

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE SAÚDE
MESTRADO PROFISSIONAL EM PROTEÇÃO RADIOLÓGICA**

ALESSANDRO TUROK DA SILVA COLLARES

**ESTIMATIVA DE DOSE EM ÓRGÃOS E TECIDOS POR MEIO DO
SOFTWARE VIRTUAL DOSE® EM EXAMES DE TOMOGRAFIA
COMPUTADORIZADA DE ABDOME E TÓRAX**

FLORIANÓPOLIS, 2023.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE SAÚDE
MESTRADO PROFISSIONAL EM PROTEÇÃO RADIOLÓGICA**

ALESSANDRO TUROK DA SILVA COLLARES

**ESTIMATIVA DE DOSE EM ÓRGÃOS E TECIDOS POR MEIO
DO *SOFTWARE VIRTUAL DOSE*® EM EXAMES DE TOMOGRAFIA
COMPUTADORIZADA DE ABDOME E TÓRAX**

Dissertação submetida ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Proteção Radiológica.

Linha de Pesquisa: Estimativa de dose no paciente.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Daiane Cristini Barbosa de Souza.

Coorientadora: Prof^a. M^a. Charlene da Silva.

FLORIANÓPOLIS, 2023.

CDD 616.0757
C697e

Collares, Alessandro Turok da Silva
Estimativa de dose em órgãos e tecidos por meio do *software virtual dose®*
em exames de tomografia computadorizada de abdômen e tórax [DIS] /
Alessandro Turok da Silva Collares; orientação de Daiane Cristini Barbosa
de Souza; coorientação de Charlene da Silva.

1 v.: il.

Dissertação de Mestrado (Proteção Radiológica) – Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Tomografia computadorizada. 2. Dose de Radiação. 3. Exposição à
Radiação. 4. Proteção Radiológica. 5. Software. I. Souza, Daiane Cristini
Barbosa de. II. Silva, Charlene. II. Título.

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC
Biblioteca Dr. Hercílio Luz – Campus Florianópolis
Catalogado por: Ana Paula F. Rodrigues - CRB 14/1117

ESTIMATIVA DE DOSE NOS ÓRGÃOS E TECIDOS POR MEIO DO SOFTWARE VIRTUAL DOSE® EM EXAMES DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA DE ABDOME E TÓRAX

ALESSANDRO TUROK DA SILVA COLLARES

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Proteção Radiológica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Mestrado Profissional em Proteção Radiológica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 22 de Dezembro de 2023.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **DAIANE CRISTINI BARBOSA DE SOUZA**
Data: 01/03/2024 18:52:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Daiane Cristini Barbosa De Souza, Doutora
IFSC- Instituto Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
 **CHARLENE DA SILVA**
Data: 04/03/2024 09:49:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Charlene da Silva, Mestre
IFSC- Instituto Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
 **ALEXANDRE D AGOSTINI ZOTTIS**
Data: 05/03/2024 12:45:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Alexandre D´agostini Zottis, Doutor
IFSC- Instituto Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
 **MATHEUS BRUM MARQUES BIANCHI SAVI**
Data: 29/02/2024 17:43:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Matheus Brum Marques Bianchi Savi, Doutor
IFSC- Instituto Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
 **CARLA DARUICH DE SOUZA**
Data: 02/03/2024 19:56:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Carla Daruich de Souza, Doutora
USP- Universidade de São Paulo

Dedico este trabalho a minha esposa Suellen da Silva Collares, que sempre me incentivou e me deu forças para continuar, e as minhas filhas, Isadora, Helena, Heloisa e Hanna, que são minha maior motivação para persistir em tudo que faço, amo vocês e tudo é por vocês.

AGRADECIMENTOS

Ao longo desses quatro anos de muitos plantões noturnos, rotinas de estudo, cuidados com a família, uma pandemia, o nascimento da minha quarta filha, e muitos desafios, gostaria de agradecer a todos que estiveram envolvidos na realização desta dissertação direta ou indiretamente. Gostaria de agradecer minha orientadora Prof^a. Daiane Cristini Barbosa de Souza, que sempre teve as melhores respostas e as referências mais atualizadas, agradeço a minha coorientadora Prof^a. Charlene da Silva que me ajudou na realização desta dissertação com muitas horas de reuniões, formatação, coleta e produção dos dados da pesquisa, sem vocês não seria possível, muito obrigado.

Gostaria de expressar meus agradecimentos ao IFSC, docentes, funcionários e colaboradores, que se dedicam para que essa instituição seja referência no ensino e formação de profissionais de excelência.

RESUMO

A tomografia computadorizada é a modalidade diagnóstica que mais contribui para a dose efetiva coletiva mundial. Na obtenção das imagens é necessário considerar que a dose de radiação entregue no exame deve ser a mais baixa possível e que garanta uma imagem com qualidade para o diagnóstico clínico. Considerando a importância do controle de dose na tomografia, este estudo teve por objetivo estimar a dose dos órgãos e tecidos de pacientes submetidos a exames de tomografia computadorizada de abdome e tórax em um hospital público de grande porte de Santa Catarina, por meio do *software Virtual Dose*[®]. Esta dissertação constituiu em um estudo do tipo documental retrospectivo e seccional com abordagem quantitativa e exploratória. Foram coletadas informações do cabeçalho DICOM da série 997 que representa o Relatório Estruturado de Dose de Radiação de cada exame, posteriormente as séries foram inseridas no *software Dose Utility*[®] para gerar o texto para inserção no *Virtual Dose*[®] que calculou a dose efetiva de órgãos e tecidos. A população do estudo foi composta por 120 exames de tomografia computadorizada, sendo 27 de tórax e 93 de abdome. Na análise de ambos exames, tórax e abdômen total, identificou-se que os valores de CTDIvol e o DLP foram maiores no gênero masculino, sendo que os órgãos que receberam as maiores doses efetivas foram coração, timo e pulmões para ambos os gêneros. Para o protocolo de abdome, o gênero masculino apresenta maiores doses médias de CTDIvol, na faixa etária de 59-68 anos. Quanto ao DLP do gênero feminino, a faixa etária com maior valor numérico foi de 39-48 anos (1.100,26 mGy.cm), enquanto para o masculino foi de 59-68 anos (1.252,33 mGy.cm). Os órgãos que receberam maior dose efetiva no exame de abdome foram: rins, adrenais, fígado e cólon. Os resultados apresentaram grande variabilidade entre a população, isto pode estar relacionado a fatores como a anatomia do usuário, as diferentes formas de executar o protocolo e às características do equipamento. Evidencia-se a importância da implementação de medidas de controle e monitoramento das doses de radiação, visando otimizar os protocolos e garantir uma prática segura e responsável.

Palavras-chave: Tomografia Computadorizada. Dose de Radiação. Exposição à Radiação. Proteção Radiológica. Software.

ABSTRACT

The computed tomography is the diagnostic modality that contributes the most to the global collective effective dose. In obtaining the images, it is necessary to consider that the radiation dose delivered in the exam should be as low as possible while ensuring an image of sufficient quality for clinical diagnosis. Considering the importance of dose control in tomography, this study aimed to estimate the dose to organs and tissues of patients undergoing abdominal and thoracic computed tomography examinations at a large public hospital in Santa Catarina, using the Virtual Dose® software. This dissertation consisted of a retrospective and cross-sectional documental study with a quantitative and exploratory approach. Information was collected from the DICOM header of series 997, which represents the Radiation Dose Structured Report of each exam. Subsequently, the series were inserted into the Dose Utility™ software to generate the text for insertion into Virtual Dose®, which calculated the effective dose to organs and tissues. The study population consisted of 120 computed tomography examinations, 27 of the thorax and 93 of the abdomen. In the analysis of both exams, thorax and abdomen combined, it was identified that the CTDIvol and DLP values were higher in males, with the organs receiving the highest effective doses being the heart, thymus, and lungs for both genders. For the abdomen protocol, males showed higher average CTDIvol doses in the 59-68 age group. Regarding DLP in females, the age group with the highest numerical value was 39-48 years (1,100.26 mGy.cm), while for males it was 59-68 years (1,252.33 mGy.cm). The organs receiving the highest effective dose in the abdomen exam were the kidneys, adrenal glands, liver, and colon. The results showed great variability among the population, which may be related to factors such as user anatomy, different ways of executing the protocol, and equipment characteristics. The importance of implementing radiation dose control and monitoring measures is evident, aiming to optimize protocols and ensure safe and responsible practice.

Keywords: Computed Tomography. Radiation Dosage. Radiation Exposure. Radiation Protection. Software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem adquirida ao longo do eixo z	17
Figura 2 - Rotação do gantry em TC	18
Figura 3 - Phantom em acrílico com respectiva furação para câmara de ionização	23
Figura 4 - Phantom software Virtual Dose®	29
Figura 5 - Layout do software para inserção em lote	34
Figura 6 - CTDIvol médio por faixa etária e por gênero para exames de tórax	40
Figura 7 - DLP médio por faixa etária e por gênero para exames de tórax	41
Figura 8 - Gráfico Blox Plot - CTDIvol por gênero no protocolo de tórax	42
Figura 9 - Gráfico Blox Plot - DLP por gênero no protocolo de tórax	43
Figura 10 - DLP médio por faixa etária e por gênero para exames de abdome	45
Figura 11 - Gráfico Blox Plot - Dose absorvida (mGy) nos principais órgãos no protocolo de tórax - gênero masculino	46
Figura 12 - Dose absorvida média (mGy) nos órgãos/ tecidos mais expostos por faixa etária no exame tórax para gênero feminino	47
Figura 13 - Gráfico Blox Plot - Dose absorvida (mGy) nos principais órgãos no protocolo de tórax - gênero feminino	48
Figura 14 - CTDIvol médio por faixa etária e gênero para exames de abdome	52
Figura 15 - DLP médio por faixa etária e por gênero para exames de abdome	53
Figura 16 - Gráfico Blox Plot - CTDIvol por gênero no protocolo de abdome	54
Figura 17 - Gráfico Blox Plot - DLP por gênero no protocolo de abdome	55
Figura 18 - Dose absorvida média (mGy) nos órgãos/ tecidos mais expostos por faixa etária no exame de abdome para gênero feminino	56
Figura 19 - Dose absorvida média (mGy) nos órgãos/ tecidos mais expostos por faixa etária no exame de abdome para gênero masculino	57
Figura 20 - Gráfico Blox Plot - Dose absorvida (mGy) nos principais órgãos no protocolo de abdome - gênero masculino	59
Figura 21 - Gráfico Blox Plot - Dose absorvida (mGy) nos principais órgãos no protocolo de abdome - gênero feminino	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores de conversão (k) aplicáveis para exames de TC	27
Tabela 2 - Categorização dos exames de tórax coletados	39
Tabela 3 - Dados CTDIvol e DLP, em quartis, para ambos os gêneros no protocolo de tórax	42
Tabela 4 - Descrição da dose absorvida dos órgãos e tecidos dos exames de TC tórax	44
Tabela 5 - Dados de dose absorvida em órgão para ambos os gêneros no protocolo de tórax	48
Tabela 6 - Categorização dos exames de TC abdominal	50
Tabela 7 - Dados CTDIvol e DLP, em quartis, para ambos os gêneros no protocolo de abdome	54
Tabela 8 - Descrição da dose absorvida dos órgãos e tecidos dos exames de abdome	58
Tabela 9 - Dados de dose absorvida em órgão para ambos os gêneros no protocolo de abdome	59
Tabela 10 - Dose média efetiva a partir da ICRP 103 dos exames de tórax e abdome e Recomendações Internacionais	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAPM	<i>American Association of Physicists in Medicine</i>
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CTDI	<i>Computed Tomography Dose Index</i>
DLP	<i>Dose Length Product</i>
ICRP	<i>Commission on Radiological Protection</i>
ICRU	<i>International Commission on Radiation Units and Measurement</i>
mA	miliamperagem
ONU	Organização das Nações Unidas
kV	quilovoltagem
TC	Tomografia Computadorizada
UNSCEAR	<i>United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa	14
1.2 Problema de pesquisa	14
1.3 Objetivo Geral	15
1.4 Objetivos Específicos	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Tomografia Computadorizada	16
2.2 Parâmetros que Interferem na Dose em Tomografia Computadorizada	19
2.3 Cálculo de dose em Tomografia Computadorizada	22
2.4 Dose efetiva em Tomografia Computadorizada	25
2.5 Programas computacionais para estimativa de dose em Tomografia Computadorizada	28
2.6 Estudos de estimativa de dose em órgãos e tecidos em Tomografia Computadorizada	29
3 MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 Delineamento da pesquisa	31
3.1.1 <i>DoseUtility</i>	32
3.1.2 Tomógrafo Computadorizado - GE Revolution EVO	32
3.1.3 Virtual Dose	34
3.1.3.1 Phantom	36
3.2 Local de estudo	36
3.3 População	36
3.4 Metodologia de análise de dados	37
3.5 Aspectos Éticos	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1 Caracterização da amostra	38
○ 4.1.1 CTDIvol e DLP no Protocolo de tórax	38
○ 4.1.2 Dose em órgão no protocolo de tórax	43
○ 4.1.3 CTDIvol e DLP no Protocolo de abdome	49
○ 4.1.4 Dose em órgão no protocolo de abdome	55
4.2 Dose Efetiva	60
4.3 Contribuições do Estudo para a Proteção Radiológica na TC	63
5 CONCLUSÃO	69
REFERÊNCIAS	71
APÊNDICE A – Manuscrito	79
Estimativa de dose nos órgãos e tecidos em protocolos de tórax e abdome de tomografia computadorizada em um hospital público de Santa Catarina	79
APÊNDICE B – Banco de Dados	92

1 INTRODUÇÃO

A Tomografia Computadorizada (TC) é um método diagnóstico que adquire imagens digitais a partir da atenuação de feixes de raios X e de equações matemáticas. Imagens seccionais do corpo humano podem ser produzidas em qualquer plano ortogonal e, em face do avanço tecnológico de softwares nas décadas de 90 e 2000, foi possível a geração de imagens tridimensionais (3D) advindas dessas informações (BUSHONG, 2010).

Entre as modalidades de diagnóstico, a TC é a que mais contribui para a dose efetiva coletiva da população, embora seja responsável por uma proporção muito menor do número total de exames. A exposição à radiação ionizante em altas doses está associada a um aumento na incidência de câncer. Para avaliar com precisão os riscos associados à radiação, recomenda-se o conhecimento de doses para os tecidos ou órgãos específicos, com intuito de determinar a probabilidade de induzir efeitos ou riscos relacionados à carcinogênese e aos efeitos genéticos (EKPO; OBED; OMOJOLA, 2018).

Em relação aos aspectos de proteção radiológica, somente após alguns anos do uso das radiações ionizantes é que foi criada em 1925 a *International Commission on Radiation Units and Measurement* (ICRU) que estabeleceu grandezas e unidades físicas das radiações, logo após criou-se em 1928 a *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) responsável por elaborar normas de proteção radiológica como também estabelecer limites de dose aos indivíduos ocupacionalmente expostos e público em geral. Cada país tem seu órgão responsável por adequar normas internacionais e regular o uso das radiações ionizantes, no Brasil tem a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) (OKUNO, 2013).

A primeira publicação sobre os princípios de proteção radiológica foi descrita pelo ICRP, em 1977, na publicação nº 26 (ICRP, 1977), essas recomendações foram mantidas e atualizadas nas publicações seguintes, sendo a de nº 60 e nº 103. Os princípios aplicados ao radiodiagnóstico são: justificação de dose, a qual toda exposição à radiação deve ser justificada de modo que o benefício supere qualquer malefício à saúde; otimização, onde a probabilidade de exposições que resultem em doses mantenham-se tão baixos quanto possa ser razoavelmente exequível; e por

fim a limitação de dose em que as doses individuais devem obedecer aos limites estabelecidos em recomendações internacionais e nacionais (ICRP, 1977; ICRP, 1991; ICRP, 2007).

Ainda sobre organizações relacionados à proteção radiológica cita-se a *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* (UNSCEAR), órgão da Organização das Nações Unidas (ONU), que coleta dados de diversos países com objetivo de realizar a estimativa periódica da dose coletiva da população mundial decorrente de todas as fontes, naturais ou antropogênicas. Um estudo desta organização realizado em 2008, declarou que 43% da dose de radiação coletiva total mundial é proveniente da TC (UNSCEAR, 2010).

Nesse sentido, é necessário considerar que a dose de radiação aplicada nos exames de radiodiagnóstico deve ser suficiente para obtenção de uma imagem de qualidade para avaliação clínica, e ser a mais baixa possível. Contudo, esse limiar de qualidade depende de inúmeros fatores, tais como características físicas do paciente, equipamento e experiência do operador para manipulação dos protocolos (SAKANO; COSTA; RIBEIRO, 2016).

Quando se trata de TC, alguns parâmetros e fatores técnicos são importantes na avaliação de dose, sendo os seguintes: kVp e mAs efetivos, colimação e posição e comprimento da varredura anatômica, espessura do corte, o *pitch*, o controle automático de exposição, entre outros fatores (SAMEI; PELC, 2020). Desde de 2002, após a finalização do exame em TC, pode ser gerado um relatório de dose, na sua interface aparecem dois índices de doses que são utilizados para estimar a dose entregue ao paciente, sendo os seguintes: *Computed Tomography Dose Index* (CTDI) e *Dose Length Product* (DLP) (IEC, 2002).

Considerando os aspectos supracitados e a importância da proteção radiológica na TC, o presente projeto teve como finalidade estimar a dose dos órgãos e tecidos por meio de *Software Virtual Dose*[®] de pacientes submetidos a exames tomografia computadorizada de tórax e abdome de uma aquisição em um hospital de grande porte de Santa Catarina.

1.1 Justificativa

Estudos epidemiológicos iniciados após a explosão das bombas atômicas em Hiroshima e Nagasaki, no Japão, mostraram que os sobreviventes expostos a baixos níveis de radiação tiveram maior incidência de cânceres tais como a leucemia. Outros estudos mais recentes, como os realizados com vítimas de Chernobyl e Fukushima obtiveram resultados semelhantes, variando apenas o tipo de câncer mais incidente uma vez que este é principalmente associado ao tipo de radionuclídeos liberados no acidente. Devido a recorrentes evidências dos riscos associados à exposição à radiação ionizante, exames radiológicos devem ser solicitados mediante a justificativa clínica e na certeza de que poderão auxiliar a conduta médica e beneficiar o paciente (UNSCEAR, 2022).

Conhecer os potenciais riscos induzidos pela radiação, estimar as doses recebidas em pacientes expostos é altamente recomendado a fim de se evitar exposições potencialmente perigosas. Entre as modalidades de diagnóstico, a TC é a que mais contribui para a dose da população, embora represente uma proporção muito menor do número total de exames. Cabe ressaltar que o risco é maior para crianças, que são mais radiosensíveis do que adultos. Assim, otimizar os procedimentos, protocolos e manter boas práticas torna-se prioridade (UNSCEAR, 2022).

Para tanto existe a necessidade de otimização dos parâmetros de dose nos exames realizados e também a diminuição de pedidos de exames considerados desnecessários, por meio da adoção de protocolos bem estruturados (SODICKSON *et al.*, 2009). Nesta perspectiva se faz necessário um estudo que faça um diagnóstico local da dose recebida nos órgãos e tecidos provenientes de exames de TC. A partir deste panorama será possível o replanejamento de protocolos que consideram o princípio de otimização de dose nos protocolos e no serviço pesquisado.

1.2 Problema de pesquisa

Para alcançar os objetivos tem-se a seguinte pergunta de pesquisa: Quais têm sido as doses em órgãos e tecidos em pacientes submetidos a exames de

tomografia computadorizada de tórax e abdome em um hospital de grande porte de Santa Catarina?

1.3 Objetivo Geral

Estimar a dose dos órgãos e tecidos por meio do *software Virtual Dose*® em pacientes que foram submetidos a exames de tomografia computadorizada de abdome e tórax em um hospital público de grande porte de Santa Catarina.

1.4 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar os dados provenientes dos exames de tomografia computadorizada de tórax e abdome.
- b) Descrever o produto dose-comprimento (DLP), Índice de Dose da Tomografia Computadorizada Volumétrico ($CTDI_{vol}$), e dose efetiva dos protocolos de tórax e abdome em uma única fase de aquisição helicoidal.
- c) Descrever a dose média dos órgãos expostos à radiação ionizante considerando os protocolos de tomografia computadorizada de tórax e abdome com uma única fase de aquisição helicoidal por meio do *software Virtual Dose*®.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentadas abordagens teóricas relevantes para o entendimento da proposta de pesquisa. Serão discutidos os seguintes tópicos: a) Tomografia Computadorizada; b) Dose em tomografia computadorizada; c) Cálculo de dose em tomografia computadorizada; d) Dose efetiva em tomografia computadorizada; e) Programas computacionais para estimativa de dose em tomografia computadorizada; e f) Estudos de dose nos órgãos e tecidos em tomografia computadorizada.

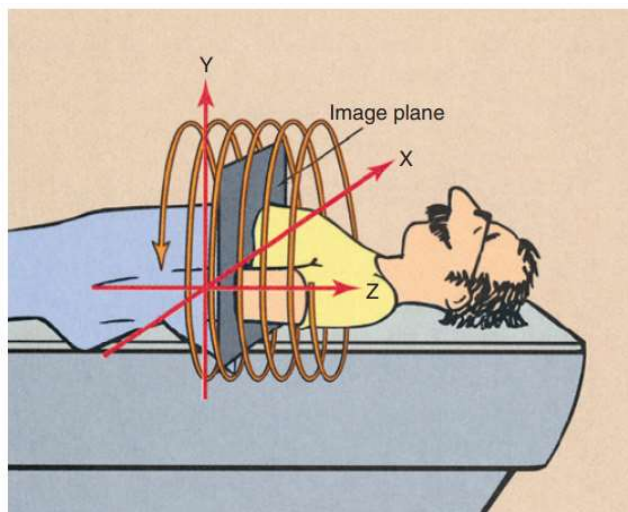
2.1 Tomografia Computadorizada

A partir do desenvolvimento tecnológico os tomógrafos têm passado por atualizações e aprimoramentos ao longo dos anos. Destaca-se que houve algumas gerações de tomógrafos, atualmente os equipamentos que são amplamente utilizados são os helicoidais de multicorte. Tomógrafos helicoidais utilizam a rotação contínua, sendo sincronizada em relação a ampola que produz e emite a radiação ionizante, energia esta, captada pelos detectores. Os avanços tecnológicos mais marcantes na TC, foram sua evolução da forma axial (sequencial) para helicoidal, e também de detectores simples para multidetectores, também conhecido como *multislice* (HENWOOD, 2003). Baseado na ampla utilização do equipamento da TC helicoidal multislice, em Santa Catarina, a Resolução Normativa n. 002/DIVS/SES de 2015 determina que a partir da data de publicação desta normativa a tecnologia aceita para os novos equipamentos instalados, seja do tipo TC helicoidal visando a diminuição de dose (ESTADO DE SANTA CATARINA, 2015).

O tomógrafo helicoidal *multislice* permite a rotação contínua do tubo e o deslocamento simultâneo da mesa. Como pode ser observado na Figura 1, onde a letra “z” representa o eixo longitudinal do paciente, de forma que os dados são coletados continuamente, logo a imagem poderá ser reconstruída em qualquer posição desejada ao longo do eixo do paciente. Dessa forma, as “fatias” não são necessariamente planas mas, na forma de hélices, o método de aquisição se apresenta como helicoidal. Por vezes, quando uma imagem é reconstruída, não há dados suficientes para a reconstrução, nesses casos os dados inexistentes são estimados por interpolação. Essa tecnologia permitiu a diminuição do tempo de

aquisição das imagens, e também a implementação de novas técnicas que aumentaram o potencial diagnóstico (NÓBREGA, 2005; BUSHONG, 2017).

Figura 1 - Imagem adquirida ao longo do eixo z



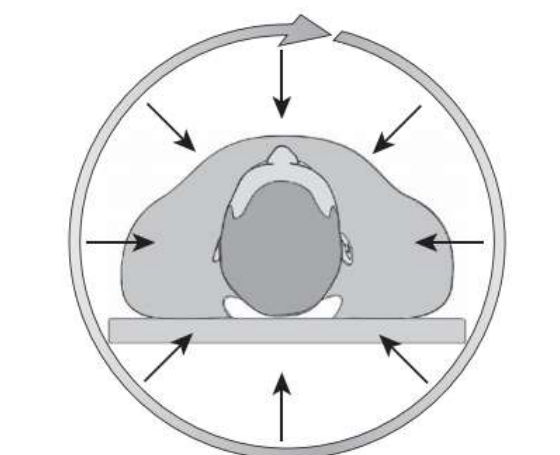
Fonte: BUSHONG (2017).

A partir do uso desta tecnologia novos conceitos foram introduzidos, cita-se: a revolução, o *pitch* e a interpolação já citada anteriormente. O primeiro, a revolução, diz respeito ao giro de 360° do conjunto tubo-detecores sendo que o tempo de aquisição dos cortes, geralmente de 1 segundo, influencia a velocidade de rotação do conjunto. O segundo, o *pitch*, que desempenha um papel crucial na tomografia computadorizada, afetando a velocidade de aquisição de imagem, a sobreposição de dados e a dose entregue ao paciente, é fundamental para garantir que os exames de TC sejam realizados de forma eficaz, precisa e segura (NÓBREGA, 2005).

Na TC de corte único (*single slice*) o *pitch* é definido como a distância percorrida pela mesa em uma rotação de 360° do tubo dividida pela colimação do feixe. Já na TC multislice o *pitch* é conceituado pela distância percorrida pela mesa em uma rotação de 360° do tubo dividida pela espessura total de todos os cortes adquiridos simultaneamente, que se trata do nº de detectores multiplicado pela espessura do corte (SILVERMAN; KALENDER; HAZLE, 2001). Por último a interpolação é um processo matemático que estima os dados que não foram adquiridos ao longo do deslocamento da mesa, a partir das informações existentes, esse método permite a reconstrução da imagem (BUSHONG, 2017).

Um ponto a destacar em relação ao uso da TC está relacionado à dose a qual o paciente é exposto. Esta exposição à radiação ionizante não é apenas a dose de entrada na pele, mas também a distribuição da dose nos órgãos e tecidos internos durante a aquisição da imagem (BUSHONG, 2017). Observa-se na Figura 2 a disposição do *gantry* que rotaciona ao redor do paciente, onde a exposição é dada em diversas direções.

Figura 2 - Rotação do gantry em TC



Fonte: ROMANS (2018).

Essa distribuição da exposição à radiação ionizante resulta em uma dose mais alta do que outros procedimentos diagnósticos de raios X. A dose de entrada de pele é fornecida por uma série de cortes contíguos de TC, e é muito maior do que aquele fornecido por uma única visão radiográfica (SAMEI; PELC, 2020).

Esse fenômeno é responsável pelo fato de que, para um determinado conjunto de parâmetros do equipamento (mAs, espessura do corte e *pitch*), as doses dos órgãos são maiores para crianças em comparação com adultos, apesar de que adultos possuem uma estrutura anatômica maior. À medida que a fonte de raios X gira em torno do paciente, o órgão permanece na mesma localização, independente do tamanho do paciente. Entretanto, o órgão pode estar parcialmente protegido pelo tecido corporal próximo a ele, reduzindo a dose na estrutura. Mas, essa redução da dose será muito menor para um indivíduo magro, como uma criança, em comparação com um adulto. Assim, as doses de órgãos para crianças são maiores do que para adultos (ROMANS, 2018).

2.2 Parâmetros que Interferem na Dose em Tomografia Computadorizada

A escolha dos parâmetros em um determinado protocolo de TC depende de inúmeros fatores, entre os quais destaca-se: o tamanho do paciente, da região do corpo e da indicação do exame. Os parâmetros de aquisição possuem influência na qualidade da imagem e na dose de radiação, e também interferem no algoritmo de reconstrução, apesar de que este último que não têm efeito direto na dose de radiação associada à varredura (SAMEI; PELC, 2020).

Ao realizar um exame de TC alguns fatores de controle são considerados básicos, são eles: quilovoltagem (kV), miliamperagem (mA) e tempo de exposição (segundos). Esses parâmetros alteram o contraste, densidade e definição ou ausência de nitidez na imagem. De modo geral, a tensão (kV) controla a capacidade de penetração do feixe de raios X, e portanto, define a escala de contraste da imagem. A corrente (mA) e o tempo (s) são combinados em miliampere/segundos (mAs), esse fator controla a quantidade de fótons de raios X, ou seja, o mesmo é fator primário de controle da densidade em TC (BUSHONG, 2017).

Ainda sobre esses fatores básicos, o profissional das técnicas radiológicas normalmente seleciona uma seção anatômica considerando o protocolo solicitado e o sistema automatizado da TC seleciona os parâmetros de kVp e mA. Já os sistemas de imagens de TC mais atuais têm modulação de dose, esse recurso resulta em uma redução de 30% a 50% na dose de radiação no paciente. O efeito na dose da alteração de kV não é linear, ao contrário do mA ou mAs. Mantendo todos os outros parâmetros constantes, mudar de 80 kV para 120 kV resultará em um aumento de dose (BUSHONG, 2017).

A modulação de dose, também conhecida como controle automático de exposição (CAE) que tem o objetivo de distribuir a dose ao longo do paciente, considerando seu tamanho e as diferentes densidades dos tecidos, garantindo uma imagem de qualidade. No entanto, esta estratégia não considera a distribuição da dose para órgãos específicos. Sabe-se que alguns órgãos, como mama ou cristalino, são mais sensíveis à dose do que outros (SAMEI; PELC, 2020).

Além dos fatores básicos, o qual o *pitch* também é um parâmetro importante que influencia na dose. Esse fator está relacionado com a razão entre o

deslocamento da mesa pela espessura de corte. Por exemplo, o *pitch* de 1:1 a mesa se desloca na mesma proporção da espessura do corte a cada giro ou revolução. Dessa forma, para cortes de 10 mm, para cada imagem a mesa se deslocará 10 mm. Mas, se o valor de *pitch* for alterado para 2:1 a mesa se deslocará numa distância equivalente ao dobro da espessura do corte por revolução, dessa forma, infere-se que o tempo de aquisição de 20 imagens será de 10 segundos, considerando um tempo de giro/revolução de 1 segundo (BUSHONG, 2017).

Outros fatores contribuem na exposição à radiação nos exames de TC. Abaixo serão listados alguns aspectos elencados por Romans (2018):

- Filtros de metais tais como alumínio e cobre são utilizados na saída do feixe a fim de remover os raios X de baixa energia, que são facilmente absorvidos pelo paciente de forma a reduzir a dose de radiação.
- A eficiência dos detectores afeta a dose de radiação no paciente. Detectores menos eficientes exigirão uma maior exposição à radiação para produzir uma imagem adequada. Os detectores de estado sólido, os cintiladores, têm de 90% a 100% de eficiência, enquanto os detectores de gás usados em modelos de tomógrafos mais antigos são significativamente menos eficientes. Ou seja, a eficiência dos detectores reduz a dose no paciente, e permite que o exame seja realizado com maior velocidade e melhor qualidade da imagem.
- A espessura de corte está relacionada ao volume que será irradiado. Ao considerar-se um único corte transversal, à medida que a espessura do corte aumenta e por conseguinte o volume do tecido aumenta, dessa forma, a dose também aumentará. No entanto, para exames de múltiplos cortes, diminuir a espessura do corte e usar cortes contíguos, também aumentará a dose devido ao aumento da quantidade de radiação dispersa nos cortes adjacentes. Além disso, para manter a qualidade da imagem, é necessário um aumento da radiação em espessuras mais finas. Nesse sentido, os exames de múltiplas cortes possuem sobreposição e em geral a dose será mais alta, enquanto em cortes espaçados o exame resultará em dose geral mais baixa.

- O FOV (*field of view*) afeta a dose final em TC. Para mensurar a dose de radiação considerando o diâmetro do objeto de estudo são utilizados os *phantoms* de dois diâmetros: 16 e 32 cm, que são usados para simular *scans* de cabeça e corpo, respectivamente. Mantendo todos os fatores técnicos constantes, uma varredura no *phantom* da cabeça resultará em uma dose de radiação mais alta do que a do *phantom* do corpo. Logo, a principal diferença nos resultados entre os *phantom* da cabeça e do corpo é o tamanho. Assim, espera-se que pacientes menores absorvam quantidades muito maiores de radiação do que pacientes maiores. Esse efeito é atribuído principalmente ao fato de que a exposição total é composta tanto pela radiação de entrada quanto pela radiação de saída. Para pacientes menores, o indivíduo possui menos tecido para atenuar o feixe, o que resulta em uma menor atenuação. Por outro lado, para um paciente maior, a radiação de saída é menos intensa como resultado de sua atenuação por mais tecido.
- O tamanho do paciente e espessura da parte do corpo está relacionado a quantidade de fótons que serão necessários para a formação da imagem. Isto é, pacientes grandes ou que possuem partes grossas do corpo requerem técnicas que aumentam a dose de radiação para evitar um nível inaceitável de ruído na imagem. Além disso, o tamanho do paciente e a composição corporal podem afetar o grau de dispersão da radiação.
- A repetição de exame pode ocorrer por erro ao realizar a aquisição da imagem, ou ainda, em protocolos que há mais de uma varredura para visualizar os estágios do contraste intravenoso. Em ambos os casos, deve-se considerar os preceitos da proteção radiológica na conduta prática e avaliar a necessidade das mesmas.

O filtro *Bowtie*, utilizado em TC, tem como objetivo endurecer o feixe de raios X e remover o espectro de baixa energia, permitindo que chegue até o paciente apenas a radiação útil para gerar sinais nos detectores e produzir a imagem. Esse filtro se encontra entre o tubo de raios X e o paciente, possui um formato especial

que varia a espessura do material ao longo de sua estrutura. O uso do filtro Bowtie resulta numa melhor qualidade da imagem, graças a retirada do sinal de ruído proveniente dos feixes de baixa energia, e em torno de 50% de redução de dose superficial quando comparado a filtros planos. É importante destacar que a funcionalidade do filtro depende diretamente do correto posicionamento do paciente no isocentro do *gantry* (ZACHARIAS *et al.*, 2013).

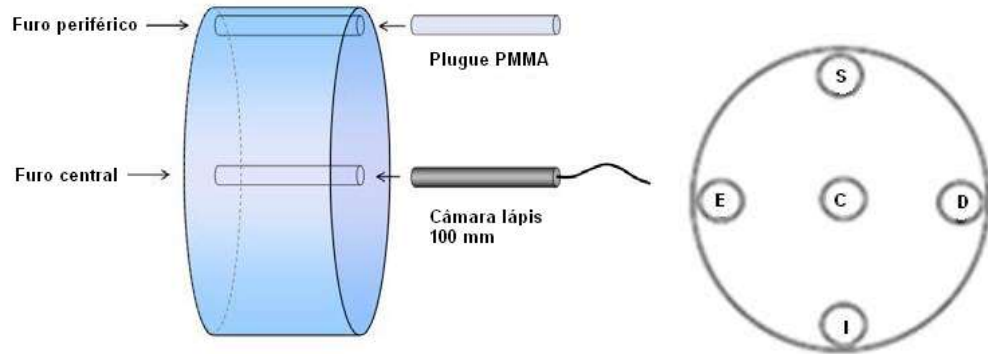
2.3 Cálculo de dose em Tomografia Computadorizada

Como discutido anteriormente, na TC o feixe de raios X é incidente em toda a circunferência do paciente, o que resulta em uma dose de radiação praticamente uniforme, quando utilizado o filtro *bowtie*, em uma seção determinada. Atualmente, a TC helicoidal *multislice* vem sendo amplamente utilizada. Para adquirir a imagem neste modelo, o equipamento precisa realizar inúmeros rotações do *gantry*, e, portanto, várias exposições de feixes de raios X, o que gera um aumento de dose (BUSHONG, 2017). Para mensurar a dose recebida em um exame de TC são considerados alguns parâmetros discutidos a seguir.

Quando se trata de mensurar a dose na TC, uma das principais grandezas aplicadas é o Índice de Dose da Tomografia Computadorizada (CTDI) que é definido como a exposição recebida pelo paciente ao longo de uma rotação axial de 360° do tubo de raios X dividido pela espessura do paciente que foi exposta. Ou seja, o CTDI é um indicador que mede a saída de radiação para um protocolo de exame específico, porque leva em consideração informações específicas do protocolo (AAPM, 2010; BUSHONG, 2017).

Para calcular o CTDI são utilizados objetos simuladores, o chamado *phantom*. Na Figura 3 observa-se o *phantom* de polimetilmetacrilato (PMMA), sendo que para os exames de corpo com 32 cm e outro de 16 cm para exames de crânio. O *phantom* possui cinco orifícios, onde são inseridos a câmara de ionização tipo lápis, de forma que as medidas são realizadas no centro e na periferia do simulador (AAPM, 2010; CAPAVERDE, 2015).

Figura 3 - Phantom em acrílico com respectiva furação para câmara de ionização



Fonte: AAPM (2010).

Para mensurar o CTDI de um dado volume nos tomógrafos multicortes, inicia-se aplicando a equação (1) com o parâmetro denominado $CTDI_{100}$, uma vez que o CTDI deve ser medido utilizando uma câmara de ionização do tipo lápis com um comprimento fixo de 100 mm, como visto na figura supracitada (AAPM, 2008; CAPAVERDE, 2015).

$$CTDI_{100} = \frac{(1)}{NT} \int_{-50}^{50} D_{\text{único}}(z) dz \quad (1)$$

Em que:

N = é o número de cortes adquiridos ao longo do escaneamento

T= é a espessura nominal de cada secção

D= único é o valor de dose registrado no eletrômetro.

Para cada um dos 5 pontos medidos no *phantom*, é calculado o valor do $CTDI_{100}$. Partindo do princípio que o CTDI decresce linearmente desde a superfície até ao centro do *phantom* utilizado para realizar a medição, o valor da dose de radiação média absorvida é aproximadamente igual ao valor do CTDI ponderado, neste caso criou-se o $CTDI_w$. O $CTDI_w$ fornece uma média ponderada das medições do centro e da periferia do volume dentro do plano de varredura, sendo calculado conforme a equação 2 (AAPM, 2008; CAPAVERDE, 2015).

$$CTDI_w = \left(\frac{1}{3}\right)(CTDI_{100})_{\text{centro}} + \left(\frac{2}{3}\right)(CTDI_{100})_{\text{periférico}} \quad (2)$$

Em que:

$CTDI_{100\text{centro}}$ = é o valor medido no centro do *phantom*

$CTDI_{100\text{periférico}}$ = representa a média aritmética das medidas realizadas nas quatro posições da periferia do *phantom*.

Os tomógrafos helicoidais possuem o parâmetro chamado de $CTDI_{vol}$ (volumétrico) foi adicionado, onde considera-se a distância percorrida pela mesa durante uma rotação de 360° do *gantry* e sua respectiva espessura, ou seja, $CTDI_{vol}$ é o $CTDI_w$ corrigido pelo *pitch*. Desse modo, $CTDI_w$ representa a dose média de radiação absorvida considerando as direcções x e y (Figura 1) do plano de rotação da TC, já o $CTDI_{vol}$ representa a dose média de radiação dentro do volume irradiado nas direcções x, y e z (Figura 1). Para o cálculo deste parâmetro utiliza-se a equação (3) (AAPM, 2008; CAPAVERDE, 2015).

$$CTDI_{vol} = \frac{CTDI_w}{pitch} \quad (3)$$

Em que:

$CTDI_w$ = é uma média ponderada do $CTDI_{100}$ central e periférico

Pitch = deslocamento da mesa dividido espessura do corte e multiplicado pelo número de fileiras detectoras

O $CTDI_{vol}$ manifesta algumas limitações para seu uso, dado que refere-se a dose média absorvida dentro de um determinado volume irradiado e não reflete a dose de um exame de forma total. A partir desta limitação, criou-se um novo parâmetro para mensurar a dose em TC, chamado de Produto Dose Comprimento (DLP), a qual a unidade de medida é mGy.cm. Para o cálculo do DLP são utilizados o $CTDI_{vol}$ e o comprimento de aquisição (*L*) varredura longitudinal de todo exame (cm), conforme equação (4) (AAPM, 2008).

$$DLP = CTDI_{vol} \times L \quad (4)$$

Em que:

$CTDI_{vol}$ = representa a dose média de radiação dentro do volume irradiado (mGy.cm)

L = é o comprimento de aquisição (cm)

Portanto, o DLP é um parâmetro que aumenta com o aumento do comprimento da varredura, enquanto o $CTDI_{vol}$ permanece a mesma independentemente do número de fatias ou comprimento (TACK; ABADA, 2007). Ao final de cada exame, é gerado uma imagem com informações do DLP, $CTDI_{vol}$, kV e mAs de cada fase do exame e que idealmente deve estar disponível para fácil consulta (ODELI, 2017).

Finalmente, todos os parâmetros supracitados são usados em conjunto para possibilitar a estimativa da dose, e assim possibilitar o desenvolvimento dos níveis de referência de diagnóstico (DRL). Os níveis de referência são usados em imagens médicas para indicar se, em condições de rotina, os níveis de dose do paciente para um procedimento de imagem específico, é alto ou baixo para esse procedimento. Se assim for, uma revisão local deve ser iniciada para determinar se a proteção foi adequadamente otimizada ou se uma ação corretiva é necessária (ICRP, 2017). Nesse sentido, os níveis de referência de diagnóstico se aplicam às exposições à radiação de pacientes, resultado de procedimentos de radiodiagnóstico, de forma que não há ligação direta com valores dos limites de dose ou restrições de dose (ICRP, 2007).

2.4 Dose efetiva em Tomografia Computadorizada

A partir da necessidade de estimar riscos à saúde do paciente submetido a exames de radiodiagnóstico foi estabelecido métodos dosimétricos. Onde a principal grandeza desenvolvida para quantificar a dose foi a dose efetiva (E). Inicialmente esta foi criada para estabelecer um balanço entre risco e benefícios em exames médicos que utilizam radiação ionizante. Contudo, há uma discussão em sua aplicabilidade na comunidade científica, sabe-se que a mesma é utilizada para comparar danos decorrentes de procedimentos desde que seja calculada para populações de pacientes com idade e gênero compatíveis. Bem como, pode ser aplicada na comparação entre diferentes procedimentos e/ou técnicas, contanto que seja aplicado em um paciente de referência, ou ainda em populações semelhantes no que tange a idade e o gênero (COSTA *et al.*, 2016; ICRP, 2021).

Como descrito anteriormente o conceito de dose efetiva reflete a dose de radiação média, por sexo e idade, a mesma pode ser empregada na radioproteção aos indivíduos expostos. Apesar de que em relação a esta última aplicabilidade há limitações, no entanto, sua utilização facilita a comparação do efeito biológico entre exames diagnósticos de diferentes tipos (AAPM, 2008, ICRP, 2007).

É necessário saber que os potenciais efeitos biológicos da radiação dependem não apenas da dose de radiação para um determinado tecido ou órgão, mas também da radiosensibilidade do tecido ou órgão irradiado. A dose em uma extremidade não tem o mesmo efeito biológico potencial (prejuízo) que uma dose na pelve (AAPM, 2008). Por isso, o cálculo da dose efetiva é fundamentado na soma ponderada das doses equivalente de todo o órgão e/ou tecido do corpo que foi irradiado, como visto na equação 5.

$$E = \sum_t W_t \cdot H_t \quad (5)$$

Em que:

W_T = é o fator de ponderação do tecido e/ou órgão

H_T = é a dose equivalente atribuída a este determinado tecido e/ou órgão (mSv)

A dose efetiva é um descritor de dose que reflete essa diferença na sensibilidade biológica, é um parâmetro de dose única que reflete o risco de uma exposição não uniforme em termos de uma exposição de corpo inteiro. É importante lembrar, entretanto, que a dose efetiva descreve a dose relativa de “corpo inteiro” para um determinado exame (AAPM, 2008). As unidades de medida para dose efetiva são o *sievert* e sua subunidade *millisievert* (mSv), comumente usados em radiologia diagnóstica (ICRP, 1991; AAPM, 2008).

A maneira mais direta de estimar doses para pacientes submetidos a exames de TC é medir as doses em órgãos em *phantoms* semelhantes a pacientes com uso de dosímetros. Outra forma de se obter o padrão de deposição de energia em pacientes submetidos a exames de tomografia é por cálculo. *Softwares* que usam o método Monte Carlo, simulam a interação de um grande número de fótons de raios X em um *phantom* virtual que estima a probabilidade dos processos dessas interações, seja Efeito Compton ou fotoelétrica. Quando os pacientes diferem em tamanho e composição são necessárias correções das informações usadas. A

informação resultante é a dose absorvida em um tecido específico, que pode ser usada para prever as consequências biológicas para aquele (único) tecido. Os exames de TC, no entanto, irradiam vários tecidos com diferentes sensibilidades à radiação. Assim, utiliza-se a dose efetiva que leva em consideração a quantidade de radiação recebida por um tecido individual, bem como a sensibilidade relativa à radiação do tecido (AAPM, 2008).

Quando tratamos da estimativa de dose efetiva nos exames de TC é necessário considerar dois fatores: o primeiro DLP, e o segundo o fator de conversão, chamado de coeficiente k , que está diretamente relacionado a região do corpo que será examinada (EUROPEAN COMMISSION, 2008), como visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Fatores de conversão (k) aplicáveis para exames de TC

Região anatômica de cada protocolo	E/DLP (mSv/mGy.cm)
Crânio	0,0021
Pescoço	0,0059
Tórax	0,014
Abdome e pelve	0,015
Pelve	0,015
Tronco	0,015

Fonte: EUROPEAN COMMISSION (2008).

Os fatores de conversão (k) são aplicáveis somente ao tipo de exame e paciente específico. Além disso, é importante destacar que os fatores de conversão estão relacionados ao tamanho do *phantom*, fatores de ponderação definidos pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), região anatômica, voltagem do tubo de raios X, idade do paciente e tamanho do paciente (HUDA; METTLER, 2011). Para realizar o cálculo de dose efetiva baseado nos fatores supracitados aplica-se a equação 6 (EUROPEAN COMMISSION, 2008).

$$E = k \cdot DLP \quad (6)$$

Em que:

k = Fator de conversão (mSv/mGy.cm)

DLP = produto dose comprimento (mGy.cm)

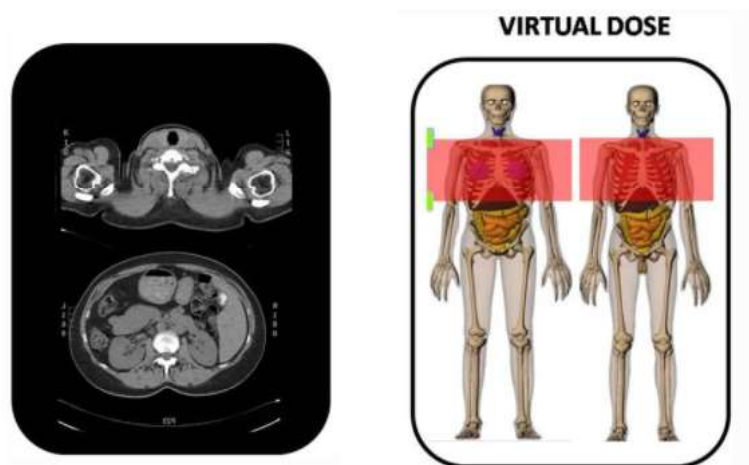
A AAPM (2008) assume que os valores obtidos a partir deste cálculo são consistentes, apresentando um desvio máximo de aproximadamente 10% a 15%.

2.5 Programas computacionais para estimativa de dose em Tomografia Computadorizada

Os *phantoms* são modelos geométricos estilizados, voxelizados ou em malha do corpo humano, geralmente chamados de primeira, segunda ou terceira geração. Os *phantoms* podem ser físicos ou ainda virtuais/matemáticos, estes últimos são compostos de equações geométricas de superfície 3D que definem a anatomia do órgão interno e o perfil externo do corpo. Os órgãos individuais são compostos de vários objetos geométricos, como esferas, elipsóides, cones, cilindros, prismas ou toróides, como disposições únicas ou combinações geométricas. O phantom também pode possuir outras características anatômicas, como a forma, a profundidade e a posição do órgão dentro do corpo. Ressalta-se que estes phantoms são apenas representações da anatomia humana interna. Em geral, a limitação da modelagem geométrica do órgão simulado, resulta em uma distância entre os órgãos que não é vista na anatomia humana (SAMEI; PELC, 2020).

Para execução deste estudo foi utilizado o *software Virtual Dose®*, um aplicativo financiado pelo *National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering* dos EUA (VIRTUAL PHANTOMS, 2023). Na Figura 4, observa-se a representação do *phantom* em relação a região anatômica definida por uma imagem, a partir desta é possível definir os marcos anatômicos iniciais e finais da varredura da TC. Ressalta-se que o software possui um conjunto de phantoms do tipo voxels que representam homens, mulheres e crianças de diferentes idades (recém-nascido, 5, 10 e 15 anos de idade), além de que possui também *phantoms* que representam gestantes, considerando os três trimestres de gestação, e pacientes obesos com diferentes índices de massa (MATTIA *et al.*, 2020).

Figura 4 - Phantom software Virtual Dose®



Fonte: Adaptado de Mattia *et al.*, (2020).

Os *phantoms* virtuais são amplamente utilizados em software que realizam a estimativa de dose. Como é o caso do *Virtual Dose*® que disponibiliza estimativas de dose em órgãos de pacientes adultos e pediátricos, que se submetem a exames de TC. O *software* é baseado em um banco de dados abrangente de doses em órgãos, derivadas de simulações Monte Carlo, que envolve uma biblioteca com 25 *phantoms* anatomicamente realistas que representam pacientes de diferentes idades, tamanhos corporais, massas corporais e estágios de gravidez. A estrutura do *software* permite acessar a interface baseada na *web*, simultaneamente de qualquer computador e sem a necessidade de instalar o *software* localmente (DING *et al.*, 2015).

2.6 Estudos de estimativa de dose em órgãos e tecidos em Tomografia Computadorizada

Apesar do equipamento da TC fornecer estimativas de dose no paciente baseados em certas medidas, esse resultado ainda não representa de forma fidedigna a dose recebida pelo paciente. Nesse sentido, os *softwares* computacionais podem mensurar a dose dos órgãos e tecidos bem como a dose efetiva baseado nos parâmetros de varreduras, regiões anatômicas e *phantoms* específicos.

Apesar da aplicabilidade dos softwares para mensuração de dose em TC existe uma variabilidade nos resultados ao comparar as ferramentas entre si. Isto ocorre com o *software CT-Expo* e *ImPACT*, onde o *phantom* de cálculo é baseado em um modelo de anatomia simplificado, e por isso, ao compará-lo com o *Virtual Dose*[®] que utiliza *phantoms* geometricamente mais realista, existe uma discrepância nos resultados de dose de TC relatados (DING *et al.*, 2012).

Ainda assim, os softwares são utilizados para estimar a dose recebida. Como é o caso descrito no estudo de Karim *et al.*, (2016) que investigou a dose recebida em exames de TC com intuito de comparar com os níveis de referência diagnósticos da região correspondente, no caso na Malásia. Para isso foi utilizado o *CT-Expo*, foi avaliado os valores médios de CTDI, DLP e dose efetiva para pacientes que foram submetidos a vários exames de TC e concluiu-se que os valores estavam de acordo com os níveis de referência. Contudo, evidencia a relevância deste tipo de estudo, uma vez que por meio dos resultados é possível identificar os exames que precisam sofrer modificações com a finalidade de torná-los otimizados, além de demonstrar a necessidade de treinamento e educação continuada dos profissionais envolvidos no processo laboral.

Fundamentado na importância do registro de doses em indivíduos pediátricos e adolescentes Lee *et al.* (2012) estabeleceu um banco de dados de dose nos órgãos de referência a partir da simulação Monte Carlo e relacionando com estudos que utilizam os *phantoms* computacionais, no caso *CT-Expo*. Dessa forma, será possível estabelecer estimativas de dose nos órgãos para pacientes de diferentes idades, sexo, tipo de exame e modelo de equipamento.

3 MATERIAS E MÉTODOS

O presente estudo possui desenho metodológico com abordagem quantitativa, caracterizado em relação aos objetivos como exploratória, e considerando os procedimentos técnicos como documental do tipo retrospectivo seccional. Para a coleta de dados foi utilizado um instrumento, o mesmo foi construído e fundamentado nos parâmetros necessários para o cálculo de dose no *software Virtual Dose®*.

3.1 Delineamento da pesquisa

A primeira fase da pesquisa foi a definição do objeto do estudo, neste caso trata-se de exames de TC, selecionados em um serviço de saúde de Santa Catarina. Após a seleção das amostras, a coleta de dados foi dada por meio da extração das informações provenientes do cabeçalho DICOM na imagem de TC, sendo caracterizadas como dados de entrada, conforme Apêndice A.

Essas informações foram viabilizadas junto ao Sistema Integrado Catarinense de Telemedicina e Telessaúde (STT/SC). Todas as informações de identificação do paciente foram tratadas de forma anônima, para a coleta de dados foram utilizados exames no período de 25 a 31 de dezembro de 2022.

As informações foram coletadas do cabeçalho DICOM de exames de tórax e abdome total (abdome+pelve) com uma única aquisição helicoidal. As informações foram coletadas por meio da série 997 de cada exame, em seguida os dados foram inseridos na ferramenta *Dose Utility* para gerar os relatórios estruturados e assim obter o Registro de Dose Estruturado (RDSR) em formato de texto (Apêndice B). Em seguida as informações textuais foram inseridas em bloco no *software Virtual Dose®* para análise dosimétrica dos órgãos específicos. Destaca-se que de acordo com AAPM (2015), a definição de limites anatômicos para os exames de tórax é do topo até o fundo dos pulmões, enquanto o protocolo de abdome é do topo do fígado até a sínfise púbica.

3.1.1 *DoseUtility*

O *DoseUtility*TM é uma ferramenta gratuita de código aberto que possui uma interface que permite importar e analisar os dados do RDSR, possibilitando a geração de relatórios de dose personalizados. Seu funcionamento é baseado na linguagem Java, sendo que pode ser executado em qualquer plataforma, sem instalação local e a partir do uso direto da *Web* (PIXELMED PUBLISHINGTM).

A ferramenta foi utilizada, pois extrai informações do RDSR que é um documento e/ou relatório do padrão DICOM que possui informações referentes às doses entregues aos pacientes, entre os principais dados encontra-se: CTDIvol; DLP; e *scan ranger* (*scan length*) (SOUZA *et al.*, 2022). Este recurso foi disponibilizado recentemente nos equipamentos de TC, sendo uma fonte de dados para o gerenciamento de dose de radiação. Portanto, a partir da análise do relatório, os usuários podem avaliar a dose de radiação em seus pacientes e identificar áreas onde podem melhorar a qualidade dos protocolos e otimizar a dose de radiação.

3.1.2 Tomógrafo Computadorizado - *GE Revolution EVO*

Neste subtítulo são apresentadas informações sobre o tomógrafo *Revolution*TM EVO da *General Electric (GE) Healthcare* a partir com base em seu manual de funcionamento (GENERAL ELECTRIC COMPANY, 2014). Trata-se de um equipamento de tomografia computadorizada do modelo *Revolution EVO*, com 64 canais, equipado com a reconstrução adaptativa de imagem, que ajuda a reduzir a dose de radiação para o paciente e melhorar a qualidade da imagem.

O controle automático de exposição do *Revolution*TM EVO da GE é chamado de "*Smart Dose*", tal recurso encontra-se habilitado nas configurações dos protocolos analisados neste estudo. Ele é um recurso que ajusta automaticamente os parâmetros de exposição à radiação com base na anatomia e na condição do paciente, a fim de obter imagens de alta qualidade com a menor dose de radiação possível. Nesta programação, três tecnologias atuam simultaneamente: *SmartmA*, *Organ Dose Modulation* (ODM) e *kV Assist*. Contudo, esta última ferramenta, *kV Assist*, não estava habilitada nos exames analisados.

O “*SmartmA*” funciona a partir do parâmetro denominado de índice de ruído (NI) que controla a saída de raios X. Na prática, um índice de ruído alto significa que as imagens apresentaram mais ruídos, e serão adquiridas com um mA inferior (menor dose), em quando um índice de ruído mais baixo as imagens apresentaram menor ruído, pois serão adquiridas com mA mais alto (maior dose). Este parâmetro deve ser revisado pelo usuário com vistas a atender a prática clínica considerando a qualidade da imagem *versus* dose.

A ODM modula automaticamente a corrente do tubo de raios X (mA) com base no tamanho e na forma do paciente, bem como na densidade dos tecidos, para otimizar a dose de radiação nos órgãos mais sensíveis enquanto mantém os níveis de ruído de imagem em outras áreas. Além disso, um ODM ajusta a corrente do tubo de raios X de acordo com o ângulo do feixe, ajudando a reduzir ainda mais a dose de radiação no paciente.

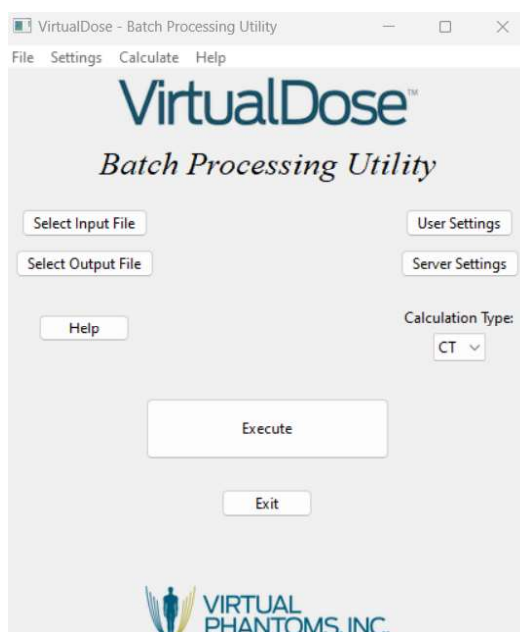
Já o *kV Assist* é um recurso de seleção de tensão do tubo que sugere o kV ideal com base na atenuação do feixe a partir da imagem do escanograma e/ou scout e do índice de ruído definido na programação do protocolo. Ou seja, a recomendação da *KV Assist* será um conjunto consistente de parâmetros que influenciam na aquisição da imagem e da exposição à dose de radiação. No capítulo de resultados, identifica-se que o recurso não foi utilizado, uma vez que todos os exames possuem kV fixo.

O equipamento no qual os dados foram coletados passou pelos seguintes testes de controle de qualidade: valores representativos de dose (anual), resolução espacial (anual), espessura de corte (anual), indicador de deslocamento da mesa (anual), indicador de posicionamento da mesa (anual), valor indicado do nº de CT (semanal ou após reparo), uniformidade do no de CT (semanal ou após reparo) e ruído (semanal ou após reparo). Destaca-se que o tomógrafo se encontra em conformidade à Resolução Normativa n. 002/DIVS/SES de 2015 em relação ao controle de qualidade (ESTADO DE SANTA CATARINA, 2015).

3.1.3 Virtual Dose

Na Figura 5 observa-se a interface de funcionamento do *software Virtual Dose*[®] CT para inserção em lote dos dados provenientes do cabeçalho DICOM da população de estudo.

Figura 5 - Layout do software para inserção em lote



Fonte: Adaptado Mattia *et al.*, (2020).

O *Virtual Dose*[®] CT é um *software* dedicado a simulação de dose de radiação, este programa possui diversos tipos de *phantoms* que simulam a anatomia humana de forma precisa. Para isso, o programa utiliza a simulação Monte Carlo, permitindo assim que os usuários avaliem as doses dos órgãos, além dos dados CTDI e DLP que por vezes são fornecidos pelo tomógrafo. O *software* conta com as recomendações mais recentes da ICRP - 60 (ICRP, 1991) e ICRP - 103 (ICRP, 2007) sobre a dose efetiva, sendo que é possível selecioná-la no momento do cálculo. Após preencher as informações necessárias o *software* realiza o cálculo da dose efetiva nos órgãos.

No Quadro 1 é apresentado os parâmetros coletados por meio *DoseUtility*TM via cabeçalho DICOM e seu respectivo parâmetro no *VirtualBatch Utility*.

Quadro 1 – Equivalência dos parâmetros

<i>DoseUtility™</i>	<i>VirtualDose – Batch Processing Utility</i>
ID	StudyID
Sex	PatientSex
Age	PatientAge
Protocol	ProtocolName
kVP	kVp
Filtro	BowtieType
CTDIvol mGy	No TCM CTDIvol
DLP mGy.cm	DLP
Pitch Factor	Pitch
Tube Current Mean/Max mA	No TCM mAs

Fonte: do autor (2023).

Para inserção em lote, os dados foram organizados considerando os parâmetros citados no Quadro 1 categorizando os dados da seguinte forma: *tórax (feminino e masculino) e abdome (feminino e masculino) por meio da ferramenta Microsoft® Excel®*. Destaca-se que para inserção em lote, assumiu-se a colimação padrão determinada pelo *Virtual Dose® CT* de acordo com o protocolo.

3.1.3.1 Phantom

Em função da inexistência das informações de altura e peso dos dados provenientes do cabeçalho DICOM, o *Virtual Dose® CT* assumiu-se como base as medidas de peso e altura dos *phantoms* fornecidos pelo próprio *software*. Portanto, a amostra foi categorizada de acordo com phantom disposto na ferramenta *Virtual Dose®* (*Adult Male-50th Percentile, Adult Female-50th Percentile*), sendo

categorizado de forma automática considerando as informações existentes da planilha de entrada.

3.2 Local de estudo

A coleta de dados foi realizada por meio da extração das informações provenientes da série 997 que contém o Relatório de Dose Estruturado (RDSR), advindas de exames realizados em um hospital de grande porte, na grande Florianópolis. As informações foram viabilizadas do Sistema Integrado Catarinense de Telemedicina e Telessaúde (STT/SC).

3.3 População

Definiu-se o termo população, pois foram coletados de forma censitária, todos os exames que respeitam o critério de inclusão. Logo, a população foi composta por 121 exames de TC.

3.3.1 Critérios de inclusão e exclusão

Foi adotado como critério de inclusão, exames de tomografia computadorizada de tórax e abdome total com apenas uma fase de aquisição, de pacientes com idade superior a 18 anos de ambos os gêneros, na faixa temporal de 25 de dezembro de 2022 a 31 de dezembro de 2022. O critério de exclusão foi exames com mais de uma fase de aquisição, protocolos de outras regiões anatômicas, e qualquer exame realizado em uma faixa temporal diferente da determinada.

3.4 Metodologia de análise de dados

Baseado nos resultados apresentados na ferramenta *Virtual Dose*[®], foi realizada uma análise preliminar dos dados quantitativos descrevendo sua variabilidade e realizando as estatísticas descritivas necessárias para caracterizar e

organizar os dados provenientes dos protocolos executados na tomografia computadorizada. Para o DLP e a dose média efetiva dos órgãos e tecidos (dados oriundos do *Virtual Dose*®) foi calculado as variáveis quantitativas: média e desvio padrão para cada protocolo oriundo do exame de TC.

Para calcular a dose do órgão (E), foram utilizados os parâmetros de varredura dos cabeçalhos *Digital Imaging and Communications in Medicine* (DICOM), que foram inseridas no *software Virtual Dose*®. A dose efetiva também foi calculada a partir do *Virtual Dose*® que apresenta o valor baseado na ICRP 60 (1991) e 103 (2007), sendo que para este estudo adotou-se a literatura mais atual. Isto porque, as recomendações da ICRP 103 de 2007 atualizaram os fatores de ponderação de radiação W_R e de tecidos W_T nas quantidades de dose equivalente e efetiva, com base nas informações científicas mais recentes.

3.5 Aspectos Éticos

O presente projeto seguiu todos os requisitos preconizados nas resoluções 466/12/CNS e 510/16 CNS (BRASIL, 2012). Ressalta-se que a pesquisa encontra-se aprovada no Comitê de Ética em Pesquisa/CEP sob parecer número 4.259.124 (Anexo A). A Lei nº 13.709/2018 que trata da proteção de Dados Pessoais foi respeitada durante a execução da pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados do estudo, para tanto organizou-se da seguinte forma: caracterização da amostra, protocolo de tórax, protocolo de abdome, dose efetiva e contribuições do estudo acerca da proteção radiológica aplicada na tomografia computadorizada. Por fim, no Apêndice A está disponível o manuscrito fruto dos resultados da dissertação.

4.1 Caracterização da amostra

A população foi composta por 120 exames de abdome e tórax com apenas uma fase de aquisição helicoidal, a idade da população variou de 19 a 88 anos, sendo que os resultados foram categorizados por protocolo. Foram coletados 27 exames de tórax, sendo do gênero feminino ($n= 12$) e do masculino ($n= 15$). Para o protocolo de abdome foram coletados 93 exames, sendo do gênero feminino ($n= 56$) e do masculino ($n= 37$).

4.1.1 $CTDI_{vol}$ e DLP no Protocolo de tórax

Na Tabela 2 observa-se a caracterização da população ($n= 27$) com a descrição da média, desvio padrão, mínima e máxima dos parâmetros para o protocolo de tórax. As aquisições foram realizadas com 120 kVp, *pitch* de 0,98 e a média da variação da corrente no tubo foi de 205 mA, sendo a corrente máxima de 400 mA.

Tabela 2 - Categorização dos exames de tórax coletados

Gênero Feminino													
Comprimento da varredura (cm)					CTDI _{vol} (mGy)				DLP (mGy.cm)				
Faixa etária	Média	Desvio padrão	Máxima	Mínimo	Média	Desvio padrão	Máxima	Mínimo	Média	Desvio padrão	Máxima	Mínimo	
27-36 (n= 2)	33,79	0,33	34,02	33,55	7,95	4,12	10,87	5,03	267,97	136,90	364,78	171,17	
47-56 (n= 3)	34,89	3,25	38,05	31,55	5,49	2,40	8,18	3,54	196,53	103,12	311,32	111,69	
57-66 (n= 1)	33,56		33,56	33,56	13,27		13,27	13,27	445,39		445,39	445,39	
67-76 (n= 1)	33,57		33,57	33,57	8,27		8,27	8,27	277,63		277,63	277,63	
77-86 (n= 5)	33,43	3,32	39,06	30,55	7,442	2,23	11,03	5,56	245,498	60,34	337,03	178,14	
Gênero Masculino													
25-34 (n=2)	340,60	48,26	374,73	306,48	9,95	1,71	11,17	8,74	340,60	48,26	374,73	306,48	
35-44 (n=2)	329,66	148,25	434,5	224,83	9,02	4,51	12,22	5,83	329,66	148,25	434,5	224,83	
45-54 (n=4)	416,15	109,15	538,58	275,5	11,06	2,67	13,27	7,64	416,15	109,15	538,58	275,5	
55-64 (n=1)	470,21		470,21	470,21	13,22		13,22	13,22	470,21		470,21	470,21	
65-75 (n=6)	370,51	132,97	491,85	177,76	10,21	3,62	13,27	5,00	370,51	132,97	491,85	177,76	

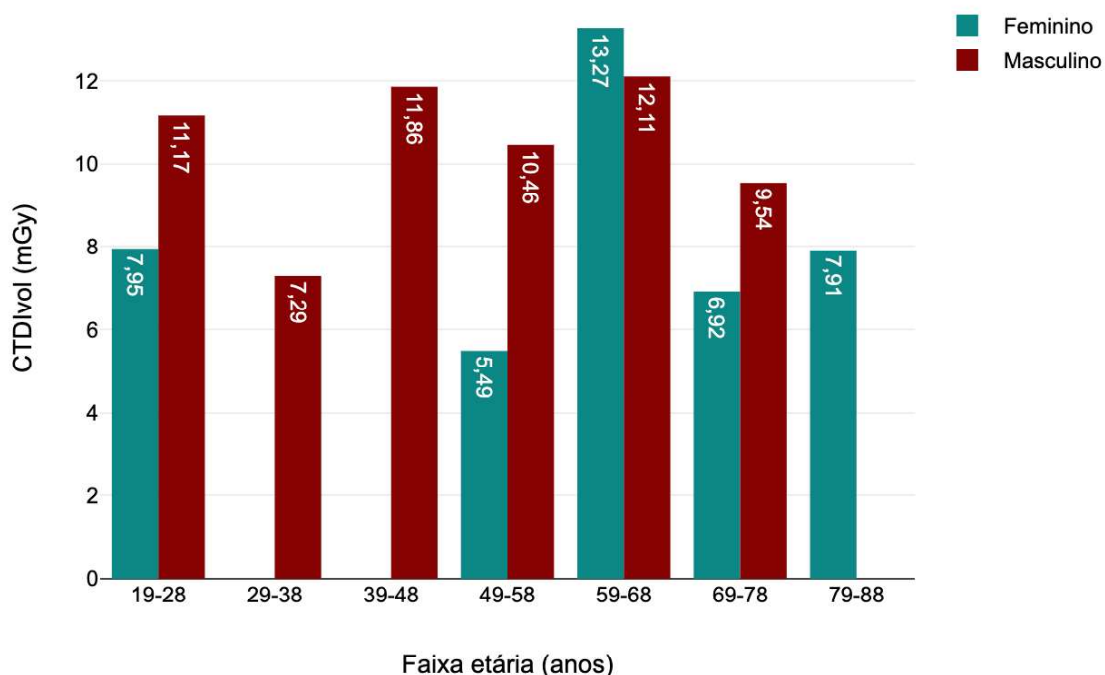
Fonte: do autor (2023).

Ao relacionar o resultado desta pesquisa com estudo semelhante que avaliou 600 casos de TC de tórax observa-se correspondência dos resultados nos seguintes aspectos: as varreduras foram de 120 kVp e o *pitch* de 0,984. As diferenças no que diz respeito à corrente do tubo variaram de 180 mA dependendo do controle automático de exposição que considera o tamanho e densidade da região escaneada, bem como o índice de ruído (GAO *et al.*, 2020).

O CTDI_{vol} representa a dose média de radiação absorvida dentro de um determinado volume irradiado, ou seja, ele não representa a dose de um exame, e sim apenas de uma fatia ou corte. No gênero feminino, a faixa etária que apresentou maior variabilidade foi de 27-36 anos com valor máximo de 10,87 mGy e mínimo de 5,03 mGy. Já para o masculino a faixa etária com maior variação foi de 65-75 anos com valor máximo de 13,27 mGy e mínimo de 5,00 mGy.

Nesse estudo o gênero masculino apresentou maior valor médio (10,40 mGy) de CTDI_{vol} em relação ao feminino (8,30 mGy). Na Figura 6 observa-se que a faixa etária com maior valor numérico CTDI_{vol} foi a de 59-68 anos para o gênero masculino (12,11 mGy) e feminino (13,27 mGy).

Figura 6 - $CTDI_{vol}$ médio por faixa etária e por gênero para exames de tórax

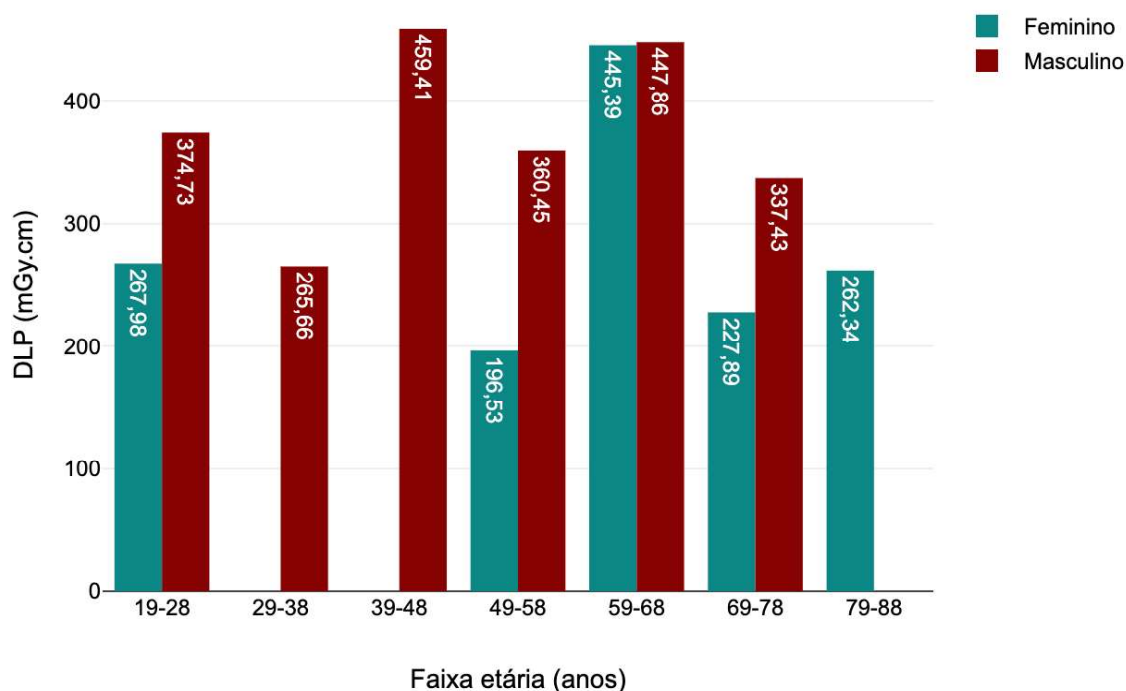


Fonte: do autor (2023).

Ao avaliar o DLP, observa-se que o gênero masculino recebeu doses maiores ao relacionar os valores com a do gênero feminino, assim como visto no $CTDI_{vol}$, uma vez que o DLP é produto do $CTDI_{vol}$ pelo comprimento de varredura, ou seja, diretamente proporcional.

O gênero masculino apresentou maior valor médio do DLP, sendo de 374,25 mGy.cm, enquanto a média do gênero feminino foi de 280,02 mGy.cm. Sobre a análise do DLP, houve um caso do gênero masculino (faixa etária de 59-68 anos) em que o valor médio foi de 447,85 mGy.cm, enquanto o feminino mais alto foi de (445,39 mGy.cm). Nesta categorização, a faixa etária com maior valor numérico DLP foi a de 39-48 anos para o gênero masculino (459,41 mGy.cm), sendo que a média geral para toda população foi de 331,42 mGy.cm (Figura 7).

Figura 7 - DLP médio por faixa etária e por gênero para exames de tórax



Fonte: do autor (2023).

Além da análise por agrupamento de faixa etária, foi realizada também uma análise dos valores de CTDIvol e DLPs por quartis. Os valores foram apresentados graficamente no modelo *box plot*, no qual o primeiro quartil equivale ao intervalo no qual se localiza 25% dos menores valores, o terceiro quartil equivale ao intervalo no qual se localiza-se 75% dos maiores valores e a mediana (ou segundo quartil) faixa na qual ocorre a divisão entre a metade superior e metade inferior da amostra. Além disso, foram apresentados também os valores máximos e mínimos, que correspondem ao valor mínimo e máximo do conjunto de dados, respectivamente.

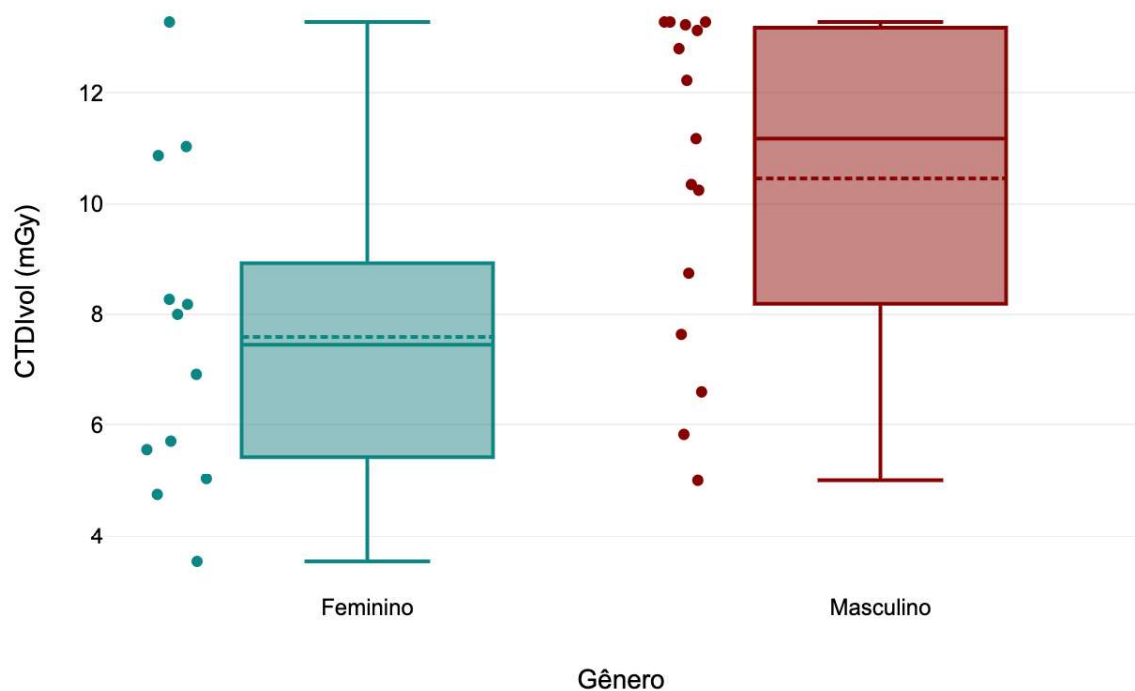
Na Tabela 3 são apresentados os valores em quartis de CTDIvol e DLP obtidos para o protocolo de tórax em ambos os gêneros.

Tabela 3 - Dados CTDI_{vol} e DLP, em quartis, para ambos os gêneros no protocolo de tórax

Dados	CTDI _{vol} (mGy)		DLP (mGy.cm)	
	Feminino	Masculino	Feminino	Masculino
Mínimo	3,54	5,00	111,69	177,76
1º Quartil	5,43	8,19	176,40	290,99
Mediana	7,45	11,17	245,83	405,15
3º Quartil	8,92	13,17	317,75	457,80
Máximo	13,27	13,27	445,39	538,58

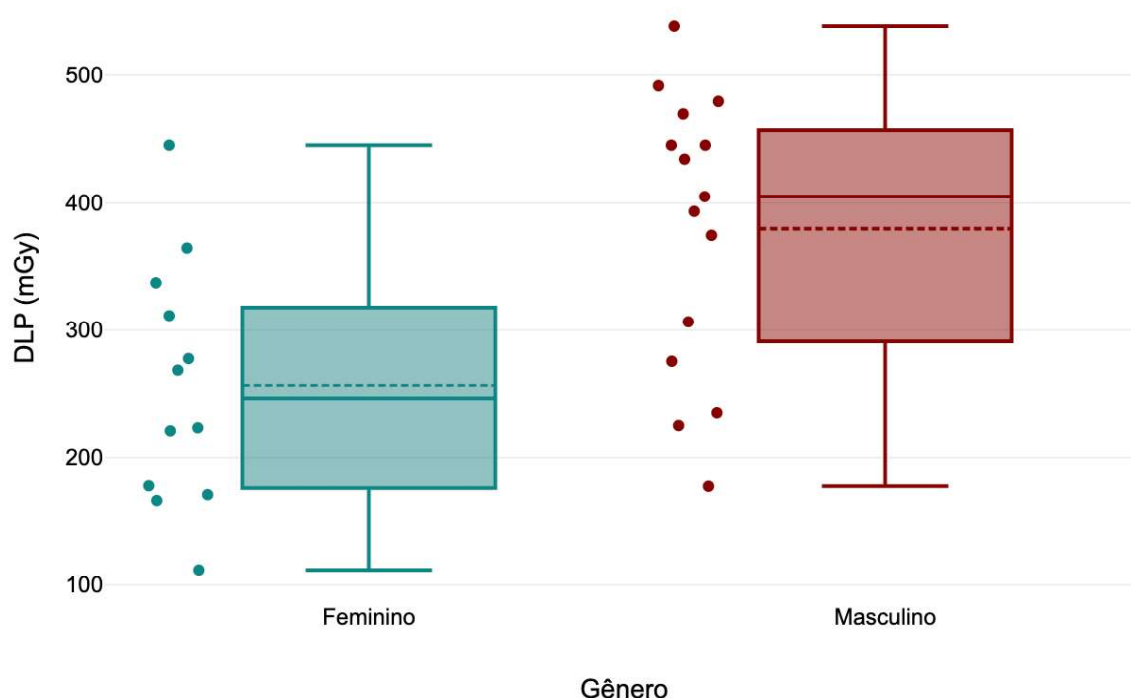
Fonte: do autor (2023).

Para o protocolo de tórax, o terceiro quartil dos valores de CTDI_{vol} foi de 8,92 mGy para o gênero feminino e de 13,17 mGy para o masculino; enquanto que o DLP foi de 317,75 mGy.cm e 457,80 mGy.cm, para os gêneros feminino e masculino, respectivamente (Figura 8 e 9).

Figura 8 - Gráfico Blox Plot - CTDI_{vol} por gênero no protocolo de tórax

Fonte: do autor (2023).

Figura 9 - Gráfico Blox Plot - DLP por gênero no protocolo de tórax



Fonte: do autor (2023).

4.1.2 Dose em órgão no protocolo de tórax

Além da análise do DLP, é possível estimar a dose absorvida nos órgãos específicos. Esta avaliação é fundamental ao analisar a exposição cumulativa ao longo da vida que poderá resultar no aumento da possibilidade de desenvolvimento de doenças.

Pode-se notar que houve coincidência dos órgãos que receberam maior dose em ambos os sexos. Na análise da dose absorvida dos órgãos e tecidos listados pelo *software Virtual Dose®*, considerando os exames de TC de tórax, as estruturas que receberam as doses mais elevadas tanto no gênero feminino quanto masculino foram: coração, pulmão, timo e mama.

O *software Virtual Dose*[®] permite a avaliação dosimétrica de diversos órgãos e tecidos que compõem a anatomia humana. Na Tabela 4 observa-se a descrição da dose absorvida (mGy) nos órgãos e tecidos que receberam os maiores valores para o protocolo de tórax, são apresentados os valores de dose média, desvio padrão valor da dose mínima e máxima.

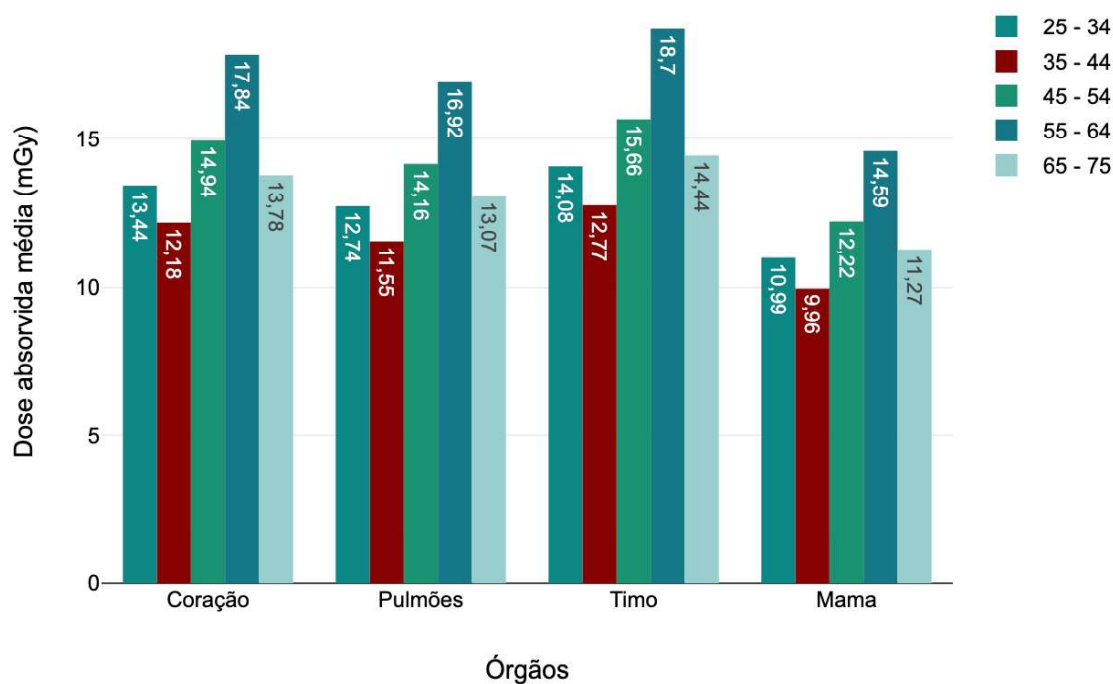
Tabela 4 - Descrição da dose absorvida dos órgãos e tecidos dos exames de TC tórax

Órgãos	Feminino (n=12) Dose absorvida (mGy)				Masculino (n=15) Dose absorvida (mGy)				População total (n=27) Dose absorvida (mGy)			
	Média	Desvio padrão	Máxima	Mínima	Média	Desvio padrão	Máxima	Mínima	Média	Desvio padrão	Máxima	Mínima
Adrenais	5,56	2,88	12,64	2,42	4,26	1,22	5,41	2,04	5,12	2,36	12,64	2,04
Medula óssea	2,87	1,46	6,41	1,25	3,66	1,04	4,64	1,75	3,44	1,27	6,41	1,25
Mama	8,11	3,05	14,43	3,85	11,53	3,29	14,65	5,52	10,11	3,57	14,65	3,85
Vesícula biliar	5,11	2,12	9,18	2,22	4,98	1,42	6,33	2,38	5,14	1,79	9,18	2,22
Coração	9,28	3,49	16,51	4,40	14,10	4,02	17,91	6,75	12,09	4,43	17,91	4,40
Fígado	4,77	2,60	11,37	2,08	5,79	1,65	7,35	2,77	5,61	2,15	11,37	2,08
Pulmões	9,83	3,70	17,50	4,67	13,37	3,82	16,98	6,40	11,93	4,10	17,50	4,67
Linfonodos	2,39	2,58	10,12	1,04	3,86	1,10	4,90	1,85	3,62	1,94	10,12	1,04
Esôfago	6,46	2,43	11,49	3,07	7,70	2,20	9,78	3,68	7,22	2,37	11,49	3,07
Pâncreas	7,30	2,69	11,91	3,18	7,52	2,15	9,56	3,60	7,43	2,42	11,91	3,18
Baço	6,26	2,70	11,77	2,72	6,53	1,86	8,29	3,12	6,56	2,29	11,77	2,72
Estômago	5,28	2,28	9,93	2,30	5,64	1,61	7,17	2,70	5,62	1,95	9,93	2,30
Timo	10,45	3,94	18,59	4,96	14,78	4,22	18,77	7,07	12,96	4,58	18,77	4,96
Tireoide	2,14	0,81	3,80	1,01	3,28	0,93	4,16	1,57	2,80	1,03	4,16	1,01

Fonte: do autor (2023).

Na Figura 10 e 11 observa-se a distribuição da dose nos órgãos que mais foram expostos para o gênero masculino, sendo que a dose média no coração foi de 14,10 mGy (máxima de 17,91 mGy - 51 anos e mínima de 6,75 mGy - 73 anos) o pulmão teve dose média de 13,36 mGy (máxima de 16,98 mGy - 75 anos e a mínima de 6,40 mGy - 73 anos), para o timo a dose média foi de 14,78 mGy (18,77 mGy de dose máxima - 75 anos e 7,07 mGy - 73 anos de dose mínima) e na mama a dose média foi de 11,53 mGy (dose máxima de 14,65 mGy - 75 anos e a mínima de 5,52 mGy - 73 anos).

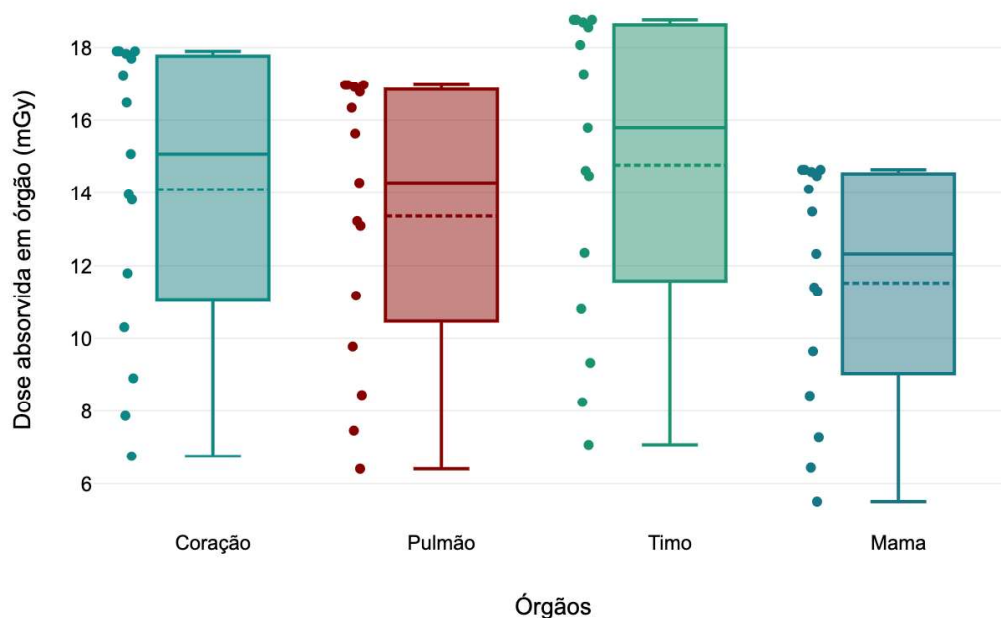
Figura 10 - Dose absorvida média (mGy) nos órgãos/ tecidos mais expostos por faixa etária no exame de tórax para gênero masculino



Fonte: do autor (2023).

Para o protocolo de tórax no gênero masculino, o terceiro quartil dos valores de dose absorvida mais elevado ocorreu no timo com 18,63 mGy, e para o gênero feminino 12,67 mGy nos pulmões (Figura 6 e 7).

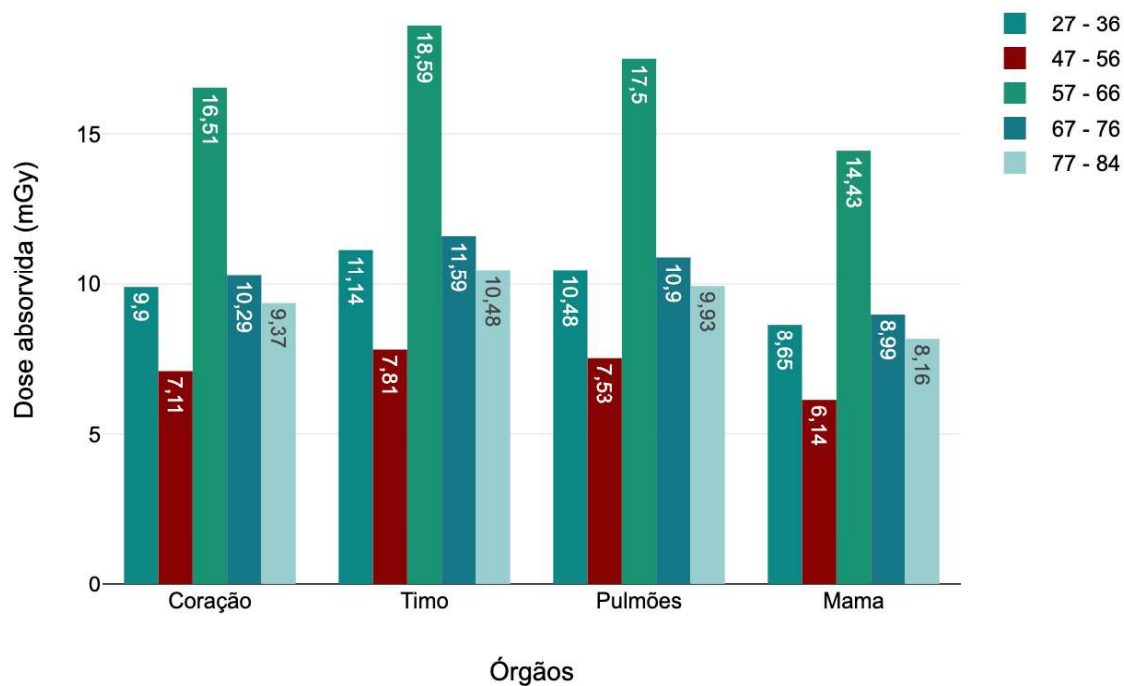
Figura 11 - Gráfico Blox Plot - Dose absorvida (mGy) nos principais órgãos no protocolo de tórax - gênero masculino



Fonte: do autor (2023).

Já nas Figuras 12 e 13 são apresentadas as distribuições das doses absorvidas para o protocolo de tórax no gênero feminino. Sendo que a dose média absorvida para o coração foi de 9,27 mGy com máxima de 16,51 mGy - 62 anos e a mínima de 4,40 mGy - 51 anos; a dose média absorvida no timo foi de 10,44 mGy e apresentou 18,59 mGy - 62 anos de dose máxima de 4,96 mGy - 51 anos de dose mínima; a dose média absorvida no pulmão foi 9,83 mGy com dose máxima de 17,50 mGy - 62 anos e a mínima de 4,67 mGy - 51 anos, dose média absorvida na mama foi 8,10 mGy e a dose máxima foi 14,43 mGy - 62 anos e com mínima de 3,85 mGy - 51 anos.

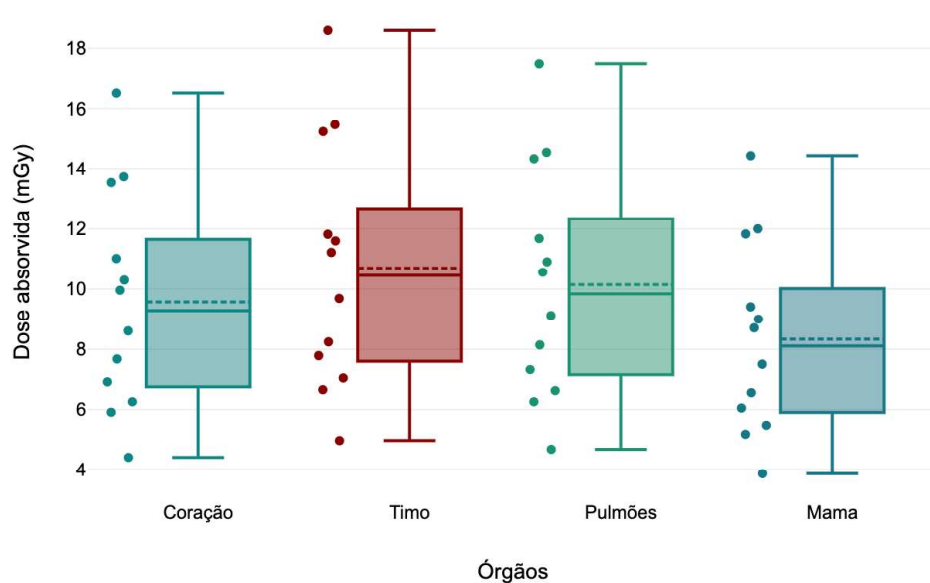
Figura 12 - Dose absorvida média (mGy) nos órgãos/ tecidos mais expostos por faixa etária no exame tórax para gênero feminino



Fonte: do autor (2023).

Os valores apresentados nas Figuras 11 e 13 são apresentados em detalhes na Tabela 5.

Figura 13 - Gráfico Blox Plot - Dose absorvida (mGy) nos principais órgãos no protocolo de tórax - gênero feminino



Fonte: do autor (2023).

Os dados para dose em órgãos masculinos e femininos no tórax também foram analisados em quartis (Tabela 5). Os órgãos que apresentaram maiores valores de dose no terceiro quartil foram Timo com 18,63 mGy (masculino), e Pulmão com 12,67 mGy (feminino).

Tabela 5 - Dados de dose absorvida em órgão para ambos os gêneros no protocolo de tórax

Dados	Dose em órgão (mGy)							
	Masculino (n=15)				Feminino (n=12)			
	Coração	Pulmão	Timo	Mama	Coração	Pulmão	Timo	Mama
Mínimo	6,75	6,40	7,07	5,52	4,40	4,96	4,67	3,85
1º Quartil	11,06	10,48	11,59	9,04	6,76	7,61	7,16	5,91
Mediana	15,08	14,29	15,80	12,33	9,27	10,44	9,83	8,10
3º Quartil	17,78	16,86	18,63	14,54	11,64	12,67	12,34	10,01
Máximo	17,91	16,98	18,77	14,65	16,51	18,59	17,50	14,43

Fonte: do autor (2023).

De acordo com o Colégio Brasileiro de Radiologia (2021), o protocolo de tórax consiste na aquisição do ápice pulmonar ao diafragma, onde deve ser visualizado o parênquima pulmonar. Entretanto, na parte inferior do tórax alguns órgãos, como fígado, baço, pâncreas, estômago, vesícula biliar e até as adrenais podem receber

uma dose de radiação a depender da anatomia do paciente. O fato pode ser observado a partir da análise da tabela acima, em que se observa a exposição de tais órgãos.

Além disso, a população apresentou uma variabilidade nos resultados da dose efetiva dos órgãos, principalmente no timo com dose efetiva média de 12,96 mGy e desvio padrão de 4,58, seguido coração com dose efetiva média de 12,09 mGy e desvio padrão de 4,43. Ainda sobre a dose absorvida, a tireoide recebeu a dose média de 3,2 mGy, o resultado difere do estudo de Gao *et al.*, (2020), o qual no protocolo de tórax a tireoide recebeu uma dose relativamente alta de 10 mGy por exame devido ao alcance do exame supraclavicular que cobriu esse órgão superficial.

Ao relacionar os resultados desta pesquisa com o estudo de Gao *et al.*, (2020) observa-se achados semelhantes em alguns aspectos. O primeiro diz respeito a uma maior exposição das mamas no gênero masculino ao comparar com o feminino. Ainda relacionando os resultados, o esôfago e a medula óssea vermelha apresentaram em toda população dose média semelhante, nesta pesquisa foi de 7,22 mGy e 3,44 mGy, respectivamente, enquanto o estudo de Gao *et al.*, (2020) a dose absorvida do esôfago e a medula óssea vermelha foi de 6,4 mGy e 3,6 mGy, respectivamente. Outros resultados foram distintos, no estudo de Gao *et al.*, (2020) o fígado (9,4 mGy) recebeu uma dose maior ao comparar com este estudo (5,61 mGy). Em contrapartida, os pulmões (11,93 mGy) receberam uma dose maior neste estudo ao relacionar com a pesquisa de Gao *et al.*, (2020) em que a dose absorvida foi de 9,1 mGy nos pulmões.

4.1.3 CTDI_{vol} e DLP no Protocolo de abdome

Na Tabela 6, observa-se a caracterização da população (n= 93), para o protocolo de abdome.

Tabela 6 - Categorização dos exames de TC abdominal

Gênero Masculino												
Comprimento do scan (cm)					CTDI _{vol} (mGy)				DLP (mGy.cm)			
Faixa etária	Média	Desvio padrão	Máxima	Mínimo	Média	Desvio padrão	Máxima	Mínimo	Média	Desvio padrão	Máxima	Mínimo
19-28 (n=8)	50,65	4,75	57,26	44,75	11,55	3,97	18,09	6,23	595,56	246,38	1036,01	278,8
29-38 (n=7)	53,91	2,23	56,29	50,26	14,19	4,77	19,89	7,45	767,60	266,14	1089,3	381,9
39-48 (n=5)	53,26	5,56	60,77	46,25	15,23	5,49	19,87	6,26	829,48	337,88	1118	289,55
49-58 (n=3)	50,26	5,76	56,27	44,77	12,83	3,05	15,95	9,85	656,86	229,30	897,59	441
59-68 (n=8)	51,38	6,57	61,75	41,27	13,35	4,85	20,28	6,59	699,77	309,85	1252,33	294,91
69-78 (n=2)	47,00	3,15	49,23	44,77	12,5	6,44	17,06	7,94	577,38	263,64	763,81	390,96
79-88 (n=4)	50,38	2,14	53,27	48,75	13,37	5,18	18,46	7,98	680,45	284,34	936,94	389,22
Gênero Feminino												
19-28 (n=7)	50,91	5,31	57,76	43,26	8,33	4,16	15,73	4,04	430,57	240,63	845,72	221,72
29-38 (n=15)	49,39	4,46	56,26	41,25	10,13	4,39	18,86	3,37	502,72	224,18	919,55	162,65
39-48 (n=13)	52,88	3,01	57,26	48,74	14,14	4,73	20,28	6,98	752,24	261,48	1100,26	340,54
49-58 (n=7)	49,62	3,82	55,77	44,77	11,98	3,92	15,4	6,04	597,50	210,36	858,81	294,32
59-68 (n=9)	47,76	5,17	55,77	40,23	12,72	5,51	18,77	3,49	620,06	296,76	1016,22	140,39
69-78 (n=2)	49,99	2,48	51,74	48,24	7,55	0,03	7,57	7,53	377,44	20,10	391,65	363,22
79-88 (n=3)	48,44	6,52	55,26	42,28	10,60	6,69	17,83	4,63	521,05	328,05	851,80	195,76

Fonte: do autor (2023).

A faixa etária do gênero feminino que apresentou maior variabilidade do CTDI_{vol} foi de 59-68 anos, com valor máximo de 18,77 mGy e mínimo de 3,49 mGy. Já para o masculino a faixa etária com maior variação foi de 59-68 anos com valor máximo de 20,28 mGy e mínimo de 6,59 mGy. Já para o DLP, para o gênero feminino a maior variabilidade foi na faixa etária de 59-68 anos com máximo de 1.016,22 mGy.cm com mínima de 140,39 mGy.cm. Assim como os dados provenientes do exame de tórax, um fator limitante é o pouco número de representantes em faixas etárias específicas.

Considerando que os fatores de exposição são definidos considerando as configurações de tensão do tubo de raios X (kV), corrente do tubo (mA) e tempo(s) de exposição. O kV deve ser selecionado com objetivo de alcançar uma qualidade de imagem necessária na menor dose possível (EUROPEAN COMMISSION, 2000). Logo, as aquisições dos exames incluídos foram realizadas com 120 kVp, *pitch* de 1.38 e com a corrente no tubo com variação de 66,5 mA a 400 mA. Portanto, a organização na qual a pesquisa foi realizada está de acordo com a recomendação da *American Association of Physicists in Medicine* (AAPM, 2015) e pelo Colégio Brasileiro de Radiologia (2015) que determina uma tensão de 120 kV para exames de abdome e pelve para este modelo de equipamento, ou ainda, a recomendação mais recente do Colégio Brasileiro de Radiologia (2021) que orienta o kV e mAs variável.

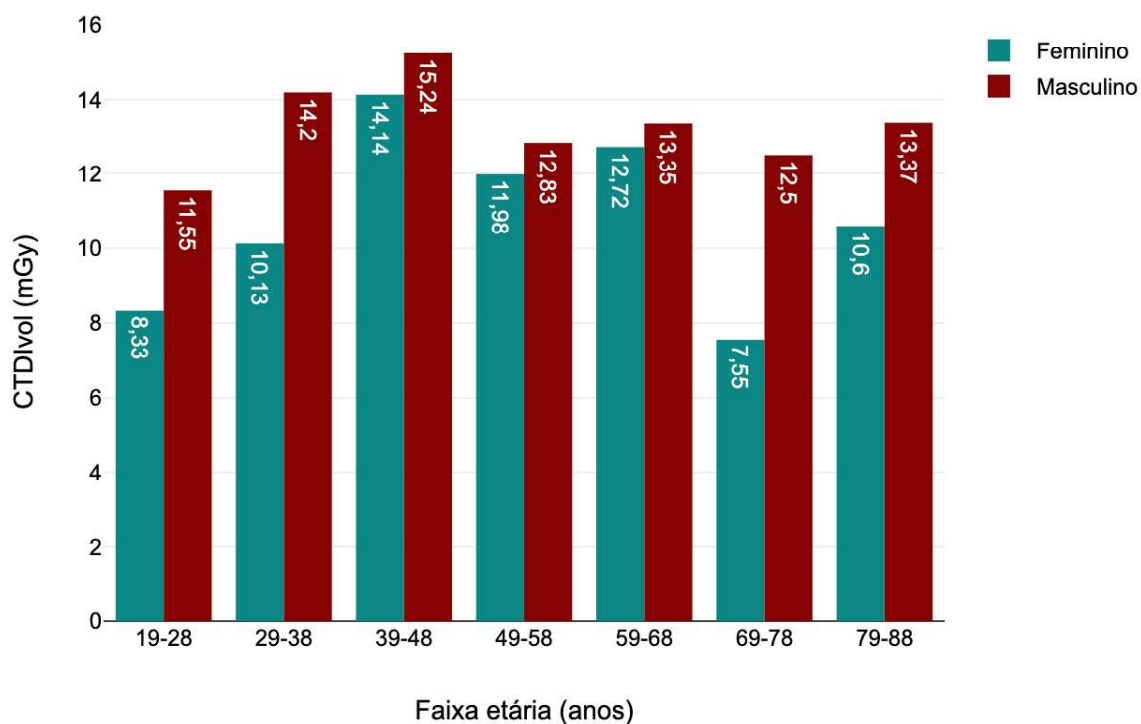
A variação da tensão do tubo depende do equipamento de TC, alguns aparelhos permitem o uso de 80, 100, 120 e 140 kV, com ajustes manuais, sendo que esta adequação é baseada no peso ou índice de massa corporal do paciente. Entretanto, alguns fabricantes têm introduzido a técnica automática para a seleção do kV (*Care KV*, *Siemens Healthcare*, *GE Healthcare*) possibilitando que o próprio equipamento selecione a tensão ideal baseado nas características do paciente adquiridas no scan inicial (LIRA *et al.*, 2015). Apesar do equipamento estudado *Revolution™ EVO* possuir a tecnologia *kV Assist*, observa-se que a mesma não foi aplicada na execução do exame. Isto porque no banco de dados percebe-se a manutenção da tensão (kV) em todos os protocolos estudados, destaca-se que a aplicabilidade desta tecnologia é determinada pela equipe multiprofissional do serviço a partir do desenvolvimento e execução dos protocolos do equipamento.

A correção do tubo e o tempo de exposição estão relacionados à dose. Portanto, o operador do equipamento deve conhecer a tecnologia a qual trabalha, bem como as características do paciente com vistas a adequar as configurações do protocolo garantindo uma imagem de qualidade com baixa dose. Uma vez que ao aumentar a mAs há um aumento proporcional na dose do paciente (EUROPEAN COMMISSION, 2000).

Para a mA, houve uma variabilidade entre a amostra com média de 237,67mA e desvio padrão de 94,88. Considerando que o equipamento utiliza o controle automático de exposição, conforme orienta o *American Association of Physicists in Medicine* (AAPM, 2015), trata-se de uma variação aceitável. O equipamento usado neste estudo possui como recurso de redução de dose o *Smart Dose*. Um estudo realizado por Sulieman *et al.* (2021) a partir da tecnologia de controle automático de exposição ^{SURE}Exposure (*Toshiba Aquilion Prime*) mostrou a aplicabilidade de protocolos de baixa dose para exames trifásicos de abdome. Para estes casos, houve uma redução média da dose de até 48% sem prejuízos nos achados diagnósticos, já que não houve rejeição de imagens pelos médicos radiologistas.

O número mais representativo de exames incluídos no estudo, foi o protocolo de abdome. Na Figura 14 observa-se a relação entre os valores médios obtidos de CTDI_{vol} para o gênero masculino e feminino. Em todas as faixas etárias o gênero masculino apresenta maiores doses médias de CTDI_{vol}.

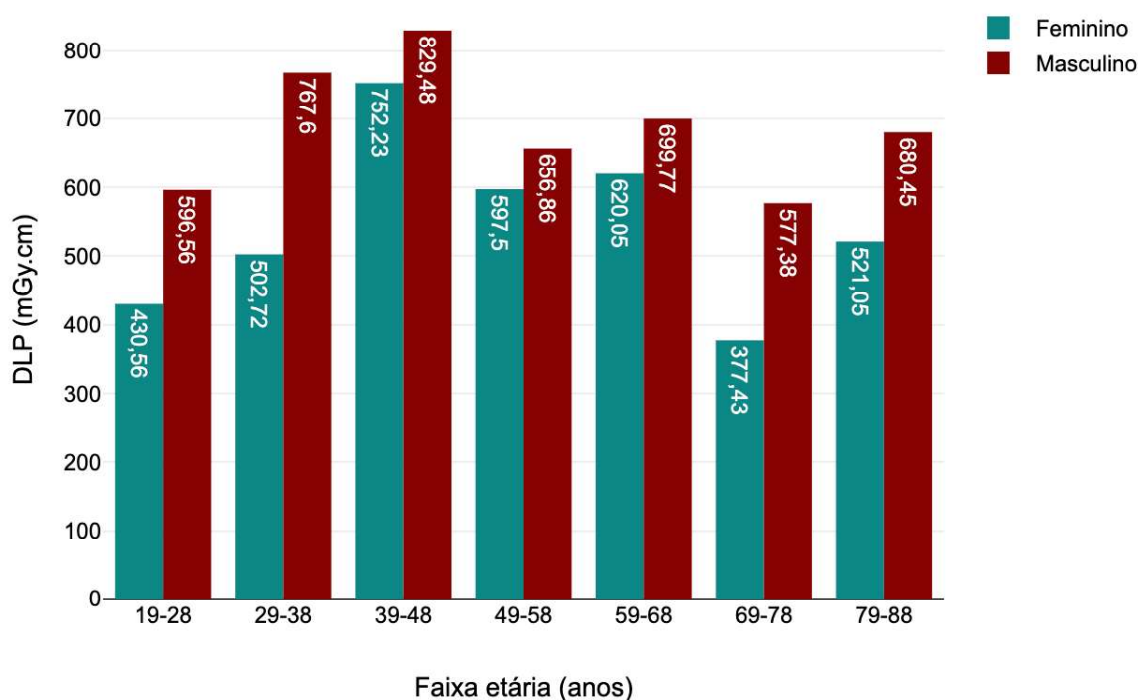
Figura 14 - CTDI_{vol} médio por faixa etária e gênero para exames de abdome



Fonte: do autor (2023).

Ainda sobre a análise do CTDI_{vol} a faixa etária que apresentou o maior valor numérico foi de 39-48 anos para o gênero feminino e masculino com 15,23 mGy, e 14,14 mGy respectivamente. Corroborando com a análise dosimétrica dos exames de abdome, no Figura 15 observa-se a relação do valor numérico do DLP correlacionando entre o gênero masculino e feminino.

Figura 15 - DLP médio por faixa etária e por gênero para exames de abdome



Fonte: do autor (2023).

Na Figura 15, observa-se que a faixa etária de 39-48 teve maior valor de DLP, sendo que o gênero masculino apresentou o maior valor (829,48 mGy.cm), seguido da faixa etária de 29-38 para o mesmo gênero (767,6 mGy.cm). A média do valor de DLP foi de 614,97 mGy.cm, sendo para o masculino de 686,87 mGy.cm e feminino de 543,07 mGy.cm.

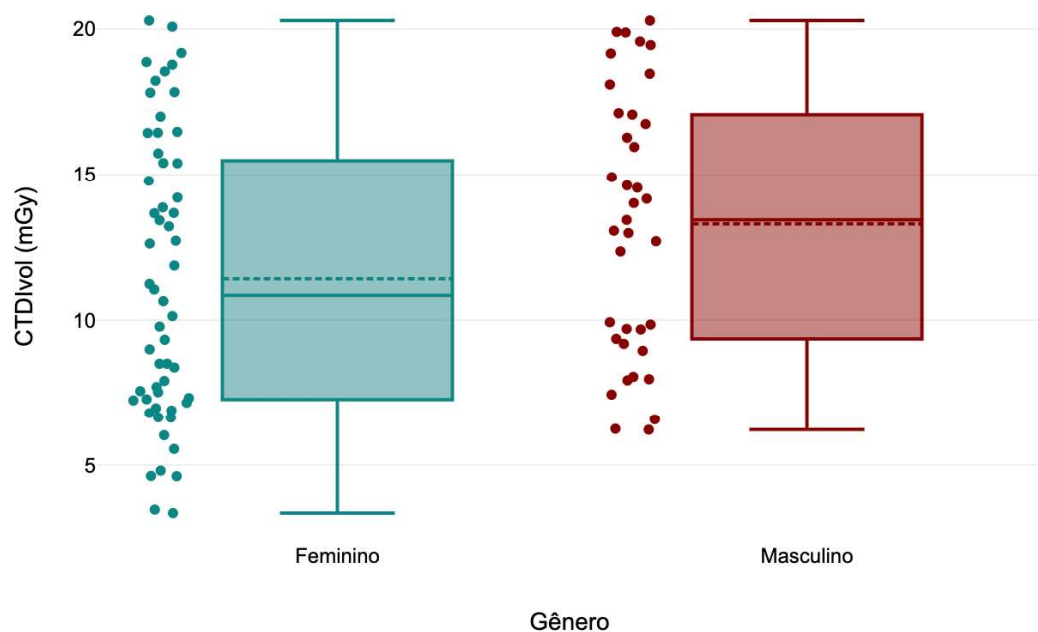
Assim como no protocolo de tórax, no protocolo de abdome também foram analisados os valores de CTDI_{vol} e DLPs por quartis. Na Tabela 7 são apresentados os valores em quartis de CTDI_{vol} e DLP obtidos para o protocolo de abdome em ambos os gêneros.

Tabela 7 - Dados CTDI_{vol} e DLP, em quartis, para ambos os gêneros no protocolo de abdome

Dados	CTDI _{vol} (mGy)		DLP (mGy.cm)	
	Feminino	Masculino	Feminino	Masculino
Mínimo	3,37	6,23	140,39	278,80
1º Quartil	7,28	9,36	350,18	471,26
Mediana	10,85	13,43	541,65	676,22
3º Quartil	15,48	17,06	795,48	911,55
Máximo	20,28	20,28	1100,26	1252,33

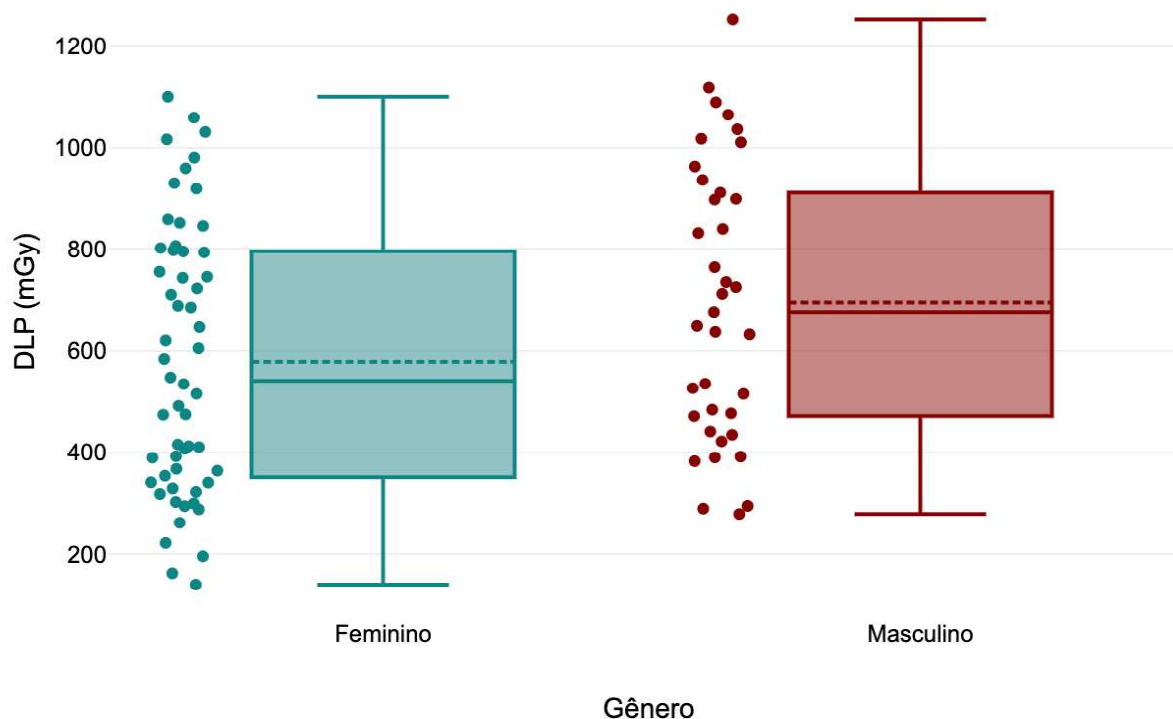
Fonte: do autor (2023).

Para o protocolo de abdome, o terceiro quartil dos valores de CTDI_{vol} foi de 15,48 mGy para o gênero feminino e de 17,06 mGy para o masculino. Enquanto que o DLP foi de 795,48 mGy.cm e 911,55 mGy.cm, para os gêneros feminino e masculino, respectivamente (Figura 16 e 17).

Figura 16 - Gráfico Blox Plot - CTDI_{vol} por gênero no protocolo de abdome

Fonte: do autor (2023).

Figura 17 - Gráfico Blox Plot - DLP por gênero no protocolo de abdome

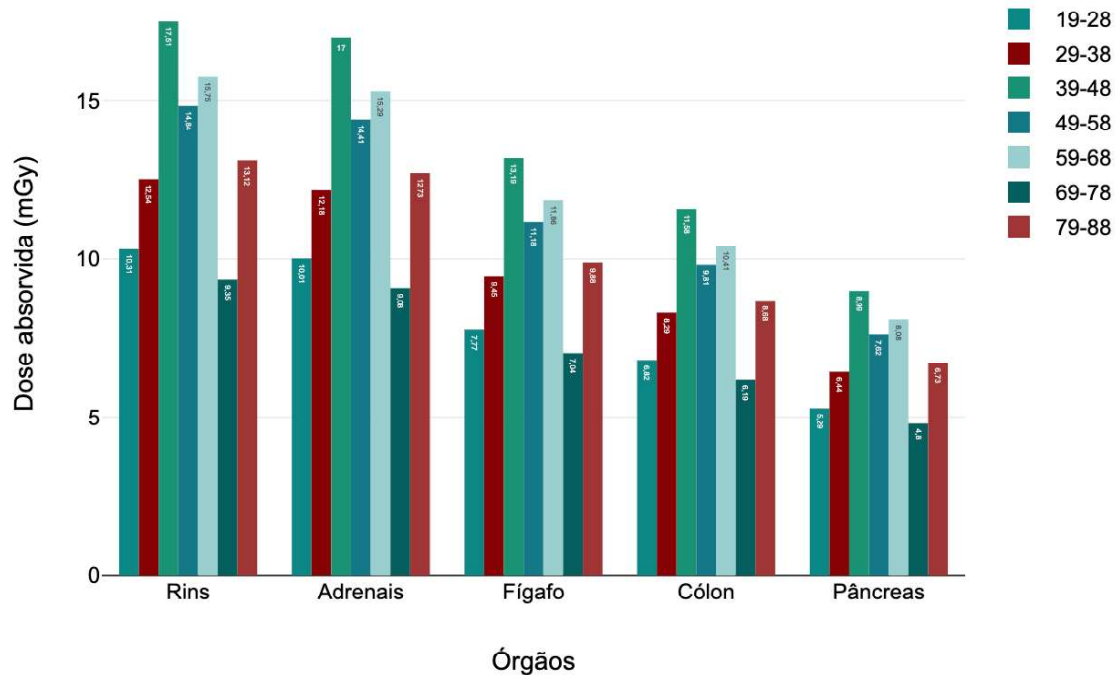


Fonte: do autor (2023).

4.1.4 Dose em órgão no protocolo de abdome

No Figura 18 é visto a distribuição da dose absorvida nos órgãos que receberam maior dose no protocolo de abdome para o gênero feminino. Os rins apresentaram dose média de 14,13 mGy (máxima de 25,11 mGy - 45 anos e mínima de 4,17 mGy - 33 anos), as glândulas adrenais com dose média de 13,72 mGy (máxima de 24,38 mGy - 45 anos e mínima de 4,05 mGy - 33 anos), o fígado com dose média de 10,64 mGy (máxima de 18,92 mGy - 45 anos e a mínima de 3,14 mGy - 33 anos), o cólon com dose média de 9,34 mGy (máxima de 16,6 mGy - 45 anos e a mínima de 2,76 mGy - 33 anos), e por último, o pâncreas com dose média de 7,33 mGy (máxima de 12,89 mGy - 45 anos e mínima de 2,14 mGy - 33 anos).

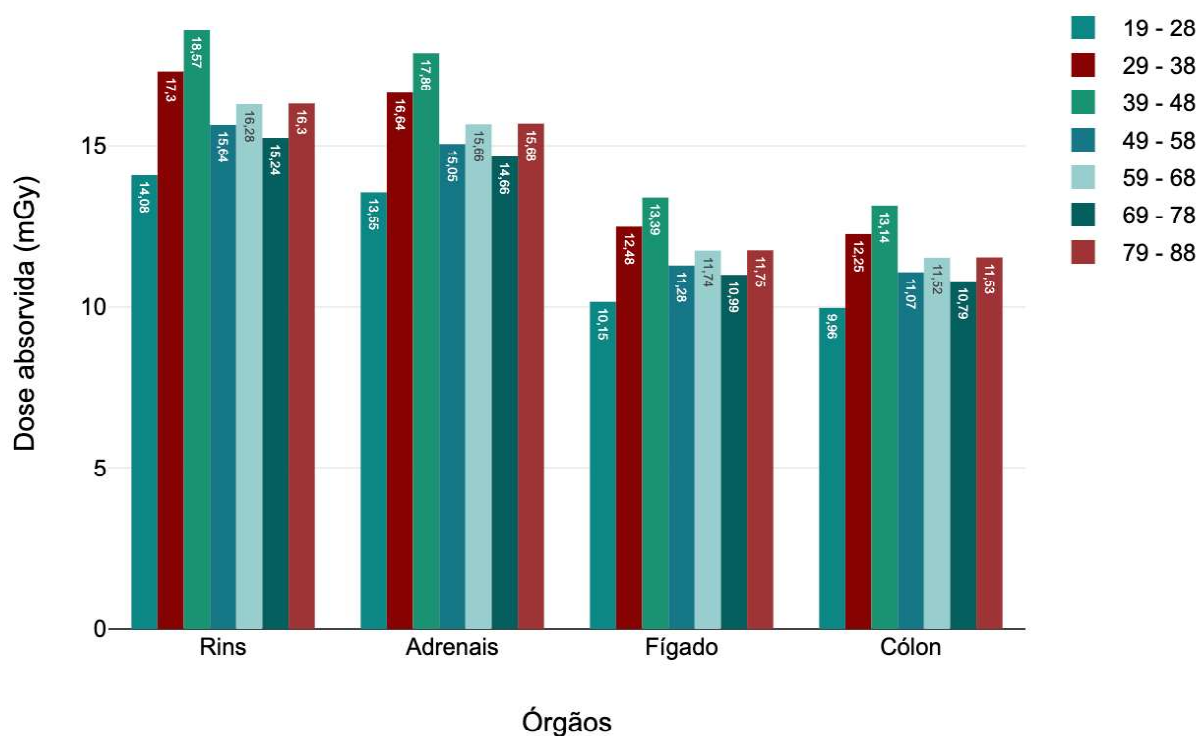
Figura 18 - Dose absorvida média (mGy) nos órgãos/ tecidos mais expostos por faixa etária no exame de abdome para gênero feminino



Fonte: do autor (2023).

Na Figura 19 é vista a distribuição da dose absorvida dos órgãos que receberam maior dose no protocolo de abdome por idade para o gênero masculino. Os rins apresentaram dose média de 16,20 mGy (máxima de 24,72 mGy - 67 anos e mínima de 7,59 mGy - 19 anos), as glândulas adrenais com dose média de 15,58 mGy (máxima de 23,78 mGy - 67 anos e mínima de 7,3 mGy - 19 anos), o fígado com dose média de 11,68 mGy (máxima de 17,82 mGy - 67 anos e a mínima de 5,48 mGy - 19 anos), e por último, o cólon com dose média de 11,46 mGy (máxima de 17,49 mGy - 67 anos e a mínima de 5,37 mGy - 19 anos).

Figura 19 - Dose absorvida média (mGy) nos órgãos/ tecidos mais expostos por faixa etária no exame de abdome para gênero masculino



Fonte: do autor (2023).

Na Tabela 8 é observada a descrição da dose absorvida dos órgãos e tecidos que receberam os maiores valores para o protocolo de abdome total, sendo apresentado os valores de dose média, desvio padrão valor da dose mínima e máxima.

Tabela 8 - Descrição da dose absorvida dos órgãos e tecidos dos exames de abdome

Feminino (n=57) Dose absorvida (mGy)					Masculino (n=38) Dose absorvida (mGy)				População total (N=95) Dose absorvida (mGy)			
Órgãos	Média	Desvio padrão	Máxima	Mínima	Média	Desvio padrão	Máxima	Mínima	Média	Desvio padrão	Máxima	Mínima
Adrenais	13,72	5,85	24,38	4,05	15,58	5,26	23,78	7,30	14,46	5,67	24,38	4,05
Superfície óssea	1,97	0,84	3,51	0,58	2,32	0,78	3,54	1,09	2,11	0,83	3,54	0,58
Medula óssea	1,67	0,71	2,96	0,49	1,97	0,67	3,01	0,92	1,79	0,71	3,01	0,49
Cólon	9,35	3,99	16,60	2,76	11,46	3,87	17,49	5,37	10,19	4,06	17,49	2,76
Vesícula biliar	7,11	3,04	12,64	2,10	8,91	3,01	13,59	4,17	7,83	3,13	13,59	2,10
Rins	14,14	6,03	25,11	4,17	16,20	5,47	24,72	7,59	14,96	5,87	25,11	4,17
Fígado	10,65	4,54	18,92	3,14	11,68	3,94	17,82	5,48	11,06	4,32	18,92	3,14
Linfonodos	1,84	0,78	3,27	0,54	2,09	0,70	3,18	0,98	1,94	0,76	3,27	0,54
Músculos	2,72	1,16	4,84	0,80	3,70	1,25	5,65	1,73	3,11	1,28	5,65	0,80
Pâncreas	7,26	3,09	12,89	2,14	8,83	2,98	13,46	4,14	7,88	3,13	13,46	2,14
Pele	2,05	0,88	3,65	0,61	2,54	0,86	3,88	1,19	2,25	0,90	3,88	0,61
Intestino delgado	5,60	2,39	9,94	1,65	7,23	2,44	11,03	3,39	6,25	2,53	11,03	1,65
Baço	10,05	4,29	17,85	2,97	11,37	3,84	17,35	5,33	10,58	4,14	17,85	2,97
Estômago	7,01	2,99	12,46	2,07	8,65	2,92	13,19	4,05	7,66	3,06	13,19	2,07
Útero ou próstata	2,41	1,03	4,29	0,71	0,43	0,14	0,65	0,20	1,62	1,26	4,29	0,20

Fonte: do autor (2023).

De acordo com o Colégio Brasileiro de Radiologia (2021), o protocolo de abdome compreende o ápice do fígado até a sínfise púbica, onde deve ser visualizado todos os órgãos do abdome. Entretanto, na parte superior do abdome alguns órgãos, como pulmão, coração, timo, e até as mamas podem receber uma dose de radiação a depender da anatomia do paciente. O fato pode ser observado a partir da análise da tabela acima, em que observa-se a exposição de tais órgãos.

Observou-se que a população apresentou uma variabilidade nos resultados da dose efetiva dos órgãos, em que destaca-se dose maiores nos rins com dose efetiva média de 14,96 mGy e desvio padrão de 5,87, seguido das adrenais com dose efetiva média de 14,46 mGy e desvio padrão de 5,67. Outros órgãos que receberam uma dose efetiva média superior foram: fígado (11,06 mGy), cólon (10,19 mGy), baço (10,58 mGy), pâncreas (7,88 mGy), vesícula biliar (7,83 mGy) e estômago (7,66 mGy). Destaca-se que entre os órgãos supracitados o gênero masculino recebeu uma dose maior ao comparar com o feminino. Ao relacionar os achados com estudo de Gao *et al.*, (2020), os órgãos que receberam uma dose mais significativa o protocolo de abdome e pelve com contraste foram: fígado (17,5 mGy), cólon (16,0 mGy) e estômago (13,1 mGy).

Os dados para dose em órgãos masculinos e femininos também foram analisados em quartis (Tabela 9). Os órgãos que apresentaram maiores valores de dose no terceiro quartil foram 20,79 mGy (masculino), e 19,48 mGy (feminino).

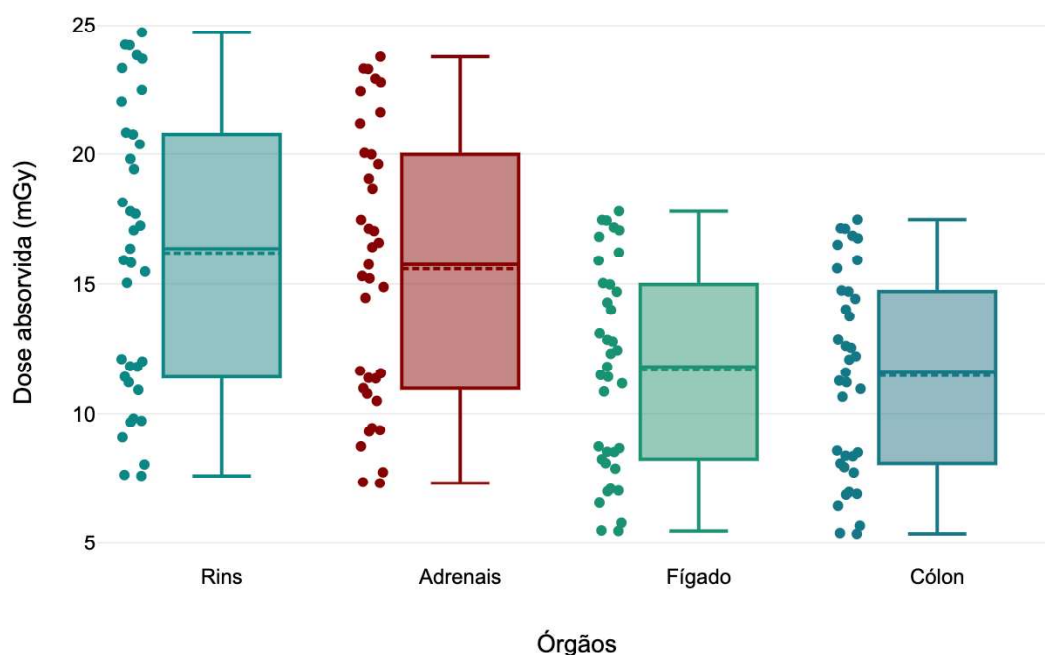
Tabela 9 - Dados de dose absorvida em órgão para ambos os gêneros no protocolo de abdome

Dados	Dose em órgão (mGy)									
	Masculino (n=37)					Feminino (n=56)				
	Rins	Adrenais	Fígado	Cólon		Rins	Adrenais	Fígado	Cólon	Pâncreas
Mínimo	7,59	7,30	5,48	5,37		4,17	4,05	3,14	2,76	2,14
1º Quartil	23,34	22,45	16,83	16,52		9,03	8,76	6,80	5,97	4,63
Mediana	16,37	15,75	11,80	11,58		13,44	13,04	10,12	8,89	6,90
3º Quartil	20,79	20,00	14,99	14,72		19,48	18,91	14,67	12,88	10,00
Máximo	24,72	23,78	17,82	17,49		25,11	24,38	18,92	16,60	12,89

Fonte: do autor (2023).

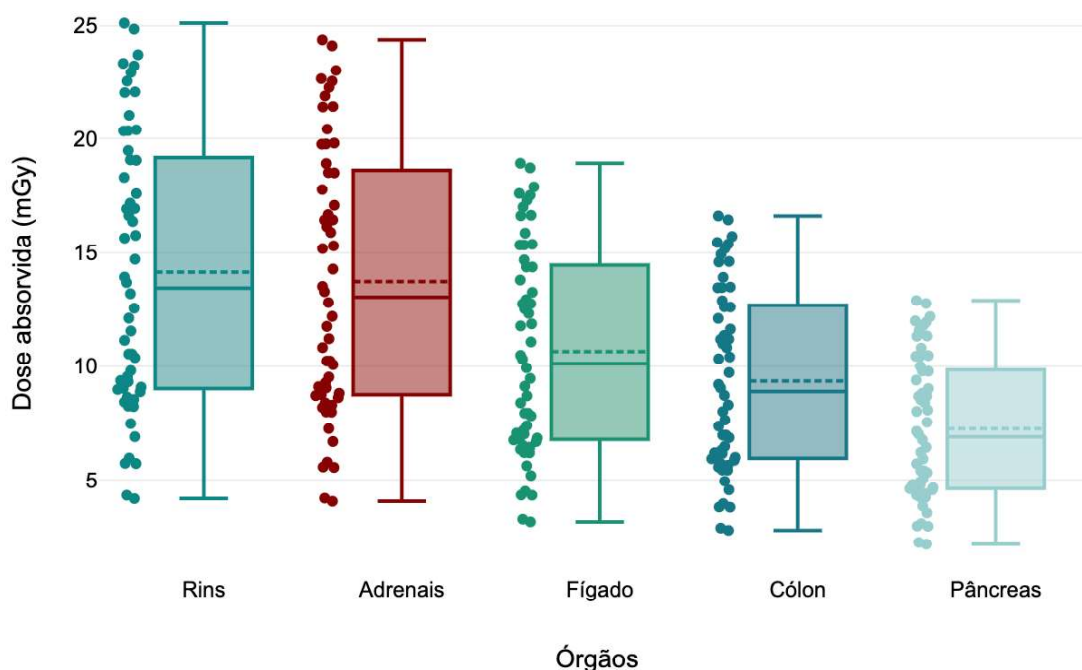
Os valores de dose absorvida para cada gênero também são apresentados graficamente nas Figuras 20 e 21, nas quais observa-se que pacientes do gênero masculino apresentaram maiores valores de dose em órgão: mediana 16,37 nos rins, do que pacientes do gênero feminino: mediana 13,44 no mesmo órgão.

Figura 20 - Gráfico Blox Plot - Dose absorvida (mGy) nos principais órgãos no protocolo de abdome - gênero masculino



Fonte: do autor (2023).

Figura 21 - Gráfico Blox Plot - Dose absorvida (mGy) nos principais órgãos no protocolo de abdome - gênero feminino



Fonte: do autor (2023).

4.2 Dose Efetiva

A partir da amostra, os valores médios das doses efetivas para o exame de tórax foram de 5,32 mSv e para o protocolo de abdome foi de 3,88 mSv, considerando a ICRP 103 (ICRP, 2007). Os valores recomendados para a dose efetiva descritos pela (AAPM) em seu *Report* n. 96 para o tórax é de 5-7 mSv e para o abdome/pelve de 8-14 mSv, este último considerando múltiplas aquisições com contraste. Logo, os valores encontrados na presente pesquisa estão de acordo com as recomendações da AAPM.

Já a *American College of Radiology* (2021) recomenda que a dose efetiva média para o protocolo e tórax seja de 6,1 mSv, enquanto o exame de abdome e pelve é de 7,7 mSv. De acordo com o UNSCEAR (2022) a dose efetiva típica para os exames de TC de tórax foi de 6,4 mSv e abdome de 11 mSv, neste caso considerando múltiplas aquisições com contraste.

Na Tabela 10, observa-se a categorização da dose efetiva média baseado no ICRP 103 e as recomendações internacionais.

Tabela 10 - Dose média efetiva a partir da ICRP 103 dos exames de tórax e abdome e Recomendações Internacionais

Valores deste estudo com base na ICRP103	ICRP 103 mSv				AAPM (2008) mSv	ACR (2021) mSv
	Média	Desvio padrão	Máxima	Mínima	Média	Média
Tórax	5,32	1,91	9,48	1,94	5-7	6,1
Abdome	3,88	1,52	6,47	1,07	8-14	7,7

Fonte: do autor (2023).

Baseado nos achados dispostos na Tabela 10, percebe-se que o valor da dose efetiva no presente estudo foi menor, o fato pode ser explicado, pois o estudo incluiu apenas exames com uma única fase de aquisição. Além disso, o cálculo da dose efetiva foi realizado por meio do software *Virtual Dose®*, em que a ferramenta selecionou automaticamente o *phantom* padrão adulto para o gênero feminino (*Adult Female-50th Percentile*) e masculino (*Adult Male-50th Percentile*) em função da inexistência dos dados de peso e altura no banco de dados.

Em pesquisa realizada por Ney (2020) em tomógrafo *Siemens Healthcare* (40 canais) as doses médias efetivas de radiação para exames de abdome/pelve (542) foi de 7,75 mSv e para o protocolo de tórax (461) foi de 3,87 mSv. Ainda sobre o assunto, o estudo realizado por Junior, Janssoney e Fonsecas (2020) no equipamento *Siemens Somatom Definition* de 64 canais avaliou a dose nos exames de TC do abdome/pelve (579 exames) e do tórax (382 exames) evidenciou os seguintes achados: valores do CTDI_{vol} médios de 16,3 mGy para tórax e 16,6 mGy abdome/pelve, além de doses efetivas para o tórax de 8,37 mSv e abdome/pelve de 12,28 mSv.

Em um contexto global, e com uma amostra significativamente maior, Smith-Bindman *et al.*, (2019) avaliou mais de 2,0 milhões de exames em 151 instituições de sete países. Neste estudo, a dose efetiva média para TC de abdome foi de 12,1 mSv em centros de trauma em comparação com 12,5 mSv dos centros

de não trauma. Para o protocolo de tórax a dose efetiva média foi de 6,9 mSv no centro de trauma, já para os centros de não trauma foi de 5,4 mSv. De forma geral, as doses médias variaram amplamente entre os países, particularmente para os protocolos de abdome, tórax e tórax e abdome combinados. Ademais, esta variação pode estar relacionada às diferenças entre as tecnologias presentes em cada serviço de saúde, bem como os protocolos adotados em cada local, no qual cada qual determina seus próprios fatores técnicos, kV, mAs, *pitch*, colimação do feixe, entre outros.

No estudo conduzido em Santa Catarina, Sutil et al. (2022) examinaram as doses efetivas em pacientes pediátricos submetidos à tomografia computadorizada (TC) usando o software Virtual Dose®. Durante o período investigado, os procedimentos mais frequentes foram os de abdome total/abdome e pelve, representando 88,6% do total, seguidos pelos exames de abdome superior, que corresponderam a 8,6%. A dose efetiva média para a TC abdominal foi de 4,35 mSv. Observou-se que a faixa etária de 7 a 10 anos recebeu a dose efetiva média mais alta, atingindo 5,09 mSv, seguida pela faixa etária de 11 a 14 anos, com uma média de 4,58 mSv. Por outro lado, a faixa etária de 0 a 6 anos apresentou a menor dose efetiva média nos exames, registrando 3,14 mSv.

Estudo de Tzedakis *et al.*, (2005) indica que o *overscanning* influencia significativamente no aumento da dose efetiva do paciente em exames de TC com multidetectores, sendo que a colimação do feixe, a largura do corte de reconstrução e o *pitch* são parâmetros que interligados determinam este valor. Por isso, os órgãos mais radiosensíveis, como mamas, tireoide, cristalino e gônadas, que estão localizados dentro da área de exposição ou ainda de forma parcial precisam ser considerados no momento do planejamento da aquisição, de forma a evitar ou reduzir a irradiação direta desses órgãos.

No Brasil, estão em curso estudos que avaliam as exposições médicas decorrentes de exames de tomografia computadorizada (TC). Um exemplo é a pesquisa conduzida por Bacelar et al. (2021), que investigou a dose efetiva coletiva recebida pela população da região do Vale do Aço, em Minas Gerais, por meio de exames de TC de tórax. Os resultados revelaram um aumento significativo no número de exames durante a pandemia de COVID-19. Apesar de ainda ser um

trabalho em andamento, os resultados deste estudo são limitados, porém contribuem para o entendimento das exposições médicas em nível nacional

4.3 Contribuições do Estudo para a Proteção Radiológica na TC

Considerando as etapas para execução da pesquisa, identificou-se como limitação a inserção incompleta dos dados clínicos dos pacientes no sistema de tomografia computadorizada. O fato dificulta a análise de alguns aspectos que influenciam na mensuração da dose, entre os quais, destaca-se a altura e peso do paciente que possibilita a correta seleção do *phantom* no programa *Virtual Dose*®. Apesar do software *Virtual Dose*® apresentar vantagens em relação a variedade de *phantoms* disponíveis, de forma a disponibilizar padrões anatômicos mais realistas quando comparados a outras ferramentas semelhantes, como CT-Expo e ImPACT (DING *et al.*, 2015), esta especificidade não pode ser utilizada neste estudo em função das limitações dos dados disponíveis.

Logo, salienta-se a importância do preenchimento correto dos dados do paciente na *workstation* de trabalho da TC, tais como, idade, sexo, peso, altura, ou outras informações e parâmetros que influenciem no estudo de dose. Neste sentido, identifica-se a necessidade do preenchimento completo dos dados clínicos do usuário por parte dos profissionais das técnicas radiológicas.

Para mitigar esta problemática, surge a necessidade da inclusão dos profissionais das técnicas radiológicas frente às discussões acerca da importância dos critérios para análise de dose em TC e sua relação com a proteção radiológica. Neste cenário, se faz necessária a atuação direta do supervisor de proteção radiológica, designado pelo responsável legal do serviço, sobre a equipe dos profissionais das técnicas radiológicas com vistas a sensibilizá-los sobre a temática. Uma vez que cabe a este a responsabilidade pelas atividades dos serviços de radiodiagnósticos relacionados à proteção radiológica (BRASIL, 2022).

Sob esta ótica, o profissional das técnicas radiológicas precisa ser valorizado nas suas práticas e atribuições laborais, bem como possuir autonomia para deliberações no ambiente do trabalho (CANDIDO *et al.*, 2022). A partir disso, o

profissional se sente reconhecido no ambiente de trabalho, e pertencente às discussões que cabe a sua formação acadêmica e profissional.

Destaca-se também, que conforme a Resolução do CONTER nº 2 de 2012 (CONTER, 2012) é atribuição do tecnólogo em radiologia o papel de supervisor de proteção radiológica, considerando os conhecimentos adquiridos durante o curso de graduação. Logo, esta formação acadêmica é apropriada para assumir tal função em instalações e ambientes clínicos e hospitalares. Corroborando com a discussão, Anderson (2020) afirma que há a necessidade de qualificação acerca do emprego ético da proteção radiológica, em especial aos profissionais da área médica, bem como a aqueles que executam o exame, neste caso, profissionais das técnicas radiológicas.

Considerando a formação acadêmica do tecnólogo em radiologia determinado pelo Catálogo Nacional dos Cursos Superiores de Tecnologia (BRASIL, 2016), este profissional possui as competências necessárias para atuar na gestão dos serviços de radiodiagnóstico, assim como, frente a supervisão de proteção radiológica. Portanto, evidencia-se o papel da hierarquia do conhecimento, em que cada profissional deve atuar em sua área de formação.

Além disso, para mudança no fluxo de trabalho dos profissionais das técnicas radiológicas com objetivo de inserir as práticas de proteção radiológica, cita-se o papel da educação permanente e continuada. Nacionalmente, a Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) nº 611 (BRASIL, 2022) determina que os serviços possuam um Programa de Educação Permanente, em que se ressalta a abordagem dos seguintes tópicos: normas, rotinas, protocolos e procedimentos operacionais; segurança do paciente; e programa de proteção radiológica. No estado de Santa Catarina, a Resolução Normativa nº 002/DIVS/SES (ESTADO DE SANTA CATARINA, 2015) sugere a implementação de programas de treinamento e capacitação para os profissionais de saúde envolvidos na realização de exames de TC, a fim de garantir o uso adequado das técnicas e equipamentos de redução de dose de radiação.

Sobre a perspectiva da análise da dose, sugere-se aos serviços a habilitação do equipamento de TC para geração automática do Relatório de Dose Estruturado (RDSR). Este relatório estruturado utiliza a linguagem *Templates Identifier* (TIDs) para organização, entretanto, alguns sistemas de Sistema de Comunicação e

Arquivamento de Imagens (PACS) não possuem o suporte para análise das informações, por isso, utiliza-se softwares como *OpenRem*, *DoseUtility* para conversão das informações em textos simples (SOUZA *et al.*, 2022).

Para solucionar esta problemática sugere-se que os serviços adequem o TC para o registro e envio automático do RDSR, quando for o caso, para o serviço de telemedicina. Esta necessidade emerge, uma vez que o relatório inclui as informações relacionadas a dose de radiação no usuário, a partir de dados sobre sobre tensão do tubo, corrente do tubo, tempo de exposição, filtração do tubo, que são informações padrões aplicáveis a todas as modalidades baseadas em raios X. Além disso, o documento também engloba informações específicas das modalidades, no caso da TC há descrição do CTDI, critério que estima a dose em um phantom específico (SECHOPOULOS; TRIANNI; PECK, 2015).

Ao encontro desta necessidade do registro de dose, no Brasil em 2021, foi publicada a Instrução Normativa nº 93 (BRASIL, 2021) do Ministério da Saúde e da Agência Nacional de Vigilância Sanitária que reforça que todos os equipamentos de tomografia computadorizada devem possuir a indicação do Índice de Dose em Tomografia Computadorizada Ponderado ($CTDI_w$) ou Índice de Dose em Tomografia Computadorizada Volumétrico ($CTDI_{vol}$) e do Produto Dose x Comprimento (DLP), bem como o registro do relatório de dose em padrão DICOM.

Entre os obstáculos para instituir o registro automático RDSR nos serviços de alta complexidade, cita-se a variedade de modelos de equipamentos de TC disponíveis no mercado, e, portanto, a possibilidade de mais de um modelo da TC em um mesmo serviço. Sobre a variabilidade de modelos e sua associação a temática dose, a página contém os dados de dose em formato de texto associados aos cabeçalhos de imagem DICOM, foram introduzidas em momentos diferentes pelos fabricantes dos equipamentos. Por isso, há diferentes níveis de conformidade com os campos opcionais e até mesmo com os campos obrigatórios, logo, a disponibilidade de informações relacionadas à dose de TC é totalmente dependente do modelo do equipamento e da versão do *software* instalado (AAPM, 2019). Quando se trata de equipamentos antigos, necessita-se ativar o RDSR e configurar o armazenamento DICOM para receber as informações do RDSR. Para tanto, o tomógrafo precisa estar com o *software* atualizado além de haver a análise dos

resultados obtidos com vistas a verificar a coerência com o relatado na Declaração de Conformidade DICOM do fabricante (SOUZA *et al.*, 2022).

Baseado nos resultados desta pesquisa acerca das doses estimadas dos exames de TC, evidencia-se que o relato das doses recebidas por pacientes expostos pode auxiliar na comparação posterior com os Níveis de Referência em Diagnóstico (DRLs) que devem ser de conhecimentos da equipe multiprofissional do serviço de radiodiagnóstico. Assim como a dose efetiva, que apesar de suas incertezas e limitações, pode ser utilizada na comparação de diferentes modalidades de exames na radiologia e na compreensão dos riscos inerentes à exposição da radiação (VANO *et al.*, 2021).

Além da exposição dos órgãos, considera-se também a faixa etária e o período para os quais o risco é maior, por isso, recomenda-se que seja estimado o risco a partir das doses absorvidas nos órgãos específicos (UNSCEAR, 2014). Para se obter esta estimativa poderão ser utilizados *phantom* antropomórficos com material equivalente ao tecido humano com detectores nas regiões que simulam os órgãos ou ainda software computacional que estimar a dose dos órgãos dos pacientes de vários tamanhos e idades, como é o caso do Virtual Dose® que possibilita a análise de uma ampla gama de paciente com características distintas (GAO *et al.*, 2018).

Ainda sobre o aspecto da estimativa de dose, a análise das doses recebidas por pacientes nos protocolos de TC de tórax e abdome realizada nesta pesquisa pode trazer benefícios para a instituição em questão. Primeiramente, a identificação de protocolos com doses mais elevadas possibilita a adoção de medidas para reduzir a dose de radiação recebida pelos usuários. Além disso, a otimização dos protocolos pode resultar em redução nos custos operacionais, uma vez que a redução da dose de radiação está associada à diminuição do tempo de exposição e desgaste do tubo, o que pode acarretar manutenção precoce. Neste sentido, é possível realizar a revisão dos protocolos, levando em consideração o princípio de otimização da dose. Isso implica em identificar protocolos com doses mais elevadas com objetivo de otimizá-los.

Os achados da pesquisa contribuem para as discussões acerca da proteção radiológica, atendendo as normativas e orientações norteadoras nacionalmente. Entre as quais, destaca-se o Colégio Brasileiro de Radiologia (2021), a Agência

Nacional de Vigilância Sanitária por meio da publicação RDC nº 611 (BRASIL, 2022) e a Resolução Normativa nº 002/DIVS/SES (ESTADO DE SANTA CATARINA, 2015), em consonância estas instituições visam promover as boas práticas de segurança na TC, sugerindo ações que podem minimizar a exposição do paciente e do profissional à radiação ionizante.

Uma das frentes de otimização de dose, orientados pelo CBR, que usualmente são aplicados na prática clínica dos serviços é o uso da técnica de modulação de dose, que ajusta a dose de radiação de acordo com a densidade dos tecidos examinados. Isso permite uma redução da dose de radiação nos tecidos mais sensíveis, enquanto mantém uma boa qualidade de imagem. Outra sugestão é o uso de protocolos de aquisição de imagem otimizados (protocolos de baixa dose) para cada tipo de exame, levando em consideração a idade do paciente, o peso corporal e a região do corpo a ser examinada. O CBR também recomenda a indicação criteriosa para a realização de exames de TC, e a utilização de outras técnicas de imagem que não utilizam radiação ionizante quando possível.

Ainda sobre a proteção radiológica, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), por meio da RDC nº 611 (BRASIL, 2022), recomenda a utilização de programas de controle de qualidade para equipamentos de TC, incluindo testes de recepção, constância e qualidade de imagem, a fim de garantir que os equipamentos estejam produzindo imagens de alta qualidade com a menor dose de radiação possível. Assim como discutido anteriormente, a resolução determina a utilização de sistemas de registro e monitoramento de doses de radiação em exames de TC, permitindo a avaliação da dose de radiação recebida pelo paciente.

Anteriormente, a resolução estadual de Santa Catarina, Resolução Normativa nº 002/DIVS/SES em 2015 (ESTADO DE SANTA CATARINA, 2015) já determinava a obrigatoriedade do relatório de dose em formato DICOM com a indicação de $CTDI_w$ ou $CTDI_{vol}$. Esta obrigatoriedade, permite a exequibilidade de estudos como o presente, de forma possibilitar a análise de cenários específicos dos serviços de saúde, ou ainda, uma avaliação ampliada do radiodiagnóstico regional e nacional.

Por fim, entende-se que apesar do estudo apresentar uma amostra relativamente reduzida a mesma representa o cenário do serviço de saúde na faixa temporal específica. A decisão da coleta em sete dias consecutivos, deu-se neste período, pois o serviço pesquisado encontrava-se sem contraste endovenoso. Este

fato corrobora com o delineamento da pesquisa, em que definiu-se a coleta de dados de exames em uma única aquisição com objetivo de facilitar a coleta das informações provenientes das imagens DICOM, e posteriormente, a análise no software *Virtual Dose*[®]. Isto porque, definiu-se na etapa de planejamento da pesquisa exames com uma única aquisição.

Por fim, este estudo traz como resultado também a recomendação de revisão dos protocolos utilizados no serviço participante, a fim de permitir a otimização das doses recebidas pelos pacientes. A revisão dos protocolos, tendo como base os dados levantados neste estudo, permitirá identificar protocolos com doses mais elevadas a fim de otimizá-los, seguindo as recomendações das organizações na área de proteção radiológica.

5 CONCLUSÃO

A população do estudo foi composta por 120 exames de tomografia computadorizada, sendo 27 de tórax e 93 de abdome. Na análise dos exames de tórax, identificou-se que $CTDI_{vol}$ e o DLP foram mais expressivos no gênero masculino, sendo que a dose média efetiva para o tórax foi de 4,46 mSv (ICRP 103) para mulheres e 5,73 mSv (ICRP 103) para homens.

Em relação à análise dos dados provenientes dos exames de abdome, o gênero masculino apresenta maiores doses médias de $CTDI_{vol}$ e DLP. O DLP no gênero feminino, teve a faixa etária com maior valor numérico de 39-48 anos (1.100,26 mGy.cm), enquanto para o masculino foi a faixa etária de 59-68 anos (1.252,33 mGy.cm). Sendo que a dose efetiva média para os exames de abdômen foi de 3,88 mSv.

Para ambos protocolos, foram avaliadas as doses médias absorvidas nos órgãos e tecidos. No exame de abdome total, os órgãos mais expostos à radiação foram os rins (14,96 mGy), as adrenais (14,46 mGy) e o fígado (11,06 mGy). Já nos exames de tórax, o timo (12,96 mGy), o coração (12,09 mGy) e os pulmões (11,93 mGy).

Os resultados mostraram que as doses efetivas médias foram relativamente baixas quando comparados com outros estudos semelhantes, enquanto a dose absorvida nos órgãos e tecidos apresentaram grande variabilidade entre a população. Essas variações podem ser atribuídas ao número da população, ou ainda fatores como posição anatômica e diferentes formas de executar o protocolo, associado às características do equipamento de tomografia computadorizada.

Em relação da proteção radiológica aplicada a TC, evidencia-se a importância da implementação de medidas de controle e monitoramento das doses de radiação, visando otimizar os protocolos e garantir uma prática segura e responsável. Sobre a prática dos profissionais das técnicas radiológicas, é necessário a conscientização destes profissionais sobre a cultura do gerenciamento de dose, que é essencial para a redução dos riscos e promoção da segurança dos pacientes que realizam exames de tomografia computadorizada. O incentivo às práticas seguras pode ser adquirido por meio da implementação de programas de treinamento e capacitação para os profissionais de saúde envolvidos na realização dos exames de TC.

Considerando que tratou-se de uma pesquisa retrospectiva, com uma faixa temporal pré-estabelecida, a população foi limitada seja pelo quantitativo como também pelo limite regional de um único hospital público catarinense, de forma que algumas faixas etárias apresentam apenas um exame para análise. Logo, os resultados evidenciaram o cenário local do serviço de saúde em um faixa temporal específica (sete dias). Além disso, o estudo não avaliou outros fatores que podem influenciar a dose, como o biotipo do paciente, o tipo de equipamento utilizado e a escolha de protocolos otimizados.

Diante das restrições, recomenda-se que estudos futuros abram uma amostra mais ampla e representativa de pacientes, envolvendo diferentes hospitais e tipos de tomógrafos. Essas pesquisas podem contribuir significativamente para o aprimoramento das diretrizes de proteção radiológica na tomografia computadorizada, visando a otimização das exposições médicas à radiação ionizante.

REFERÊNCIAS

AKYEA-LARBI, Kofi Okyere et al. Patient dose estimation in CT examination using dose conversion coefficient method and CT -expo software. **Health And Technology**, v. 12, n. 4, p. 809-814, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12553-022-00683-6>

AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICS IN MEDICINE (AAPM). **AAPM Report Nº 96**. The Measurement, Reporting and Management of Radiation Dose in CT. College Park: American Association of Physicists in Medicine, One Physics Ellipse, 2008. Disponível em: https://www.aapm.org/pubs/reports/RPT_96.pdf Acesso em: 20 jan. 2023.

AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE (AAPM). **AAPM Report Nº 246**. Estimating Patient Organ Dose with Computed Tomography: A Review of Present Methodology and Required DICOM Information. A Joint Report of AAPM Task Group 246 and the European Federation of Organizations for Medical Physics (EFOMP). American Association of Physicists in Medicine, Alexandria, 2019. <http://dx.doi.org/10.37206/190>.

AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICS IN MEDICINE (AAPM). **AAPM Report Nº 111**. Comprehensive Methodology for the Evaluation of Radiation Dose in X-Ray Computed Tomography. . College Park: American Association of Physicists in Medicine, One Physics Ellipse, 2010.

AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICS IN MEDICINE (AAPM). Adult Routine Abdomen-Pelvis CT Protocol. **American Association of Physicists in Medicine**, v. 1.1, 2015.

AMERICAN COLLEGE OF RADIOLOGY (ACR). **Radiation Dose to Adults From Common Imaging Examinations**. 2021. Disponível em <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Radiology-Safety/Radiation-Safety/Dose-Reference-Card.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2023.

ANDERSON, Tiago Jorge. Moral distress of radiological technologists in conventional radiology service in Santa Catarina. **Ciência, Cuidado e Saúde**, v. 19, e46780, p. 1-7, 2020.

BACELAR, L. F. F. et al. Impact of the collective effective dose of the population of the Vale do Aço region on computed tomography scans during the COVID-19 pandemic. International Nuclear Atlantic Conference – INAC 2021, Brazil, 2021. Disponível em: <http://flamingo.ipen.br/bitstream/handle/123456789/32486/28231.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 27 jun. 2023.

BUSHONG, Stewart Carlyle. **Ciência radiológica para tecnólogos: física, biologia e proteção**. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2010.

BUSHONG, Stewart Carlyle. **Radiologic Science for Technologists: physics, biology, and protection.** 11. ed. Missouri: Elsevier, 2017.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Regulação e Supervisão da Educação Superior. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. **Catálogo Nacional de Cursos Superiores de Tecnologia.** 3.ed. Brasília, 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012.** Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2013/res0466_12_12_2012.html Acesso em: 20 de maio de 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa - nº 93, de 27 de maio de 2021.** Dispõe sobre requisitos sanitários para a garantia da qualidade e da segurança em sistemas de tomografia computadorizada médica, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretoria Colegiada. **Resolução RDC nº 611, de 9 de março de 2022.** Estabelece os requisitos sanitários para a organização e o funcionamento de serviços de radiologia diagnóstica ou intervencionista e regulamenta o controle das exposições médicas, ocupacionais e do público decorrentes do uso de tecnologias radiológicas diagnósticas ou intervencionistas. Brasília: Diário Oficial da União, 2022.

CANDIDO, Leticia Ferreira da Silva et al. Saúde e segurança no trabalho dos técnicos em radiologia do setor público no município de Rolim de Moura. **Research, Society And Development**, v. 11, n. 6, p. 56611629699, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i6.29699>.

CAMPELO, Danilo De Albuquerque Melo. **Estimativa da Dose em Pacientes Adultos Submetidos a Exames de Tórax e Abdômen em Tomografia Computadorizada no Brasil.** p. 139. 2019. Dissertação (Mestre em Ciências) – Universidade Federal De Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Recife, 2019.

CAPAVERT, Alexandre da Silva et al. Relação entre a estimativa de dose de radiação em pacientes submetidos a exames de tomografia computadorizada do abdômen e o índice de massa corporal. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 1, n. 16, 2015.

COLÉGIO BRASILEIRO DE RADIOLOGIA (CBR). **Protocolos de Tomografia Computadorizada.** São Paulo, 2015. Disponível em: https://cbr.org.br/wp-content/uploads/2017/10/Protocolos-de-TC_Completo.pdf Acesso em: 06 mar. 2023.

COLÉGIO BRASILEIRO DE RADIOLOGIA (CBR). **Protocolos Iniciais: Tomografia computadorizada.** 2021. Disponível em: <https://cbr.org.br/wp-content/uploads/2022/03/Protocolos-de-Tomografia-Computadorizada-1.pdf> Acesso em: 06 mar. 2023.

COSTA, Paulo Roberto et al. Correlation between effective dose and radiological risk: general concepts. **Radiologia Brasileira**, v. 49, n. 3, p. 176-181, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-3984.2014.0097>

CONSELHO NACIONAL DE TÉCNICOS EM RADIOLOGIA (CONTER). **Resolução CONTER nº 2 de 04 de maio de 2012**. Brasília: Diário Oficial da União, 2012.

DING, Aiping et al. Extension of RPI-adult male and female computational phantoms to obese patients and a Monte Carlo study of the effect on CT imaging dose. **Physics In Medicine And Biology**, v. 57, n. 9, p. 2441-2459, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/0031-9155/57/9/2441>.

DING, Aiping et al. VirtualDose: a software for reporting organ doses from ct for adult and pediatric patients. **Physics In Medicine And Biology**, v. 60, n. 14, p. 5601-5625, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/0031-9155/60/14/5601>

EKPO, Mary-ann Etim; OBED, Rachel Ibhide; OMOJOLA, Akintayo Daniel. Patient Dose Estimation Using CT-Expo Software at Two Hospitals in North-Central Nigeria. **Southern Clinics of Istanbul Eurasia**, Ibadan, v. 29, n. 2, p. 125-131, 2018.

ESTADO DE SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Saúde. Superintendência de Vigilância em Saúde. Diretoria de Vigilância Sanitária. **Resolução Normativa nº 002/DIVS/SES de 13 de maio de 2015**. Diretora da Vigilância Sanitária: Diário Oficial de Santa Catarina, 2015.

EUROPEAN COMMISSION. **European Guidelines on quality criteria for computed tomography**. EUR 16262. EU Publications: Luxembourg, 2000.

EUROPEAN COMMISSION. **Radiation Protection nº 154**. European Guidance on Estimating Population Doses from Medical X-Ray Procedures. Directorate-General for Energy and Transport, Directorate H - Nuclear Energy, Unit H.4. - Radiation Protection, 2008.

GAO, Yiming et al. Patient-specific organ and effective dose estimates in pediatric oncology computed tomography. **Physica Medica**, v. 45, p. 146-155, jan. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejmp.2017.12.013>.

GAO, Yiming et al. Patient-Specific Organ and Effective Dose Estimates in Adult Oncologic CT. **American Journal Of Roentgenology**, v. 214, n. 4, p. 738-746, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.2214/ajr.19.21197>.

GENERAL ELECTRIC COMPANY. **Revolution CT**: user manual. Waukesha, 2014.

HENWOOD, Suzanne. **Técnicas e pratica na Tomografia Computadoriza clínica**. 1.ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 2003.

HUDA, Walter; METTLER, Fred A. Volume CT Dose Index and Dose-Length Product Displayed during CT: what good are they?. **Radiology**, v. 258, n. 1, p. 236-242, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.10100297>

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). **ICRP Publication 26**. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. 1977.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). **ICRP Publication 60**. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. 1991.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). **ICRP Publication 103**. The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. 2007.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). **ICRP Publication 74**. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. 1996.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). **Medical Electrical Equipment Part 2-44**: Particular requirements for the safety of x-ray equipment for computed tomography. IEC publication No. 60601-22-44. Ed. 2.1. International Electrotechnical Commission (IEC) Central office: Geneva, Switzerland, 2002.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, (ICRP) **Publication 135**, Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging, Volume 46 No. 1, 2017.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). **ICRP Publication 147**, Use of dose quantities in radiological protection, 2021.

JUNIOR, Jorge Augusto dos Santos; JANSONNEY, Mônica Silva Costa; FONSECA, Giuliana Vasconcelos de Souza. Dose efetiva de radiação nos exames de tomografia computadorizada: um estudo retrospectivo e descritivo. **Diagn Tratamento**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 2, p. 1-6, 2020. Disponível em: https://docs.bvsalud.org/biblioref/2020/07/1115997/rdt_0252001_29-05.pdf. Acesso em: 20 jan. 2023.

KALENDER, Willi A. X-ray computed tomography. **Physics In Medicine And Biology**, v. 51, n. 13, p. 29-43, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/0031-9155/51/13/r03>

KARIM, M. K. A. et al. Radiation doses from computed tomography practice in Johor Bahru, Malaysia. **Radiation Physics And Chemistry**, v. 121, p. 69-74, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2015.12.020>.

LEE, Choonsik et al. Organ doses for reference pediatric and adolescent patients undergoing computed tomography estimated by Monte Carlo simulation. **Medical Physics**, v. 39, n. 4, p. 2129-2146, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1118/1.3693052>

LIRA, Diego et al. Tube Potential and CT Radiation Dose Optimization. **American Journal Of Roentgenology**, v. 204, n. 1, p. 4 - 10, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.2214/ajr.14.13281>

MATTIA, Cristina et al. Patient organ and effective dose estimation in CT: comparison of four software applications. **European Radiology Experimental**, v. 4, n. 1, p. 2-16, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s41747-019-0130-5>

MCCOLLOUGH, Cynthia H.; CHRISTNER, Jodie A.; KOFLER, James M. How Effective Is Effective Dose as a Predictor of Radiation Risk? **American Journal Of Roentgenology**, v. 194, n. 4, p. 890-896, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.2214/ajr.09.4179>

NEY, Mônica. Doses de radiação efetiva para os pacientes nos exames de tomografia computadorizada realizados no Hospital Naval Marcílio Dias. **Arquivos Brasileiros de Medicina Naval**, v. 77, n. 1, p. 6, 2020.
NÓBREGA, Almir Inácio. **Manual de Tomografia Computadorizada**. São Paulo: Atheneu, 2005.

OBED, Rachel I.; OGBOLE, Godwin Inalegwu; MAJOLAGBE, Samson Babatunde. Comparison of the ICRP 60 and ICRP 103 Recommendations on the Determination of the Effective Dose from Abdominopelvic Computed Tomography. **International Journal Of Medical Physics, Clinical Engineering And Radiation Oncology**, v. 04, n. 02, p. 172-176, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/ijmpcero.2015.42021>

ODELI, Janaina Tomio. **Qualidade da Aquisição de Imagens de Tomografia Computadorizada em Hospitais Públicos de Santa Catarina**. 2017. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional Associado À Residência Médica em Cuidados Intensivos e Paliativos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/193989/PCIP0048-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 set. 2023.

OKUNO, Emico. Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de Goiânia. **Estudos Avançados**, São Paulo , v. 27, n. 77, p. 185-200, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142013000100014>

PARAKH, Anushri et al. Transatlantic Comparison of CT Radiation Doses in the Era of Radiation Dose–Tracking Software. **American Journal Of Roentgenology**, v. 209, n. 6, p. 1302-1307, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.2214/ajr.17.18087>

PIXELMED PUBLISHING™. **What is DoseUtility™?** Disponível em: <http://www.dclunie.com/pixelmed/software/webstart/DoseUtilityUsage.html>. Acesso em: 06 mar. 2023.

ROLIM, Alexandre Maciel. **Estimativa de Dose em Tomografia Computadorizada pelo Tamanho Específico do Paciente (SSDE) no Protocolo de Abdome Total em um Hospital Público de Porto Alegre**. p. 96. 2022. Dissertação (Mestre em Proteção Radiológica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Proteção Radiológica. Florianópolis, 2022.

ROMANS, Lois. **Computed tomography for technologists**: A comprehensive text. Maryland: Wolters Kluwer Health And Lippincott Williams & Wilkins, 2018.

SAMEI, Ehsan; PELC, Norbert J. **Computed Tomography**: approaches, applications, and operations. Switzerland: Springer, 2020.

SAKANO, Yumi Sakano; COSTA, Fernão Bevilacqua Alves da; RIBEIRO, Fernando Quintanilha. Avaliação do conhecimento do risco da radiação pela tomografia computadorizada em uma instituição de ensino /Assessment of knowledge on the risks of radiation from computed tomography in a teaching institution.. **Arquivos Médicos dos Hospitais e da Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo**, v. 61, n.1, p. 17-22, 2016.

SECHOPOULOS, Ioannis; TRIANNI, Annalisa; PECK, Donald. The DICOM Radiation Dose Structured Report: what it is and what it is not. **Journal Of The American College Of Radiology**, v. 12, n. 7, p. 712-713, jul. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacr.2015.04.002>

SILVERMAN, Paul M.; KALENDER, Willi A.; HAZLE, John D.. Common Terminology for Single and Multislice Helical CT. **American Journal Of Roentgenology**, [S.L.], v. 176, n. 5, p. 1135-1136, maio 2001. American Roentgen Ray Society. <http://dx.doi.org/10.2214/ajr.176.5.1761135>.

SMITH-BINDMAN, Rebecca et al. International variation in radiation dose for computed tomography examinations: prospective cohort study. **BMJ**, p. 1-12, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.k4931>

SOUZA, Daiane Cristini Barbosa et al. Use of the Radiation Dose Structured Report (RDSR) in dose estimation in computed tomography. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, p. e36311830822, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i8.30822.

SODICKSON, Aaron et al. Recurrent CT, Cumulative Radiation Exposure, and Associated Radiation-induced Cancer Risks from CT of Adults. **Radiology**, v. 251, n. 1, p. 175-184, abr. 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2511081296>

SULIEMAN, Abdelmoneim et al. Patient radiation dose reduction using a commercial iterative reconstruction technique package. **Radiation Physics And Chemistry**, v. 178, p. 108996, jan. 2021.

SUTIL, Maria Rita et al. Estimativa de dose em tomografia computadorizada pediátrica utilizando o software Virtual Dose®. **Research, Society And Development**, v. 11, n. 5, p. e8611527800-e8611527800, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i5.27800>.

TACK, Denis; ABADA, H. T. **Radiation dose from adult and pediatric multidetector computed tomography**. Berlin: Springer, 2007.

TZEDAKIS, A. et al. The effect of z overscanning on patient effective dose from multidetector helical computed tomography examinations. **Medical Physics**, v. 32, n. 6Part1, p. 1621-1629, 2005.

UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION (UNSCEAR). Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. **UNSCEAR 2008 Report**. United Nations Publication, 2010. Disponível em: https://www.unscear.org/docs/publications/2008/UNSCEAR_2008_Report_Vol.I.pdf Acesso em: 27 jun.2023.

UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION (UNSCEAR). Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. **UNSCEAR 2008 Report**. United Nations Publication, 2008. Disponível em: https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2008_1.html Acesso em: 20 jan. 2023.

UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION (UNSCEAR). Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. **UNSCEAR 2013 Report**. United Nations Publication, 2013. Disponível em: https://www.unscear.org/unscear/uploads/documents/unscear-reports/UNSCEAR_2013_Report_Vol.I.pdf Acesso em: 20 jan. 2023.

UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION (UNSCEAR). Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. **UNSCEAR 2020/2021 Report**. United Nations Publication, 2022. Disponível em: https://www.unscear.org/unscear/uploads/documents/unscear-reports/UNSCEAR_2020_21_Report_Vol.I.pdf Acesso em: 15 jun. 2023.

VANO, Eliseo et al. Dosimetric quantities and effective dose in medical imaging: a summary for medical doctors. **Insights Into Imaging**, v. 12, n. 1, p. 1-9, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s13244-021-01041-2>

YAMASHITA, Kazuta et al. Direct measurement of radiation exposure dose to individual organs during diagnostic computed tomography examination. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 5435, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-021-85060-5>

ZACHARIAS, Claudia et al. Pediatric CT: Strategies to Lower Radiation Dose. *American Journal Of Roentgenology*, [s.l.], v. 200, n. 5, p.950-956, maio 2013. **American Roentgen Ray Society**. <http://dx.doi.org/10.2214/ajr.12.9026>.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Manuscrito

Estimativa de dose nos órgãos e tecidos em protocolos de tórax e abdome de tomografia computadorizada em um hospital público de Santa Catarina.

RESUMO

Objetivo: estimar a dose dos órgãos e tecidos por meio do Software Virtual Dose® de pacientes submetidos a exames de tomografia computadorizada de abdome e tórax de uma aquisição helicoidal em um hospital público de grande porte de Santa Catarina. **Métodos:** trata-se de estudo quantitativo, retrospectivo, constituído por exames tomográficos realizados em pacientes de ambos os sexos, na faixa etária de 19 a 88 anos, de 25 a 31 de dezembro de 2022, obtidos por meio do Sistema Catarinense de Telemedicina e Telessaúde (STT). Os seguintes dados secundários foram coletados por meio do cabeçalho DICOM: kVp, mAs, pitch, espessura de corte, comprimento da varredura, sexo e faixa etária. Após coletados os dados foram inseridos no software Virtual Dose® versão 1.0, para cálculo da dose absorvida nos órgãos e a dose efetiva da população. **Resultados:** a população foi composta por 123 exames, sendo 28 de tórax e 95 de abdome. As estruturas com maior dose absorvida nos exames de abdome foram: rins (14,8 mGy), adrenais (14,3 mGy) e fígado (11,0 mGy). Nos exames de tórax foram: a glândula timo (12,7 mGy), coração (12,0 mGy) e pulmões (11,8 mGy). Evidencia-se o papel primordial dos profissionais das técnicas radiológicas de modo a fomentar a cultura de proteção radiológica, garantindo a segurança dos usuários nos exames de radiodiagnóstico.

Palavras-chaves: Tomografia Computadorizada; Doses de Radiação; Proteção Radiológica.

INTRODUÇÃO

Em 1972, Hounsfield implementou com sucesso a primeira Tomografia Computadorizada (TC), e por isso, é considerado do equipamento. Em 1974, a Siemens comercializou o primeiro tomógrafo de cabeça, e em 1979. Durante os

anos de 1980, ocorreram avanços na tecnologia da TC, como a redução dos tempos de varredura e o desenvolvimento de *scanners* rápidos. Na década de 1990, um TC espiral foi desenvolvido para criar imagens contíguas e reprodutíveis de estruturas anatômicas em movimento. Nos anos 2000, o desenvolvimento da TC helicoidal contínua permitiu a aquisição simultânea de mais fatias e geração de imagens com maior resolução temporal com a implementação de multidetectores. Em resumo, a TC passou por uma série de avanços desde sua concepção, incluindo a aplicação da teoria matemática de Radon que resultou mais tarde no desenvolvimento da TC helicoidal que garante melhorias na velocidade de varredura e qualidade da imagem (KALENDER, 2006).

No entanto, existem desafios técnicos e de proteção radiológica, relacionados ao aumento contínuo do número de exames (UNSCEAR, 2022). No Brasil, a Resolução da Diretoria Colegiada nº 611 da ANVISA (BRASIL, 2022) estabelece diretrizes e requisitos para a proteção radiológica em serviços de saúde. Nesse contexto, a gestão adequada da dose de radiação se torna fundamental, observando o envolvimento ativo dos Supervisores de Proteção Radiológica e do Supervisor de Aplicação das Técnicas Radiológicas, que devem implementar medidas de controle e monitoramento, visando minimizar os riscos e garantir uma prática segura e responsável.

No aspecto da proteção radiológica em TC, sabe-se que alguns parâmetros e fatores técnicos influenciam na dose de radiação em exames de tomografia computadorizada (TC), os principais são o kVp e o mAs, a colimação, a espessura do corte, o pitch e o controle automático de exposição (SAMEI; PELC, 2020). Outros fatores, como o tipo de equipamento, a idade e tamanho do paciente, e a região do corpo a ser examinada, também podem afetar a dose de radiação (SAKANO; COSTA; RIBEIRO, 2016).

Segundo o relatório da UNSCEAR de 2020/2021 (UNSCEAR, 2022) a TC representa cerca de 9,6% entre os exames e procedimentos no radiodiagnóstico, sendo que contribui cerca de 61,6% na dose efetiva coletiva proveniente de exposições médicas, excluindo a radioterapia. No mesmo documento, destaca-se que o número de exames de TC aumentou cerca de 80%, desta forma, a sua contribuição para a dose efetiva coletiva aumentou de 37% para 61,6%.

O estudo de Parakh *et al.*, (2017), evidenciou que há diferenças significativas entre as doses de radiação proveniente da TC entre os países. Apesar da aplicabilidade dos níveis de referência em diagnóstico como ferramenta de padronização das doses, o mesmo estudo afirma que os níveis de referência de diagnóstico europeus apresentam valores consistentemente mais baixos do que os níveis de referência de diagnóstico norte-americanos. A partir destes achados, destaca-se a importância prática da otimização do uso das radiações em imagens médicas, além da necessidade de reduzir esta variação da exposição a radiação em um mesmo protocolo.

Entretanto, essas variações nas doses em um mesmo protocolo são causadas por inúmeros fatores. Conforme elencado por Smith-Bindman *et al.*, (2019) a variabilidade da dose é decorrente das diferenças dos perfis e características dos usuários, como tamanho do paciente e indicação para o exame. Além disso, também é influenciado pelo tipo de instituição, e, o equipamento utilizado, por exemplo, idade da máquina, modelo, fabricante e uso de softwares que permitem a redução da dose. Por último, as condutas institucionais impactam na dose, como a escolha ou não de protocolos otimizados.

No Brasil, há estudos em andamento que avaliam as exposições médicas provenientes dos exames de TC. Um exemplo é a pesquisa realizada por Bacelar *et al.*, (2021) que analisou a dose efetiva coletiva recebida pela população da região de Vale do Aço, em Minas Gerais, por meio dos exames de TC de tórax. Os resultados evidenciaram um aumento significativo no número de exames durante a pandemia de COVID-19. Os resultados deste estudo ainda são limitados, pois se trata de um trabalho em andamento, apesar disso, o estudo contribui no que diz respeito às exposições médicas em nível nacional.

Um segundo exemplo é a pesquisa realizada em Santa Catarina, por Sutil *et al.*, (2022) em que foram avaliadas as doses efetivas por meio do software Virtual Dose® em pacientes pediátricos submetidos à TC. Os protocolos mais realizados no período em questão foram os exames de abdome total/abdome e pelve, com 88,6%, seguidos dos exames de abdome superior com 8,6%. A dose efetiva média para tomografia computadorizada abdominal foi de 4,35 mSv. A faixa etária entre 7-10 anos recebeu a maior dose efetiva média de 5,09 mSv, seguida pela faixa etária de

11-14 anos com média de 4,58 mSv. A faixa etária entre 0-6 anos apresentou a menor dose efetiva média para exames em 3,14 mSv.

A partir da necessidade de estudos nacionais que avaliem às exposições médicas provenientes dos exames de TC, o presente artigo tem como objetivo estimar a dose dos órgãos e tecidos por meio do Software Virtual Dose® de pacientes submetidos a exames de tomografia computadorizada de abdome e tórax de uma aquisição helicoidal em um hospital público de grande porte de Santa Catarina. Logo, a partir deste estudo poderá ser instituída uma prática de gestão de dose a partir da cultura de otimização no serviço pesquisado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de uma pesquisa do tipo retrospectivo seccional com abordagem quantitativa, caracterizada em relação aos objetivos como exploratória. A população do estudo foram os exames de tórax e abdome total (abdome+pelve) com uma única aquisição helicoidal realizados na faixa temporal de 25 a 31 de dezembro de 2022. Portanto, todos os exames que se adequaram ao critério de inclusão compuseram a população final do estudo.

Os exames foram viabilizados junto ao Sistema Integrado Catarinense de Telemedicina e Telessaúde (STT/SC), as informações de identificação do paciente foram tratadas de forma anônima. Para a coleta dos dados, foi utilizado o cabeçalho DICOM dos exames, para extração das informações do Registro de Dose Estruturado (RDSR) utilizou-se a ferramenta Dose Utility.

Os dados foram organizados e categorizados para inserção em bloco no software Virtual Dose® para análise dosimétrica dos órgãos específicos e da dose efetiva. Destaca-se que de acordo com AAPM (2015), a definição de limites anatômicos para os exames de tórax é do topo até o fundo dos pulmões, enquanto o protocolo de abdome é do topo do fígado até a sínfise púbica.

O estudo seguiu os requisitos das Resoluções 466/12 e 510/16 (BRASIL, 2012) do Conselho Nacional de Saúde, e foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa/CEP sob parecer número 4.259.124.

RESULTADOS

A população foi composta por 120 exames de abdome e tórax com apenas uma fase de aquisição helicoidal, a idade da população variou de 19 a 88 anos, sendo que os resultados foram categorizados por protocolo. Foram coletados 28 exames de tórax, sendo do gênero feminino (n= 13) e do masculino (n= 15). Para o protocolo de abdome foram coletados 95 exames, sendo do gênero feminino (n= 57) e do masculino (n= 38). Na Tabela 1 observa-se as características da população nos exames de tórax e abdome. Os dados são apresentados separadamente por sexo, idade, produto dose-comprimento (DLP), Índice de Dose da Tomografia Computadorizada Volumétrico ($CTDI_{vol}$).

Tabela 1 - Características dos exames de tórax e abdome na faixa temporal (25/12 a 31/12/22), Florianópolis – SC

Características	População
Tórax (N= 28)	
Sexo	n (%)
Feminino	13(46,43%)
Masculino	15(53,57%)
Idade em anos	Média (DP)
Feminino	59,3 (23,2)
Masculino	54,9 (17,1)
CTDI_{vol}	
Feminino	7,5 (2,9)
Masculino	10,4 (2,9)
DLP	
Feminino	256,3 (96,46)
Masculino	379,8 (110,3)
Abdome (N=95)	
Sexo	n (%)
Feminino	59(60,82%)
Masculino	38(39,18%)
Idade em anos	Média (DP)
Feminino	45,6 (17,0)
Masculino	47,8 (21,0)
CTDI_{vol}	
Feminino	11,4 (4,8)
Masculino	13,2 (4,4)
DLP	
Feminino	578,8 (262,7)
Masculino	695,4 (270,5)

Fonte: do autor (2023).

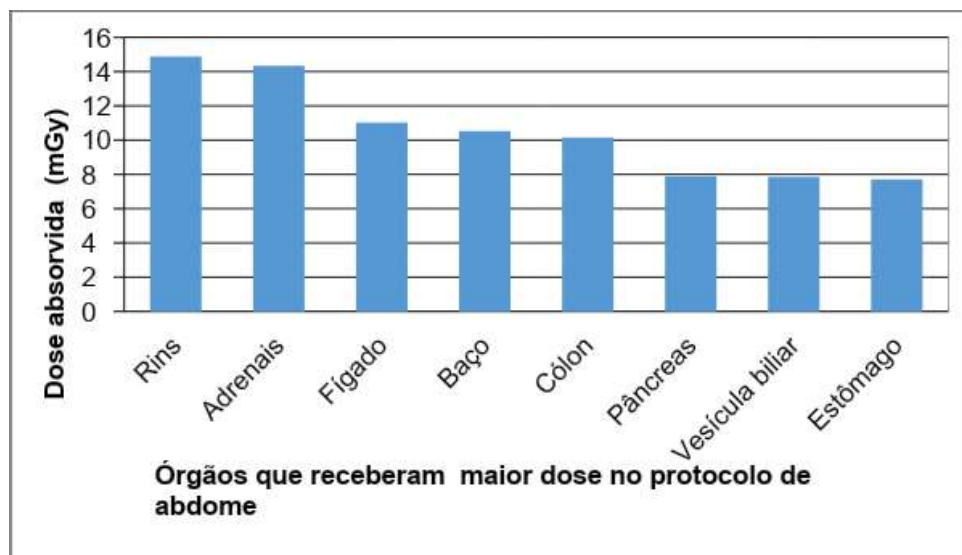
Para o grupo de tórax (n=28), 46,43% dos pacientes eram do sexo feminino e 53,57% eram do sexo masculino já a idade média para as mulheres foi de 59,3 anos (com desvio padrão de 23,2) e para os homens foi de 54,9 anos (com desvio padrão de 17,1). O CTDI_{vol} médio para as mulheres foi de 7,5 mGy (com desvio padrão de 2,8), enquanto dos homens foi de 10,4 mGy (com desvio padrão de 2,9), ambos os valores apresentaram valor de desvio padrão alto o que significa alta variabilidade deste critério na população. O DLP médio para as mulheres foi de

259,3 mGy.cm e para os homens foi de 379,8 mGy.cm, assim como o $CTDI_{vol}$ o DLP apresentou valores superior em homens quando comparados a mulheres.

Para o grupo de abdome (n=95), 60,82% dos pacientes eram do sexo feminino e 39,18% eram do sexo masculino, destaca-se a predominância de mulheres nesta população. A idade média para as mulheres foi de 45,6 anos (com desvio padrão de 17,0) e para os homens foi de 47,8 anos (com desvio padrão de 21,0). O $CTDI_{vol}$ médio para as mulheres foi de 11,3 mGy (com desvio padrão de 4,8) e para os homens foi de 13,0 mGy (com desvio padrão de 4,6). O DLP médio para as mulheres foi de 576,5 mGy.cm e para os homens foi de 683,4 mGy.cm. Os aspectos que envolvem a análise dosimétrica ($CTDI_{vol}$ e DLP) também apresentaram valores superiores na população masculina ao comparar com a feminina.

Em relação a dose absorvida nos órgãos e tecidos listados pelo *Virtual Dose*® para o protocolo de abdome, visto no Gráfico 1, apresenta-se as oito estruturas que receberam a maior exposição à radiação neste protocolo, sendo: rins (14,8 mGy com DV de 5,8), adrenais (14,3 mGy com DV 5,6), fígado (11,0 mGy com DV de 4,2), baço (10,5 mGy com DV de 4,0), cólon (10,1 mGy com DV de 4,0), pâncreas (7,9 mGy com DV de 3,1), vesícula biliar (7,8 mGy com DV de 3,1) e estômago (7,7 mGy com DV de 3,0).

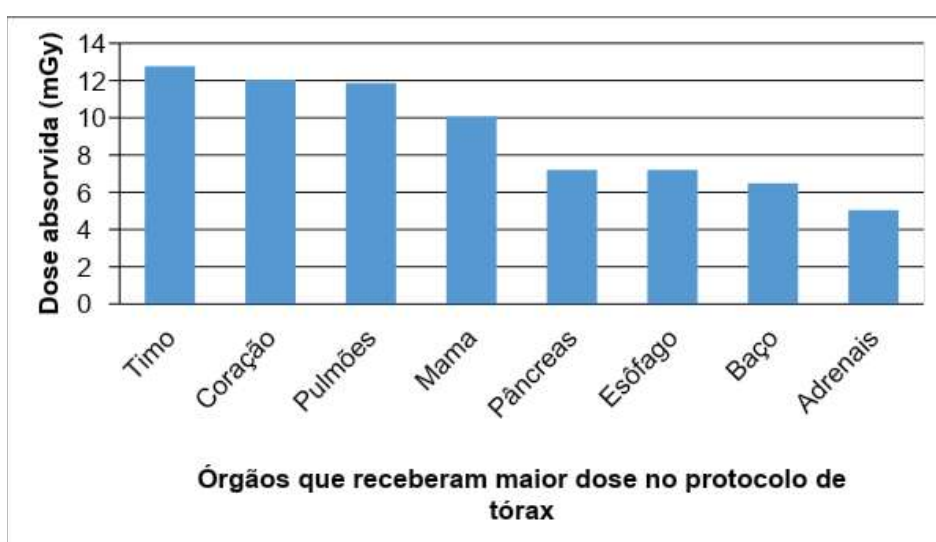
Gráfico 1 - Dose absorvida nos órgãos e tecido nos exames de abdome, Florianópolis – SC



Fonte: do autor (2023).

No Gráfico 2, observa-se a dose absorvida nos órgãos e tecidos listados pelo Virtual Dose® para o protocolo de tórax, visto no Gráfico 2, as duas estruturas anatômicas que receberam a maior dose foram a glândula timo (12,7 mGy com DV 4,6), seguido pelo coração (12,0 mGy com DV 4,3). Outros órgãos também receberam uma exposição alta, sendo: pulmões (11,8 mGy com DV 4,0), mamas (10,0 mGy com DV 3,5), pâncreas (7,2 mGy com DV 2,6), esôfago (7,2 mGy com DV 2,6), baço (6,4 mGy com DV 2,2) e adrenais (5,0 mGy com DV 2,3).

Gráfico 2 - Dose absorvida nos órgãos e tecido nos exames de tórax, Florianópolis – SC



Fonte: do autor (2023).

A partir dos resultados, nota-se que alguns órgãos e tecidos apresentam uma alta exposição à radiação, tanto nos protocolos de tórax como de abdome. Apesar de tratar de aquisição distintas, ambos protocolos resultaram em altas doses absorvidas nas adrenais, no baço e no pâncreas. O fato pode estar relacionado à posição anatômica destas estruturas, uma vez que se encontram localizadas na porção superior do abdome.

DISCUSSÕES

O presente estudo apresentou o resultado de DLP médio no protocolo de abdome de 683,4 mGy.cm para o gênero masculino e para o feminino o DLP médio foi de 576,5 mGy.cm. Campelo (2019) realizou pesquisa em diversos serviços de saúde, entre entres, dois serviços possuíam o mesmo equipamento da presente pesquisa, Revolution EVO. Apesar do mesmo recurso tecnológico o estudo de

Campelo (2019) apresentou resultados diferentes para o mesmo equipamento, em uma instituição o valor do DLP médio foi de 890 mGy.cm, em contrapartida em um segundo serviço com o equipamento Revolution™ EVO a média do DLP foi de 342 mGy.cm, sendo o menor valor de DLP entre as 31 instituições pesquisadas.

Em relação ao protocolo de tórax esta pesquisa resultou em um valor médio de DLP de 379,8 mGy para homens e 252,7 mGy para mulheres. Ao relacionar com pesquisa de Campelo (2019), a partir da análise de dois serviços com o equipamento Revolution™ EVO, apresentaram médias de 523 mGy.cm e 197 mGy.cm, respectivamente. Estes resultados evidenciam que a marca e modelo do equipamento são apenas uma das características que influenciam na composição final da dose. Portanto, ainda que utilize-se um mesmo equipamento, pode haver variabilidade entre o DLP nos serviços de saúde.

Neste estudo, os valores médios de CTDIvol para o protocolo de abdome foram de 11,3 mGy com DV de 4,8 para o gênero feminino e 13,0 mGy com DV de 4,6 para o gênero masculino. No protocolo de tórax, os valores obtidos foram de 10,4 mGy com DV de 2,9 para o gênero masculino e 7,5 mGy com DV de 2,8 para o gênero feminino. Ao comparar esses resultados com um estudo semelhante (ROLIM, 2022), utilizando a mesma tecnologia, tomógrafo GE Revolution™ EVO 64 canais com análise de protocolo de abdome total em uma fase venosa, observe-se que os valores de CTDIvol foram de 11,85 mGy com DV de 2,20 para o gênero masculino e 11,48 mGy com DV de 2,15 para o gênero feminino.

Sobre a dose absorvida nos tecidos e órgãos, no protocolo de tórax as estruturas que receberam a maior dose foram timo, coração e pulmões, como uma dose média absorvida de 12,7 mGy; 12,0 mGy e 11,8 mGy, respectivamente. Estudo realizado por Akyea-Larbi *et al.*, (2022) utilizando o software CT-Expo para análise dosimétrico dos órgãos em aquisições do tórax, apresentou resultados semelhantes, com exceção de que neste caso, a maior dose foi para o, o esôfago que registrou a dose de 8,37 mGy, seguido pela mama (6,89 mGy), pulmões (6,40 mGy) e coração (5,26 mGy).

Ainda em relação à dose absorvida, no protocolo de abdome, as estruturas que foram mais expostas à radiação, foram: rins (14,8 mGy), adrenais (14,3 mGy) e fígado (11,0 mGy). Pesquisa de Akyea-Larbi *et al.*, (2022) para o protocolo de abdomino total encontrou resultados distintos, em que os órgãos mais

expostos foram: fígado, bexiga, estômago e gônadas, com dose absorvida média de órgão de 15,5 mGy; 8,8 mGy; 15,7 mGy e 10,71 mGy, respectivamente.

As informações analisadas neste estudo foram provenientes do Relatório Estruturado de Dose de Radiação (RDSR) em que há dados do padrão DICOM da imagem de TC. O RDSR foi desenvolvido para criar um formato padronizado para registrar todas as informações relacionados aos parâmetros de exposição utilizados para cada evento de irradiação sofrido pelo paciente, independente dos dados da imagem (SECHOPOULOS; TRIANNI; PECK, 2015).

Destaca-se o valor técnico científico dos resultados obtidos, especialmente para o serviço pesquisado, uma vez que a partir das informações foi possível traçar o perfil de dose dos usuários atendidos na faixa temporal. Como descrito por Parakh *et al.*, (2017), o monitoramento programático da dose de radiação é uma ferramenta valiosa para compreender e gerenciar as práticas de proteção radiológica na TC, com vistas a identificar problemas e possivelmente participar de programas e projetos de otimização de dose.

CONCLUSÃO

O estudo estimou a dose efetiva em exames de TC de tórax e abdome em uma única aquisição helicoidal, destaca-se que a dose média efetiva foi de (683,4 mGy.cm) para o abdome total e (379,8 mGy.cm) para tórax. A dose absorvida dos órgãos e tecido foram avaliados em ambos os protocolos, para o exame de abdome total os rins (14,8 mGy), adrenais (14,3 mGy) e fígado (11,0 mGy) foram os mais expostos à radiação, enquanto nos exames de tórax, timo (12,7 mGy), coração (12,0 mGy) e pulmões (11,8 mGy) foram os que receberam maior dose.

Os resultados relacionados ao DLP e a dose absorvida nos órgãos e tecidos apresentaram grande variabilidade entre a população. Essas variações podem ser atribuídas a fatores como a anatomia do usuário, as diferentes formas de executar o protocolo, associado às características do equipamento de tomografia computadorizada.

Considerando a necessidade de otimização dos exames em TC, evidencia-se o papel primordial dos profissionais das técnicas radiológicas de modo

a fomentar a cultura de proteção radiológica, garantindo a segurança dos usuários nos exames de radiodiagnóstico.

Sugere-se a realização de estudos futuros que envolvam uma análise com um número maior de exames de tomografia, incluindo diferentes hospitais e tipos de equipamentos. A expansão de pesquisas que envolvem o mapeamento das exposições médicas, podem contribuir para o desenvolvimento de diretrizes e recomendações mais precisas em relação à proteção radiológica na tomografia computadorizada. Além disso, a conscientização dos profissionais da área sobre a importância da proteção radiológica e da cultura de otimização é essencial para garantir a segurança dos usuários.

REFERÊNCIAS

AKYEA-LARBI, Kofi Okyere et al. Patient dose estimation in CT examination using dose conversion coefficient method and CT -expo software. **Health And Technology**, v. 12, n. 4, p. 809-814, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12553-022-00683-6>

AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE (AAPM). **AAPM Report Nº 246**. Estimating Patient Organ Dose with Computed Tomography: A Review of Present Methodology and Required DICOM Information. A Joint Report of AAPM Task Group 246 and the European Federation of Organizations for Medical Physics (EFOMP). American Association of Physicists in Medicine, Alexandria, 2019. <http://dx.doi.org/10.37206/190>.

BACELAR, L. F. F. et al. Impact of the collective effective dose of the population of the Vale do Aço region on computed tomography scans during the COVID-19 pandemic. International Nuclear Atlantic Conference – INAC 2021, Brazil, 2021. Disponível em: <http://flamingo.ipen.br/bitstream/handle/123456789/32486/28231.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 27 jun. 2023.

CAMPELO, Danilo De Albuquerque Melo. **Estimativa da Dose em Pacientes Adultos Submetidos a Exames de Tórax e Abdômen em Tomografia**

Computadorizada no Brasil. p. 139. 2019. Dissertação (Mestre em Ciências) – Universidade Federal De Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Recife, 2019.

KALENDER, Willi A. X-ray computed tomography. **Physics In Medicine And Biology**, v. 51, n. 13, p. 29-43, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/0031-9155/51/13/r03>

PARAKH, Anushri et al. Transatlantic Comparison of CT Radiation Doses in the Era of Radiation Dose–Tracking Software. **American Journal Of Roentgenology**, v. 209, n. 6, p. 1302-1307, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.2214/ajr.17.18087>

ROLIM, Alexandre Maciel. **Estimativa de Dose em Tomografia Computadorizada pelo Tamanho Específico do Paciente (SSDE) no Protocolo de Abdome Total em um Hospital Público de Porto Alegre.** p. 96. 2022. Dissertação (Mestre em Proteção Radiológica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Proteção Radiológica. Florianópolis, 2022.

SAKANO, Yumi Sakano; COSTA, Fernão Bevilácqua Alves da; RIBEIRO, Fernando Quintanilha. Avaliação do conhecimento do risco da radiação pela tomografia computadorizada em uma instituição de ensino /Assessment of knowledge on the risks of radiation from computed tomography in a teaching institution.. **Arquivos Médicos dos Hospitais e da Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo**, v. 61, n.1, p. 17-22, 2016.

SAMEI, Ehsan; PELC, Norbert J. **Computed Tomography:** approaches, applications, and operations. Switzerland: Springer, 2020.

SECHOPOULOS, Ioannis; TRIANNI, Annalisa; PECK, Donald. The DICOM Radiation Dose Structured Report: what it is and what it is not. **Journal Of The American College Of Radiology**, v. 12, n. 7, p. 712-713, jul. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacr.2015.04.002>

SMITH-BINDMAN, Rebecca et al. International variation in radiation dose for computed tomography examinations: prospective cohort study. **BMJ**, p. 1-12, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.k4931>

SUTIL, Maria Rita et al. Estimativa de dose em tomografia computadorizada pediátrica utilizando o software Virtual Dose®. **Research, Society And Development**, v. 11, n. 5, p. e8611527800-e8611527800, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i5.27800>.

UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION (UNSCEAR). Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. **UNSCEAR 2020/2021 Report**. United Nations Publication, 2022. Disponível em: https://www.unscear.org/unscear/uploads/documents/unscear-reports/UNSCEAR_20_21_Report_Vol.I.pdf Acesso em: 15 jun. 2023.

APÊNDICE B – Banco de Dados

Patient Sex	Patient Age	Protocol Name*	Bowtie Type**	NoTCMCTDIvol	DLP	Pitch	NoTCMmAs
M	66	T-D4000	body	12.98	535.76	1.38	328.1
F	53	T-D4000	body	12.72	620.28	1.38	325.5
M	63	T-D3000	body	13.22	470.21	0.98	299.45
M	88	T-D4000	body	9.93	484.12	1.38	297.95
M	58	T-D4000	body	12.7	631.99	1.38	325.3
F	41	T-D4000	body	14.2	806.04	1.38	340.1
F	19	T-D4000	body	6.66	288.1	1.38	265.7
M	25	T-D4000	body	14.91	831.68	1.38	347.15
M	45	T-D3000	body	13.12	538.58	0.98	298.25
M	32	T-D4000	body	14.62	734.88	1.38	344.25
F	51	T-D4000	body	15.4	858.81	1.38	351.95
F	41	T-D4000	body	8.51	474.76	1.38	284
F	77	T-D3000	body	5.56	178.14	0.98	212.8
M	61	T-D4000	body	14.54	839.85	1.38	343.45
M	51	T-D4000	body	9.85	441.0	1.38	297.2
M	75	T-D4000	body	17.06	763.81	1.38	368.35
F	15	T-D4000	body	8.02	447.07	1.38	279.1
M	22	T-D4000	body	8.95	476.96	1.38	288.35
M	73	T-D3000	body	5.0	177.76	0.98	206.5
M	19	T-D4000	body	6.23	278.8	1.38	261.45
M	15	T-D4000	body	5.09	240.48	1.38	250.2
F	43	T-D4000	body	18.54	959.85	1.38	382.95
M	62	T-D4000	body	6.59	294.91	1.38	265
M	38	T-D4000	body	16.27	899.0	1.38	360.5
F	37	T-D4000	body	6.9	340.03	1.38	268.1
F	40	T-D4000	body	7.25	353.39	1.38	271.5
F	63	T-D4000	body	7.92	410.02	1.38	278.15
F	63	T-D4000	body	17.81	797.16	1.38	375.7
M	68	T-D3000	body	12.78	479.87	0.98	294.4
M	30	T-D4000	body	19.44	1064.6	1.38	391.8
F	45	T-D4000	body	20.28	1100.26	1.38	400.05
F	37	T-D4000	body	11.05	605.29	1.38	309.05
F	29	T-D4000	body	18.86	919.55	1.38	386.05
F	31	T-D4000	body	8.51	415.17	1.38	284
F	37	T-D4000	body	6.65	317.82	1.38	265.65
F	80	T-D3000	body	8.0	268.57	0.98	240.45
M	41	T-D4000	body	19.87	1118.0	1.38	396.05

F	33	T-D4000	body	3.37	162.65	1.38	233.25
M	67	T-D4000	body	9.68	515.56	1.38	295.5
F	75	T-D4000	body	7.53	363.22	1.38	274.25
M	26	T-D4000	body	18.09	1036.01	1.38	378.5
F	82	T-D3000	body	11.03	337.03	0.98	274.65
F	63	T-D4000	body	18.22	1016.22	1.38	379.8
F	67	T-D4000	body	18.77	980.78	1.38	385.15
M	54	T-D3000	body	7.64	275.5	0.98	236.35
F	35	T-D4000	body	7.29	406.37	1.38	271.9
M	75	T-D3000	body	13.27	445.39	0.98	300
F	48	T-D4000	body	13.21	710.31	1.38	330.35
F	27	T-D3000	body	10.87	364.78	0.98	272.85
M	44	T-D4000	body	6.26	289.55	1.38	261.75
F	31	T-D4000	body	10.14	473.98	1.38	300
M	82	T-D4000	body	18.46	936.94	1.38	382.1
M	70	T-D4000	body	7.94	390.96	1.38	278.3
M	37	T-D4000	body	7.45	381.9	1.38	273.5
F	28	T-D4000	body	5.57	299.44	1.38	254.95
F	39	T-D4000	body	12.62	722.6	1.38	324.5
F	19	T-D4000	body	15.73	845.72	1.38	355.2
F	17	T-D3000	body	6.65	209.98	0.98	225.2
M	67	T-D4000	body	20.28	1252.33	1.38	400.05
M	39	T-D4000	body	14.16	711.96	1.38	339.75
F	56	T-D4000	body	6.81	328.73	1.38	267.2
M	48	T-D4000	body	19.15	1010.48	1.38	388.95
M	34	T-D4000	body	12.35	676.62	1.38	321.9
F	21	T-D4000	body	11.87	685.58	1.38	317.1
F	38	T-D4000	body	7.71	321.92	1.38	276.05
M	21	T-D4000	body	9.7	434.42	1.38	295.75
M	26	T-D4000	body	13.43	648.41	1.38	332.55
M	48	T-D3000	body	10.24	405.15	0.98	265.75
M	25	T-D4000	body	8.06	421.39	1.38	279.55
M	41	T-D3000	body	12.22	434.5	0.98	288.1
M	62	T-D4000	body	14.01	725.07	1.38	338.2
F	36	T-D4000	body	7.33	302.38	1.38	272.3
F	65	T-D4000	body	16.43	793.21	1.38	362.15
F	51	T-D3000	body	3.54	111.69	0.98	190
F	50	T-D4000	body	15.39	688.95	1.38	351.85
F	70	T-D4000	body	7.57	391.65	1.38	274.65
F	35	T-D4000	body	7.17	388.84	1.38	270.7

F	71	T-D3000	body	8.27	277.63	0.98	243.5
F	52	T-D4000	body	6.04	294.32	1.38	259.55
F	84	T-D3000	body	6.91	220.67	0.98	228.1
M	73	T-D3000	body	13.27	491.85	0.98	300
M	25	T-D3000	body	11.17	374.73	0.98	276.2
M	33	T-D4000	body	9.36	526.92	1.38	292.4
F	53	T-D3000	body	4.75	166.58	0.98	203.7
M	30	T-D4000	body	19.89	1089.3	1.38	396.25
F	26	T-D4000	body	9.0	411.89	1.38	288.8
F	82	T-D4000	body	17.83	851.8	1.38	375.95
F	40	T-D4000	body	16.99	930.56	1.38	367.65
M	66	T-D4000	body	19.56	963.43	1.38	392.95
F	48	T-D4000	body	14.78	743.03	1.38	345.85
F	64	T-D4000	body	8.38	366.83	1.38	282.7
M	68	T-D3000	body	10.34	393.49	0.98	266.85
M	56	T-D4000	body	15.95	897.59	1.38	357.4
M	51	T-D3000	body	13.27	445.39	0.98	300
M	83	T-D4000	body	7.98	389.22	1.38	278.75
M	42	T-D4000	body	16.74	1017.42	1.38	365.2
M	30	T-D3000	body	8.74	306.48	0.98	248.8
F	49	T-D4000	body	13.86	745.18	1.38	336.75
F	83	T-D4000	body	4.63	195.76	1.38	245.7
M	67	T-D4000	body	9.19	471.26	1.38	290.7
F	62	T-D3000	body	13.27	445.39	0.98	300
F	45	T-D4000	body	20.07	1058.88	1.38	398
F	42	T-D4000	body	6.98	340.54	1.38	268.9
F	36	T-D4000	body	13.42	755.03	1.38	332.4
M	75	T-D3000	body	6.6	234.71	0.98	224.6
F	87	T-D4000	body	9.33	515.6	1.38	292.05
F	65	T-D4000	body	3.49	140.39	1.38	234.4
F	48	T-D4000	body	19.17	1030.73	1.38	389.15
F	43	T-D4000	body	11.24	548.12	1.38	310.9
F	21	T-D4000	body	4.64	221.72	1.38	245.8
F	28	T-D3000	body	5.03	171.17	0.98	206.8
F	26	T-D4000	body	4.82	261.52	1.38	247.55
F	56	T-D4000	body	8.18	311.32	0.98	242.45
M	83	T-D4000	body	17.11	911.55	1.38	368.85
F	83	T-D4000	body	5.71	223.08	0.98	214.55
F	57	T-D4000	body	13.67	646.23	1.38	334.9
F	36	T-D4000	body	16.47	794.92	1.38	362.5

F	31	T-D4000	body	10.65	535.18	1.38	305.05
F	64	T-D4000	body	9.78	491.62	1.38	296.5
F	37	T-D4000	body	16.44	801.67	1.38	362.2
M	35	T-D3000	body	5.83	224.83	0.98	215.9
M	26	T-D4000	body	13.06	636.84	1.38	328.85
F	64	T-D4000	body	13.66	584.27	1.38	334.8

Nota: Todas as aquisições foram realizadas com o tomógrafo da GE modelo Revolution EVO, com o tensão fixa de 120 Kvp.

* T-D4000: abdome e T-D3000 tórax.

***Phantom* de referência.

ANEXOS

ANEXO A – Parecer Consubstanciado do CEP



INSTITUTO SUPERIOR E
CENTRO EDUCACIONAL
LUTERANO BOM



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Exposições médicas em procedimentos de diagnóstico

Pesquisador: DAIANE CRISTINI BARBOSA DE SOUZA

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 36650720.6.0000.5365

Instituição Proponente: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 4.269.124

Apresentação do Projeto:

Inicialmente o presente projeto, trata-se de uma estudo piloto, espera-se futuramente, após alcançar os resultados esperados nessa primeira etapa, que os frutos desta pesquisa poderão ser utilizados, junto com outros estudos em saúde pública, como estudos epidemiológicos relacionados à prevalência de várias doenças e outros dados populacionais, para detectar ou reconhecer relações de causa e efeito. Podem ainda ser utilizados na validação de modelos da radiobiologia, avaliação do valor de custo do detrimento na exposição à radiação e, por fim, podem ser usados como base para a tomada de decisão em políticas públicas, treinamento dos profissionais e desenvolvimento de novas tecnologias.

Trecho copiado do Projeto detalhado, pg. 8.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Estimar as doses efetivas coletivas, da população da Grande Florianópolis, proveniente da exposição médica de pacientes em exames de diagnóstico de tomografia computadorizada (TC).

Objetivo Secundário:

1. Calcular as doses efetivas envolvidas nos protocolos mais frequentes em exames de tomografia computadorizada e de tomografia por emissão de pósitrons dos serviços participantes do estudo.

2. Descrever informações sobre a equipe técnica e os equipamentos médicos dos serviços

Endereço: Rua Princesa Isabel 438, Sala no prédio da Fundação Cultural Deutsche Schiller, piso térreo, corredor ao lado.
Bairro: Centro **CEP:** 88.201-270
UF: SC **Município:** JOINVILLE
Telefone: (47)3026-8048 **Fax:** (47)3026-8000 **E-mail:** cep@iesluc.br



**INSTITUTO SUPERIOR E
CENTRO EDUCACIONAL
LUTERANO BOM**



Continuação do Parecer: #288.124

Outros	Declaracao_pesquisa_nao_iniciada.pdf	10/08/2020 19:00:36	DAIANE CRISTINI BARBOSA DE SOUZA	Aceito
Outros	Declaracao466.pdf	10/08/2020 18:58:48	DAIANE CRISTINI BARBOSA DE SOUZA	Aceito
Outros	Declaracao_nao_cooperacaoestrangeira.pdf	10/08/2020 18:57:49	DAIANE CRISTINI BARBOSA DE SOUZA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

JOINVILLE, 10 de Setembro de 2020

Assinado por:
Solange Abrocini
(Coordenador(a))

Endereço: Rua Pinossa Isabel 438, Sala no prédio da Fundação Cultural Deutsche Schule, 1ºº andar, corredor ao lado
Bairro: Centro **CEP:** 89.201-270
UF: SC **Município:** JOINVILLE
Telefone: (47)3025-8049 **Fax:** (47)3025-8050 **E-mail:** cep@ieluc.br