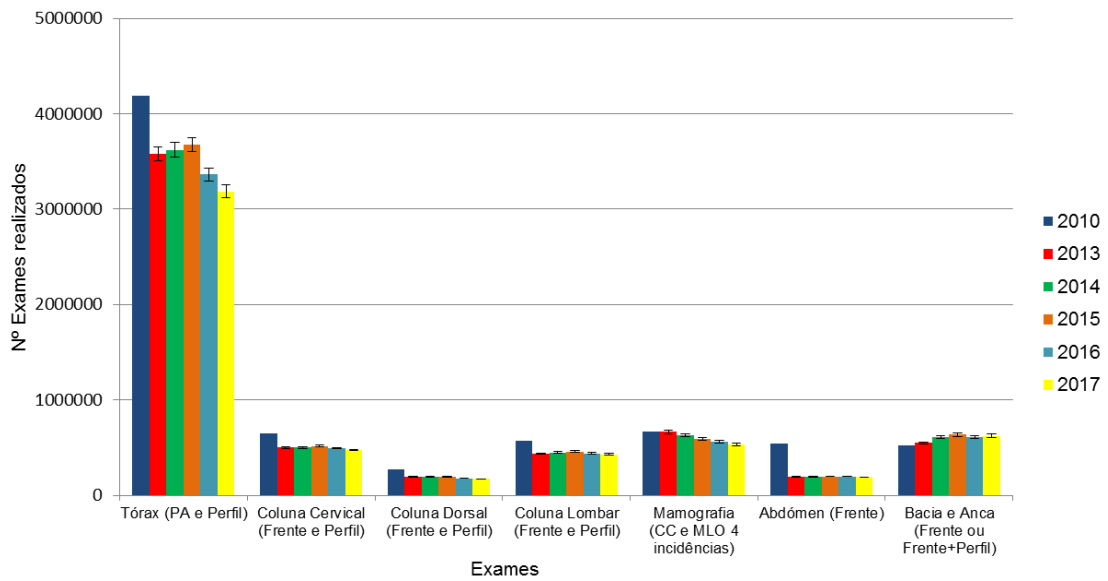


Figura 3.9. Frequências anuais das radiografias realizadas nos anos 2010 e 2013 a 2017.

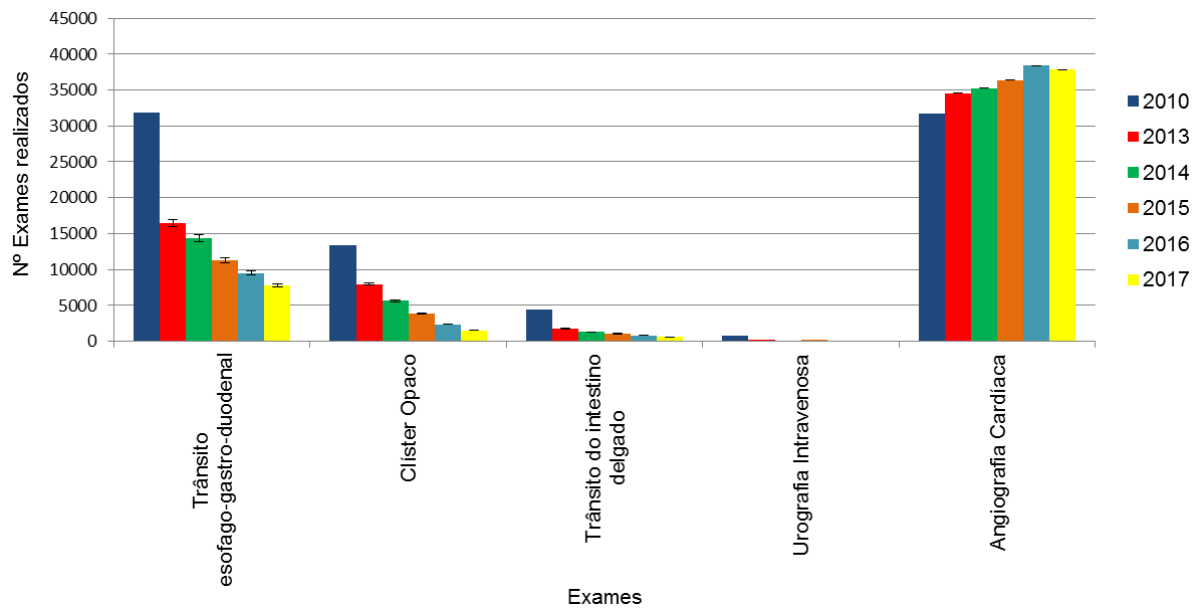


Figura 3.10. Frequência dos exames de fluoroscopia realizados nos anos 2010 e 2013 a 2017.

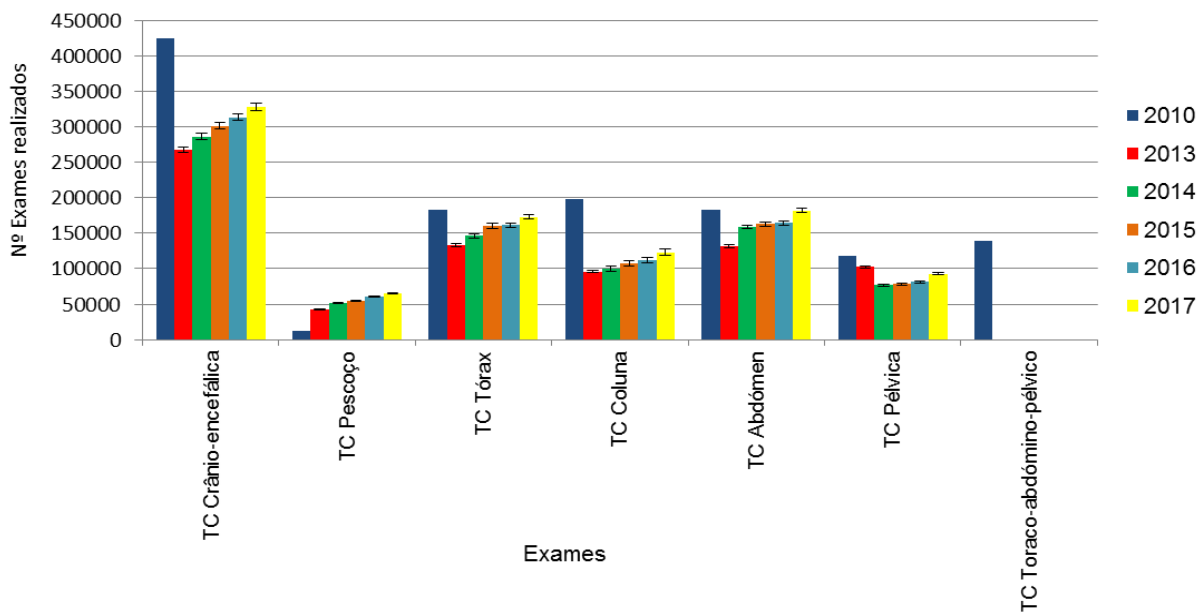


Figura 3.11. Frequência dos exames de TC realizados nos anos 2010 e 2013 a 2017.

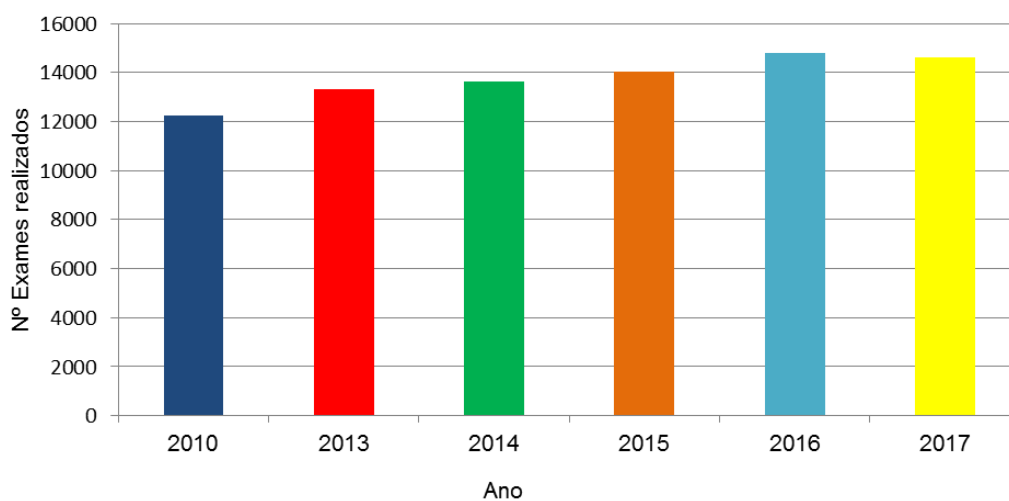


Figura 3.12. Frequência dos exames de intervenção realizados nos anos 2010 e 2013 a 2017.

Como se observa na Figura 3.8, as radiografias e os exames de TC são os exames mais realizados em Portugal nos anos em análise.

Analisando a Tabela 3.5 e a Figura 3.9 é possível verificar que a radiografia do tórax é a radiografia mais realizada ao longo dos anos e que, considerando a incerteza associada, não sofreu alterações significativas na frequência entre 2013 e 2017, sendo que oscilou entre 3186911 ± 64286 exames e 3674060 ± 74480 exames.

Relativamente aos exames de fluoroscopia (Figura 3.10) é possível observar que a angiografia cardíaca é o exame com maior frequência em 2010 e 2013 a 2017, apresentando valores de frequência entre 31740 (em 2010 [19]) e 38381 (em 2016), e que a frequência de todos os exames de fluoroscopia, à exceção das angiografias cardíacas, tem vindo a diminuir desde 2013.

No que respeita à frequência dos exames de TC (Figura 3.11), o exame com maior frequência ao longo dos anos é a TC crânio-encefálica, que apresenta frequência de 267304±4194 em 2013 e 327812±5346 em 2017. Entre 2010 e 2013, todos os exames de TC sofreram uma diminuição na frequência. Contudo, desde 2013 até ao presente, tem-se verificado um aumento gradual no número de exames de TC realizados em Portugal, atingindo um total de 962867 exames em 2017.

De acordo com os dados fornecidos pela APIC [29], e conforme se observa na Tabela 3.5 e na Figura 3.12, os exames de intervenção, nomeadamente as angioplastias coronárias, têm sofrido um reduzido aumento desde 2010, tendo-se registado uma redução no número de exames de intervenção realizados no último ano.

3.2.3. Dose efetiva coletiva, dose *per caput* e evolução temporal

Posteriormente à obtenção dos resultados relativos à frequência dos exames de radiodiagnóstico, foi calculada a dose coletiva anual total e dose coletiva devido a cada exame.

Para analisar a contribuição e comparação de cada grupo de exame de radiodiagnóstico, em termos de frequência e dose, foram efetuados gráficos com a distribuição relativa de frequência e distribuição relativa de dose para os anos 2010 e 2013 a 2017.

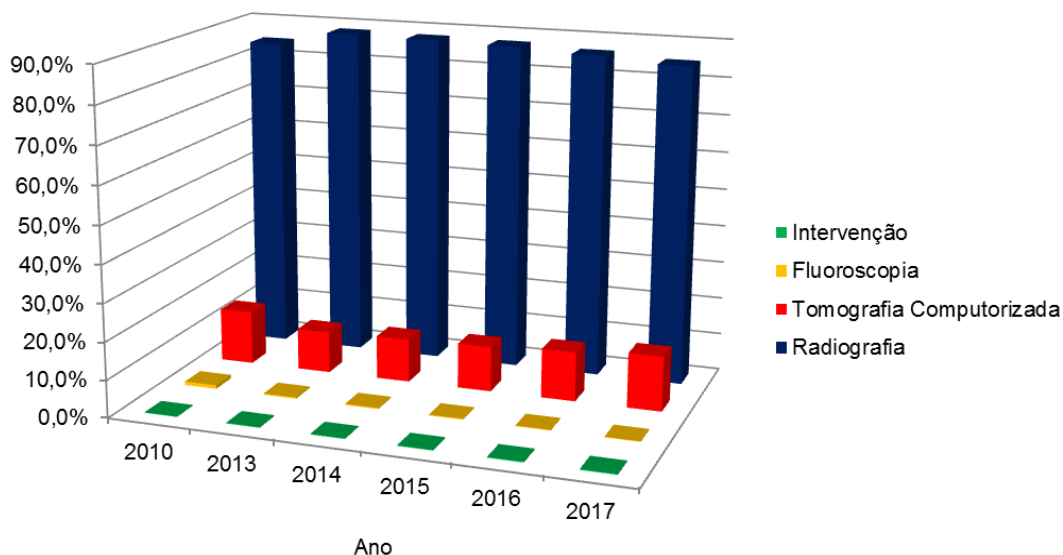


Figura 3.13. Distribuição relativa de frequência para os quatro grupos de exames de radiodiagnóstico considerados para os anos 2010 e 2013 a 2017.

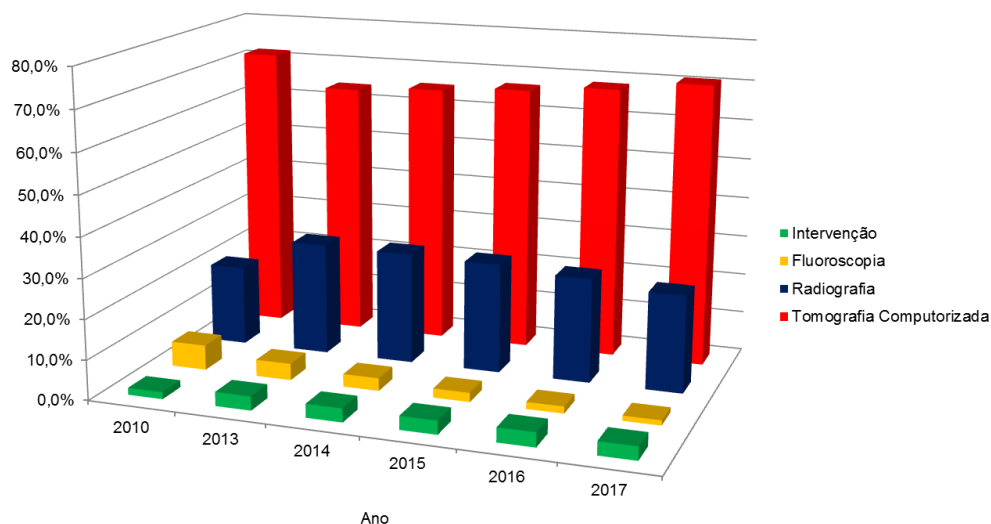


Figura 3.14. Distribuição relativa da dose coletiva para os quatro grupos de exames de radiodiagnóstico considerados para os anos 2010 e 2013 a 2017.

Como se observa nas Figuras 3.13 e 3.14, embora as radiografias (que englobam todas as radiografias descritas na Tabela 2.3) constituam o grupo de exames com maior frequência, os exames que mais contribuem para a dose coletiva em Portugal são as TC (que englobam os exames de TC da Tabela 2.3), representando cerca de 60% a 70% o valor da dose coletiva total devido aos TOP 20.

De seguida, nas Tabelas 3.6 e 3.7 apresentam-se detalhados os valores da dose efetiva coletiva total anual e a dose *per caput* para cada exame do TOP 20, para os anos em estudo, bem como as respetivas incertezas. Na tabela 3.8 apresenta-se a dose efetiva coletiva total anual e a dose *per caput* total anual para os anos 2010 e 2013 a 2017, considerando que o total dos exames TOP 20 realizados corresponde a 70% a 90% da dose efetiva coletiva total.

Como se observa nas Tabelas 3.6 e 3.7, e como já foi referido anteriormente, apenas existem dados para a urografia e para a TC toraco-abdomino-pélvico para 2010, uma vez que o primeiro tem sido substituído pelo exame uro-TC, enquanto que o segundo é lançado no sistema de gestão de exames hospitalar como correspondendo a três exames de TC (tórax, abdómen e pélvico), pelo que os dados estão diluídos nestes três exames. Para o exame Trânsito do intestino delgado, não é calculada a dose coletiva por não se possuir dados da dose para esse exame, tal como referido em [19].

As doses efetivas por exame consideradas correspondem às apresentadas na referência [19], calculadas de acordo com o descrito no ponto 2.3.1 deste trabalho. A população portuguesa considerada para a dose *per caput* corresponde à que se apresenta na Tabela 3.4.

De acordo com a Tabela 3.8, a dose efetiva coletiva total, considerando todos os exames de radiodiagnóstico realizados nos anos em estudo, diminuiu entre 2010 e 2013, tendo vindo a aumentar gradualmente de 2013 até ao presente. O mesmo sucedeu com a dose *per caput* que decresceu de $0,96 \pm 0,68$ mSv/*caput* em 2010 para $0,79 \pm 0,50$ mSv/*caput* em 2013. Desde então a dose *per caput* tem vindo a aumentar correspondendo a $0,91 \pm 0,57$ mSv/*caput* em 2017.

Tabela 3.6. Dose efetiva coletiva, dose *per caput* e respetivas incertezas para o TOP 20 para os anos 2010, 2013 e 2014.

	2010		2013		2014	
	Dose efetiva coletiva (manSv)	Dose <i>per caput</i> (manSv/caput)	Dose efetiva coletiva (manSv)	Dose <i>per caput</i> (manSv/caput)	Dose efetiva coletiva (manSv)	Dose <i>per caput</i> (manSv/caput)
1. Tórax Frente (PA) e Perfil	376,57 ± 188,29	0,0357 ± 0,0179	322,06 ± 179,06	0,0309 ± 0,0172	326,04 ± 181,26	0,0314 ± 0,0175
2. Coluna Cervical Frente e Perfil	45,55 ± 22,78	0,0043 ± 0,0022	34,93 ± 19,97	0,0033 ± 0,0019	35,20 ± 20,13	0,0034 ± 0,0019
3. Coluna Dorsal Frente e Perfil	150,91 ± 84,50	0,0143 ± 0,0081	104,94 ± 59,18	0,0101 ± 0,0057	105,28 ± 59,37	0,0101 ± 0,0057
4. Coluna Lombar Frente e Perfil	583,49 ± 291,75	0,0553 ± 0,0309	445,32 ± 248,98	0,0427 ± 0,0239	458,39 ± 256,30	0,0442 ± 0,0247
5. Mamografia	86,76 ± 43,38	0,0082 ± 0,0041	86,23 ± 46,48	0,0083 ± 0,0045	81,70 ± 44,04	0,0079 ± 0,0042
6. Abdómen Frente	398,56 ± 215,22	0,0378 ± 0,0204	143,11 ± 77,41	0,0137 ± 0,0074	144,37 ± 78,08	0,0139 ± 0,0075
7. Bacia e Anca Frente ou Anca Frente + Perfil	403,83 ± 226,14	0,0383 ± 0,0214	422,83 ± 236,31	0,0405 ± 0,0227	469,35 ± 262,35	0,0452 ± 0,0253
8. Trânsito esófago-gastro-duodenal	250,17 ± 250,17	0,0237 ± 0,0237	128,83 ± 128,83	0,0124 ± 0,0124	112,48 ± 112,48	0,0108 ± 0,0108
9. Clister Opaco	168,99 ± 168,99	0,0160 ± 0,0160	101,03 ± 100,90	0,0097 ± 0,0097	71,27 ± 71,18	0,0069 ± 0,0069
10. Trânsito do intestino delgado	-----	-----	-----	-----	-----	-----
11. Urografia intravenosa	3,18 ± 3,18	0,0003 ± 0,0003	-	-	-	-
12. Angiografia cardíaca	215,83 ± 120,86	0,0204 ± 0,0114	234,66 ± 131,48	0,0225 ± 0,0126	239,71 ± 134,31	0,0231 ± 0,0129
13. TC crânio-encefálica	866,55 ± 866,55	0,0821 ± 0,0821	545,30 ± 545,30	0,0523 ± 0,0523	584,21 ± 584,21	0,0563 ± 0,0563
14. TC pescoço	26,54 ± 26,54	0,0025 ± 0,0025	90,02 ± 90,02	0,0086 ± 0,0086	109,57 ± 109,57	0,0106 ± 0,0106
15. TC tórax	903,64 ± 505,89	0,0856 ± 0,0479	655,94 ± 367,45	0,0629 ± 0,0352	722,29 ± 404,61	0,0696 ± 0,0390
16. TC coluna	1838,03 ± 1028,82	0,1741 ± 0,0975	890,93 ± 498,89	0,0854 ± 0,0478	928,65 ± 520,81	0,0895 ± 0,0502
17. TC abdómen	1264,71 ± 707,07	0,1198 ± 0,0670	910,7 ± 509,42	0,0873 ± 0,0489	1101,34 ± 616,05	0,1062 ± 0,0594
18. TC pélvica	505,98 ± 283,73	0,0479 ± 0,0269	438,92 ± 246,20	0,0421 ± 0,0236	328,96 ± 184,57	0,0317 ± 0,0178
19. TC Toraco-abdomino-pélvico ou TC aorta torácica ou abdominal	1897,48 ± 1897,48	0,1798 ± 0,1798	-	-	-	-
20. Angioplastia coronária	177,67 ± 177,67	0,0168 ± 0,0168	193,20 ± 193,20	0,0185 ± 0,0185	197,36 ± 197,36	0,0190 ± 0,0190

Tabela 3.7. Dose efetiva coletiva, dose *per caput* e respectivas incertezas para o TOP 20 para os anos 2015, 2016 e 2017.

	2015		2016		2017	
	Dose efetiva coletiva (manSv)	Dose <i>per caput</i> (manSv/caput)	Dose efetiva coletiva (manSv)	Dose <i>per caput</i> (manSv/caput)	Dose efetiva coletiva (manSv)	Dose <i>per caput</i> (manSv/caput)
1. Tórax Frente (PA) e Perfil	330,67 ± 183,83	0,0320 ± 0,0178	302,97 ± 168,43	0,0294 ± 0,0163	286,82 ± 159,45	0,0279 ± 0,0155
2. Coluna Cervical Frente e Perfil	35,99 ± 20,58	0,0035 ± 0,0020	34,57 ± 19,77	0,0034 ± 0,0019	33,22 ± 18,99	0,0032 ± 0,0018
3. Coluna Dorsal Frente e Perfil	104,84 ± 59,12	0,0101 ± 0,0057	98,19 ± 55,37	0,0095 ± 0,0054	93,58 ± 52,77	0,0091 ± 0,0051
4. Coluna Lombar Frente e Perfil	467,07 ± 261,15	0,0452 ± 0,0253	446,39 ± 249,58	0,0433 ± 0,0242	436,36 ± 243,98	0,0424 ± 0,0237
5. Mamografia	77,27 ± 41,66	0,0075 ± 0,0040	72,57 ± 39,12	0,0070 ± 0,0038	69,47 ± 37,45	0,0068 ± 0,0036
6. Abdómen Frente	146,37 ± 79,16	0,0142 ± 0,0077	146,84 ± 79,41	0,0142 ± 0,0077	140,41 ± 75,93	0,0136 ± 0,0074
7. Bacia e Anca Frente ou Anca Frente + Perfil	488,61 ± 273,12	0,0472 ± 0,0264	469,11 ± 262,22	0,0455 ± 0,0254	479,68 ± 268,16	0,0466 ± 0,0260
8. Trânsito esófago-gastro-duodenal	88,12 ± 88,12	0,0085 ± 0,0085	74,29 ± 74,29	0,0072 ± 0,0072	61,04 ± 61,04	0,0059 ± 0,0059
9. Clister Opaco	48,83 ± 48,76	0,0047 ± 0,0047	29,93 ± 29,89	0,0029 ± 0,0029	19,21 ± 19,18	0,0019 ± 0,0019
10. Trânsito do intestino delgado	-----	-----	-----	-----	-----	-----
11. Urografia intravenosa	-	-	-	-	-	-
12. Angiografia cardíaca	247,01 ± 138,40	0,0239 ± 0,0134	260,99 ± 146,23	0,0253 ± 0,0142	257,24 ± 144,13	0,0250 ± 0,0140
13. TC crânio-encefálica	614,58 ± 614,66	0,0594 ± 0,0594	639,07 ± 639,15	0,0620 ± 0,0620	668,74 ± 668,83	0,0650 ± 0,0650
14. TC pescoço	117,37 ± 117,37	0,0113 ± 0,0113	128,70 ± 128,70	0,0125 ± 0,0125	138,40 ± 138,40	0,0134 ± 0,0134
15. TC tórax	790,31 ± 442,72	0,0764 ± 0,0428	795,91 ± 445,85	0,0772 ± 0,0432	851,78 ± 477,13	0,0828 ± 0,0464
16. TC coluna	1001,30±561,55	0,0968 ± 0,0543	1036,27±581,15	0,1005 ± 0,0564	1141,04±639,99	0,1109 ± 0,0622
17. TC abdómen	1128,83±631,43	0,1092 ± 0,0611	1142,67±639,15	0,1108 ± 0,0620	1261,53±705,63	0,1226 ± 0,0686
18. TC pélvica	336,09 ± 188,56	0,0325 ± 0,0182	347,16 ± 194,75	0,0337 ± 0,0189	396,78 ± 222,58	0,0386 ± 0,0216
19. TC Toraco-abdomino-pélvico ou TC aorta torácica ou abdominal	-	-	-	-	-	-
20. Angioplastia coronária	203,36 ± 203,36	0,0197 ± 0,0197	214,88 ± 214,88	0,0208 ± 0,0208	211,79 ± 211,79	0,0206 ± 0,0206

Tabela 3.8. Dose efetiva coletiva devido à totalidade dos exames de radiodiagnóstico, respetiva dose *per caput* e incertezas para os anos 2010 e 2013 a 2017.

Ano	Dose Efetiva Coletiva TOP 20 (manSv)	Dose Efetiva Coletiva total (manSv)	Dose <i>per caput</i> (mSv/caput)
2010*	10164,44 ± 7148,06	10164,44 ± 7148,06	0,96 ± 0,68
2013	5748,94 ± 3679,20	8212,77 ± 5256,00	0,79 ± 0,50
2014	6016,18 ± 3836,82	8594,54 ± 5481,17	0,83 ± 0,53
2015	6226,61 ± 3953,58	8895,16 ± 5647,97	0,86 ± 0,54
2016	6240,51 ± 3968,00	8915,01 ± 5668,57	0,87 ± 0,54
2017	6547,07 ± 4145,48	9352,96 ± 5922,11	0,91 ± 0,57

*Dados de 2010 retirados de [19].

3.2.4. Top 10 de exames de Radiodiagnóstico

Na Figura 3.15., observa-se o TOP 10 de exames de radiodiagnóstico, que corresponde aos dez exames que mais contribuíram para a dose coletiva para os anos 2013 a 2017.

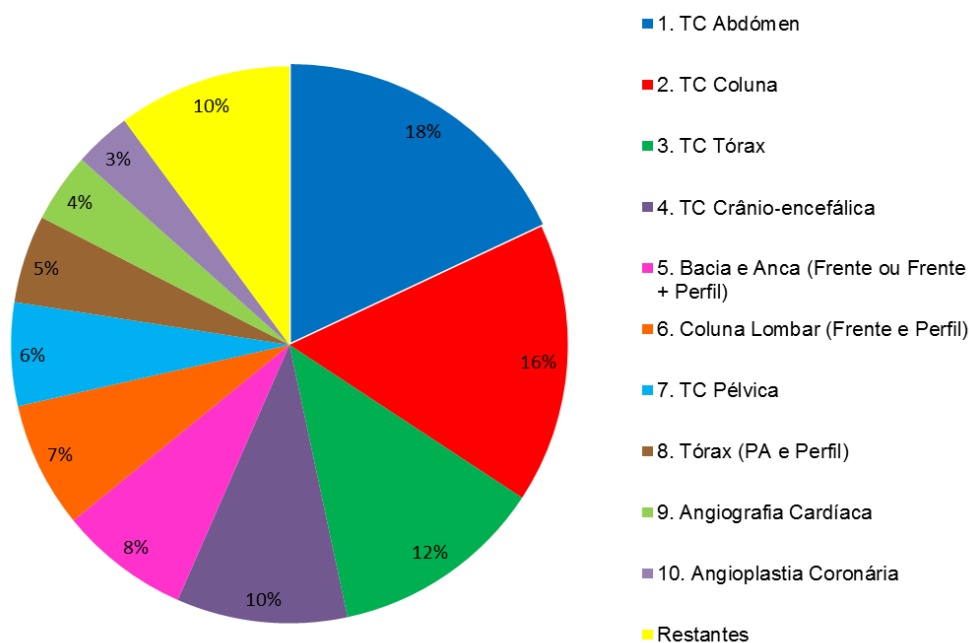


Figura 3.15. TOP 10 de exames de radiodiagnóstico para os anos 2013 a 2017.

Como se verifica, os exames de TC são aqueles que mais contribuem para a dose coletiva em Portugal (62%), sendo que, de entre os sete exames de TC que constam no TOP 20, cinco constam inclusivamente no TOP 10. As radiografias, apesar de terem uma frequência muito superior à dos restantes exames, representam 20% no TOP 10 da dose coletiva. Os exames de fluoroscopia contribuem com 4% e os exames de intervenção com 3% para este TOP 10 da dose coletiva devido a exames de radiodiagnóstico em Portugal.

3.3. Comparação com outros países

Para além da importância de estimar as doses nas populações durante um determinado período de tempo e local, no sentido de inferir acerca dos efeitos na saúde devido à exposição a radiação ionizante dessa população, é também importante proceder a uma comparação com outros países, como por exemplo, os países da União Europeia. Esta comparação, de extrema relevância nacional e internacional, permite inferir e concluir acerca de questões como a justificação das práticas e a utilização segura e otimizada das radiações ionizantes na prestação de cuidados de saúde.

Nesta secção do trabalho procede-se à comparação dos resultados obtidos para a exposição da população portuguesa a radiações ionizantes com dados de trabalhos semelhantes referentes a outros países.

3.3.1 Exames de Medicina Nuclear

Analisando e comparando os resultados obtidos no presente trabalho para os exames de MN com dados de outros estudos efetuados, nomeadamente o DDM2, verifica-se que Portugal desde 2010 até ao presente apresenta uma frequência relativa de cintigrafias ósseas inferior à média dos restantes países da União Europeia. Enquanto que as cintigrafias ósseas correspondem a cerca de 40% da frequência dos exames de MN realizados na UE, em Portugal correspondem a cerca de 25% [22,36]. No que respeita aos exames cardíacos, estes mantêm a elevada prevalência e contribuição para a dose coletiva da população, tal como já verificado no DDM2. Em particular, o exame de cintigrafia de perfusão do miocárdio com tálio, ao contrário do que está documentado [22,36], deixou de ser efetuado em Portugal a partir de 2015.

Para os exames PET e PET-CT, atualmente estes correspondem a cerca de 18% do total da frequência de exames realizados e da dose coletiva, valores que são superiores à média dos países da UE, conforme reportado em [36].

Relativamente à dose efetiva média *per caput* em Portugal, esta demonstrou-se superior aos valores existentes para a média dos países da UE. Assim, a dose efetiva média *per caput* reportada no DDM2 é de 0,054 mSv *per caput* e, no presente trabalho, foram obtidos valores entre 0,086 mSv *per caput* e 0,090 mSv *per caput*, valor aproximado do obtido para a dose efetiva média *per caput* na Grécia para o ano 2014 (0,1 mSv *per caput*) [37]. Na Croácia foi feito um estudo semelhante ao apresentado, que compara os valores de dose efetiva *per caput* em 2010 e 2015 devido à realização de exames de MN. Neste estudo foi obtida uma dose efetiva de 0,0341 mSv *per caput* para o ano 2010 e 0,0342 mSv *per caput* para o ano 2015, um valor que corresponde a cerca de 40% do valor do presente estudo para o mesmo ano [38].

3.3.2 Exames de Radiodiagnóstico

Os dados obtidos para os exames de radiodiagnóstico, à semelhança dos dados da MN, foram analisados e comparados com dados de estudos publicados. Para os exames de radiodiagnóstico em Portugal, à semelhança dos países da UE, os exames de TC são aqueles que mais contribuem para

a dose efetiva coletiva da população [36]. Comparando os dados de [36] com os dados da Figura 3.14, observa-se que em Portugal os exames de TC contribuem com uma maior percentagem para a dose efetiva coletiva da população portuguesa (entre 64% e 72%) que na média dos restantes países da UE (60%). Relativamente aos exames de radiologia de intervenção, estes apresentam uma menor contribuição para a dose efetiva coletiva da população (inferior a 4% em todos os anos considerados) quando comparados com a contribuição para a dose coletiva nos países que participaram no DDM2 [36].

Relativamente à dose efetiva média *per caput* em Portugal para os exames de radiodiagnóstico (Tabela 3.8), esta demonstrou-se inferior aos valores existentes para a média dos países da UE (1,06 mSv *per caput*) [36,39] e semelhante aos valores obtidos para a dose efetiva média da Eslovénia em 2011 (0,6 mSv *per caput*) [40]. Quando comparado o valor da dose efetiva *per caput* de Portugal com Inglaterra, o valor apresentado para o ano 2010 para este país é bastante inferior, 0,44 mSv *per caput* [41]. Comparando com a Grécia, num estudo efetuado em 2014, o valor da dose efetiva média *per caput* em Portugal para os exames de radiodiagnóstico demonstrou-se bastante inferior ao valor obtido para a Grécia (1,7 mSv *per caput*) [37].

4. Conclusões

Face ao crescente acesso aos cuidados de saúde e à rápida evolução das tecnologias da saúde, verifica-se um aumento da exposição da população à radiação ionizante devido às aplicações médicas. Assim, torna-se imperativo realizar estudos de avaliação periódica da exposição da população no âmbito destas aplicações, ao qual o presente estudo pretende dar resposta, ao apresentar uma estimativa da dose efetiva coletiva recebida pela população portuguesa devido à realização de exames médicos de radiodiagnóstico e medicina nuclear.

No que respeita à compilação dos dados necessários para a avaliação da exposição da população portuguesa, devido à realização de exames de medicina nuclear, a taxa de respostas foi de 39,5%, sendo que dos 38 centros de MN existentes em Portugal, 15 responderam com os dados solicitados. Apesar da baixa taxa de resposta, o estudo contempla dados da maioria dos principais centros de MN em Portugal, sendo que seis correspondem à região da grande Lisboa, cinco à região do grande Porto e Norte, três na região Centro e um na Madeira. O facto da taxa de respostas obtidas não corresponder a 100% obrigou a que, como em estudos anteriores [19,20,22], fosse efetuada uma extrapolação linear, permitindo colmatar a taxa de resposta obtida, mas com as incertezas associadas.

Analisando os dados anteriormente publicados das frequências anuais dos exames de MN realizados em Portugal, entre 2010 e 2012, verificou-se um decréscimo na frequência de exames realizados. Este trabalho incidiu sobre dados a partir de 2013, sendo que a partir deste ano se verifica um aumento do número de exames de MN realizados, com especial incidência nos exames PET/PET-CT. Para todos os anos considerados no estudo verificou-se que os exames cardíacos são os que apresentam maior frequência anual, seguidos dos exames ósseos e PET/PET-CT. Verificou-se também que as cintigrafias de perfusão do miocárdio com tálio deixaram de ser realizadas em 2015. A dose *per caput*, tal como sucedeu com as frequências anuais dos exames realizados e na dose efetiva coletiva total, sofreu um decréscimo entre 2010 e 2012 apresentando um valor de $0,054 \pm 0,011$ mSv *per caput* em 2012, tendo vindo a aumentar desde então apresentando, em 2017, o valor de $0,090 \pm 0,002$ mSv *per caput*. Convém salientar, no entanto, que os dados obtidos entre 2010 e 2012 tiveram taxas de resposta diferentes, na ordem dos 80%. No que respeita à contribuição de cada grupo de exames de MN para a dose coletiva total, os exames cardíacos são os que apresentam maior valor em percentagem de dose ao longo dos anos considerados (40% a 55%), seguidos dos exames ósseos (20% a 28%) e PET/PET-CT (15% a 23%). Finalmente, quando se procede à comparação da dose *per caput* com outros países, verifica-se que os valores obtidos são superiores à média reportada em [36] ($0,054$ mSv *per caput*) e em [38] ($0,0341$ mSv *per caput*).

É também importante salientar que os dados e resultados obtidos em princípio contemplam apenas a população adulta, pelo que seria uma mais-valia efetuar, no futuro, um estudo semelhante que incluía pacientes pediátricos.

Este trabalho também permitiu a recolha de dados específicos de exames de doentes no sentido de vir a permitir calcular os NRD relativos aos exames de MN em Portugal, algo que nunca foi realizado anteriormente.

No que respeita à compilação dos dados necessários para a avaliação da exposição da população portuguesa devido à realização de exames de radiodiagnóstico, por constrangimento temporal, apenas foi estudado o TOP 20 de exames de radiodiagnóstico. O estudo do TOP 20 de exames apresenta a vantagem de reunir 50% a 70% do total de exames realizados, o que corresponde a 70% a 90% da dose coletiva efetiva total devido a exames médicos de radiodiagnóstico, e a desvantagem de não considerar a totalidade de exames que realmente são efetuados nos serviços de saúde. Também por constrangimento temporal, foram apenas contactadas as ARS no sentido de fornecer os dados necessários, tendo-se obtido dados de quatro das cinco ARS (ARS Algarve, ARS Centro, ARS Lisboa e Vale do Tejo e ARS Norte). Por essa razão, os dados referentes à ARS Alentejo foram estimados a partir dos dados da ARS LVT, considerando uma relação de proporcionalidade associada à população de cada região. Devido à ausência de resposta por parte da ADSE, estes dados também foram estimados a partir dos dados da totalidade das ARS, considerando que correspondem a 10% do valor total de exames [19]. Os valores para os exames de angioplastia coronária foram obtidos através da APIC [29], sendo que através destes, e utilizando a razão obtida entre os exames de angiografia cardíaca e angioplastia coronária obtida em 2010 [19], foram estimadas as frequências dos exames de angiografias cardíacas para os anos 2013 a 2017. Finalmente, a estimativa das frequências finais foi extrapolada para considerar os exames realizados no regime geral, utilizando mais uma vez a relação obtida em 2010 [19]. Os valores de dose por exame utilizados foram os considerados no trabalho anterior [19,20].

Analisando as frequências anuais dos exames de radiodiagnóstico realizados em Portugal, verifica-se que entre os dados de 2010 [19], obtidos anteriormente, e os dados obtidos a partir de 2013, com este trabalho, se observou uma diminuição da totalidade dos exames realizados. Contudo, face aos constrangimentos temporais e ao facto de não terem sido realizados inquéritos hospitalares como no estudo anterior [19], estes dados não são diretamente comparáveis. Entre 2013 e 2015 verificou-se um aumento dos exames realizados e, entre 2015 e 2017, uma redução no número total de exames de radiodiagnóstico executados em Portugal. De acordo com os dados obtidos, os exames de radiodiagnóstico mais realizados são as radiografias, sendo que de entre todas, a de tórax é a que apresenta a maior frequência. Relativamente à contribuição dos exames de radiodiagnóstico contemplados para a dose coletiva, os exames de TC são os que mais contribuem, constituindo 64% a 70% da dose coletiva total para os anos 2013 a 2017. No que respeita à dose efetiva coletiva total e à dose *per caput*, ambas têm aumentado desde 2013 até ao presente, sendo que em 2013 o valor foi de $0,79 \pm 0,50$ mSv *per caput* e em 2017 o valor da dose *per caput* foi de $0,91 \pm 0,57$ mSv *per caput*. Se compararmos o valor da dose *per caput* com os restantes países da UE, esta encontra-se abaixo da média dos restantes países da EU, em 2010 [36].

O presente estudo, face a estudos anteriormente efetuados, apresenta ainda a vantagem dos resultados contarem com a análise de incertezas para as frequências anuais, o que permite estimar com maior precisão os resultados obtidos, algo que não tinha sido feito em 2010.

4.1 Recomendações para profissionais e instituições de saúde

Face aos resultados obtidos, as limitações apontadas ao longo do trabalho, e a importância da avaliação periódica de exposição das populações a radiações ionizantes como forma de contribuir para a sensibilização da necessidade de otimização da dose de exposição em exames médicos de diagnóstico, podem ser feitas algumas considerações finais e recomendações referentes à avaliação periódica da dose coletiva da população portuguesa devido a atividades médicas. Assim, a principal recomendação, face à obrigação legal e ao interesse para a saúde pública nacional, seria a imposição da realização destes estudos de avaliação periódica da exposição da população a radiações ionizantes por parte das autoridades de saúde. Para tal, poderia ser criado um consórcio que reúna todos os organismos e instituições com especial interesse neste tipo de avaliações periódicas, no qual poderia participar: ACSS, as cinco ARS, ADSE, DGS, e C2TN. Este consórcio seria responsável pela avaliação periódica da dose efetiva coletiva total na população portuguesa devido a atividades médicas, o que englobaria a realização de um projeto de interesse nacional que incluísse a divulgação de resultados obtidos a todas as instituições nacionais, bem como recolha e tratamento dos dados. Para tal, poderia, por exemplo, ser criada uma plataforma onde fossem registados periodicamente, e de forma automatizada, os dados como os que foram solicitados às instituições neste estudo, no sentido de fornecer resultados importantes para as tomadas de decisão no âmbito das políticas de saúde. Seria ainda responsabilidade do consórcio a divulgação dos resultados obtidos, sensibilização e comunicação aos membros do público e profissionais de saúde no sentido de alertar para a importância da utilização segura e otimizada das radiações ionizantes.

5. Referências Bibliográficas

- [1] E. Podgorsak, *Radiation Physics for Medical Physicists*, Canadá: Springer, 2006.
- [2] E. Podgorsak, *Radiation Oncology Physics: a handbook for teachers and students*, Áustria: International Atomic Energy Agency, 2005.
- [3] ICRP, *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 103: Annals of the ICRP*, 2007.
- [4] S. Supervil, *Collective dose: IRSN view on its indications and contradictions*, França: Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire.
- [5] K. Smith, A. Bexon, J. Simmonds, J. Lochard, T. Schneider, C. Bataille e K. Sihra, "Radiation Protection 144," *Guidance on the calculation, presentation and use of collective doses for routine discharges*, Agosto 2009.
- [6] United Nations Environment Programme, "Radiação: Efeitos e Fontes," 2016.
- [7] O. Gil, *Aulas de Efeitos Biológicos das Radiações do Mestrado em Proteção e Segurança Radiológica*, Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2017.
- [8] A. Fernandes e A. Kling, *Aulas de Risco e Segurança nas Aplicações das Radiações Ionizantes do Mestrado em Proteção e Segurança Radiológica*, Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2017.
- [9] G. Vogin e N. Foray, "The law of Bergonié and Tribondeau: a nice formula for a first approximation," vol. 89 (1), 2013, pp. 2-8.
- [10] J. Bergonié e L. Tribondeau, "Interprétation de quelques résultats de la radiothérapie et essai de fixation d'une technique rationnelle," *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, vol. 143, p. 983-984, 1906.
- [11] A. Belchior, *Aulas de Dosimetria e Blindagem das Radiações: Introdução à microdosimetria*, Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2016.
- [12] J. Bushberg, J. Seibert, E. Leiboldt e J. Boone, *The Essential Physics of Medical Imaging*, 2ª ed., Philadelphia, USA: Lippincott Williams & Wilkins, 2002.
- [13] S. Forshier, *Essentials of Radiation Biology and Protection*, Canadá: Delmar, 2002.
- [14] Direção Geral da Saúde, *Guia Técnico nº 1: Vigilância da Saúde dos Trabalhadores Expostos a Radiação Ionizante*, Lisboa, 2016.
- [15] UNSCEAR 2008: *Report to the General Assembly with Scientific Annexes, Sources and Effects of Ionizing Radiation*, Nova Iorque: United Nations, 2011.
- [16] T. Shimura e et al., "Radiation occupational health interventions offered to radiation workers in response to the complex catastrophic disaster at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant," *Journal of Radiation Research*, vol. 56, pp. 413-421, 2015.
- [17] Comissão Europeia, *Protecção contra as radiações 109: Orientações relativas aos níveis de referência de diagnóstico (NRD) para Exposições Médicas; Direcção-Geral Ambiente, Segurança Nuclear e Protecção Civil*, 1999.

- [18] NCRP, Report No. 160 - Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States, USA: NCRP, 2009.
- [19] Consórcio Dose Datamed 2, Relatório sobre os resultados do projecto Dose Datamed 2 Portugal, Lisboa: IST-ITN, 2012.
- [20] P. Teles, M. Carmen de Sousa, G. Paulo, J. Santos, A. Pascoal e et al., "Estimation of the collective dose in the Portuguese population due to medical procedures in 2010," em *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 154, Oxford University Press, 2013, pp. 446-458.
- [21] European Commission, "Radiation Protection N° 154," Directorate-General for Energy and Transport, Luxemburgo, 2008.
- [22] F. Costa, P. Teles, A. Nogueira, A. Barreto, A. Santos e et al., "Estimation of the collective ionizing dose in the Portuguese population for the years 2011 and 2012, due to nuclear medicine exams," em *Rev Esp Med Nucl Imagen Mol.*, vol. 34, Elsevier, 2015, pp. 1-8.
- [23] R. Serro, J. Carreiro, J. Galvão e R. Reis, "Population dose assessment from radiodiagnosis in Portugal," em *Radiat. Prot. Dosim*, vol. 43, 1992, pp. 65-68.
- [24] "Dose Datamed II," [Online]. Available: <http://www.ddmed.eu/>. [Acedido em 2 Abril 2018].
- [25] "NRD Portugal," [Online]. Available: <https://nrdportugal.pt/>. [Acedido em 7 Agosto 2018].
- [26] "Diretiva 97/43/EURATOM de 30 de Junho de 1997," *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, 1997.
- [27] Ministério da Saúde, "Decreto-Lei nº 165/2002," *Diário da República*, pp. 5364-5370, 17 Julho 2002.
- [28] Ministério da Educação e Ciência, "Decreto-Lei nº 29/2012," *Diário da República*, pp. 651-653, 9 Fevereiro 2012.
- [29] "Associação Portuguesa de Intervenção Cardiovascular," [Online]. Available: <https://www.apic.pt/>. [Acedido em 26 Julho 2018].
- [30] ICRP, Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals, Publication 53: Annals of the ICRP, 1988.
- [31] ICRP, Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals, Publication 80: Annals of the ICRP, 1998.
- [32] ICRP, Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals, Publication 106: Annals of the ICRP, 2008.
- [33] INE, Pordata, "PORDATA - Base de dados de Portugal Contemporâneo," [Online]. Available: <https://www.pordata.pt/Portugal/População+residente++estimativas+a+31+de+Dezembro+total+e+por+grupo+etário-7>. [Acedido em 22 setembro 2018].
- [34] Direção Geral da Saúde, "Lista de licenças emitidas no âmbito da proteção radiológica," 2018. [Online]. Available: <https://www.dgs.pt/saude-a-a-z.aspx?v=8e00381f-52ce-45fb-b5a0-35fe84fa926a#saude-de-a-a-z/radiacoes-ionizantes/licenciamento>. [Acedido em 4 Julho 2018].
- [35] Mapa de Portugal - regiões turísticas, [Online]. Available: <https://www.cultuga.com.br/2016/02/entenda-as-divisoes-do-mapa-de-portugal/>. [Acedido em 4 Julho 2018].

- [36] European Commission, "Radiation Protection n° 180," Directorate-General for Energy, Directorate D — Nuclear Safety & Fuel Cycle, Unit D3 — Radiation Protection, Luxemburgo, 2014.
- [37] M. Nikolaou, S. Vogiatzi, M. Kalathaki, G. Simantirakis, C. Koukorava e et. al, "Medical radiation exposure of the greek population," Greek Atomic Energy Commission, 2016.
- [38] I. Kralik, M. Stefanic, H. Brkic, G. Saric, S. Tezak e et al., "Estimated collective effective dose to the population from nuclear medicine diagnostic procedures in Croatia: A comparison of 2010 and 2015," 29 Junho 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180057>. [Acedido em 15 Agosto 2018].
- [39] R. Coultre, J. Bize, M. Champendal, D. Wittwer, N. Ryckx e et al., "Exposure of the swiss population by radiodiagnostics: 2013 review," 7 Junho 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1093/rpd/ncv462>.
- [40] D. Zontar, U. Zdesar, D. Kuhelj, D. Pekarovic e D. Skrk, "Estimated collective effective dose to the population from radiological examinations in Slovenia," vol. 49, Ljubljana, Radiology and Oncology, 2015, pp. 99-106.
- [41] Public Health England, "Ionising radiation exposure of the UK population: 2010 review," Public Health England, Londres, 2016.

Apêndice I

Questionário enviado para os centros de medicina nuclear para preenchimento dos dados necessários para a avaliação da exposição da população portuguesa a radiações ionizantes devido à realização de exames de medicina nuclear.

ANO 2013				
Exame	Radionuclídeo	Forma Química	Nº Exames (adultos)	Atividade média por exame (MBq)
1- Cintigrafia Óssea	^{99m} Tc	Fosfatos e fosfonatos		
2- Cintigrafia de Perfusão Miocárdio	²⁰¹ Tl	Cloreto		
3- Cintigrafia de Perfusão Miocárdio (Repouso)	^{99m} Tc	Tetrofosmina		
4- Cintigrafia de Perfusão Miocárdio (Esforço)	^{99m} Tc	Tetrofosmina		
5- Cintigrafia de Perfusão Miocárdio (Repouso)	^{99m} Tc	MIBI		
6- Cintigrafia de Perfusão Miocárdio (Esforço)	^{99m} Tc	MIBI		
7- Tomografia de Emissão de Positrões - Estudo Cardíaco (metabolismo)	¹⁸ F	FDG		
8- Tomografia de Emissão de Positrões - Estudo Cardíaco (perfusão)	¹⁵ O	H ₂ O		
9- Tomografia de Emissão de Positrões - Estudo de Corpo Inteiro	¹⁸ F	FDG		
10- Tomografia de Emissão de Positrões - Estudo de Corpo Inteiro com TC diagnóstico	¹⁸ F	FDG		
11- Cintigrafia Corporal (Carcinoma diferenciado da tireoideia)	¹³¹ I	Iodeto		
12- Cintigrafia da Tireoideia	^{99m} Tc	Pertecnetato		
13- Estudo de Fixação na Tireoideia	¹²³ I	Iodeto		
14- Angiografia de Radionuclídeos de 1ª Passagem	^{99m} Tc	DTPA		
15- Angiografia de Radionuclídeos em Equilíbrio	^{99m} Tc	Eritrócitos Marcados com Tc-99m		
16- Tomografia Cerebral com Ligandos do Transportador da Dopamina	¹²³ I	β - CIT		
17- Tomografia Cerebral com Ligandos do Transportador da Dopamina	¹²³ I	Ioflupano (Datscan)		
18- Cintigrafia Pulmonar de Perfusão	^{99m} Tc	Macroagregados de Albumina (MAA)		
19- Cintigrafia de Recetores de Somatostatina (Tumores Neuroendócrinos)	¹¹¹ In	Pentatreótido (Octreoscan)		
20- Cintigrafia Renal	^{99m} Tc	DMSA		
21- Renograma	^{99m} Tc	MAG 3		
22- Renograma	^{99m} Tc	DTPA		
23- Cintigrafia das Paratiroideias	^{99m} Tc	MIBI		
24- Cintigrafia de Perfusão Cerebral	^{99m} Tc	Exametazima (HMPAO)		
25- Cintigrafia de Perfusão Cerebral	^{99m} Tc	ECD (Neurolite)		
26- Cintigrafia para estudo de infeção/inflamação	⁶⁷ Ga	Citrato de Gálio		
27- Cintigrafia para estudo de infeção/inflamação	^{99m} Tc	Leucócitos Marcados		
28- Cintigrafia para estudo de infeção/inflamação	^{99m} Tc	Anticorpos monoclonais (Leukoscan)		

Apêndice II

Questionário enviado às ARSs para preenchimento das frequências dos exames para a avaliação da exposição da população portuguesa devido à realização de exames de radiodiagnóstico.

Exame*	Número de exames/ano
1. Tórax	Radiografia
2. Coluna Cervical	
3. Coluna Dorsal	
4. Coluna Lombar	
5. Mamografia	
6. Abdómen	
7. Bacia e Anca	
8. Transito esófago-gastro-duodenal	Radiografia/ Fluoroscopia
9. Clíster Opaco	
10. Trânsito do intestino delgado	Tomografia Computorizada
11. Urografia Intravenosa	
12. Angiografia Cardíaca	
13. TC Crânio-encefálica	
14. TC Pescoço	
15. TC Tórax	
16. TC Coluna	
17. TC Abdómen	
18. TC Pélvica	
19. TC Toraco-abdómino-pélvico	
20. Angioplastia Coronária	Intervenção
*TOP 20 definidos no RP Report 154	

Apêndice III

Lista dos códigos de reembolso utilizados pelas ARSs para os exames TOP 20.

Exame TOP 20	Código ARS
Tórax Frente (PA) e Perfil	030.2/031.0
Coluna Cervical Frente e Perfil	421.9
Coluna Dorsal Frente e Perfil	075.2
Coluna Lombar Frente e Perfil	076.0
Mamografia	446.4
Abdómen Frente	001.9
Bacia e Anca Frente ou Anca Frente + Perfil	065.5
Trânsito esófago-gastro-duodenal	008.6/009.4/010.8
Clíster Opaco	015.9/017.5
Trânsito do intestino delgado	014.0
Urografia intravenosa	455.3
TC crânio-encefálica	295.0
TC pescoço	---
TC tórax	301.8
TC coluna	300.0
TC abdómen	598.3
TC pélvica	601.7
TC Toraco-abdomino-pélvico ou TC aorta torácica ou abdominal	Não existente