



**Escola Superior
de Tecnologia
da Saúde**

Politécnico de Coimbra

Carolina Brites Calafate

ANÁLISE DOS VALORES DE EXPOSIÇÃO DO HOSPITAL INTERNACIONAL DE OMÃ

Dissertação no âmbito do mestrado em Imagem Médica e Radioterapia, orientada pela Professora Doutora Joana Margarida Rodrigues dos Santos e pelo Professor Doutor Graciano do Nascimento Nobre Paulo e apresentada à Escola Superior de Tecnologia da Saúde do Politécnico de Coimbra.

Março de 2026



**Escola Superior
de Tecnologia
da Saúde**

Politécnico de Coimbra

ANÁLISE DOS VALORES DE EXPOSIÇÃO DO HOSPITAL INTERNACIONAL DE OMÃ

Carolina Brites Calafate

Dissertação no âmbito do mestrado em Imagem Médica e Radioterapia, orientada pela Professora Doutora Joana Margarida Rodrigues dos Santos e pelo Professor Doutor Graciano do Nascimento Nobre Paulo e apresentada à Escola Superior de Tecnologia da Saúde do Politécnico de Coimbra para obtenção do grau de Mestre.

Março de 2026

Agradecimentos

Gostaria de expressar a minha sincera gratidão a todos os que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

À instituição de ensino Escola Superior de Tecnologia da Saúde do Politécnico de Coimbra e ao Hospital Internacional de Omã, que permitiram que este estudo fosse possível.

Quero prestar o meu reconhecimento à minha orientadora, Professora Doutora Joana Santos, e ao coorientador, Professor Doutor Graciano do Nascimento Nobre Paulo, pela orientação, apoio e partilha de conhecimento ao longo de todo este percurso.

Agradeço, de forma especial, à minha família, pelo incentivo, compreensão e apoio incondicional, fundamentais para a concretização deste trabalho.

Resumo

Introdução: A imagem médica desempenha um papel fundamental no diagnóstico e tratamento de diversas patologias, sendo essencial garantir a qualidade das imagens e a segurança dos doentes. O uso de radiação ionizante exige uma abordagem baseada nos princípios da proteção radiológica (justificação, otimização e limitação de dose). Os níveis de referência de diagnóstico (NRD) surgem como ferramentas essenciais para a monitorização e para o controlo da dose, permitindo identificar discrepâncias e promover a otimização dos protocolos institucionais.

Objetivo: Avaliar e analisar os valores de exposição radiológica praticados no Hospital Internacional de Omã, nas modalidades de radiologia geral, mamografia e tomografia computadorizada (TC), e comparar os mesmos com os níveis de referência de diagnóstico estabelecidos a nível internacional e local.

Métodos: Realizou-se um estudo observacional, retrospectivo, quantitativo e descritivo, com base em dados de exames realizados entre junho de 2024 e junho de 2025. A amostra incluiu 310 doentes adultos, correspondendo a 660 procedimentos nas três modalidades em estudo. Os parâmetros de aquisição e os indicadores de dose analisados variaram de acordo com a modalidade de imagem. Os dados foram recolhidos a partir do *Picture Archiving and Communication System* (PACS) e da plataforma *Teamplay™* (Siemens Healthineers), sendo posteriormente analisados no *software International Business Machines Statistical Package for the Social Sciences* (IBM SPSS) *Statistics®*, com o cálculo de medidas estatísticas descritivas. Foram analisados os principais descritores de dose por modalidade, nomeadamente o *Kerma-Area Product* (KAP) na radiologia geral, a *Average Glandular Dose* (AGD) na mamografia e, na tomografia computadorizada, o *Computed Tomography Dose Index* (CTDI), o *Dose Length Product* (DLP) e a *Size Specific Dose Estimate* (SSDE), sendo, posteriormente, comparados com os NRD disponíveis.

Resultados: Na radiologia geral, os valores médios de KAP variaram por região anatómica, tórax (0,14 Gy.cm²), coluna cervical (0,15 Gy.cm² em ântero-posterior (AP) e 0,22 Gy.cm² em lateral (LAT)), coluna lombar (3,04 Gy.cm² em AP e 3,83 Gy.cm² em LAT), joelhos em carga (0,17 Gy.cm²), seios perinasais (0,54 Gy.cm²), pés (0,03 Gy.cm² em AP e 0,04 Gy.cm² em oblíquo (OBL)) e mãos (0,03 Gy.cm² em PA e OBL). Na mamografia, a AGD por tipo de aquisição foi de 1,26 mGy para a crânio-caudal direita, 1,24 mGy para a crânio-caudal esquerda, 1,39 mGy para a oblíqua medio-lateral direita e 1,37 mGy para a oblíqua medio-

lateral esquerda, correspondendo a AGD total de $5,26 \pm 1,04$ mGy. Na tomografia computadorizada, nas fases de aquisição, os valores médios de CTDI foram de 36,32 mGy para o crânio, 19,95 mGy para os seios perinasais, 6,05 mGy para o tórax e 6,32 mGy para as vias urinárias. O DLP total apresentou valores médios de 682,02 mGy.cm para o crânio, 308,46 mGy.cm para os seios perinasais, 214,32 mGy.cm para o tórax e 291,45 mGy.cm para as vias urinárias. A SSDE apresentou valores médios de 40,28 mGy para o crânio, 18,99 mGy para os seios perinasais, 8,81 mGy para o tórax e 10,18 mGy para as vias urinárias.

Conclusão: Os valores de exposição radiológica praticados no Hospital Internacional de Omã encontram-se, de forma geral, em conformidade com os NRD, evidenciando uma prática segura e alinhada com os princípios da proteção radiológica. Estes resultados irão potenciar a otimização dos procedimentos reduzindo a exposição dos doentes, e consequentemente os riscos inerentes.

Palavras-chave: Níveis de Referência de Diagnóstico, Proteção Radiológica, Radiologia Geral, Mamografia, Tomografia Computorizada

Abstract

Introduction: Medical imaging plays a fundamental role in the diagnosis and treatment of various diseases, and it is essential to ensure image quality and patient safety. The use of ionizing radiation requires an approach based on the principles of radiation protection (justification, optimization and dose limitation). Diagnostic Reference Levels (DRL) serve as essential tools for monitoring and controlling dose, enabling the identification of discrepancies and promoting the optimization of institutional protocols.

Objective: To evaluate and analyze the radiation exposure values practiced at the International Hospital of Oman in the modalities of general radiology, mammography, and computed tomography (CT), and to compare them with the diagnostic reference levels established at the international and local levels.

Methods: We conducted a retrospective, quantitative, and descriptive observational study based on data from examinations performed between June 2024 and June 2025. The sample included 310 adult patients, corresponding to 660 procedures across the three imaging modalities under study. The acquisition parameters and dose indicators analyzed varied according to the imaging modality. Data were collected from the Picture Archiving and Communication System (PACS) and the Teamplay™ platform (Siemens Healthineers) and subsequently analyzed using the International Business Machines Statistical Package for the Social Sciences (IBM SPSS) Statistics® software, with the calculation of descriptive statistical measures. The main dose descriptors were analyzed by modality, namely the Kerma-Area Product (KAP) in general radiology, the Average Glandular Dose (AGD) in mammography, and, in computed tomography, the Computed Tomography Dose Index (CTDI), the Dose Length Product (DLP) and the Size Specific Dose Estimate (SSDE), which were subsequently compared with the available NRDs.

Results: In general radiology, the mean KAP values varied by anatomical region: chest ($0.14 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$), cervical spine ($0.15 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$ in anteroposterior (AP) views and $0.22 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$ in lateral (LAT) views), lumbar spine ($3.04 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$ in AP views and $3.83 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$ in LAT), weight-bearing knees ($0.17 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$), paranasal sinuses ($0.54 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$), feet ($0.03 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$ in AP and $0.04 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$ in oblique (OBL)), and hands ($0.03 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$ in PA and OBL). In mammography, the Dose per Unit Area (DPA) by acquisition type was 1.26 mGy for the right craniocaudal, 1.24 mGy for the left craniocaudal, 1.39 mGy for the right mediolateral oblique, and 1.37 mGy for the left mediolateral oblique, corresponding to a total AGD of

5.26 ± 1.04 mGy. In computed tomography, during the acquisition phases, the mean CTDI values were 36.32 mGy for the skull, 19.95 mGy for the paranasal sinuses, 6.05 mGy for the chest, and 6.32 mGy for the urinary tract. The total DLP showed mean values of 682.02 mGy·cm for the skull, 308.46 mGy·cm for the paranasal sinuses, 214.32 mGy·cm for the chest, and 291.45 mGy·cm for the urinary tract. The SSDE showed mean values of 40.28 mGy for the skull, 18.99 mGy for the paranasal sinuses, 8.81 mGy for the chest, and 10.18 mGy for the urinary tract.

Conclusion: The radiation exposure levels at the International Hospital of Oman are generally in compliance with the DRL, indicating safe practices that align with the principles of radiation protection. These results will facilitate the optimization of procedures, reduce patient exposure, and consequently minimize the associated risks.

Keywords: Diagnostic Reference Levels, Radiation Protection, General Radiology, Mammography, Computed Tomography

Nomenclaturas

A	Área do feixe de raios-X
AGD	<i>Average Glandular Dose</i>
ALARA	<i>As Low As Reasonably Achievable</i>
A_{ROI}	Área geométrica real da região de interesse
A_w	Área equivalente em água
CTDI	<i>Computed Tomography Dose Index</i>
$CTDI_{vol}$	<i>Volume Computed Tomography Dose Index</i>
$CTDI_w$	<i>Weighted Computed Tomography Dose Index</i>
$\bar{CT}_{ROI}$	Valor médio dos números de TC dentro da região de interesse
DI	<i>Deviation Index</i>
DLP	<i>Dose Length Product</i>
ED	<i>Effective Dose</i>
EI	<i>Exposure Index</i>
EI_{target}	<i>Exposure Index Target</i>
ESAK	<i>Entrance Surface Air Kerma</i>
FOV	<i>Field of View</i>
f_{size}	Fator de conversão baseado no tamanho do doente
H_T	Dose equivalente dos tecidos
ICRP	<i>International Commission on Radiological Protection</i>
KAP	<i>Kerma-Area Product</i>
K_{ar}	Dose à entrada da pele num ponto de referência
NRD	Nível de Referência de Diagnóstico
PACS	<i>Picture Archiving and Communication System</i>
ROI	<i>Region Of Interest</i>

SSDE	<i>Size Specific Dose Estimate</i>
TC	Tomografia Computorizada
UH	Unidades de <i>Hounsfield</i>
WED	<i>Water Equivalent Diameter</i>
w_T	Fator de ponderação da dose absorvida nos diferentes órgãos

Índice de Figuras

Figura 1 - Esquema sistemático dos princípios de proteção radiológica.....	5
Figura 2 – Esquema sistemático dos descritores de dose em radiologia geral	9
Figura 3 - Representação da obtenção do valor de $CTDI_{100}$ através da medição no fantoma	12
Figura 4 - Representação dos fantasmas de cabeça e corpo, de 16 cm e de 32 cm, respetivamente	13
Figura 5 – Esquema elucidativo da diferença entre CTDI e DLP	13
Figura 6 - Representação esquemática das medições do tamanho do doente para o <i>fsize</i>	14
Figura 7 - Fatores de conversão com base no fantoma de 16 cm de diâmetro em função da soma das dimensões lateral e AP, apenas da dimensão lateral, apenas da dimensão AP e em função do diâmetro efetivo (Tabela 2A, 2B, 2C e 2D, respetivamente) (AAPM, 2011)	15
Figura 8 - Fatores de conversão com base no fantoma de 32 cm de diâmetro em função da soma das dimensões lateral e AP, apenas da dimensão lateral, apenas da dimensão AP e em função do diâmetro efetivo (Tabela 1A, 1B, 1C e 1D, respetivamente) (AAPM, 2011)	16

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Características da amostra por modalidade de imagem	23
Tabela 2 - Distribuição das aquisições e do número de doentes por região anatómica da radiologia geral em estudo.....	24
Tabela 3 – Valores de tensão da ampola, produto corrente-tempo, tempo de exposição, KAP, ED, EI e DI em radiologia geral, por região anatómica em estudo	25
Tabela 4 – Valores de tensão da ampola, corrente elétrica, produto corrente-tempo, tempo de exposição, espessura mamária comprimida, força de compressão, AGD, ED e PSD em mamografia, por aquisição em estudo	27
Tabela 5 - Distribuição do número de fases, de doentes e de aquisições por região anatómica da TC em estudo	30
Tabela 6 – Valores de tensão da ampola, corrente elétrica, range de aquisição, WED, CTDI, DLP e SSDE em TC, por região anatómica e fase de aquisição em estudo	30
Tabela 7 – Valores de DLP total e de ED em TC, por região anatómica em estudo	32
Tabela 8 - Comparação dos valores obtidos da tensão da ampola, do produto corrente-tempo e do tempo de exposição com a literatura da radiologia geral.....	35
Tabela 9 - Comparação dos valores obtidos do KAP com a literatura da radiologia geral.	36
Tabela 10 - Comparação dos valores obtidos da tensão da ampola, do produto corrente-tempo, da força de compressão e PSD com a literatura da mamografia	38
Tabela 11 - Comparação dos valores obtidos de AGD com a literatura da mamografia	39
Tabela 12 - Comparação dos valores obtidos de AGD total com a literatura da mamografia	40
Tabela 13 - Comparação dos valores obtidos do CTDI e do DLP das fases de aquisição com a literatura da TC	41
Tabela 14 - Comparação dos valores obtidos da ED das fases de aquisição com a literatura da TC	42
Tabela 15 - Informação do risco de dose associado à exposição à radiação através do valor de ED	44

Índice

Introdução	1
Enquadramento Teórico	3
A Imagem Médica e a Utilização da Radiação Ionizante.....	3
Níveis de Referência de Diagnóstico.....	5
Descritores de Dose em Imagem Médica	7
Descritores de Dose em Radiologia Geral.....	8
Descritores de Dose em Mamografia	10
Descritores de Dose em Tomografia Computorizada.....	11
Dose Efetiva	17
Relevância da Cultura de Segurança e da Definição dos Níveis de Exposição	17
Metodologia.....	21
Resultados.....	23
Caracterização da Amostra	23
Radiologia Geral.....	23
Mamografia	27
Tomografia Computorizada.....	29
Discussão	33
Radiologia Geral.....	33
Mamografia	37
Tomografia Computorizada.....	40
Informação de Risco.....	43
Limitações do Estudo	45
Conclusão	47
Referências Bibliográficas.....	49

Introdução

A imagem médica tem um papel bastante importante na medicina, uma vez que é uma ferramenta relevante para o diagnóstico, acompanhamento e tratamento de inúmeras patologias. Nesse sentido, a qualidade e a precisão das imagens têm vindo a melhorar significativamente com a crescente evolução da tecnologia, particularmente nos equipamentos radiológicos. Contudo, o uso de radiação ionizante deve ter em conta uma decisão ética e científica bem fundamentada, garantindo que o benefício obtido supera o risco associado à exposição (ICRP, 2021).

Apesar da sua relevância clínica, a radiação ionizante implica riscos que não podem ser negligenciados. Por essa razão, a prática radiológica é orientada pelos princípios fundamentais da proteção radiológica, que defendem a justificação, a otimização e a limitação da dose. Com isto, os exames radiológicos apenas devem ser realizados quando justificados clinicamente, mantendo as doses tão baixas quanto razoavelmente exequível. Neste contexto, surgem os níveis de referência de diagnóstico (NRD) que permitem identificar discrepâncias e promover a otimização de protocolos institucionais (EURATOM, 2013; Assembleia da República, 2018).

Este estudo foi realizado no Hospital Internacional de Omã, uma instituição tecnologicamente avançada e onde a existência de profissionais de diversas nacionalidades e formações, que reflete diferentes abordagens à prática radiológica e possibilita uma análise de variabilidade nos parâmetros de exposição. Por outro lado, a oportunidade de colaboração com a Escola Superior de Tecnologia da Saúde do Instituto Politécnico de Coimbra permitiu o acesso aos dados clínicos necessários, o que facilitou o desenvolvimento deste trabalho num contexto internacional.

Este trabalho visa responder à seguinte pergunta de investigação: Em que medida os valores de exposição radiológica praticados no Hospital Internacional de Omã se encontram de acordo com os níveis de referência de diagnóstico internacionais e locais? Deste modo, o objetivo principal deste trabalho é avaliar e analisar os valores de exposição radiológica praticados no Hospital Internacional de Omã e comparar os mesmos com os níveis de referência de diagnóstico estabelecidos a nível internacional e local. Especificamente, pretende-se calcular e descrever estatisticamente os valores obtidos referentes às modalidades de radiologia geral, mamografia e tomografia computadorizada. E paralelamente,

comparar os resultados obtidos com os NRD disponíveis, potenciando a criação de estratégias de otimização que contribuam para a melhoria dos protocolos e valores de dose.

Posto isto, esta dissertação está organizada de forma a abordar de maneira sistemática os diferentes aspetos relacionados com a avaliação dos níveis de exposição radiológica e a aplicação dos níveis de referência de diagnóstico em imagem médica. O enquadramento teórico é dedicado a uma revisão da literatura e dos conceitos fundamentais relacionados com os níveis de referência de diagnóstico, bem como a explicação dos descritores de dose nas diferentes modalidades e a relevância da cultura de segurança e da definição dos níveis de exposição. Em seguida, a metodologia descreve o tipo de estudo, a amostra, os métodos de recolha e a análise dos dados. Os resultados apresentam os dados obtidos nas diferentes modalidades de imagem em estudo. A discussão expõe uma reflexão crítica e uma interpretação dos resultados obtidos, comparando-os com a literatura nacional e internacional. Por fim, são apresentadas as limitações do estudo, as sugestões de trabalhos futuros e as principais conclusões.

Enquadramento Teórico

A Imagem Médica e a Utilização da Radiação Ionizante

A imagem médica assume atualmente um papel central na prática clínica, sendo fundamental tanto para o diagnóstico precoce como para o acompanhamento de diversas condições de saúde. O desenvolvimento tecnológico registado nas últimas décadas permitiu uma melhoria significativa da qualidade das imagens obtidas e da capacidade diagnóstica dos exames, contribuindo para uma medicina cada vez mais precisa e baseada na evidência científica. A integração de diferentes modalidades imagiológicas na prática clínica diária permitiu uma melhoria na deteção precoce de doenças, uma otimização de estratégias terapêuticas e um acompanhamento da evolução clínica dos doentes de forma mais eficaz (ICRP, 2021).

Paralelamente à evolução tecnológica, verificou-se também um aumento significativo do número de exames realizados com o recurso à radiação ionizante. Este crescimento reflete a crescente dependência dos sistemas de saúde em relação às tecnologias de imagem médica, que passaram a desempenhar um papel fundamental na tomada de decisão clínica (IAEA, 2018).

Apesar dos benefícios clínicos amplamente reconhecidos, a utilização da radiação ionizante levanta preocupações relacionadas com a exposição radiológica da população. Atualmente, a exposição médica constitui uma das principais fontes artificiais de radiação ionizante, o que tem impulsionado o desenvolvimento de estudos científicos e institucionais na avaliação e na otimização das doses utilizadas (Suliman, 2020).

Neste contexto, a exposição radiológica passou a ser considerada um indicador de bastante importância de qualidade e de segurança em imagem médica. A monitorização dos níveis de dose utilizados em diferentes exames tornou-se uma prática cada vez mais integrada em programas de garantia da qualidade, de auditorias clínicas e de estratégias de gestão de risco nos serviços de radiologia (Dudhe et al., 2024).

O aumento da realização dos exames radiológicos tem sido igualmente acompanhado por uma maior preocupação com os potenciais efeitos biológicos da radiação. Embora os níveis de dose utilizados em diagnóstico sejam geralmente baixos, a exposição acumulada ao longo do tempo pode contribuir para um aumento do risco de efeitos estocásticos, particularmente quando os exames são realizados de forma repetida ou desnecessária (ICRP, 2021).

Assim, a utilização da radiação exige uma abordagem equilibrada que permita maximizar os benefícios clínicos dos exames imagiológicos, garantindo simultaneamente a minimização dos riscos associados à exposição radiológica. Este equilíbrio constitui um dos princípios fundamentais da prática da imagiologia moderna e requer uma colaboração multidisciplinar entre os médicos radiologistas, os técnicos de radiologia e os físicos médicos na definição de protocolos técnicos e de estratégias de otimização da dose (Dudhe et al., 2024; Suliman, 2020).

A utilização da radiação ionizante em contexto médico encontra-se enquadrada por princípios fundamentais de proteção radiológica que visam garantir a segurança dos doentes, dos profissionais de saúde e do público em geral. Estes princípios foram estabelecidos pela *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) e constituem a base das políticas internacionais de proteção contra radiações ionizantes (ICRP, 2021).

De acordo com a ICRP, a proteção radiológica baseia-se em três princípios fundamentais: da justificação, da otimização e da limitação de dose. O princípio da justificação estabelece que qualquer prática que envolva exposição à radiação ionizante apenas deve ser realizada quando o benefício esperado supera os potenciais riscos associados à exposição à radiação. Este princípio constitui a base da decisão clínica relativamente à realização de exames imagiológicos (ICRP, 2021).

No contexto europeu, estes princípios encontram-se formalmente estabelecidos na Diretiva 2013/59/Euratom, que define normas básicas de segurança para proteção contra os perigos resultantes da exposição à radiação ionizante. Esta diretiva foi posteriormente transposta para a legislação nacional portuguesa através do Decreto-Lei n.º 108/2018, que estabelece o regime jurídico da proteção contra radiações ionizantes em Portugal (EURATOM, 2013; Assembleia da República, 2018).

De acordo com esta legislação, o princípio da justificação implica uma avaliação rigorosa da relação risco-benefício antes da realização de qualquer exame que envolva radiação ionizante. Esta avaliação pode ocorrer em diferentes níveis, incluindo a justificação da própria prática médica, a adequação do procedimento imagiológico a realizar e a justificação individual da exposição do doente (IAEA, 2018).

Por sua vez, o princípio da otimização estabelece que as exposições devem ser mantidas tão baixas quanto razoavelmente exequível, desde que seja possível obter a informação clínica necessária para o diagnóstico ou para o tratamento do doente. Este princípio é designado

pelo acrónimo ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) e constitui um elemento central na gestão da dose em imagem médica (ICRP, 2017, 2021).

Importa salientar que, ao contrário do que acontece nas exposições ocupacionais e nos membros do público, o princípio da limitação de dose não se aplica diretamente às exposições médicas para fins de diagnóstico. Nestes casos, a decisão de realizar um exame baseia-se fundamentalmente na justificação clínica do procedimento, sendo a avaliação do benefício clínico o principal fator determinante (ICRP, 2021; Suliman, 2020)



Figura 1 - Esquema sistemático dos princípios de proteção radiológica.

A implementação destes princípios na prática clínica exige não apenas conhecimento técnico, mas também uma cultura institucional orientada para a segurança radiológica. Esta cultura envolve a formação contínua dos profissionais, a monitorização sistemática dos níveis de dose e a implementação de estratégias de melhoria contínua da qualidade dos serviços de imagiologia (ICRP, 2021).

Níveis de Referência de Diagnóstico

No contexto da crescente utilização da radiação ionizante em imagem médica, tornou-se necessário desenvolver instrumentos que permitissem monitorizar e controlar os níveis de exposição associados aos exames imagiológicos. Entre esses instrumentos, os NRD assumem um papel particularmente relevante na promoção da otimização da dose em imagem médica (ICRP, 2017).

De acordo com o Decreto-Lei n.º 108/2018, os NRD são definidos como os níveis de dose nas práticas médicas de radiodiagnóstico ou de radiologia de intervenção, ou, no caso de radiofármacos, os níveis de atividade para exames típicos em grupos de doentes de tamanho

padrão, ou em fantasmas padrão. (“Decreto-Lei nº108/2018”, 2018) Ou seja, os NRD são valores orientadores da dose de exame utilizados em radiologia, que servem como um parâmetro importante para otimizar a prática clínica em grupos de doentes com determinadas características físicas. Estes valores permitem avaliar se os níveis de exposição utilizados numa determinada instituição se encontram dentro de intervalos considerados adequados para a prática clínica (Assembleia da República, 2018).

Importa salientar que os NRD não correspondem a limites máximos de dose que não possam ser ultrapassados, mas sim valores de referência que ajudam a identificar situações nas quais os níveis de exposição utilizados são sistematicamente superiores aos observados em práticas consideradas adequadas. Quando tal situação ocorre, recomenda-se a revisão dos protocolos técnicos utilizados e a análise das possíveis causas associadas a esses valores elevados (Dalah, Zarooni, et al., 2025).

Historicamente, os NRD foram introduzidos na década de 1980 em estudos relacionados com radiologia geral, tendo posteriormente sido incorporados em recomendações internacionais de proteção radiológica. A sua utilização tornou-se mais difundida a partir da década de 1990, quando passaram a ser reconhecidos como uma ferramenta eficaz para promover a otimização da dose em radiologia (ICRP, 2017).

De acordo com a publicação 135 da ICRP, os NRD são geralmente estabelecidos com base no percentil 75 das distribuições dos indicadores de dose obtidos para um determinado exame, em grupos homogêneos de doentes de tamanho padrão. Este valor estatístico representa um nível de referência acima do qual se recomenda uma análise crítica da prática clínica, com o objetivo de identificar possíveis oportunidades de otimização (ICRP, 2017).

A definição de NRD pode ocorrer em diferentes níveis. Inicialmente, cada instituição pode estabelecer NRD locais, calculados a partir da análise dos dados de dose dos exames realizados no próprio serviço. Posteriormente, através da agregação dos dados provenientes de diferentes instituições, podem ser definidos NRD nacionais. A nível europeu, os NRD podem ainda ser estabelecidos com base na análise das distribuições nacionais disponíveis.

O estabelecimento de NRD constitui um processo dinâmico, devendo ser periodicamente revisto de forma a acompanhar a evolução tecnológica dos equipamentos e as mudanças nas práticas clínicas. As recomendações internacionais sugerem que os NRD locais sejam revistos aproximadamente a cada três anos, enquanto os NRD nacionais devem ser atualizados num intervalo de cerca de cinco anos.

Quando os valores de dose observados numa determinada instituição ultrapassam sistematicamente os NRD estabelecidos, recomenda-se a realização de uma auditoria detalhada que permita identificar as possíveis causas dessa discrepância. Este processo de avaliação inclui geralmente a análise do desempenho dos equipamentos, a revisão dos protocolos técnicos utilizados e a avaliação das práticas clínicas dos profissionais envolvidos na realização dos exames (European Commission, 2021).

Apesar da sua utilidade, os NRD apresentam certas limitações, uma vez que estes valores se referem à radiação emitida pelo equipamento e aos indicadores de dose associados, e não correspondem diretamente à dose absorvida pelo doente. Por esse motivo, e conforme está definido na publicação 135 do ICRP, o doente “padrão” apresenta idade igual ou superior a 18 anos e o seu peso médio deve estar compreendido entre os 60 kg e os 80 kg, embora estes critérios possam variar consoante a população em estudo (ICRP, 2017).

Deste modo, e em última análise, é necessário existir uma revisão periódica dos NRD para acompanhar a evolução tecnológica e clínica, exigindo uma atualização contínua que assegure os padrões de uma boa prática. (ICRP, 2017; Dalah, Alkaabi, et al., 2025; European Commission, 2021)

Descritores de Dose em Imagem Médica

A avaliação da exposição à radiação ionizante baseia-se na utilização de diferentes indicadores dosimétricos que permitem caracterizar a quantidade de radiação produzida pelos equipamentos e estimar a exposição associada aos exames realizados. Estes indicadores, frequentemente designados por descritores de dose, constituem ferramentas fundamentais para a monitorização da prática clínica, para a implementação de estratégias de otimização e para a definição de NRD (IAEA, 2023; ICRP, 2017).

De forma geral, os descritores de dose podem ser agrupados em três categorias principais: dose no doente, dose no órgão e dose do exame. A dose no doente está relacionada com o impacto biológico global da exposição à radiação e pode ser estimada através de grandezas como a dose efetiva. Por sua vez, a dose no órgão corresponde à dose absorvida na superfície ou num órgão específico, sendo frequentemente estimada através de modelos computacionais ou medições em fantasmas antropomórficos. Já a dose do exame refere-se aos valores de exposição à radiação ionizante registados pelos equipamentos e apresentados nos relatórios de dose dos exames realizados (ICRP, 2021).

Importa salientar que a dose do exame não corresponde necessariamente à dose efetivamente absorvida pelo doente. A dose recebida pelo organismo depende de diversos fatores individuais, como o biótipo, a radiosensibilidade dos tecidos irradiados e a extensão da área exposta. Para além disso, existem também fenómenos físicos, como a radiação dispersa e a geometria do feixe, que podem influenciar significativamente a distribuição da dose no organismo do doente (IAEA, 2023; ICRP, 2021).

Por outro lado, a dose do exame representa uma grandeza mensurável fornecida pelos equipamentos e associada à produção do feixe de radiação e às condições técnicas utilizadas durante o exame. Estes parâmetros permitem avaliar e comparar os protocolos de aquisição utilizados, controlar a exposição radiológica e estabelecer valores de referência que orientam a prática clínica (European Commission, 2014).

Descritores de Dose em Radiologia Geral

Na radiologia geral, a quantidade de radiação utilizada durante um exame depende de vários fatores técnicos como a tensão da ampola, a corrente elétrica, o tempo de exposição, a distância foco-detetor, a colimação do feixe, a escolha do foco, a utilização de grelhas antidifusoras e de câmaras de ionização. A combinação destes fatores determina simultaneamente a qualidade da imagem obtida e a dose de radiação do exame realizado (ICRP, 2017).

Para o controlo da exposição à radiação em radiologia geral são utilizados principalmente dois descritores de dose: *entrace surface air kerma* (ESAK - mGy) e *air kerma-area product* (KAP - Gy.cm²).

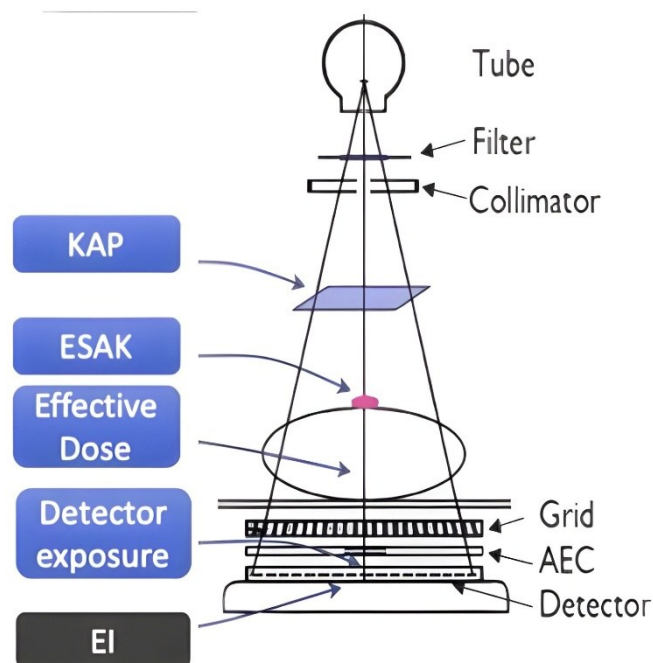


Figura 2 – Esquema sistemático dos descritores de dose em radiologia geral

A ESAK é expressa em *miligray* (mGy) e corresponde à dose recebida na superfície da pele do doente, incluindo o efeito de *backscatter*. Permite estimar a dose média recebida na pele e avaliar a exposição radiológica do doente, sendo um parâmetro diretamente relacionado à dose real absorvida pela pele do doente durante o exame (IAEA, 2023).

Outro descritor amplamente utilizado é o KAP. Este parâmetro é expresso em *gray* por centímetro quadrado ($\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$) e corresponde ao produto da dose num ponto de referência (K_{ar}) pela área do feixe de raios-X (A) num plano perpendicular ao eixo do feixe, permitindo quantificar a energia total libertada pelo feixe de radiação (IAEA, 2023).

A medição do KAP é geralmente realizada através de câmaras de ionização instaladas na saída do colimador, permitindo o registo automático deste parâmetro durante a realização do exame. Devido à sua estabilidade e facilidade de medição, o KAP tornou-se um dos indicadores mais utilizados na monitorização da dose em radiologia geral e em procedimentos de intervenção (IAEA, 2023).

Para além dos descritores dosimétricos, a qualidade da imagem obtida em sistemas digitais pode ser avaliada através do *Exposure Index* (EI). Este indicador reflete a quantidade de radiação que atinge o detetor nos sistemas digitais, permitindo avaliar se a técnica utilizada foi adequada, uma vez que este parâmetro está vinculado com a qualidade da imagem. Valores excessivamente elevados podem indicar situações de sobre-exposição, enquanto valores baixos podem comprometer a qualidade diagnóstica da imagem.

Em alguns sistemas é igualmente utilizado o *Exposure Index Target* (EI_{target}), que corresponde ao valor de EI considerado ideal para um determinado exame, protocolo ou indicação clínica, definido pelo fabricante ou pela instituição. A diferença entre o valor obtido e o valor ideal pode ser expressa através do *Deviation Index* (DI), sendo um indicador útil para monitorizar se a dose de radiação aplicada está adequada à qualidade de imagem e identificar situações de sobre ou subexposição (ICRP, 2017).

O *Peak Skin Dose* (PSD), outro indicador de dose bastante utilizado, é expresso em *miligray* (mGy) e corresponde ao valor máximo de dose absorvida num ponto específico da superfície da pele do doente, sendo relevante na avaliação do risco de efeitos determinísticos, uma vez que a pele é um dos órgãos mais radiosensíveis. Geralmente é estimado por *softwares*, por mapas de dose ou por dosímetros (IAEA, 2023).

Descritores de Dose em Mamografia

A mamografia constitui uma técnica de imagem amplamente utilizada no diagnóstico e rastreio do cancro da mama. Devido à elevada radiosensibilidade do tecido glandular mamário, a avaliação da dose nesta modalidade assume particular importância no contexto da proteção radiológica (ICRP, 2017).

O principal descritor de dose utilizado em mamografia é a *Average Glandular Dose* (AGD). Este parâmetro é expresso em *miligray* (mGy) e representa a dose média absorvida pelo tecido glandular mamário ao longo das várias aquisições, geralmente são realizadas quatro aquisições, duas por cada mama.

O cálculo da AGD baseia-se geralmente em medições do *air kerma* à entrada da mama, combinadas com fatores de conversão que consideram a espessura da mama comprimida, a composição do tecido mamário e a qualidade do feixe de radiação utilizado. Estes fatores foram amplamente estudados e encontram-se descritos na literatura científica e em recomendações internacionais (IAEA, 2023).

Durante a aquisição da imagem, a mama é comprimida entre duas placas com o objetivo de reduzir a espessura do tecido irradiado, melhorar a qualidade da imagem e diminuir a dose necessária para a obtenção de uma imagem diagnóstica adequada. Assim, parâmetros como a espessura mamária comprimida, expressa em milímetros (mm), e a força de compressão aplicada, expressa em *Newton* (N), influenciam diretamente os níveis de dose associados ao exame (European Commission, 2014).

A monitorização sistemática destes valores permite garantir que os exames são realizados dentro de limites considerados aceitáveis, contribuindo para a otimização da prática clínica da mamografia (IAEA, 2023).

Descritores de Dose em Tomografia Computorizada

A tomografia computadorizada (TC) é uma das modalidades de imagiologia que mais contribui para a exposição da população, devido à elevada quantidade de radiação necessária para a obtenção de imagens volumétricas com elevada resolução espacial. Por este motivo, a avaliação e a monitorização da dose em TC assumem particular relevância no contexto da proteção radiológica (Mccollough & Yu, 2026).

Diversos parâmetros técnicos influenciam diretamente a dose administrada durante um exame de TC, nomeadamente a tensão da ampola, a corrente elétrica, o tempo de exposição, o tempo de rotação, a espessura do corte, o *pitch*, o FOV (do inglês *Field of View*) e a *range*. A utilização da modulação da corrente e tensão da ampola e os algoritmos de reconstrução iterativa são parâmetros que têm permitido reduzir significativamente os valores de exposição de dose mantendo uma qualidade de imagem adequada (Mccollough & Yu, 2026).

Em TC, os NRD são geralmente definidos com base na informação clínica e expressos através do *Computed Tomography Dose Index* (CTDI - mGy), da *Dose Length Product* (DLP – mGy.cm) e da *Size-Specific Dose Estimate* (SSDE - mGy) (IAEA, 2023).

O principal descritor de dose utilizado em TC é o CTDI, que representa uma estimativa da dose média absorvida ao longo do eixo longitudinal durante uma rotação completa da ampola de raios-X, sendo expresso em *miligray* (mGy). A determinação deste índice baseia-se em medições realizadas em fantasmas padronizados que simulam a atenuação da radiação em estruturas anatómicas humanas (Mccollough & Yu, 2026).

A partir destas medições são derivados vários indicadores dosimétricos utilizados na prática clínica. O $CTDI_{100}$ corresponde à dose média medida em fantomas padronizados utilizando câmaras de ionização em forma de lápis com comprimento de 100 mm, enquanto o $CTDI_w$ representa uma média ponderada das medições realizadas com uma câmara de ionização tanto no centro como na periferia do fantoma, onde um terço do valor corresponde à medição no orifício central e dois terços do valor corresponde à média das medições efetuadas na periferia do fantoma (ICRP, 2017).

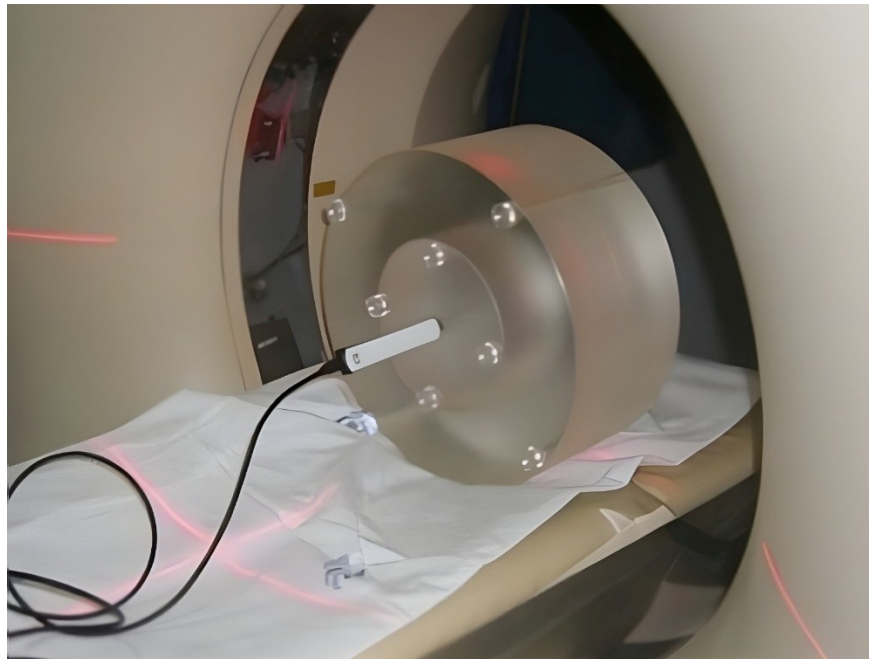


Figura 3 - Representação da obtenção do valor de $CTDI_{100}$ através da medição no fantoma

De forma geral, recorrem-se a dois tipos de fantomas com diâmetros de 16 cm e de 32 cm, demonstrados na Figura 4, cuja seleção depende da região anatómica em estudo. O fantoma de 16 cm é habitualmente utilizado para exames de crânio, uma vez que esta região apresenta dimensões menores e uma maior densidade óssea. Por outro lado, para exames de corpo é utilizado o fantoma de 32 cm, que representa de forma mais adequada as dimensões e as heterogeneidades dessas estruturas anatómicas.

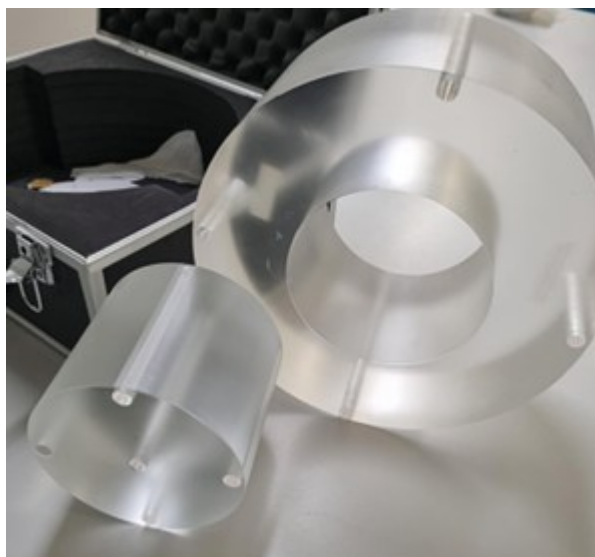


Figura 4 - Representação dos fantasmas de cabeça e corpo, de 16 cm e de 32 cm, respetivamente

De forma a considerar o movimento da mesa durante aquisições helicoidais, é utilizado o $CTDI_{vol}$, que corresponde ao $CTDI_w$ corrigido pelo valor de *pitch*. Este parâmetro representa a dose média no volume irradiado e constitui o principal indicador de dose apresentado nos relatórios dos equipamentos de TC.

Outro descritor frequentemente utilizado é a *dose length product* (DLP), expresso em *miligray* por centímetro (mGy.cm), que corresponde ao produto do $CTDI_{vol}$ pela dimensão da *range* de aquisição, permitindo considerar a dose por corte e o tempo de exame. O DLP fornece uma estimativa da energia total depositada no doente ao longo de todo o exame, sendo particularmente útil para comparar protocolos de aquisição ou para estimar a dose efetiva associada a um determinado procedimento (Mccollough & Yu, 2026).

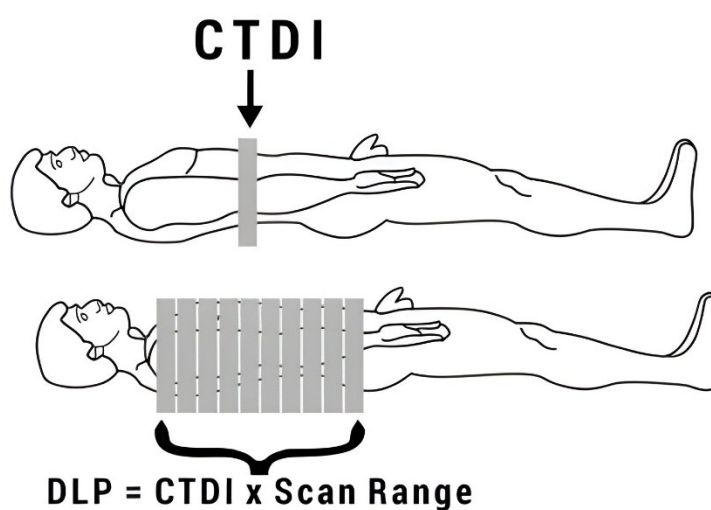


Figura 5 – Esquema elucidativo da diferença entre CTDI e DLP

Nos últimos anos tem sido introduzido um indicador adicional designado por SSDE. Este parâmetro é expresso em *milligray* (mGy) e corresponde à multiplicação do $CTDI_{vol}$ por um fator de conversão que é baseado no tamanho do doente (f_{size}), proporcionando uma estimativa de dose mais individualizada. f_{size} está descrito em tabelas na literatura demonstradas na Figura 7 e na Figura 8 (Payne & Badawy, 2023; AAPM, 2011).

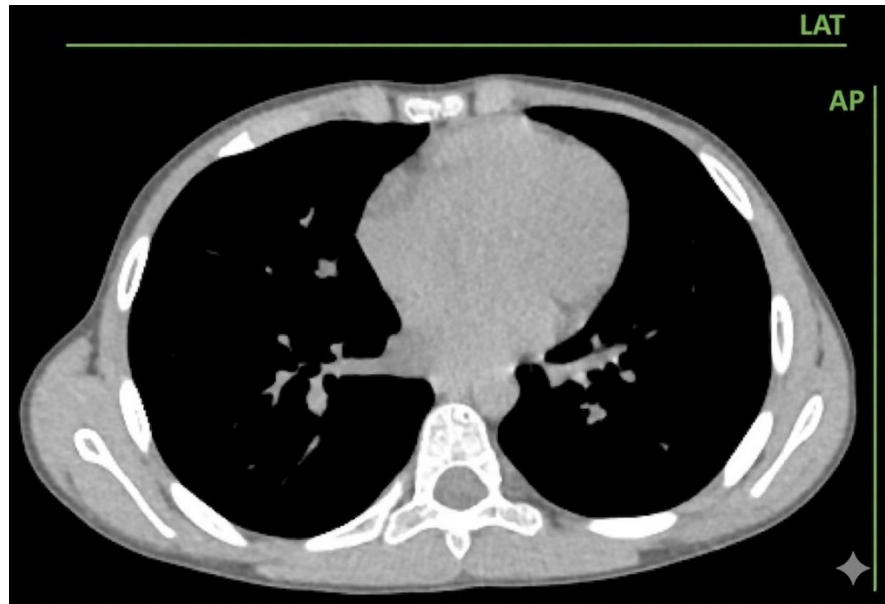


Figura 6 - Representação esquemática das medições do tamanho do doente para o f_{size}

Table 2A			Table 2B			Table 2C			Table 2D	
Lat + AP Dim (cm)	Effective Dia (cm)	Conversion Factor	Lateral Dim (cm)	Effective Dia (cm)	Conversion Factor	AP Dim (cm)	Effective Dia (cm)	Conversion Factor	Effective Dia (cm)	Conversion Factor
12	5.7	1.50	6	8.2	1.36	6	5.8	1.50	6	1.49
13	6.2	1.47	7	8.7	1.34	7	7.3	1.41	7	1.43
14	6.7	1.44	8	9.2	1.32	8	8.8	1.33	8	1.38
15	7.2	1.42	9	9.7	1.29	9	10.2	1.26	9	1.32
16	7.7	1.39	10	10.2	1.26	10	11.6	1.19	10	1.27
17	8.2	1.36	11	10.7	1.24	11	13.0	1.13	11	1.22
18	8.7	1.34	12	11.3	1.21	12	14.4	1.07	12	1.18
19	9.2	1.31	13	11.8	1.19	13	15.7	1.02	13	1.13
20	9.7	1.29	14	12.4	1.16	14	17.0	0.97	14	1.09
21	10.2	1.26	15	13.1	1.13	15	18.3	0.92	15	1.05
22	10.7	1.24	16	13.7	1.10	16	19.6	0.88	16	1.01
23	11.2	1.22	17	14.3	1.08	17	20.8	0.84	17	0.97
24	11.7	1.19	18	15.0	1.05	18	22.0	0.80	18	0.93
25	12.2	1.17	19	15.7	1.02	19	23.2	0.76	19	0.90
26	12.7	1.15	20	16.4	0.99	20	24.3	0.73	20	0.86
27	13.2	1.13	21	17.2	0.96	21	25.5	0.70	21	0.83
28	13.7	1.10	22	17.9	0.94	22	26.6	0.67	22	0.80
29	14.2	1.08	23	18.7	0.91	23	27.6	0.64	23	0.77
30	14.7	1.06	24	19.5	0.88	24	28.7	0.62	24	0.74
31	15.2	1.04	25	20.3	0.85	25	29.7	0.59	25	0.71
32	15.7	1.02	26	21.1	0.83	26	30.7	0.57	26	0.69
33	16.2	1.00	27	22.0	0.80	27	31.6	0.55	27	0.66
34	16.7	0.98	28	22.9	0.77	28	32.6	0.53	28	0.63
35	17.2	0.97	29	23.8	0.75	29	33.5	0.51	29	0.61
36	17.6	0.95	30	24.7	0.72	30	34.4	0.50	30	0.59
37	18.1	0.93	31	25.6	0.70	31	35.2	0.48	31	0.56
38	18.6	0.91	32	26.6	0.67	32	36.0	0.46	32	0.54
39	19.1	0.89	33	27.6	0.65	33	36.8	0.45	33	0.52
40	19.6	0.88	34	28.6	0.62	34	37.6	0.44	34	0.50
42	20.6	0.84	35	29.6	0.60	35	38.4	0.42	35	0.48
44	21.6	0.81	36	30.6	0.57	36	39.1	0.41	36	0.47
46	22.6	0.78	37	31.7	0.55	37	39.8	0.40	37	0.45
48	23.6	0.75	38	32.7	0.53	38	40.4	0.39	38	0.43
50	24.6	0.72	39	33.8	0.51	39	41.1	0.38	39	0.41
52	25.6	0.70	40	34.9	0.48	40	41.7	0.37	40	0.40
54	26.6	0.67	41	36.1	0.46	41	42.3	0.36	41	0.38
56	27.6	0.64	42	37.2	0.44	42	42.8	0.36	42	0.37
58	28.6	0.62	43	38.4	0.42	43	43.4	0.35	43	0.35
60	29.6	0.60	44	39.6	0.40	44	43.9	0.34	44	0.34
62	30.5	0.57	45	40.8	0.39	45	44.4	0.34	45	0.33
64	31.5	0.55	46	42.1	0.37	46	44.8	0.33	46	0.32
66	32.5	0.53	47	43.3	0.35	47	45.2	0.33	47	0.30
68	33.5	0.51	48	44.6	0.33	48	45.6	0.32	48	0.29
70	34.5	0.49	49	45.9	0.32	49	46.0	0.32	49	0.28
72	35.5	0.47	50	47.2	0.30	50	46.4	0.31	50	0.27
74	36.5	0.46	51	48.5	0.29	51	46.7	0.31	51	0.26
76	37.5	0.44	52	49.9	0.27	52	47.0	0.30	52	0.25
78	38.5	0.42	53	51.3	0.26	53	47.2	0.30	53	0.24
80	39.5	0.41	54	52.7	0.24	54	47.5	0.30	54	0.23
82	40.5	0.39	55	54.1	0.23	55	47.7	0.30	55	0.22

Figura 7 - Fatores de conversão com base no fantoma de 16 cm de diâmetro em função da soma das dimensões lateral e AP, apenas da dimensão lateral, apenas da dimensão AP e em função do diâmetro efetivo (Tabela 2A, 2B, 2C e 2D, respectivamente) (AAPM, 2011)

Lat+AP Dim (cm)	Effective Dia (cm)	Conversion Factor
16	7.7	2.79
18	8.7	2.69
20	9.7	2.59
22	10.7	2.50
24	11.7	2.41
26	12.7	2.32
28	13.7	2.24
30	14.7	2.16
32	15.7	2.08
34	16.7	2.01
36	17.6	1.94
38	18.6	1.87
40	19.6	1.80
42	20.6	1.74
44	21.6	1.67
46	22.6	1.62
48	23.6	1.56
50	24.6	1.50
52	25.6	1.45
54	26.6	1.40
56	27.6	1.35
58	28.6	1.30
60	29.6	1.25
62	30.5	1.21
64	31.5	1.16
66	32.5	1.12
68	33.5	1.08
70	34.5	1.04
72	35.5	1.01
74	36.5	0.97
76	37.5	0.94
78	38.5	0.90
80	39.5	0.87
82	40.5	0.84
84	41.5	0.81
86	42.4	0.78
88	43.4	0.75
90	44.4	0.72

Lateral Dim (cm)	Effective Dia (cm)	Conversion Factor
8	9.2	2.65
9	9.7	2.60
10	10.2	2.55
11	10.7	2.50
12	11.3	2.45
13	11.8	2.40
14	12.4	2.35
15	13.1	2.29
16	13.7	2.24
17	14.3	2.19
18	15.0	2.13
19	15.7	2.08
20	16.4	2.03
21	17.2	1.97
22	17.9	1.92
23	18.7	1.86
24	19.5	1.81
25	20.3	1.76
26	21.1	1.70
27	22.0	1.65
28	22.9	1.60
29	23.8	1.55
30	24.7	1.50
31	25.6	1.45
32	26.6	1.40
33	27.6	1.35
34	28.6	1.30
35	29.6	1.25
36	30.6	1.20
37	31.7	1.16
38	32.7	1.11
39	33.8	1.07
40	34.9	1.03
41	36.1	0.98
42	37.2	0.94
43	38.4	0.90
44	39.6	0.87
45	40.8	0.83

AP Dim (cm)	Effective Dia (cm)	Conversion Factor
8	8.8	2.68
9	10.2	2.55
10	11.6	2.42
11	13.0	2.30
12	14.4	2.18
13	15.7	2.08
14	17.0	1.98
15	18.3	1.89
16	19.6	1.81
17	20.8	1.73
18	22.0	1.65
19	23.2	1.58
20	24.3	1.52
21	25.5	1.45
22	26.6	1.40
23	27.6	1.34
24	28.7	1.29
25	29.7	1.25
26	30.7	1.20
27	31.6	1.16
28	32.6	1.12
29	33.5	1.08
30	34.4	1.05
31	35.2	1.02
32	36.0	0.99
33	36.8	0.96
34	37.6	0.93
35	38.4	0.91
36	39.1	0.88
37	39.8	0.86
38	40.4	0.84
39	41.1	0.82
40	41.7	0.80
41	42.3	0.78
42	42.8	0.77
43	43.4	0.75
44	43.9	0.74
45	44.4	0.73

Effective Dia (cm)	Conversion Factor
8	2.76
9	2.66
10	2.57
11	2.47
12	2.38
13	2.30
14	2.22
15	2.14
16	2.06
17	1.98
18	1.91
19	1.84
20	1.78
21	1.71
22	1.65
23	1.59
24	1.53
25	1.48
26	1.43
27	1.37
28	1.32
29	1.28
30	1.23
31	1.19
32	1.14
33	1.10
34	1.06
35	1.02
36	0.99
37	0.95
38	0.92
39	0.88
40	0.85
41	0.82
42	0.79
43	0.76
44	0.74
45	0.71

Figura 8 - Fatores de conversão com base no fantoma de 32 cm de diâmetro em função da soma das dimensões lateral e AP, apenas da dimensão lateral, apenas da dimensão AP e em função do diâmetro efetivo (Tabela 1A, 1B, 1C e 1D, respetivamente) (AAPM, 2011)

Para além dos descritores de dose anteriormente referidos, existe também um parâmetro que permite caracterizar de forma mais precisa as características do doente em termos de atenuação da radiação. Esse parâmetro é o *Water Equivalent Diameter* (WED), expresso em centímetros (cm), e representa o tamanho do doente considerando as propriedades de atenuação dos raios-X, sendo utilizado para correções de dose em TC. O WED é calculado a partir da área equivalente em água (A_w), correspondendo matematicamente ao dobro da raiz quadrada do quociente entre A_w e o valor de pi (π). A área equivalente em água, expressa em cm^2 , é determinada a partir das imagens de TC através da definição de uma região de interesse (ROI), tendo em consideração os valores médios de atenuação nessa região, expressos em unidades de *Hounsfield* (UH). Em termos matemáticos, A_w corresponde à área geométrica real da ROI (A_{ROI}) multiplicado por um mais o valor médio dos números de TC, ou seja, das unidades de *Hounsfield*, na região de interesse ($\bar{CT}_{ROI}$), dividido por 1000 (Payne & Badawy, 2023).

Dose Efetiva

A *Effective Dose* (ED) é uma grandeza dosimétrica utilizada para estimar o risco global associado à exposição da radiação ionizante. Este parâmetro é comum às várias modalidades de imagem e tem em consideração não apenas a quantidade de radiação absorvida pelos diferentes tecidos do organismo, mas também a radiosensibilidade relativa de cada órgão, expressa através de fatores de ponderação tecidulares definidos pela ICRP (ICRP, 2021).

A ED é expressa em *milisievert* (mSv) e calculada através do somatório dos fatores de ponderação da dose absorvida nos diferentes tecidos (w_T) de acordo com a sua radiosensibilidade multiplicado com as doses equivalente dos tecidos (H_T), sendo possível comparar o risco relativo dos efeitos estocásticos de um determinado exame (Gonçalves, 2021).

Embora a ED seja amplamente utilizada para comparação de procedimentos e para avaliação do risco radiológico global, é importante reconhecer as suas limitações, uma vez que este parâmetro se baseia em modelos de referência populacionais e não representa necessariamente o risco individual de um doente específico. Ainda assim, continua a ser uma ferramenta importante na comunicação do risco de dose associado à exposição à radiação do exame e na comparação entre diferentes técnicas imagiológicas (ICRP, 2017).

Relevância da Cultura de Segurança e da Definição dos Níveis de Exposição

A promoção de uma cultura de segurança em proteção radiológica constitui um elemento fundamental para garantir a utilização segura da radiação ionizante em contexto médico. Esta cultura baseia-se na implementação de práticas organizacionais que promovam a segurança do doente, a formação contínua dos profissionais de saúde e a melhoria contínua dos processos clínicos (IAEA, 2018).

No âmbito da imagem médica, a cultura de segurança envolve a implementação de estratégias destinadas a garantir a justificação adequada dos exames, a otimização dos parâmetros técnicos utilizados e a monitorização sistemática dos níveis de dose associados aos procedimentos de imagem que envolvem exposição à radiação ionizante.

Estudos recentes realizados em serviços de radiologia europeus indicam que a formação em proteção radiológica continua a apresentar variações significativas entre diferentes

instituições e diferentes profissionais. Em alguns contextos, apenas 30% dos profissionais de saúde de uma equipa multidisciplinar envolvidos em procedimentos imagiológicos é que recebeu formação em proteção radiológica após a conclusão da sua formação académica inicial.

Estas evidências destacam a necessidade de reforçar os programas de formação e sensibilização em proteção radiológica, garantindo que todos os profissionais envolvidos na realização desses exames possuam conhecimentos adequados relativamente à gestão da dose e aos princípios de proteção radiológica (Pimenta et al., 2023).

Neste contexto, a integração de estratégias de monitorização da dose, a utilização de NRD e a promoção de programas de garantia da qualidade em imagem médica constituem elementos fundamentais para assegurar a utilização segura e eficaz da radiação ionizante (Assembleia da República, 2018).

A crescente preocupação com a otimização da dose e com a melhoria da segurança radiológica tem sido alvo em termos de desenvolvimento de diversos estudos científicos destinados a avaliar os níveis de exposição radiológica na prática clínica. Nos últimos anos, tem sido observado um aumento do número de estudos focados na avaliação dos níveis de exposição radiológica em diferentes modalidades de imagem médica, refletindo uma heterogeneidade da prática clínica resultante de diversos fatores, como os equipamentos utilizados, os protocolos técnicos adotados, as características da população e a formação dos profissionais de saúde.

Contudo, apesar do aumento do número de estudos dedicados à avaliação da exposição radiológica e da evidência de que a utilização sistemática dos NRD contribui para uma maior homogeneização das práticas clínicas, existem ainda assim algumas limitações. Uma dessas limitações passa pela reduzida disponibilidade de dados clínicos robustos e representativos, como salienta a publicação 135 do ICRP, o que constitui um obstáculo à implementação eficaz de auditorias clínicas e à aplicação consistente dos princípios da proteção radiológica (ICRP, 2017).

Adicionalmente, o relatório RP 195 da *European Commission*, evidencia que a maioria dos estudos e dos dados utilizados para o estabelecimento de NRD se concentram em países europeus, revelando uma distribuição geográfica desigual da evidência disponível. Esta limitação condiciona a utilização direta dos NRD internacionais em contextos clínicos

menos representados, como Omã, reforçando a necessidade de recolha e de análise de dados locais (European Comission, 2021).

Metodologia

Este estudo foi desenvolvido em conformidade com os princípios éticos de investigação científica e com as normas de proteção de dados em saúde. Todos os registos foram anonimizados, garantindo a confidencialidade dos doentes. A investigação foi realizada ao abrigo do protocolo institucional entre a Escola Superior de Tecnologia da Saúde do Instituto Politécnico de Coimbra e o Hospital Internacional de Omã, assegurando o cumprimento integral das disposições éticas e legais aplicáveis. Para a recolha de dados foram utilizados os formulários disponibilizados pela *International Atomic Energy Agency* (IAEA). Os equipamentos utilizados neste estudo corresponderam aos modelos *Multi Fusion Max* da radiologia geral, *Mammotom Fusion* da mamografia e *SOMATOM go.top* da tomografia computadorizada, instalados no serviço de radiologia do Hospital Internacional de Omã. Todos os equipamentos utilizados encontravam-se com os procedimentos de controlo de qualidade devidamente realizados e atualizados, com registos inferiores a um ano.

Esta dissertação é um estudo observacional, retrospectivo, quantitativo e descritivo, uma vez que foram analisados dados de exames já realizados previamente à data deste estudo. A natureza quantitativa decorreu do carácter numérico dos valores de exposição radiológica, enquanto a abordagem descritiva teve como finalidade caracterizar e comparar esses valores com os padrões de referência locais e internacionais.

A amostra do estudo foi composta por exames radiológicos realizados a doentes adultos do Hospital Internacional de Omã, entre junho de 2024 e junho de 2025, abrangendo três modalidades de imagem: radiologia geral, mamografia e TC. Foram incluídos apenas exames que apresentavam registos completos, contendo informações sobre a região anatómica, os parâmetros de aquisição e os indicadores de dose. Excluíram-se os exames pediátricos e os estudos com dados incompletos.

Os parâmetros analisados variaram de acordo com a modalidade de imagem. Na radiologia geral, os parâmetros analisados incluíram a tensão da ampola, o produto da corrente elétrica pelo tempo de exposição, o tempo de exposição, o KAP, o PSD, o EI, o EI_{target} , o DI e a ED. Na mamografia, foram analisados parâmetros como a tensão da ampola, a corrente elétrica, o produto da corrente elétrica pelo tempo de exposição, o tempo de exposição, a espessura mamária comprimida, a força de compressão aplicada, a AGD, a ED e a PSD. Na TC, os parâmetros analisados foram a tensão da ampola, a corrente elétrica, a range de aquisição, o WED, o CTDI, o DLP e a SSDE.

A recolha dos dados foi efetuada através do *Picture Archiving and Communication System* (PACS) e da plataforma *Teamplay™* (Siemens Healthineers), ambos utilizados pelo Hospital Internacional de Omã para o armazenamento dos exames imagiológicos. Nesse sentido, a informação recolhida foi introduzida em formato *Microsoft Excel®* para uma melhor organização, armazenamento e processamento inicial dos dados.

Posteriormente, o conteúdo foi tratado com recurso ao *software International Business Machines Statistical Package for the Social Sciences* (IBM SPSS) *Statistics®*, onde foram calculadas as medidas de tendência central e dispersão para cada tipo de exame e de modalidade, nomeadamente a média, o desvio-padrão e os percentis 50, 75 e 95. O nível de significância estatística adotado foi de $p = 0,05$.

Para além da análise estatística anteriormente descrita, para a modalidade de mamografia, foi ainda realizada uma análise de variância de uma via, cujo objetivo é de avaliar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes tipos de aquisição. Sempre que foram identificadas diferenças estatisticamente significativas, procedeu-se à realização de testes *post-hoc Student–Newman–Keuls*, permitindo identificar os grupos estatisticamente homogéneos e distinguir as aquisições que apresentavam diferenças significativas entre si. Adicionalmente, foi efetuado um T-Teste para AGD total, de forma a avaliar se a média observada diferia significativamente do valor de referência considerado. Foram também determinados os respetivos intervalos de confiança a 95%, permitindo uma estimativa da precisão dos valores obtidos.

Os resultados foram depois comparados com os NRD publicados por entidades internacionais e, sempre que possível, com os valores de referência locais. As discrepâncias entre os valores locais e os NRD foram interpretadas como potenciais indicadores de otimização, sendo discutidas à luz da literatura e das boas práticas internacionais.

Realizou-se também a síntese dos dados relativos ao risco de dose associado à exposição radiológica, visando a literacia do doente, em conformidade com as recomendações europeias e as orientações internacionais.

Resultados

Caracterização da Amostra

Foram incluídos 310 doentes adultos submetidos a exames de imagem médica no Hospital Internacional de Omã neste estudo, sendo 51% do sexo feminino ($n = 158$) e 49% do sexo masculino ($n = 152$), totalizando 660 procedimentos analisados.

Do total de aquisições analisadas ($n = 660$), 45,5% ($n = 300$) correspondem a exames realizados em radiologia geral, enquanto 30,3% ($n = 200$) dizem respeito a aquisições em mamografia e 24,2% ($n = 160$) a exames de TC. As características da amostra por modalidade de exame encontram-se resumidas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características da amostra por modalidade de imagem

Modalidade de imagem	Nº de doentes	Sexo feminino	Sexo masculino	Nº de aquisições
Radiologia Geral	180	78	102	300
Mamografia	50	50	0	200
Tomografia Computorizada	80	30	50	160
Total	310	158	152	660

Nos seguintes subcapítulos apresentam-se os resultados obtidos nas diferentes modalidades de imagem analisadas: radiologia geral, mamografia e TC, respetivamente.

De uma forma geral, foram considerados parâmetros técnicos e dosimétricos, nomeadamente parâmetros de exposição, descritores de dose e indicadores do detetor, obtidos em todas as aquisições incluídas no estudo. Para cada região anatómica e, quando aplicável, para cada tipo de aquisição, foram calculados a média, o desvio-padrão e os percentis 50, 75 e 95. Importa referir que, para os parâmetros de exposição, os percentis foram incluídos apenas para caracterização da variabilidade dos dados, não sendo habitualmente utilizados como métricas de referência, ao contrário dos descritores de dose.

Radiologia Geral

Na radiologia geral foram analisadas 300 aquisições radiográficas, provenientes de um total de 180 doentes, distribuídos por sete áreas anatómicas: tórax, coluna cervical, coluna lombar, joelhos em carga, seios perinasais, pés e mãos. A amostra incluiu 43,3% doentes do sexo

feminino (n = 78) e 56,6% doentes do sexo masculino (n = 102), com idades entre 18 e 78 anos (média de $39,64 \pm 10,90$ anos). Em alguns casos, verificou-se a realização de duas aquisições para a mesma região anatómica. A distribuição detalhada das aquisições e do número de doentes por região anatómica encontra-se apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Distribuição das aquisições e do número de doentes por região anatómica da radiologia geral em estudo

Região anatómica	Nº de aquisições	Nº de doentes	Nº total de aquisições
Tórax	1	20	20
Coluna Cervical	2	20	40
Coluna Lombar	2	20	40
Joelhos em Carga	1	20	20
Seios Perinasais	1	20	20
Pés	2	40	80
Mãos	2	40	80
Total	11	180	300

Foi realizada uma análise global, na qual se englobaram todas as aquisições efetuadas nas diferentes regiões anatómicas incluídas no estudo, com o objetivo de caracterizar de forma agregada a prática clínica do serviço de radiologia geral do Hospital Internacional de Omã. Os tipos de aquisição variaram de acordo com o protocolo definido para cada região anatómica, incluindo as aquisições pósterio-anteriores (PA), ântero-posteriores (AP), laterais (LAT) e oblíquas (OBL).

Os resultados da análise estatística dos parâmetros referidos acima encontram-se apresentados na Tabela 3.

Em todas as radiografias analisadas, o PSD apresentou um valor constante de 5,0 mGy. Relativamente ao índice de exposição alvo, foi considerado um valor de 100 para os exames de tórax e de 250 para as restantes regiões anatómicas avaliadas.

Tabela 3 – Valores de tensão da ampola, produto corrente-tempo, tempo de exposição, KAP, ED, EI e DI em radiologia geral, por região anatômica em estudo

Região Anatômica	Tipo de Aquisição	Medidas	Tensão da Ampola (kV)	Produto Corrente-Tempo (mAs)	Tempo de Exposição (ms)	KAP (Gy.cm ²)	ED (mSv)	EI	DI
Tórax	PA	Média	123,87	1,68	2,25	0,14	0,02	155,55	1,78
		Desvio-padrão	5,15	0,48	1,12	0,09	0,01	39,10	1,20
		50	125,00	1,57	2,00	0,02	0,12	160,50	2,00
		Percentil 75	125,00	2,06	3,00	0,02	0,17	187,50	2,88
		95	125,29	2,66	4,00	0,06	0,43	224,15	3,48
Coluna Cervical	AP	Média	69,12	9,01	27,15	0,15	0,01	154,80	-2,30
		Desvio-padrão	2,67	4,51	33,10	0,10	0,01	45,58	1,50
		50	70,00	8,74	17,50	0,01	0,12	159,50	-2,00
		Percentil 75	70,00	11,98	24,00	0,01	0,18	182,50	-1,50
		95	70,29	22,26	136,05	0,03	0,48	236,90	-0,03
	LAT	Média	72,01	7,52	16,40	0,22	0,01	115,70	-4,23
		Desvio-padrão	2,41	4,98	12,83	0,30	0,02	74,11	3,01
		50	72,95	6,78	13,00	0,01	0,15	102,00	-3,75
		Percentil 75	73,00	9,89	21,00	0,01	0,23	152,75	-2,13
		95	73,10	23,21	50,90	0,08	1,36	334,80	1,40
Coluna Lombar	AP	Média	76,17	82,44	98,25	3,04	0,61	225,75	-0,53
		Desvio-padrão	3,02	48,89	59,16	2,46	0,49	43,73	0,80
		50	74,90	69,29	81,50	0,45	2,22	222,50	-0,50
		Percentil 75	79,35	126,83	149,75	0,81	4,08	255,50	0,00
		95	81,00	179,75	221,05	2,14	10,69	327,65	0,98
	LAT	Média	80,75	104,83	139,35	3,83	0,77	183,15	-1,90
		Desvio-padrão	6,34	85,44	127,79	2,90	0,58	87,65	2,45
		50	80,90	89,01	112,00	0,63	3,15	179,00	-1,50
		Percentil 75	81,00	119,15	149,50	0,83	4,13	244,00	-0,13
		95	103,90	332,14	498,35	2,74	13,70	355,10	1,50
Joelhos (em carga)	AP	Média	65,66	5,30	8,72	0,17	0,02	130,00	-4,10
		Desvio-padrão	3,46	3,14	5,38	0,09	0,01	96,64	3,64
		50	64,50	5,34	7,21	0,02	0,16	105,00	-3,75
		Percentil 75	64,50	6,46	13,00	0,02	0,23	175,50	-1,50

Região Anatômica	Tipo de Aquisição	Medidas	Tensão da Ampola (kV)	Produto Corrente-Tempo (mAs)	Tempo de Exposição (ms)	KAP (Gy.cm2)	ED (mSv)	EI	DI
		95	78,56	12,94	22,55	0,04	0,37	352,10	1,50
Seios Perinasais	Waters	Média	69,96	27,71	57,65	0,54	0,02	187,45	-1,63
		Desvio-padrão	0,05	11,58	24,91	0,19	0,01	62,33	2,24
		50	70,00	28,14	58,00	0,02	0,51	190,50	-1,25
		Percentil 75	70,00	38,23	80,50	0,02	0,64	242,50	0,00
		95	70,00	46,45	98,40	0,03	0,94	272,55	0,48
Pés	AP	Média	51,46	2,23	6,63	0,03	0,00	266,88	-1,31
		Desvio-padrão	1,55	0,50	7,28	0,01	0,00	284,44	3,68
		50	51,90	2,08	5,00	0,00	0,03	179,50	-1,50
		Percentil 75	52,00	2,46	5,75	0,00	0,04	346,50	1,50
		95	53,05	3,25	18,50	0,01	0,06	671,95	4,50
	OBL	Média	51,49	2,24	6,63	0,04	0,00	210,48	-1,91
		Desvio-padrão	1,55	0,49	7,28	0,02	0,00	170,28	3,19
		50	51,90	2,08	5,00	0,00	0,03	145,50	-2,25
		Percentil 75	52,00	2,50	5,75	0,00	0,04	287,50	0,50
		95	53,34	3,25	18,50	0,01	0,07	651,10	4,00
Mãos	PA	Média	48,81	2,31	25,50	0,03	0,00	612,53	3,04
		Desvio-padrão	2,72	0,97	36,54	0,03	0,00	352,31	3,09
		50	50,00	1,68	4,00	0,00	0,02	603,50	4,00
		Percentil 75	50,00	3,04	46,50	0,00	0,03	771,25	5,00
		95	52,00	4,02	98,00	0,01	0,12	1429,05	7,48
	OBL	Média	48,71	2,32	25,55	0,03	0,00	548,70	2,64
		Desvio-padrão	2,72	0,97	36,51	0,02	0,02	318,60	2,92
		50	49,90	1,67	4,00	0,00	0,02	522,00	3,25
		Percentil 75	50,00	3,04	46,50	0,00	0,03	743,00	4,88
		95	51,90	4,03	98,00	0,01	0,10	1294,15	6,98

De forma global, os resultados evidenciam variações dos parâmetros técnicos e dosimétricos entre as diferentes regiões anatômicas e os tipos de aquisição, conforme apresentado na

Tabela 3, o que traduz a diversidade de protocolos e as diferentes exigências anatómicas associadas às várias aquisições radiográficas incluídas no estudo.

Mamografia

Na mamografia, participaram 50 doentes exclusivamente do sexo feminino, com idades entre 38 e 62 anos. A caracterização etária da amostra apresenta uma média de $47,72 \pm 5,57$ anos. Todas as doentes realizaram cada uma quatro aquisições (respetivamente, aquisição crânio-caudal direita (R-CC), crânio-caudal esquerda (L-CC), oblíqua medio-lateral direita (R-MLO) e oblíqua medio-lateral esquerda (L-MLO)), correspondendo a 200 aquisições analisadas no total.

O exame foi realizado num equipamento de mamografia com o ânodo de tungsténio e o filtro de ródio, garantindo imagens nítidas e detalhadas para uma avaliação segura e precisa da mama.

Os resultados da estatística descritiva destes parâmetros estão presentes na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores de tensão da ampola, corrente elétrica, produto corrente-tempo, tempo de exposição, espessura mamária comprimida, força de compressão, AGD, ED e PSD em mamografia, por aquisição em estudo

Tipo de Aquisição	Medidas	Tensão da Ampola (kV)	Corrente Elétrica (mA)	Produto Corrente-Tempo (mAs)	Tempo de Exposição (ms)	Espessura Mamária Comprimida (mm)	Força de Compressão (N)	AGD (mGy)	ED (mSv)	PSD (mGy)
R-CC	Média	29,28	163,94	103,28	634,84	51,88	104,90	1,26	0,15	4,48
	Desvio-padrão	1,86	12,07	23,87	141,77	10,74	45,43	0,27	0,03	1,55
	50	29,50	164,50	100,60	616,50	53,50	85,00	1,22	0,14	4,41
	Percentil 75	31,00	175,00	117,62	713,50	61,25	138,85	1,40	0,17	5,61
	95	32,45	181,45	149,64	926,05	68,80	184,29	1,79	0,21	7,49
L-CC	Média	29,36	162,72	100,59	633,78	52,00	106,28	1,24	0,15	4,47
	Desvio-padrão	1,69	11,11	25,82	131,42	10,50	43,20	0,26	0,03	1,46
	50	29,00	165,00	99,46	615,00	52,00	87,75	1,21	0,15	4,48
	Percentil 75	31,00	170,00	123,09	759,50	59,00	143,73	1,47	0,18	5,76
	95	32,45	178,25	135,99	843,05	69,80	187,68	1,65	0,20	6,75

Tipo de Aquisição	Medidas	Tensão da Ampola (kV)	Corrente Elétrica (mA)	Produto Corrente-Tempo (mAs)	Tempo de Exposição (ms)	Espessura Mamária Comprimida (mm)	Força de Compressão (N)	AGD (mGy)	ED (mSv)	PSD (mGy)
R-MLO	Média	30,18	162,40	114,99	705,34	57,28	111,58	1,39	0,17	5,44
	Desvio-padrão	2,02	10,17	26,71	204,94	12,02	50,54	0,32	0,04	2,03
	50	30,00	161,50	113,91	685,00	58,00	91,70	1,39	0,17	5,45
	Percentil 75	32,00	171,25	133,67	850,25	67,00	177,28	1,61	0,19	6,79
	95	33,45	176,00	157,38	985,75	77,90	190,08	1,89	0,22	8,58
L-MLO	Média	30,22	161,66	112,59	695,88	57,18	111,72	1,37	0,16	5,35
	Desvio-padrão	1,93	9,93	25,36	184,56	11,80	51,77	0,29	0,04	1,88
	50	30,00	163,00	111,65	721,50	57,00	90,40	1,38	0,17	5,42
	Percentil 75	32,00	170,25	134,43	825,00	66,00	177,28	1,60	0,19	6,65
	95	33,00	176,00	152,64	1000,55	77,35	189,34	1,90	0,23	8,89

Com o objetivo de avaliar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes tipos de aquisições da mamografia, foi aplicada uma análise de variância de uma via (*One-Way ANOVA*).

Os resultados da ANOVA de uma via demonstraram que o tempo de exposição não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os grupos ($p = 0,053$). De igual forma, a força de compressão aplicada não evidenciou diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes tipos de aquisição ($p = 0,844$). Por outro lado, verificaram-se diferenças estatisticamente significativas entre os grupos relativamente à espessura mamária comprimida ($p = 0,013$), à dose glandular média acumulada ($p = 0,010$), à dose efetiva ($p = 0,015$) e à dose à entrada da pele ($p = 0,004$).

Na sequência da ANOVA de uma via, foram realizados testes *post-hoc Student–Newman–Keuls*, com o objetivo de identificar grupos estatisticamente semelhantes entre os diferentes tipos de aquisição, considerando também um nível de significância de $p = 0,05$.

Os resultados dos testes *post-hoc* permitiram a identificação de dois grupos estatisticamente semelhantes entre si e distintos dos restantes, para a dose glandular média acumulada e para a dose à entrada da pele. Para o tempo de exposição, a espessura mamária comprimida, a força de compressão e a dose efetiva não foram identificadas diferenças significativas entre os tipos de aquisição analisadas, sugerindo uniformidade nos procedimentos técnicos e

consistências nas condições de realização do exame. Estes resultados são analisados de forma detalhada nos parágrafos seguintes, com vista à interpretação específica das diferenças identificadas.

Relativamente à dose glandular média acumulada, o primeiro grupo integrou as aquisições L-CC, R-CC e L-MLO, que apresentaram valores médios mais baixos (1,24 mGy, 1,26 mGy e 1,37 mGy, respetivamente), enquanto o segundo grupo incluiu as aquisições L-MLO e R-MLO, associados a valores médios mais elevados (1,37 mGy e 1,39 mGy). A aquisição L-MLO surge como elemento de transição, aparecendo simultaneamente em ambos os grupos, o que indica que a sua média não difere significativamente dos dois grupos, ou seja, não difere significativamente nem do primeiro grupo nem do segundo.

No que diz respeito à dose à entrada da pele, o primeiro grupo agrupou as aquisições L-CC e R-CC, com valores médios de 4,47 mGy e 4,48 mGy, refletindo níveis de exposição mais reduzidos, enquanto o segundo grupo reuniu as aquisições L-MLO e R-MLO, que apresentaram valores médios superiores (5,35 mGy e 5,44 mGy). Estes resultados indicam que as aquisições MLO tendem a estar associadas a maior exposição cutânea que as aquisições CC, evidenciando diferenças sistemáticas entre projeções mamográficas.

Foi ainda realizado uma estatística descritiva para a AGD total, a qual apresentou uma média e desvio-padrão de $5,26 \pm 1,04$ mGy. O percentil 50, o percentil 75 e o percentil 95 tiveram valores de 5,42 mGy, 5,94 mGy e 7,03 mGy, respetivamente.

Realizou-se também um T-Teste para a AGD total, tendo-se obtido um valor médio estatisticamente significativo ($t(49) = 35,57$; $p < 0,001$), com um intervalo de confiança a 95% compreendido entre 4,96 mGy e 5,55 mGy.

Tomografia Computorizada

Na TC foram incluídos 80 doentes, distribuídos equitativamente por quatro regiões anatómicas: crânio, seios perinasais, tórax e vias urinárias, correspondendo a 20 doentes por região anatómica. A amostra integrou 37,5% doentes do sexo feminino ($n = 30$) e 62,5% do sexo masculino ($n = 50$), com idades compreendidas entre 18 e 82 anos, apresentando uma média etária de $42,03 \pm 13,64$ anos.

Para cada região anatômica foram avaliadas duas fases de aquisição, totalizando 160 aquisições de TC. A distribuição das aquisições por região anatômica e por número de fases encontra-se resumida na Tabela 5.

Tabela 5 - Distribuição do número de fases, de doentes e de aquisições por região anatômica da TC em estudo

Região anatômica	Nº de fases	Nº de doentes	Nº de aquisições
Crânio	2	20	40
Seios perinasais	2	20	40
Tórax	2	20	40
Vias urinárias	2	20	40
Total	8	80	160

Para os estudos do crânio e dos seios perinasais foi utilizado um fantoma de referência de 16 cm, enquanto para os estudos do tórax e das vias urinárias foi utilizado um fantoma de referência foi de 32 cm, de acordo com as recomendações internacionais. (ICRP, 2017)

Os valores destes parâmetros para cada região anatômica e fase de aquisição encontram-se sintetizados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores de tensão da ampola, corrente elétrica, range de aquisição, WED, CTDI, DLP e SSDE em TC, por região anatômica e fase de aquisição em estudo

Região Anatômica	Fase de Aquisição	Medidas	Tensão da Ampola (kV)	Corrente Elétrica (mA)	Range de aquisição (cm)	WED (cm)	CTDI (mGy)	DLP (mGy.cm)	SSDE (mGy)
Crânio	Topograma	Média	140,00	59,46	23,76	18,76	0,10	2,47	0,00
		Desvio-padrão	0,00	0,17	2,14	0,64	0,01	0,35	0,00
		50	140,00	59,49	24,55	18,58	0,10	2,53	0,00
		Percentil 75	140,00	59,60	25,60	19,30	0,11	2,84	0,00
		95	140,00	59,60	27,19	20,03	0,11	2,99	0,00
	Aquisição	Média	120,00	104,13	18,79	13,54	36,32	679,55	40,28
		Desvio-padrão	0,00	8,70	1,89	2,28	4,34	102,50	4,35
		50	120,00	102,72	18,34	13,85	35,35	652,00	39,31
		Percentil 75	120,00	107,06	19,79	14,59	36,80	771,25	43,27
		95	120,00	126,02	22,51	18,52	49,85	883,10	49,42

Região Anatômica	Fase de Aquisição	Medidas	Tensão da Ampola (kV)	Corrente Elétrica (mA)	Range de aquisição (cm)	WED (cm)	CTDI (mGy)	DLP (mGy.cm)	SSDE (mGy)
Seios Perinais	Topograma	Média	140,00	59,53	24,68	18,54	0,11	2,61	0,00
		Desvio-padrão	0,00	0,09	1,23	0,92	0,01	0,24	0,00
		50	140,00	59,57	25,05	18,68	0,11	2,68	0,00
		Percentil 75	140,00	59,60	25,60	19,19	0,11	2,83	0,00
		95	140,00	59,62	25,60	20,15	0,11	2,85	0,00
	Aquisição	Média	128,00	143,46	17,22	17,76	19,95	305,85	18,99
		Desvio-padrão	17,65	141,00	3,65	1,81	12,93	207,29	13,07
		50	140,00	51,87	15,63	18,26	16,25	243,50	14,53
		Percentil 75	140,00	316,37	20,20	19,05	28,25	401,00	28,99
		95	140,00	425,88	25,67	19,96	45,86	790,65	47,11
Tórax	Topograma	Média	100,00	59,60	40,87	25,14	0,01	0,36	0,00
		Desvio-padrão	0,00	0,12	6,42	2,23	0,00	0,06	0,00
		50	100,00	59,61	40,60	24,48	0,01	0,36	0,00
		Percentil 75	100,00	59,69	46,30	27,71	0,01	0,40	0,00
		95	100,00	59,81	51,20	28,98	0,01	0,49	0,00
	Aquisição	Média	101,00	404,83	36,92	25,13	6,05	213,96	8,81
		Desvio-padrão	16,83	107,27	4,01	2,22	3,16	106,26	4,43
		50	100,00	418,06	35,91	24,81	5,14	183,00	7,15
		Percentil 75	110,00	468,67	40,32	27,76	8,57	295,50	12,66
		95	139,50	571,47	44,72	28,61	13,56	469,45	17,90
Vias Urinárias	Topograma	Média	100,00	59,58	49,06	24,37	0,01	0,45	0,00
		Desvio-padrão	0,00	0,13	2,02	0,90	0,00	0,04	0,00
		50	100,00	59,64	49,10	24,33	0,01	0,44	0,00
		Percentil 75	100,00	59,66	51,20	24,96	0,01	0,49	0,00
		95	100,00	59,72	51,20	25,77	0,01	0,49	0,00
	Aquisição	Média	97,50	229,53	46,95	24,30	6,32	291,00	10,18
		Desvio-padrão	14,46	97,60	3,48	0,90	3,30	137,85	6,00
		50	90,00	205,54	46,68	24,26	5,32	261,50	8,09
		Percentil 75	97,50	239,84	49,87	24,92	7,32	344,25	11,80
		95	130,00	477,65	52,17	25,77	16,07	633,70	26,56

Adicionalmente, foram analisados o DLP total (mGy.cm) e a ED (mSv), permitindo uma caracterização global da exposição radiológica associada aos exames de TC incluídos no estudo. Os resultados obtidos situam-se na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores de DLP total e de ED em TC, por região anatómica em estudo

Região Anatómica	Medidas	DLP Total (mGy.cm)	ED (mSv)
Crânio	Média	682,02	1,63
	Desvio-padrão	102,57	0,25
	50	654,37	1,57
	Percentil 75	773,88	1,85
	95	885,90	2,12
Seios Perinasais	Média	308,46	0,73
	Desvio-padrão	207,32	0,50
	50	246,20	0,59
	Percentil 75	403,62	0,96
	95	793,46	1,90
Tórax	Média	214,32	2,90
	Desvio-padrão	106,24	1,51
	50	183,33	2,84
	Percentil 75	295,86	3,37
	95	469,78	7,55
Vias Urinárias	Média	291,45	4,74
	Desvio-padrão	137,84	2,25
	50	261,96	4,26
	Percentil 75	344,72	5,61
	95	634,09	10,33

Discussão

A análise global dos resultados obtidos permite enquadrar os dados do Hospital Internacional de Omã no contexto das práticas atuais de proteção radiológica e otimização em imagem médica. Considerando a diversidade de modalidades estudadas, verifica-se que os parâmetros técnicos utilizados acompanham as exigências anatómicas e clínicas específicas de cada exame.

De forma transversal, os resultados sugerem existir um equilíbrio entre a qualidade diagnóstica e o controlo da exposição, não sendo observados indícios de parâmetros excessivamente conservadores nem de reduções de dose potencialmente prejudiciais à qualidade de imagem.

A variabilidade observada entre os exames e as regiões anatómicas era expectável, uma vez que diferentes estruturas anatómicas implicam diferentes níveis de atenuação do feixe e, consequentemente, diferentes parâmetros de exposição. Assim, os resultados não traduzem inconsistência técnica, mas sim uma modulação dos protocolos em função da área anatómica em estudo e do contexto clínico.

De uma forma geral, a análise da dispersão dos dados, através dos desvios-padrão, revelou níveis variáveis de heterogeneidade entre os diferentes parâmetros e modalidades estudadas. De um ponto de vista estatístico e clínico, os valores de desvio-padrão mais elevados indicam uma maior variabilidade nos níveis de exposição, o que se traduz em diferenças nas condições de aquisição entre exames aparentemente semelhantes. Esta variabilidade pode estar associada a múltiplos fatores, nomeadamente diferenças nas características anatómicas dos doentes, na indicação clínica de cada exame, na adaptação dos protocolos técnicos ou na intervenção do técnico.

Radiologia Geral

Na radiologia geral, a heterogeneidade observada entre os diferentes exames reflete diretamente a diversidade de regiões anatómicas e de diferentes composições tecidulares.

Verifica-se que a distribuição dos parâmetros técnicos acompanha a natureza anatómica das regiões estudadas, observando-se valores mais elevados em estruturas de maior espessura e densidade, como a coluna lombar, e valores mais reduzidos nas extremidades.

Este comportamento está em concordância com a literatura, que descreve a necessidade de ajustar o compromisso entre a tensão da ampola e o produto de corrente elétrica com o tempo de exposição à espessura da região anatômica em estudo para garantir uma adequada penetração do feixe e um bom contraste na imagem. (ICRP, 2017)

De forma geral, a tensão da ampola apresentou uma boa concordância com os valores recomendados, mantendo-se dentro dos intervalos de referência na maioria das regiões anatômicas, nomeadamente na coluna cervical, na coluna lombar e nos joelhos. No tórax observou-se um aumento da tensão da ampola quando comparado com os valores de referência, o que permite uma maior penetração do feixe e uma redução da dose absorvida no doente. Nas extremidades (mãos e pés) verificaram-se valores ligeiramente inferiores aos de referência.

Relativamente ao produto da corrente elétrica pelo tempo de exposição, os valores mantiveram-se dentro dos intervalos recomendados nas regiões de menor espessura anatômica, como os joelhos, as mãos, os pés e na aquisição ântero-posterior da coluna cervical (Bushong, 2021; Fauber, 2024). Contudo, na coluna lombar e nos seios perinasais observaram-se valores superiores aos valores de referência, o que pode ser justificado pela maior atenuação do feixe nestas regiões e pela necessidade de garantir uma adequada relação sinal-ruído. Na aquisição lateral da coluna cervical e no tórax, os valores ligeiramente inferiores podem estar relacionados com ajustes técnicos específicos ou utilização do controlo automático de exposição.

No que diz respeito ao tempo de exposição, verificaram-se valores superiores aos intervalos descritos na literatura para todas as projeções analisadas. Esta diferença não reflete necessariamente uma prática inadequada, mas sim a evolução tecnológica dos equipamentos digitais e dos sistemas de controlo automático de exposição, que utilizam tempos ligeiramente mais longos e cargas mais moduladas para estabilizar a qualidade de imagem e reduzir repetições, ao contrário das referências históricas baseadas em sistemas ecrã-filme (Bushong, 2021; Fauber, 2024).

Assim, a análise conjunta destes três parâmetros, presente na Tabela 8, demonstra que as variações observadas correspondem maioritariamente a adaptações técnicas associadas à radiografia digital moderna e às características anatômicas das regiões estudadas, compatíveis com a prática radiológica atual.

Tabela 8 - Comparação dos valores obtidos da tensão da ampola, do produto corrente-tempo e do tempo de exposição com a literatura da radiologia geral

Região Anatômica	Tipo de Aquisição	Tensão da Ampola (kV)		Produto Corrente-Tempo (mAs)		Tempo de Exposição (ms)	
		Literatura*	Este Estudo	Literatura*	Este Estudo	Literatura*	Este Estudo
Tórax	PA	100-110	123.87±5.15	2-5	1.68±0.48	0.05-0.1	2.25±1.12
Coluna Cervical	AP	65-75	69.12±2.67	8-12	9.01±4.51	0.1-0.2	27.15±33.10
	LAT	70-95	72.01±2.41	10-15	7.52±4.98	0.12-0.25	16.40±12.83
Coluna Lombar	AP	75-85	76.17±3.02	20-30	82.44±48.89	0.15-0.3	98.25±59.16
	LAT	80-90	80.75±6.34	30-50	104.83±85.44	0.2-0.35	139.35±127.79
Joelhos	AP	60-70	65.66±3.46	3-6	5.30±3.14	0.06-0.12	8.72±5.38
Seios Perinasais	Waters	70-80	69.96±0.05	10-15	27.71±11.58	0.08-0.15	57.65±24.91
Pés	AP	55-60	51.46±1.55	1-3	2.23±0.50	0.02-0.05	6.63±7.28
	OBL	55-60	51.49±1.55	1-3	2.24±0.49	0.02-0.05	6.63±7.28
Mãos	PA	55-60	48.81±2.72	1-3	2.31±0.97	0.02-0.05	25.50±36.54
	OBL	55-60	48.71±2.72	1-3	2.32±0.97	0.02-0.05	25.55±36.51

* (Bushong, 2021; Fauber, 2024)

Relativamente aos indicadores do detetor (EI_{target} , EI e DI), não foi encontrada literatura clínica que permitisse comparação direta com os resultados obtidos. Os estudos disponíveis centram-se sobretudo em fantasmas ou em contextos de calibração. Além disso, estes indicadores dependem do fabricante e das configurações do equipamento, o que limita a sua comparabilidade. (Tsalafoutas et al., 2025)

Foram também analisados os valores do KAP para as diferentes regiões anatómicas e comparados com os dados disponíveis na literatura, conforme apresentados na Tabela 9. A ausência de referências para as regiões anatómicas como os joelhos, os seios perinasais, as mãos e os pés evidenciam uma lacuna na literatura, reforçando a relevância deste estudo como base para a definição dos NRD.

Para a região da coluna lombar, tanto nas aquisições AP como nas aquisições LAT, os valores obtidos neste estudo encontram-se acima dos reportados em algumas publicações internacionais, possivelmente refletindo diferenças na técnica de aquisição, nos parâmetros do equipamento ou nos protocolos de otimização da dose, estando diretamente relacionados com as variações dos parâmetros técnicos anteriormente descritos. Para a região do tórax e para as aquisições LAT da coluna cervical, os valores obtidos neste estudo situam-se abaixo

dos valores praticados em Omã, mas superiores aos valores da europa. Para as aquisições AP da coluna cervical verifica-se que se encontra ligeiramente superior quando comparado aos outros estudos.

Deste modo, os resultados salientam a importância da monitorização contínua do KAP e da implementação de estratégias de otimização da exposição, garantindo a qualidade diagnóstica e contribuindo para o estabelecimento de referências locais em regiões pouco estudadas.

Tabela 9 - Comparação dos valores obtidos do KAP com a literatura da radiologia geral

Estudo	KAP (Gy.cm ²)										
	Tórax	Coluna Cervical		Coluna Lombar		Joelhos	Seios Perinasais	Pés		Mãos	
	PA	AP	LAT	AP	LAT	AP	Waters	AP	OBL	PA	OBL
Este estudo	0,17	0,18	0,23	4,08	4,13	0,23	0,64	0,04	0,04	0,03	0,03
Suliman, 2020	0,18	0,17	0,15	1,44	1,62	-	-	-	-	-	-
Hart et al., 2012	0,10	0,15	0,16	1,50	2,50	-	-	-	-	-	-
RP nº180, 2014	0,16	-	-	2,30	4,20	-	-	-	-	-	-
RP nº195, 2021	0,20	0,30	0,40	2,00	3,40						

Globalmente, os resultados da radiologia geral demonstram que os protocolos utilizados estão ajustados às características anatómicas e alinhados com a radiologia digital contemporânea, evidenciando uma prática otimizada do ponto de vista técnico e dosimétrico. A aplicação de protocolos padronizados por região anatómica mostrou-se eficaz na prevenção de exposições excessivas, sendo a variabilidade observada maioritariamente atribuída a diferenças de biótipo do doente e a ajustes operacionais inerentes à prática clínica, e não a desvios sistemáticos. Estes achados sugerem um padrão técnico consistente e orientado para a reprodutibilidade, ainda que com potencial benefício na harmonização futura de procedimentos através de auditorias periódicas e consolidação de referências locais.

Mamografia

Os resultados obtidos em mamografia demonstram uma aplicação de protocolos técnicos uniformizados, dependentes sobretudo do controlo automático de exposição. Este mecanismo permite adaptar a técnica às características anatómicas individuais, reduzindo a variabilidade associada ao operador (ICRP, 2017). No entanto, a variabilidade observada nos níveis de dose pode ser explicada por fatores intrínsecos à própria população estudada, nomeadamente diferenças na espessura mamária comprimida e na composição do tecido mamário, que influenciam diretamente a atenuação do feixe de radiação e, consequentemente, os parâmetros técnicos selecionados. Adicionalmente, variações nos NRD descritos na literatura podem refletir diferenças nos equipamentos, nos algoritmos de processamento de imagem e nos protocolos clínicos adotados entre instituições. Assim, estas diferenças não traduzem necessariamente numa instabilidade da prática clínica, mas sim na adaptação dos procedimentos às características individuais das doentes e ao contexto técnico em que os exames são realizados.

Nos resultados obtidos, observaram-se desvios-padrão mais elevados essencialmente na força de compressão, o que pode ser parcialmente explicado pela variabilidade individual das doentes, nomeadamente ao nível da composição e da sensibilidade mamária. Assim, a variabilidade observada nestes parâmetros é expectável até certo ponto, uma vez que a força de compressão depende da tolerância da doente e da prática do operador.

Relativamente à espessura mamária comprimida, os estudos analisados apresentam intervalos variados, refletindo diferenças nas populações avaliadas. Para garantir maior coerência na comparação dos restantes parâmetros técnicos e dosimétricos, a análise foi centrada no intervalo de 40 - 59 mm, correspondente ao grupo predominante no presente estudo. Esta delimitação permite estabelecer comparações mais consistentes com a literatura disponível e presente na Tabela 11.

No que respeita aos parâmetros elétricos, verifica-se que a tensão da ampola utilizada no presente estudo se encontra ligeiramente superior à reportada na maioria dos estudos do Médio Oriente em todas as aquisições analisadas. Quando comparada com a literatura europeia, observa-se que nas aquisições MLO os valores são tendencialmente superiores, ainda que sem diferenças expressivas, enquanto nas aquisições CC se situam ligeiramente abaixo, permanecendo, contudo, dentro dos intervalos descritos em alguns estudos árabes.

Relativamente ao produto da corrente elétrica pelo tempo de exposição, os valores apresentam-se globalmente superiores aos descritos tanto na literatura europeia como na do Médio Oriente. Ainda assim, mantêm-se dentro dos intervalos reportados em determinados estudos árabes, o que sugere que a diferença poderá estar associada a características específicas do sistema de controlo automático de exposição e à espessura mamária média da amostra analisada.

No que concerne à força de compressão, verifica-se que, nas aquisições CC, os valores se encontram inferiores aos descritos em alguns estudos do Médio Oriente e superiores aos reportados na literatura europeia. Já nas aquisições MLO, a força de compressão apresenta-se superior relativamente aos estudos de ambas as regiões, o que poderá refletir diferenças nos critérios de posicionamento ou na variabilidade anatómica da população estudada.

Por fim, relativamente à PSD, observa-se que, nas aquisições CC, os valores se encontram ligeiramente inferiores aos descritos na literatura europeia, sem diferenças clinicamente relevantes, mas superiores aos reportados em alguns estudos do Médio Oriente. Nas aquisições MLO, os valores tendem a ser superiores aos descritos tanto na literatura árabe como europeia, acompanhando o padrão esperado associado ao maior volume de tecido irradiado nesta projeção. A Tabela 10 apresenta a comparação sistematizada destes parâmetros técnicos entre o presente estudo e os trabalhos internacionais analisados.

Tabela 10 - Comparação dos valores obtidos da tensão da ampola, do produto corrente-tempo, da força de compressão e PSD com a literatura da mamografia

Parâmetros	Tipo de aquisição	Este estudo	Dalah et al., 2025	Dalah et al., 2024	Noor et al., 2024	Mediji-Arifi & Ristova, 2025
Tensão da Ampola (kV)	R-CC	29,28±1,86		25-32		
			25-31		28,80±0,60	29,40±0,70
	L-CC	29,36±1,69		26-33		
	R-MLO	30,18±2,02		25-33		
			26-31		28,80±0,60	29,50±0,90
	L-MLO	30,22±1,93		25-33		
Produto Corrente-Tempo (mAs)	R-CC	103,28±23,87		39-401		
			18-251		89,70±29,20	93,00±63,60
	L-CC	100,59±25,82		34-329		
	R-MLO	114,99±26,71		37-480		
			31-303		96,10±33,90	98,10±63,10
	L-MLO	112,59±25,36		22-401		

Parâmetros	Tipo de aquisição	Este estudo	Dalah et al., 2025	Dalah et al., 2024	Noor et al., 2024	Mediji-Arifi & Ristova, 2025
Força de Compressão (N)	R-CC	104,90±45,43	-	-	115,80±43,10	99,00±34,90
	L-CC	106,28±43,20	-	-		
	R-MLO	111,58±50,54	-	-	110,90±42,40	108,10±36,0
	L-MLO	111,72±51,77	-	-		
PSD (mGy)	R-CC	4,48±1,55	-	-	1,20±0,40	4,50±2,40
	L-CC	4,47±1,46	-	-		
	R-MLO	5,44±2,03	-	-	1,30±0,40	4,80±2,50
	L-MLO	5,35±1,88	-	-		

No que diz respeito à AGD por aquisição, verifica-se que as aquisições MLO apresentam valores de dose glandular média superiores às aquisições CC, o que é expectável, uma vez que as aquisições MLO envolvem um maior volume de tecido mamário e, consequentemente, maior atenuação do feixe.

Comparativamente à literatura analisada, os valores obtidos no presente estudo situam-se acima dos reportados em alguns estudos do Médio Oriente e abaixo de determinados estudos europeus, conforme descritos na Tabela 11. Esta posição intermédia sugere que os níveis de dose praticados se encontram alinhados com os padrões internacionais, refletindo um equilíbrio entre otimização e manutenção da qualidade diagnóstica.

Tabela 11 - Comparação dos valores obtidos de AGD com a literatura da mamografia

Estudo	AGD (mGy)			
	R-CC	L-CC	R-MLO	L-MLO
Este estudo	1,40	1,47	1,61	1,60
Dalah et al., 2025		1,18		1,20
Noor et al., 2024		0,81		0,95
Dalah et al., 2024	1,19	1,11	1,19	1,21
Mediji-Arifi & Ristova, 2025		1,61		1,75
RP n°180, 2014	1,70	1,70	1,70	1,70

Relativamente à AGD total (Tabela 12), verifica-se que o valor do presente estudo é ligeiramente inferior ao descrito no estudo árabe comparável, o que poderá estar associado a características do sistema digital utilizado ou da calibração do controlo automático de exposição.

Tabela 12 - Comparação dos valores obtidos de AGD total com a literatura da mamografia

Estudo	AGD Total (mGy)
Este estudo	5,94
Dalah et al., 2025	6,46

Relativamente à ED, verificou-se que este descritor não é frequentemente reportado na literatura em mamografia, uma vez que o parâmetro de referência internacionalmente aceite para a avaliação e a otimização da dose é a AGD. Assim, a ausência de dados comparativos neste parâmetro reflete a prática científica corrente e não constitui limitação metodológica relevante.

Globalmente, os dados indicam que a estratégia técnica adotada permite manter os níveis de dose compatíveis com a prática internacional e com os valores de referência estabelecidos para a mama padrão. A otimização da dose em mamografia revela-se, sobretudo, dependente da adequada compressão mamária, da anatomia individual e da eficiência dos sistemas automáticos de exposição.

Tomografia Computorizada

Na TC, a comparação com a literatura evidencia diferenças entre os estudos realizados em contextos do Médio Oriente e aqueles provenientes de referências europeias, refletindo distintas abordagens de otimização, de características populacionais e de opções tecnológicas.

Relativamente aos parâmetros técnicos de aquisição em TC, verificou-se uma escassez de estudos que apresentem, de forma simultânea e sistematizada, valores clínicos de tensão da ampola, de corrente elétrica, da range de aquisição, do WED e da SSDE para as diferentes regiões anatómicas em estudo.

A literatura disponível centra-se maioritariamente na comparação entre o CTDI e o DLP, assim como a ED, não descrevendo de forma detalhada os parâmetros técnicos associados a

cada protocolo. Assim, a ausência destes dados demonstra mais uma lacuna na literatura, que dificulta comparações diretas entre instituições e reforça a necessidade de estudos locais que documentem não apenas os indicadores de dose, mas também os parâmetros de aquisição que lhes estão subjacentes.

No que diz respeito ao CTDI e ao DLP, é possível verificar, na Tabela 13, que os valores reportados nas referências europeias tendem a ser mais elevados, sobretudo nas aquisições do crânio, do tórax e das vias urinárias, quando comparados com os estudos provenientes dos Emirados Árabes Unidos. Esta diferença pode estar relacionada com o facto de várias referências europeias terem sido estabelecidas numa fase anterior à ampla disseminação de técnicas avançadas de modulação automática da corrente elétrica e de reconstrução iterativa, uma vez que a prioridade centrou-se em assegurar uma elevada relação sinal-ruído e robustez diagnóstica em diferentes equipamentos e populações, o que traduziu em NRD mais elevados. Por outro lado, os estudos realizados nos Emirados Árabes Unidos demonstram valores inferiores destes parâmetros, sugerindo uma maior incorporação de estratégias contemporâneas de otimização da dose, possivelmente associada à utilização de equipamentos mais recentes e tecnologicamente mais avançados.

Em contrapartida, é possível também inferir que os valores das aquisições dos seios perinasais tendem a ser superiores aos valores reportados na literatura europeia, não sendo possível fazer uma comparação com estudos do Médio Oriente por ausência de dados.

As diferenças observadas entre regiões anatómicas seguem, em ambas as realidades geográficas, o mesmo padrão físico-anatómico, verificando-se que exames de áreas anatómicas mais densas apresentam valores superiores aos exames de regiões menos densas, devido à maior atenuação do feixe e à necessidade de manter qualidade de imagem adequada.

Tabela 13 - Comparação dos valores obtidos do CTDI e do DLP das fases de aquisição com a literatura da TC

Estudo	CTDI (mGy)				DLP (mGy.cm)			
	Crânio	Seios Perinasais	Tórax	Vias Urinárias	Crânio	Seios Perinasais	Tórax	Vias Urinárias
Este estudo	36,80	28,25	8,57	7,32	771,25	401,00	295,50	244,25
Elshami et al., 2022	34,10	-	9,70	11,30	695,20	-	275,20	802,60
Abuzaid et al., 2020	39,60	-	10,20	13,50	693,10	-	276,20	811,80
Alhujaili et al., 2024	41,80	-	-	-	596,30	-	-	-

Estudo	CTDI (mGy)				DLP (mGy.cm)			
	Crânio	Seios Perinasais	Tórax	Vias Urinárias	Crânio	Seios Perinasais	Tórax	Vias Urinárias
RP nº180, 2014	60,00	-	10,00	25,00	1000,00	-	400,00	800,00
RP nº195, 2021	48,00	11,00	9,00	8,00	807,00	188,00	307,00	436,00
Oldenburg et al., 2019	53,00	21,00	15,00	14,00	1076,00	373,00	558,00	773,00

Em termos de ED, e conforme está descrito na Tabela 14, os resultados obtidos no nosso estudo, para as aquisições do crânio, situam-se dentro do intervalo descrito na literatura, quer do Médio Oriente quer da Europa. Observa-se que, para os seios perinasais, os valores tendem a ser superiores aos reportados na literatura europeia, não sendo possível comparar com estudos do Médio Oriente devido à ausência de dados. Para o tórax e para as vias urinárias, os valores do nosso estudo são de forma global mais baixos do que os valores da literatura.

Tabela 14 - Comparação dos valores obtidos da ED com a literatura da TC

Estudo	ED (mSv)			
	Crânio	Seios Perinasais	Tórax	Vias Urinárias
Este estudo	1,85	0,96	3,37	5,61
Athi et al., 2021	2,07	-	4,40	6,80
Ataç et al., 2015	1,70	-	4,10	3,10
Vilar-Palop et al., 2016	1,90	-	6,60	11,30
Bos et al., 2023	1,60	0,30	5,10	7,90

Importa ainda salientar que uma parte significativa dos estudos europeus resulta de compilações multicêntricas realizadas ao longo de períodos prolongados, integrando equipamentos de diferentes gerações e configurações técnicas distintas. Esta diversidade tecnológica introduz maior variabilidade nos dados e tende a produzir valores de referência mais amplos e, por vezes, mais conservadores.

Em contraste, alguns dos estudos mais recentes provenientes do Médio Oriente refletem contextos institucionais mais uniformes do ponto de vista tecnológico, frequentemente com equipamentos mais recentes e com protocolos já alinhados com estratégias contemporâneas de otimização da dose. Tal enquadramento pode justificar diferenças observadas nos valores

reportados, traduzindo práticas potencialmente mais padronizadas e ajustadas à realidade tecnológica atual.

Em relação aos topogramas, verificou-se uma escassez significativa de estudos que caracterizem de forma isolada os parâmetros técnicos e dosimétricos, uma vez que a literatura internacional tende a centrar-se na fase de aquisição. Esta ausência limita comparações locais e internacionais e evidencia a pertinência e o contributo do presente estudo.

Quanto aos desvios-padrão, verificou-se uma maior variabilidade, particularmente no DLP em todas as regiões anatómicas analisadas, bem como nos parâmetros de corrente elétrica, de CTDI e de SSDE nos exames dos seios perinasais e das vias urinárias. No caso do DLP, a dispersão observada pode refletir diferenças no comprimento de aquisição e na extensão das regiões estudadas, o que nem sempre é uniforme para o mesmo tipo de exame. Nos seios perinasais e nas vias urinárias, a variabilidade nos parâmetros poderá estar associada à adaptação dos protocolos, à indicação clínica e às características dos doentes.

Informação de Risco

Um aspeto fundamental no contexto da prática clínica é a apresentação dos valores de ED, na medida em que permite traduzir a exposição à radiação ionizante numa estimativa do risco biológico global para o doente. De acordo com as recomendações europeias e as orientações internacionais, a comunicação do risco associado à exposição à radiação é obrigatória e fortemente recomendada, respetivamente, devendo ser feita de forma clara e compreensível.

Neste sentido, a ED destaca-se como o parâmetro mais adequado para esse fim, pois integra a sensibilidade dos diferentes tecidos irradiados, possibilitando uma estimativa do risco estocástico associado a cada exame realizado.

Assim, a Tabela 15 apresenta um resumo com os valores de ED, permitindo a informação clara do risco associado à exposição à radiação ionizante de cada exame presente neste estudo para cada modalidade de imagem.

Tabela 15 - Informação do risco de dose associado à exposição à radiação através do valor de ED

Modalidade de imagem	Procedimento	ED (mSv)
Radiologia Geral	Tórax	0,17
	Coluna Cervical (AP + LAT)	0,41
	Coluna Lombar (AP + LAT)	8,21
	Joelhos (em carga)	0,23
	Seios Perinasais (Waters)	0,64
	Pés (AP + OBL)	0,08
	Mãos (PA + OBL)	0,06
Mamografia	Estudo completo (4 incidências)	0,73
Tomografia Computorizada	Crânio	1,85
	Seios Perinasais	0,96
	Tórax	3,37
	Vias Urinárias	5,61

Limitações do Estudo

Apesar da robustez dos dados recolhidos, importa reconhecer algumas limitações.

Nos exames de radiologia geral, determinados parâmetros, como a distância foco-detetor, a utilização de grelha antidifusora, o tamanho do foco, a aplicação de filtros adicionais e a câmara de ionização utilizada, não se encontravam sistematicamente registados.

Na TC, fatores como o peso, a altura, o volume reconstruível, a modulação da corrente, a duração da irradiação e o posicionamento no isocentro, também não constavam em sistema.

Na mamografia, parâmetros como o BI-RADS (densidade mamária), o tipo de foco, a dimensão do detetor, a utilização de grelha antidifusora e a calibração das câmaras de ionização, não estavam documentados.

A ausência destes dados impediu uma análise mais aprofundada de alguns fatores explicativos da variabilidade da dose de exame. No entanto, esta limitação não comprometeu a avaliação dos valores de exposição nem a comparação com os NRD, uma vez que os principais indicadores de dose recomendados internacionalmente se encontravam disponíveis e foram devidamente analisados.

Contudo, importa reconhecer que a ausência desses parâmetros técnicos limitou uma análise mais aprofundada de determinados fatores explicativos da variabilidade observada. Estudos futuros poderão colmatar essas limitações através da integração das diversas variáveis em falta neste estudo. Adicionalmente, seria pertinente alargar a amostra a um número superior de instituições, o que permitiria uma comparação multicêntrica e contribuindo para a consolidação de níveis de referência de diagnóstico locais mais robustos. A inclusão de análises prospetivas, bem como a avaliação do impacto de intervenções de otimização implementadas após auditorias internas, poderá também oferecer uma perspetiva evolutiva da prática clínica.

Conclusão

A presente dissertação teve o propósito de avaliar os valores de exposição radiológica praticados no Hospital Internacional de Omã nas modalidades de radiologia geral, mamografia e TC, e analisar a conformidade desses valores com os níveis de referência de diagnóstico internacionais e, sempre que possível, locais. A pergunta de investigação que orientou este trabalho procurou perceber em que medida esses valores praticados no Hospital Internacional de Omã se encontravam em conformidade com os NRD internacionais e se encontram alinhados com os padrões de referência estabelecidos.

De uma forma global, os resultados obtidos indicaram que os protocolos adotados no Hospital Internacional de Omã estão, na sua maioria, de acordo com os valores descritos na literatura. Na radiologia geral, verificou-se que as variações observadas nos parâmetros técnicos refletem essencialmente adaptações às características anatómicas das diferentes regiões estudadas e às especificidades da radiografia digital, não sendo identificados indícios de uma elevada exposição à radiação. Em mamografia, os valores da dose glandular média acumulada situaram-se dentro dos intervalos descritos internacionalmente, evidenciando uma prática otimizada. Na TC, de um modo geral, os indicadores de dose analisados apresentaram valores semelhantes aos reportados em várias referências da literatura, o que é sugestivo que existe a incorporação de estratégias atuais de modulação de dose e de reconstrução iterativa.

Assim, pode afirmar-se que os valores de exposição radiológica praticados no Hospital Internacional de Omã demonstraram estar em conformidade com os NRD disponíveis, o que reflete uma prática clinicamente fundamentada e alinhada com os princípios da justificação e da otimização da proteção radiológica. Ainda que tenham sido identificadas algumas diferenças pontuais quando comparadas com determinados estudos internacionais, estas parecem estar relacionadas com características populacionais e opções tecnológicas.

Um dos contributos mais relevantes deste estudo reside na produção de dados locais sistematizados, particularmente em regiões anatómicas e parâmetros para os quais a literatura apresenta escassez de informação. Importa salientar que esta dissertação se constitui como um estudo pioneiro no contexto do Hospital Internacional de Omã e, potencialmente, a nível regional, na análise sistemática dos valores de exposição radiológica e na sua comparação com os NRD. A caracterização detalhada dos indicadores de dose e dos parâmetros técnicos constitui uma base importante para futuras auditorias internas e para a

eventual definição de níveis de referência de diagnóstico institucionais e locais em contextos menos representados na literatura científica. Estes resultados irão potenciar a otimização dos procedimentos reduzindo a exposição dos doentes, e consequentemente os riscos inerentes.

Em síntese, este estudo permitiu compreender que a monitorização dos indicadores de dose, associada à comparação com referências locais de Omã e internacionais, constitui uma ferramenta essencial para garantir qualidade e segurança em imagem médica. Percebeu-se também que a variabilidade observada na prática clínica nem sempre se traduz em inconsistência, uma vez que pode resultar de adaptações técnicas justificadas pelo contexto anatómico, tecnológico e clínico. Demonstrou-se ainda que a recolha estruturada de dados locais é fundamental para sustentar decisões de otimização e para reduzir lacunas existentes na literatura.

Referências Bibliográficas

- AAPM. (2011). *Report 204: Size-Specific Dose Estimates (SSDE) in Pediatric and Adult Body CT Examinations*. https://www.aapm.org/pubs/reports/rpt_204.pdf
- Abuzaid, M. M., Elshami, W., Tekin, H. O., Ghonim, H., Shawki, M., & Salama, D. H. (2020). Computed tomography radiation doses for common computed tomography examinations: a nationwide dose survey in United Arab Emirates. *Insights into Imaging*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s13244-020-00891-6>
- Alhujaili, S. F., Alshabibi, A. S., Alafer, F., Alrowaili, Z., Salah, H., Sulieman, A., Subahi, M., Al-Raddadi, K., & Abuzaid, M. (2024). Establishment of Local Diagnostic Reference Levels for Head CT Imaging in the Madina Region, Saudi Arabia. *Diagnostics*, 14(24). <https://doi.org/10.3390/diagnostics14242882>
- Assembleia da República. (2018). Decreto-Lei n.º 108/2018, de 3 de dezembro. Diário da República n.º 232/2018 - I Série. Em *Jornal Oficial da República Portuguesa*. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/108-2018-117202785>
- Ataç, G. K., Parmaksız, A., İnal, T., Bulur, E., Bulgurlu, F., Öncü, T., & Gündoğdu, S. (2015). Patient doses from CT examinations in Turkey. *Diagnostic and Interventional Radiology*, 21, 428–434. <https://doi.org/10.5152/dir.2015.14306>
- Atlı, E., Uyanık, S. A., Ögüslü, U., Cenkeri, H. Ç., Yılmaz, B., & Gümüş, B. (2021). Radiation doses from head, neck, chest and abdominal CT examinations: An institutional dose report. *Diagnostic and Interventional Radiology*, 27(1), 147–151. <https://doi.org/10.5152/dir.2020.19560>
- Bos, D., Guberina, N., Zensen, S., Opitz, M., Forsting, M., & Wetter, A. (2023). Radiation Exposure in Computed Tomography. Em *Deutsches Arzteblatt International* (Vol. 120, Número 9, pp. 135–141). Deutscher Ärzte-Verlag GmbH. <https://doi.org/10.3238/arztebl.m2022.0395>
- Bushong, S. C. (2021). *Radiologic Science for Technologists - 12th Edition* (12th ed.). Elsevier.
- Dalah, E. Z., Alkaabi, M. K., Al-Awadhi, H. M., & Antony, N. A. (2024). Screening Mammography Diagnostic Reference Level System According to Compressed Breast Thickness: Dubai Health. *Journal of Imaging*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/jimaging10080188>
- Dalah, E. Z., Alkaabi, M. K., Antony, N. A., & Al-Awadhi, H. M. (2025). Establishing Diagnostic Reference Levels for Mammography Digital Breast Tomosynthesis,

- Contrast Enhance, Implants, Spot Compression, Magnification and Stereotactic Biopsy in Dubai Health Sector. *Journal of Imaging*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/jimaging11030079>
- Dalah, E. Z., Zarooni, M. M. A., Binismail, F. Y., Beevi, H. A., Siraj, M., & Pottybindu, S. (2025). Typical and Local Diagnostic Reference Levels for Chest and Abdomen Radiography Examinations in Dubai Health Sector. *Journal of Imaging*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/jimaging11010021>
- Dudhe, S. S., Mishra, G., Parihar, P., Nimodia, D., & Kumari, A. (2024). Radiation Dose Optimization in Radiology: A Comprehensive Review of Safeguarding Patients and Preserving Image Fidelity. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.60846>
- Elshami, W., Mohamed, A., Joseph, D. Z., Tekin, H. O., & Ghonim, H. (2022). Development of acceptable quality radiation dose levels for common computed tomography examinations: A focused multicenter study in United Arab Emirates. *Journal Frontiers in Public Health*, 1–8. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.964104>
- EURATOM. (2013). Council Directive 2013/59/Euratom. *Official Journal of the European Union*.
- European Commission. (2014). Radiation Protection N°180: Diagnostic Reference Levels in Thirty-six European Countries Part 2/2. *Publications Office of the European Union*. <http://europa.eu>
- European Commission. (2021). Radiation Protection N°195: European Study on Clinical Diagnostic Reference Levels for X-ray Medical Imaging. *Publications Office of the European Union*. <https://doi.org/10.2833/031357>
- Fauber, T. L. (2024). *Radiographic Imaging and Exposure - 6th Edition* (6th ed.). Elsevier.
- Gonçalves, C. (2021). *Determinação de níveis de referência de diagnóstico nas aplicações médicas com radiação ionizante* [Universidade de Lisboa - Faculdade de Ciências]. <http://hdl.handle.net/10451/48538>
- Hart, D., Shrimpton, P. C., & Hillier, M. C. (2012). *Doses to Patients from Radiographic and Fluoroscopic X-ray Imaging Procedures in the UK-2010 Review*.
- IAEA. (2018). *IAEA Safety Standards for protecting people and the environment - Specific Safety Guide No. SSG-46 - Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation*. <http://www-ns.iaea.org/standards/>
- IAEA. (2023). *IAEA: Patient radiation exposure monitoring in medical imaging*. <https://www.iaea.org/resources/safety-standards>

- ICRP. (2017). *ICRP Publication 135: Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging* (Vol. 46). SAGE.
- ICRP. (2021). *Use of dose quantities in radiological protection* (Vol. 50). SAGE PUBLICATIONS.
- McCollough, C., Cody, D., Edyvean, S., Geise, R., Gould, B., Keat, N., Huda, W., Kalender, W., McNitt-Gray, M., Morin, R., Payne, T., Stern, S., Rothenberg, L., Shrimpton, P., Timmer, J., & Wilson, C. (2008). *The Measurement, Reporting, and Management of Radiation Dose in CT*.
- Mediji-Arifi, M., & Ristova, M. (2025). Establishing Diagnostic Reference Levels in Digital Mammography from Eight Mammography Units Using over 30,000 Images. *Diagnostics*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/diagnostics15060682>
- Noor, K. A., Norsuddin, N. M., Karim, M. K. A., Isa, I. N. C., & Alshamsi, W. (2024). Estimating Local Diagnostic Reference Levels for Mammography in Dubai. *Diagnostics*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/diagnostics14010008>
- Oldenburg, D., Yu, S., Luong, J. K., Chu, P., Wang, Y., Wetter, A., & Smith-Bindman, R. (2019, Dezembro 4). *Diagnostic Reference Levels and Achievable Doses for Computed Tomography for EUCLID*. <https://archive.rsna.org/2019/19006658.html>
- Payne, S., & Badawy, M. (2023). Comparison of average Water Equivalent diameter values between CTContour and vendor-specific estimates in CT dosimetry. *Physica Medica*, 114, 103142. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2023.103142>
- Pimenta, A., Azevedo, L., Ramos, I., & Santos, J. (2023). Radiation protection measures used in Portuguese interventional radiology departments: A national survey. *Radiography*, 29(3), 597–603. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2023.04.001>
- Suliman, I. I. (2020). Estimates of Patient Radiation Doses in Digital Radiography Using DICOM Information at a Large Teaching Hospital in Oman. *Journal of Digital Imaging*, 33(1), 64–70. <https://doi.org/10.1007/s10278-019-00199-y>
- Tsalafoutas, I. A., AlKhazzam, S., & Kharita, M. H. (2025). Exposure index in digital radiography and its dependence on acquisition parameters, anatomy, and manufacturer. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 27(1). <https://doi.org/10.1002/acm2.70331>
- Vilar-Palop, J., Vilar, J., Hernández-Aguado, I., González-Alvarez, I., & Lumberras, B. (2016). Updated effective doses in radiology. *Journal of Radiological Protection*, 36, 975–990. <https://doi.org/10.1088/0952-4746/36/4/975>